

Estimates of Energy Consumption Using Neural Networks with the Grey Wolf Optimizer Algorithm for Turkey

Ergun UZLU

Karadeniz Technical University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Kanuni Campus, 61080, Ortahisar/TRABZON

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 30.01.2019

Revision :25.02.2019

Accepted: 03.03.2019

Highlights

Predicting energy consumption in Turkey
 • Training of artificial neural networks with grey wolf optimizer algorithm.
 • Energy consumption was forecasted until 2023

Keywords

Grey Wolf Optimizer Algorithm
 Artificial Bee Colony Algorithm
 Back Propagation Algorithm
 Energy Consumption/Demand
 Artificial Neural Networks
 Turkey

In this study artificial neural network model with the grey wolf optimizer algorithm was used to estimate annual energy consumption of Turkey. As shown in Fig. A, a three-layer network was selected for the present study. Gross domestic product, population, import, and export values were used in the input layer of the network. Energy consumption was used in the output layer. Grey wolf optimizer algorithm was used to train the network.

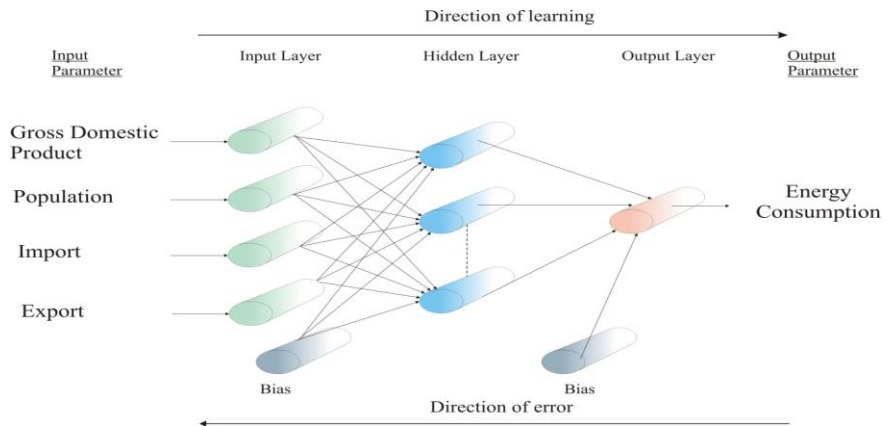


Figure A. Proposed ANN model for energy consumption

Purpose: The primary objective of this study was to train an artificial neural network (ANN) model with the grey wolf optimizer (GWO) algorithm to estimate future energy consumption (EC) of Turkey.

Theory and Methods: In the present study, gross domestic product (GDP), population, import and export data were used as independent variables to estimate the EC of Turkey. Historical data from 1980 to 2008 were used for the training procedure, while data from 2009 to 2014 were reserved for evaluating the performance of the trained network. GWO, back propagation (BP) and artificial bee colony (ABC) algorithms were used to train ANN models. To evaluate the performance of a trained ANN, average relative error (RE), root mean square error (RMSE), and mean absolute error (MAE) were used. After determining the best model according to the error values, two different scenarios were used to estimate future EC in Turkey.

Results: Simulation results show that, ANN-GWO models show better performance than ANN-BP and ANN-ABC models in EC estimation. For the proposed ANN-GWO model average RE, RMSE, and MAE values 1.252%, 2.114, and 1.349, respectively. Therefore ANN-GWO model was used in EC of Turkey.

Conclusion: In this study, the EC in Turkey between 1980 and 2023 was modeled based on GDP, population, import, and export indicators under two different scenarios. The two scenarios showed that the future EC of Turkey would vary between 183 and 191 Mtoe in 2023.



Türkiye için Gri Kurt Optimizasyon Algoritması ile Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Enerji Tüketiminin Tahmini

Ergun UZLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kanuni Kampüsü, 61080, Ortahisar/Trabzon

Öz

Makale Bilgisi

Başvuru: 30.01.2019
 Düzeltilme: 25.02.2019
 Kabul: 03.03.2019

Anahtar Kelimeler

Gri Kurt Optimizasyon Algoritması; Yapay Arı Kolonisi Algoritması; Geri Yayılımlı Algoritma; Enerji Tüketimi/Talebi; Yapay Sinir Ağları; Türkiye

Bu çalışmanın amacı gri kurt optimizasyon (GKO) algoritması ile eğitilmiş bir yapay sinir ağı (YSA) modelini kullanarak Türkiye'nin enerji tüketimini tahmin etmektir. Modelde gayri safi yurt içi hasıla, nüfus, ithalat ve ihracat verileri bağımsız değişken olarak seçilmiştir. Sunulan modelin uygulanabilirliğini ve doğruluğunu değerlendirmek için, YSA-GKO modeli yapay arı kolonisi (YAK) algoritması ve geri yayılımlı (GY) algoritma ile eğitilmiş YSA modelleri ile karşılaştırıldı. Yapılan karşılaştırmalar YSA-GKO modelinin YSA-YAK ve YSA-GY modellerinden daha üstün olduğunu göstermiştir. YSA-GKO modeli kullanılarak Türkiye'nin enerji tüketimi iki farklı senaryoya göre 2023'e kadar tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve literatürdeki çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar YSA-GKO modelinin enerji tüketimi tahmininde kullanılabileceğini göstermiştir.

Estimates of Energy Consumption Using Neural Networks with the Grey Wolf Optimizer Algorithm for Turkey

Keywords

Grey Wolf Optimizer Algorithm; Artificial Bee Colony Algorithm; Back Propagation Algorithm; Energy Consumption/Demand; Neural Networks; Turkey

Abstract

The primary objective of this study was to apply the ANN (artificial neural network) model with the grey wolf optimizer (GWO) algorithm to estimate energy consumption of Turkey. Gross domestic product, population, import, and export data were selected as independent variables in the model. To assess the applicability and accuracy of the proposed method, ANN-GWO was compared with the ANN models trained with artificial bee colony (ABC) and back propagation (BP) algorithms. Solutions indicate that the ANN-GWO model is superior to ANN-ABC and ANN-BP models. Using the ANN-GWO model, future estimation of Turkey's energy consumption was projected up to 2023 according to two different scenarios. The forecasted results were compared with projections by the MENR (Ministry of Energy and Natural Resources) and other related studies in the literature. The results show that energy consumption can be modeled using the proposed model and the ANN-GWO can be used to predict future energy consumption.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji çağımızda ülkelerarası ilişkileri ve ülkelerin ekonomik, siyasi ve sosyal gelişimini etkileyen temel etmenlerden birisi haline gelmiştir. Dünyanın önde gelen enerji tedarikçileri ile büyük tüketicileri arasında doğal bir coğrafi köprü, dolayısıyla da enerji merkezi ve koridoru oluşturan Türkiye, küresel enerji jeopolitiği ve Avrupa'nın doğal gaz arz güvenliği için büyük önem taşımaktadır.

2014 yılında dünya birincil enerji talebinin % 81'i petrol, doğal gaz ve kömürden karşılanmış olup, bu oran Türkiye'de % 91'dir [1, 2]. 2014 yılında 123,9 Mtoe olan Türkiye'nin birincil enerji talebinin 2022 yılı itibarıyla 222.4 Mtoe'ye ulaşması beklenmektedir [2, 3]. 2014 yılında Türkiye'de birincil enerji talebinin % 35'i doğal gazdan, % 28,5'i kömürden, % 27'si petrolden, % 7'si hidroelektrik santrallerinden, % 2,5'i de diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır [2]. Hızlı ve sürdürülebilir bir ekonomik büyümenin sağlanması, artan enerji ihtiyacının karşılanması ve uluslararası alanda rekabet gücünün korunması, enerji alanında etkin politikaların izlenmesini gerekli kılmaktadır. Gerçekçi ve güvenilir enerji talep projeksiyonları etkin bir enerji politikası izlenmesinde büyük öneme sahiptir. Türkiye 'de enerji talebi

için projeksiyonlar Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETBK) tarafından yapılmaktadır. ETBK tarafından yapılan talep projeksiyonları gerçek değerlerden oldukça yüksektir [4]. Bu durum enerji politikalarıyla ilgili karar vericileri yanlış yönlendirmektedir.

Bu nedenle, Türkiye’de enerji kaynaklarına ucuz, kesintisiz ve güvenilebilir bir biçimde ulaşılabilmesi için daha doğru enerji tüketim projeksiyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada Türkiye’nin enerji tüketimini tahmin etmek için yeni ve gerçekçi bir model geliştirilmiştir. Model yapay sinir ağlarının (YSA) gri kurt optimizasyonu (GKO) algoritması ile eğitilmesi sonucu oluşturulmuştur. Gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH), nüfus, ithalat ve ihracat verileri geliştirilen modelde bağımsız değişkenler olarak kullanılmıştır. Geliştirilen model kullanılarak Türkiye’nin gelecekteki enerji tüketim değerleri iki farklı senaryo için tahmin edilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

Dünyanın farklı yerlerinde enerji tüketimini ve talebini modellemek için birçok teknik ileri sürülmüştür. Çin’in enerji tüketimini tahmin etmek için Guo vd. [5] LEAP modelini, Yu vd. [6] parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) algoritması ve genetik algoritmadan (GA) oluşan bir hibrit modeli, Fan ve Xia [7] geliştirilmiş RAS yöntemini, Zeng vd. [8] ADE-BPNN modelini ve Wang vd. [9] AMVO-SVM modelini kullanmıştır. Geem ve Roper [10], Ekonomou [11], Oludolapo vd. [12] ve Muralitharan vd. [13] YSA’yı kullanarak sırasıyla Güney Kore, Yunanistan, Güney Afrika ve Texas’taki enerji tüketimini tahmin etmiştir. Sutthichaimethee ve Ariyasajakorn [14] ARIMAX modelini kullanarak Tayland’ın enerji tüketimini tahmin etmiştir. Ayrıca Behrang vd. [15] İran’da aynı amaç için arı algoritmasını kullanmıştır.

Benzer şekilde Türkiye’nin enerji tüketimini ve talebini tahmin etmek için birçok farklı teknik kullanıldı. Tablo 1’den görüldüğü gibi, Sozen vd. [16-18], Kankal vd. [19] ve Es vd. [20] YSA tekniğini, Ozturk vd. [21], Canyon vd. [22], Ceylan vd. [23] ve Ceylan ve Ozturk [24] GA’yı, Toksari [25] karınca kolonisi optimizasyonu algoritmasını (ACO), Unler [26] PSO algoritmasını, Kıran ve Gunduz [27] PSO ve yapay arı kolonisi (YAK) algoritmasını, Kıran vd. [28] PSO ve YAK algoritmalarından oluşan bir hibrit modeli, Ediger ve Akar [29] ve Mucuk ve Uysal [30] ARIMA modelini, Uzlu vd. [4] öğretim öğrenme tabanlı optimizasyonu (TLBO) algoritması ile eğitilmiş YSA modelini, Say ve Yücel [31] ve Aydın [32] regresyon analizini, Ediger ve Tatlidil [33] istatistiksel bir teknik olan çevrim analizini ve Tefek vd. [34] ise TLBO’yu kullanarak Türkiye’nin enerji tüketimini tahmin etmişlerdir.

Bu çalışmada, Türkiye’nin enerji tüketimini tahmin etmek için GKO algoritması ile eğitilmiş bir YSA modeli oluşturulmuştur. Literatüre göre, enerji tüketiminin modellenmesinde ve tahmininde YSA-GKO modeli daha önce hiç kullanılmamıştır.

Tablo 1. Türkiye’de Enerji Tüketimi ve Talebinin Tahmin Edilmesine Yönelik Çalışmalar

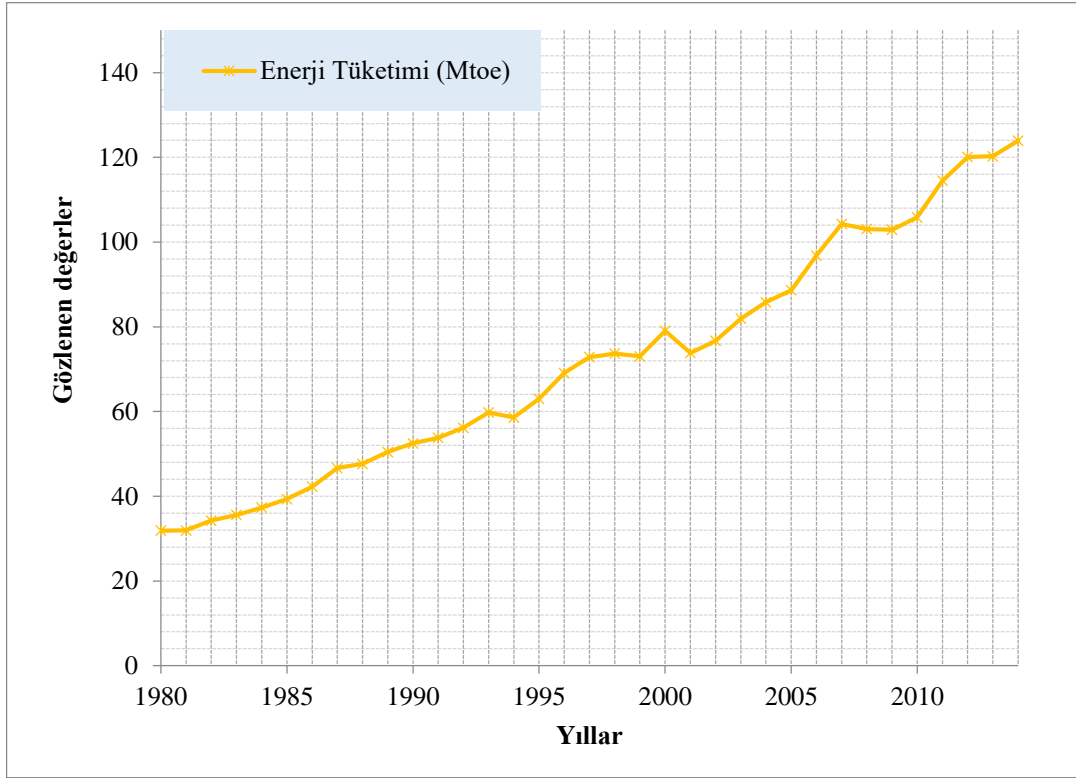
Kullanılan yöntem	Referans	Tahmin edilen değer	Bağımsız değişkenler	Kullanılan veriler	Tahmin edilen yıllar
YSA tekniği	Sozen ve Arcaklioglu [16]	Enerji tüketimi	GSMH, GSYİH, nüfus, kurulu güç, elektrik üretimi, ithalat, ihracat	1968-2005	Model kuruldu
	Sozen vd. [17]	Enerji tüketimi	Nüfus, toplam üretim, kurulu kapasite, diğer yıllar	1975-2003	Model kuruldu
	Sozen vd. [18]	Enerji tüketimi	Nüfus, toplam üretim kurulu kapasite	1953-2000	Model kuruldu
	Kankal vd. [19]	Enerji tüketimi	GSYİH, nüfus, ithalat, ihracat	1980-2007	2008-2014
	Es vd. [20]	Enerji talebi	GSYİH, nüfus, ithalat, ihracat, araç sayısı, bina yüzey alanı	1970-2010	2011-2025
Genetik algoritma	Ozturk vd. [21]	Enerji talebi	GSYİH, nüfus, ithalat, ihracat	1975-2002	2003-2020
	Canyurt vd. [22]	Enerji talebi	GSYİH, nüfus, ithalat, ihracat	1970-2001	2002-2025
	Ceylan vd. [23]	Enerji tüketimi	GSYİH, nüfus, ithalat, ihracat	1990-2000	2001-2020
	Ceylan ve Ozturk [24]	Enerji talebi	GSYİH, nüfus, ithalat, ihracat	1970-2001	2002-2025
ACO	Toksari [25]	Enerji talebi	GSYİH, nüfus, ithalat, ihracat	1970-2005	2006-2025
PSO	Unler [26]	Enerji talebi	GSYİH, nüfus, ithalat, ihracat	1979-2005	2006-2025
PSO ve YAK hibrid modeli	Kıran ve Gunduz [27]	Enerji talebi	GSYİH, nüfus, ithalat, ihracat	1979-2005	2006-2015
PSO ve ACO hibrid modeli	Kıran vd. [28]	Enerji talebi	GSYİH, nüfus, ithalat, ihracat	1979-2005	2006-2025
ARIMA modeli	Ediger ve Akar [29]	Enerji talebi	-	1950-2004	2005-2020
	Mucuk ve Uysal [30]	Enerji talebi	-	1970-2006	2007-2015
Regresyon analizi	Say ve Yuçel [31]	Enerji tüketimi	GSMH, nüfus	1970-2002	2010 ve 2015
	Aydın [32]	Enerji tüketimi	GSYİH, nüfus	1971-2010	2011-2025
Çevrim analizi	Ediger ve Tatlıdil [33]	Enerji talebi	-	1950-1999	2000-2010
YSA-TLBO	Uzlu vd. [4]	Enerji tüketimi	GSYİH, nüfus, ithalat, ihracat	1980-2012	2013-2020
TLBO	Tefek vd. [34]	Enerji talebi	GSYİH, nüfus, kurulu güç, toplam elektrik üretimi, net elektrik tüketimi	1980-2014	2015-2030
YSA-GKO	Bu çalışma	Enerji tüketimi	GSYİH, nüfus, ithalat, ihracat	1980-2014	2015-2023

3. YÖNTEM (METHODOLOGY)

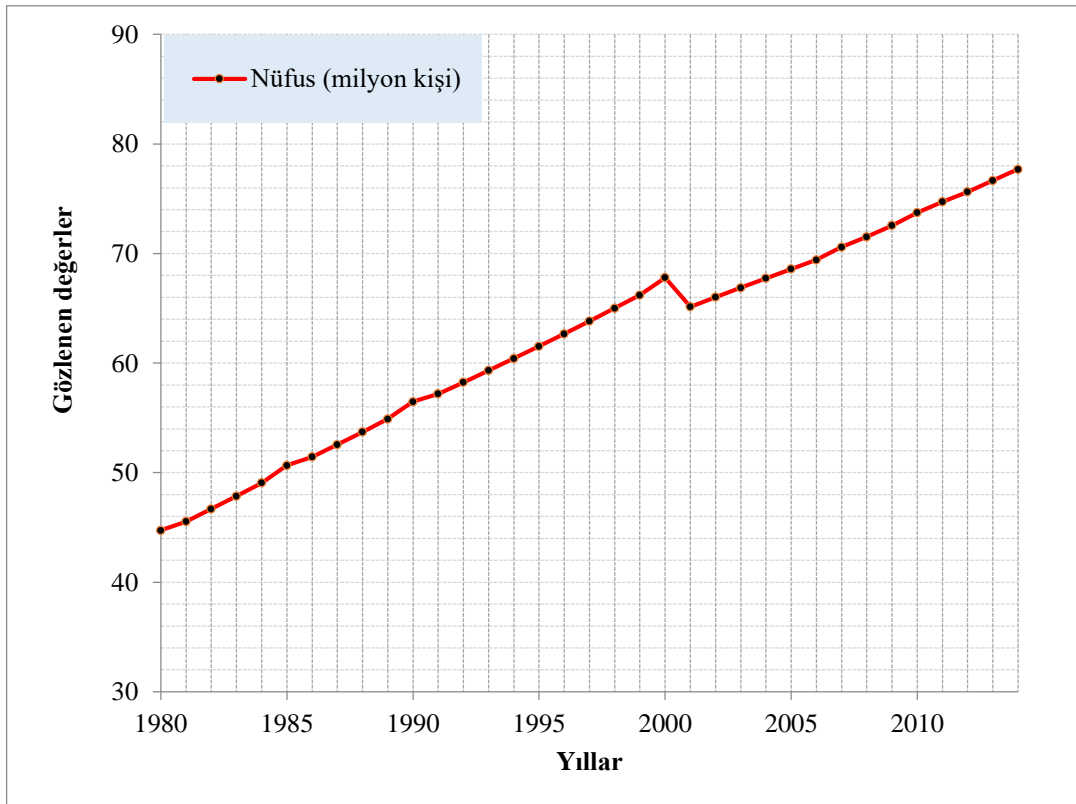
3.1. Veri Seti (Data Set)

Sunulan çalışmada Türkiye’nin enerji tüketimini tahmin etmek için GSYİH, nüfus, ithalat ve ihracat verileri bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Bu değişkenler enerji tüketimini tahmin etmek için literatürde [19, 22-28] yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. YSA modellerinde kullanılan veriler iki gruba ayrılmıştır. 1980’den 2007’ye kadar olan veriler eğitim sürecinde, 2008’den 2014’e kadar olan veriler ise geliştirilen modellerin test edilmesinde kullanılmıştır. Beş değişken için farklı kaynaklardan veriler elde edilmiştir.

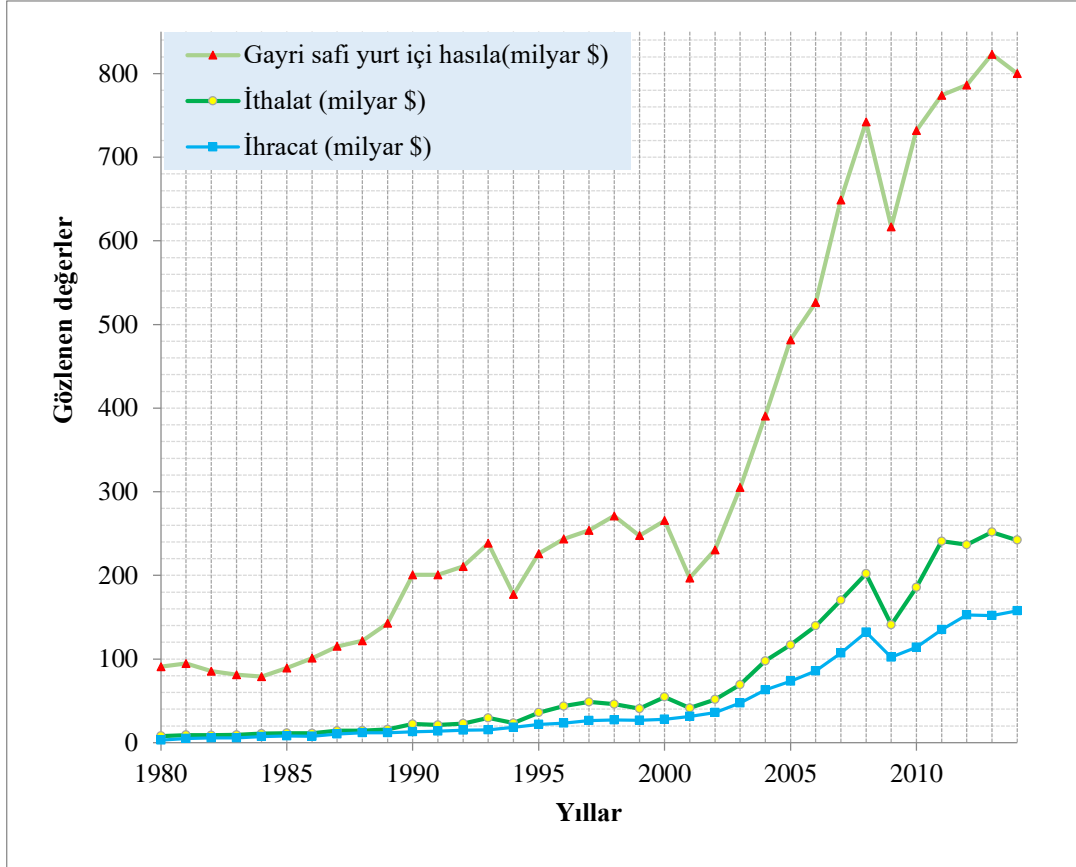
Elde edilen enerji tüketim verileri Şekil 1’de, nüfus verileri Şekil 2’de ve GSYİH, ithalat ve ihracat verileri ise Şekil 3’te sunulmuştur.



Şekil 1. Enerji tüketim verilerinin yıllara göre değişimi [2]



Şekil 2. Nüfus verilerinin yıllara göre değişimi [35]



Şekil 3. GSYİH, ithalat ve ihracat verilerinin yıllara göre değişimi [36, 37]

Nüfus, ithalat ve ihracat verileri (Türkiye İstatistik Kurumu) TÜİK'den elde edilmiştir [35, 36]. GSYİH değerleri Strateji ve Bütçe Başkanlığından [37] alınmıştır. Enerji tüketim verileri ise Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'ndan alınmıştır [2]. YSA modellerinin eğitimini kolaylaştırmak için giriş ve çıkış verileri [0.1, 0.9] aralığına indirgenmiştir. YSA'nın girdi ve çıktı katmanlarında kullanılan aktivasyon fonksiyonlarının daha etkin sonuçlar üretebilmesi için 0 yerine 0.1, 1 yerine 0.9 değerleri verilmesi daha uygun olmaktadır [38]. İndirgeme işlemi aşağıdaki denklem kullanılarak yapılmıştır.

$$\text{İndirgenen değer} = \left[\frac{\text{Ham değer} - \text{Minimum değer}}{\text{Maksimum değer} - \text{Minimum değer}} \right] \times (0.9 - 0.1) + 0.1 \quad 1$$

3.2. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks (ANNs))

Yapay sinir ağları enerji modellenmesi alanında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [4]. Bu çalışmada, enerji tüketimini tahmin etmek için çok katmanlı ileri beslemeli bir yapay sinir ağı yapısı kullanılmıştır. Seçilen yapay sinir ağı modeli bir ara katman, bir giriş katmanı ve bir çıkış katmanı olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. Geçmiş çalışmalar [4, 19, 39, 40, 41] incelendiğinde bir ara katmanlı YSA modellerinin oldukça iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Ayrıca tek ara katman kullanmak optimizasyon sürecini kısaltmaktadır. Bu nedenle bu çalışmadaki YSA modellerinde tek ara katman kullanılmıştır.

Ara katmandaki nöron sayısını belirlemek için 5, 10, 15 ve 20 değerleri girilip denemeler yapılmıştır. Aktivasyon fonksiyonu olarak, giriş katmanı ile ara katman arasında tanjant sigmoid fonksiyonu, ara katman ile çıkış katmanı arasında ise lineer fonksiyon kullanılmıştır. Geri yayılım (GY), YAK ve GKO algoritmaları YSA modellerinin eğitiminde kullanılmıştır.

YSA eğitiminde amaç fonksiyonu olarak ortalama karesel hata (OKH) kullanılmıştır. GY, YAK ve GKO algoritmaları amaç fonksiyonunu minimize etmeye çalışır. OKH aşağıdaki denklemle ile hesaplanır.

$$OKH = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (y_k - o_k)^2 \quad 2$$

Denklem 2’de o_k YSA’nın tahmin ettiği değer, y_k gerçek değer, ve n ise toplam veri sayısıdır.

3.3. Geri Yayılımlı Algoritma (Back Propagation Algorithm)

Rumelhart vd. [42] tarafından geliştirilen GY algoritması yapay sinir ağlarının eğitiminde kullanılan en eski ve yaygın yöntemlerden biridir [43]. GY algoritmasının amacı giriş verilerine en yakın çıkış verilerini üreten yapay sinir ağı ağırlıklarını bulmaktır. Giriş ve çıkış verileri arasında hesaplanan hata değeri ağırlık katmanlarına geri yayılır. Ağırlıklar hata fonksiyonuna katkı miktarlarına göre güncellenir. Bu değer aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta w_{ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} \quad 3$$

Denklem 3’de η ağırlık değerinde yapılacak değişimin miktarını belirleyen öğrenme katsayısıdır.

GY algoritması birçok çalışmada detaylı olarak anlatılmıştır [4, 39, 42]. Tekrara düşmemek için bu kısım mümkün olduğunca kısa tutulmuştur. GY algoritması yapay sinir ağlarının eğitiminde sıklıkla kullanılmasına rağmen, ezberleme problemin olması, yerel bir çözüme takılması, en uygun öğrenme ve momentum katsayılarının ayarlanma güçlüğü gibi bazı sakıncaları vardır. Bu sebeplerden dolayı ağırlık eğitilmesi güçleşmektedir.

3.4. Yapay Arı Kolonisi Algoritması (Artificial Bee Colony Algorithm)

YAK algoritması bal arılarının yiyecek arama davranışları modellenerek Karaboğa tarafından 2005 yılında geliştirilmiştir [44]. Algoritmada yiyecek kaynaklarının yerleri eniyileme problemine ait olası çözümlere, kaynakların nektar miktarı ise o kaynaklarla ilgili çözümlerin kalitesine (uygunluk) karşılık gelmektedir [39]. Bu çalışmada yapay sinir ağı modelindeki ağırlıklar çözüm parametrelerini oluşturmaktadır.

YAK algoritmasında üç çeşit arı vardır bunlar: işçi, gözcü ve kaşif arılardır. Algoritmanın ilkendirme aşamasında arama uzayındaki çözümlere karşılık gelen rastgele yiyecek kaynağı yerleri üretilir (Denklem 4) ve bu yerler için nektar miktarı (uygunluk değeri) hesaplanır (Denklem 5) [44].

$$x_{ij} = x_j^{\min} + rand(0, 1)(x_j^{\max} - x_j^{\min}) \quad 4$$

$$fit_i = \begin{cases} \frac{1}{1 + f_i} & \text{if } f_i \geq 0 \\ 1 + abs(f_i) & \text{if } f_i < 0 \end{cases} \quad 5$$

Burada $i = 1 \dots SN$; $j = 1 \dots D$; SN yiyecek kaynağı sayısı ve D ise optimize edilecek parametre sayısıdır. x_j^{\min} j. parametrenin alt sınırı, x_j^{\max} j. parametrenin üst sınırı, f_i ise amaç fonksiyonunun değeridir. Her işçi arı bu ilk kaynak yerlerinin komşuluğunda nektar miktarı daha fazla olan yeni kaynak yerleri bulmaya çalışır (Denklem 6) [39].

$$v_{ij} = x_{ij} + \varphi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad 6$$

x_i ile gösterilen her bir kaynak için bu kaynağın yani çözümün tek bir parametresi (rastgele seçilen parametresi, j) değiştirilerek x_i komşuluğunda v_i kaynağı bulunur. Burada j ve k sırasıyla $\{1, 2, \dots, D\}$ ve

$\{1,2,\dots, SN\}$ aralıklarında rastgele seçilen indislerdir. φ_{ij} ise $[-1,1]$ aralığında rastgele seçilen bir sayıdır [42].

Tüm görevli arılar bir çevrimde araştırmalarını tamamladıktan sonra kovana dönüp buldukları kaynakların nektar miktarları ile ilgili gözcü arılara bilgi aktarır. Gözcü arılar görevli arı tarafından sağlanan uygunluk (fit_i) değerini kullanarak bir olasılık değeri (Denklem 7) hesaplar. Bu olasılık değerine göre bir kaynak yeri seçer [42].

$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_{i=1}^{SN} fit_i} \quad 7$$

Bir arının gidip geldiği kaynağın nektarının tükenip tükenmediğinin belirlenmesi için kullanılan eşik değeri “limit” olarak adlandırılmaktadır. Bir kaynak için çözüm geliştirememeye sayacı limit değerinin üzerindeyse, bu kaynağın görevli arısı bu çözümü bırakarak kaşif arıya dönüşür ve kendisi için daha iyi bir çözüm aramaya başlar (Denklem 4). Bulunan yeni kaynak yeri daha iyi ise eski kaynak yeri unutulur ve iyi olan hafızada tutulur. Bu döngü maksimum çevrim sayısına kadar devam eder.

YAK algoritmasında üç adet kontrol parametresi vardır. Bunlardan ilki yiyecek kaynağı sayısıdır ve popülasyonun büyüklüğünün yarısına eşittir. Bu değer aynı zamanda görevli arı sayısına eşittir. İkincisi maksimum çevrim sayısı, üçüncüsü ise limit değeridir. YAK algoritması ile ilgili detaylı bilgi literatürdeki çalışmalarda [39, 44] bulunabilir.

3.5. Gri Kurt Optimizasyon Algoritması (Grey Wolf Optimizer Algorithm)

Çoğu evrimsel ve yapay zeka algoritmaları olasılık içeren algoritmalar olup bir problemin optimizasyon sürecinde popülasyon hacmi, yineleme hacmi gibi genel kontrol parametreleri gerektirmektedirler. Bu genel kontrol parametrelerinin yanı sıra, farklı algoritmalar kendi özel kontrol parametrelerini de gerektirmektedirler. Örneğin, GA, bir optimizasyon probleminin çözümünde mutasyon oranı, çaprazlama oranı ve seçim operatörlerini kullanırken, YAK algoritması, seyirci arı, işçi arı, izci arı gibi kendi özel kontrol parametrelerini kullanmaktadırlar. Bu eniyileme algoritmalarının performanslı çalışması bahsedilen bu kontrol parametrelerinin doğru kullanımına bağlıdır. Bu açıdan bakıldığında zaman kontrol parametresi az olan eniyileme algoritmalarının kullanımı daha cazip hale gelecektir.

Araştırmacı Mirjalili vd. [45] tarafından 2014’te geliştirilen ve GKO olarak adlandırılan bir başka optimizasyon algoritması, yukarıda sözü edilen kontrol parametrelerinin kullanımını en aza indirgeyerek oluşturulan bir yapay zeka algoritmasıdır. GKO algoritmasında kontrol parametresi olarak popülasyon büyüklüğü ve iterasyon sayısı kullanılır.

GKO algoritması gri kurtların doğadaki yiyecek arama davranışlarından ve liderlik hiyerarşisinden esinlenilerek geliştirilmiştir. Liderlik hiyerarşisini simüle etmek için GKO’da dört çeşit kurt vardır. Bunlar (α) alfa, (β) beta, (δ) delta ve (ω) omega’dır [45].

GKO’da en iyi çözüm (α) olarak adlandırılır. İkinci ve üçüncü en iyi çözüm ise sırasıyla (β) ve delta (δ) olarak adlandırılır. Geriye kalan aday çözümler ise (ω) olarak adlandırılır. Avlanma (optimizasyon) (α), (β) ve (δ) tarafından yönlendirilir. Optimizasyon sırasında kurtlar pozisyonlarını α , β yada δ etrafında aşağıdaki gibi güncellerler [46].

$$\vec{D} = \left| \vec{C} \cdot \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t) \right| \quad 8$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad 9$$

Denklem 8 ve 9'da, t mevcut iterasyonu gösterir. \vec{A} ve \vec{C} katsayı vektörleridir. \vec{X}_p ve \vec{X} ise sırasıyla avın bir gri kurdun konumunu gösteren vektörlerdir. \vec{A} ve \vec{C} vektörleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\vec{A} = 2 \cdot \vec{a} \cdot \vec{r}_1 - \vec{a} \quad 10$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r}_2 \quad 11$$

Denklem 10'da \vec{a} vektörünün bileşenleri optimizasyon sırasında 2'den sıfıra doğru lineer olarak azalır. \vec{r}_1 ve \vec{r}_2 ise $[0, 1]$ aralığında rastgele vektörlerdir. Bir gri kurt denklem 8 ve 9'u kullanarak konumunu, avın etrafındaki rastgele bir yer olarak değiştirebilir [45].

GKO algoritmasında, alfa, beta ve deltanın avın potansiyel yeri hakkında daha iyi bilgiye sahip olduğu varsayılmaktadır. Optimizasyon sırasında, şimdiye kadar elde edilen ilk üç en iyi çözüm sırasıyla α , β ve δ olarak kabul edilir. Daha sonra, diğer kurtlar ω olarak kabul edilir ve α , β ve δ 'ya göre yeniden konumlandırılabilir [45, 46]. ω kurtlarının konumunu yeniden ayarlamak için önerilen matematiksel ifade şu şekildedir:

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_\alpha - \vec{X}| \quad 12$$

$$\vec{D}_\beta = |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X}| \quad 13$$

$$\vec{D}_\delta = |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X}| \quad 14$$

yukarıda \vec{X}_α , \vec{X}_β ve \vec{X}_δ sırasıyla alfa, beta ve deltanın konumunu gösterir. \vec{C}_1 , \vec{C}_2 ve \vec{C}_3 rastgele vektörlerdir. \vec{X} ise mevcut çözümün konumunu gösterir. Denklem 12, 13 ve 14, mevcut çözüm ile alfa, beta ve delta arasındaki yaklaşık mesafeyi hesaplar. Mesafeleri belirledikten sonra, mevcut çözümün son konumu aşağıdaki gibi hesaplanır [45, 46].

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \cdot (\vec{D}_\alpha) \quad 15$$

$$\vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot (\vec{D}_\beta) \quad 16$$

$$\vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot (\vec{D}_\delta) \quad 17$$

$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3} \quad 18$$

yukarıda \vec{A}_1 , \vec{A}_2 ve \vec{A}_3 rastgele vektörlerdir, t ise iterasyon sayısını gösterir.

GKO algoritmasının genel adımları aşağıdaki gibidir:

- Değişkenlerin üst ve alt sınırlarına bağlı olarak rastgele bir kurt popülasyonu başlat.
- Her bir kurt için karşılık gelen amaç fonksiyonu değerini hesapla.
- İlk üç en iyi kurdu seç ve bunları α , β ve δ olarak kaydet.

- Nüfusun geri kalanının (ω kurtlarının) konumunu denklem 12'den 16'ya kadar olan denklemleri kullanarak güncelle.
- α , A ve C parametrelerini güncelle.
- En iyi yakınsanan değer olarak α 'nın konumuna geri dön.

GKO algoritması ile ilgili detaylı bilgi literatürdeki çalışmalarda [45, 46] bulunabilir.

3.6. GY, YAK ve GKO Algoritmaları ile YSA Eğitimi (ANN's Training with BP, ABC, and GWO algorithms)

Bu çalışmada GY, YAK ve GKO algoritmaları kullanılarak YSA eğitilmiştir. Algoritmaların amacı YSA için seçilen amaç fonksiyonun değerini en aza indirmektir. Eğitim sırasında amaç fonksiyonu en aza indirgenirken, ağırlık değerleri de sürekli güncellenir. Eğitim süreci, amaç fonksiyonu kabul edilebilir bir değere inene kadar ya da istenilen koşurma sayısına ulaşıncaya kadar devam eder. Bu çalışmada amaç fonksiyonu olarak OKH (Denklem 1) seçilmiştir.

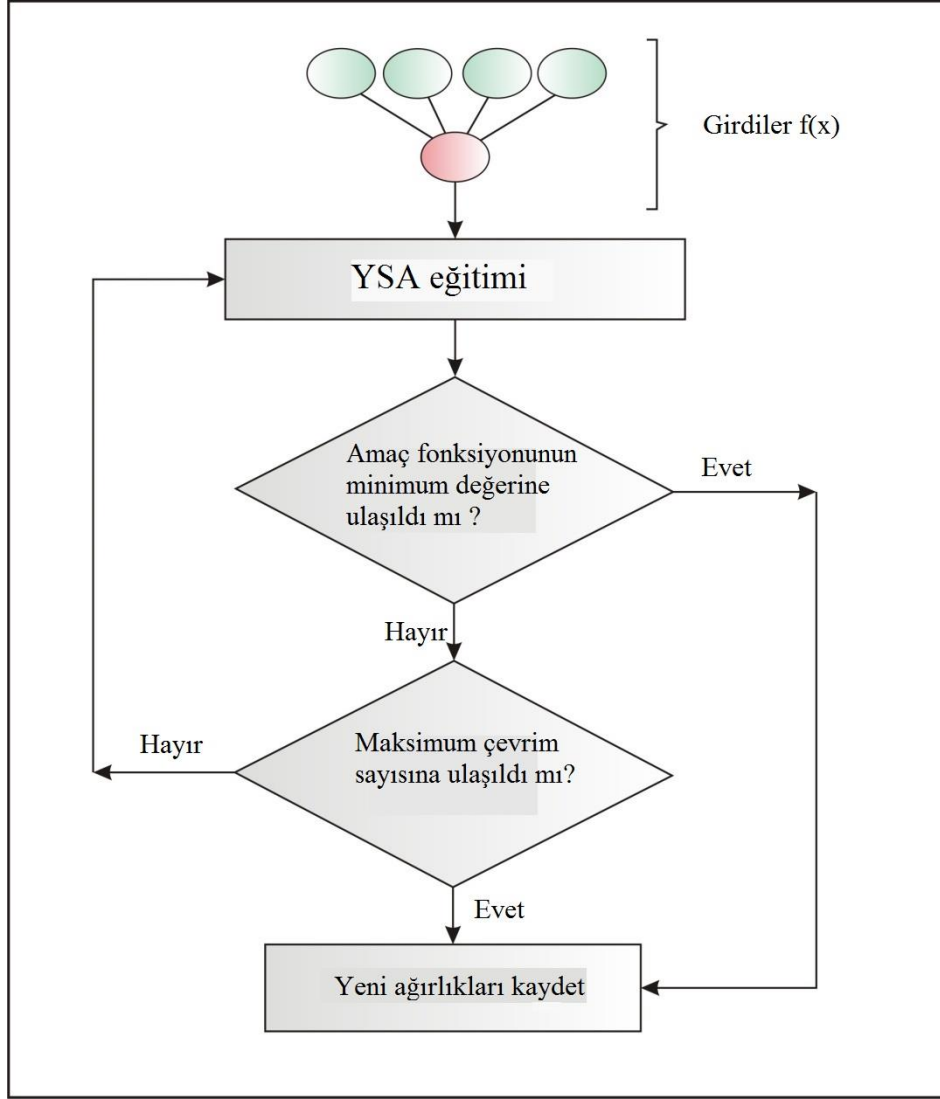
Eğitilen YSA modellerinin performansını hesaplamak için ortalama rölatif hata (RH), ortalama karesel hataların karekökü (OKHK) ve ortalama mutlak hata (OMH) kullanılmıştır. Bu hata değerleri YSA tarafından tahmin edilen enerji tüketim değerlerinin (y_k) gerçek enerji tüketim değerlerine (o_k) ne kadar yaklaştığını gösterir. Ortalama RH, OKHK ve OMH aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{ortalama RH} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{y_k - o_k}{y_k} \right)}{n} \times 100 \quad 19$$

$$\text{OKHK} = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_k - o_k)^2 \right]^{1/2} \quad 20$$

$$\text{OMH} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(y_k - o_k)| \quad 21$$

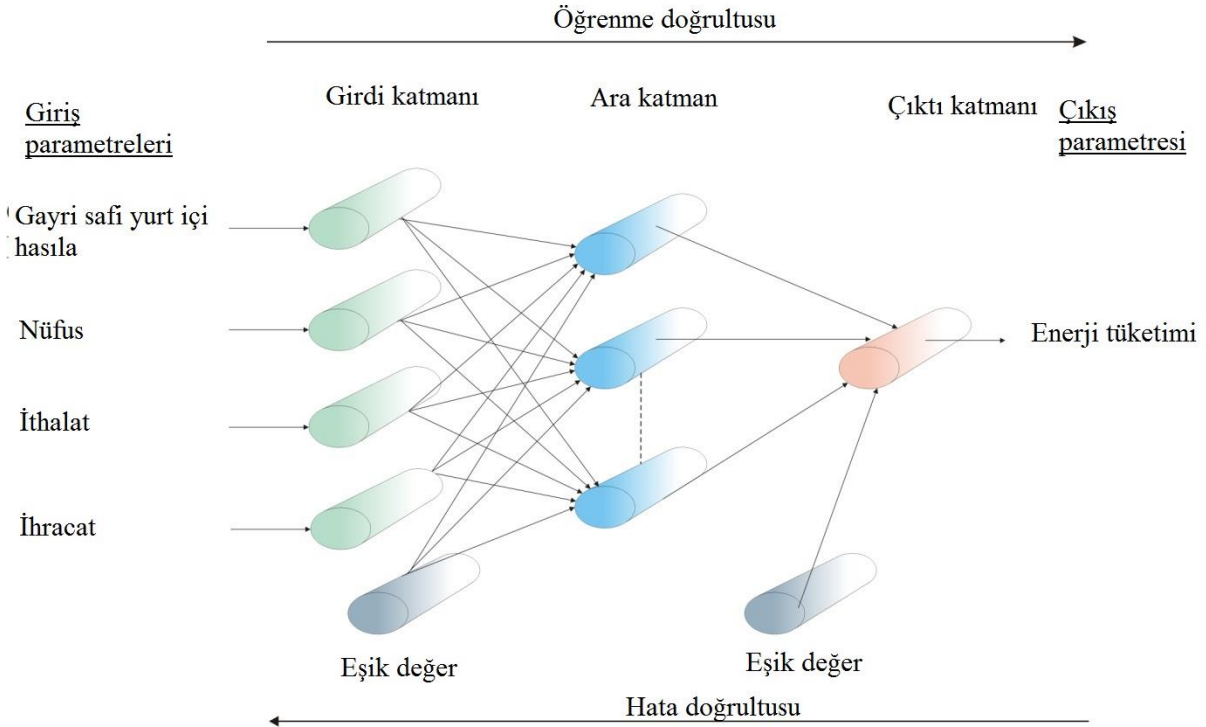
YAK ve GKO algoritmalarında ortak kontrol parametreleri olan maksimum iterasyon sayısı ve popülasyon büyüklüğü sırasıyla 5,000 ve 50 olarak seçilmiştir. Ayrıca YAK algoritmasında, limit değeri ve gözcü arı sayısı sırasıyla 100 ve 25 olarak ayarlanmıştır. YSA'nın ağırlık değerleri için çözüm aralığı [-1, 1] ve amaç fonksiyonun indirgeneceği en küçük değer 8×10^{-8} olarak seçilmiştir. YSA eğitimi için akış şeması Şekil 4'te sunulmaktadır.



Şekil 4. YSA için önerilen eğitim şeması

4. TAHMİN MODELİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ (PERFORMANCE EVALUATION OF FORECASTING MODEL)

Şekil 5'ten görüldüğü gibi, geliştirilen model için üç katmanlı bir ağ seçilmiştir. GSYİH, nüfus, ithalat ve ihracat verileri YSA modelinin girdi katmanında kullanılmıştır. Enerji tüketimi ise çıktı katmanında kullanılmıştır. GY, YAK ve GKO algoritmaları YSA'yı eğitmek için kullanılmıştır. Tablo 2'de üç farklı algoritma için YSA eğitiminden elde edilen en küçük yakınsama değerleri sunulmaktadır.



Şekil 5. Enerji tüketimi için önerilen YSA modeli

Tablo 2. YSA Eğitimi için GY, YAK ve GKO Algoritmalarının En İyi Yakınsama Değerleri

YSA yapısı	MSE		
	GY Algoritması	YAK Algoritması	GKO Algoritması
4-5-1	12.374	4.359	7.906
4-10-1	7.741	3.958	2.834
4-15-1	7.710	10.815	4.807
4-20-1	6.764	6.154	5.148

Not: Koyu yazılan değer önerilen model için hata değerini göstermektedir.

En küçük yakınsama değerleri YSA-GY (4-20-1), YSA-YAK (4-5-1) ve YSA-GKO (4-10-1) için sırasıyla 6.764, 4.359 ve 2.834 olarak bulunmuştur. Tablo 2'deki değerlerden görüleceği üzere GKO algoritması YSA eğitiminde GY ve YAK algoritmasından daha iyi performans göstermiştir. Fakat eğitilen modellerin tahmin yeteneklerinin doğruluğuna karar verirken test setinin hataları dikkate alınmıştır. Tablo 3'te eğitilen YSA modellerinin test seti için hesaplanan hata değerleri sunulmaktadır. Tablo 2 ve Tablo 3'teki değerler incelendiğinde hem eğitim hem de test seti için en küçük hata değerleri ara katmanında 10 eleman bulunan YSA-GKO (4-10-1) modelinden elde edilmiştir. Önerilen YSA-GKO (4-10-1) modeli için hesaplanan ortalama RH, OKHK ve OMH değerleri sırasıyla 1.252, 2.114 ve 1.349'dur.

Tablo 3. Test Seti için Modellerin Sonuçları

YSA yapısı	Ortalama rölatif hata (%)			OKHK (Mtoe)			OMH (Mtoe)		
	GY	YAK	GKO	GY	YAK	GKO	GY	YAK	GKO
4-5-1	2.223	1.561	1.304	2.932	2.566	2.211	2.514	1.692	1.395
4-10-1	2.186	1.357	1.252	2.938	2.317	2.114	2.417	1.456	1.349
4-15-1	2.035	1.841	1.296	3.482	2.652	2.464	2.201	2.044	1.369
4-20-1	1.811	1.307	1.292	2.874	2.446	2.344	1.954	1.388	1.376

Not: Koyu yazılan değerler önerilen model için hata değerleridir.

Kıran vd. [28], Canyurt vd. [22], Ceylan vd. [23], Ceylan ve Ozturk [24], Ediger ve Akar [29], ve Uzlu vd. [4] tarafından Türkiye için geliştirilen enerji tüketim tahmin modellerinin ortalama rölatif hata değerleri sırasıyla 2.77%, 2.72%, 1.77%, 6.16%, 3.3% ve 1.50%'dir. Görüldüğü gibi tüm rölatif hata değerleri önerilen YSA-GKO modelinin hata değerinden yüksektir. Fakat literatürdeki modellerin eğitim ve test aşamalarında farklı zaman aralıklarındaki veriler kullanıldığı için, bu durum önerilen modelin literatürdeki modellerden daha iyi olduğu anlamına gelmemektedir.

Fakat Tefek vd. [34] enerji tüketim tahmin modellerini geliştirmek için 1980'den 2010'a kadar olan verileri eğitim, 2011'den 2014'e kadar olan verileri ise geliştirdikleri modeli test etmek için kullanmışlardır. Bu çalışmada ise test seti için 2008'den 2014'e kadar olan veriler kullanılmıştır. Tefek vd. [34] ve bu çalışmada geliştirilen model arasında bir karşılaştırma yapabilmek için 2011 ve 2014 arasındaki enerji tüketim değerleri dikkate alınarak hata değerleri hesaplanmıştır. Tefek vd. [34] ve bu çalışmada geliştirilen modellerin 2011 ve 2014 arasındaki enerji tüketim verileri dikkate alınarak hesaplanan ortalama RH değerleri sırasıyla 0.920 ve 0.517, OKHK değerleri ise sırasıyla 1.171 ve 0.705'dir. Sonuçlar önerilen modelin Tefek vd. [34] tarafından geliştirilen modelden daha iyi tahmin yaptığını göstermektedir.

5. ENERJİ TÜKETİMİNİN GELECEKTEKİ TAHMİNLERİ (FUTURE PREDICTIONS OF ENERGY CONSUMPTION)

İki farklı senaryo kullanılarak Türkiye'nin 2015 ve 2023 yılları arasındaki enerji tüketim değerleri tahmin edilmiştir. Senaryolarda kullanılan verilerin bir kısmı devlet raporlarından diğerleri ise orjinal büyüme oranları dikkate alınarak elde edilmiştir. Senaryolarda kullanılan nüfus verileri TÜİK'ten alınmıştır [35]. Tüm Senaryolar ve senaryolarda kullanılan GSYİH, nüfus, ithalat ve ihracat değerleri sırasıyla Tablo 4 ve 5'te sunulmaktadır.

Tablo 4. Senaryolarda Kullanılan GSYİH, Nüfus, İthalat ve İhracat Değerleri

Yıl	GSYİH (milyar \$)	Nüfus (10 ⁶)	İthalat (Milyar \$)		İhracat (Milyar \$)	
	Büyüme oranı 6.82%	TÜİK [35]	Büyüme oranı 11.20%	TİM [47]	Büyüme oranı 13.17%	TİM [47]
2015	854.674	78.151	269.301	272.689	178.367	204.877
2016	912.963	78.965	299.463	304.048	201.858	228.438
2017	975.227	79.766	333.002	339.013	228.443	254.709
2018	1,041.738	80.551	370.299	378.000	258.529	284.000
2019	1,112.784	81.321	411.772	397.199	292.577	317.759
2020	1,188.676	82.076	457.890	444.863	331.109	355.890
2021	1,269.743	82.816	509.174	498.246	374.717	398.597
2022	1,356.340	83.540	566.201	558.036	424.067	446.429
2023	1,448.843	84.247	629.616	625.000	479.916	500.000

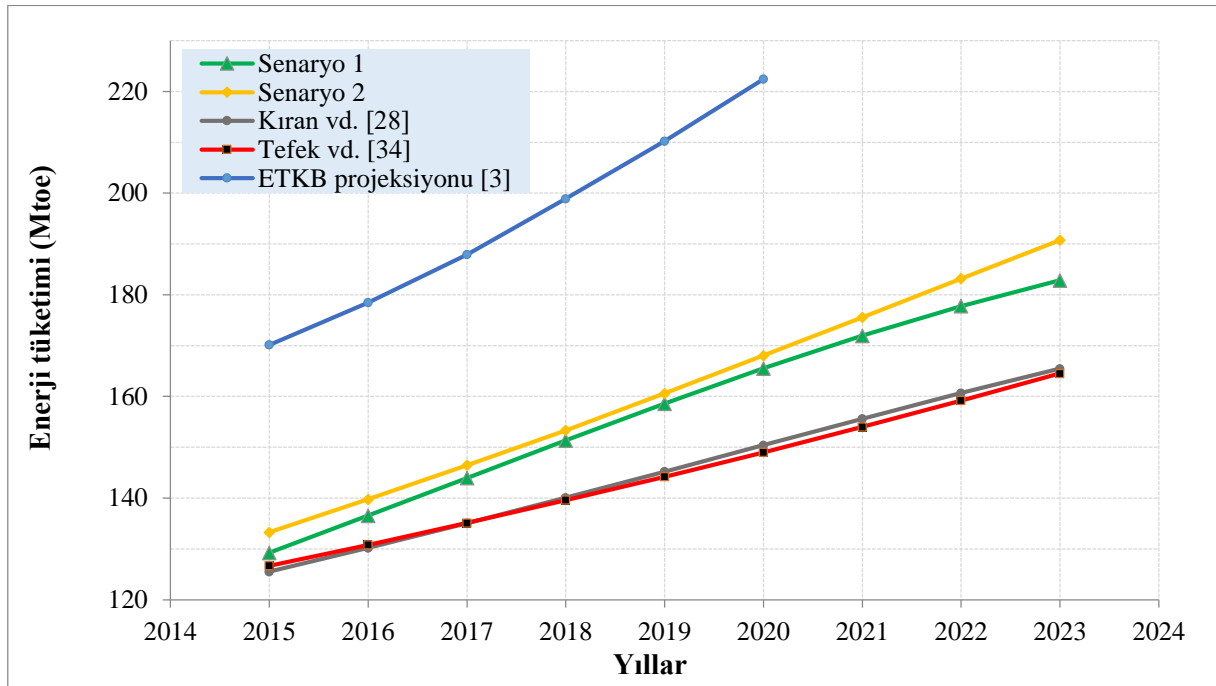
Tablo 5. Türkiye'nin Enerji Tüketimi için Senaryolar

Senaryolar	GSYİH	Nüfus	İthalat	İhracat
Senaryo 1	Gerçek büyüme oranı (yaklaşık 6.82%)	TÜİK'den alınan nüfus verileri [35]	Gerçek büyüme oranı (yaklaşık 11.20%)	Gerçek büyüme oranı (yaklaşık 13.17%)
Senaryo 2	Gerçek büyüme oranı (yaklaşık 6.82%)	TÜİK'den alınan nüfus verileri [35]	TİM raporundan alınan veriler [47]	TİM raporundan alınan veriler [47]

Elde edilen gelecek enerji tüketim değerleri ve bu değerlerin Kıran vd. [28], Tefek vd. [34], ve ETKB [3] tarafından yapılan tahminlerle karşılaştırılması Şekil 6 ve Tablo 6'da sunulmaktadır. Şekil 6 ve Tablo 6 incelendiğinde, senaryo 1'in senaryo 2'den daha düşük değerler verdiği, Kıran vd. [28] ve Tefek vd. [34] tarafından yapılan tahminlerin benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca tüm senaryolar ve literatürdeki çalışmaların [28, 34] ETKB tarafından yapılan projeksiyondan daha düşük değerler verdiği tespit edilmiştir. ETBK [2] verilerine göre 2015, 2016 ve 2017 yılları için gerçekleşen enerji tüketim değerleri 129.14, 136.23 ve 145.31 Mtoe'dir. 2015-2017 dönemi gerçek enerji tüketim verileri kullanılarak bu çalışma ve literatürdeki çalışmalardan elde edilen enerji tüketim tahminleri için rölatif hatalar hesaplanmış ve Tablo 6'da sunulmuştur. Tablo 6'daki verilere göre 2015-2017 dönemi için ortalama RH değerleri senaryo 1, senaryo 2, Kıran vd. [28], Tefek vd. [34] ve ETBK projeksiyonu [3] için sırasıyla 0.41%, 2.20%, 4.76%, 4.3% ve 30.69%'dur. Sonuç olarak iki senaryoya göre Türkiye'nin 2023'deki enerji tüketimi 183 ile 191 Mtoe arasında değişecektir. Kıran vd. [28] göre bu değer yaklaşık 165 Mtoe, Tefek vd. [34] göre ise yaklaşık 164 Mtoe'dir.

Tablo 6. Kıran vd. [28], Tefek vd. [34], ETKB Projeksiyonu [3] ve Senaryolara Göre Gelecekteki Enerji Tüketim ve Rölatif Hata Değerleri

Yıl	Senaryo 1 (Mtoe)	RH (%)	Senaryo 2 (Mtoe)	RH (%)	Kıran vd. [28] (Mtoe)	RH (%)	Tefek vd. [34] (Mtoe)	RH (%)	ETKB projeksiyonu [3] (Mtoe)	RH (%)
2015	129.24	0.08	133.27	3.2	125.53	2.79	126.70	1.89	170.15	31.76
2016	136.54	0.23	139.77	2.6	130.19	4.43	130.80	3.99	178.46	31.00
2017	143.96	0.93	146.47	0.80	135.04	7.06	135.10	7.02	187.92	29.33
2018	151.36	-	153.35	-	140.07	-	139.60	-	198.91	-
2019	158.60	-	160.60	-	145.21	-	144.20	-	210.24	-
2020	165.52	-	168.03	-	150.41	-	149.00	-	222.42	-
2021	171.96	-	175.58	-	155.59	-	154.00	-	-	-
2022	177.77	-	183.19	-	160.66	-	159.20	-	-	-
2023	182.85	-	190.76	-	165.47	-	164.50	-	-	-

**Şekil 6.** İki senaryonun, ETKB [3], Kıran vd. [28] ve Tefek vd. [34] tarafından yapılan tahminlerle karşılaştırılması

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada Türkiye'nin 1980 ve 2023 yılları arasında enerji tüketim değerleri GSYİH, nüfus, ithalat ve ihracat dayalı olarak modellenmiştir. Test seti için hesaplanan ortalama RH, OKHK ve OMH değerleri dikkate alındığında, önerilen YSA-GKO modeli enerji tüketimini YSA-GY ve YSA-YAK modellerinden daha iyi tahmin etmiştir. Bu nedenle 2015 ve 2023 yılları arasında Türkiye'nin enerji tüketim değerlerini tahmin etmek için YSA-GKO algoritması kullanılmıştır. Senaryoların sonuçları literatürdeki çalışmalar [28, 34] ve ETKB [3] tarafından yapılan tahminlerle karşılaştırılmıştır. Her iki senaryo da ETKB projeksiyonundan daha düşük değerler verirken, Kıran vd. [28] ve Tefek vd. [34] tarafından yapılan tahminlerden daha büyük değerler tahmin etmiştir. Bu çalışmaya göre RH, OKHK ve OMH değerleri sırasıyla 1.252, 2.114 ve 1.349'dur. Bu değerlere göre GKO algoritmasının bu çalışmadaki sonuçları kabul

edilebilir doğruluktadır. Bu nedenle GKO algoritmasının enerji modellenmesi alanında kullanımı gelecekteki çalışmalar için teşvik edilmelidir.

GKO algoritmasında kurtlar alfa, beta, delta ve omega olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmadan ötürü parametre sayısının artması bir dezavantaj olarak görülebilir. Bu parametrelerin uygun yöntemlerle azaltılması algoritmayı daha kullanışlı hale getirebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi (BOTAŞ). 2015 Sektör raporu https://www.botas.gov.tr/docs/raporlar/tur/sektorap_2015.pdf. Erişim Tarihi Temmuz, 10, 2018.
- [2] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). İstatistikler, denge tabloları <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tabloları/Denge-Tabloları>. Erişim Tarihi Temmuz, 12, 2018.
- [3] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). Enerji ve tabii kaynaklar bakanlığı ile bağlı ve ilgili kuruluşlarının amaç ve faaliyetleri. http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FMavi%20Kitap%2FMavi%20Kitap_2012.pdf. Erişim Tarihi Temmuz, 17, 2018.
- [4] E. Uzlu, M. Kankal, A. Akpınar, T. Dede, Estimates of energy consumption in Turkey using neural networks with the teaching-learning-based optimization algorithm, *Energy* 75 (2014) 295–303.
- [5] B. Guo, Y. Wang, A. Zhang, China's energy future: leap tool application in China, *East Asia Energy Futures (EAEF)*. In: Asia energy security project energy paths analysis, methods training workshop, vancouver, British Columbia, Canada;2003.
- [6] S.W. Yu, Y.M. Wei, K. Wang, A PSO-GA optimal model to estimate primary energy, *Energy Policy* 42 (2012) 329–340.
- [7] Y. Fan, Y. Xia, Exploring energy consumption and demand in China, *Energy* 40 (2012) 23–30.
- [8] Y.R. Zeng, Y. Zeng, B. Choi, L. Wang, Multifactor-influenced energy consumption forecasting using enhanced back-propagation neural network, *Energy* 127 (2017) 381–396.
- [9] X. Wang, D.L. Xu, Z.Z. Sun. Estimates of energy consumption in China using a self-adaptive multi-verse optimizer-based support vector machine with rolling cross-validation, *Energy* 152 (2018) 539–548.
- [10] Z.W. Geem, W.E. Roper, Energy demand estimation of South Korea using artificial neural network, *Energy Policy* 37 (2009) 4049–4054.
- [11] L. Ekonomou, Greek long-term energy consumption prediction using artificial neural networks, *Energy* 35 (2010) 512–517.
- [12] O.A. Oludolapo, A.A. Jimoh, P.A. Kholopane, Comparing performance of MLP and RBF neural network models for predicting South Africa's energy consumption, *Journal of Energy in South Africa* 23 (2012) 40–6.
- [13] K. Muralitharan, R. Sakthivel, R. Vishnuvarthan, Neural network based optimization approach for energy demand prediction in smart grid, *Neurocomputing* 273 (2018) 199–208.
- [14] P. Sutthichaimethee, D. Ariyasajjakorn, Forecasting energy consumption in short-term and long-term period by using arimax model in the construction and materials sector in Thailand, *Journal of Ecological Engineering* 18 (2017) 52–59.
- [15] M.A. Behrang, E. Assareh, M.R. Assari, A. Ghanbarzadeh, Total energy demand estimation in Iran using bees algorithm, *Energy Sources, B: Economics, Planning and Policy* 6 (2011) 294–303.
- [16] A. Sozen, E. Arcaklioglu, Prediction of net energy consumption based on economic indicators (GNP and GDP) in Turkey, *Energy Policy* 35 (2007) 4981–4992.

- [17] A. Sozen, E. Arcaklioglu, M. Ozkaymak, Turkey's net energy consumption, *Applied Energy* 81 (2005) 209–221.
- [18] A. Sozen, M.A. Akcayol, E. Arcaklioglu, Forecasting net energy consumption using artificial neural network, *Energy Sources, B: Economics, Planning and Policy* 1 (2006) 147–155.
- [19] M. Kankal, A. Akpinar, M.I. Komurcu, T.S. Ozsahin, Modeling and forecasting of Turkey's energy consumption using socio-economic and demographic variables, *Applied Energy* 88 (2011) 1927–1939.
- [20] H.A. Es, F.Y. Kalender, C. Hamzaçebi, Forecasting the net energy demand of Turkey by artificial neural networks, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 29 (2014) 495–504.
- [21] H.K. Ozturk, O.E. Canyurt, A. Hepbasli, Z. Utlu, Residential–commercial energy input estimation based on genetic algorithm approaches: an application of Turkey, *Energy and Buildings* 36 (2004) 175–183.
- [22] O.E. Canyurt, H. Ceylan, H.K. Ozturk, A. Hepbasli, Energy demand estimation based on two-different genetic algorithm approaches, *Energy Sources* 26 (2004) 1313–1320.
- [23] H. Ceylan, H.K. Ozturk, A. Hepbasli, Z. Utlu Estimating energy and exergy production and consumption values using three different genetic algorithm approaches, part 2: application and scenarios, *Energy Sources* 27 (2005) 629–639.
- [24] H. Ceylan, H.K. Ozturk, Estimating energy demand of Turkey based on economic indicators using genetic algorithm approach, *Energy Conversion and Management* 45 (2004) 2525–2537.
- [25] M.D. Toksari, Ant colony optimization approach to estimate energy demand of Turkey, *Energy Policy* 35 (2007) 3984–3990.
- [26] A. Unler, Improvement of energy demand forecasts using swarm intelligence: The case of Turkey with projections to 2025, *Energy Policy* 36 (2008) 1937–1944.
- [27] M.S. Kıran, M. Gunduz, A recombination–based hybridization of particle swarm optimization and artificial bee colony algorithm for continuous optimization problems, *Applied Soft Computing* 13 (2013) 2188–2203.
- [28] M.S. Kıran, E. Ozceylan, M. Gunduz, T. Paksoy, A novel hybrid approach based on Particle Swarm Optimization and Ant Colony Algorithm to forecast energy demand of Turkey, *Energy Conversion and Management* 53 (2012) 75–83.
- [29] V.S. Ediger, S. Akar, ARIMA forecasting of primary energy demand by fuel in Turkey, *Energy Policy* 35 (2007) 1701–1708.
- [30] M. Mucuk, D. Uysal Turkey's energy demand, *Current Research Journal of Social Sciences* 1 (2009) 123–128.
- [31] N.P. Say, M. Yucel, Energy consumption and CO₂ emissions in Turkey: Empirical analysis and future projection based on an economic growth, *Energy Policy* 34 (2006) 3870–3876.
- [32] G. Aydin, Modeling of energy consumption based on economic and demographic factors: the case of Turkey with projections, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 35 (2014) 382–389.
- [33] V.S. Ediger, H. Tatlıdil, Forecasting the primary energy demand in Turkey and analysis of cyclic patterns, *Energy Conversion and Management* 43 (2002) 473–487.
- [34] M.F. Tefek, H. Uğuz, M. Güçyetmez, A new hybrid gravitational search–teaching–learning-based optimization method for energy demand estimation of Turkey, *Neural Computing and Applications* 2017. <http://dx.doi.org/10.1007/s00521-017-3244-9>.

- [35] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). Nüfus ve demografi, nüfus istatistikleri. <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>. Erişim Tarihi Temmuz, 17, 2018.
- [36] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). Dış ticaret, yıllara göre dış ticaret. <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>. Erişim Tarihi Temmuz, 17, 2018.
- [37] Strateji ve Bütçe Başkanlığı (SBB), Ekoomik ve sosyal göstegeler, milli gelir ve ürerim <http://www.sbb.gov.tr/Pages/EkonomikSosyalGostergeler.aspx>. Erişim Tarihi Temmuz, 17, 2018.
- [38] M. Kankal, Ö. Yüksek, Artificial neural network approach for assessing harbor tranquility: The case of Trabzon Yacht Harbor, Turkey, *Applied Ocean Research* 38 (2012) 23–31.
- [39] E. Uzlu, A. Akpınar, H.T. Öztürk, S. Nacar, M. Kankal, Estimates of hydroelectric generation using neural networks with artificial bee colony algorithm for Turkey, *Energy* 69 (2014) 638–647.
- [40] M. Kankal, E. Uzlu, Neural network approach with teaching-learning-based optimization for modeling and forecasting long-term electric energy demand in Turkey, *Neural Computing and Applications* 28 (2017) 737–747.
- [41] M. Sinecen, B. Kaya, Ö. Yıldız, Aydın ilinde insan sağlığını birincil dereceden etkileyen hava değişkenlerine yönelik yapay sinir ağı tabanlı erken uyarı modeli, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji* 5(4) (2017) 121–131.
- [42] D.E. Rumelhart, G.E. Hinton, R.J. Williams, Learning representations by back–propagating errors, *Nature* 323 (1986) 533–536.
- [43] V. Gümüş, A. Başak, K. Yengün, Yapay sinir ağları ile Şanlıurfa istasyonunun kuraklığının tahmini, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji* 6(3) (2018) 621–633.
- [44] D. Karaboga, An idea based on honey bee swarm for numerical optimization. Technical Report-TR06, Erciyes University Engineering Faculty Computer Engineering Department; 2005.
- [45] S. Mirjalili, M.S. Mirjalili, A. Lewis, Grey wolf optimizer. *Advances in Engineering Software* 69 (2014) 46–61.
- [46] S. Mirjalili, How effective is the Grey Wolf optimizer in training multi-layer perceptrons, *Applied Intelligence* 43 (2015) 150–161.
- [47] Türkiye İhracatçılar Meclisi (TİM). 2023 Türkiye ihracat stratejisinin uygulamaya aktarılması ve sektörel kırılımı. <http://www.tim.org.tr/files/downloads/2023/tim%202023%20ihracat%20stratejisi%20raporu.pdf>. Erişim Tarihi Temmuz, 17, 2018.



Investigation of the Wear and Machinability Properties of Laser Coated AA7075 Aluminum Alloy Materials

Tuncay ŞİMŞEK^{1,*} Adnan AKKURT²

¹Mersini Üniversitesi, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü, 33343, Yenişehir/MERSİN

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 18/01/2019
Revision 04/03/2019
Accepted: 29/03/2019

Highlights

- Laser coating of ZrB₂ nanoparticles on AA7075 aluminum alloys substrate
- Detailed structural, morphological investigations of coated layers
- Wear resistance of coated layers

Keywords

Laser coating
Zirconium diboride
Abrasive water-jet
Wire-electrical discharge machining
Machinability

In this study, ZrB₂ nanoparticles were coated on the surface of AA7075 aluminum alloy with CO₂ laser. Then, coated layers were cut with abrasive water jet, wire-electrical discharge machining, laser and abrasive disc to determine the machinability properties of the layers. Phase structures and morphological properties of the coating layer were investigated by X-Ray diffractometer, scanning electron microscopy, and optical microscope. The wear resistance and hardness of the coating layers were determined by ball-on-disc wear device and microhardness device.

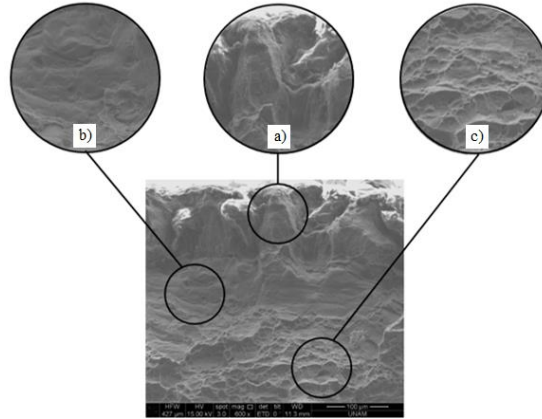


Figure A. SEM image of coated layers

Purpose: In this study, ZrB₂ nanoparticles which is synthesized by the mechanochemical method were coated on the surface of AA7075 aluminum alloy with CO₂ laser and characterized. After that the machinability properties of the coated layers were investigated by cut the layers with abrasive water jet, wire-electrical discharge machining, laser and abrasive disc, respectively.

Theory and Methods: In present study, two-step coating method was used for laser coating. At first stage, Zirconium diboride nanoparticles were mixed with resin and pre-placed on AA7075 aluminum substrate. At second stage, laser scanning speed and laser powers were changed and substrate surfaces were scanned. After coating processes, the machinability properties of laser coated layers were investigated by cut the layers with abrasive water jet, wire-electrical discharge machining, laser and abrasive disc, respectively. For characterization optic microscopy, X-Ray diffractometer, scanning electron microscopy, ball-on-disc wear device and microhardness devices were used.

Results: Despite the usage of different laser powers and scanning speeds applied, all coating layers composed of fractures and pores due to the high differences in melting temperatures of the ZrB₂ and aluminum alloy substrate. It was seen that hardness of substrate was increased from 110 HV to 190 HV after coating processes. It has been determined that the most suitable cutting method is the abrasive disc cutting method for laser coated samples.

Conclusion: In this study, ZrB₂ nanoparticles were coated by CO₂ laser on the surface of AA7075 aluminum alloy. The coating thickness were found as 87 µm, after processing with 70 W laser power and 1000 mm/min laser scanning speed. It was seen that wear resistance of laser coated layers were increased significantly and hardness of substrate was increased from 110 HV to 190 HV after laser coating processes.



Lazer ile Kaplanan AA7075 Alüminyum Alaşımı Malzemelerin Aşınma ve İşlenebilirlik Özelliklerinin Araştırılması

Tuncay ŞİMŞEK^{1,*} Adnan AKKURT²

¹Mersini Üniversitesi, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü, 06374, Çiftlikköy/MERSİN

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Öz

Bu çalışmada, mekanokimyasal yöntemle sentezlenmiş ZrB₂ nanoparçacıkları CO₂ lazeri ile AA7075 alüminyum alaşımı yüzeyine kaplanmıştır. Lazer gücünün ve lazer tarama hızının kaplama tabakaları üzerindeki etkilerini belirlemek için iki farklı deney seti gerçekleştirilmiştir. İlk deney setinde 1000 mm/dak tarama hızı sabit tutularak 50, 70 ve 100 W lazer güçlerinde, diğer deney setinde ise 70 W lazer gücü sabit tutularak 300, 500 mm/dak tarama hızlarında kaplama deneyleri yapılmıştır. Kaplama tabakasının faz yapıları ve morfolojik özellikleri X-ışınları kırınım difraktometresi, taramalı elektron mikroskobu ve optik mikroskop ile incelenmiştir. Kaplama tabakalarının aşınma dayanımları ve sertlikleri ball-on-disk aşınma cihazı ve mikrosertlik cihazı ile belirlenmiştir. Daha sonra kaplanmış numunelerin işlenebilirlik özelliklerini tespit etmek için, numuneler sırasıyla aşındırıcı su jeti, tel erozyon, lazer ve aşındırıcı disk ile kesilerek karakterize edilmiştir. Kaplama işlemi sonrasında ana metalin sertliğinin 110 HV'den 190 HV'ye çıktığı tespit edilmiştir. Diğer yöntemlere kıyasla ısı girdisinin minimum olmasından dolayı aşındırıcı su jeti ön plana çıkmasına rağmen, en az tahribat aşındırıcı disk ile kesmede gözlenmiştir. Lazer yöntemiyle kaplanan numuneler için en uygun kesme yönteminin aşındırıcı disk ile kesme yöntemi olduğu tespit edilmiştir.

Investigation of the Wear and Machinability Properties of Laser Coated AA7075 Aluminum Alloy Materials

Abstract

In this study, ZrB₂ nanoparticles which is synthesized by the mechanochemical method were coated on the surface of AA7075 aluminum alloy with CO₂ laser. Two different experimental sets were performed to determine the effect of laser power and laser scanning speed on coating layers. At the first experimental set, the scanning speed of 1000 mm / min was kept constant, and experiments were performed at 50, 70 and 100W laser powers, in the other experiment set, 70W laser power was kept constant and experiments were performed at 300, 500 mm / min scanning speed. Phase structures and morphological properties of the coating layer were investigated by X-Ray diffractometer, scanning electron microscopy, and optical microscope. The wear resistance and hardness of the coating layers were determined by ball-on-disc wear device and microhardness device. To determine the machinability properties, the coated samples are then cut with abrasive water jet, wire erosion, laser and abrasive disc, respectively, and characterized. It was determined that the hardness of substrate increased from 110 HV to 190 HV after coating processes. In spite of the minimal heat input compared to other methods, although the abrasive water jet was prominent, the least damage was observed in the cutting with abrasive disc. It has been determined that the most suitable cutting method is the abrasive disc cutting method for laser coated samples.

Makale Bilgisi

Başvuru: 18/01/2019

Düzeltilme: 04/03/2019

Kabul: : 29/03/2019

Anahtar Kelimeler

Lazer kaplama
Zirkonyum diborür
Aşındırıcı su jeti
Tel-erozyon
İşlenebilirlik

Keywords

Laser coating
Zirconium diboride
Abrasive water-jet
Wire-electrical discharge
machining
Machinability

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Alüminyum alaşımı malzemeler, magnezyum ve titanyum gibi metallerle birlikte hafif metaller grubuna girmekte ve imalat teknolojilerinde en çok kullanılan metallerden biri olarak öne çıkmaktadır. Alüminyumun hafif olması, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, korozyon direnci ve diğer metaller ile yüksek çekme mukavemetine sahip alaşımlar oluşturabilmesi önemli özelliklerindedir. Ayrıca imalatının kolay

olması, haddelenebilir, preslenebilir ve bükülebilir olması gibi özellikleri birçok alanda kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Ancak bu üstün özelliklerinin yanı sıra çok düşük aşınma direncine sahip olması özellikle imalat sektöründe kullanımını kısıtlamaktadır [1-6]. Bu nedenle CVD, plazma ark, lazer vb. birçok kaplama metodu ile alüminyum alaşımı malzemeler kaplanarak yüzey özellikleri geliştirilmektedir [7-11]. Bu yöntemler arasında, lazerle kaplama ile ilgili çalışmaların son yıllarda arttığı görülmektedir [12-14]. Lazer gücü, tarama hızı, kullanılan koruyucu gazların basıncı, yana kayma mesafesi vb. gibi parametreler değiştirilerek malzeme yüzeylerinde kaplama tabakaları elde edilmektedir [15]. Majumdar ve ark. [16], Ti-6Al-4V alaşımının yüzeyini Ar gazı atmosferinde, diyot lazerle Ti - % 2 B içeren tozlarla kaplayarak, TiB dağılımlı α -Ti matrisli kompozit tabakası elde etmeye çalışmışlardır. Kaplama tabakasının ortalama mikrosertliğinin seçilen lazer parametrelerine bağlı olarak 290-500 VHN olduğunu ve kaplama tabakasının TiB ve α -Ti matrisi içerisinde ince küresel ve iğnemi şeklinde TiB çökeltilerinden oluştuğunu rapor etmişlerdir. Bir başka çalışmada Tomida ve ark. [17], A5052 alaşımı malzeme yüzeyini, CO₂ lazeri ile Al-Fe tozlarıyla kaplayarak, alüminyum alaşımı yüzeyinin sertliğini ve aşınma dayanımlarını geliştirmişlerdir. 100 mm/dak lazer tarama hızında Ar atmosferinde ön kapladıkları numunelerin sertliğinin 800-1000 HV'ye çıktığını belirtmişlerdir. Man ve ark. [18], NiCrSiB tozlarını Al6061 alüminyum alaşımı yüzeyine Nd-YAG lazer ile kaplamış ve sertliğin yaklaşık 900 HV'ye çıktığını göstermişlerdir. Xu ve ark. [19], Ti-Al-Fe-B tozları ile AA2024 malzeme yüzeyini CO₂ lazeri ile kaplamış ve aşınma dayanımının yaklaşık 15 kat iyileştirildiğini rapor etmişlerdir. Liang ve ark. [20] ise, Al-Si alaşımı yüzeyini NiCrAl tozları ile kapladıklarında aşınma dayanımının 3.6 kat arttığını belirtmiştir.

Bilindiği gibi malzeme teknolojisinin gelişmesiyle birlikte parçaları şekillendirme, kesme vb. işleme yöntemleri de sürekli olarak gelişmektedir. Doğru seçilmeyen yöntemler nedeniyle malzemeler özelliklerini yitirmekte ve kritik süreçlerde fonksiyonlarını yerine getirememektedir. Bu nedenle malzemeler için en uygun kesme yönteminin belirlenmesi oldukça önemlidir. Literatür incelendiğinde özellikle kaplanmış numunelerin işlenebilirliği ile ilgili çalışmalara rastlanmamıştır. Yapılan çalışmada, ilk defa mekanokimyasal yöntemle üretilen yüksek ergime sıcaklığına (~3027 °C) sahip ZrB₂ nanokristalleri AA7075 alaşımı malzeme yüzeyine ön kaplanarak 2 kW'lık CO₂ lazeri ile kaplanmıştır. Lazer gücünün ve tarama hızının kaplama tabakaları üzerindeki etkilerini belirlemek için iki farklı deney seti gerçekleştirilmiştir. İlk olarak 1000 mm/dak tarama hızı sabit tutularak 50, 70 ve 100 W lazer güçlerinde deneyler yürütülmüştür. Ardından 70 W lazer gücü sabit tutularak 300, 500 mm/dak tarama hızlarında kaplama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kaplanan numunelerin, kaplama tabakalarının yüzeylerinin ve kesitlerinin faz yapıları ve mikroyapı/morfolojileri X-Işınları kırınımı difraktometresi ve taramalı elektron mikroskobu ile analiz edilmiştir. Ball-on-disk aşınma cihazı ve mikrosertlik cihazı ile aşınma karakteristikleri belirlenmiştir. Ardından kaplama tabakaları sırasıyla, aşındırıcılı su jeti, tel erozyonu, aşındırıcılı disk ve lazer ile kesilmiş ve numuneler hiçbir işleme maruz bırakılmadan karakterize edilmiş ve en uygun kesme yöntemi ortaya konmuştur.

2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

2.1 Malzeme ve kaplama işlemi (Materials and coating process)

Deneylerde kaplama malzemesi olarak mekanokimyasal yöntemle sentezlenen ZrB₂ nanoparçacıkları kullanılmıştır. ZrB₂ nanoparçacıkları ZrO₂, B₂O₃ ve Mg tozları ile 40:1 bilye-toz kütle oranında ve 350rpm dönme hızında gezegensel tip öğütücü ile sentezlenmiştir. Sentez sonrası MgO ve ZrB₂ fazından meydana gelen toz karışımı 0.1 M asetik asit çözeltisinde 400 rpm dönme hızında saflaştırıldıktan sonra 30 mbar vakumda 70 °C'de 10 saat süre ile kurutulmuştur. Liç işlemi sonrası XRD analizlerinden saf bir şekilde elde edildiği tespit edilen ve parçacık boyutu yaklaşık olarak 10 nm olan ZrB₂ nanokristalleri kaplama malzemesi olarak kullanılmıştır [21]. Kaplama deneylerinde alt metal olarak, kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilen, 100x15x4mm boyutlarında hazırlanan AA7075 alüminyum alaşımı malzeme kullanılmıştır.

Tablo 1. AA7075 alüminyum alaşımı malzemenin kimyasal bileşimi

Element	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
Ağırlıkça (%)	0.5	0.5	1.2-2.0	0.3	2.1-2.9	5.1-6.1	0.18-0.28	0.25	Kal.

Lazer kaplama deneyleri 2 kW'lık CO₂ lazeri (Amada, LC-2415 α III, Japan) ile iki aşamalı kaplama metodu uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Bu metotta yüzeyin lazerle kaplanması sırasında, ergime havuzunu oksitlenmeden koruyan gazların basınçları nedeniyle ön kaplanmış tabakaların yüzeyden uzaklaşması sık karşılaşılan problemlerdendir. Kullanılan reçinenin metal yüzeyine iyi yapışmasını sağlamak amacıyla ön kaplama işleminden önce ana metal yüzeyleri kumlama işlemine tabii tutulmuş sonrasında kir ve paslardan arındırılmak için aseton-etanol ile yıkanmıştır. Yüzey temizliğinin ardından kaplanacak ZrB₂ nano parçacıklar fenolik reçine (Araldit 71) içerisine karıştırılarak metal yüzeylerine 50 µm kalınlığında ön kaplanmıştır. Ön kaplama sonrası kaplamanın yüzeye daha iyi bağ yapması ve fenolik reçinenin malzeme yüzeyinde ince karbon tabakası oluşturması için numuneler vakum etüvde 20mbar vakumda 200°C de 4 saat süreyle kurutulmuştur. Literatürde fenolik reçinenin yaklaşık 200°C kurutulması sonucu, metal yüzeylerinde karbon film tabakasının oluştuğu ve lazerle işleme sonrası elde edilen bu karbür fazlarının malzeme sertliğini ciddi şekilde arttırdığına dair çalışmalar göze çarpmaktadır [22-24]. İkinci aşamada ise, kurutulan numunelere 600 kPa basınçta, N₂ atmosferi altında, 0.1mm yana kayma mesafesi ile lazer kaplama yapılmıştır. Kaplama deneylerinde CO₂ lazeri ve 1.5mm çapında nozul kullanılmıştır. Ön kaplanmış numuneler, Tablo 2'de verilen parametrelerde farklı lazer güçleri ve ilerleme hızlarında kaplanmıştır. Kaplamalar 1000 mm/dak ilerleme hızı sabit tutularak 50, 70 ve 100 W lazer güçlerinde, daha sonra 70W lazer gücü sabit tutularak 300, 500 mm/dak ilerleme hızları değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. İşlenebilirlik deneylerinde 70W lazer gücünde ve 1000 mm/dak'da kaplanan numuneler kullanılmıştır.

Tablo 2. Lazerle kaplama parametreleri (Laser coating parameters)

Lazer gücü (W)	Tarama hızı (mm/dak)	Frekans (Hz)	Nozul çapı (mm)	Nozul boşluğu (mm)	Gaz basıncı (kPa)
50	1000	1000	1.5		
70	300/500/1000			1.5	600
100	1000				

2.2 Kaplama tabakalarının karakterizasyonu ve aşınma deneyleri (The characterisation of coating layers and wear tests)

Kaplama tabakalarının faz yapıları X-ışınları kırınımı difraktometresi (Rigaku, D/Max-2200) ile 2-90° aralığında, 40 kV ve 30 mA'da Cu-Kα ışınlarıyla ($\lambda=1.54\text{\AA}$), dakika da 4° tarama hızı ile belirlenmiştir. Kesilen numunelerin mikroyapı incelemeleri, optik mikroskop (Leica M205 C) ve taramalı elektron mikroskobu-enerji dağılımlı X-ışınları analizi ile (SEM-EDX, FEI Quanta 200F) gerçekleştirilmiştir. Numunelerin mikrosertlikleri Shimadzu HMV-2 mikrosertlik cihazında 50 g yük ile 15 s süre ile ölçülmüştür. Kaplama tabakalarının aşınma testleri ball-on-disk aşınma test cihazında kuru ortamda yapılmıştır. Numuneler 1N yük altında 6 mm çapında WC bilye ile 100 m mesafede aşındırılmıştır. Kullanılan aşındırıcının malzeme yüzeyinde hareket ettiği toplam kurs boyu 8.5 mm'dir. Deneyler sonucunda, profilometre cihazıyla aşındırılmış yüzeylerin üç boyutlu yüzey haritaları çıkarılırken, deney süresince ortalama sürtünme katsayıları ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür.

2.3 İşlenebilirlik deneyleri (Machinability experiments)

Kaplanan numunelerin işlenebilirlik özelliklerini araştırmak için, numuneler sırasıyla aşındırıcılı su jeti, tel erozyon, lazer ışını ve aşındırıcılı disk ile kesilmiştir. Aşındırıcılı su jeti ile kesme deneyleri KMT-SLV-E50 model cihazında, tel erozyon ile kesme deneyleri Makino-Dou 43 model cihazda, lazer ışını ile kesme deneyleri aynı zamanda kaplama deneylerinin de yapıldığı Amada-Lasmac LC-2415αIII cihazında, aşındırıcılı disk ile kesme deneyleri ise BMS-Bulucut-3 model kesme cihazında gerçekleştirilmiştir. Uygulanan kesme parametreleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kesme testlerinde uygulanan parametreler

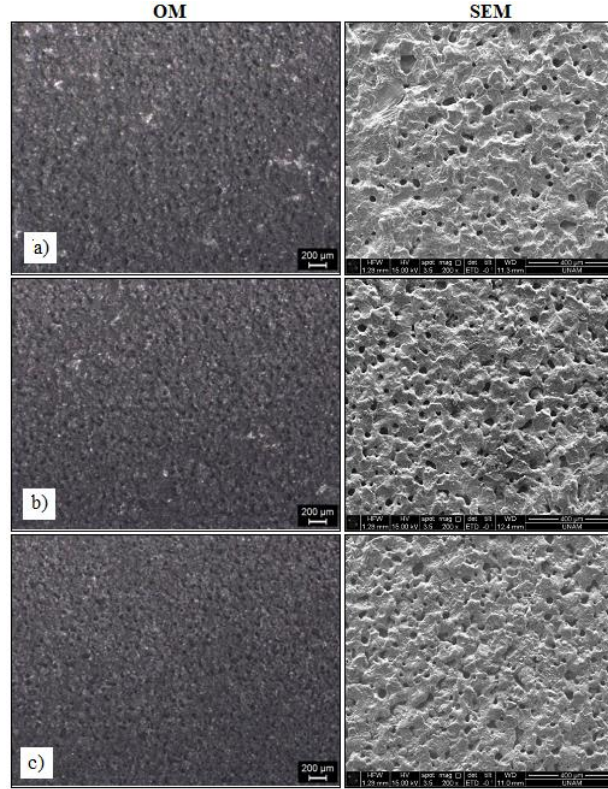
Aşındırıcılı Su Jeti Kesme Parametreleri	
Nozul Çapı (mm)	0.75
Kum Debisi (g/dak)	250
Basınç (bar)	4000
İlerleme Hızı (mm/dak)	150
Lazer Işını Kesme Parametreleri	
Lazer Gücü (W)	2000
Kesme Hızı (mm/dak)	1000
Frekans (Hz)	1000
Duty (%)	55
Ortalama Güç (W)	880
Tel Erozyon Kesme Parametreleri	
Tel Çapı (mm)	0.3
Tel Cinsi	CuZn
Tel Hızı (m/dak)	6
Kesme Hızı (mm/dak)	11
Gerginlik (cN)	10
Enerji Verilen Süre (ms)	18
Enerji Kesilen Süre (ms)	70
Aşındırıcılı Disk Kesme Parametreleri	
Kullanılan Disk	SiC
Disk Ölçüleri (dış çap x iç çap x kalınlık) (mm)	250x32x1.6
Devir (rpm)	2840
İlerleme Hızı (mm/s)	1
Kesme Sistemi	Otomatik
Soğutma	Bor yağı katkılı soğutma sıvısı

Kesilen numuneler sırasıyla aşındırıcı zımparalar ile aşındırılmış, 6 µm'lik ve 3 µm'lik pastalar ile parlatılmıştır. Daha sonra numuneler morfolojik olarak karakterize edildikten sonra % 5 lik hidroflorik asit çözeltisinde 75 s bekletilerek mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

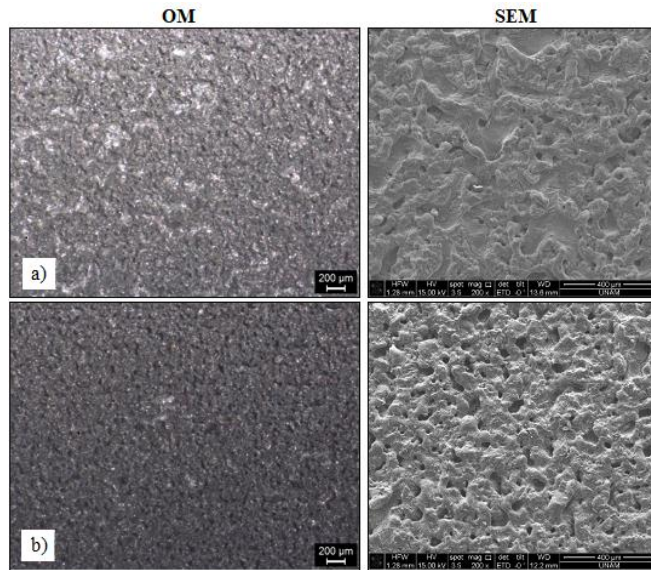
3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1 Kaplama deneyleri (Coating Tests)

Şekil 1’de 1000 mm/dak sabit ilerleme hızında 50, 70 ve 100W lazer güçlerinde kaplanan numunelerin, Şekil 2’de ise 70 W sabit lazer gücünde ve 300 ve 500 mm/dak ilerleme hızlarında kaplanan numunelerin yüzeylerinin optik ve SEM görüntüleri verilmiştir.

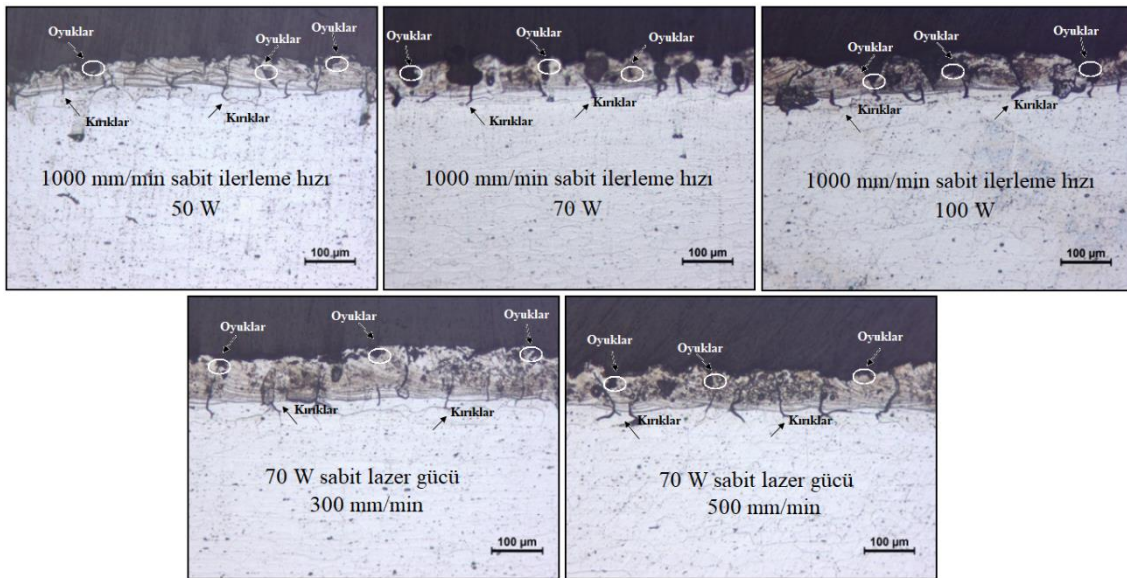


Şekil 1. İlerleme hızı (1000mm/dak) sabit tutularak farklı lazer güçlerinde elde edilen kaplamaların optik mikroskop (OM) (X50) ve SEM (X200) görüntüleri a) 50 W, b) 70 W, c) 100 W



Şekil 2. 70 W sabit lazer gücünde, farklı ilerleme hızlarında elde edilen kaplamaların optik mikroskop (OM) (X50) ve SEM (X200) görüntüleri a) 300 mm/dak, b) 500 mm/dak

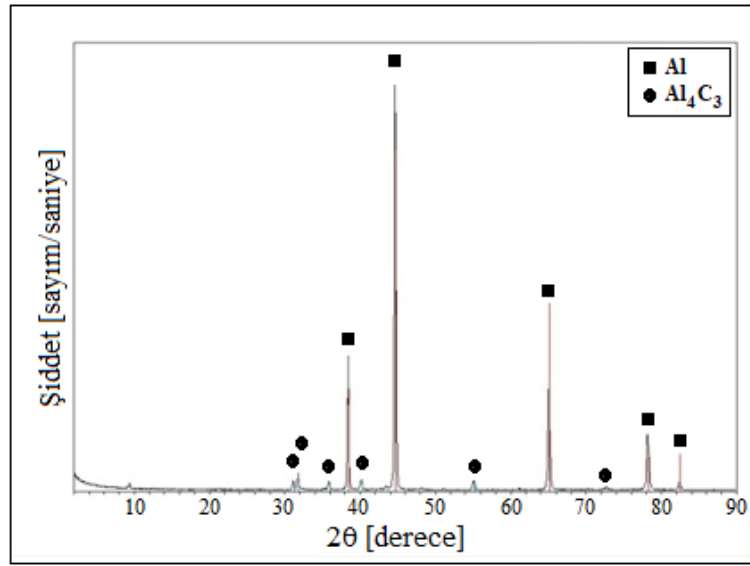
Kaplama deneylerinde kullanılan lazer gücü aralığı çok dikkatli bir şekilde seçilmelidir. Alüminyum alaşımı malzeme yüzeyini kaplarken, 50-100 W aralığının dışındaki lazer güçlerinde çok şiddetli kırıklar ve oyuklar gözleendiği için, deney parametreleri olarak alt limit olarak 50 W, üst limit olarak ise 100 W lazer gücü seçilmiştir [21,25-27]. İlerleme hızı olarak ise 300-1000 mm/dak aralığının dışındaki tüm deneylerde pürüzlülük, gözeneklilik, kırık ve oyuk oluşumunda ciddi artışlar gözlenmiştir. Mikroskobik incelemelerde, uygulanan farklı parametrelere rağmen kaplama tabakaları arasında çok ciddi farklılıklar gözlenmemiştir. Ancak, lazer gücünün ve tarama hızının artması ile kaplama tabakalarında oluşan gözenek, mikro-kırık ve oyukların bir miktar arttığı tespit edilmiştir. (Şekil 1 ve 2). AA7075 alaşımı ve kaplama malzemesi arasındaki yüksek ergime sıcaklığı-termal genişleme katsayısı farkı ve hızlı soğuma neticesinde yüzeylerde kırıklar ve çatlakların oluşumu gerçekleşmiştir. Literatür incelendiğinde, Iwatani ve arkadaşları da 5052 Alüminyum alaşımı malzemeyi Fe-Cr-C tozlarıyla CO₂ ve diyot lazeri ile kapladıklarında, kaplama tabakası ve ana metal arasındaki ısıl genişleme katsayısının farklılığından dolayı oluşan ısıl gerilmeler nedeniyle ara yüzeylerde ve kaplama tabakalarında çatlakların oluştuğunu, ana metal ve kaplama malzemelerindeki seyrelmenin azalmasıyla kırıkların boyunun azaldığını belirtmişlerdir [28]. Quyang ve arkadaşları tarafından yürütülen başka bir çalışmada ise üç farklı alüminyum alaşımı yüzeyini, ZrO₂ tozları ile tek aşamalı lazerle kaplama yöntemi (in-situ) ile kapladıklarında, hızlı soğuma esnasında meydana gelen ısıl gerilmelerden dolayı kaplama tabakasında kırıkların oluştuğunu rapor etmişlerdir [29]. Kaplanan numunelerin, metalografik numune hazırlama işlemlerinden sonraki kesit görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Kaplama tabakalarının kesit görüntüsü (optik mikroskop, X100)

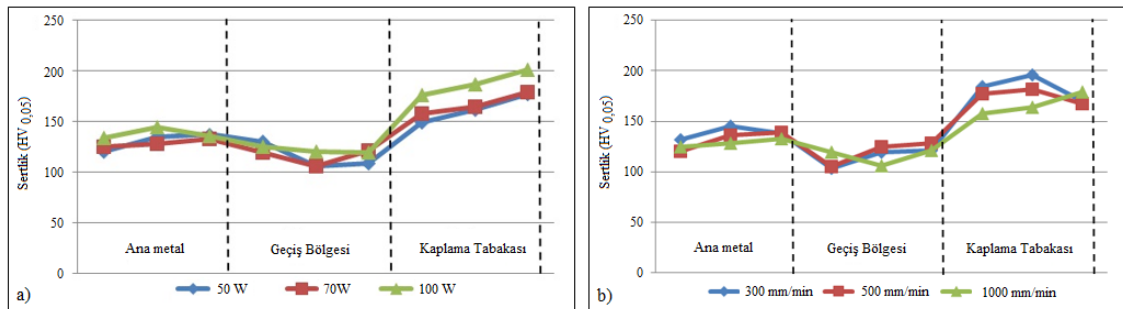
Şekil 3'te verilen kesit görüntüleri incelendiğinde, lazer gücünün artması ile kaplama kalınlığının arttığı, mikro-kırıkların makro kırıklara dönüştüğü görülmektedir. Yüzeylerde oluşan kaplamaların homojen ve düzgün dağılımlı bir yapıya sahip olmamasından dolayı minimum ve maksimum kalınlıklar dikkate alınarak yapılan incelemelerde, 1000 mm/dak sabit ilerleme hızında ~ 50, 70 ve 100 W lazer güçlerinde elde edilen kaplamaların kalınlıklarının sırasıyla yaklaşık olarak 70, 87 ve 91 µm arasında olduğu tespit edilmiştir. İlerleme hızının artırıldığı deneylerde ise kaplama kalınlığının bir miktar azaldığı, gözenek ve çatlakların ise büyüdüğü gözlenmiştir (Şekil 2). Beklendiği gibi düşük ilerleme hızında malzeme yüzeyinin daha fazla lazer ışınına maruz kalması kaplama kalınlığının artmasına neden olmuştur. Kaplama kalınlıkları, 300 ve 500 mm/dak ilerleme hızlarında elde edilen kaplamalar için ise yaklaşık olarak 106 ve ~93 µm olarak ölçülmüştür. Tespit edilen bu durum Fu ve arkadaşlarının, Ni-Cr tozlarını lazerle AA6061 alüminyum alaşımı yüzeyine kapladıkları çalışmada da gözlenmiştir. Farklı lazer güçleri ve farklı ilerleme hızlarında gerçekleştirdikleri deneylerin sonucunda, lazer gücünün artmasıyla kaplama tabakalarında kırıkların ve gözenek boyutunun arttığını rapor etmişlerdir [30]. Kaplama tabakalarının faz yapıları XRD analizi ile tespit edilmiştir. Uygulanan farklı parametrelere rağmen tüm numunelerde benzer fazlar gözleendiği için 70 W lazer gücünde ve 1000 mm/dak ilerleme hızlarında gerçekleştirilen kaplamaların XRD deseni verilmiştir. Şekil 4'teki XRD deseni incelendiğinde lazer güçlerinin değişmesine rağmen ZrB₂

fazına ait pikler gözlenmezken, ana metalden gelen Al fazı ve kullanılan fenolik reçineden dolayı yüzeyde oluşan düşük şiddetli Al_4C_3 fazı gözlenmiştir. ZrB_2 fazına ait piklerin gözlenmemesinin nedeninin, ergimiş ana metal ve ZrB_2 arasındaki yüksek ergime sıcaklığı (3027 °C) farklılığından dolayı difüzyonun gerçekleşmemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca kaplama işlemi esnasında koruyucu gazın etkisiyle yüzeyden ZrB_2 tozlarının uzaklaşması veya ergimiş ana metale nispeten, ergimiş yüzeyde çok az miktarda ZrB_2 bulunması, bu faza ait piklerin XRD deseninde yansımamasının nedenleri arasında düşünülmektedir. Yılbaş ve arkadaşları alümina yüzeyini lazerle karbonitrürlerken, alümina yüzeyine sürdükleri fenolik reçineyi karbon kaynağı olarak kullandıklarını ve alümina yüzeyinde alüminyum karbür fazları elde ettiklerini belirtmişlerdir [31].



Şekil 4. Kaplama tabakasının XRD deseni

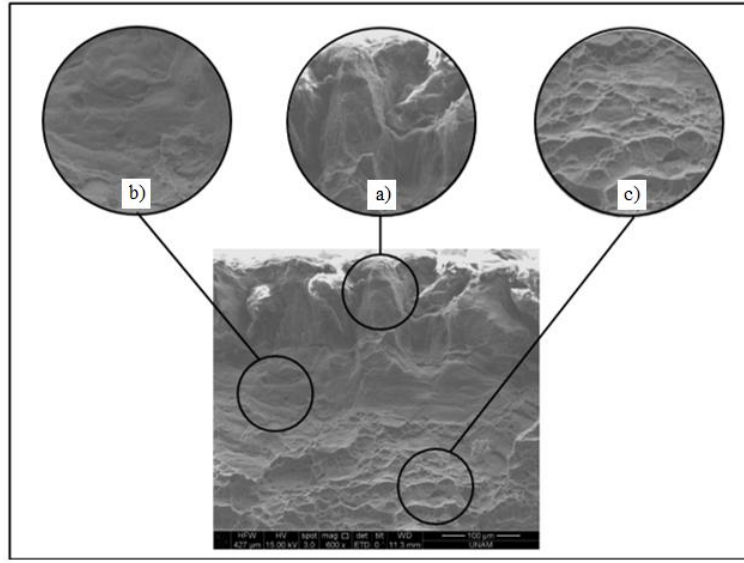
Kaplama yüzeyindeki faz yapıları belirlenen numunelerin mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerde numunelerin kesitlerinde ana metal, geçiş bölgesi ve kaplama tabakasının her birinden beşer ölçüm alınarak ortalamaları dikkate alınmıştır. Şekil 5'te farklı lazer güçlerinde ve farklı ilerleme hızlarında elde edilen kaplamaların mikrosertlik grafikleri verilmiştir.



Şekil 5. a) farklı lazer güçlerinde b) farklı ilerleme hızlarında kaplanmış numunelerin mikrosertlik değerleri

Şekil 5'teki grafikler incelendiğinde farklı lazer güçlerinde ve ilerleme hızlarında yapılan kaplama deneylerinde, ana metale göre geçiş bölgesinin sertliğinde bir miktar azalma olduğu ve kaplama tabakasının sertliğinin ise arttığı belirlenmiştir. Değişen lazer parametrelerinde elde edilen numunelerin sertlik değerlerinin bölgesel olarak birbirine yakın değerlerde olduğu görülmüş, ana metalin sertliği yaklaşık 140

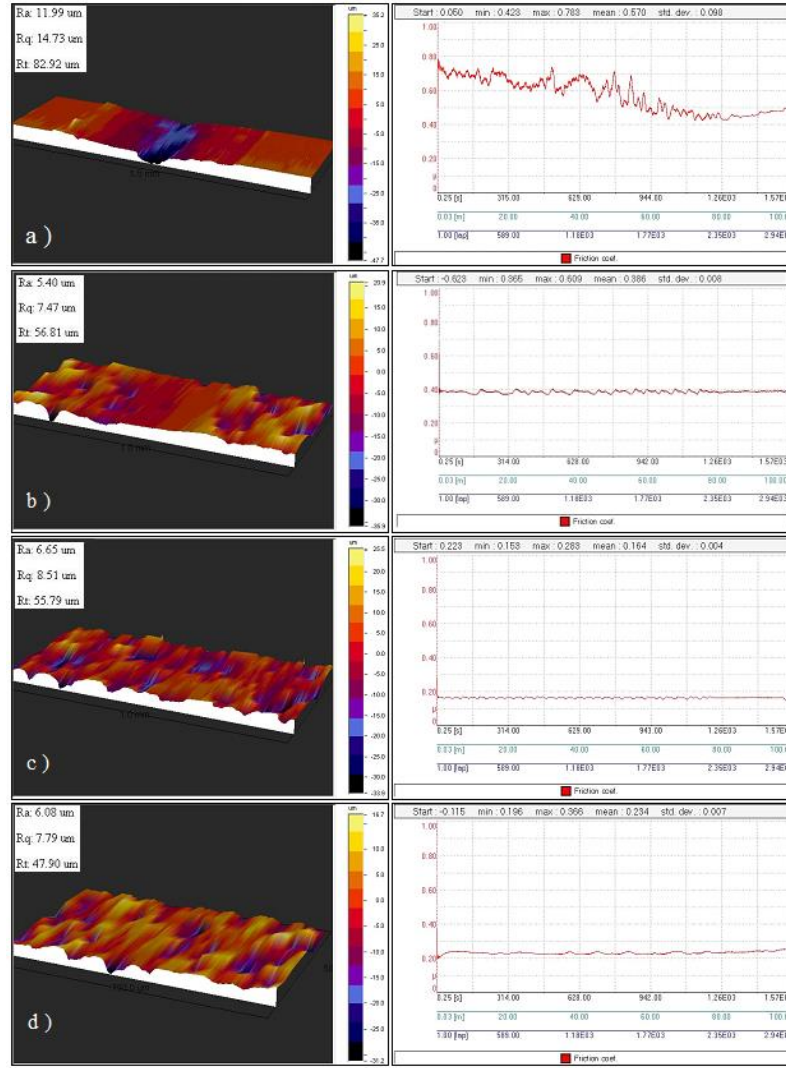
HV, geçiş bölgesinin sertliği yaklaşık 100-110 HV ve kaplama tabakalarında ise ölçülen en yüksek sertlik değerinin 190 HV olduğu tespit edilmiştir. Almeida ve arkadaşları da, Cr tozları ile 7175 alüminyum alaşımının yüzeyinde gözenekli kaplamalar elde ettiklerini, alüminyum alaşımı yüzeyinde oluşan AlCr fazlarının 155 HV olan ana metal sertliğini 300 HV'ye çıkardığını belirtmişlerdir [32]. Bir başka çalışmada, Sun ve arkadaşları ise AlSi12 malzemesini Al-12Si ve SiC tozlarıyla lazerle kapladıklarında ana metalin 90-110 HV olan sertlik değerinin yaklaşık olarak 220-280 HV'ye çıktığını rapor etmişlerdir [33]. Lazerle kaplanan alüminyum alaşımının, kaplama ve geçiş bölgesinin bölgesel yapılarını görmek için 70 W lazer gücünde kaplanmış numune sıvı azot içerisinde 10 dakika bekletilerek kırılmıştır. Şekil 6'da sıvı azot içerisinde kırılmış numunenin SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde kaplama tabakası (a), ısıdan etkilenen bölge (b) ve ana metalin (c) birbirinden farklı yapıda olduğu görülmüştür. Kaplama esnasında meydana gelen hızlı soğuma neticesinde, katılaştıran kaplama tabakasında sütünsal yapılar gözlenirken, geçiş bölgesinde bu sütünlü yapının kaybolduğu ve kaplama tabakasından ana metale doğru sünek kırılmaların meydana geldiği gözlenmiştir.



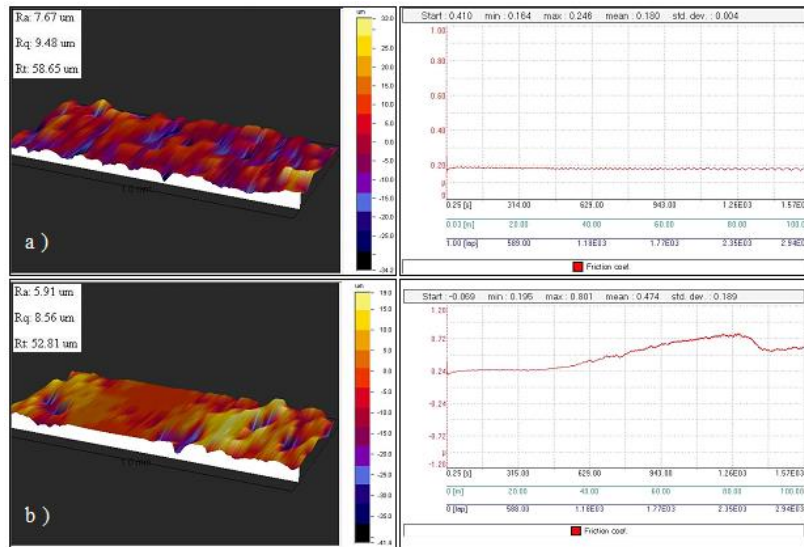
Şekil 6. Kaplama tabakasının sıvı azot içerisinde kırıldıktan sonraki SEM görüntüsü

3.2 Aşınma testleri (Wear Tests)

Alüminyum alaşımı yüzeyleri ball-on-disk aşınma cihazıyla, 6 mm çapında WC bilye ile 1 N yük altında 100 m mesafede aşındırılmıştır. Aşınma deneyleri sonrası numunelerin ortalama sürtünme katsayıları, ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) ve maksimum-minimum yükseklikler arasındaki mesafe (Rt) belirlenmiştir. Şekil 7 ve Şekil 8'de farklı lazer güçleri (1000 mm/dak sabit ilerleme hızı, 50-70-100 W lazer gücü) ve ilerleme hızlarında (70 W sabit lazer gücü 300-500mm/dk ilerleme hızı) ana metal ve kaplanmış numunelerin üç boyutlu yüzey haritaları, Ra, Rt değerleri ve ortalama sürtünme katsayılarını gösteren grafikler verilmiştir.

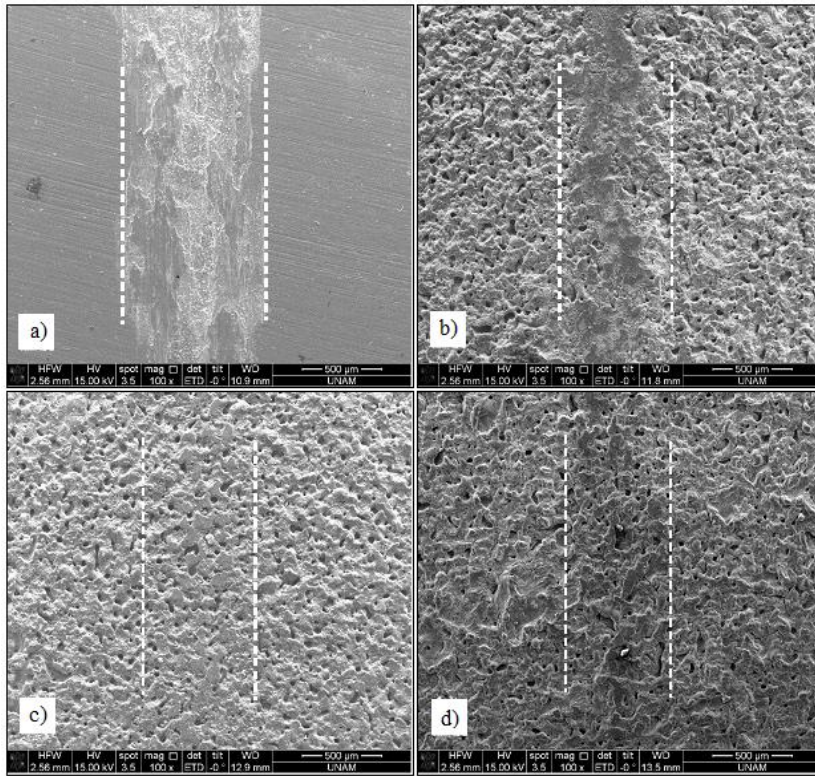


Şekil 7. Farklı lazer güçlerinde yapılan kaplamaların aşınma testi sonuçları (1000 mm/dak sabit ilerleme hızı) a) Ana metal b) 50W, c) 70W, d) 100W

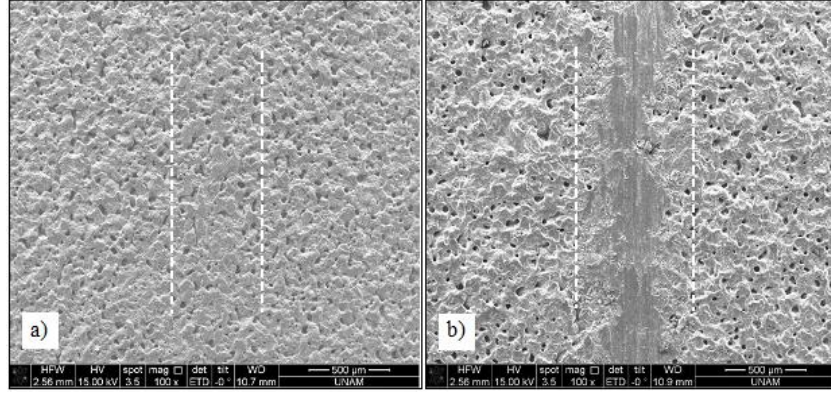


Şekil 8. Farklı lazer ilerleme hızlarında yapılan kaplamaların aşınma testi sonuçları (70 W sabit lazer gücü) a) 300mm/dak, b) 500mm/dak

Kaplanmış AA7075 alüminyum alaşımı malzemelerin üç boyutlu yüzey haritaları incelendiğinde yüzeylerin oldukça pürüzlü olduğu görülmüştür (Şekil 7 ve Şekil 8). Alüminyum alaşımının düşük sıcaklıklarda erimesi ve sonrasında gerçekleşen hızlı soğuma nedeniyle kaplama tabakalarının gözenekli ve dalgalı olmasından dolayı yüksek pürüzlülük değerleri (Ra) ölçülmüştür. Aşındırma testleri sonucunda, kaplama tabakalarının ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) sırasıyla kaplanmamış ana metal, 50, 70 ve 100 W lazer gücünde yapılan kaplamalar için 11.99, 5.40, 6.65 ve 6.08 μm olarak, ortalama sürtünme katsayısı değerleri ise sırasıyla 0.57, 0.386, 0.164, 0.234 bulunmuştur. 300 ve 500 mm/dak ilerleme hızlarında yapılan kaplamalarda ise ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) sırasıyla 7.67 ve 5.91 μm olarak ölçülürken, ortalama sürtünme katsayısı değerleri ise sırasıyla 0.180 ve 0.474 olarak bulunmuştur. Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, ortalama sürtünme katsayısı yüksek olan numunelerde daha fazla aşınma olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 9). Aşınma testi sonrası yüzeyler SEM analizleri ile incelenmiştir. Şekil 9 ve 10'da aşınmış yüzeylerin SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 9 ve 10 incelendiğinde, kaplanmamış ana metalin, aşınma testinin ilk safhalarında aşındırıcı bilyeye yapıştığı ve adhesiv aşınma davranışı sergilediği, bu nedenle yüksek oranda aşındığı gözlenmiştir. Kaplanmış numunelerde ise sertlik değerlerinde olduğu gibi aşınma dayanımlarında da birbirine oldukça benzer sonuçlar elde edildiği, lazer gücünün artması ile yüzeylerin daha az aşındığı, ilerleme hızının artmasıyla ise azda olsa aşınma dayanımının kötüleştiği tespit edilmiştir. Kapiteli ve arkadaşları 6061 alüminyum alaşımı yüzeyini TiC ile kapladıklarında, ortalama sürtünme katsayısı ve yüzey pürüzlülüğü yaklaşık olarak 0.64 ve 13.5 μm olan kaplanmış numunelerin aşınma dayanımının arttığını rapor etmişlerdir [34].



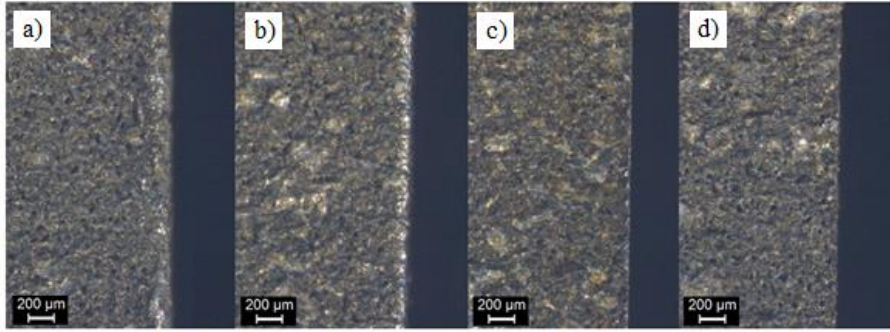
Şekil 9. Farklı lazer güçlerinde kaplanan numunelerin aşınma deneyleri sonrası SEM görüntüleri (1000 mm/dak sabit ilerleme hızı) a) Ana metal b) 50W, c) 70W, d) 100W



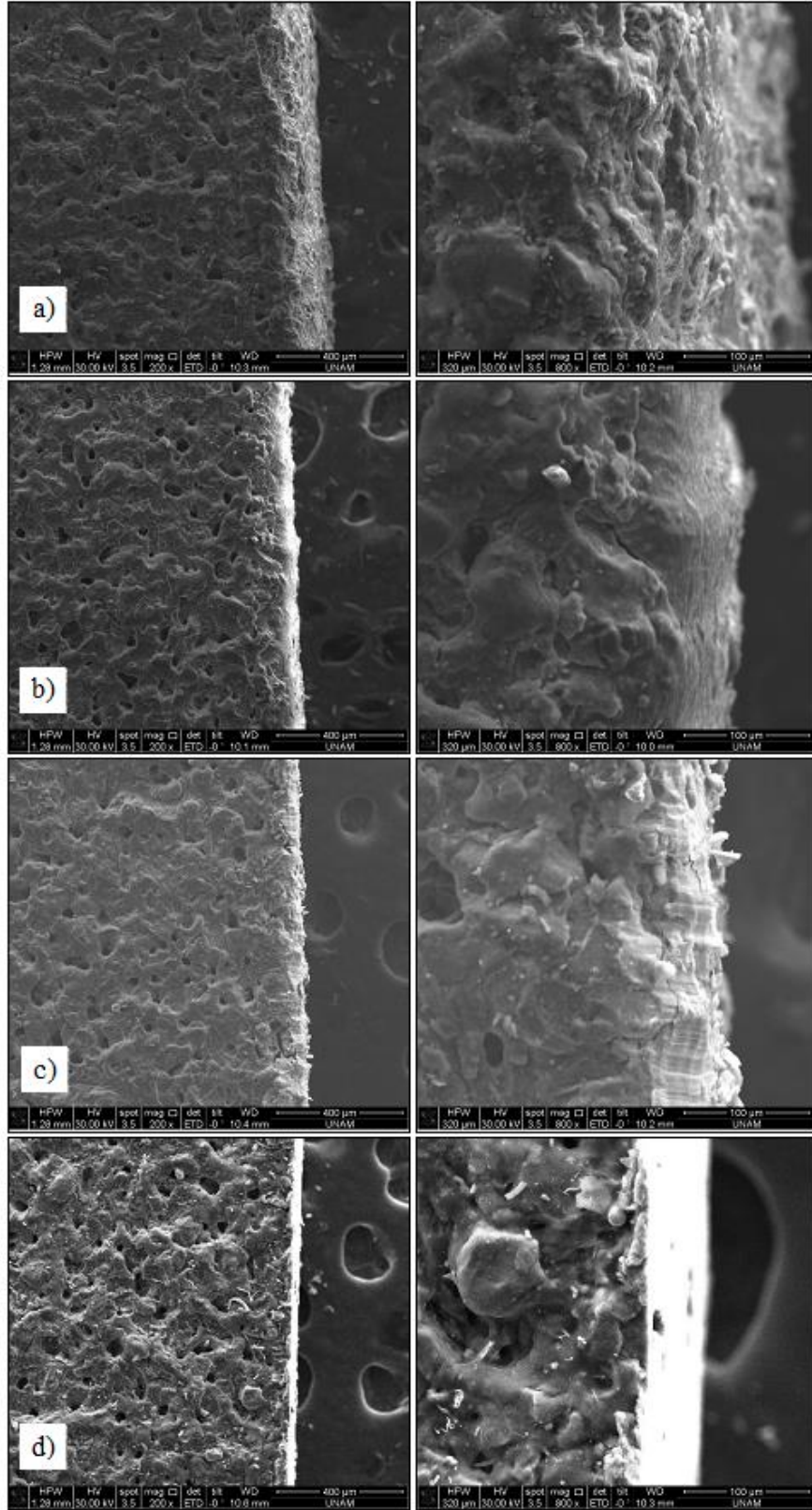
Şekil 10. Farklı lazer ilerleme hızlarında kaplanan numunelerin aşınma deneyleri sonrası SEM görüntüleri (70 W sabit lazer gücü), a) 300mm/dak, b) 500mm/dak

3.3 İşlenebilirlik Deneyleri (Machinability Test)

Kaplanmış AA7075 alüminyum alaşımını malzemeden hazırlanan numunelerin işlenebilirlik özelliklerini belirlemek için, numuneler sırasıyla aşındırıcı su jeti, lazer ışını, tel erozyon ve aşındırıcı disk ile kesilmiştir. Şekil 11 ve Şekil 12’de 70 W lazer gücünde ve 1000 mm/dak ilerleme hızında kesilen numunelerin optik mikroskop ve SEM görüntüleri, Şekil 13’te ise kesme işlemleri sonrasında ölçülen mikrosertlik değerleri verilmiştir. Tüm işlenebilirlik deneylerde çok benzer sonuçlar gözlemlendiği için sadece 70 W lazer gücünde ve 1000 mm/dak ilerleme hızında kaplanmış numunelere ait grafiklere yer verilmiştir.



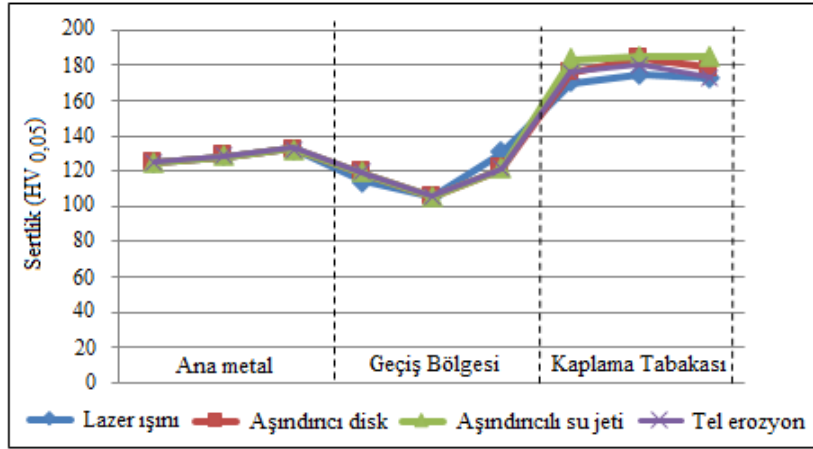
Şekil 11. Lazerle kaplanmış AA7075 alaşımının kesme işlemleri sonrası optik mikroskop (X100) görüntüleri a) Aşındırıcı su jeti, b) Lazer ışını, c) Tel erozyon, d) Aşındırıcı disk



Şekil 12. Lazerle kaplanmış AA7075 alüminyum alaşımının kesme işlemleri sonrası SEM (X200, X800) görüntüleri a) Aşındırıcı su jeti, b) Lazer ışını, c) Tel erozyon, d) Aşındırıcı disk

Şekil 11 ve Şekil 12’de verilen optik mikroskop ve SEM görüntüleri incelendiğinde; en az tahribatın aşındırıcı disk ile kesmede meydana geldiği gözlenmiştir. Aşındırıcı su jeti ile kesmede $\sim 200 \mu\text{m}$, lazer ışını ile kesmede $\sim 120 \mu\text{m}$, tel erozyon ile kesmede $\sim 30 \mu\text{m}$, aşındırıcı disk ile kesmede ise $\sim 15 \mu\text{m}$ ’lik

bölgenin tahrip olduğu tespit edilmiştir. Şekil 13’de kesme yöntemleri sonrasında elde edilen mikrosertlik grafikleri verilmiştir.



Şekil 13. Farklı kesme yöntemleri ile kesilen numunelerin kesitinden alınan mikrosertlik değerleri

Kaplanan numune yüzeylerinden sertlik ölçümü yapılabilmesi için, her bir kesme numunesi ile elde edilen yüzeylerin mevcut dalgalı (pürüzlü) yapıları sırası ile zımparalama ve parlatma işlemleri ile hazırlanmıştır. Yapılan bu işlemler sonucunda, kesilen kaplama tabakası bir miktar aşındırılmıştır. Hazırlanan yüzeyden alınan sertlik değerlerinin lazer ve tel erozyon ile kesmede etki bölgeleri farklı olsa da sertlik değerlerinin birbirine yakın olduğu, sertlik değişiminin en az aşındırıcı su jeti ile kesme işlemi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 13). Genel bir değerlendirme yapıldığında her bir yöntemin kesik yüzey üzerinde kendine özgü bir etkisi söz konusudur. Lazer ışını ve tel erozyon ile kesme yöntemleri; termal kesme yöntemleri olduğundan yüzey üzerinde ısının sebep olduğu deformasyonlar meydana gelirken, aşındırıcı su jeti ile kesmede ise; basınçlı su içerisinde gelişen güzel dağılmış olan ve belirli bir geometrisi bulunmayan aşındırıcı taneciklerin ve basınçlı suyun etkileri nedeniyle tahribatlar meydana gelmektedir. Belirtilen durumdaki su-aşındırıcı karışımlarının kaplanmış numune yüzeyine çarpmaları ile gelişen güzel açılarla sıçramaları kaplama tabakası üzerinde kontrolü zor bir deformasyona sebep olmaktadır. Özellikle kaplama yüzeyinin korunması düşünüldüğünde her ne kadar termal bir etkinin olmamasından kaynaklı kaplama özellikleri (yapısı) korunuyor olsa da, kesme bölgesi ve çevresinde aşındırıcı taneciklerin yüzeye batma şeklinde neden olduğu bozuk bir yüzey geometrisi, istenmeyen yüzeylerin oluşumuna sebep olmaktadır. Elde edilen sonuçlar aşındırıcı disk ile kesme yönteminin en uygun yöntem olduğunu ortaya koymuştur.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapılan çalışmada, AA7075 alaşımı malzeme yüzeyine ZrB_2 nanoparçacıkları ön kaplandıktan sonra CO_2 lazeri ile kaplanmıştır. Lazer gücü ve ilerleme hızı değiştirilerek, bu parametrelerin kaplama tabakası üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İlk deney setinde 1000 mm/dak sabit ilerleme hızı ile 50, 70 ve 100 W lazer güçlerinde deneyler yapılmıştır. İkinci deney setinde ise 70W sabit lazer gücü ile 300 ve 500 mm/dak tarama hızlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Uygulanan farklı lazer güçleri ve ilerleme hızlarına rağmen, ZrB_2 ve AA7075 alüminyum alaşımı malzemesinin ergime sıcaklıkları arasındaki farkların yüksek olmasından dolayı tüm kaplama tabakalarında kırıklar ve gözenekler bulunmaktadır. Lazer gücünün artması ile kaplama kalınlıkları ve gözeneklilik artmıştır. 70 W sabit lazer gücünde 300, 500 ve 1000 mm/dak ilerleme hızlarında elde edilen kaplamaların kalınlıkları sırasıyla yaklaşık olarak ~106, 93 ve 87 μm olarak ölçülmüştür. Kaplanmış AA7075 alüminyum alaşımının yüzeyinde Al ve Al_4C_3 fazları tespit edilmiştir. Uygulanan farklı lazer güçleri ve ilerleme hızlarına rağmen elde edilen kaplamaların sertliği birbirine yakın bulunmakla birlikte, en yüksek sertlik değeri 190 HV olarak ölçülmüştür. Kaplanmış numunelerin aşınma dayanımlarında artışlar gözlenmiştir. Farklı yöntemlerle kesilen kaplama tabakalarında, en az tahribatın aşındırıcı disk ile kesmede meydana geldiği tespit edilmiştir. Aşındırıcı su jeti ile kesilen kaplamalı yüzeyde büyük tahribat olduğu bunun sebebinin ise jetin kaplanmış numuneye

temas ettiği ilk bölgede gelişi güzel sıçramadan dolayı kaplama yüzeyinde kesmeden çok kırılmalar meydana getirdiği izlenmiştir. Bu durumda bu tür kaplanmış numunelerin işlenmesi için aşındırıcılığı su jeti ile kesmenin uygun bir yöntem olmadığı ortaya çıkmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Çalışmaya verdiği destek için Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Vagner L. Mechanical surface treatments on titanium, aluminum and magnesium alloys, *Materials Science and Engineering: A*, 263 (210-216), (1999).
- [2] Liu K, Li YJ, Wang J. In-situ reactive fabrication and effect of phosphorus on microstructure evolution of Ni/Ni-Al intermetallic composite coating by laser cladding, *Materials and Design*, 105 (171-178), (2016).
- [3] Wang CL, Gao Y, Zeng ZC, Fu YK. Effect of rare-earth on friction and wear properties of laser cladding Ni-based coatings on 6063Al, *Journal of Alloys and Compounds*, 727 (278-285), (2017).
- [4] Singh A, Ramakrishnan A, Baker D, Biswas A, Dinda GP. Laser metal deposition of nickel coated Al 7050 alloy, *Journal of Alloys and Compound*, 719 (151-158), (2017).
- [5] Yıldırım M, Şimşek İ, Özyürek D. Yaşlandırılmış AA7075 Alaşımında Solüsyona Alma Sıcaklığının Aşınma Performansına Etkisinin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6 (233-239), (2018)
- [6] Avcu E, Bilyalı Dövme Parametrelerinin AA7075 T6 Alüminyum Alaşımının Yüzey Altı Özelliklerine Etkileri, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6 (741-752), (2018)
- [7] Sun R, Lei Y. Microstructure and hardness of laser clad SiCp-Al composite coatings on Al alloys, *Materials Letters*, 62 (3272-3275), (2008).
- [8] Schuman TP (2018). *Protective Coatings for Aluminum Alloys (Third Edition)*, *Handbook of Environmental Degradation of Materials*, USA, 423-448.
- [9] Mandal P, Mondal SC. Investigation of Electro-Thermal property for Cu-MWCNT composite coating on anodized 6061 aluminium alloy, *Applied Surface Science*, 454 (138-147), (2018).
- [10] Hou GL, An YL, Zhao XQ, Zhou HD, Chen JM. Improving interfacial, mechanical and tribological properties of alumina coatings on Al alloy by plasma arc heat-treatment of substrate. *Applied Surface Science*, 411 (53-66), (2017).
- [11] Kashani H, Sohi MH, Kaypour H. Microstructural and physical properties of titanium nitride coatings produced by CVD process, *Materials Science and Engineering A*, 286 (324-330), (2000).
- [12] Li Y, Zhang P, Bai P, Wu L, Liu B, Zhao Z. Microstructure and properties of Ti/TiBCN coating on 7075 aluminum alloy by laser cladding. *Surface and Coatings Technology*, 334 (142-149), (2018).
- [13] Yiming C, Guochao G, Huijun Y, Chuanzhong C. Laser surface alloying on aluminum and its alloys: A review, *Optics and Lasers in Engineering*, 100 (23-37), (2018)
- [14] Quan WX, Hong Y, Yong X. Study on Microstructure and Properties of Laser Cladding Al-Ti-C Coating on Aluminum Alloy Surface, *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*, 13 (1258-1264), (2018)
- [15] Toyserkani E. (2005), *Laser cladding*, Boca Raton: CRC press, 1-280.

- [16] Majumdar JD, Li L. Development of titanium boride (TiB) dispersed titanium (Ti) matrix composite by direct laser cladding. *Materials Letters*, 64 (1010-1012), (2010).
- [17] Tomida S, Nakata K. Fe-Al composite layers on aluminium alloy formed by laser surface alloying with iron powder. *Surface and Coatings Technology*, 174 (559-563), (2003).
- [18] Man HC, Zhang S, Yue TM, Cheng FT. Laser surface alloying of NiCrSiB on Al6061 aluminium alloy. *Surface and Coatings Technology*, 148 (136-142), (2001)
- [19] Xu J, Liu W, Kan Y, M. Zhong, Microstructure and wear properties of laser cladding Ti-Al-Fe-B coatings on AA2024 aluminum alloy, *Materials and Design*, 27 (405-410), (2006)
- [20] Liang GY, Su JY. The microstructure and tribological characteristics of laser-clad Ni-Cr-Al coatings on aluminium alloy, *Materials Science and Engineering A*, 290 (207-2129), (2000)
- [21] Şimşek T. (2014). Zirkonyum Diborür Nano Kristal Kaplanmış Farklı Malzemelerin Mekanik Ve İşlenebilirlik Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-205.
- [22] Yılbas BS, Al-Aqeeli N, Karatas C. Laser control melting of alumina surfaces with presence of B₄C particles. *Journal of Alloys and Compounds*, 539 (12-16), (2012).
- [23] Simsek T, Baris M, Chattopadhyay AK, Ozcan S, Akkurt A. Surface Treatment of S355JR Carbon Steel Surfaces With ZrB₂ Nanocrystals by CO₂Laser, *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 71 (1885-1896), (2018).
- [24] Simsek T, Baris M, Akkurt A. Laser surface treatment of S235JRC carbon steel With Co₂B nanocrystals, *International Journal of Materials Research*, 108 (486-494), (2017).
- [25] Simsek T, Baris M, Ozcan S, Akkurt A. Investigation Of Machinability Properties Of Laser Treated S355JR Carbon Steel With ZrB₂ Nanoparticles, *Turkish Journal of Engineering*, 3 (51-59), 2019.
- [26] Baris M, Simsek T, Akkurt A. Co₂B nanopartikülleri ile Kaplanmış S235JRC karbon çelik malzemelerin farklı kesme yöntemleri ile işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması, *Politeknik Dergisi*, 22 (169-177), (2019).
- [27] Simsek T, İzciler M, Ozcan S, Akkurt A. Laser Cladding of Hot Work Tool Steel (H13) With TiC Nanoparticles, *Turkish Journal of Engineering*, 3 (25-31), (2019).
- [28] Iwatani S, Ogata Y, Uenishi K, Kobayashi KF, Tsuboi A. Laser cladding of Fe-Cr-C Alloys on A5052 Aluminum Alloy Using Diode Laser, *Materials Transactions*, 46 (1341-1347), (2005).
- [29] Quyang JH, Nowotny S, Richter A, Beyer E. Laser cladding of yttria partially stabilized ZrO₂ (YPSZ) ceramic coatings on aluminum alloys, *Ceramics International*, 27 (15-24), (2001).
- [30] Fu Y, Batchelor AW. Laser alloying of aluminum alloy AA 6061 with NiCr. Part II. The effect of laser alloying on the fretting wear resistance, *Surface and Coatings Technology*, 102 (119-126), (1997).
- [31] Yılbas BS, Akhtar SS, Karatas C. Laser carbonitriding of alumina surface, *Optics and Lasers in Engineering*, 49 (341-350), (2011).
- [32] Almeida A, Anjos M, Vilar R, Li R, Ferreira MG, Steen WM, Watkins KG. Laser alloying of aluminium alloys with chromium, *Surface and Coatings Technology*, 70 (221-229), (1995).
- [33] Sun R, Lei Y. Microstructure and hardness of laser clad SiCp-Al composite coatings on Al alloys, *Materials Letters*, 62 (3272-3275), (2008).
- [34] Katipelli L.R, Agarwal A, Dahotre N.B, Laser surface engineered TiC coating on 6061 Al alloy: microstructure and wear, *Applied Surface Science*, 153 865-78), (2000).



A Detailed Study for the Determination of Phase Inductances of a Shaded-Pole Induction Motor with Variable Air Gap

Adem DALCALI^{1*}, Mehmet AKBABA², Emre ÇELİK³

¹Bandırma Onyedü Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Electronics and Communication Engineering, 10200, Bandırma/BALIKESİR

²Karabük University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, 78050, KARABÜK

³Düzce University, Faculty of Engineering, Department of Electrical-Electronic Engineering, 81620, DÜZCE

Graphical/Tabular Abstract

Calculation of phase quantities of AC machines is closely related to the proper knowledge of the inductances. In this study, inductances of a shaded-pole induction motor with variable reluctance has been obtained as summarized in Figure A. The generated algorithm has been applied to the established experimental setup and the resulting data have been processed with the help of equations and graphs have been obtained.

Article Info:

Received: 10/01/2019

Revision 29/03/2019

Accepted: 30/03/2019

Highlights

- Phase inductances of a shaded-pole induction motor
- Stator-rotor mutual inductance versus rotor position
- Performance calculation in shaded-pole induction motor

Keywords

Shaded-Pole Induction Motor
Phase Inductances
Magnetic Saturation
Mutual Inductances

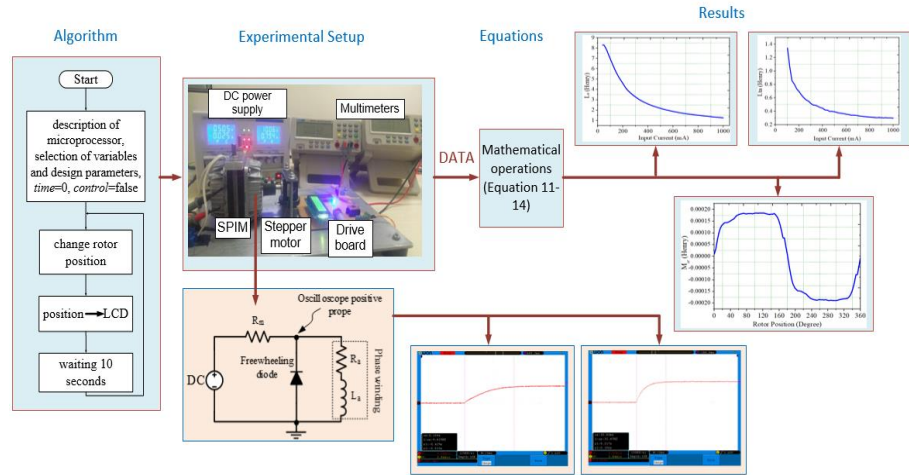


Figure A. Block schema of the system

Purpose: In the study, the effect of magnetic saturation on the stator self and leakage inductances, and also the variation of the stator-rotor mutual inductance versus rotor position have been investigated in detail.

Theory and Methods: Stator winding self-inductance, stator winding and shading-rings leakage inductance, stator-rotor mutual inductance and the mutual inductance between shading-rings and rotor loops are determined experimentally through comprehensive tests. The mechanism, a 200-step motor driven by PIC 16F877A microcontroller has been coupled properly to the SPIM on a platform, has been established in order to obtain the inductances.

Results: Thanks to this study, we believe that a great progress has been made in the accurate identification of the inductances which are problematic in the theoretical analysis of SPIM. It is expected that the analyzes presented in this article will contribute to correct performance prediction of SPIMs at their production stage.

Conclusion: Inductances of a practical SPIM are obtained analytically and investigated in detail using experiments. In the experimental test bench, as it is important to maintain the actual value of the air gap length, a special test platform is prepared. Thanks to this study, we believe that a great progress has been made in the accurate identification of the SPIM inductances which are problematic in the theoretical analysis of SPIM.



Değişken Hava Aralıklı Gölge Kutuplu Asenkron Motorun Faz Endüktanslarının Tespitine Yönelik Detaylı Bir Çalışma

Adem DALCALI^{1*}, Mehmet AKBABA², Emre ÇELİK³

¹Bandırma Onyedü Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, 10200, Bandırma/BALIKESİR

²Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 78050, KARABÜK

³Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 81620, DÜZCE

Öz

Gölge kutuplu asenkron motorlar (GKAM) yapılarının basit, maliyetlerinin düşük olması ve az bakıma ihtiyaç duymaları nedeniyle endüstriyel uygulamalarda, ev aletlerinde ve havalandırma sistemlerinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadırlar. GKAM'da eliptik döner alanın oluşumu motorun analizini oldukça zorlaştırmaktadır. Bu karmaşıklığın sonucu olarak, bu tip motorların teorisi, tasarımı ve analizi konusunda nispeten sınırlı yayın bulunmaktadır. Çoğunlukla bu motorların tasarımları deneme-yanılma yöntemine dayanmaktadır. Bilindiği üzere elektrik makinalarının performansının doğru bir şekilde hesaplanması, hesaplamalarda kullanılan sargı endüktanslarının doğruluğu ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle, çalışmada 4 kutuplu GKAM'ın stator sargısı ve gölge kutup sargısı sargı başı endüktansı, stator sargısı öz endüktansı, stator sargısı toplam kaçak endüktansı ve stator-rotor ortak endüktansı analitik denklemler ve gerçek zamanlı deneyler yardımıyla elde edilmiştir. Aynı zamanda manyetik doyumun stator öz endüktansı ve kaçak endüktansına etkisi ile stator-rotor ortak endüktansının rotor pozisyonuyla değişimi incelenmiştir. Çalışmanın sonunda, hesaplanan stator sargısı öz endüktansının doğruluğu deneysel bir yaklaşımla doğrulanmıştır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 10/01/2019

Düzeltilme: 29/03/2019

Kabul: 30/03/2019

Anahtar Kelimeler

Gölge Kutuplu Asenkron

Motor

Faz Endüktansı

Manyetik Doyum

Ortak Endüktans

Keywords

Shaded-Pole Induction
Motor

Phase Inductances

Magnetic Saturation

Mutual Inductances

A Detailed Study for the Determination of Phase Inductances of a Shaded-Pole Induction Motor with Variable Air Gap

Abstract

Shaded-pole induction motors (SPIMs) are extensively used in industrial applications, home appliances and ventilation systems due to their simple structure, low cost and low maintenance requirement. Formation of elliptic rotating field in SPIM makes its analysis rather complex. As the result of this complexity, there are relatively limited publications on the theory, design and analysis for this kind of motor. In many cases, its design is based on trial and error method. As it is appreciated, the accuracy of predicted performance of electric machines is closely related to the accuracy of the winding inductances used in calculations. For this reason, in this study, stator and shading-rings end-winding leakage inductance, stator winding self-inductance, total leakage inductance of the stator winding and the mutual inductance between stator and rotor winding of a 4-pole SPIM are obtained by means of the derived analytical equations and real-time experiments. Also, the effect of magnetic saturation on the stator self and leakage inductances, and the variation of stator-rotor mutual inductance with respect to the rotor position have been investigated. At the end of the study, the accuracy of computed stator winding self-inductance is validated by an experimental exercise.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bir fazlı motorlar herhangi bir kontrolöre gerek duymadan bir fazlı kaynaktan beslenebilirler. Bu motorlar üretim kolaylığı, maliyet ve basit yapıları gibi üstünlüklerinden dolayı endüstride sıklıkla kullanılmaktadır [1-4]. Bir fazlı asenkron motorlarda, motor dururken üretilen toplam moment sıfırdır. Bu motorların yol alması için yardımcı sargılı, kapasitör başlangıçlı, devamlı kondansatörlü ve gölge kutuplu yol verme metotları kullanılır [5,6]. Bu motorlar arasında GKAM'lar kalkış momentleri ve verimlerinin düşük

olmasına rağmen bakıma ihtiyaç duymamaları ve düşük maliyetlerinden dolayı küçük güçlü uygulamalarda yaygın olarak kullanılırlar [7,8]. Sadece Avrupa’da kapasitörlü bir fazlı motorlar yılda 700-800 bin adet üretilmekte iken GKAM’lar yılda 10 milyon adet kadar üretilmektedir [9].

GKAM’ların kısa devre halkalarının stator kutuplarına açılmış olan yarıklara yerleştirilmesi ve daha önemlisi kutuplar-arası açıklıklar bu motorların hava aralığında değişken bir yapının oluşmasına neden olmaktadır. GKAM’lar tasarım açısından basit yapıya sahiptirler. Ancak bu makinalarda oluşan manyetik alan, eliptik döner manyetik alan olmasından dolayı teorik olarak analizleri en güç olan makinalardandır. Bu tip motorların tasarımında, matematiksel olarak modellenmesinde ve motor performans analizlerinin gerçekleştirilmesinde standart bir prosedür bulunmamaktadır. Bu nedenle bu tip motorlar üzerine çok az sayıda çalışma yapılmıştır [10-12]. Bu çalışmalardan bazılarını özetlersek Ojaghi ve Daliri GKAM’ın dinamik modeli çıkararak farklı çalışma koşullarında performansını incelemişlerdir [13]. Özçelik ve diğerleri, düşük moment ve düşük güç uygulamalarında basit yapısından dolayı gölge kutuplu motorların tercih edildiğini belirtmişlerdir. Çalışmada gölge kutuplu, kapasitörlü ve fırçasız sabit mıknatıslı doğru akım (DA) motorun performansları karşılaştırılmıştır. Gölge kutuplu motorun maliyet açısından, fırçasız DA motorunun ise verim açısından üstün olduğu belirtilmiştir [14]. Pessina ve Morra tek ve çift kısa devre halkasının motor üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çift kısa devre halkalı motorda ters yönde dönen manyetik alan bileşeninin daha az olduğu ve bundan dolayı da tork karakteristiğindeki titreşimlerin azaldığını tespit etmişlerdir [15]. Makowski çalışmasında, kayk ve malzemenin doyumunu dikkate alarak elektromanyetik tork değerini ve performans karakteristiğini elde etmiştir [16]. Saraç çalışmalarında, farklı motor modelleri belirleyerek tork ve verim değerlerini genetik algoritma kullanılarak optimize etmiştir [17,18]. Goa, soğutma fan sistemlerinde kullanılan gölge kutuplu motorun hızını d-q eksen modelini kullanarak kontrol etmiştir [19]. Başka bir çalışmada, motorun gölge kutupları sökülerek, rotoruna mıknatıslar yerleştirilerek fırçasız mıknatıslı bir motor elde edilmiştir. Motorun performansı 2D, 3D FEM analizleri ve deneylerle incelenmiştir [20].

Bu çalışmada, 4 kutuplu GKAM’ın stator sargısı ve gölge kutup halkası kutup başı endüktansları analitik olarak hesaplanmıştır. Gölge kutup halkaları kısa devre edilmemiş ve rotoru sincap kafessiz olarak imal ettirilen GKAM kullanılarak kurulan deney düzeneğinde motor, bir adım motoru ile birbirlerine uygun şekilde bağlanmışlardır. PIC 16F877A mikrodenetleyici kullanılarak eşit rotor açılarında gerçekleştirilen deneylerde GKAM’ın stator sargısı öz endüktansı, kaçak endüktansı ve ortak endüktansları tespit edilmiştir. Ayrıca stator sargısı öz endüktansı, stator sargısının DA güç kaynağına karşı göstermiş olduğu basamak tepkisi oluşturularak da elde edilmiştir. Alternatif akım makinalarında performans hesaplarındaki doğruluk derecesi endüktansların doğru olarak bilinmesiyle doğrudan bağlantılı olduğundan bu çalışma ile GKAM’ın endüktanslarının tespiti konusunda literatüre katkı sağlanmıştır.

2. GÖLGE KUTUPLU ASENKRON MOTORLAR (SHADED-POLE INDUCTION MOTORS)

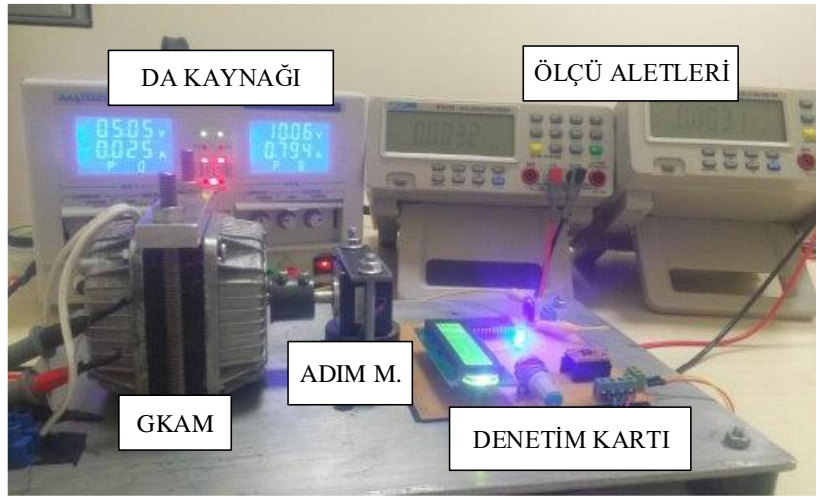
Bir fazlı çok küçük güçlü asenkron motora yol vermenin bir yöntemi de gölge kutup kullanmaktır. Bu tip motorlarda ana sargılar çıkık kutuplar üzerine sarılırken, gölge kutuplar ise bakır halkaların kısa devre edilerek stator kutuplarının belirli bir kısmına yerleştirilir. Ana kutbun gölge kutup dışında kalan bölgesinde manyetik akı maksimum değerine gölge kutup akısından önce ulaşır. Ana kutbun geri kalan kısmı ve gölge kutbun manyetik akıları arasında faz farkının oluşmasıyla motorda yol alma momenti üretilir [21-23]. Çalışmada kullanılan GKAM Faneks Fan şirketi tarafından üretilen ticari bir motordur. Bu motorun özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Motor Parametreleri

Özellik	Değer	Özellik	Değer
Anma gücü, <i>W</i>	15	Rotor oluk sayısı	26
Anma gerilimi, <i>V</i>	220	Rotor çapı, mm	22
Frekans, <i>Hz</i>	50	Nüve boyutu, mm	82x82x25
Kutup sayısı	4	Stator sargısı sarım sayısı	570
Anma hızı, rpm	1305	Stator sargısı iletken kesiti, mm	0,3

3. GKAM ENDÜKTANSLARININ TESPİTİ (DETERMINATION OF INDUCTANCES OF SPIM)

Değişken hava aralıklı gölge kutuplu motorların endüktanslarının hesabı oldukça karmaşıktır. Elektrik makinalarında relüktansın değişmesi ve nüvede kullanılan malzemenin doyma etkisinden dolayı endüktans değeri rotor konumuna ve akıma bağlı olarak değişen lineer olmayan fonksiyonlardır [24,25]. Bu kısımda motora ait stator sargısının sargı başı endüktans değeri analitik olarak elde edilmiştir. Stator sargısı öz endüktansı, stator sargısı ve yarık kutup halkası kaçak endüktansları, stator-rotor ortak endüktansı ve yarık kutup-rotor gözü ortak endüktansları detaylı testler yapılarak deneysel olarak tespit edilmiştir. Şekil 1’de verilen deney düzeneği kurularak endüktansların belirli adımlarla ve hava aralığının değerini bozmadan elde edilmesi sağlanmıştır. Düzenekte mikrodenetleyici ile sürülen 200 adımlı bir adım (step) motorunun gölge kutuplu asenkron motor ile kenetlemeli bağlantısı yapılmıştır. Mekanik açı hassasiyeti $1,8^\circ$ olduğundan bu değer GKAM’de $3,6^\circ$ ’lik bir elektriksel açığa karşılık gelmektedir.



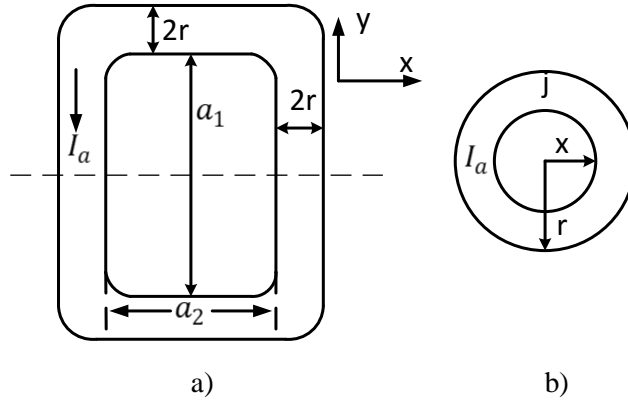
Şekil 1. Endüktansların tespitinde kullanılan deney düzeneği

3.1. Stator Sargısı ve Gölge Kutup Halkası Sargı Başı Endüktansları (Determination of the Stator End-Winding Leakage Inductance)

Elektrik Makinalarında sargı kaçak endüktansları genellikle oluk kaçak endüktansı, zig-zak kaçak endüktansı, sargı başı veya kutup başı gibi bileşenlerden oluşur. Sargı başı kaçak endüktansı toplam kaçak endüktansın oldukça önemli bir yüzdesini oluşturur. Sargı başı endüktansı elektrik makinalarının aksel yönde her iki tarafta demir çekirdeğin dışında manyetik yolunu havadan tamamlayan ve bir bobinin iki yanı arasında kalan kısmın endüktansıdır. Demir çekirdek dışında kaldığı için sargı başının ürettiği manyetik akı üretilen torka katkı yapmaz, sadece sargı endüktansını artırıp akımı ve güç faktörünü azaltır [26]. Çalışmaya konu olan motorun sargı başı endüktansları hesaplanırken aşağıdaki yaklaşımlar dikkate alınmıştır;

- Sargı başlarının birbirinden yeteri kadar uzakta ve birbirlerine olan manyetik etkilerinin olmadığı,
- Akımın sargı başı kesitinde sürekli, düzgün ve sabit bir akım yoğunluğunda dağıldığı,
- Nüvede oluşan fuko akımlarının meydana getirdiği alanın etkisi ile sargı başlarının manyetik alanının gövdeyi etkilemediği kabul edilmiştir.

Yukarıdaki varsayımlara göre, Şekil 2 sırasıyla, uç sargının ve iç endüktansların hesaplanmasında ele alınabilir.



Şekil 2. Endüktansların hesabı için oluşturulan geometriler a) Sargı başı endüktansı b) İç endüktans Eşitlik 1 ile sargı başının x eksenindeki bir yanının, sargının dışındaki bir noktada alanı ifade edilebilir [26].

$$H_y = \frac{NI_a}{2\pi y} \quad 1$$

Belirlenen nokta yakınındaki dar bir bölgeye ilişkin akı değeri;

$$d\Phi = H_y ds = H_y a_2 dy \quad 2$$

Sargı başının x eksenindeki 2 tarafının toplam akı değeri Eşitlik 3'den hesaplanabilir.

$$\lambda_{a2} = \frac{2\mu_0 a_2 I_a N^2}{2\pi} \int_{y=r}^{y=a_1+r} \frac{dy}{y} = \frac{\mu_0 a_2 I_a N^2}{\pi} \ln\left(\frac{a_1+r}{r}\right) \quad 3$$

Belirlenen akıya ilişkin endüktans değeri;

$$L_{a2} = \frac{\lambda_{a2}}{I_a} = \frac{\mu_0 a_2 N^2}{\pi} \ln\left(\frac{a_1+r}{r}\right) \quad 4$$

X eksenine benzer olarak y eksenindeki 2 tarafın dış endüktansı;

$$L_{a1} = \frac{\mu_0 a_1 N^2}{\pi} \ln\left(\frac{a_2+r}{r}\right) \quad 5$$

İç endüktans için akım yoğunluğu Eşitlik 6'dan elde edilebilir;

$$J = \frac{NI_a}{\pi r^2} \quad 6$$

Merkezden x kadar uzaklıkta bir noktadaki manyetik alan;

$$H_x = \frac{NI_a x}{2\pi r^2} \quad 7$$

olur. Sargı başının 4 tarafı için toplam iç manyetik akı;

$$\lambda_{iç} = 2I_a \mu_0 N^2 \left((a_1+r) + (a_2+r) \right) \int_{x=0}^{x=r} \frac{x}{2\pi r^2} dx \quad 8$$

Bu akıya ait endüktans değeri;

$$L_{iç} = \frac{\lambda_{iç}}{I_a} 2N^2 (a_1 + a_2 + 2r) x 10^{-7} \quad 9$$

elde edilir. Toplam sargı başı endüktans değeri iç ve dış endüktansların toplamı olup Eşitlik 10 ile elde edilir [26].

$$L_{sba} = 4N^2 \times 10^{-7} \left[a_2 \ln\left(\frac{a_1+r}{r}\right) + a_1 \ln\left(\frac{a_2+r}{r}\right) + \left(\frac{a_1+a_2}{r}\right) \right] \quad 10$$

Gölge kutup halkası ve stator sargısı kutup başı endüktanslarının hesabı için sargıların ölçülen parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Stator Sargısı ve Gölge Kutup Halkasının Boyutları

Özellik	a_1 (m)	A_2 (m)	r (m)	N
Stator sargısı	0,0354	0,0156	0,006	570
Gölge kutup halkası	0,013	0,017	0,0094	1

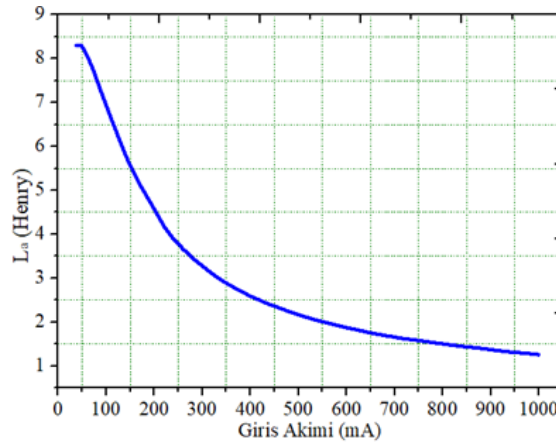
Yapılan ölçümler ve analitik hesaplamalar sonucunda 4 kutup için stator sargısı kutup başı endüktansı $L_{sba} = 0,0137$ H, gölge kutup halkası kutup başı endüktansı $L_{sbb} = 3,26 \times 10^{-2}$ μ H olarak elde edilmiştir.

3.2. Stator Sargısı Öz Endüktansı (Stator Winding Self-Inductance)

Yarık kutup halkaları takılmamış ve rotor sincap kafessiz iken motorun giriş empedansı ölçülerek stator sargısının öz endüktansı belirlenir. Bu durumda giriş empedansı stator sargısı direncinin etkin değeri ile stator sargısı öz endüktansından oluşur. Kaçak endüktans ihmal edilerek stator sargısı öz endüktansı Eşitlik 11 ile hesaplanır [27];

$$L_a = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{V}{I_a}\right)^2 - R_a^2} \quad 11$$

Uyartım akımına göre stator sargısı öz endüktansının değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Giriş akımı 0 – 1000 mA arasında değiştirilerek sargıya uygulanan V gerilimi ve I_a akımı değerleri ölçülerek L_a öz endüktansı analitik olarak belirlenmiştir.

**Şekil 3.** Sargı akımına karşılık stator sargısı öz endüktansının değişimi

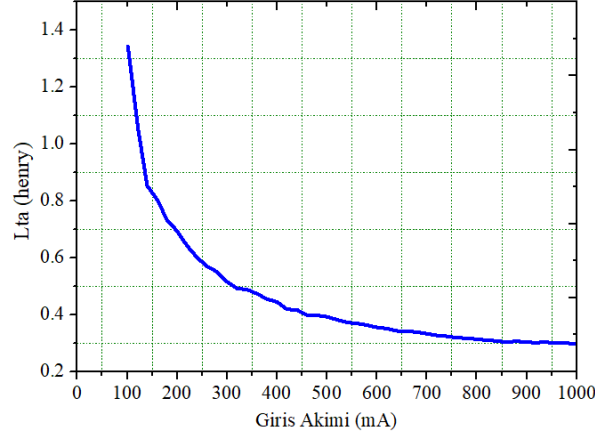
Yukarıda belirtilen test yapılırken rotor devresi açık olduğundan rotor pozisyonu kalmıştır. Şekil 3'ten stator sargısı öz endüktansının stator sargısına uygulanan akım arttıkça düştüğü görülmektedir. Bu durum, nüvenin bazı alanlarında artan stator akımıyla orantılı olarak ortaya çıkan manyetik doyumdan kaynaklanmaktadır. Nominal çalışmada motor akımı 0,396 A iken öz endüktans değeri 2,56 H olarak elde edilmiştir.

3.3. Stator Sargısı Kaçak Endüktansı (Stator Winding Leakage Inductance)

Kaçak endüktans değeri, stator toplam akısı ile statordan rotora geçen ve rotor çevrimleri tarafından halkalanan akının farkı yardımıyla belirlenir. Bu ölçmenin yapılabilmesi için rotor sincap kafesi ve yarık kutup halkalarının çıkarılması gerekmektedir. Böylelikle GKAM'ın oluklarına bobin adımı bir kutup adımına eşit olan ve sipir sayısı n_2 olan ölçme bobini sarılmalıdır. Stator sargısına gerilim uygulanarak rotordaki ölçme bobininde endüklenen E_2 gerilimleri, stator sargı akımı I_a ve uygulanan V gerilimleri ölçülerek kaçak endüktans değeri Eşitlik 12 kullanılarak elde edilir [27].

$$L_{ta} = \frac{1}{2\pi f} \left(\sqrt{\left(\frac{V}{I_a}\right)^2 - R_a^2} - \frac{4 \times E_2 \times N}{n_2 I_a} \right) \quad 12$$

Stator sargısı akımı 0 ile 1000 mA arasında çok küçük aralıklarla değiştirilerek ölçümler tekrarlanmış ve kaçak endüktans değerleri Eşitlik 12 kullanılarak analitik olarak hesaplanmıştır. Şekil 4 uyarım akımına göre stator sargısı kaçak endüktansının değişimini göstermektedir.



Şekil 4. Sargı akımına karşılık stator sargısı kaçak endüktansının değişimi

Şekil 4'den stator sargısı öz endüktansına benzer olarak kaçak endüktansın da nüvenin manyetik doyumundan etkilendiği açıktır. Nominal çalışmada motor akımı 0,396 A iken stator sargısı kaçak endüktansı 0,444 H olarak elde edilmiştir.

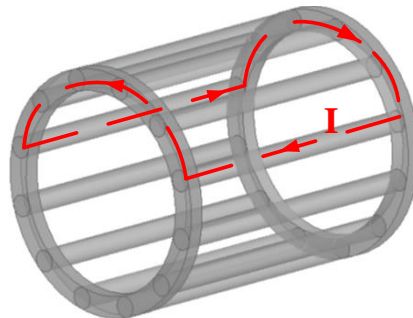
3.4. Ortak Endüktansların Ölçülmesi (Measurement of The Mutual Inductances)

3.4.1. Stator sargısı ile bir rotor gözü arasındaki ortak endüktansın tespiti (Measurement of the mutual inductance between the stator winding and a rotor loop)

Stator sargısı ile bir rotor gözü arasındaki ortak endüktansı ölçmek için boş bulunan komşu iki rotor oluğuna sarım sayısı n olan bir ölçme bobini sarılmalı, stator sargısından bilinen I_a akımları geçirilmeli rotordaki ölçme bobininde indüklenen E gerilimi ölçülmelidir. Bu ölçmelerden stator sargısı ile bir rotor gözü arasındaki ortak endüktans belli bir rotor konumu için Eşitlik 13'den elde edilir [26-27].

$$M_{ar} = \frac{E}{2\pi f n I_a} \quad 13$$

Rotor gözü, Şekil 5'de verildiği üzere her iki rotor çubuğu ve bunlar arasında kalan uç halka parçaları tarafından oluşmaktadır.

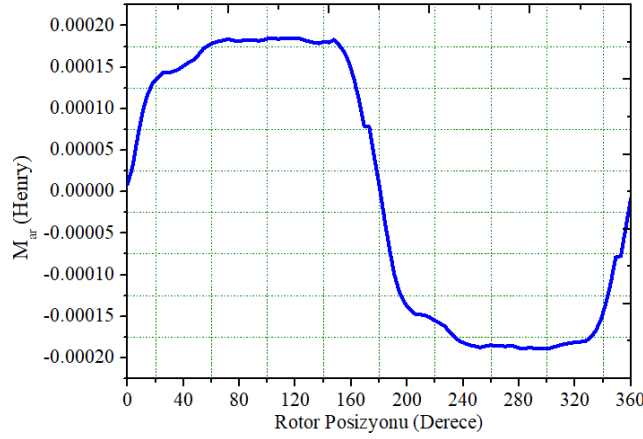


Şekil 5. Bir rotor gözünün şematik gösterimi

Rotor belirli açılarla döndürülüp her konumda ölçüm alınarak;

$$M_{ar}(\theta) = f(\theta) \quad 14$$

değişimi elde edilmiştir. Stator sargısı-rotor gözü arasındaki ortak endüktansın değişimi açısal pozisyona bağlı olarak Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Rotor pozisyonuna göre stator-rotor gözü ortak endüktansı

3.4.2. Stator sargısı ile gölge kutup halkası arasındaki ortak endüktansın tespiti (Measurement of the mutual inductance between the shading-rings and a rotor loop)

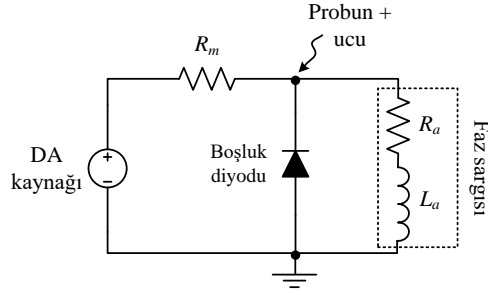
Gölge kutup oluklarına sarım sayısı n_1 olan ölçme bobini sarılarak bu ölçme bobininden değeri bilinen I_{yk} akımları geçirilmiştir. Ayrıca rotora n_2 sarımlı ölçme bobini sarılarak bu bobinde endüklenen E gerilimleri ölçülmüştür. Ortak endüktans değeri ölçüm değerleri kullanılarak Eşitlik 15'den analitik olarak hesaplanmıştır [27].

$$M_{br} = \frac{E}{2\pi f n_1 n_2 I_{yk}} \quad 15$$

Yapılan ölçüm sonuçlarına göre gölge kutup halkası ile bir rotor gözü arasındaki ortak endüktans değeri $M_{br} = 1,47 \times 10^{-7}$ H olarak elde edilmiştir.

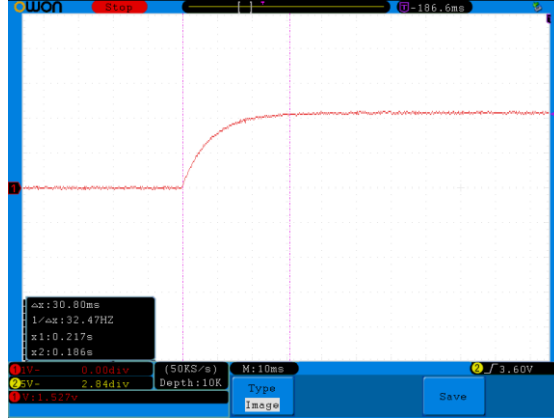
3.5. Üstel deşarj metodu kullanılarak stator sargısı öz endüktansının tespiti (Measurement of stator winding self-inductance by exponential discharge method)

Bu yöntemde stator sargısı öz endüktansı bir DA kaynak yardımıyla ölçülebilmektedir. Endüktansı bilinmeyen bir sargı Şekil 7'de verilen deney düzeneğine değeri bilinen bir R_m direncine seri olarak bağlanır. Deney R-L devresindeki zaman sabitesinden $L_a / (R_m + R_a)$ yararlanılarak gerçekleştirilir. Sargı direnci ve bağlanan seri direncin toplam değeri $84,2 \Omega$ olarak ölçülmüştür.



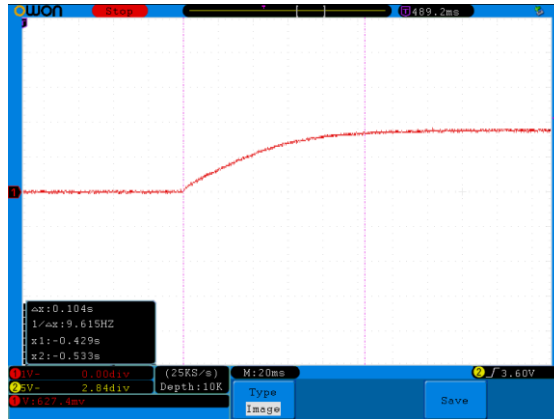
Şekil 7. Üstel deşarj yönteminde kullanılan devre modeli

Rotor yokken LCR metre ile yapılan ölçümlerde endüktans değeri 570 mH olarak ölçülmüştür. Yapılan deneyde elde edilen osiloskop görüntüsü Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Rotor yokken faz sargısının basamak tepkisi

Direnç değerleri bilindiğinden endüktans değeri y ekseninden zaman sabitesi bulunarak tespit edilebilir. Şekil 8’den zaman sabitesi $\tau = 6,16$ ms olarak tespit edilmiştir. Buradan stator sargısı öz endüktans değeri 519 mH olarak tespit edilmiştir. Oluk köprüleri açılmamış rotora sahip motorda deney tekrarlandığında endüktans değeri 1,751 H olarak elde edilmiştir. Bu duruma ilişkin osiloskop ile elde edilen ekran görüntüsü Şekil 9’da verilmiştir. Bu şartlarda LCR metre ile yapılan ölçümlerde endüktans değeri ise 1,8 H olarak ölçülmüştür. Görüldüğü gibi LCR metre ile deneysel yaklaşımlardan elde edilen değerler oldukça yakındır. Önerilen yaklaşımlardan elde edilen sonuçların gerçek değerlerine daha yakın olduğu düşünülmektedir.



Şekil 9. Oluk köprüleri açılmamış rotor durumunda faz sargısının basamak tepkisi

Yapılan hesaplamalar ve gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen endüktans değerleri Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3. Endüktans Değerleri

<i>Parametre</i>	<i>Tanımı</i>	<i>Değer</i>	<i>Birim</i>
L_{sba}	<i>Stator sargısı sargı başı endüktansı</i>	0,0137	H
L_{sbb}	<i>Gölge kutup halkası sargı başı endüktansı</i>	$3,26 \times 10^{-2}$	μH
L_a	<i>Stator sargısı öz endüktansı (sincap kafesiz rotorlu)</i>	2,56	H
L_a	<i>Stator sargısı öz endüktansı (oluk köprüleri açılmamış rotorlu)</i>	1,751	H
L_a	<i>Stator sargısı öz endüktansı (rotorsuz)</i>	0,519	H
L_{ta}	<i>Stator sargısı kaçak endüktansı</i>	0,444	H
M_{br}	<i>Gölge kutup halkası- bir rotor gözü ortak endüktansı</i>	0,147	μH

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Alternatif akım makinalarının faz büyüklüklerinin hesaplanması endüktansların doğru şekilde bilinmesi ile yakından ilişkilidir. Bu anlamda gölge kutuplu motor dikkate alındığında değişken relüktanslı hava aralığı ve gölge kutuplu yapısından dolayı endüktans parametrelerinin doğru olarak tespiti oldukça zordur. Bu zorlukların üstesinden gelmek amacıyla çalışmada GKAM'ın endüktansları deneylerle elde edilen veriler ile analitik olarak detaylı bir şekilde incelenmiştir. Deneysel çalışmada hava boşluğunun gerçek değerini korumak önemli olduğundan özel bir test ortamı hazırlanmıştır. Bu çalışma sayesinde, GKAM'ın teorik analizinde sorunlu olan endüktansların doğru tanımlanmasında büyük bir ilerleme kaydedilmiştir. Bu makalede sunulan analizlerin, üretim aşamasında GKAM'ın performans tahminlerinin doğru yapılmasına katkı sağlaması beklenmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Yazarlar, çeşitli şekillerde birçok rotor yapısı sağlayan Faneks Fan Motor Şirketine ve Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Birimine (KBÜ-BAP-16/2-BM-110) destekleri için teşekkür ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Nam, H., Kim, Y.K., Jung, S.K. and Hong, J.P., Analysis method using equivalent circuit considering harmonic components of pole change motor. Sixth International Conference on Electrical Machines and Systems, Vol. 2, pp. 740-743, China, 2003.
- [2] Kurt, A., Önbilgin, G., Kurt, Ü. and Ozgonenel, O., "A New Single Phase Induction Motor Design", Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, pp. 1-6, Bursa, 2012.
- [3] Kurita, N., Ishikawa, T. and Suzuki, G., "Development of the Two Pole Type Shaded Pole Seld-Bearing Motor, *Materials Science Forum*, Vol. 856, pp. 196-201, 2016.
- [4] Üstkoyunca, N., Eroğul, O., "Anahtarlamalı Relüktans Motor Tabanlı Medikal Santrifüj Sistemi", GU J Sci, Part C, 6(3): 536-543 (2018).

- [5] Collins, E.R., Shirley, J.R. and Fox, J.C., "An Experimental Investigation of Third Harmonic Current Distortion in Single-Phase Induction Motors", 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power, pp. 1-7, Wollongong, 2008.
- [6] El-Shahat, A., "Electric Machines for Smart Grids Applications- Design, Simulation and Control", IntechOpen, pp. 150-170, 2018.
- [7] Alidousti, A., Sadoughi, A., Behbahanifard, H. and Raeisi, Y., "A New Rotor Prototype for Single Phase Line Start Permanent Magnet Synchronous Motor Based on Amendments to A Small Industrial Shaded Pole Induction Motor", 9th Annual Power Electronics, Drives Systems and Technologies Conference, Tehran, 2018.
- [8] Shamlou, S. and Mirsalim, M., "Design, Optimisation, Analysis and Experimental Verification of A New Line-Start Permanent Magnet Synchronous Shaded-Pole Motor", IET Electric Power Applications, Vol 7, Iss 1, pp. 16-26, 2013. DOI: 10.1049/iet-epa.2012.0064.
- [9] Karmakar, A., Saha, P.K. and Panda, G.K., "D-Q Axis Modelling Analysis of a Shaded Pole Induction Motor and Study of the Non-linear Behaviour", International Conference on Power, Energy and Control, pp. 596-600, 2013.
- [10] Sarac, V., Stefanov, G., "Calculation of Electromagnetic Fields in Electrical Machines Using Finite Elements Method", International Journal of Engineering and Industries, 26(1),21-29, 2011.
- [11] Dehkordi, A.B., "A Single-Phase Induction Machine Model for Real-Time Digital Simulation", International Conference on Power Systems Transients, Croatia, June 15-18, 2015.
- [12] Kentli, F., "A Survey on Design Optimization Studies of Induction Motors During the Last Decade", Journal of Electrical & Electronics Engineering Istanbul University, Vol. 9, No. 2, pp. 969-975, 2009.
- [13] Ojaghi, M. and Daliri, S., "A Detailed Dynamic Model for Single-phase Shaded Pole Induction Motors", 18th International Conference on Electrical Machines and Systems, Pattaya, Oct., 2015.
- [14] Özçelik, N.G., Doğru, U.E., ve Ergene, L.T., "Comparison study of drive motors for cooker hood applications", 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition, pp. 1252-1257, Antalya, 2014.
- [15] Pessina, G. ve Morra, E., "Optimization and design of the shaded pole single phase asynchronous motor", International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, pp. 469-473, 2012, DOI: 10.1109/SPEEDAM.2012.6264407.
- [16] Makowski, K., "Determination of performance characteristics of a single-phase shaded pole induction motor by circuit-field method", Electrical Engineering- Springer, pp. 281-286, 2002.
- [17] Sarac, V., Petkovska, L., Cundev, M. and Cvetkovski, G., "Comparison between two target functions for optimization of single phase shaded-pole motor using method of genetic algorithms", Journal of Materials Processing Technology, pp. 89-95, 2005.

- [18] Sarac, V.J., Stefanov, G.G. and Cvetkovski, V., “Influence of number of varied parameters on torque of single phase optimized motor models”, 14th International IGTE Symposium on Numerical Fields Calculation in Electrical Engineering, pp. 196-201, Graz, 2010.
- [19] Gao, Y., Chau, K.T. and Ye, S., “A novel chaotic-speed single-phase induction motor drive for cooling fans”, Industry Application Conference, pp. 1337-1341, Vol. 2, 2005.
- [20] Andriollo, M., Bortoli, M., Martinelli, G., Morini, A. and Tortella, A., “Design Improvement of Single-Phase Brushless Permanent Magnet Motor for Small Fan Appliances”, Transactions on Industrial Electronics, Vol. 57, No. 1, pp. 88-95, 2010.
- [21] Bal, G., “Özel Elektrik Makinaları”, Seçkin, Ankara, 2006, ISBN:9750201574.
- [22] Ojaghi, M. And Daliri, S., “Analytic Model for Performance Study and Computer-Aided Design of Single-Phase Shaded-Pole Induction Motors”, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol 32, No. 2, pp. 649-657, 2017.
- [23] Shamlou, S. and Mirsalim, M., “A New Restructed Shaded Pole Induction Motor- 3D Finite Element Analysis and Experimental Verification”, International Journal of Smart Engineering, Vol 4, No 3, pp. 125-130, 2015.
- [24] Çınar, M.A., Gündoğan, Ç. and Kuyumcu, F.E. “Taşıt Tahriğinde Kullanılacak Bir Anahtarlı Relüktans Motor Tasarımı ve Analizi”, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi, 304-307, Istanbul, 2005.
- [25] Bal, G. and Öncü, S. “Effects of A Current Transformer's Magnetizing Current on The Driving Voltage in Self-Oscillating Converters”, Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, Vol 22, 191-201, 2014.
- [26] Akbaba, M. and Fakhro, S.Q., “An Improved Computational Technique of the Inductance Parameters of Reluctance Augmented Shaded-Pole Motors Using Finite Element Method”, IEEE Transactions on Energy Conversion Vol. 7, No. 2, pp. 308- 314, 1992.
- [27] Dalcalı, A., “Gölge kutuplu asenkron motorların yeni bir matematiksel modeli ve uzay harmonikli eşdeğer devresi”, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2017.

A New Hydrotherapy Exercise Device's Conceptual Design with Systematical Design Approach

C. Oktay AZELOĞLU^{1*}, M. Eda ALPER¹

¹Yıldız Technical University, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering, 34349-Besiktas / Istanbul

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 13/02/2019

Revision: 20/03/2019

Accepted: 02/04/2019

Highlights

- Application of systematical design approach
- Conceptual design of a new exercise equipment
- A new design solution of hydrotherapy exercise

Keywords

Systematical design approach,
Conceptual design,
Hydrotherapy exercise device.

In this study, by using the systematic construction approach developed by Pahl and Beitz, conceptual design has been made by finding the optimum design option for the design of a new hydrotherapy exercise device. Figure A illustrates this conceptual design option.

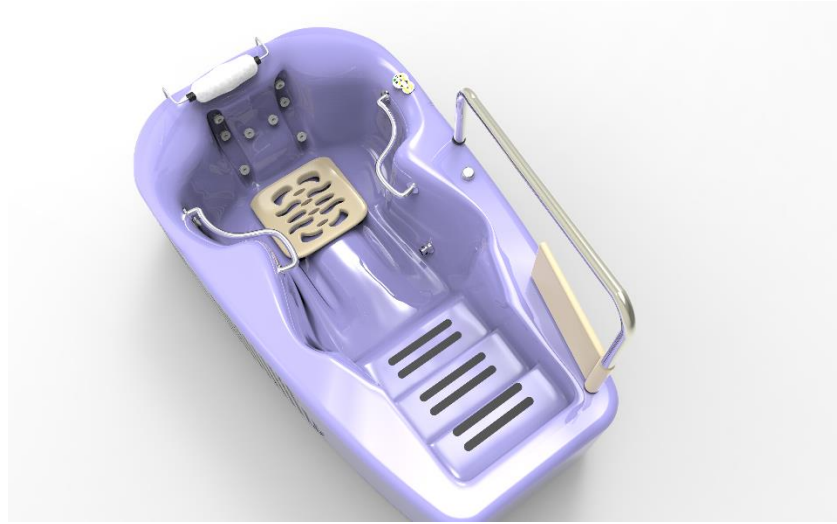


Figure A. Conceptual Design of Hydrotherapy Exercise Device

Purpose: In this study, it is aimed to make a conceptual design for a hydrotherapy exercise with a systematic construction approach in order to realize the most useful, most useful, most economical and best looking product by following certain principles and rules.

Theory and Methods: In order to create a conceptual design for hydrotherapy exercise, firstly, the clarification and analysis of the technical task was made and the requirements list was created. Then, the main structure and sub-functions were determined by passing on to the function structure. Then the solution methods for each function are defined. Solution methods for conceptual design were evaluated technically and economically.

Results: As a result of combining the solutions for different functions of hydrotherapy exercise device 24 conceptual design option was determined. The highest scoring option was selected for the concept design according to the criteria specified in the objectives tree and at the end of the evaluation.

Conclusion: In this study, optimum solution was achieved by methodical steps by using systematic construction approach. The conceptual design of hydrotherapy exercise device that was created by applying this approach is a new design that can run multiple muscle groups at the same time and can be used for physical therapy purposes.



Yeni Bir Hidroterapi Egzersiz Aletinin Sistemik Konstrüksiyon Yaklaşımıyla Kavramsal Tasarımı

C. Oktay AZELOĞLU¹, M. Eda ALPER¹

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34349-Besiktas / Istanbul

Öz

Çağımızdaki hareketsiz yaşamın bir sonucu olarak günümüzde fiziksel egzersizler yapabilmek için birçok spor aleti kullanılmaktadır. Bu aletler temel olarak bir kas ya da kas grubunun çalıştırılmasına odaklanır ve bu prensibe göre tasarlanırlar. Bu amaçla su içerisinde yapılan egzersizler yani hidroterapi de, alternatif bir egzersiz olarak sunulmakta ve buna uygun spor aletleri tasarlanmaktadır. Ancak hidroterapi egzersizi yapılan spor aletleri, diğer aletler gibi genellikle tek bir kas ya da kas grubunun çalıştırılmasını hedeflemektedir ve bugüne kadar sadece temel birkaç tipte tasarlandığı görülmektedir. Bu çalışmada hidroterapi amaçlı yeni bir egzersiz aletinin sistemik konstrüksiyon yaklaşımı ile kavramsal tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılan ürün diğerlerinden farklı olarak aynı anda birden fazla kas grubunu çalıştırabilecek ve fizik tedavi amacıyla da kullanılabilir. Çalışmada sistemik konstrüksiyon aşamaları sırasıyla uygulanarak sonuçta optimum tasarım fikrine ulaşılmıştır. Tasarlanan hidroterapi egzersiz aleti kullanıcılara ve bu hizmeti veren merkezlere bir havuza gereksinimleri olmadan aynı anda birçok kas grubunu çalıştıracak ve gerektiğinde fizik tedavi amacıyla da kullanılabilir bir spor imkânı sağlamaktadır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 13/02/2019

Düzeltilme: 20/03/2019

Kabul: 02/04/2019

Anahtar Kelimeler

Sistemik konstrüksiyon,
Kavramsal tasarım,
Hidroterapi egzersiz aleti.

Keywords

Systematical design
approach,

Conceptual design,
Hydrotherapy exercise
device.

A New Hydrotherapy Exercise Device's Conceptual Design with Systematical Design Approach

Abstract

Today, many fitness devices are used for doing physical exercises as a result of inactive life. These devices usually focus on fundamentally working of a muscle or muscle group. For this purpose hydrotherapy which is physical exercise in water is presented as an alternative exercise and these fitness devices are designed accordingly to that. However, sports equipment with hydrotherapy exercise usually aims to operate a single muscle or muscle group, like other devices, and it is seen that only a few basic types have been designed until today. In this study, a new hydrotherapy exercise device was designed conceptual with systematic design methodology. The product is designed to be able to operate more than one muscle group at the same time and be used for physical therapy. In the study, systematic design methodology steps were applied respectively to achieve optimum design idea. The aim of designed hydrotherapy exercise equipment provides to users and therapy centers a fitness opportunity for working many muscle group at the same time without needing a pool.

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Spor ve egzersiz günümüzde her bireyin sağlık ve mutlu yaşamının vazgeçilmez bir unsuru haline gelmiştir. Özellikle günlük hayatında yeterli fiziksel egzersizleri sağlık problemleri sebebiyle yapamayan bireyler için mevcut kabiliyetlerin azalmaması açısından veya daha iyiye gitmesi için olmazsa olmazdır. Spor ve egzersizleri sadece spor salonunda yapılan bir faaliyet olarak görmek oldukça dar bir bakış açıdır. Günümüzde iç mekânda ve dış mekânda farklılaşmaya giden egzersiz faaliyetleri çeşitlenmektedir. Bu bağlamda suyun içerisinde yapılan egzersizleri ele alırsak suyun fiziksel özellikleri sebebiyle su içerisinde yapılan hareketler kaldırma kuvveti ile kolaylaştığı ve desteklediği gözlemlenir. Bu amaçla su içerisinde yapılan egzersizler hidroterapi olarak adlandırılır. Bu sayede hem sağlıklı bireylerin spor yapmaları hem de ortopedik sağlık sorunları olan kişilerin fizik tedavilerinin gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Suyun içerisinde yapılan egzersizlerin kişiler üzerinde hem

fiziksel hem de psikolojik olarak rahatlatıcı etkisi, yapılan bilimsel çalışmalarla da kanıtlanmaktadır[1]. Günümüzde kısıtlı sayıda hidroterapi amaçlı egzersiz aleti tasarlanmıştır. Genellikle bu tasarımlar ortopedik rahatsızlıkları olan bireyler için bir uzman eşliğinde kullanılmaktadır ve bir su tankının içerisine yerleştirilen bir yürüyüş bandından veya bisikletten ileri gidememektedir. Normalde hareketi kısıtlı olan bireylerin aynı hareketleri su içerisinde yaptıklarında suyun kaldırma kuvvetinin etkisiyle daha kolay hareket ettikleri gözlenmiştir. Bu hidroterapi egzersiz aletlerinin avantajlı yönüdür. Ancak bu alandaki ürünlerin sayısının az olması ve yukarıda belirttiğimiz gibi sınırlı tasarımları, yeni tasarımlara ihtiyaç olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada tasarım yöntemi olarak Pahl ve Beitz'in geliştirdiği sistematik konstrüksiyon yaklaşımı kullanılmıştır. Sistematik konstrüksiyon tasarımcıya metodik şekilde belirli ilke ve kuralları izleyerek optimum tasarıma ulaşmayı öğreten bir bilimdir ve amacı en kullanışlı, en yararlı, en ekonomik ve en güzel görünümlü ürünün gerçekleştirilmesidir [2]. Bu makalede özellikle ürünün kavramsal tasarım fazına odaklanılmıştır. Bu amaçla ilk etapta teknik ödevin tanımı ve analizi yapılmış ve bir istekler listesi oluşturulmuştur. Ardından fonksiyon strüktürüne geçilmiş, ana fonksiyon ve alt fonksiyonlar belirlenmiştir. Sonra her bir alt fonksiyon için çözüm yöntemleri ortaya konmuş ve bunlar uygun şekilde bir araya getirilerek çok sayıda çözüm önerisi elde edilmiştir. Çözüm önerilerinin karar verme teorileri yardımıyla teknik ve ekonomik açıdan değerlendirilmesiyle de yeni ve optimum bir çözüm fikrine ulaşılmıştır. Bu tasarımla bir havuza ihtiyaç olmadan tedavi veya spor merkezlerinde hidroterapi egzersizinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

2.HİDROTERAPİ EGZERSİZ ALETİNİN SİSTEMATİK KONSTRÜKSİYON YAKLAŞIMIYLA KAVRAMSAL TASARIMI (HYDROTHERAPY EXERCISE DEVICE'S CONCEPTUAL DESIGN WITH SYSTEMATICAL APPROACH)

Bu çalışmada, hidroterapi egzersiz aletinin tasarımı yapılırken sistematik konstrüksiyon yaklaşımından faydalanılmış ve özellikle ürünün kavramsal tasarımına odaklanılmıştır. Dolayısıyla bu bölümde, metodik olarak uygulanan tasarım aşamaları alt başlıklar halinde ele alınmıştır. Sistematik konstrüksiyonda, en uygun çözüm fikrinin belirlenmesine kadar geçen temel adımlar aşağıdaki gibidir[1].

- 1) Teknik Ödevin Aydınlatılması
 - a. Bilgilerin toplanması
 - b. Soru listelerinin hazırlanması
 - c. İstekler listesinin hazırlanması
- 2) Kavramsal Tasarım
 - a. Temel prensibin tanımlanması
 - b. Fonksiyon yapılarının kurulması
 - c. Alt fonksiyonları karşılayan çözüm prensiplerinin aranması
 - d. Çözüm prensiplerinin bir araya gelmesi
 - e. Uygun çözüm seçeneklerinin oluşturulması
 - f. Çözüm seçeneklerinin değerlendirilmesi
 - g. En uygun çözümün belirlenmesi

Yukarıdaki aşamalar uygulama olarak ele aldığımız ürünün oluşmasında yol haritası olmuştur. Dolayısıyla bu çalışmada öncelikle teknik ödev aydınlatılmış, ardından kavramsal tasarım fazındaki adımlara geçilmiştir.

2.1 TEKNİK ÖDEVİN AYDINLATILMASI (TASK CLARIFICATION)

Teknik ödevin aydınlatılması ile tasarım sürecine başlanmıştır. Bu süreçte ödev analiz edilerek sınırları belirlenmiştir. Ödevin aydınlatılması amacıyla spor egzersizleri ve hidroterapiye dair makalelerden faydalanılmış, benzer çözümler ve patentler incelenmiştir [1,3,4]. Ödev, suyun rahatlatıcı ve tedavi edici etkisinden faydalanarak aynı anda birden fazla kas grubunu çalıştıracak ve fizik tedavi amacıyla da kullanılacak yeni bir hidroterapi egzersiz aletinin tasarımı olarak belirlenmiştir. Kendine ait bir su tankı içerisinde, kişilerin bireysel olarak kullanabilecekleri; egzersiz hareketlerini uygulayabilecekleri, vücutta en az iki kası çalıştıracak şekilde bir tasarım düşünülmüştür. Kapsama bakıldığında ise tasarlanacak ürünün spor merkezlerinde ve fizik tedavi merkezlerinde mümkünse bir gözetmen eşliğinde kullanılması öngörülmüştür. Bu sayede ürünün ortopedik problemi olan bireylerde ikincil ortopedik

sorunların gelişmesini engellemek, bireylerin günlük yaşamında çevrelerine olan bağımlılıklarını azaltmak gibi katkıları da olacaktır.

2.2 İSTEKLER LİSTESİ (REQUIREMENTS LIST)

Ödev aydınlatıldıktan sonraki aşama istekler listesinin belirlenmesidir. İstenilenlerin tam olarak tarif edilmesi çalışmanın sınırlarını ve kapsamını belirler. İstekler listesi ile tasarımcının, tüm tasarım süreci boyunca temel alacağı bir tasarım şartnamesi oluşturulmuş olur. İstekler listesi, tasarımın sağlaması gereken tüm fonksiyonları ve kısıtları kapsar. İstekler listesi canlı, dinamik bir belgedir ve gelişmeye açık olmalıdır. Başka sözlerle, bu tasarım şartnamesi tasarım süreci boyunca ihtiyaçlara göre revize edilebilir, esnetilebilir ve güncellenebilir [2]. Bu amaçla, ele alınan uygulamada ödevin aydınlatılması ve sınırların açıkça ortaya konması adına bir istekler listesi oluşturulmuş ve Tablo 1’de verilmiştir. Listede yer alan istekler iki ana başlıkta değerlendirilmiştir. Bunlar, Kesin istekler (K) ve Arzular (A) şeklinde tanımlanmıştır. Kesin istekler (K), karşılanması zorunlu, olmazsa olmaz isteklerdir. Arzular (A), karşılanması zorunlu olmayan, ancak karşılandığı takdirde avantaj sağlayacak isteklerdir. Hedeflerin istekler listesinde yer alması zorunlu değildir.

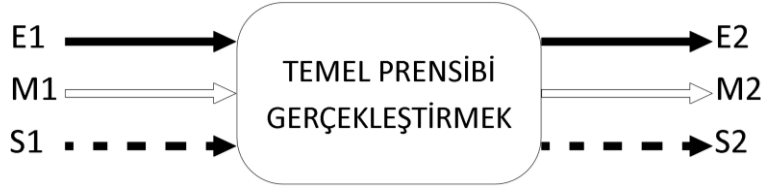
Tablo-1.İstekler Listesi

Firma: YTÜ		İstekler Listesi	Tarih: 05.11.2018
Tarih	K A	Teknik Ödev: Hidroterapi Egzersiz Aleti	Sorumlu Bölüm: Konstrüksiyon Anabilim Dalı
05.11.2018	K	Erişkin bir insanın kullanabileceği ölçülerde olacak	
	A	Bir kişi tarafından kullanılmalı	
	K	En fazla 290L su kullanma	
	A	Suyun kaldırma kuvveti dışında ek ağırlık oluşturmayacak.	
	K	Su yüküne karşı mukavemetli olmalı.	
	A	Suyun kaldırma kuvveti sistemde fayda sağlamalı.	
	K	Alet kullanıcı tarafından manuel olarak kullanılacak	
	A	Bakteri tutmayan materyaller kullanılacak.	
	A	Keskin kenarlar, sivri formlardan kaçınılmalı.	
	K	Varsa kullanıcının güvenliğini tehlikeye atacak elektriksel bağlantıların yalıtkanlığı sağlanmalı.	
	K	Su sıcaklığı 28 derece olarak tutulmalı.	
	A	Kullanıcıyı rahat hissettirecek öğeler barındırmalı.	
	K	Ara yüz kullanım sırasında kullanıcı tarafından erişilebilir olmalı.	
	A	Mevcut parçalar imkân veren teknoloji dâhilinde yerli malı olmalıdır.	
	K	ADA standartlarına uygun olmalıdır.	
	A	Kurulumu kolay olmalı.	
	K	Vücuttaki kaslardan en az bir ya da birkaç tanesini çalıştırma	
	A	Kullanıcı yardım almadan kullanabilecek.	
	A	Engelli bireyler ürün kullanımında girişte çıkışta problem yaşamamalıdır.	
	A	Minimum maliyet ile üretilmeli.	
K	Sistem su içerisinde çalışmak üzere kurgulanacak.		
K	Kullanılan bağlantılar ve malzemelerde sızdırmazlık olmalı.		
K	Özellikle su ile temas eden yüzeylerin ve bağlantıların korozyona dayanıklı olmalıdır.		
A	Kalori yakımı, mesafe veya zamanı gösteren bir dijital ara yüze sahip olacak.		
06.12.2018	A	Kişilerin egzersiz yaparken oyalanabilecekleri bir ekrana sahip olabilir.	
	K	Egzersiz esnasında ani durma, çarpma gibi etkileri engelleyecek elemanlar olması.	
	K	Maximum kullanıcı ağırlığı 150 kg dan fazla olmamalı.	
A	Yapılabilecek farklı egzersizler varsa bunların sırasını gösteren bir ara yüze sahip olabilir.		

2.3 TEMEL PRENSİBİN TANIMLANMASI VE FONKSİYON YAPISININ KURULMASI (IDENTIFYING THE ESSENTIAL PROBLEMS AND ESTABLISHING FUNCTION STRUCTURES)

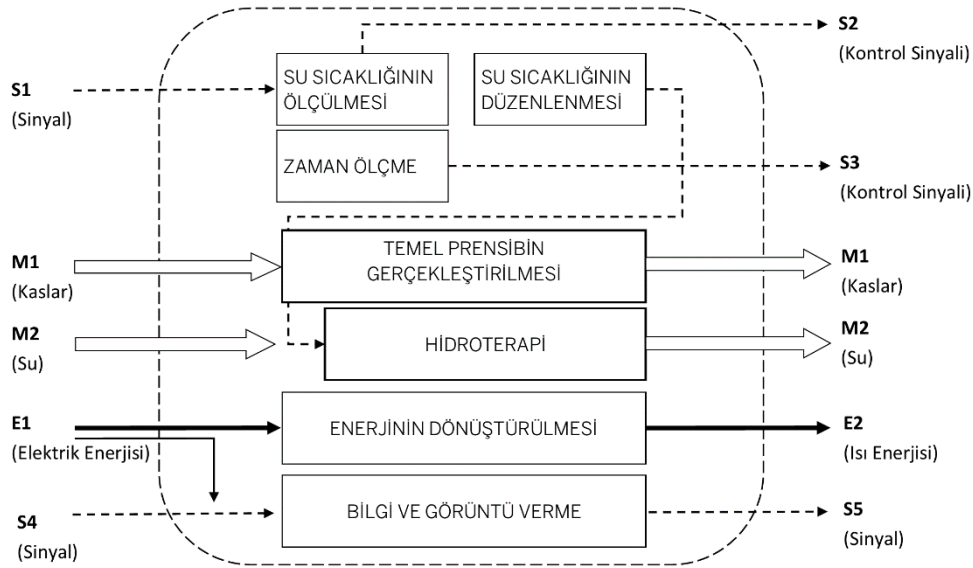
Ödevin aydınlatılması ve detaylı bir şekilde analiz edilerek istekler listesinin oluşturulmasından sonra temel prensibin tanımlanması uygun olur [5,6]. Temel prensip, “kendine ait bir su tankı içerisinde, kişilerin bireysel olarak kullanabileceği, egzersiz hareketlerini uygulayabileceği, vücutta en az iki kası çalıştıracak bir ürünün tasarımı” şeklinde tanımlanmıştır. Ardından ürünün fonksiyon strüktürünün oluşturulmasına geçilmiştir. Burada öncelikle temel problem enerji, madde ve sinyal akışıyla birlikte kara kutu adı verilen bir blok diyagram şeklinde gösterilmeli, daha sonra alt fonksiyonları da içerecek

şekilde kapsamlı bir fonksiyon strüktürü hazırlanmalıdır [2]. Bu nedenle ele alınan ürünün öncelikle temel fonksiyon strüktürü (kara kutu) hazırlanmış ve Şekil 1’de verilmiştir. Kara kutuda giriş çıkış büyüklükleri Madde (M1-M2), Sinyal (S1-S2), Enerji (E1-E2) olarak gösterilmiştir. Burada, ürünün temel prensibi gerçekleştirilmesi hedef alınmış ve ardından bu hedef doğrultusunda alt fonksiyonları da içeren detaylı fonksiyon yapısına geçilmiştir.



Şekil 1. Kara Kutu Diyagramı

Sistemin alt fonksiyonlarını da içeren detaylı fonksiyon strüktürü Şekil 2’de verilmiştir. Burada kara kutudan hareketle madde, enerji ve sinyal dönüşümleri detaylandırılmış ve bir insana su içerisinde egzersiz yaptırmak üzerine kurulu olan temel prensip genişletilmiştir. Üründe en basit haliyle iki madde girişi karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan ilki insanla ilgilidir; maddenin dönüşümü ise egzersiz hareketinin sağlanmasıdır. İkinci madde girişi sudur; sistemde hidroterapiyi sağlamak için yer almaktadır. Yan fonksiyonlar ise sinyal ve enerjidir. Sinyal burada suyun sıcaklığının sabit bir derecede tutulması için önemlidir. Diğer bir durum ise egzersiz zamanının ölçülmesidir. Enerji, sinyal sistemi için gereken gücü sağlamalıdır. Sinyalin bir görevi de suyun ısıtılmasını kontrol etmek ve su sıcaklığını sabitlemektir. Bunun için elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşümüne ihtiyaç vardır.



Şekil 2. Detaylı fonksiyon strüktürü

2.4 ANA VE ALT FONKSİYONLARIN OLUŞTURULMASI VE DERECELENDİRİLMESİ (CREATING OVERALL FUNCTION AND BREAKING A FUNCTION DOWN INTO SUBFUNCTIONS)

Fonksiyon strüktürünün oluşturulmasıyla ana fonksiyonu gerçekleştirecek ikinci derece fonksiyonlar yani alt fonksiyonlar belirlenmiştir. Alt fonksiyonlar, ana fonksiyonu sağlamak için birbirinden bağımsız yapılar olarak tanımlanabilir. Bu aşamada her bir alt fonksiyonun hedefini ve bunun nasıl yapılacağını açıklayan bir fonksiyon zinciri oluşturulması faydalı olur [7]. Bu amaçla tasarlanan hidroterapi egzersiz aletinin fonksiyon zinciri Tablo 2’de verilmiştir. Böylece, her alt sistemin amaç ve görevi ile bunun nasıl yapılabileceği hakkında açıklamalar sağlanmıştır. Burada konstrüksiyona tercüme sütunu sistematik konstrüksiyon açısından zorunlu olmayıp, fikir amaçlıdır. Dolayısıyla, ön seçim değildir [7,2].

Tablo 2.Fonksiyon Zinciri

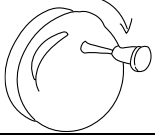

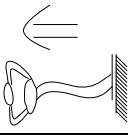
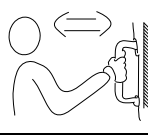

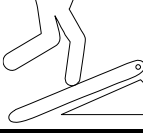
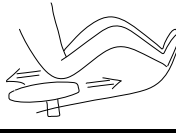
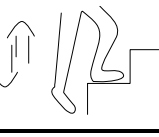
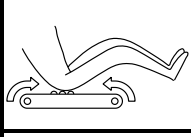





Fonksiyon Derecesi	Fonksiyon Tanımı	Konstrüksiyon Tercümesi
ANA FONKSİYON 1.Derece Fonksiyon	Temel Prensipli Gerçekleştirmek (Kendine ait bir su tankı içerisinde, kişilerin bireysel olarak kullanabileceği, egzersiz hareketlerini uygulayabileceği, vücutta en az iki kası çalıştıracak bir ürünün tasarımı)	
ALT FONKSİYONLAR 2. Derece Fonksiyon	1. Kol ve Bacakları Çalıştırarak Kardiyolojik Egzersizi Yaptırmak	Bantlar Pedallar Tutma Kolları Basamaklar Lastikler Çekilen Elemanlar
	2.Suyu muhafaza etmek	Su Tankı
	3.Zamanı Ölçmek	Kronometre
	4. Isıyı Ölçmek	Ölçme Aleti
	5. Isıyı sabit tutmak	Termostat
	6. Enerjiyi Dönüştürmek	Elektrik mekanizması
	7. Parçaları bir arada tutmak	Muhafaza
3. Derece Fonksiyon	1.1 Kol hareketleri sağlamak	
	1.2 Bacak hareketleri sağlamak	
	2.1 Giriş-çıkışı sağlamak	
	3.1 Zamanı göstermek	
	3.2 Hareket Sayacı	
	4.1 Su sıcaklığını sabitlemek	
	6.1 Suyu Isıtmak	
	6.2 Göstergelere enerji vermek	
	7.1 Sızdırmazlığı sağlamak	
	7.2 Montaj kolaylığı sağlamak	

2.5 ÇÖZÜM SEÇENEKLERİNİN BELİRLENMESİ (SELECTING SOLUTION VARIANTS)

Fonksiyon strüktürleri oluşturulduktan sonra her bir alt fonksiyon için çözüm prensiplerinin aranması sürecine geçilir. Bir alt fonksiyonu yerine getirecek elemanı aramadan önce alt fonksiyonun içinde yatan fiziksel olayın net olarak belirlenmesi ve anlaşılması gerekir [2,8,9]. Bu aşamada ana fonksiyonları karşılaması için her alt fonksiyona yönelik çözüm önerileri sunulmuştur. [10,11] Tüm bu çözüm önerileri Tablo 3'de Çözümler (Ç_i) ve Fonksiyonlar (F_i) olarak verilmiştir. Toplamda 10 fonksiyon için her birine en fazla 5 en az 2 çözüm önerisi sunulmuştur. Teorik olarak toplamda 25920 çözüm önerisi ortaya çıkmıştır. Daha sonra bu çözüm önerileri içerisinde uygun bulunmayanlar elenmiştir. Elemenin ardından hesaplanan çözüm seçenekleri sayısı ise 520 olarak belirlenmiştir. Bu sayıyı azaltmak için uygun seçenekler belirlenmeye çalışılmıştır. Uygun seçenekler, çözüm prensiplerinin geometrik ve fiziksel olarak birbiriyle uyumlu olduğu; enerji, sinyal ve madde akışını sorunsuz şekilde gerçekleştirebilen seçeneklerdir [2,8,9]. Başka sözlerle tümleşik çözüme geçildiğinde alt fonksiyonlara ait çözümlerin kendi aralarında herhangi bir uyumsuzluk olmaması gerekir. Her alt fonksiyonun çözüm önerileri diğer alt fonksiyonlarla olan ilişkisinde uygun olacak şekilde çözüm önerileri sadeleştirilmiştir. Elenen çözüm önerileri Tablo 3'de üzeri çizilerek gösterilmiştir. Sonuç olarak tabloya bakıldığında, alt fonksiyonlar ait çözüm önerilerinin eşleştirilmesi sonucu 24 adet tasarım fikri ortaya çıkmıştır.

Tablo 3. Çözüm Seçenekleri

Çözüm seçeneklerinin elenmesiyle bulunan 24 farklı tasarım aşağıdaki gibidir:

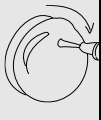


ALT FONKSİYONLAR	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5
KOLLARI HAREKET ETTİRME F1					
AYAKLARI HAREKET ETTİRME F2					
SUYUN GİRİŞ-ÇIKIŞI F3	Şebekeden	Dışarıdan Dolum			
ZAMAN GÖSTERGESİ F4					
HAREKET SAYACI F5	Katedilen Mesafe	Periyod Sayısı	Hareket Adedi		
SU MUHAFAZASI MALZEMESİ F6	Cam fiber	PC	PMMA	SERAMİK	
UYARI SİNYALLERİ F7			HEPSİ		
ENERJİ F8	Şebekeden	Bataryadan			
HİJYEN SAĞLAMA F9	Anti bakteriyel özellikli malzeme kullanılması	Kullan-At Ambalaj Kaplama	UV Işıkları ile ışıklandırma		
KONTROLLER F10	Basma Tuşlu	Döndürmeli	Dokunmatik		

- Tasarım 1. F1Ç1+F2Ç1+F3Ç1+F4Ç3+F5Ç2+F6Ç2+F7Ç3+F8Ç1+F9Ç1+F10Ç1
Tasarım 2. F1Ç1+F2Ç1+F3Ç1+F4Ç3+F5Ç2+F6Ç2+F7Ç3+F8Ç1+F9Ç1+F10Ç2
Tasarım 3. F1Ç1+F2Ç1+F3Ç1+F4Ç3+F5Ç2+F6Ç2+F7Ç3+F8Ç1+F9Ç3+F10Ç1
Tasarım 4. F1Ç1+F2Ç1+F3Ç1+F4Ç3+F5Ç2+F6Ç2+F7Ç3+F8Ç1+F9Ç3+F10Ç2
Tasarım 5. F1Ç1+F2Ç2+F3Ç1+F4Ç2+F5Ç2+F6Ç2+F7Ç3+F8Ç1+F9Ç1+ F10Ç1
Tasarım 6. F1Ç1+F2Ç2+F3Ç1+F4Ç2+F5Ç2+F6Ç2+F7Ç3+F8Ç1+F9Ç1+F10Ç2
Tasarım 7. F1Ç1+F2Ç2+F3Ç1+F4Ç2+F5Ç2+F6Ç2+F7Ç3+F8Ç1+F9Ç3+ F10Ç1
Tasarım 8. F1Ç1+F2Ç2+F3Ç1+F4Ç2+F5Ç2+F6Ç2+F7Ç3+F8Ç1+F9Ç3+ F10Ç2
Tasarım 9. F1Ç3+F2Ç4+F3Ç1+F4Ç2+F5Ç3+F6Ç1+F7Ç3+F8Ç1+F9Ç3+ F10Ç1
Tasarım 10. F1Ç3+F2Ç4+F3Ç1+F4Ç2+F5Ç3+F6Ç1+F7Ç3+F8Ç1+F9Ç3+ F10Ç2
Tasarım 11. F1Ç4+F2Ç3+F3Ç1+F4Ç2+F5Ç3+F6Ç1+F7Ç3+F8Ç1+F9Ç3+ F10Ç1
Tasarım 12. F1Ç4+F2Ç3+F3Ç1+F4Ç2+F5Ç3+F6Ç1+F7Ç3+F8Ç1+F9Ç3+ F10Ç2

- Tasarım 13.F1Ç4+F2Ç3+F3Ç1+F4Ç3+F5Ç3+F6Ç3+F7Ç3+F8Ç1+F9Ç1+ F10Ç1
 Tasarım 14.F1Ç4+F2Ç3+F3Ç1+F4Ç3+F5Ç3+F6Ç3+F7Ç3+F8Ç1+F9Ç1+ F10Ç2
 Tasarım 15.F1Ç4+F2Ç3+F3Ç1+F4Ç3+F5Ç3+F6Ç3+F7Ç3+F8Ç1+F9Ç3+ F10Ç1
 Tasarım 16.F1Ç4+F2Ç3+F3Ç1+F4Ç3+F5Ç3+F6Ç3+F7Ç3+F8Ç1+F9Ç3+ F10Ç2
 Tasarım 17.F1Ç4+F2Ç4+F3Ç1+F4Ç3+F5Ç2+F6Ç3+F7Ç3+F8Ç1+F9Ç1+ F10Ç1
 Tasarım 18.F1Ç4+F2Ç4+F3Ç1+F4Ç3+F5Ç2+F6Ç3+F7Ç3+F8Ç1+F9Ç1+ F10Ç2
 Tasarım 19.F1Ç4+F2Ç4+F3Ç1+F4Ç3+F5Ç2+F6Ç3+F7Ç3+F8Ç1+F9Ç3+ F10Ç1
 Tasarım 20.F1Ç4+F2Ç4+F3Ç1+F4Ç3+F5Ç2+F6Ç3+F7Ç3+F8Ç1+F9Ç3+ F10Ç2
 Tasarım 21.F1Ç4+F2Ç5+F3Ç1+F4Ç2+F5Ç2+F6Ç3+F7Ç3+F8Ç1+F9Ç1+F10Ç1
 Tasarım 22.F1Ç4+F2Ç5+F3Ç1+F4Ç3+F5Ç5+F6Ç3+ F7Ç3+F8Ç1 F9Ç1+F10Ç1
 Tasarım 23.F1Ç4+F2Ç5+F3Ç1+F4Ç2+F5Ç2+F6Ç1+ F7Ç3+F8Ç1+ F9Ç1+F10Ç1
 Tasarım 24.F1Ç4+F2Ç5+F3Ç1+F4Ç3+F5Ç5+F6Ç1+ F7Ç3+F8Ç1+ F9Ç1+F10Ç1

Bu sonuca göre, ürünümüzü 24 farklı şekilde tasarlayabileceğimiz görülmektedir. Bunlardan birini örnek olarak ele alalım. Tablo 4’de “Tasarım-1” olarak adlandırılan çözüm önerisi açık şekilde gösterilmiştir. Tabloda her bir alt fonksiyon için ilgili çözüm koyu olarak çerçeveslendirilmiş ve bunların bir araya getirilmesiyle “Tasarım-1” oluşturulmuştur.

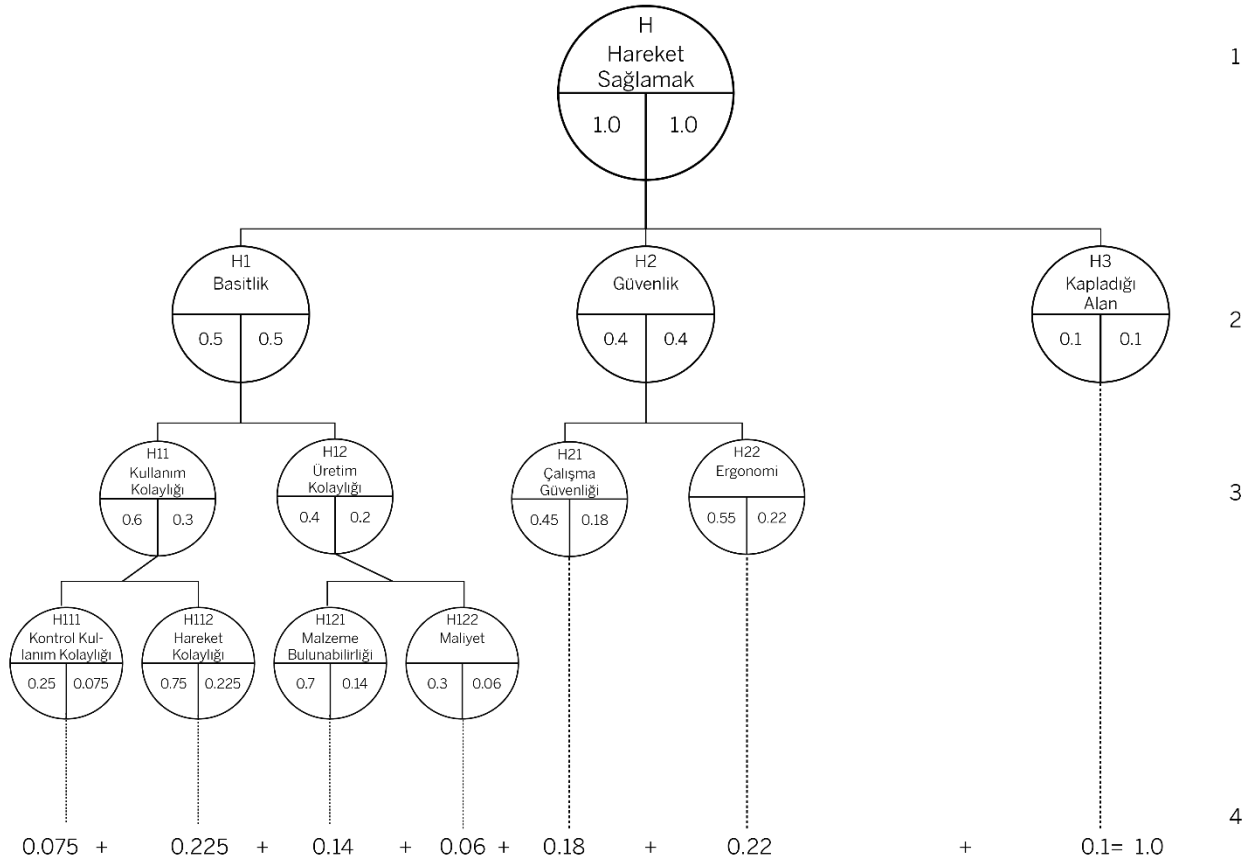
Tablo 4. Tasarım-1 için çözüm seçenekleri

F1Ç1	F2Ç1	F3Ç1	F4Ç3	F5Ç2	F6Ç2	F7Ç3	F8Ç1	F9Ç1	F10Ç1
KOLLARI HAREKET ETİRME	AY AKAKLARI HAREKET ETİRME	SUYUN GİRİŞ-ÇIKIŞI	ZAMAN GÖSTERGESİ	HAREKET SAYACI	SU MUHAFAZA MALZEMESİ	UYARI SINYALLERİ	ENERJİ	HİJYEN SAĞLAMA	KONTROLLER
		Şebekeden		Periyod Sayısı	PC	Hepsi (Işık Ve Ses)	Şebekeden	Anti bakteriyel özellikli malzeme kullanılması	Basma Tuşlu

2.6 TEKNİK VE EKONOMİK DEĞERLENDİRME (TECHNICAL AND ECONOMICAL EVALUATION)

Kavramsal tasarım sürecinde bundan sonraki adım, elde edilen çözüm seçeneklerinin teknik ve ekonomik olarak değerlendirilmesidir. Bu amaçla öncelikle değerlendirme ölçütlerinden her birinin tümleşik çözüme katkısı ve ağırlığı belirlenmelidir. Uygun çözümlerin değerlendirilebilmesi için istekler listesinde belirtilen hedefler doğrultusunda kıstasların belirlenmesi gerekir. Çalışmada çözüm önerilerini değerlendirebilmek açısından hedefler ağacından faydalanılmıştır. Hedefler ağacında; değerlendirme ölçütlerinden her birinin tümleşik çözüme katkısı ve ağırlığı belirlenmelidir. Her değerlendirme kıstasına göreceli olarak önemine göre bir ağırlık faktörü verilir. Bu gerçek ve pozitif bir sayıdır. Hedefler ağacında ağırlıkların toplamı 1 ile 100 olacak şekilde ağırlıklandırma yapılır. Her kıstas belli bir ağırlık yüzdesi ile ifade edilebilir [2].

Çalışmamızda öncelikli hedef temel prensipte tanımlandığı gibi, bireyin su içerisinde egzersiz hareketlerini uygulayabileceği, kol ve bacakları birlikte hareket ettirecek bir ürün tasarlamaktır. Buradan hareketle istekler listesi doğrultusunda değerlendirme kriterleri ve bunların ağırlıkları belirlenmiştir. Bu veriler Şekil 3’te hedefler ağacında gösterilmiştir.



Şekil 3-Hedefler Ağacı

Burada hedefler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

- H1 : Basitlik
- H11 : Kullanım Kolaylığı
- H111 : Kontrol Kullanım Kolaylığı
- H112 : Hareket Kolaylığı
- H12 : Üretim Kolaylığı
- H121 : Malzeme Bulunabilirliği
- H122 : Maliyet
- H2 : Güvenlik
- H21 : Çalışma Güvenliği
- H22 : Ergonomi
- H3 : Kapladığı Alan

Şekil 3'te görüldüğü gibi hedefler karmaşıklık derecesine göre 4 seviyede düzenlenmiş ve ağırlık faktörleri belirlenmiştir. Standart gösterime uygun olarak, hedefler ağacında ağırlıkların toplamı 1.0 (%100) olacak şekilde bir ağırlıklandırma yapılmıştır. Bir alt seviyedeki hedeflere, bir üst seviyedeki hedefe göre, onun belirtilen oranı ölçüsünde bir ağırlık değeri verilmiştir. Bu noktadan sonra en uygun çözüm için karar verilebilmesi için tüm çözüm seçeneklerinin puanlanması (P_i) ve ardından yukarıda elde edilen ağırlık oranları (g_i) ile çarpılarak düzenlenmesi gerekir ($P_i \cdot g_i$). Yapılan değerlendirmeler Tablo 5'te sunulmuştur. Bu tabloda puanlama için aşağıdaki kriterler uygulanmıştır.

- 4 : İyi
- 3 : Yeterli
- 2 : Orta
- 1 : Zayıf
- 0 : Uygun değil

Tablo 5-Teknik ve Ekonomik Değerlendirmeler

	H111(0.075)		H112(0.225)		H121(0.14)		H122(0.06)		H21(0.18)		H22(0.22)		H3(0.1)		TOPLAM
T1	3	0,225	2	0,45	4	0,56	2	0,12	3	0,54	3	0,66	4	0,4	2,955
T2	1	0,075	2	0,45	4	0,56	1	0,06	3	0,54	3	0,66	4	0,4	2,745
T3	3	0,225	2	0,45	4	0,56	2	0,12	3	0,54	3	0,66	4	0,4	2,955
T4	2	0,15	2	0,45	4	0,56	1	0,06	3	0,54	4	0,88	4	0,4	3,04
T5	2	0,15	2	0,45	4	0,56	2	0,12	4	0,72	3	0,66	2	0,2	2,86
T6	1	0,075	2	0,45	4	0,56	1	0,06	4	0,72	4	0,88	2	0,2	2,945
T7	2	0,15	2	0,45	4	0,56	2	0,12	3	0,54	3	0,66	2	0,2	2,68
T8	1	0,075	2	0,45	4	0,56	1	0,06	3	0,54	4	0,88	2	0,2	2,765
T9	2	0,15	1	0,23	2	0,28	0	0	3	0,54	1	0,22	3	0,3	1,715
T10	1	0,075	1	0,23	2	0,28	0	0	3	0,54	2	0,44	3	0,3	1,86
T11	4	0,3	2	0,45	2	0,28	1	0,06	3	0,54	3	0,66	1	0,1	2,39
T12	3	0,225	2	0,45	2	0,28	0	0	3	0,54	4	0,88	1	0,1	2,475
T13	4	0,3	2	0,45	4	0,56	2	0,12	4	0,72	4	0,88	1	0,1	3,13
T14	2	0,15	2	0,45	4	0,56	2	0,12	4	0,72	4	0,88	1	0,1	2,98
T15	4	0,3	2	0,45	4	0,56	1	0,06	3	0,54	3	0,66	1	0,1	2,67
T16	2	0,15	2	0,45	4	0,56	1	0,06	3	0,54	4	0,88	1	0,1	2,74
T17	2	0,15	3	0,68	4	0,56	1	0,06	4	0,72	2	0,44	4	0,4	3,005
T18	2	0,15	3	0,68	4	0,56	2	0,12	4	0,72	2	0,44	4	0,4	3,065
T19	3	0,225	3	0,68	4	0,56	1	0,06	3	0,54	2	0,44	4	0,4	2,9
T20	2	0,15	3	0,68	4	0,56	1	0,06	3	0,54	2	0,44	4	0,4	2,825
T21	2	0,15	2	0,45	3	0,42	1	0,06	4	0,72	3	0,66	1	0,1	2,56
T22	4	0,3	2	0,45	3	0,42	1	0,06	4	0,72	3	0,66	1	0,1	2,71
T23	2	0,15	2	0,45	4	0,56	1	0,06	4	0,72	3	0,66	1	0,1	2,7
T24	4	0,3	2	0,45	4	0,56	1	0,06	4	0,72	3	0,66	1	0,1	2,85

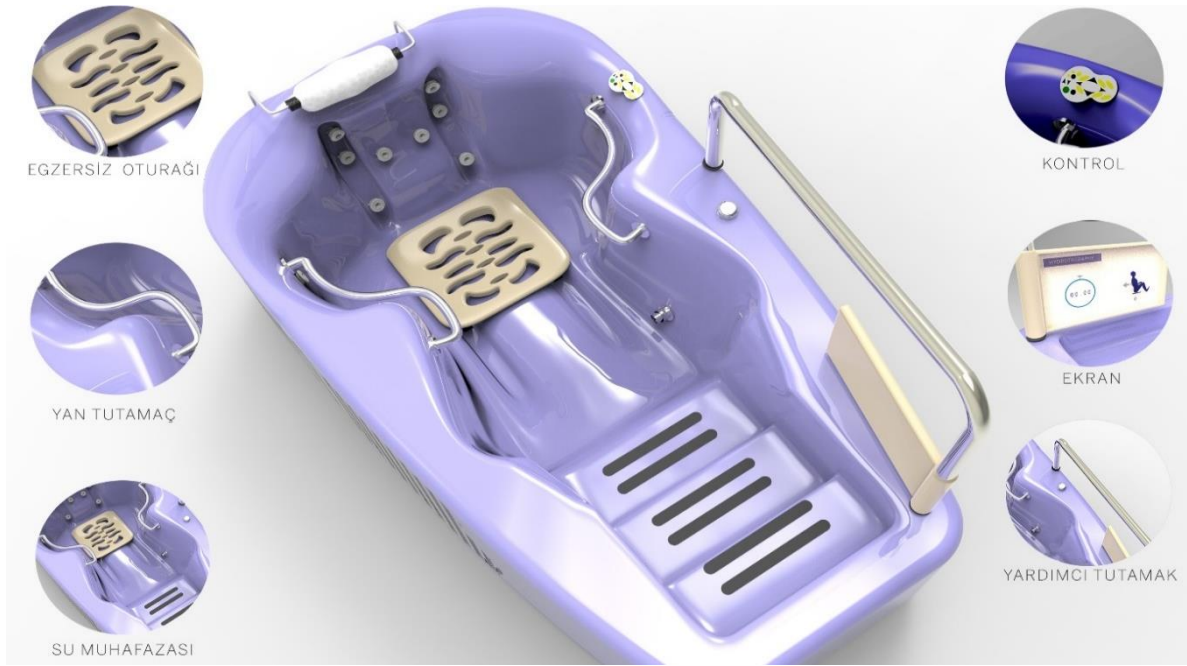
Hedefler ağacında belirlenen kıstaslar için verilen ağırlık faktörlerinin (g_i) verilen puanlarla (P_i) çarpılması sonu elde edilen “ağırlıklandırılmış puanlar(P_{gt})” toplanarak düzenlenir. (i)hedef, (j) tasarım önerisi olarak tanımlanmıştır.

$$P_{gt} = \sum_{i=1}^n g_i x P_{ij} = \sum_{i=1}^n g_i x P_{ij} \quad (j \text{ seçeneği için}) \quad 2.1$$

Tablo 5’te yukarıdaki formüllere göre her bir tasarım fikri için elde edilen toplam puan görülmektedir. Sonuç olarak en yüksek puanı alan Tasarım-13’ün hidroterapi egzersiz aleti için optimum çözüm olduğu görülmektedir. Çözüm önerilerinin bir araya getirilmesiyle oluşan “Tasarım-13”; sabit tutamaklı (F1Ç4), kayan oturaklı (F2Ç3), su girişini şebekeden sağlayan (F3Ç1), hem analog hem dijital zaman göstergeli(F4Ç3), hareket adedini gösteren (F5Ç3), PMMA malzemedden (F6Ç3), hem ışık hem ses uyarı sinyali veren (F7Ç3), enerjiyi şebekeden sağlayan (F8Ç1), anti bakteriyel özellikli malzeme kullanılan (F9Ç1), kontroller için basma tuş (F10Ç1) kullanılması düşünülmüş olan tasarımdır.

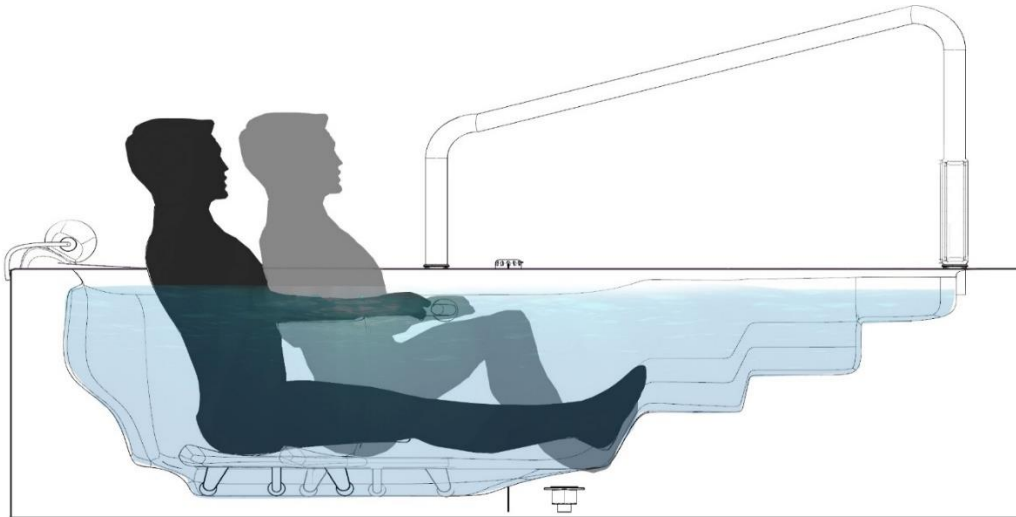
2.7 ŞEMATİK ÇİZİM VE YORUMLAMA (SCHEMATIC REPRESENTATION AND INTERPRETATIONS)

Yürütülen kavramsal tasarım fazı bize en uygun tasarımın Tasarım-13 olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla teknik ve ekonomik değerlendirmeler neticesinde ürünün, daha önce belirlenen hedef ve isteklere bağlı kalınarak, tasarımının “Tasarım-13” fikri doğrultusunda yapılacağı söylenebilir. Buna göre, ürünün fikir vermesi açısından nesnel tasarım fazına geçmeden önce nasıl bir yapıda olacağı şematik olarak gösterilmelidir. Şekil 4’de ürünün tasarımına ait görsel bir sunum verilmiştir.



Şekil 4-Hidroterapi Egzersiz Aleti

Bu tasarımda su muhafazası olarak ifade edilen kısım içerisine su dolacak olan ve diğer elemanları da kapsayan ve bir arada tutmayı sağlayan bölümdür. Çalışması ise şöyle olacaktır; (1) ürün istenilen sıcaklıkta ve istenilen seviyede su ile doldurulur, (2) egzersiz hareketinin gerçekleşmesi için kişi oturak kısmına oturur ve ayaklarını basamak kısmına dayar, (3) her iki yanda bulunan tutma kollarından tutar ve kuvvet alır, (4) oturak kısmıyla beraber bulunduğu yerde kendisini ileri ve geri çekerek kol ve bacak egzersizini yapar. Bu çalışma senaryosu Şekil 5'te şematik olarak gösterilmiştir. Üründeki ekran, hidroterapi egzersiz aletinin içerisinde egzersizini yapan kişinin sıkılmaması için düşünülmüştür ve içeri giriş çıkış sağlamak adına Şekil 4'te kapalı ve Şekil 5'te açık pozisyonda görülmektedir. Kişi ekran üzerinden süreyi, su sıcaklığını, yaptığı sporla ilgili verileri takip edebilir.



Şekil 5.Hidroterapi Egzersiz Aleti Kullanımı

3.SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada hidroterapi amaçlı yeni bir egzersiz aletinin sistematik konstrüksiyon yaklaşımı ile kavramsal tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılan ürün mevcut ürünlerden farklı olarak aynı anda birden fazla kas grubunu çalıştırabilecek ve fizik tedavi amacıyla da kullanılabilir yeni bir tasarımdır. Çalışmada yöntem olarak sistematik konstrüksiyon yaklaşımı kullanılmıştır. Bu amaçla önce ürüne ait bir teknik ödev tanımlanmış, ödevin tüm hatlarıyla analiz edilmesiyle detaylı bir istekler listesi oluşturulmuştur. Ardından temel problem belirlenmiş ve bu problemin çözümü olacak tasarımın fonksiyon strüktürü oluşturulmuştur. Daha sonra tasarımın her bir alt fonksiyonu için çözüm yöntemleri aranmış ve bu çözümler uygun şekilde bir araya getirilerek çok sayıda tasarım fikri elde edilmiştir. Elde edilen tasarımların teknik ve ekonomik değerlendirmeye tabi tutulmasıyla optimum tasarım fikrine ulaşılmıştır. Tasarlanan hidroterapi egzersiz aleti kullanıcılara ve bu hizmeti veren merkezlere bir havuza gereksinimleri olmadan aynı anda birçok kas grubunu çalıştıracak ve gerektiğinde fizik tedavi amacıyla da kullanılabilir bir egzersiz imkânı sağlamaktadır. Sistematik konstrüksiyon yaklaşımı bu ürünün tasarımında optimum çözüme metodik olarak adım adım erişmemizi sağlamıştır. Bu noktada ürünün soyut olarak tamamlandığı görülmektedir. Bundan sonra nesnel tasarım fazına geçilerek optimum tasarım fikrinin somutlaştırılmasına yönelik tasarım faaliyetleri yürütülmelidir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] A. Moventhan, L. Nventhita, Scientific Evidence-Based of Hydrotheraphy on Various Systems of the Body ,North American Journal of Medical Sciences, (2014).
- [2] C. O. Azeloğlu, Sistematik Konstrüksiyon Ders Notları, (2017).
- [3] Dive In! Aquatic Therapy for People With Disabilities- WebMD Health News-www.webmd.com/fitness-exercise/news/20000719/aquatic-therapy-people-disabilities
- [4] D. Şimsek, H. Katırcı, Pilates Egzersizlerinin Postural Stabilitate Ve Spor Performansı Üzerine Etkileri: Sistematik Bir Literatür İncelemesi, Niğde Üniversitesi Beden Eğitimi Ve Spor Bilimleri Dergisi (5,2), (2011).
- [5] G. Pahl, W. Beitz, J .Feldhusen, K. H. Grote, Engineering Design A Systematic Approach, Springer, Aachen, (2007).
- [6] H.R. Börklü, , Mühendislik Tasarımı: Sistematik Yaklaşım, Hatiboğlu Yayınları:152, Ankara, (2010).
- [7] G. Kutay, Konstrüksiyon Sistematiği, www.guven-kutay.ch, (2009).
- [8] C. O. Azeloğlu, G. Taylan, S. Özen, Sistematik Konstrüksiyonda Bir Kavramsal Tasarım Uygulaması: Çok Amaçlı Öğütücü. ISIDE 3rd International Symposium on Industrial Design and Engineering, 434-440, (2018).
- [9] B.A. Temiztas, T. Ertunç, C. O. Azeloğlu, Conceptual Design of a Breast Pump. ICAME2018 4th Conference on Advances in Mechanical Engineering, 380-385, (2018).
- [10] H.R. Börklü, , E. Helvacılar, V. Özdemir, Conceptual Design of a New Buoy., Journal of Science Part A: Engineering And Innovation, 4(125-143), (2017).
- [11] M. Mayda, H. R. Börklü, , Yeni ve İnovatif bir Kavramsal Tasarım İşlem Modeli ile Su Filtresi Tasarımı. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji 2(169-180), (2013).

Protection Modelling and Analysis of Energy Transmission Lines and Implementation for Ankara Region

*Mutlu SAYGILI¹, Süleyman Sungur TEZCAN²

¹Turkey Electricity Transmission Corporation, Operation and Maintenance Department, Protection Systems Division, 06520, Çankaya/ANKARA

²Gazi University, Faculty of Engineering, Department of Electrical Electronics Engineering, 06570, Çankaya/ANKARA

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 18/12/2018

Revision: 21/03/2019

Accepted: 02/04/2019

Highlights

- Analysis of distance protection
- Distance protection settings
- Detecting and clearing of short circuit faults

Keywords

Transmission system
 Protection relays
 Distance protection
 DIgSILENT
 Power system protection

In this study, settings of distance relays which are used in simulations are based on setting principles determined by transmission system operator. In simulations, different cases are investigated in terms of fault currents, behaviours of relays, lines became out of service. Analysis of Ankara Region is presented.

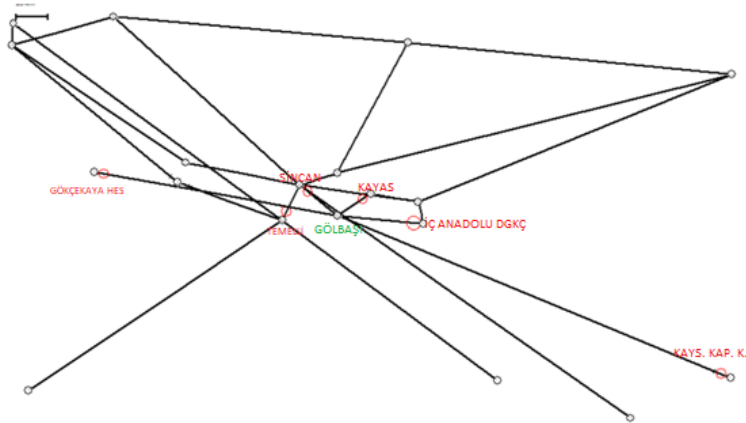


Figure A. Block schema of the Ankara Region

Purpose: Main purpose of this study is performing line protection analysis on simulation program in a regional base utilising real system parameters.

Theory and Methods: In this study, 400 kV transmission lines in Ankara have been modelled and simulated in DIgSILENT power system analysis program and protection analysis is performed. It is investigated how a fault is cleared from the power system in cases such that the relay could not detect the fault or not operate, malfunctioning of circuit breaker. Also it is inspected that effect of this situation on power system. Unlike other studies, real time load flow data and real bus systems are used for modelling. Settings of distance relays which are used in simulations are based on setting principles determined by transmission system operator.

Results: Simulation results show that, if a short circuit fault at transmission line could not be cleared by main protection, it is cleared by back up protection which is third zone of distance protection. Substation and lines connected that substation are became out of service.

Conclusion: In this study, it is used real system datas on power system analysis software to simulate energy transmission lines in one region in terms of protection. It is obtained important results and offered significant suggestions for field protection engineers. Whole power system shall also be analysed in future work.



Ankara Bölgesi İçin Enerji İletim Hattı Koruma Modellemesi Analizi ve Uygulaması

Mutlu SAYGILI¹*, Süleyman Sungur TEZCAN²

¹Türkiye Elektrik İletim A.Ş., İşletme ve Bakım Daire Başkanlığı, Koruma Sistemleri Müdürlüğü, 06520, Çankaya/ANKARA

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06570, Çankaya/ANKARA

Öz

Elektrik enerjisinin sürekli, güvenilir ve kaliteli bir şekilde iletilmesini sağlamak, elektrik güç sistem işletmeciliğinin amacıdır. Bunu sağlamak için sistemde meydana gelen kısa devre arızalarının koruma röleleri tarafından tespit edilip arızalı bölgenin sistemden en hızlı şekilde izole edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, gerçek sistem verilerini kullanarak güç sistemi benzetim programı ile bölgesel çapta hat koruma analizi yapmaktır. Bu çalışmada; DIGSILENT güç sistemi analiz program ile iletim sisteminin bir parçası olan 400 kV'luk sistemde Ankara Bölgesinde yer alan iletim hatları modellenip koruma analizi gerçekleştirilmiştir. Bir kısa devre arızasında mesafe koruma rölelerinin arızayı tespit edememesi, çalışmaması ve kesicinin açmaması gibi durumlarda arızanın sistemden nasıl temizlendiği ve bunun sisteme olan etkileri incelenmiştir. Diğer analiz çalışmalarından farklı olarak gerçek zamanlı yük akış verileri ve bara düzenleri kullanılarak sistem modeli oluşturulmuştur. Mesafe koruma rölesi ayarları, iletim sistemi operatörü tarafından belirlenen koruma prensiplerine göre ayarlanarak benzetim modelinde yer alan mesafe koruma rölelerine yüklenmiştir. Yapılan analizlerde çeşitli senaryolar oluşturularak sistem arızalarında meydana gelen kısa devre akımları, koruma rölelerinin çalışma davranışları, servis harici olan enerji iletim hatları gözlemlenerek sonuçlar çıkarılmış ve öneriler sunulmuştur.

Makale Bilgisi

Başvuru: 18/12/2018
Düzeltilme: 21/03/2019
Kabul: 02/04/2019

Anahtar Kelimeler

İletim sistemi
Koruma röleleri
Mesafe koruma
DIGSILENT
Güç sistem koruması

Keywords

Transmission system
Protection relays
Distance protection
DIGSILENT
Power system protection

Protection Modelling and Analysis of Energy Transmission Lines and Implementation for Ankara Region

Abstract

Providing transmission of energy continuously, reliably and high in quality is aim of transmission system operator. In order to achieve this short circuit faults in the power system should be detected by protection relays then faulty parts should be isolated immediately. Main purpose of this study is performing line protection analysis on simulation program in a regional base utilising real system parameters. In this study, 400 kV transmission lines in Ankara have been modelled and simulated in DIGSILENT power system analysis program and protection analysis is performed. It is investigated how a fault is cleared from the power system in cases such that the relay could not detect the fault or not operate, malfunctioning of circuit breaker. Also it is inspected that effect of this situation on power system. Unlike other studies, real time load flow data and real bus systems are used for modelling. Settings of distance relays which are used in simulations are based on setting principles determined by transmission system operator. In simulations, different cases are investigated in terms of fault currents, behaviours of relays, lines became out of service. Results and suggestions are also presented.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Üretim, iletim ve dağıtım sisteminden oluşan elektrik güç sisteminde enerji arzı ve talep gün geçtikçe artmaktadır. Elektrik güç sisteminin işletilmesi ve bakımı büyük bilgi birikimi ve tecrübe gerektiren önemli bir mühendislik alanıdır. Güç sisteminin işletilmesinde koruma sistemleri önemli bir yer tutmaktadır. Koruma sistemleri; ölçü trafolarından röleye gelen akım ve gerilim bilgilerinin röle tarafından değerlendirilerek güç sisteminde anormal bir durum varsa kesiciye açma komutu gönderen sistemlerdir[1].

Güç sisteminin en önemli elemanları transformatörler ve enerji iletim hatlarıdır. Sistem arızası esnasında bu teçhizatların servis harici olması ile elektrik kesintisi meydana gelebilmektedir. Bu da büyük maddi kayıplara neden olmaktadır [2].

Güvenilir, kaliteli ve kesintisiz bir elektrik enerjisi için kısa devre arızalarının tespit edilmesi ve bu arızaların en kısa sürede temizlenmesi gerekmektedir. Kısa devre arızaları giderilirken sadece arızalı bölgenin sistemden izole edilmesi koruma sisteminin seçici olması adına önemlidir. Bu seçiciliğin sağlanması için röle koruma koordinasyonları titizlikle yapılmalıdır [3].

DIgSILENT programı, iletim, dağıtım ve endüstriyel elektrik sistemlerinin analizi için kullanılan ve elektrik güç sistemi planlanmasında ve işletilmesinde optimizasyon hedeflerine ulaşmak için geliştirilmiş bir interaktif yazılım programıdır. DIgSILENT, "Digital Simulation of Electrical Networks" kelimelerinin kısaltılmış halidir. Bu program ile elde edilen sonuçların doğruluğu ve geçerliliği dünya çapında planlama ve güç sistemlerinin işletilmesi ile ilgili kuruluşlar tarafından onaylanmıştır. Bu program, kullanıcıların güç sistemi analizlerindeki gereksinimlerini karşılamak için entegre bir mühendislik aracı olarak tasarlanmıştır. DIgSILENT analiz programı ile iletim sisteminde meydana gelen kısa devre arızaları simüle edilerek arıza anında koruma sisteminin davranışı gözlemlenebilmektedir. Bu çalışmada iletim sisteminin Ankara Bölgesi sorumluluk sahasında bulunan 400 kV enerji iletim hatlarında kısa devre arızası simüle edilerek koruma açısından sistem davranışı incelenmiştir.

Bu çalışmanın diğer analiz çalışmalarından farklı olarak Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) tarafından elde edilen 29 Aralık 2017 saat 20:00 etiketli gerçek zamanlı yük akışı verileri ve bara düzenleri kullanılarak sistem modeli oluşturulmuştur. Gerçek sistemde bulunan akım trafosu oranı ve gerilim trafosu oranı kullanılmıştır. Mesafe koruma rölesi ayarları TEİAŞ koruma felsefesine göre ayarlanarak iletim modelinde yer alan mesafe koruma röleleri ayarlanmıştır. Oluşturulan modelin gerçek sistem verilerini ve koruma ayarlarını içermesi analizin gerçekçi sonuçlar vermesini sağlamıştır. Çeşitli senaryolar oluşturularak analizler yapılmıştır. Sistem arızalarında meydana gelen kısa devre akımları, koruma rölelerinin çalışma davranışları, servis harici olan enerji iletim hatları gözlemlenerek sonuçlar çıkarılmış ve saha mühendisleri için öneriler sunulmuştur.

2. ENERJİ İLETİM HATLARININ MESAFE KORUMA RÖLESİ İLE KORUNMASI (PROTECTION OF ENERGY TRANSMISSION LINES USING DISTANCE RELAY)

Türkiye elektrik iletim sisteminde 400 kV hatlar çift mesafe koruma rölesi ile, 154 kV hatlar bir mesafe koruma rölesi ve aşırı akım rölesi ile korunmaktadır. Birinci mesafe koruma rölesi LP1, ikinci mesafe koruma rölesi LP2 olarak adlandırılmaktadır. Hat gerilimi ve hat akım bilgisine göre çalışan mesafe koruma röleleri, enerji iletim hatlarındaki faz-faz ve faz-toprak kısa devre arızalarının tespit edilmesi için kullanılır [4,5].

Mesafe koruma rölesinin çalışma prensibi; bir noktadaki akım ve gerilim değerlerinin karşılaştırılması temeline dayandığı için bu röleye empedans rölesi de denmektedir. Mesafe koruma rölesi hat gerilim trafosundan ölçtüğü gerilim değerini, hat akım trafosundan ölçtüğü akım değerine bölerek ($Z = V / I$) empedans değerini hesaplar [1,6].

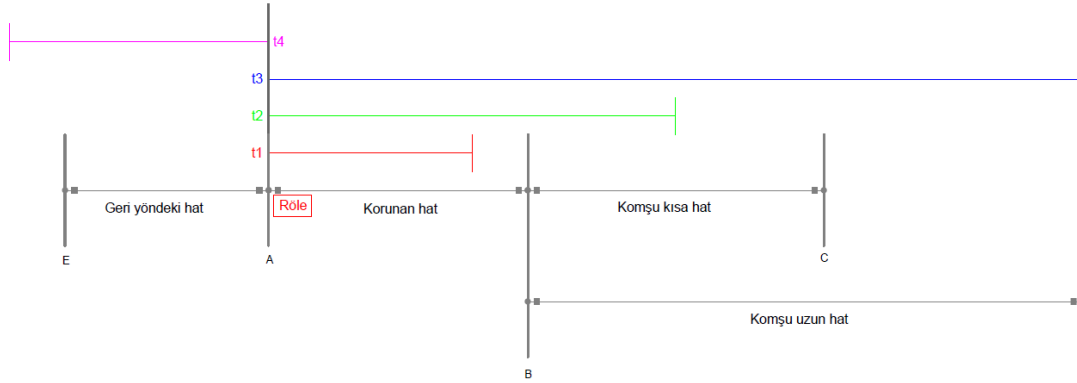
Kısa devre arızasında gerilim değeri düşer, akım değeri yükselir. Bu durumda röle, normal işletme koşullarından daha düşük değerde empedans ölçer. Rölenin ölçtüğü bu empedans değeri ayarlandığı değerin altında ise, röle açma komutu üretir [7,8].

Mesafe koruma rölesi, sadece bulunduğu hattı korumayıp daha ilerisindeki ve daha gerideki hatların da yedek korumasını yaptığı için birden fazla kademe ayar değeri bulunmaktadır [9,10].

Mesafe koruma rölelerinde yaygın olarak mho ve quad karakteristiği kullanılmaktadır [11]. Mesafe koruma rölesi kademe diyagramında mho karakteristiği yuvarlak şekildedir, quad karakteristiği dikdörtgensel şekildedir [12]. Yapılan analizlerde, sistemde takılı olan mevcut röleler kullanılmıştır. Şekil 11'de kademe diyagramı verilen Gökçekaya TM – Gölbaşı fiderinde takılı olan L8A model mesafe koruma rölesi mho karakteristiktir. Şekil 6, 9 ve 13'te kademe diyagramları gösterilen, Kayaş TM – Gölbaşı, İç Anadolu DGKÇ – Gölbaşı ve Sincan – Gölbaşı fiderlerindeki, sırasıyla, P443, P443 ve 7SA87 model mesafe koruma

röleleri quad karakteristiklidir. Mesafe koruma kademe diyagramlarında orijine yakın bölge 1. kademedir. 2. ve 3. kademeler önceki kademeleri kapsayacak şekilde artmaktadır [13].

TEİAŞ koruma sistemleri felsefesine göre mesafe koruma kademe ayarları ve çalışma zamanları Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Mesafe koruma rölesi kademe ayarları

Kademe 1: Korunan hattın empedans değerinin %85’ine ayarlanır. ($Z_1 = 0.85 \times Z_{AB}$) Zaman gecikmesiz olarak $t_1=0$ saniyede ani olarak açma komutu üretir.

Kademe 2: Korunan hattın empedans değeri ve komşu en kısa hattın empedans değerinin %50’sinin toplamına ayarlanır. ($Z_2 = Z_{AB} + 0.50 \times Z_{BC}$) Zaman gecikmeli $t_2=400$ ms’de açma komutu üretir.

Kademe 3: Korunan hattın empedans değeri ve komşu en uzun hattın empedans değerinin toplamına ayarlanır. ($Z_3 = Z_{AB} + Z_{BD}$) Zaman gecikmeli $t_3=800$ ms’de açma komutu üretir.

Kademe 4 (Geri kademe) : Korunan hattın bağlı bulunduğu baradaki en uzun hattın empedans değerinin 1.2 katına ayarlanır. Zaman gecikmeli olarak $t_4 = 1500$ ms’de açma komutu üretir [14,15].

Örnek olarak Kayaş TM’deki Gölbaşı fiderinde bulunan LP1 Micom P443 mesafe koruma rölesi kademe ayarı hesaplama yöntemi açıklanmıştır.

Koruma Bölgesi Görünümü

```

KIRIKKALE DG T.M.      KAYAŞ T.M.      GÖLBAŞI T.M.      SİNCAN T.M.
I                      I                      I-----I
I-----I[R]-----I                      KAYSERİ KAPA T.M.
I                      I                      I-----I

```

Relay Model Mesafe Rölesi Değerleri

ATO/GTO ORANI

ATO->3000/1

GTO->380kV/100

kz = 0.789

Şekil 2. Kayaş TM koruma bölgesi görünümü

Mesafe koruma rölesi kademe ayarları hesaplanırken öncelikle korunan hat, komşu en kısa hat, komşu en uzun hat ve geri yönde hat belirlenir. Bu hatların empedans bilgileri kullanılarak kademe empedans değerleri hesaplanır. Bu değerler primer değerlerdir. Röleye sekonder değerler girilmelidir. Bunun için primer değerler kz (dönüştürme faktörü) ile çarpılmalıdır. Dönüştürme faktörü akım trafosu oranının gerilim trafosu oranına bölünmesi ile elde edilir.[16]

Korunan hat: Kayaş – Gölbaşı $Z_{AB} = 10.82 \Omega$ (primer)

Komşu kısa hat: Gölbaşı – Sincan $Z_{BC} = 12.44 \Omega$ (primer)

Komşu uzun hat: Gölbaşı – Kayseri Kapasitör $Z_{BD} = 86.88 \Omega$ (primer)

Geri yöndeki hat: Kayaş – Kırıkkale $Z_{AE} = 7.89 \Omega$ (primer)

$$kz = (3000/1)/(380000/100) = 0.789$$

Röleye girilmesi gereken ayarlar:

$$\text{Kademe 1 ayarı} = (Z_1 = 0.85 \times Z_{AB}) \times kz = 7.25 \Omega \text{ (sekonder)}$$

$$\text{Kademe 2 ayarı} = (Z_2 = Z_{AB} + 0.50 \times Z_{BC}) \times kz = 13.44 \Omega \text{ (sekonder)}$$

$$\text{Kademe 3 ayarı} = (Z_3 = Z_{AB} + Z_{BD}) \times kz = 77.08 \Omega \text{ (sekonder)}$$

$$\text{Geri kademe} = Z_{AE} \times 1.2 \times kz = 7.47 \Omega \text{ (sekonder)}$$

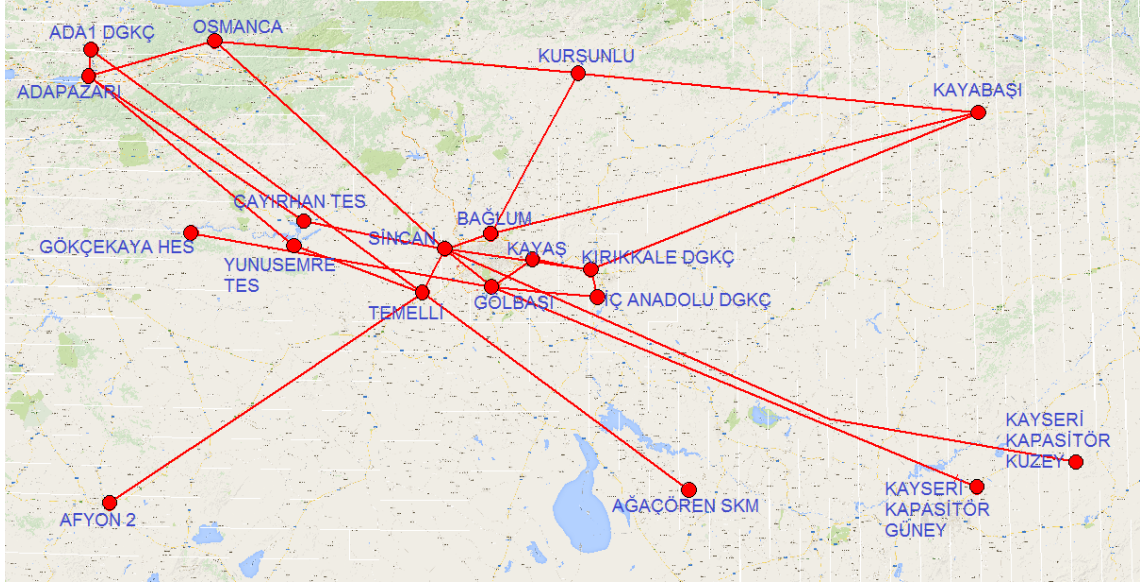
İletim hattı arızalarında, arızanın yeri ile mesafe koruma rölesinin hesapladığı arıza empedansı doğru orantılıdır.[17] Örneğin, 400 kV Gölbaşı – Kayaş hattı 39,361 km uzunluğundadır ve buna karşılık $Z = 10.82 \Omega$ empedans değerine sahiptir. Bu hattın ortasında meydana gelen üç faz kısa devre arızasında mesafe koruma rölesi $Z = 5.41 \Omega$ civarında empedans değeri hesaplamalıdır.

3. ANKARA BÖLGESİ 400 kV İLETİM SİSTEMİNİN DİGSILENT İLE MODELLENMESİ (MODELLING OF 400 kV TRANSMISSION LINES IN ANKARA)

Ankara ilinde yer alan Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi 8. Bölge Müdürlüğünün işletme ve bakım sorumluluğunda 9 adet 400 kV trafo merkezi (TM) ve 26 adet 400 kV hat bulunmaktadır. Şekil 3’de, Ankara Bölgesindeki 400 kV enerji iletim hatları gösterilmektedir.

1. 400 kV Bağlum TM (4 fider)
2. 400 kV Çayırhan TES (2 fider)
3. 400 kV Gölbaşı TM (6 fider)
4. 400 kV İç Anadolu Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali (DGKÇ) (2 fider)
5. 400 kV Kayaş (3 fider)
6. 400 kV Kırıkkale DGKÇ (5 fider)
7. 400 kV Sincan TM (8 fider)
8. 400 kV Temelli TM (6 fider)
9. 400 kV Yunus Emre Termik Elektrik Santrali (TES) (2 fider)

DİGSILENT güç sistemi analiz programı anlık yük koşullarında analiz yapabilme imkanına sahip bir programdır. TEİAŞ Yük Tevzi Bilgi Sisteminde yer alan DİGSILENT uyumlu .dgs uzantılı dosyanın analiz programına yüklenmesi ile Ankara Bölgesi’nde yer alan tüm 400 kV trafo merkezleri sisteme aktarılabilmektedir. Ancak koruma analizinin yapılabilmesi için tüm trafo merkezlerinde bulunan her bir fider için akım trafosu, gerilim trafosu ve mesafe koruma rölelerinin bulunması gerekmektedir. Akım trafolarının ve gerilim trafolarının bağlı bulunduğu dönüştürme oran değeri sahadaki güncel değeri ile uyumlu olmalıdır. Mesafe koruma rölelerinin ayarları TEİAŞ koruma felsefesine göre ayarlanmalıdır.

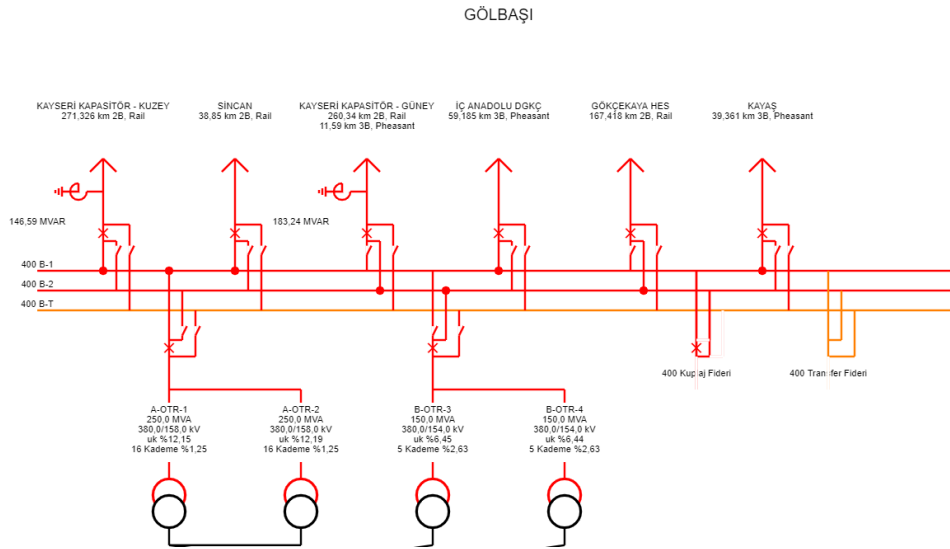


Şekil 3. Ankara Bölgesi (400 kV hatlar)

Bu çalışmada gerekli tüm teçhizat ve ayar yüklemeleri yapıldıktan sonra analize geçilmiştir. Ankara Bölgesi sorumluluğunda bulunan 400 kV Gölbaşı trafo merkezine bağlı 4 hatta kısa devre arızası oluşturulmuştur. Normal koşullarda hatta bir kısa devre arızası meydana geldiğinde hattın bağlı bulunduğu trafo merkezlerinde yer alan mesafe koruma röleleri arızayı tespit edip kesicilerine açma komutu gönderirler ve kesiciler açarak arıza temizlenir [18-20]. Bu analizde, hatta meydana gelen kısa devre arızası esnasında kesici arızası, röle arızası, iletişim arızası gibi herhangi bir sebeple kesicinin açmaması ve arızanın beklenen süresinde temizlenememesi durumunda arızayı kademelerinde gören diğer mesafe koruma rölelerinin davranışları ve arızanın nasıl temizlendiğine dair incelemelerde bulunulmuştur.

4. 400 kV GÖLBASI TM ÖRNEK OLAY İNCELEMESİ (CASE STUDY OF 400 kV GOLBASI SUBSTATION)

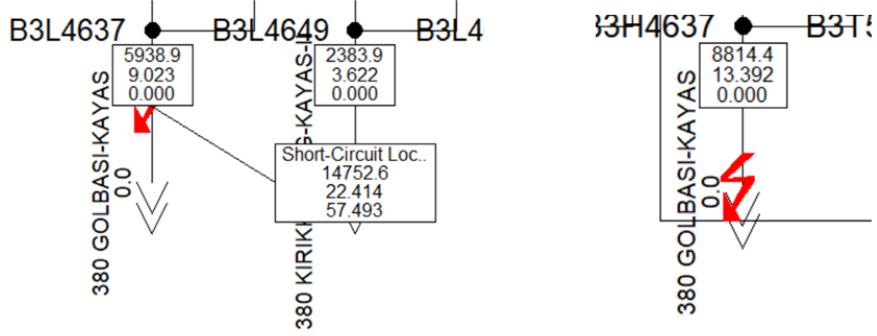
Şekil 4'te tek hat şeması yer alan Gölbaşı trafo merkezi, 6 hat fideri ve toplamda 800 MVA güce sahip 4 adet ototrafosuyla Ankara Bölgesi için önemli bir trafo merkezidir. Gölbaşı TM'nin enerjisiz kalması yani sıfırlanması, Türkiye iletim sisteminin kararlılığının bozulmasına neden olabilir.



Şekil 4. Gölbaşı Trafo Merkezi tek hat şeması

Senaryo 1: 400 kV Gölbaşı – Kayaş hattı kısa devre arızası

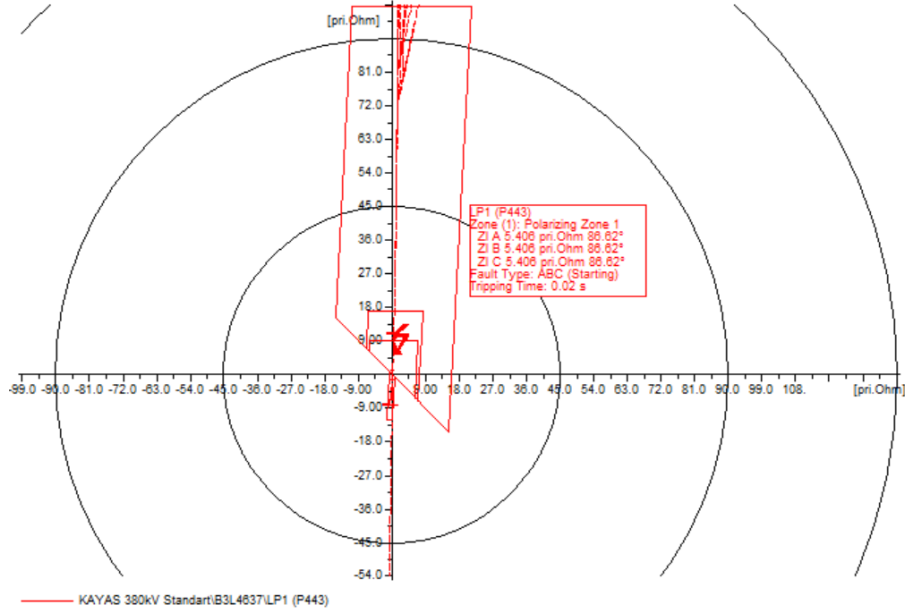
Arıza öncesi yük akışı 400 kV Kayaş TM'den 400 kV Gölbaşı TM'ye doğru $P=292.2$ MW, akan akım $I=420$ Amperdir. 39.361 km uzunluğundaki 400 kV Gölbaşı – Kayaş hattının ortasında üç faz kısa devre arızası oluşturulmuştur. 400 kV Gölbaşı TM'de bulunan Kayaş fideri kesicisinin açmaması durumunu incelemek için burada bulunan mesafe koruma röleleri deaktive edilmiştir.



Şekil 5. Gölbaşı – Kayaş hattı arıza akımları

Arıza noktasına Kayaş TM'den 9023 A, Gölbaşı TM'den 13392 A arıza akımı akmıştır. Toplamda arıza noktasına 22414 A akım aktığı Şekil 5'te görülmektedir. Kısa devre arızasından dolayı oluşan yüksek akım değeri ve gerilimin azalması nedeniyle, mesafe koruma rölelerinin çalışması beklenmektedir.

Şekil 6'da görüldüğü gibi arıza noktası Kayaş TM'de yer alan mesafe koruma rölesinin 1. kademesine girmiştir. Kayaş TM'den LP1 mesafe koruma rölesi 1. kademede ani çalışarak Gölbaşı fideri kesicisini açtırmıştır.



Şekil 6. Kayaş TM – Gölbaşı fideri LP1 mesafe koruma rölesi kademe diyagramı

Senaryo gereği; 400 kV Gölbaşı TM'de bulunan LP1 Micom P443 ve LP2 Micom P444 mesafe koruma röleleri servis harici edilmiştir. Gölbaşı TM'den arıza temizlenememiştir. Bu durumda aşağıdaki trafo merkezlerindeki röleler artçı koruma gerçekleştirerek arıza temizlenmiştir.

Temelli – Sincan LP2 (P443) mesafe koruma rölesi üçüncü kademedede 0.810 saniyede çalışmıştır.

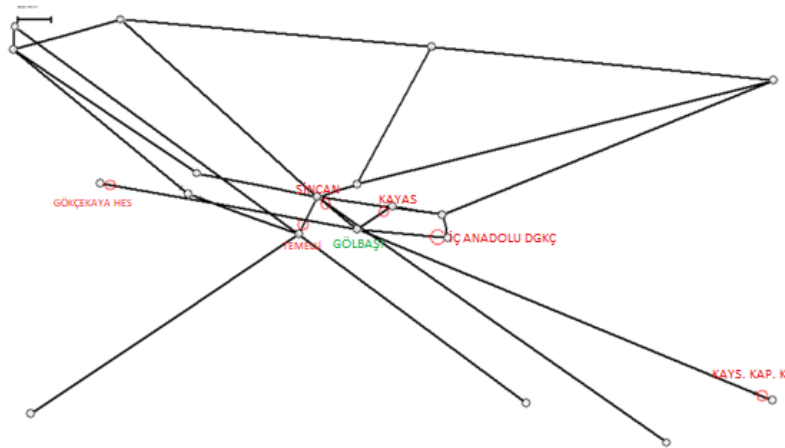
Sincan – Gölbaşı LP1 (7SA87) mesafe koruma rölesi üçüncü kademedede 0.810 saniyede çalışmıştır.

İç Anadolu DGKÇ – Gölbaşı LP1 (P443) mesafe koruma rölesi üçüncü kademedede 0.820 saniyede çalışmıştır.

Gökçekaya – Gölbaşı LP2 (L8A) mesafe koruma rölesi üçüncü kademedede 0.820 saniyede çalışmıştır.

Kayseri Kapasitör – Gölbaşı LP1 (P443) mesafe koruma rölesi üçüncü kademedede 0.830 saniyede çalışmıştır.

400 kV Gölbaşı – Kayaş hattında meydana gelen arızada 400 kV Gölbaşı trafo merkezindeki rölelerin çalışmaması, Gölbaşı TM'den Kayaş fideri kesicisinin açmaması gibi sebeplerle arızanın artçı koruma ile diğer trafo merkezlerinden temizlenmesi sonucu 400 kV Gölbaşı TM Şekil 7'deki gösterilen şekilde sıfırlanmıştır. Ayrıca arızanın meydana geldiği nokta 400 kV Temelli TM'de bulunan Sincan fideri mesafe koruma rölesinin üçüncü kademesine girdiğinden bu röle de çalışarak 400 kV Temelli – Sincan hattı gereksiz yere servis harici olmuştur. Arıza yaklaşık 830 ms'de temizlenmiştir.

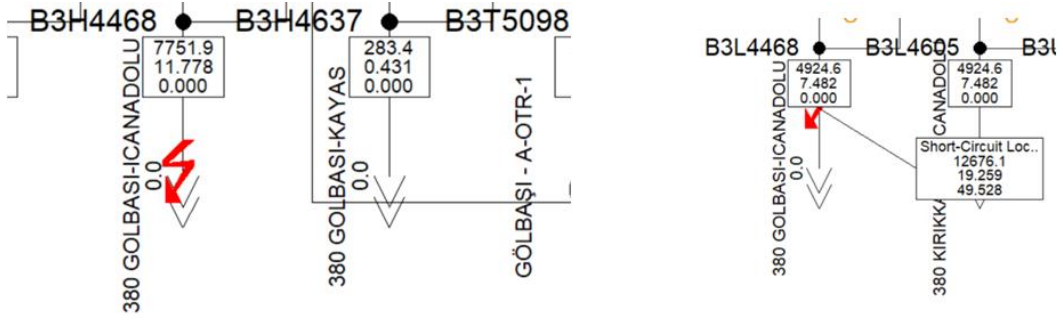


Şekil 7. 400 kV Gölbaşı TM sıfırlanması

Senaryo 2: 400 kV Gölbaşı – İç Anadolu DGKÇ hattı arızası

Arıza öncesi yük akışı 400 kV İç Anadolu DGKÇ'den 400 kV Gölbaşı TM'ye doğru $P=246.8$ MW, akan akım $I=354$ Amperdir. 59.385 km uzunluğundaki 400 kV Gölbaşı – İç Anadolu DGKÇ hattının ortasında üç faz kısa devre arızası oluşturulmuştur. 400 kV Gölbaşı TM'de bulunan İç Anadolu DGKÇ fideri kesicisinin açmaması durumunu incelemek için burada bulunan mesafe koruma röleleri deaktive edilmiştir.

Şekil 8'de görülen arıza noktasına Gölbaşı TM'den 11778 A, İç Anadolu DGKÇ'den 7482 A arıza akımı akmıştır. Toplamda arıza noktasına 19259 A akım akmaktadır, oluşan bu yüksek akım ve gerilimdeki ani düşüş nedeniyle, mesafe koruma rölesinin çalışması gerekmektedir.



Şekil 8. Gölbaşı – İç Anadolu DGKÇ hattı arıza akımları

Şekil 9’da görüldüğü gibi arıza noktası İç Anadolu DGKÇ’de yer alan mesafe koruma rölesinin 1. kademesine girmiştir. İç Anadolu DGKÇ’den LP1 mesafe koruma rölesi 1. kademe de ani çalışarak Gölbaşı fideri kesicisini açtırmıştır.

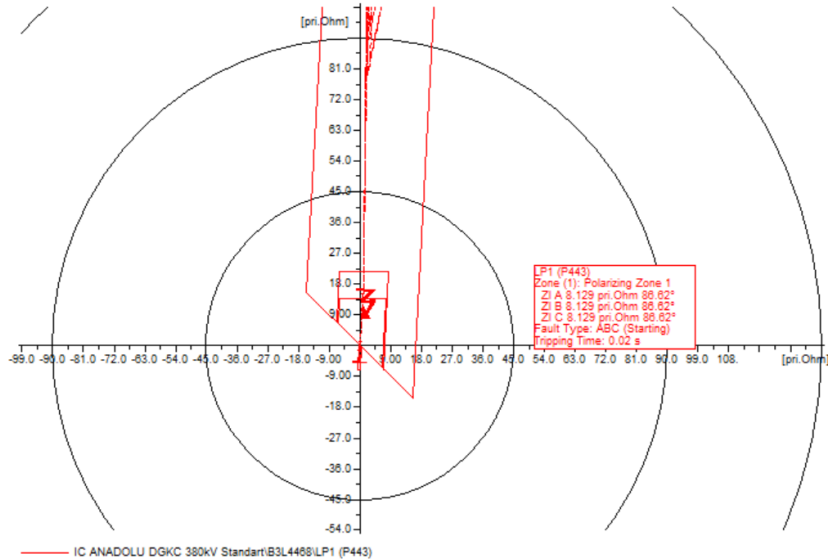
Senaryo gereği; 400 kV Gölbaşı TM’de bulunan LP1 Alstom P443 ve LP2 Alstom P444 mesafe koruma röleleri servis harici edilmiştir. Gölbaşı TM’den arıza temizlenememiştir. Bu durumda aşağıdaki trafo merkezlerindeki röleler artçı koruma gerçekleştirerek arıza temizlenmiştir.

Sincan – Gölbaşı LP1 (7SA87) mesafe koruma rölesi üçüncü kademe de 0.810 saniyede çalışmıştır.

Kayaş – Gölbaşı LP2 (7SA87) mesafe koruma rölesi üçüncü kademe de 0.820 saniyede çalışmıştır.

Gökçekaya – Gölbaşı LP2 (L8A) mesafe koruma rölesi üçüncü kademe de 0.830 saniyede çalışmıştır.

Kayseri Kapasitör – Gölbaşı LP2 (7SA87) mesafe koruma rölesi üçüncü kademe de 0.830 saniyede çalışmıştır.



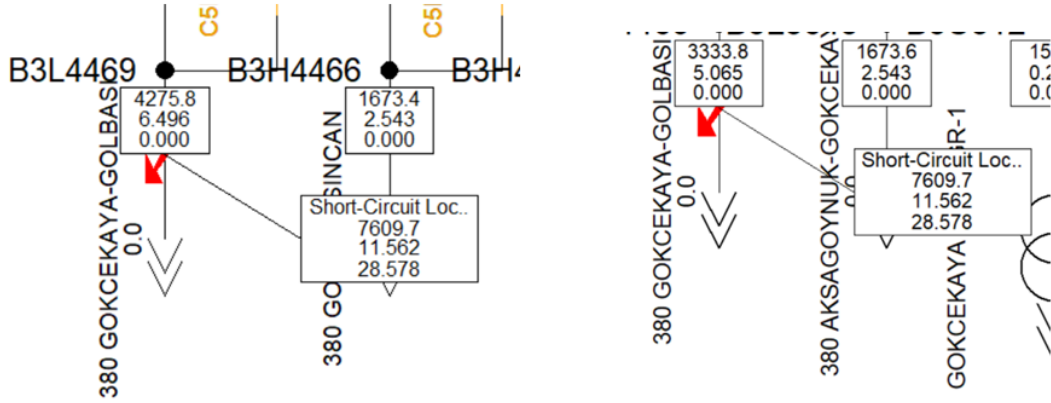
Şekil 9. İç Anadolu DGKÇ – Gölbaşı fideri LP1 mesafe koruma rölesi kademe diyagramı

400 kV Gölbaşı – İç Anadolu DGKÇ hattında meydana gelen arızada 400 kV Gölbaşı trafo merkezindeki rölelerin çalışmaması, Gölbaşı TM’den Kayaş fideri kesicisinin açmaması gibi sebeplerle arızanın artçı koruma ile diğer trafo merkezlerinden temizlenmesi sonucu 400 kV Gölbaşı TM sıfırlanmıştır. Arıza yaklaşık 800 ms’de temizlenmiştir.

Senaryo 3: 400 kV Gölbaşı – Gökçekaya hattı arızası

Arıza öncesi yük akışı 400 kV Gölbaşı TM'den 400 kV Gökçekaya TM'ye doğru $P=31,7$ MW, akan akım $I=74$ Amperdir. 167.418 km uzunluğundaki 400 kV Gölbaşı – Gökçekaya hattının ortasında üç faz kısa devre arızası oluşturulmuştur. 400 kV Gölbaşı TM'de bulunan Gökçekaya fideri kesicisinin açmaması durumunu incelemek için burada bulunan mesafe koruma röleleri deaktive edilmiştir.

Şekil 10'da Gölbaşı – Gökçekaya hat arıza akımları görülmektedir. Buna göre, arıza noktasına Gölbaşı TM'den 6496 A, Gökçekaya'dan 5065 A arıza akımı akmıştır. Toplamda arıza noktasına 11562 A akım akmıştır.



Şekil 10. Gölbaşı – Gökçekaya hattı arıza akımları

Gökçekaya'dan LP1 mesafe koruma rölesi Şekil 11'de görülen 1. kademede ani çalışarak Gölbaşı fideri kesicisini açtırmıştır.

Senaryo gereği, 400 kV Gölbaşı TM'de bulunan LP1 Alstom P443 ve LP2 Alstom P444 mesafe koruma röleleri servis harici edilmiştir. Gölbaşı TM'den arıza temizlenememiştir. Bu durumda aşağıdaki trafo merkezlerindeki röleler artçı koruma gerçekleştirerek arıza temizlenmiştir.

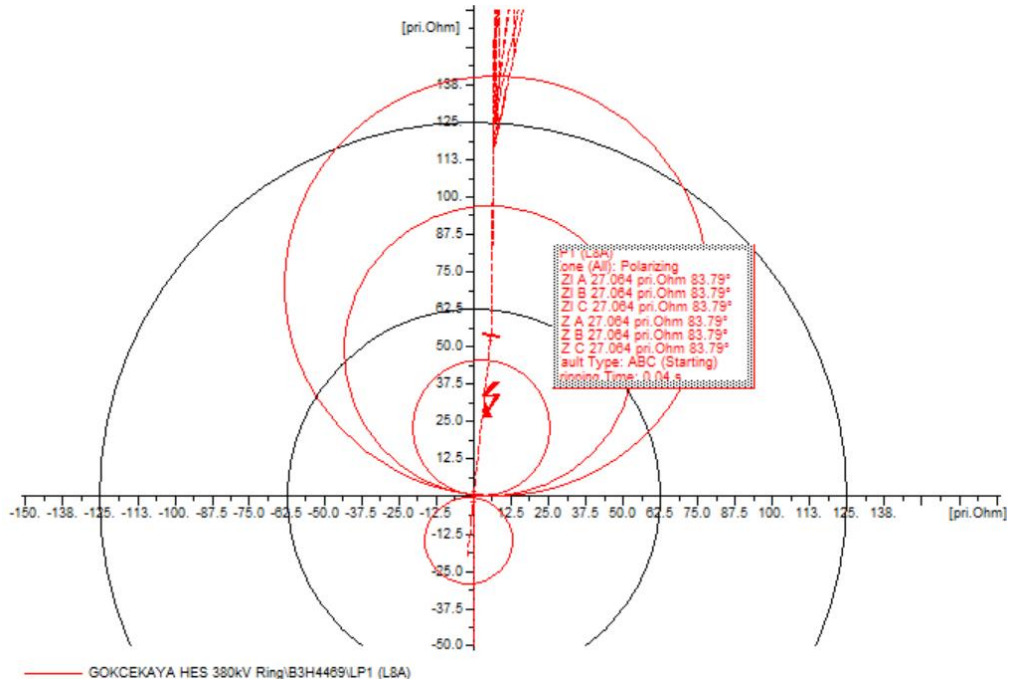
Kayaş – Gölbaşı LP2 (7SA87) mesafe koruma rölesi üçüncü kademede 0.810 saniyede çalışmıştır.

Sincan – Gölbaşı LP1 (7SA87) mesafe koruma rölesi üçüncü kademede 0.810 saniyede çalışmıştır.

İç Anadolu – Gölbaşı LP1 (P443) mesafe koruma rölesi üçüncü kademede 0.810 saniyede çalışmıştır.

Kayseri Kapasitör – Gölbaşı LP2 (7SA87) mesafe koruma rölesi dördüncü kademede 1.210 saniyede çalışmıştır.

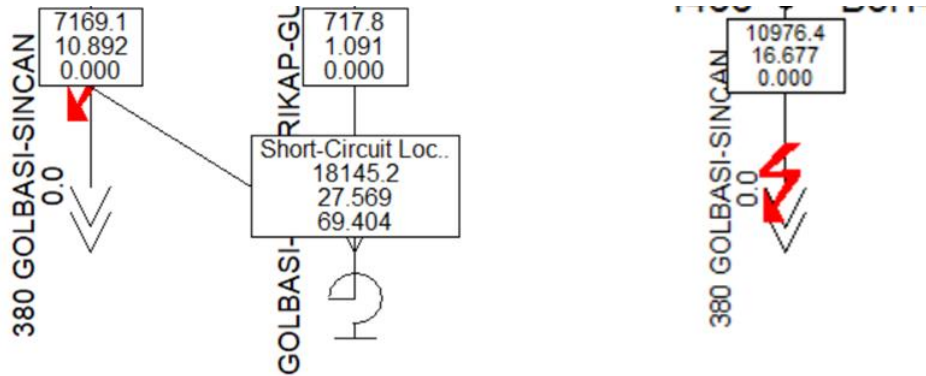
400 kV Gölbaşı – İç Anadolu DGKÇ hattında meydana gelen arızada 400 kV Gölbaşı trafo merkezindeki rölelerin çalışmaması, Gölbaşı TM'den Gökçekaya fideri kesicisinin açmaması gibi sebeplerle arızanın artçı koruma ile diğer trafo merkezlerinden temizlenmesi sonucu 400 kV Gölbaşı TM sıfırlanmıştır. Arıza yaklaşık 1200 ms'de temizlenmiştir.



Şekil 11. Gökçekaya – Gölbaşı fideri LP1 mesafe koruma rölesi kademe diyagramı

Senaryo 4: 400 kV Gölbaşı – Sincan hattı arızası

Arıza öncesi yük akışı 400 kV Gölbaşı TM'den 400 kV Sincan TM'ye doğru $P=94.3$ MW, akan akım $I=295$ Amperdir. 400 kV Gölbaşı – Sincan hattının ortasında üç faz kısa devre arızası oluşturulmuştur. 38.85 km uzunluğundaki 400 kV Gölbaşı TM'de bulunan Sincan fideri kesicisinin açmaması durumunu incelemek için burada bulunan mesafe koruma röleleri deaktive edilmiştir.



Şekil 12. Gölbaşı – Sincan hattı arıza akımları

Şekil 12'deki Gölbaşı – Sincan hattı arıza noktasına, Gölbaşı TM'den 10892 A, Sincan'dan 16677 A arıza akımı akmıştır. Toplamda arıza noktasına 27569 A akım akmıştır.

Sincan'dan LP1 mesafe koruma rölesi 1. kademedeki Şekil 13'deki gibi ani çalışarak Gölbaşı fideri kesicisini açtırmıştır.

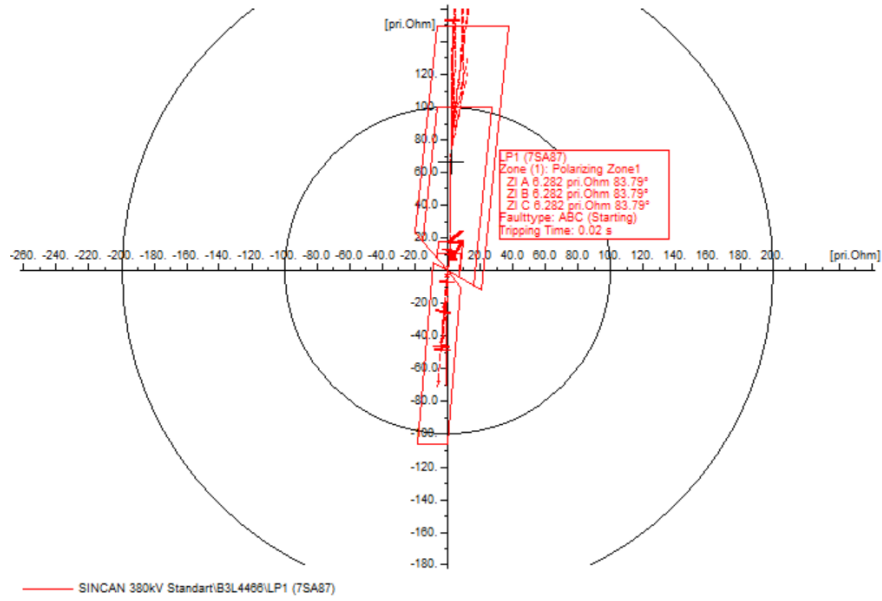
Senaryo gereği, 400 kV Gölbaşı TM'de bulunan LP1 Alstom P443 ve LP2 Siemens 7SA87 mesafe koruma röleleri servis harici edilmiştir. Gölbaşı TM'den arıza temizlenememiştir. Bu durumda aşağıdaki trafo merkezlerindeki röleler artçı koruma gerçekleştirerek arıza temizlenmiştir.

Gökçekaya – Gölbaşı LP2 (L8A) mesafe koruma rölesi ikinci kademede 0.440 saniyede çalışmıştır.

Kayaş – Gölbaşı LP1 (P443) mesafe koruma rölesi üçüncü kademede 0.810 saniyede çalışmıştır.

İç Anadolu – Gölbaşı LP2 (7SA87) mesafe koruma rölesi üçüncü kademede 0.810 saniyede çalışmıştır.

Kayseri Kapasitör – Gölbaşı LP2 (7SA87) mesafe koruma rölesi üçüncü kademede 0.810 saniyede çalışmıştır.



Şekil 13. Sincan – Gölbaşı fideri LP1 mesafe koruma rölesi kademe diyagramı

400 kV Gölbaşı – Sincan hattında meydana gelen arızada 400 kV Gölbaşı trafo merkezindeki rölelerin çalışmaması, Gölbaşı TM'den Sincan fideri kesicisinin açmaması gibi sebeplerle arızanın artçı koruma ile diğer trafo merkezlerinden temizlenmesi sonucu 400 kV Gölbaşı TM sıfırlanmıştır. Arıza yaklaşık 800 ms'de temizlenmiştir.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada Türkiye iletim sisteminin bir parçası olan Ankara Bölgesinde bulunan 400 kV elektrik iletim hatlarının koruma yönünden analizi gerçekleştirilmiştir. Örnek olarak 400 kV Gölbaşı trafo merkezi ele alınmıştır. 400 kV Gölbaşı TM'ye bağlı 4 hatta oluşturulan kısa devre arızalarında Gölbaşı TM'de bulunan mesafe koruma rölelerinin çalışmadığı, kesicinin açmadığı varsayımı ile koruma simülasyonu yapılmıştır. 400 kV Gölbaşı – Kayaş, 400 kV Gölbaşı – İç Anadolu DGKÇ, 400 kV Gölbaşı – Gökçekaya, 400 kV Gölbaşı – Sincan hatlarında üç faz kısa devre arızası oluşturulup Gölbaşı TM'de yer alan mesafe koruma röleleri servis harici edilmiştir. Dört durumda da 400 kV Gölbaşı trafo merkezinin karşı merkezlerindeki kesiciler açarak 400 kV Gölbaşı trafo merkezi sıfırlanmıştır yani enerjisiz kalmıştır. 400 kV Gölbaşı trafo merkeziyle bağlantılı tüm hatlar servis harici olmuştur. Ayrıca, 400 kV Gölbaşı – Kayaş hattı arızasında Temelli TM'de bulunan Sincan fideri mesafe koruma rölesi arızayı 3. kademesinde görerek kesicisine açma komutu göndermiştir. 400 kV Temelli – Sincan hattı gereksiz yere servis harici olmuştur. Arızalar yaklaşık 800 ms'de temizlenebilmiştir. 400 kV Gölbaşı trafo merkezinin sıfırlanması bu trafo merkezinin öneminden dolayı sistem şartlarına göre Ankara ilinde elektrik kesintisi meydana getirebilir.

Normal koşullarda elektrik iletim hattında meydana gelen bir kısa devre arızası mesafe koruma röleleri tarafından ani olarak temizlenir. Bu çalışmada arızalar 1. kademede değil de özellikle 3. kademede temizlendiğinden, 800 ms civarı arıza temizleme süreleri oluşmaktadır. Bu süre, birkaç milisaniyenin bile çok önemli olduğu yüksek gerilim sistemi için çok uzun bir süredir. Bu durum, güç sistemi işletmeciliğinde mesafe koruma rölelerinin arızayı 1. kademede ani olarak temizlemesinin önemini göstermektedir.

Kısa devre arızalarında oluşan kısa devre akımlarının çok yüksek seviyede olması arızanın primer teçhizata zarar vermemesi için vakit kaybedilmeden temizlenmesini gerektirmektedir. Bu açıdan, hatalı açmalara neden olmamak adına, koruma rölelerinin ayar parametreleri doğru girilmelidir. Mesafe koruma rölelerinin periyodik bakımları ve testleri zamanında yapılmalıdır. Ölçü trafolarından akım ve gerilim bilgileri koruma rölelerine doğru bir şekilde gelmelidir. Kısa devre arızası sırasında ölçü trafoları doyuma uğramayacak şekilde sisteme uygun seçilmelidir. Kesicilerin bakımları düzenli ve tam olarak yapılmalıdır.

DIgSILENT PowerFactory programında yapılan bu çalışmada gerçek sistem bilgileri kullanılmıştır. Aynı tip standart mesafe koruma rölesi yerine iletim sisteminde yer alan farklı marka model rölelerin kullanılması gerçek bir sistem arızasındaki röle davranışlarının gerçekçi olarak izlenmesini sağlamıştır. Ankara Bölgesi'nin ele alındığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar sistem arızalarında meydana gelebilecek olası bara ve hat kayıpları hakkında önemli veriler içermektedir. DIgSILENT analiz programı ile yapılan çalışmaların tüm Türkiye enterkonnekte iletim şebekesi ele alınarak gerçekleştirilmesi ileride planlanan çalışmalar arasındadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Saçkesen E., Amaç A., (2011), Koruma Sistemleri, TEİAŞ Eğitim ve İş Güvenliği Dairesi Başkanlığı, 82,87.
- [2] Tür M.R., Aydoğmuş Z., “İletim Hatları için Bulanık Mantık - Tabanlı Direk Tipi Seçimi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C: Tasarım ve Teknoloji, GU J Sci Part: C, 2(4):299-308, (2014).
- [3] Alstom Grid, (2011), Network Protection & Automation Guide, Page Brothers, Norwich, UK, 11-1,11-13.
- [4] Penthong T., Hongesombut K., “An Efficient Method of Automatic Distance Relay Settings for Transmission Line Protection”, 2013 IEEE International Conference of IEEE Region 10 (TENCON 2013), IEEE, (2014), DOI: 10.1109/TENCON.2013.6718905.
- [5] Yang L., Huang S., “Reliable coefficient analysis and exploration of phase-to-phase distance protection for short line”, 2011 International Conference on Advanced Power System Automation and Protection, IEEE, (2012) DOI: 10.1109/APAP.2011.6180813.
- [6] Kaya A., (2015), Elektrik Tesisleri Koruma, 1. Baskı, 231-268.
- [7] Apostolov A., “Modeling of Multifunctional Distance Protection IEDs”, 10th IET International Conference on Developments in Power System Protection, IEEE, (2010) DOI: 10.1049/cp.2010.0354.
- [8] Ertuğrul Ö.F., Kaya Y., Acar E., “Enerji İletim Hattı Arızalarında Elman YSA Kullanılarak Çok Hızlı Arıza Tetikleme Algoritması”, Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, (2012), Cilt 1, Sayı 2, 299-306.
- [9] Arıkan O., Gürsanlı Ö., Aydın H., Yağmur E.A., “An Algorithm for Transmission Distance Relay Setting Calculation Under Network Topology Change”, International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering, Vol.4, Issue5, (2016).
- [10] Zhong Y., Kang X.N., Jiao Z.B., “A Novel Distance Protection Algorithm for Long-Distance Transmission Lines”, 12th IET International Conference on Developments in Power System Protection, IEEE, (2014), DOI: 10.1049/cp.2014.0128.

- [11] Leung K.W., “Computer-Aided Setting Calculation for Distance Zone 2 and Zone 3 Protection”, 1991 International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, APSCOM-91, IEEE, (2002).
- [12] Gyeltshen T., (2010), Protection Coordination Study in Bhutan Transmission Network, Thesis for the Degree of Master of Science, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 11-12.
- [13] Ojaghi M., Azari M., Mazlumi K., “New adaptive Scheme for Calculating Zone-3 Setting of Distance Relay”, 2013 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), IEEE, (2013), DOI: 10.1109/ICIT.2013.6505785.
- [14] “Koruma Sistemi Felsefesi”, (2017), İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı, TEİAŞ, Ankara.
- [15] Gençaydın E., (2006), Enerji İletim Hatlarının Nümerik Mesafe Röleleri ile Korunması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [16] IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines, IEEE Standart C37.113, (2015).
- [17] Blackburn J.L., Domin T.J., (2006), Protective Relaying: Principles and Applications (Third edition), CRC Press, 471-477.
- [18] Ruban N.Y., Andreev M.V., Ufa R.A., Suvorov A.A, Gusev A.S, “Detailed simulation of distance protection for its testing and setting”, Sciendo Journal of Electrical Engineering, (2018), Vol 69, 189-197.
- [19] Neitzel D.K., “Typical Power Circuit Breaker Maintenance Considerations”, 2018 IEEE IAS Pulp, Paper and Forest Industries Conference (PPFIC), IEEE, (2008), DOI:10.1109/PPIC.2018.8502220.
- [20] Jeyaraj S.G., “Effective and Efficient Circuit Breaker Analysis”, IET Conference on Reliability of Transmission and Distribution Networks (RTDN 2011), IEEE, (2012), DOI: 10.1049/cp.2011.0532.

The Investigation of the Effects of Using Natural Gas on the Performance and Exhaust Emissions in an HCCI-DI Engine

Oğuz Kürşat DEMİRCİ¹, Can ÇINAR^{2*}

¹Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, 06374, Yenimahalle/ANKARA

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Graphical/Tabular Abstract

In this study, the effects of compressed natural gas (CNG) charge on the engine performance and exhaust emissions were investigated in a four-stroke, single-cylinder, HCCI-DI diesel engine. The tests of the engine were conducted at the maximum torque speed of 2200 rpm under full load (16 Nm) operating conditions.

Article Info:

Received: 04/02/2019

Revision 27/03/2019

Accepted: 03/04/2019

Highlights

- Premixed CNG fuel was delivered to the intake manifold.
- Performance and emission characteristics were investigated.
- SFC and thermal efficiency improved, CO and soot emissions decreased.

Keywords

HCCI-DI Engine
 Compressed Natural Gas
 Performance
 Exhaust Emissions

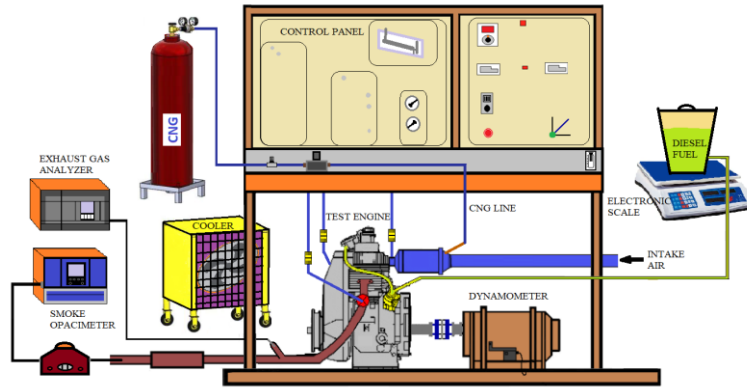


Figure A. Schematic view of the experimental setup

Purpose: In this study, the use of compressed natural gas in a DI diesel engine was investigated. For this purpose, premixed CNG fuel was delivered to the designed intake manifold using a pressure reducer and a sensitive gas flow meter. Performance and emission characteristics of the engine were investigated.

Theory and Methods: Experiments were conducted at full load and 2200 rpm engine speed. Premixed CNG fuel was delivered to the intake manifold using a pressure reducer and a sensitive gas flow meter. In the experiments, the maximum torque that the engine gives under standard diesel fuel operation was decreased between 0 - 90 % at an interval of 10% and the same torque value was obtained with CNG fuel delivered to the intake manifold.

Results: Experimental results showed that, specific fuel consumption, CO and soot emissions decreased and thermal efficiency increased at 90% torque change rate with M10C90 fuel compared to pure diesel fuel (M100) operation.

Conclusion: In the present study, the effects of premixed CNG fuel on the performance and exhaust emissions were investigated in a four-stroke, single cylinder, HCCI-DI engine. In the engine tests, specific fuel consumption, thermal efficiency, carbon monoxide (CO), hydrocarbon (HC), nitrogen oxide (NOx) and soot emissions were investigated with torque variation ratio from 0 – 90%. Specific fuel consumption, CO and soot emissions decreased by 17.19%, 93.67% and 97.95%, respectively, at 90% torque change rate with M10C90 compared to pure diesel fuel (M100) experiments. In addition to this, thermal efficiency increased by 10.02%, HC and NOx emissions increased by 50% and 186%.



HCCI-DI Bir Motorda Doğal Gaz Kullanımının Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi

Oğuz Kürşat DEMİRCİ¹, Can ÇINAR^{2*}

¹Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, 06374, Yenimahalle/ANKARA

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Öz

Bu çalışmada tek silindirli, dört zamanlı, HCCI-DI dönüşümü yapılmış bir dizel motorunda, ön karışımli sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) kullanımının performans ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Motorun maksimum moment devri olan 2200 d/d'da, tam yük (16 Nm) çalışma koşullarında yapılan deneylerde, ön karışımli CNG yakıtı basınç düşürücü ve hassas gaz akış ölçeri kullanılarak tasarlanan emme manifolduna verilmiştir. Deneylerde motorun standart dizel çalışma koşullarında verdiği moment % 0 – 90 aralığında % 10 aralıklarla azaltılarak, aynı moment değeri emme manifolduna verilen CNG yakıtı ile tamamlanmıştır. % 0 – 90 tork değişim oranında yapılan deneylerde, özgül yakıt tüketimi, termik verim, karbonmonoksit (CO), hidrokarbon (HC), azotoksit (NOx) ve is emisyonlarının değişimleri incelenmiştir. Saf motorin yakıtı (M100) ile yapılan deneylere kıyasla % 90 tork değişim oranında (M10C90) özgül yakıt tüketimi %17,19, CO %93,67 ve is %97,95 oranında azalmıştır. Bununla birlikte termik verim % 10,02, HC %50 ve NOx %186 oranında artış göstermiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 04/02/2019

Düzeltilme: 27/03/2019

Kabul: 03/04/2019

Anahtar Kelimeler

HCCI-DI Motor
Sıkıştırılmış Doğal Gaz
Performans
Egzoz Emisyonları

Keywords

HCCI-DI Engine
Compressed Natural Gas
Performance
Exhaust Emissions

The Investigation of the Effects of Using Natural Gas on the Performance and Exhaust Emissions in an HCCI-DI Engine

Abstract

In this study, the effects of compressed natural gas (CNG) charge on the engine performance and exhaust emissions were investigated in a single-cylinder, four stroke, HCCI-DI diesel engine. The experiments were conducted at the maximum torque speed of 2200 rpm under full load (16 Nm) operating conditions. Premixed CNG fuel was delivered to the designed intake manifold using a pressure reducer and sensitive gas flow meter. In the experiments, the maximum torque that the engine gives under standard diesel fuel operation was decreased between 0 - 90 % at an interval of 10% and the same torque value was obtained with CNG fuel delivered to the intake manifold. In the experiments, specific fuel consumption, thermal efficiency, carbon monoxide (CO), hydrocarbon (HC), nitrogen oxide (NOx) and soot emissions were investigated with torque variation ratio from 0 – 90%. Specific fuel consumption, CO and soot emissions decreased by 17.19%, 93.67% and 97.95%, respectively, at 90% torque change rate with M10C90 compared to pure diesel fuel (M100) experiments. In addition to this, thermal efficiency increased by 10.02%, HC and NOx emissions increased by 50% and 186%.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda hükümetlerin sıkılaştıran emisyon düzenlemeleri ve çevresel sorunlar içten yanmalı motorlarda kullanılabilir daha çevreci ve alternatif yakıt arayışlarına hız kazandırmıştır [1,2]. Bu alternatif yakıtlar içerisinde doğal gaz geniş kaynakları, düşük maliyeti ve kolay erişilebilirliği ile ön plana çıkmaktadır [1]. Günümüzde doğal gaz, hem buji ile ateşlemeli hem de dizel motorlarda alternatif bir yakıt olarak kullanılabilir [3,4]. Doğal gaz yüksek oktan sayısı sebebiyle kendi kendine tutuşması zor olan bir yakıt türüdür. Bu nedenle dizel motorlarda yapılan çalışmalarda büyük oranda çift yakıtlı olarak kullanım sağlanmaktadır [1,3,5-10]. Otomotiv endüstrisinde üretici firmalar tarafından araç menzili uzatmak, yakıt maliyetlerini azaltmak ve daha düşük kirletici emisyon değerleri elde etmek için, sıvı+gaz veya sadece gaz yakıtlarıyla çalışan motorlu araçlar üretilmiş ve sürücülerin hizmetine sunulmuştur (Audi, Fiat, Mercedes,

Opel, Seat, Skoda, Volkswagen, Temsa, Honda, Iveco, Man, Renault, Scania, Solaris vs.) [11]. Özellikle Almanya'da yoğunlaşacağı bildirilen “doğal gaz yakıtlı motor” çalışmalarının hedefi, 2025 yılına kadar Almanya'da CNG kullanan araç sayısını 1 milyona çıkarmak olarak bildirilmiş ve bu artış için aynı aralıkta CNG yakıt istasyonu sayısının da 900'den 2000'e çıkarılması hedeflenmiştir. Benzin ve dizel yakıtlarına oranla daha çevreci olan CNG yakıtı, yeni geliştirilen elde etme ve dağıtım teknikleri sayesinde kullanım alanını artırmayı başarmıştır. Elektrikli araçların menzil ve popülerlik anlamında yükselişe geçmesine rağmen, ağır vasıta ve otobüs gibi daha fazla güç, tork ve uzun menzil isteyen araçlarda CNG yakıtlı motorlar iyi bir alternatif olarak öne çıkabilir [12-14].

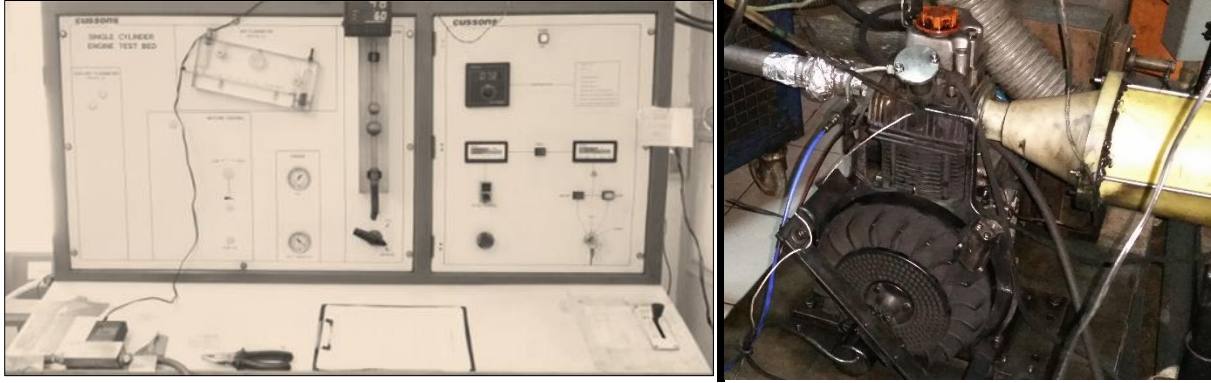
Homojen dolgulu sıkıştırma ile ateşlemeli (HCCI) motorlar, buji ile ateşlemeli ve dizel motorların ortak avantajlarını barındırmakta olup, yüksek ısı verim ve düşük egzoz emisyonlarını aynı anda sağlayabilecek potansiyele sahip alternatif bir yanma teknolojisidir. Bu yanma modunda silindir içerisinde ya da emme portunda homojen olarak hazırlanan dolgu, herhangi bir kısılmaya maruz kalmadan doğrudan silindir içerisine alınmaktadır. Ön karışımli homojen dolgunun sıkıştırılması sonrası birçok bölgede eş zamanlı olarak gerçekleşen yanma, yanma odası içerisindeki yüksek sıcaklık bölgelerini ortadan kaldırarak, is partiküllerinin oluşumunu önlemektedir [15-17]. Christensen ve arkadaşları [18], düşük setan sayılı ve yüksek uçuculuğa sahip yakıtları (izo-oktan, etanol ve doğal gaz), 17/1 ve daha yüksek sıkıştırma oranlarında HCCI bir motorda test etmişler ve konvansiyonel dizel motorundan elde edilen değerlere yakın termik verim değerleri elde etmişlerdir. 21/1 sıkıştırma oranında ve HCCI yanma şartlarında yakıt olarak izo-oktan kullanıldığında ön ısıtmaya gerek olmadığını, etanol ve doğal gaz kullanımında ise sırasıyla 80 °C ve 120 °C'lik ön ısıtma yapılması gerekli olduğunu tespit etmişlerdir. Hariruddin ve arkadaşları [19] motorin ile çalışan HCCI bir motorda hidrojen ve doğal gaz yakıtlarının kullanımını araştırmışlardır. Bu çalışmada HCCI motorların yeni bir yanma teknolojisi kullandığı bildirilmiş ve yanmayı başlatacak buji veya enjektörlerin olmadığı, yakıtın silindir içerisinde kimyasal olarak aktivasyon enerjisine ulaştıktan sonra kendiliğinden silindir içerisinde birçok noktada tutuşarak yandığı bildirilmiştir. HCCI motorlarının geliştirilmesi gereken başlıca sorunlar olarak; karışımın kendiliğinden kontrolsüz tutuşması, ısı yayılım oranının yüksek yüklerdeki kontrolünün zorluğu, soğuk çalışan motorda emisyon standartlarının sağlanması ve vuruntu kontrolünün zorlukları olarak bildirilmiştir. Düşük motor devirlerinde gerçekleşen kendi kendine erken tutuşma vuruntuya sebep olurken, yüksek motor devirlerinde geç tutuşma problemi ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle HCCI yanma modunda ateşleme zamanı kontrolü büyük önem taşımaktadır. HCCI yanma modunda hidrojen yakıtı ile yapılan deneylerde azalan güç ile birlikte emisyon değerlerinin de büyük ölçüde azaldığı görülmüştür. Ayrıca, çift yakıt ile yapılan deneylerde hidrojen yakıtı motorin ile birleştirildiğinde düşük CO, NOx ve partikül madde emisyonlarının elde edildiği bildirilmiş ve motor gücünün ise %13 - 16 oranında artırılabilirdiği görülmüştür.

Bu çalışmada, içten yanmalı motorlarda gelecek vaat eden CNG yakıtının sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda HCCI-DI dönüşümü yapılarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. HCCI-DI dönüşümü yapılan motorda yapılan deneylerde, doğal gaz kullanımı sonucu egzoz emisyonlarının azaldığı ve yakıt ekonomisi sağlandığı görülmüştür. Bu çalışmanın özellikle son yıllarda otobüs ve ağır vasıta kullanıcıları tarafından tercih edilen CNG yakıtının kullanımından kaynaklanan bazı sorunlara çözüm yolu açması amaçlanmaktadır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Deneyisel çalışma Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü, İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Deney düzeneği ve deney motoru Resim 1'de verilmiştir.

Deneyler; HCCI-DI dönüşümü yapılmış sıkıştırma ile ateşlemeli, dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu ve tek silindirli Antor 6LD 400 marka bir motor ile yapılmıştır. Deneylerde yakıt olarak motorin ve CNG yakıtları kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan motorun teknik özellikleri Tablo 1'de, motorin ve CNG yakıtlarının özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.



Resim 1. Deney düzeneği ve HCCI-DI motorun görünümü

Tablo 1. Deneylerde kullanılan motorun teknik özellikleri [20]

Markası	Antor 6LD 400	Maksimum motor devri [d/d]	3600
Motor tipi	Sıkıştırma ile ateşlemeli, 4 zamanlı	Maksimum motor gücü [kW]	5,4 kW (3000 d/d)
Enjeksiyon tipi	Direkt enjeksiyon	Maksimum moment [Nm]	19,6 Nm (2200 d/d)
Silindir sayısı	1	Enjeksiyon basıncı [bar]	180
Silindir çapı [mm]	86	Enjeksiyon zamanı [önce ÜÖN]	24°
Kurs boyu [mm]	68	Enjektör delik sayısı ve çapı [mm]	4x0,24
Silindir hacmi [cm ³]	395	Enjektör uç açısı	160°
Sıkıştırma oranı	18:1	Yanma odası geometrisi	Meksika Şapkası

Tablo 2. Deneylerde kullanılan motorin ve CNG yakıtlarının temel özellikleri [21]

	Motorin	CNG
Kimyasal Formül	C ₄ -C ₁₂	CH ₄
Setan Sayısı	40-50	-
Oktan Sayısı	-	>120
Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı [K]	483	853
Stokiyometrik Hava/Yakıt Oranı	14,7	17,2
Alt Isıl Değer [MJ/kg]	42,5	47,14

Deneyler, Resim 1’de görülen Cussons P8160 marka tek silindirli motor test düzeneğinde yapılmıştır. Deney tertibatında bulunan D.C. elektrikli dinamometre, 4000 d/d devirde 10 kW güç absorbe edebilmektedir. Egzoz emisyonlarının ölçümünde teknik özellikleri Tablo 3’te verilen Bosch BEA350 marka egzoz gaz analizörü kullanılmıştır. Bu cihaz CO, HC, NO, O₂, CO₂ gazlarını ve λ (lambda) değerini ölçmektedir. İS emisyonlarının ölçümünde ise AVL marka DiSmoke serisi kısmi akışlı opazimetre kullanılmıştır. Opazimetrenin teknik özellikleri de Tablo 3’te görülmektedir.

Deneylerde kullanılan CNG yakıtı 200 bar basınçta sıkıştırılmış, 12,5 m³ hacmindeki, 50 litrelik çelik gaz tüpü içerisinde depolanmış ve bu tüpten basıncı düşürülerek gaz yakıt hattına sevk edilmiştir. Deneylerde Kasweld marka gaz basınç düşürücüsü kullanılmıştır. Basınç düşürücüsü sabit basınca ayarlandığı için aynı

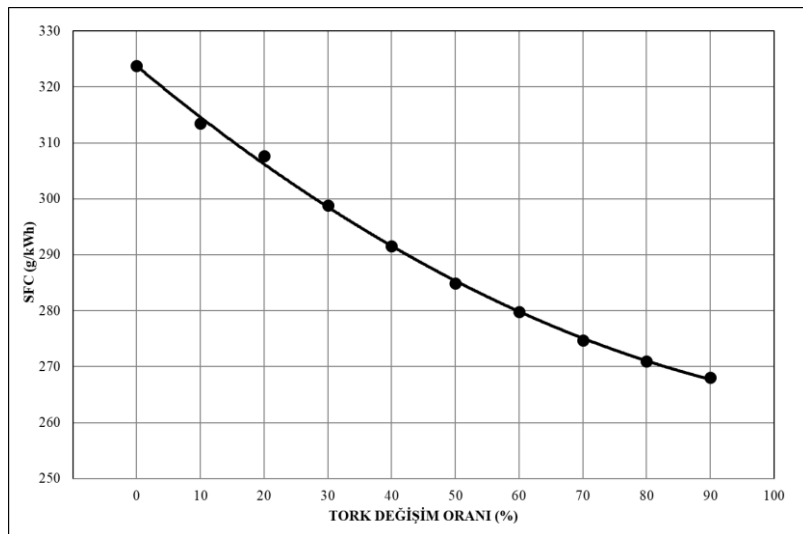
Tablo 5. Ölçümlerin doğruluğu ve hesaplanan sonuçlardaki belirsizlikler.

	Doğruluk	Belirsizlik
Moment [Nm]	-	± %0,25
Yakıt Debisi [g/dk]	-	± %0,54
Özgül Yakıt Tüketimi (Motorin Yakıtı İçin) [g/kWh]	-	± %1,12
Özgül Yakıt Tüketimi (Motorin+CNG Yakıtı İçin) [g/kWh]	-	± %1,38
Termik Verim [%]	-	± %0,96
HC [ppm]	1	± %1,2
CO [% hacim]	0,001	± %1,6
NO _x [ppm]	≤ 1	± %2,3
İs [%]	0,1	± %1,9
Motor Yüğü [N]	± %0,1	-
Motor Devri [d/d]	± 3 [d/d]	-
Yakıt Tüketimi [g]	± %0,2	-
Sıcaklık [°C]	± 1 [°C]	-
Zaman [s]	± 1 [s]	-

3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION OF THE EXPERIMENTAL RESULTS)

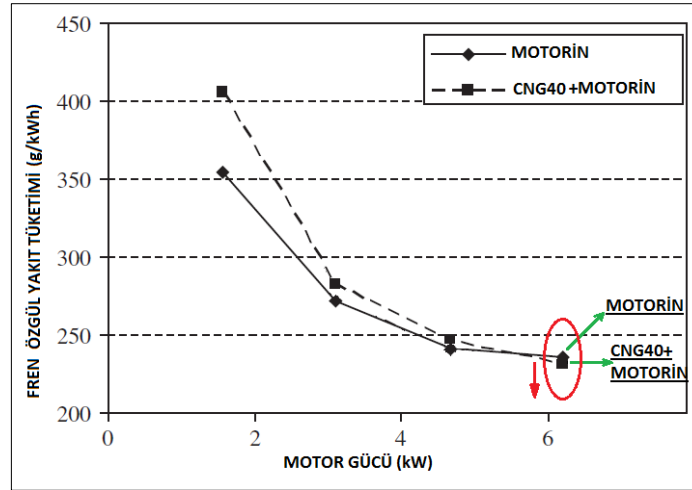
3.1. Özgül Yakıt Tüketimi

Şekil 1’de tork değişim oranına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi görülmektedir. 2200 d/d motor devri ve 16 Nm tam yükte gerçekleştirilen deneylerde CNG artışına bağlı olarak özgül yakıt tüketiminin azaldığı görülmektedir. Motorin yakıtı ile standart dizel çalışma koşullarında (M100) yapılan deneylerde özgül yakıt tüketimi 323,75 g/kWh olarak elde edilirken, %50 tork değişim oranında (M50C50) %11,99 azalarak 284,93 g/kWh, %90 tork değişim oranında ise (M10C90) %17,19 azalarak 268,08 g/kWh olarak elde edilmiştir. Tork değişim oranı arttıkça silindir içerisine giren doğal gaz yakıtı miktarı da artmaktadır.



Şekil 1. Tork değişim oranına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi

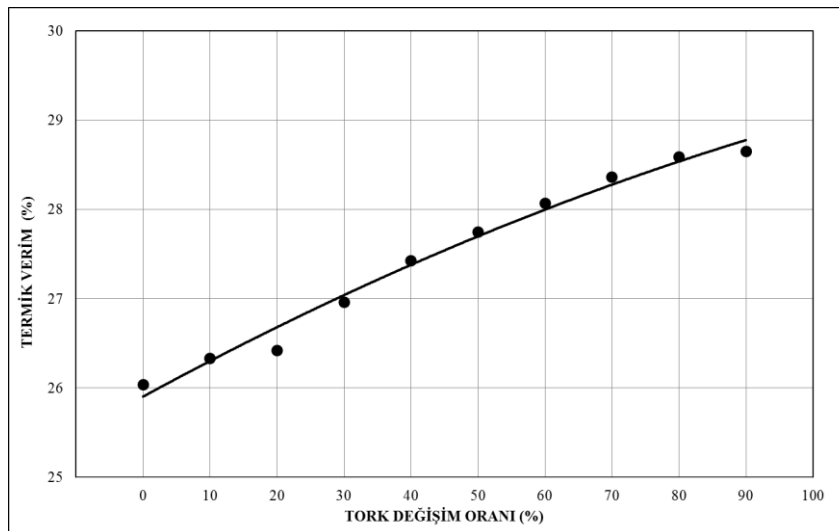
Doğal gaz yakıtının alt ısı değerinin motorine göre yüksek oluşu, tork değişim oranı arttıkça silindir içi sıcaklıkların ve silindir içi basıncın da yüksek oluşuna sebep olmuştur. Artan silindir içi sıcaklıklar yanma süresini ve tutuşma gecikmesini azaltmıştır. Bu etkiler neticesinde doğalgazın silindir içerisinde tork değişim oranıyla birlikte artan miktarı, yanma oluşumunu iyileştirmiş ve özgül yakıt tüketiminin motorin kullanımına göre azalmasına neden olmuştur [24]. Şekil 2’de grafiği görülen Karabektaş ve arkadaşları [24] tarafından tek silindirli bir dizel motorunda tam yükte motorin ve doğal gaz yakıtlarıyla yapılan deneylerde elde edilen özgül yakıt tüketimi değeri yalnız motorin ile elde edilen özgül yakıt tüketimi değerlerinin altında çıkararak benzer sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 2. Motorin ve CNG40+motorin yakıtının motor gücüne bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi [24]

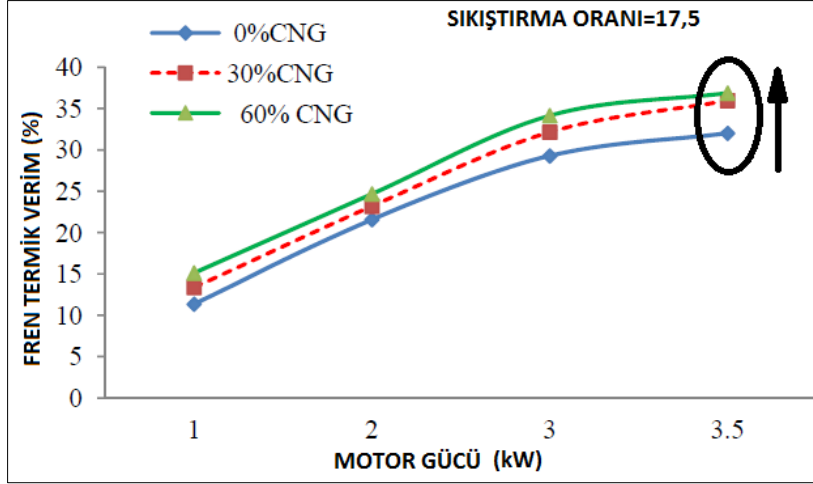
3.2. Termik Verim

Şekil 3’te termik verimin tork değişim oranına göre arttığı görülmektedir. %0 tork değişim oranında motorin yakıtı (M100) ile yapılan deneylerde %26,04 olarak elde edilen termik verim, %50 tork değişim oranında % 6,56 oranında artarak %27,75 olarak elde edilmiştir. %90 tork değişim oranında ise %10,02 oranında artarak %28,65 olarak hesaplanmıştır. Tork değişim oranı arttıkça silindir içerisine giren motorin yakıtı azalmış, doğal gaz yakıtı ise artış göstermiştir. HCCI-DI çalışma şartlarında CNG yakıtının emme manifoldunda hava ile ön karışimli ve daha homojen bir şekilde karışarak silindir içerisine alınmasına bağlı olarak yanmada iyileşmesi ve termik verimde artış gerçekleşmiştir.



Şekil 3. Tork değişim oranına bağlı olarak termik verim değişimi

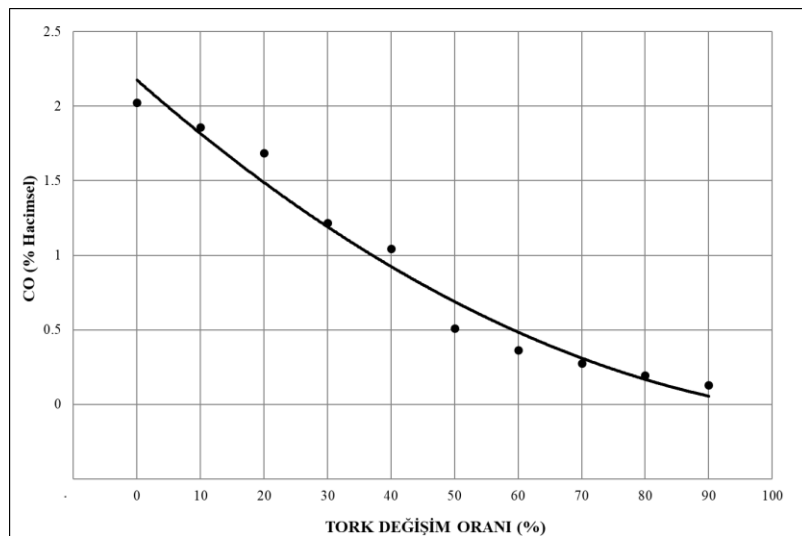
Singh ve Maji [25] tarafından yapılan motorin+CNG çift yakıtın kullanıldığı çalışmada, saf motorin, %30 CNG ve %60 CNG yakıtları ile deneyler yapılmıştır. 17,5 sıkıştırma oranında ve tam yük çalışma şartlarında yapılan deneylerde saf motorin yakıtına oranla %60 CNG yakıtı kullanılarak termik verimde %12,6 oranında artış elde edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Motor gücüne bağlı olarak termik verim değişimi [25]

3.3. Karbonmonoksit (CO) Emisyonları

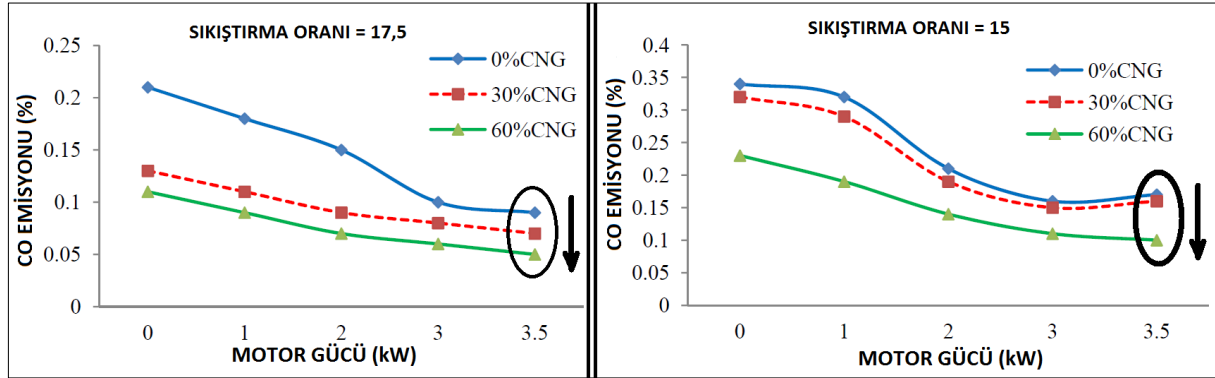
Şekil 5'te CO emisyonlarının tork değişim oranına göre bağlı olarak değişimi görülmektedir. Saf motorin kullanımında %2,023 olan CO değeri, %50 tork değişim oranında (M50C50) %74,74 azalarak %0,511 olarak gerçekleşmiş, %90 tork değişim oranında ise %93,67 azalarak %0,128 olmuştur. CO emisyonunu etkileyen en önemli faktörler arasında hava fazlalık katsayısı ön plana çıkmaktadır. Özellikle stokiyometrik ve zengin karışım bölgelerinde eşdeğerlik oranının azalmasıyla CO konsantrasyonu da azalma göstermektedir [26]. Tork değişim oranının artması ile artan CNG yakıtına bağlı olarak hava fazlalık katsayısının artmasıyla CO emisyonunun azaldığı görülmektedir.



Şekil 5. Tork değişim oranına bağlı olarak CO değişimi

Singh ve Maji [25] tarafından yapılan çalışmada, 15 ve 17,5 sıkıştırma oranlarında çift yakıt (motorin ve CNG) kullanılarak motor gücüne bağlı CO emisyonu değişimini elde edilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü gibi,

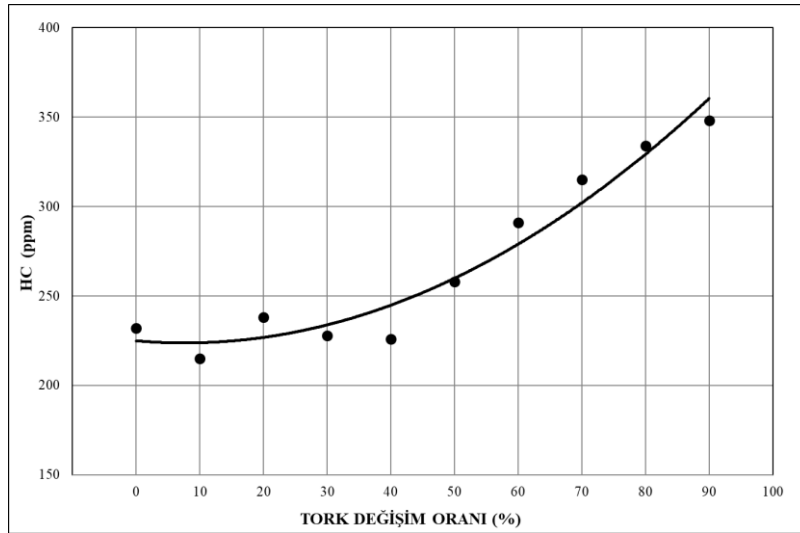
15 sıkıştırma oranında %30 CNG ve %60 CNG yakıtı ile yapılan deneylerde saf motorin yakıtına göre CO emisyonunda %33,3 - %61,9 arasında iyileşmeler elde edilmiştir.



Şekil 6. Motor gücüne bağlı olarak CO değişimi [25]

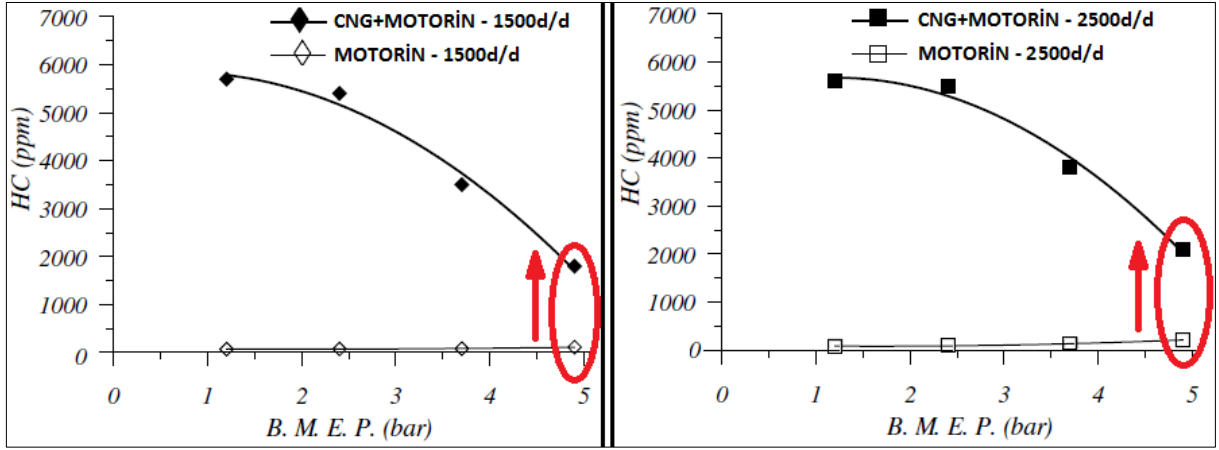
3.4. Hidrokarbon (HC) Emisyonları

HC emisyonunun tork değişim oranına göre ölçülen değerleri Şekil 7’de gösterilmiştir. Tork değişim oranı arttıkça HC emisyonunun da artış gösterdiği görülmektedir. Dizel yakıt kullanımında (M100) 232 ppm olarak ölçülen HC emisyonu değeri, %50 tork değişim oranında (M50C50) %11,20 artarak 258 ppm olarak ölçülmüş, %90 tork değişim oranında ise (M10C90) %50 oranında artarak 348 ppm olarak ölçülmüştür. HC emisyonlarına büyük oranda silindir cidarlarında kalan yanmamış yakıt birikintileri sebep olmaktadır. Yanma sonucu oluşan alevin soğuk silindir cidarlarına teması esnasında alevin sönümlenmesi gerçekleşir ve yanmamış HC emisyonları açığa çıkar [27-29]. Deneylerde tork değişim oranıyla silindir içerisinde artış gösteren doğal gaz yakıtı HC emisyonlarının artmasına neden olmaktadır.



Şekil 7. Tork değişim oranına bağlı olarak HC değişimi

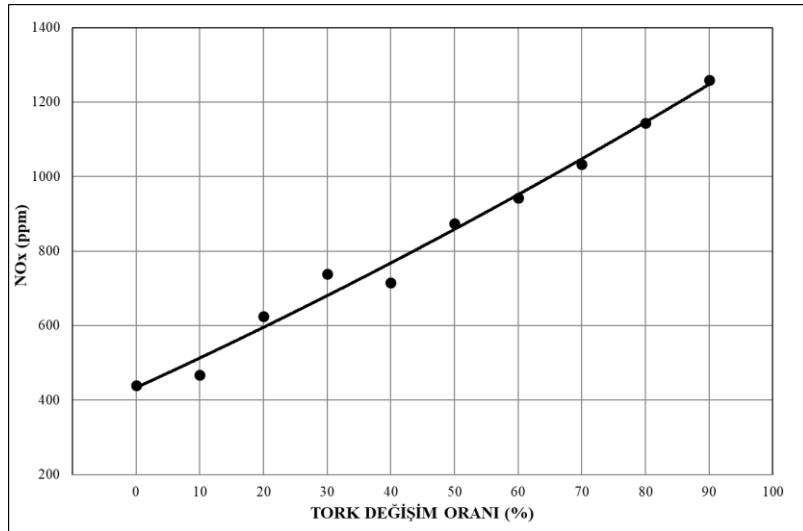
Papagiannakis ve Hontualas [5] tarafından yapılan çalışmada, sıkıştırma ateşlemeli bir motorda motorin ve CNG yakıtı kullanarak farklı motor devirlerinde gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir, CNG kullanımına bağlı olarak HC emisyonları artmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Fren ortalama efektif basıncına bağlı olarak HC değişimi [5]

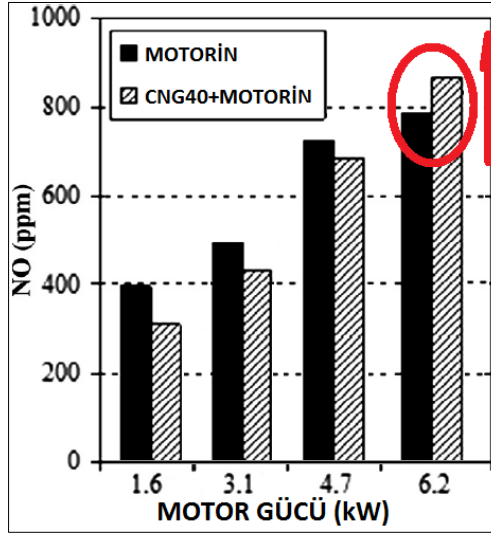
3.5. Azotoksit (NO_x) Emisyonları

Şekil 9'da tork değişim oranına bağlı olarak NO_x emisyonlarının değişimi görülmektedir. %0 tork değişim oranında motorin yakıtıyla yapılan deneylerde (M100) NO_x emisyonları 440 ppm olarak ölçülmüştür. Tork değişim oranı arttıkça NO_x emisyonları da artmıştır. %50 tork değişim oranında NO_x %98,86 artarak 875 ppm olmuştur. %90 tork değişim oranında ise %186 oranında artış göstererek 1260 ppm olarak ölçülmüştür. Doğal gaz yakıtının alt ısıl değerinin motorin yakıtından yüksek olması nedeniyle, tork değişim oranı arttıkça silindir içerisine artarak giren doğal gaz miktarı ile silindir içi sıcaklık değerleri de artış göstermiştir [20]. Ayrıca silindir içi sıcaklıkların artmasıyla tutuşma gecikmesi azalmış ve yanma iyileşmiştir. Bu nedenlerden dolayı yanmanın iyileşmesi ve artan silindir içi sıcaklıklar NO_x oluşumunu artırmıştır [24].



Şekil 9. Tork değişim oranına bağlı olarak NO_x değişimi

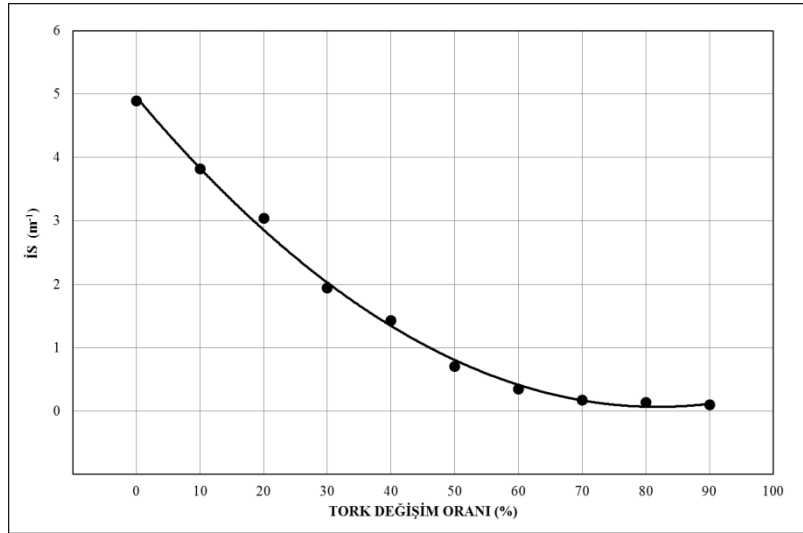
Karabektaş ve arkadaşlarının [24] Şekil 10'da gösterilen motorin ve CNG yakıtı kullanarak sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda yaptıkları deneysel çalışma sonuçları incelendiğinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Tam yükte CNG40+motorin yakıtı ile elde edilen NO_x değerinin sadece motorin yakıtı ile elde edilen NO_x değerinden yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 10. Motor gücüne bağlı olarak NOx değişimi [24]

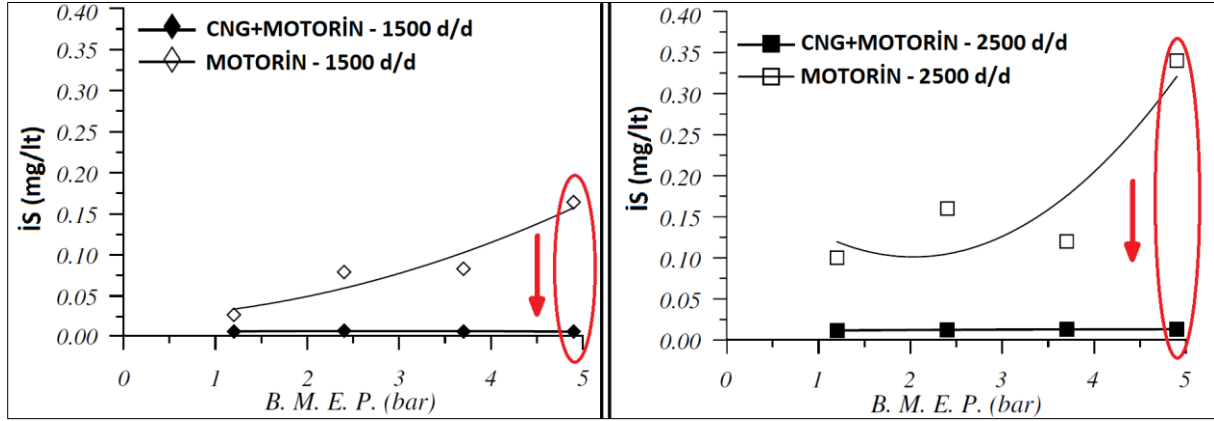
3.6. Is Emisyonları

Tork değişim oranı arttıkça azalan is emisyonlarının değişimi Şekil 11’de gösterilmiştir. Motorin (M100) yakıtıyla yapılan deneylerde 4,89 olarak ölçülen is emisyonu %50 tork değişim oranında %85,68 oranında azalarak 0,7 değeri ölçülmüştür. %90 tork değişim oranında ise %97,95 oranında azalarak 0,1 değeri ölçülmüştür. Is emisyonlarının azalmasının en önemli sebebi, silindir içerisine tork değişim oranıyla artarak sevk edilen CNG yakıtının hava fazlalık katsayısını artırmasıdır. Ayrıca tork değişim oranının artışı ile birlikte daha homojen bir karışım elde edilmesi de is emisyonlarını azaltmaktadır [25].



Şekil 11. Tork değişim oranına bağlı olarak is emisyonu değişimi

Papagiannakis ve Hontualas’ın [5] tarafından yapılan çalışmada, sıkıştırma ateşlemeli bir motorda saf motorin ve CNG+motorin yakıtı kullanarak 1500 ve 2500 d/d motor devirlerinde tam yükte is emisyonunun benzer şekilde azaldığı görülmektedir (Şekil 12).



Şekil 12. Fren ortalama efektif basıncına bağlı olarak is emisyonu değişimi [5]

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada HCCI-DI dönüşümü yapılmış, tek silindirli, dört zamanlı, bir dizel motorunda ön karışimli CNG dolgununun motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Motorun maksimum moment devri olan 2200 d/d'da tam yük çalışma koşullarında, 0 – 90 tork değişim oranında yapılan deneylerde, özgül yakıt tüketimi, termik verim, CO, HC, NO_x ve is emisyonlarının değişimleri incelenmiştir. Saf motorin yakıtı (M100) ile yapılan deneylere kıyasla % 90 tork değişim oranında (M10C90) özgül yakıt tüketimi %17,19, CO %93,67, is %97,95 oranında azalmıştır. Bununla birlikte termik verim % 10,02, HC %50, NO_x ise %186 oranında artış göstermiştir. Bu sonuçlardan hareketle HCCI-DI bir motorda tam yükte doğal gaz kullanımının NO_x ve HC emisyonlarında kötüleşmeye sebep olmasına karşın, termik verim, özgül yakıt tüketimi, CO ve is emisyonlarında önemli iyileştirmeler sağladığı görülmektedir. Ülkemizde boru hatları ve CNG tüpleri vasıtasıyla tüm şehirlerimizde ve birçok ilçemizde kolayca tedarik edilebilme imkânına sahip olan doğal gaz yakıtı, benzin ve motorin yakıtının yerini alma potansiyeline sahiptir. Hali hazırda özellikle ağır vasıtaların kullanımına sunulan şehirlerarası yollarda mevcut CNG istasyonlarının ülkemizde ve dünyada her geçen gün kullanımı artmaktadır [30]. CNG yakıtının motorlu taşıtlarda kullanım potansiyeli ve uygulanabilirliği göz önüne alınarak geleceğe yönelik çalışmalara önem verilmelidir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Z. Wang, G. Du, D. Wang, Y. Xu, M. Shao, Combustion process decoupling of a diesel/natural gas dual-fuel engine at low loads. *Fuel*, 232 (2018) 550-561.
- [2] A. Uyumaz, F. Boz, Ş. A. Baydır, Direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda atık zeytinyağı biyodizelinin yanma, performans ve emisyon karakteristikleri, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6(1) (2018) 55-65.
- [3] A. P. Carlucci, A. De Risi, D. Laforgia, F. Naccarato, Experimental investigation and combustion analysis of a direct injection dual-fuel diesel–natural gas engine, *Energy*, 33(2) (2008) 256-263.
- [4] H. M. Cho, B. Q. He, Spark ignition natural gas engines - A review, *Energy Conversion and Management*, 48 (2007) 608-618.
- [5] R. G. Papagiannakis, D. T. Hountalas, Combustion and exhaust emission characteristics of a dual fuel compression ignition engine operated with pilot diesel fuel and natural gas, *Energy Conversion and Management*, 45(18-19) (2004) 2971-2987.
- [6] V. Pirouzpanah, R. K. Saray, A. Sohrabi, A. Niaei, Comparison of thermal and radical effects of EGR gases on combustion process in dual fuel engines at part loads, *Energy Conversion and Management*, 48 (2007) 1909-1918.

- [7] Y. Karagöz, T. Sandalcı, Ü.O. Köylü, A. S. Dalkılıç, S. Wongwises, Effect of the use of natural gas–diesel fuel mixture on performance, emissions, and combustion characteristics of a compression ignition engine, *Advances in Mechanical Engineering*, 8(4) (2016) 1-13.
- [8] W. Li, Z. Liu, Z. Wang, Experimental and theoretical analysis of the combustion process at low loads of a diesel natural gas dual-fuel engine, *Energy*, 94 (2016) 728-741.
- [9] M. Y. E. Selima, M. S. Radwanb, H. E. Salehb, Improving the performance of dual fuel engines running on natural gas/LPG by using pilot fuel derived from jojoba seeds, *Renewable Energy*, 33 (2008) 1173-1185.
- [10] G. S. Fritz, I. E. Ralph, Emissions from heavy-duty trucks converted to compressed natural gas, *SAE Transactions Journal of Commercial Vehicles*, 102(2) (1993) 538-552.
- [11] R. V. Basshuysen, *Natural gas and renewable methane for powertrains: Future strategies for a climate-neutral mobility*, Switzerland: Springer International Publishing, (2016) 100-114.
- [12] A. Brozat, Volkswagen Group expedites joint extension of gas mobility. Volkswagen Media Services. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.volkswagen-media-services.com%2Fen%2Fdetailpage%2F-%2Fdetail%2FVolkswagen-Group-expeditesjoint-extension-of-gas-mobility%2Fview%2F4948078%2F&date=2017-12-21>, Son Erişim Tarihi: 21.12.2017.
- [13] Ş. Soysal, Volkswagen, CNG ailesini 2025'e kadar 10'a katlayacak. Volkswagen Haberler. URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ftr.motor1.com%2Fnews%2F144457%2Fvw-cng-ailesi-2025-hedefi%2F&date=2017-12-21>, Son Erişim Tarihi: 21.12.2017.
- [14] İnternet: Der Golf TGI .(2017). Volkswagen Deutschland, Web: https://www.volkswagen.de/de/models/golf-tgi.html#vw_m246_m532_jump_id_8 Aralık 2017'de alınmıştır.
- [15] Ö. Can, Bir DI dizel motorda etanol ön karışımli kısmi-HCCI uygulamasının yanma ve emisyonlar üzerine etkilerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2012) 41-104.
- [16] H. Zhao, *HCCI and CAI Engines for the Automotive Industry*. England: Woodhead Publishing Limited, (2007) 19-509.
- [17] M. Ghazikhani, M. R. Kalateh, Y. K. Toroghi, M. Dehnavi, An experimental study on the effect of premixed and equivalence ratios on CO and HC emissions of dual fuel HCCI engine, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 52 (2008) 130-135.
- [18] M. Christensen, B. Johansson, P. Einewall, Homogeneous charge compression ignition (HCCI) using isooctane, ethanol and natural gas – a comparison with spark ignition operation, *Society of Automotive Engineering*, Paper No: 972874. (1997).
- [19] A. A. Hairuddin, T. Yusaf, A. P. Wandel, A review of hydrogen and natural gas addition in diesel HCCI engines, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32 (2014) 739-761.
- [20] İnternet: <https://www.anadolumotor.com/tr/urunler/antor-6-ld-400> (2018).
- [21] A. H. Kakaee, A. Paykani, M. Ghajar, The influence of fuel composition on the combustion and emission characteristics of natural gas fueled engines, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38 (2014) 64-78.

- [22] Bosch BEA 350 Emission Analysis Users Manuel. (2018).
- [23] AVL 4000 DiSmoke Emission Analysis Users Manuel. (2018).
- [24] M. Karabektas, G. Ergen, M. Hoşöz, The effects of using diethylether as additive on the performance and emissions of a diesel engine fuelled with CNG, *Fuel*, 115 (2014) 855-860.
- [25] R. Singh, S. Maji, Performance and exhaust gas emissions analysis of direct injection CNG-diesel dual fuel engine, *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, 4(3) (2012) 837-838.
- [26] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals.*, New York: McGraw-Hill Publishing Company, (1988).
- [27] M. Odaka, N. Koike, Y. Tsukamoto, K. Narusawa, Optimizing control of NO_x and smoke emissions from DI engine with EGR and methanol fumigation, *SAE Paper No: 920468*, (1992).
- [28] X. Lü, J. Ma, L. Ji, Z. Huang, Simultaneous reduction of NO_x emission and smoke opacity of biodiesel-fueled engines by port injection of ethanol, *Fuel*, 87(7) (2008) 1289–1296.
- [29] M. Yao, Z. Chen, Z. Zheng, B. Zhang, Y. Xing, Study on the controlling strategies of homogeneous charge compression ignition combustion with fuel of dimethyl ether and methanol, *Fuel*, 85 (2006) 2046-2056.
- [30] İnternet: SOCAR Turkey Petrol Enerji Dağıtım San. Tic. A.Ş. (2018)., Web: <http://www.socarenerji.com/%C4%B0stasyonlar%C4%B1m%C4%B1z> 25 Aralık 2018'de alınmıştır.

Design and Numerical Analysis of a Double-Tube Magnetorheological Shock Absorber for Vehicle Seat Suspension Systems

 İsmail ŞAHİN¹, Zekeriya PARLAK^{2,*}, Cem GÜNERİ³
¹Applied Science University of Sakarya, Akyazı Vocational School, 54400, Akyazı/SAKARYA

²Sakarya University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, 54187, Serdivan/SAKARYA

³Maysan Mando Inc., Organized Industrial Zone Yeşil Cad. No: 26, 16159, Nilüfer/BURSA

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 18/01/2019

Revision 04/04/2019

Accepted: 04/04/2019

Highlights

- Vehicle seat suspension systems.
- Double-tube MR shock absorber design.
- Electromagnetic design.
- Numerical analysis

Keywords

 MR absorber
 Double-tube absorber
 Vehicle seat mechanisms

In scissors-type suspension mechanisms of the driver's seats of vehicles such as tractors, trucks and buses, conventional double-tube shock absorbers are often used as dampers due to the length of the course. The damping values of these shock absorbers are determined according to the condition of the vehicle and the opening and closing conditions. Some of the modern damping mechanism have the ability to manually adjust the damping force with the help of a latch. The driver can adjust the seat stiffness with this mechanical adjustment as desired. Nevertheless, the performance of the mechanism is limited because it is not instantly (dynamically) controlled. Today, alternatives to conventional mechanical adjustable shock absorbers are shock absorbers with magnetorheological (MR) fluid suitable for electronic control.

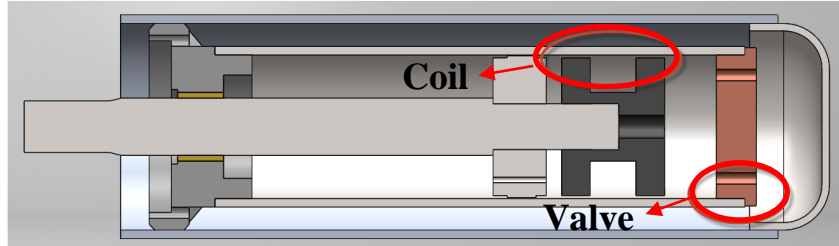


Figure A. Block schema of the system

Purpose: In this study, double-tube MR damper, which can be used instead of double-tube mechanically regulated shock absorber, has been investigated by numerical magnetic and flow analyses and has been designed, manufactured and tested. It is aimed with new design that the damper to be used in the driver's seats provides both controllability and desired damping force.

Theory and Methods: The double-tube shock absorber which is still widely used in vehicle seat systems has been converted into an MR shock absorber. Valve groups in the lower part of the shock absorber where the liquid is transferred to the outer cylinder have been redesigned and the existing piston group has been revised. Before the manufacturing and testing phase, the final design has been decided with numerical analysis.

Results: Tests, which performed by MR shock absorber, have provided the soft damping values of the classic shock absorber, however the hard shock absorber values could not be achieved at the 100% level due to the existing damper structure.

Conclusion: It is not possible to reach higher damping force values with the foot valve structure and to ensure a stable operation with this design. Also, design with sliding piston in the double-tube system would yield more appropriate results. Furthermore, a sliding piston design positioned between the two tubes may be a better alternative.



Araç Koltuk Süspansiyon Sistemleri İçin Çift Borulu Manyeto-Reolojik Amortisör Tasarımı ve Sayısal Analizleri

İsmail ŞAHİN¹, Zekeriya PARLAK^{2,*}, Cem GÜNERİ³

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Akyazı Meslek Yüksek Okulu, 54400, Akyazı/SAKARYA

²Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 54187, Serdivan/SAKARYA

³Maysan Mando A.Ş., Organize Sanayi Bölgesi Yeşil Cad. No: 26, 16159, Nilüfer/BURSA

Öz

Traktör, kamyon ve otobüs gibi sürücü koltuklarının makas tipi süspansiyon mekanizmalarında, kurs boyundan dolayı sönümleyici olarak çoğunlukla klasik çift borulu amortisör kullanılmaktadır. Bu amortisörlerin sönüm değerleri, çalışacakları taşıtın durumu ile açılma ve kapanma durumlarına göre belirlenmektedir. Daha modern olan bazı süspansiyon mekanizması amortisörleri ise, bir mandal yardımıyla manuel olarak sönümleme kuvvetini ayarlayabilme özelliğine sahiptir. Sürücü istediği şekilde bu mekanik ayar sayesinde koltuk sertliğini ayarlayabilmektedir. Buna rağmen mekanizmanın performansı anlık olarak (dinamik şekilde) kontrol olmadığından kısıtlıdır. Günümüzde klasik mekanik ayarlı amortisörlere alternatif, elektronik kontrole uygun Manyeto-Reolojik (MR) sıvılı amortisörlerdir. Bu çalışmada, çift borulu mekanik ayarlı amortisör yerine kullanılabilir, çift borulu MR amortisörün manyetik alan ve akış analizleri incelenmiş, tasarım, imalat ve montajları gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler neticesinde karşılaşılan sonuçlar değerlendirilmiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 18/01/2019

Düzeltilme: 04/04/2019

Kabul: 04/04/2019

Anahtar Kelimeler

MR amortisör

Çift borulu amortisör

Araç koltuk mekanizması

Keywords

MR absorber

Double-tube absorber

Vehicle seat mechanisms

Design and Numerical Analysis of a Double-Tube Magnetorheological Shock Absorber for Vehicle Seat Suspension Systems

Abstract

In scissors-type suspension mechanisms of the driver's seats of vehicles such as tractors, trucks and buses, conventional double-tube shock absorbers are often used as dampers due to the length of the course. The damping values of these shock absorbers are determined according to the condition of the vehicle and the opening and closing conditions. Some of the modern damping mechanism have the ability to manually adjust the damping force with the help of a latch. The driver can adjust the seat stiffness with this mechanical adjustment as desired. Nevertheless, the performance of the mechanism is limited because it is not instantly (dynamically) controlled. Today, alternatives to conventional mechanical adjustable shock absorbers are shock absorbers with magnetorheological (MR) fluid suitable for electronic control. In this study, double-tube MR damper, which can be used instead of double-tube mechanically regulated shock absorber, has been investigated by numerical magnetic and flow analyses and has been designed, manufactured and tested. The results of the tests were evaluated.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Manyeto-Reolojik (MR) akışkanlar mineral veya silikon bir taşıyıcı sıvı içinde birkaç mikron (1~5 µm) büyüklükteki manyetize olabilen demir parçacıkları ve yüzey aktif elemanlar içeren sıvılardır. Bu akışkana manyetik alan uygulandığında parçacıklar akışkan içerisinde bir zincir biçiminde dizilerek akışkanın akmasına engel olacak şekilde dizilirler. Bu dizilim sıvının akma gerilmesini yükselterek yarı-katı bir malzeme gibi olurlar. Manyetik alan altında Newton tipi olmayan bir akışkan gibi davranan MR sıvılar, bu şekilde değiştirilen akma gerilmesi sayesinde görünür viskozitelerinde meydana gelen değişiklik, uygulanan manyetik alanın değiştirilmesiyle kontrol edilebilir bir özellik göstermektedir. Bunun yanında

manyetik alan kaldırıldığında, akışkan birkaç mili saniyede Newton tipi olarak davranış göstermeye başlar ve bu iki faz arasındaki bu geçiş yüksek miktarda tersine çevrilebilir. MR sıvı akışının manyetik alan ile kontrol edilmesiyle bu sıvılar eşsiz bir özelliğe sahiptirler.

MR amortisörler; titreşim sönümleyici olarak otomotiv ve makine endüstrisinde [1-4] deprem ve şiddetli fırtınalardan korumak için köprü ve yapılarında [5] ve tüm uçuş şartlarına uygun sönüm seviyesini sağlayabilmesi için helikopter pervanelerinde [6] gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Araçlarda (vinç, traktör, iş makineleri vs.) konfor için gerekli parametrelerden biri de operatöre etkiyen titreşimin sönümlenmesidir. Araç hareket halindeyken yol durumunun neden olduğu titreşim, çalışan araç motorunun titreşimi gibi titreşimler otomobil tekerleklerinde süspansiyon sistemleriyle daha iyi sönümlenirken, traktör ve iş makinelerinde tekerlekler veya paletlere süspansiyon sistemi yerleştirmek çok zor olduğundan bu tür araçlarda genellikle kabin konforu koltuk titreşim sönümleyicileriyle sağlanır.

Pasif titreşim kontrolü sağlayan araç koltukları üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu konuda yapılan bir çalışmada [7], bir traktör koltuğu minder malzemesi, operatör duruşunu desteklemek, titreşimi indirgemek ve sürüş kalitesini artırmakta baskın rol oynadığını ve bir traktör koltuğunda uygun süspansiyon mekanizması seçilerek titreşim azaltılacağını belirtmişler ve operatörün konforunu artırmak için traktör koltuk minder malzemelerinin karakterizasyonu üzerine çalışmışlardır. Çiloğlu vd. [8] üç farklı uçuş koşulu altında uçak koltuğunda dinamik koltuk konforu ve tüm vücut titreşimi üzerine çalışmalar yapmışlar, vücut titreşim maruziyetini uluslararası standartlara göre değerlendirerek, koltuk etkin genlik geçirgenlik değeri hesaplanmış ve daha sonra mükemmel bir konfor ölçüsü olarak kullanılmıştır. Gürhan vd. [9] pasif titreşim sönümleme sistemine sahip traktör sürücü koltuklarının, benzetilmiş giriş titreşim deneylerindeki performansları incelenmiş, böylece en iyi performansa sahip koltukları belirlemiştir.

Bunun yanında çeşitli tipteki aktif titreşim kontrollü araç koltukları sayesinde, titreşim seviyesi daha etkili bir şekilde azaltmanın yolları aranmıştır. Maciejewski [10], çalışmasında aktif titreşim indirme için koltuk süspansiyon sisteminin, kuvvet aktüatörünün ve birincil kontrolörün ters dinamiklere dayalı aktif titreşim kontrolü stratejisine dayalı bir kontrol sistemi tasarımı gerçekleştirmiş ve çok kriterli optimizasyon prosedürü ile birincil denetleyici ayarlarını hesaplamıştır.

Bunların yanında yarı-aktif sönümleme sistemleri kullanılarak aktif sistemlere göre daha düşük güç gereksinimi ile titreşim sönümlemek mümkündür. Bu maksatla kullanılan MR sıvılı cihazların birçok sistem ile denemeleri yapılmıştır. Achen vd. [11] tarımsal araçlar için yeni nesil yarı-aktif kabin süspansiyon sistemlerinde manyeto-reolojik teknolojisini kullanarak, kabin operatör güvenliğini ve konforunu artırmaya yolunu aramışlardır. Şahin vd. [12] araştırmalarında, değişik çalışma koşulları altında amortisörde oluşan gerilmeler ve bunların amortisör üzerindeki etkilerini sonlu elemanlar analizi ile incelenmişlerdir. Şahin [13] yaptığı tez çalışmasında traktör koltuğunda kullanılmak üzere tasarladıkları MR amortisörün 4W gibi düşük bir güç tüketimiyle önemli bir dinamik kuvvet aralığı elde etmişlerdir. Taşcıoğlu [14] çalışmasında, parametrik olarak tasarladığı MR frenlerin manyetik alan analizlerini FEMM sonlu elemanlar yazılımı ile yapmış ve elde edilen manyetik akı değerleri ile kullanılan ticari MR sıvının akma gerilmelerini hesaplamıştır. Genelde MR şok sönümleyiciler manyetik alanı üreten bobinle beraber hidrolik silindir ve pistondan meydana gelmektedir. Silindir içine giren piston mili hacmini dengelemek için çift milli, akümülatörlü tek milli, geçiş kanallı ve çift silindirli farklı tasarımlar mevcuttur [15]. Ancak literatürde çift borulu ve taban valfi kullanılan bir koltuk sönümleyicisinde, MR sıvı kullanımı örneği görülmemiştir.

Bu çalışmada koltuk sistemlerinde halen yaygın olarak kullanılan çift borulu amortisör yapısının MR amortisöre dönüştürülmesi üzerine çalışma yapılmış ve sadece amortisörün alt bölgesinde yer alan ve sıvının dış silindire aktarıldığı valf grupları yeniden tasarlanmış ve mevcut piston grubu revize edilmiştir. Bu tasarım ile sürücü koltuklarında kullanılacak olan amortisörün hem kontrol edilebilirliği hem de istenen sönüm kuvvetini sağlaması hedeflenmiştir.

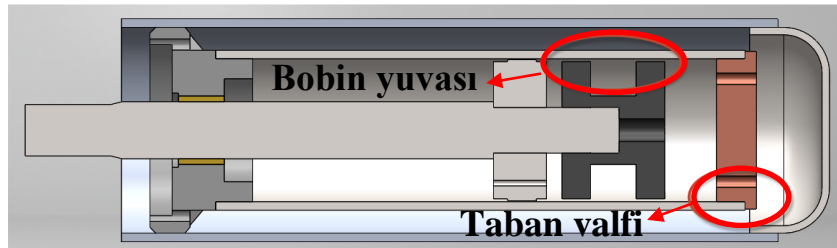
2. MR AMORTİSÖR KAVRAMSAL TASARIMI (CONCEPTUAL DESIGN OF MR ABSORBER)

Çalışmanın başında tasarım ve optimizasyonu yapılacak olan klasik tip amortisörün özellikleri detaylı incelenerek, çalışma kuvvet aralığı belirlenmiştir. Belirlenen çeşitli hızlarda istenen, kıyaslamalı MR Amortisör kuvvet (DF) değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Koltuk amortisörünün sert ve yumuşak pozisyonda üretmesi istenilen kuvvet değerlerinin düzenlenmiş hali ile kıyaslanması

NOMİNAL AYAR DEĞERİ (SERT)					
V (m/s)	Zıplama [N]		V (m/s)	Sıkıştırma [N]	
	Mak.	Min.		Mak.	Min.
0	0	0	0	0	0
0.052	2855	1895	-0.052	-1895	-2855
0.078	3240	2160	-0.078	-2160	-3240
0.104	3635	2425	-0.104	-2425	-3635
NOMİNAL AYAR DEĞERİ (YUMUŞAK)					
V (m/s)	Zıplama [N]		V (m/s)	Sıkıştırma [N]	
	Mak.	Min.		Mak.	Min.
0	0	0	0	0	0
0.052	640	420	-0.052	-420	-640
0.078	1080	710	-0.078	-710	-1080
0.104	1680	1120	-0.104	-1120	-1680

Bu çalışmada tasarımlar, klasik amortisör imalatı yapan firmaların mevcut imalat yapısının olabildiğince korunması için halen otomotiv sektöründe kullanılan amortisör yapısının mümkün olduğunca korunması sağlanarak yapılmıştır. Şekil 1’de verilen mevcut tasarımın MR amortisöre dönüştürülmesi için sadece amortisörün alt tarafında yer alan ve sıvının dış ile iç silindir arasındaki geçişi sağlayan valf gruplarının ve pistonun yeniden MR sıvının yapısına uygun olarak tasarlanması gerçekleştirilmiştir. Bu maksatla, piston tasarımında piston kafası içerisine bobin yerleştirilebilmesi ve akışkanın bir geçiş kanalı içinde manyetize edilmesi için bir tasarım değişikliğine gidilmiştir. Valf grubunda ise MR sıvı geçişine uygun olacak şekilde amortisör kuvvetini yükseltme amacıyla bir tasarıma gidilmiştir. Bu şekilde meydana getirilen MR amortisörün kavramsal tasarımı Şekil 1’de verilmiştir.



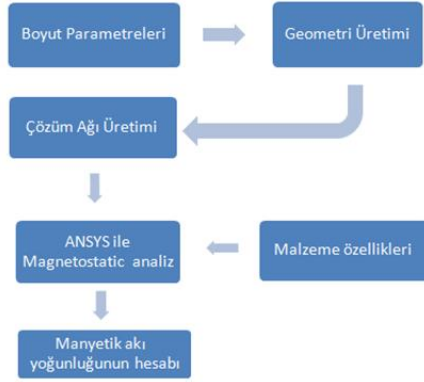
Şekil 1. MR amortisörün kavramsal tasarımı

3. MR AMORTİSÖRÜN SAYISAL İNCELEMESİ (NUMERICAL EXAMINATION OF MR ABSORBER)

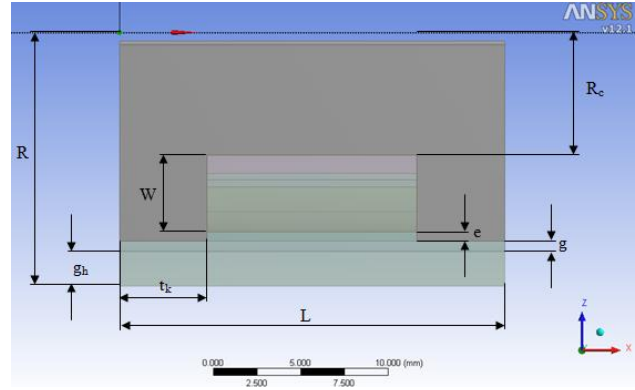
Katı model olarak tasarlanan amortisörün manyetik alan analizi yapılmış ve bu analize bağlı olarak gerçekleştirilmiş olan optimizasyon çalışması neticesinde piston kafasında en uygun geometrik büyüklükler tespit edilmiştir. Ayrıca tüm damperin manyetik alan altında zamana bağlı ve deforme olan çözüm ağı yapısıyla hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizleri de gerçekleştirilmiş, böylece amortisörün üreteceği kuvvet imalattan önce sayısal olarak hesaplanmıştır.

3.1. MR Amortisörün Manyetik Alan Analizi

Bu çalışma kapsamında ANSYS v16.2’de Magnetostatic aracı kullanılarak amortisörlerde meydana gelen manyetik alanın sayısal çözümleri gerçekleştirilmiştir. Analizler, manyetik alanın meydana geldiği piston kafasının, daha hızlı bir çözüm gerçekleştirebilmesi için geometrisinin 10° lik bir parçası alınarak 3 boyutlu olarak gerçekleştirildi. Şekil 2’de manyetik akı yoğunluğunu hesaplamak için gerekli adımlar şematik olarak verilmiştir.

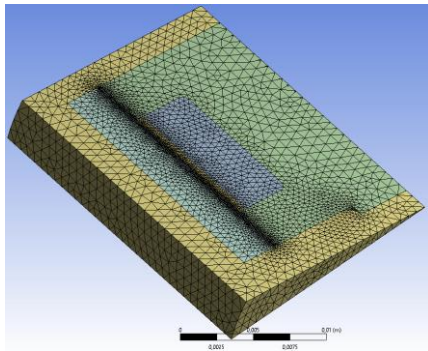


Şekil 2. Manyetik akı yoğunluğunu hesaplamak için gerekli adımlar



Şekil 3. Piston kafası üzerindeki geometrik büyüklükler

Model meydana getirilirken, geometrik parametreler ANSYS v16.2’in parametre tanımlama özelliği kullanılarak tanımlanmıştır. Bu parametreler Şekil 3’de geometri üzerinde gösterilmiştir. Burada g kanal genişliği, t_k manyetik alanın geçiş kanalı üzerinde aktif olduğu uzunluk, g_h manyetik akı geri dönüş genişliği, W bobin genişliği, L piston kafası uzunluğu, R piston kafası yarıçapı, R_c piston göbeği yarıçapı, e yalıtkan malzemenin kalınlığıdır. Sayısal çözümleri gerçekleştirebilmek için analizi gerçekleştirilecek olan amortisörün boyutlarına göre değişmek üzere, hesaplama bölgesi yaklaşık 444518 düğüm noktası ve 321275 dört yüzeyle (tetrahedral) hacim elemanına ayrılarak bir çözüm ağı meydana getirilmiştir (Şekil 4). Bu yaklaşık değerler çözüm ağı bağımsızlığı ile ilgili olarak yapılan çalışmalar sonucunda elde edilmiştir. Özellikle manyetize olan MR sıvısının değerini vereceği için kanal hacminde çok daha yoğun şekilde elemanlar oluşturulmuştur.



Şekil 4. Manyetik alan analizi için oluşturulan piston kafası üzerindeki geometri için çözüm ağı



Şekil 5. Manyetik akı yoğunluğunun amortisör üzerinde okunduğu nokta

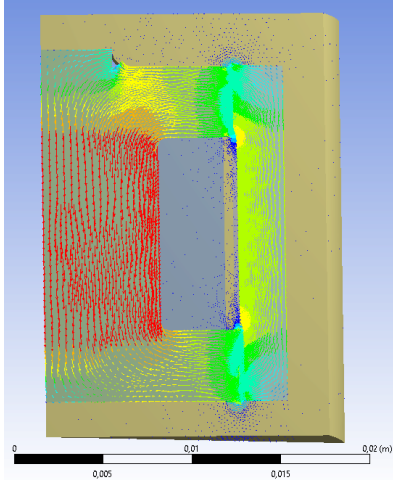
Her analizde manyetik akı yoğunluğu değeri Şekil 5’de görüldüğü gibi kanal içinde belirli bir yerden değer okunarak elde edilmiştir. Bu nokta akışkanın kanal içinde manyetik alana maruz kaldığı aktif uzunluk boyunca olan bir noktadır ve aktif uzunluk içinde herhangi bir noktadan alınan sonuçların birbirine çok yakın olduğu Şekil 6’da görülmektedir. Aşağıda büyüklükleri verilen ilk tasarım değerlerine göre hesaplanan Manyetik akı yoğunluğu (B) ve denklem 3.1 [16]’dan elde edilen akma gerilmesi (τ_y) değeri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

$$\tau_y = 52.962B^4 - 176.51B^3 + 158.79B^2 + 13.708B + 0.1442 \quad (3.1)$$

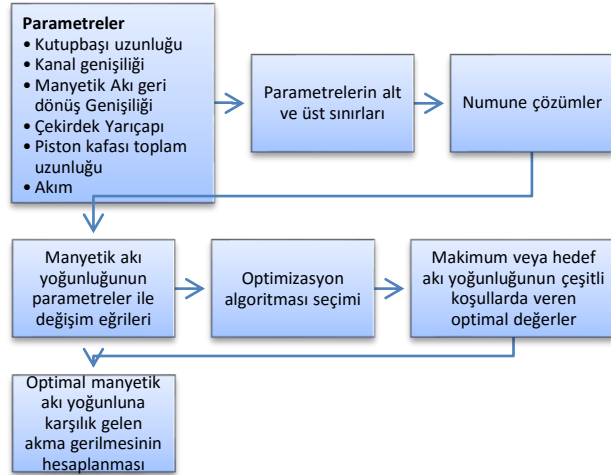
Tablo 2. Belirlenen tasarım için manyetik akı yoğunluğu ve akma gerilmesi değerleri

Parametre		Parametre		Manyetik Akı Yoğunluğu (B)	Akma Gerilmesi (τ_y)
g	0.3 mm	W	3.7 mm	0.69513 T	39.48 kPa
t _k	4 mm	L	19 mm		
g _h	2.6 mm	R	13.6 mm		
I	1 A	R _c	6.5 mm		

Analiz sonucunda elde edilen manyetik akı yoğunluğunun şiddeti ve döngüsü Şekil 6'de verilmiştir. Bu şekilde de görülebildiği gibi manyetik döngünün doğru bir şekilde oluştuğu ve en büyük manyetik akı yoğunluğunun çekirdek bölgesinde olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar bize manyetik alan analizi modelinin doğru olduğunu göstermektedir. Bu deneysel verilerle optimum geometriyi elde etmede deneysel ve imalat koşullarının zorluğu yanında maliyetinden de kaynaklanan bir takım kısıtlar vardır. Göz önüne alınacak parametrelerin daha fazla sayıda olması imal edilecek amortisör sayısını artırdığı için bu imalat zorluluğunu ve maliyetleri artıracaktır da ortadadır. Bu maksatla çalışmamızda optimum geometriyi aramak için sayısal çözümlerden yararlanılmıştır. Yapılan optimizasyon çalışmaları şematik olarak manyetik alan için Şekil 7'de özetlenmiştir.



Şekil 6. Manyetik akı döngüsü



Şekil 7. Manyetik alan için yapılan optimizasyon çalışmasının şematik gösterimi

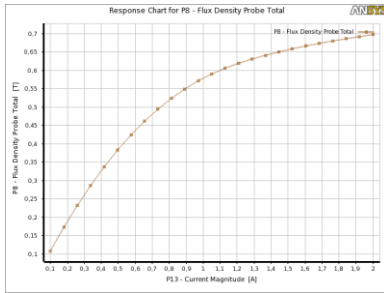
Optimizasyon için ANSYS Response Surface Optimization aracı kullanılmıştır. Bu optimizasyon sayesinde en büyük manyetik akı yoğunluğunu verecek olan geometrik büyüklükler elde edildi. ANSYS Response Surface Optimization aracında optimizasyon algoritması olarak Çok Amaçlı Genetik Algoritma (MOGA) kullanılmıştır. Tasarım parametrelerinin uygun olan alt ve üst sınırları Tablo 3'deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 3. Tasarım parametrelerini alt ve üst sınırları

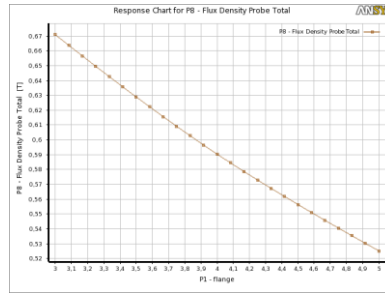
Parametre	Alt Sınır	Üst Sınır
Aktif uzunluk (t _k)	2 mm	4 mm
Kanal genişliği (g)	0.2 mm	1 mm
Manyetik akı geri dönüş genişliği (g _h)	1.1 mm	3 mm
Piston göbeği yarıçapı (R _c)	6 mm	8 mm
Piston kafası uzunluğu (L)	18 mm	22 mm
Akım (I)	0.1 A	2 A
Piston kafası yarıçapı (R)	13.6 mm	

ANSYS tarafından bir Cevap yüzeyi (Response surface) oluşturulabilmesi için 46 adet örneklem çözüm gerçekleştirilmiştir. Bu çözümler gerçekleştirildikten sonra, oluşturulan Cevap yüzeyi sayesinde tüm

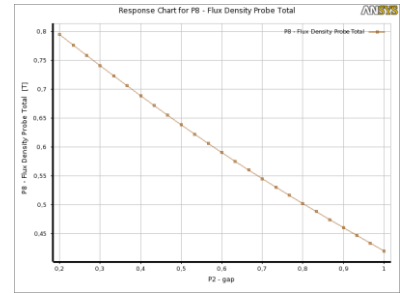
parametrelerin, diğer parametreler sabit tutularak, belirlenen alt ve üst sınırlar arasında alabileceği manyetik akı yoğunluğu değerleri grafiksel olarak elde edilebilmiştir. Şekil 8'den Şekil 13'e kadar sırasıyla akımda, aktif uzunluğunda, kanal genişliğinde, manyetik akı dönüş genişliğinde, piston göbeği yarıçapında ve piston kafası uzunluğunda meydana gelen değişimlerin manyetik akı yoğunluğunu nasıl değiştirdiği görülmektedir. Bu sonuçlara göre artan akım değeri ile manyetik akı yoğunluğunun doygunluğa ulaştığı ve manyetik akının artış hızının azaldığı görülmektedir. Aktif uzunluk ile manyetik akı yoğunluğu arasında ise ters yönde bir doğrusal ilişki görülmektedir. Böylece, artan aktif uzunluk ile manyetik akı yoğunluğu değeri düşmektedir. Aynı ilişki manyetik akı yoğunluğunun ile kanal genişliği arasında da görülmektedir. Artan manyetik akı dönüş genişliği yaklaşık 1.9 mm değerine kadar manyetik akı yoğunluğunu artırmakta ancak bu değerden sonra manyetik akı yoğunluğu neredeyse sabit kalmaktadır. Artan piston göbeği yarıçapının 7 mm değerine kadar manyetik akı yoğunluğu artmakta ancak bu değerden sonra keskin bir şekilde düşmektedir. Piston kafası uzunluğu değerinin artması ile manyetik akı yoğunluğunun artış hızını da artırmaktadır. Piston göbeği yarıçapı ve aktif uzunluk değerlerinin manyetik akı yoğunluğunu düşürmesinin temel nedeni bu değerlerin artması bobin sarım hacmini küçültmeleri ve buna bağlı olarak daha az sarım yapılabilmesidir.



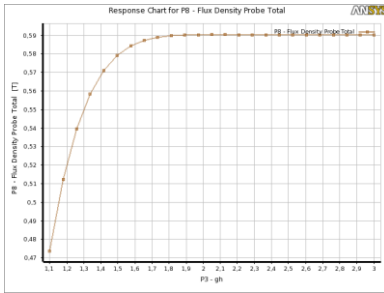
Şekil 8. Manyetik akı yoğunluğunun uygulanan akım ile değişimi



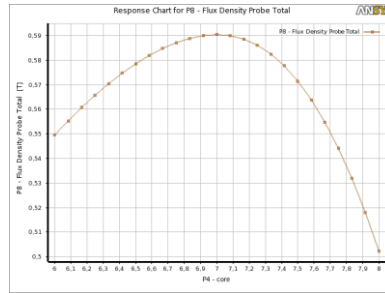
Şekil 9. Manyetik akı yoğunluğunun aktif uzunluk ile değişimi



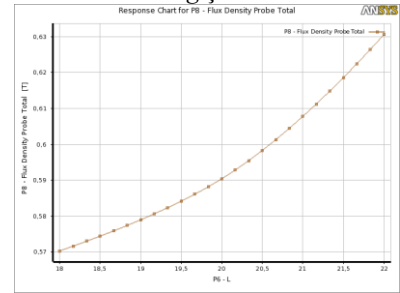
Şekil 10. Manyetik akı yoğunluğunun kanal genişliği ile değişimi



Şekil 11. Manyetik akı yoğunluğunun manyetik akı dönüş genişliği ile değişimi



Şekil 12. Manyetik akı yoğunluğunun piston göbeği yarıçapı ile değişimi



Şekil 13. Manyetik akı yoğunluğunun piston kafası uzunluğu ile değişimi

Manyetik akı yoğunluğu için hedef bir değer seçilerek bir kısıt daha oluşturulmuştur. Manyetik akı yoğunluğunun 0.9T hedef değeri için elde edilen optimal aday geometrileri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. En küçük akım (I) değerinde hedef 0.9 T manyetik akı yoğunluğu veren geometrik

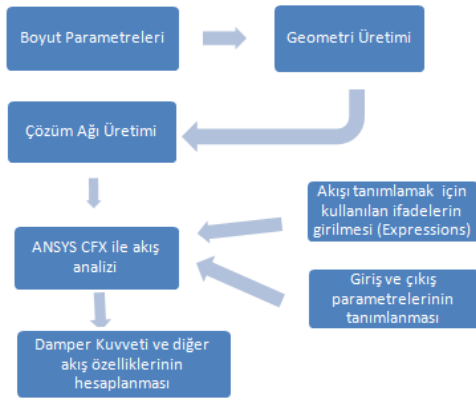
	Aday Nokta 1	Aday Nokta 2	Aday Nokta 3
Aktif uzunluk (tk)	3.485	3.0086	3.0464
Kanal genişliği (g)	0.23949	0.29862	0.25214
Manyetik akı geri dönüş genişliği (gh)	2.6178	2.818	2.7936
Piston göbeği yarıçapı (Rc)	7.2843	7.5595	7.2759
Piston kafası uzunluğu (L)	21.923	20.239	18.809
Akım (I)	0.9669	1.1465	1.1543

Manyetik akı yoğunluğu	0.89284	0.89522	0.88888
------------------------	---------	---------	---------

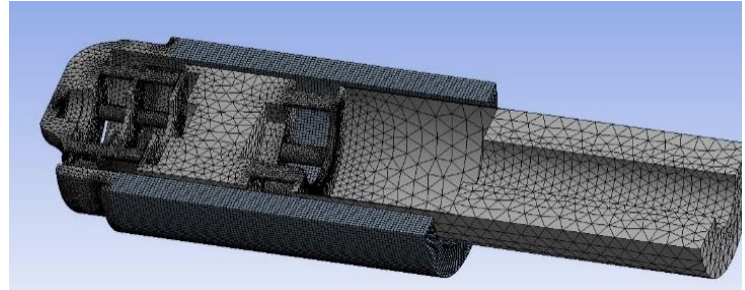
Bu çalışma kapsamında **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de görülen Aday Geometri 1 (Candidate Point 1) en düşük akım ile elde edildiği için optimal tasarım olarak belirlenmiştir.

3.2. Hesaplamalı Akışlar Dinamiği (HAD) Analizleri

İmal edilecek amortisörün çalışması sırasında özellikle manyetik alan geçiş kanalında ve valf kısmında meydana gelecek akışın modellenmesi ve amortisör kuvvetine olan etkisinin incelenmesi için Hesaplamalı akışkan dinamiği (HAD) analizleri ANSYS v16.2 CFX ile yapılmıştır. Hesaplama hızını artırmak için tam geometrinin simetrisi alınarak hesap gerçekleştirilmiştir. Damperin akış analizi, hareketli çözüm ağı kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu hareketli çözüm ağı sayesinde pistonun silindir içindeki hareketinin simülasyonu yapılabilmektedir. Böylelikle damperin temel karakteristik eğrileri olan kuvvet-hız ve kuvvet-yer değiştirme eğrileri elde edilebilmiştir. Akış modeli kurulurken akışkanın Newton tipi olan ve olmayan bölgeleri, geliştirilen CCL (CFX Command Language) ifadeleri sayesinde zamana da bağlı olarak tanımlanabilmektedir. Şekil 14'de akış analizini gerçekleştirebilmek için adımlar yer almaktadır.



Şekil 14. Akış analizi için gerekli adımlar



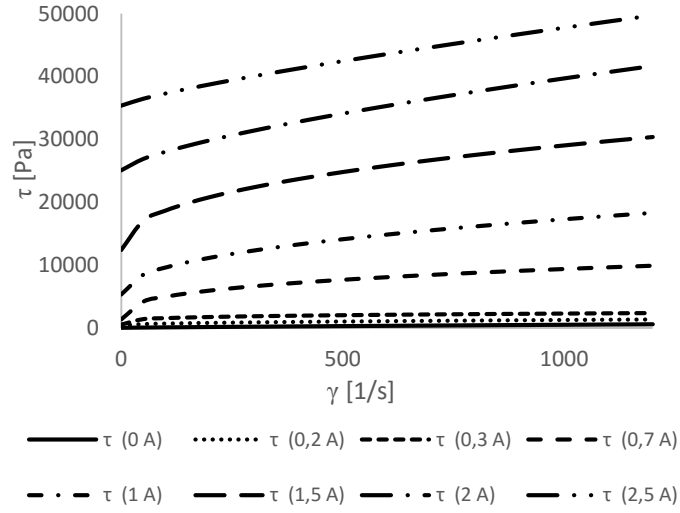
Şekil 15. CFD analizi için çözüm ağı

Bir HAD analizini gerçekleştirmek için ilk aşama bir çözüm ağı oluşturmaktır. ANSYS v16.2 Meshing ile oluşturulan çözüm ağı 287740 dört yüzeyle (tetrahedral) hacim elemanına ayrılarak bir meydana getirilmiştir. Özellikle akışkanın manyetize edildiği kanal geçişlerinde daha yoğun eleman sayısı kullanılmıştır. Oluşturulmuş çözüm ağı ve sınır bölgeleri Şekil 15'de görülmektedir. Amortisörün çözüm ağı üzerinde hareketli bölgeler olduğu için simülasyon tipi zamana bağlı (transient) ve deforme olan çözüm ağı olarak tanımları yapılmıştır. CFX üzerinde akışı tanımlayabilmek için bazı CCL ifadeler (expression) yazılmıştır. Bu CCL ifadeler yazılırken aynı çözüm ağı ile sadece ifadeler üzerinde değişiklik yaparak farklı hız ve stroklarda da çözüm yapılabilmesine olanak verecek şekilde oluşturulmuştur. Aynı zamanda damperin alt tarafında bulunan halkasal kanallar çıkan akışkanın gidiş ve dönüş yönüne göre açılıp kapanan valflerin çalışması da CCL ifadeleri yardımıyla modellenmiştir. Akışkanın Newton tipi olmayan bir akışkan olarak tanımlanması, Herschel-Bulkley modeli olarak tanımlanan model, ANSYS CFX üzerinde akışkanın viskozite değişkeni olarak ifade edilmesiyle yapılmıştır (Denklem 3.2).

$$\mu_{H-B} = \frac{\tau_y}{\dot{\gamma}} + k\dot{\gamma}^{n-1} \quad \dot{\gamma} \geq \dot{\gamma}_k \text{ için} \quad (3.2)$$

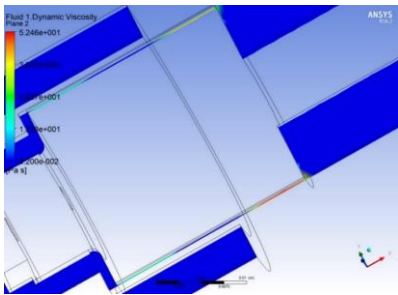
$$\mu_{H-B} = \mu_p \quad \dot{\gamma} < \dot{\gamma}_k \text{ için}$$

μ_p plastik viskozite, $\dot{\gamma}_k$ kritik kayma hızıdır ve Newton tipinden, Newton olmayan tipe geçişinde başladığı değer olarak $\dot{\gamma}_k = 0.001 \text{ s}^{-1}$, olarak alınmıştır. Herschel-Bulkley modelindeki τ_y , k ve n parametreleri testlerde kullanılan MR sıvı olan MRF132-DG'nin Anton-Paar 302 model reometre ile yapılan testlerde elde edilen ve Şekil 16'de gösterilen değerleri kullanılarak tespit edilmiştir.

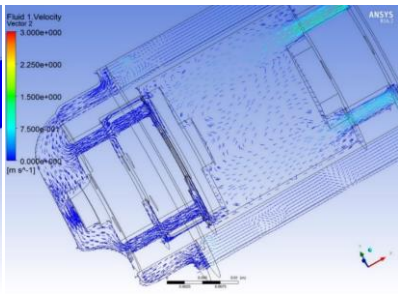


Şekil 16. MR sıvının farklı akımlarda Kayma gerilmesi (τ)-Kayma hızı (γ) ilişkisi

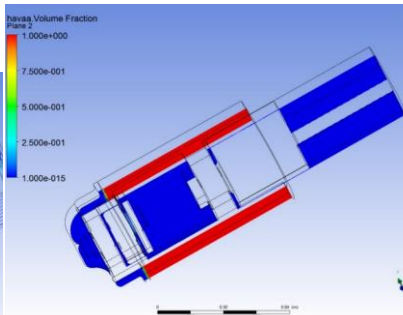
Başlangıçta dış silindir hacmi gerçek durumdaki gibi hava olarak tanımlanmıştır, böylece pistonun hareketi sırasında havanın silindir hacmi içine olan etkisi incelenmiştir. Bu şekilde yapılan çok fazlı (multifaz) CFX çözümünde hava ve MR akışkan ayrı domainler olarak tanımlanmış aralarındaki yüzey ise akışkan geçişlerine müsaade etmesi için “interface” olarak tanımlanmıştır. Bunlarla birlikte valfin çalışma sistemi piston ile ve geri hareketine göre değişmektedir. İleri ve geri hareketinden MR akışkanın ayrı kanallardan geçişine izin verilmektedir. Bu modelde bu bölgeler tanımlanarak valfin çalışması modellenmiştir. Yakınsama kriteri olarak kalan (residual) değeri 10^{-4} olarak tanımlanmıştır ve yakınsama kontrolü zaman adımı başına 10 olarak tanımlanmıştır. Şekil 19’de hacimsel orana (volume fraction) bakılarak pistonun üst ölü noktaya doğru hareketinde iç silindirin dış silindirden hava çekip çekmediği kontrol edilmiş ve hava çekmediği görülmüştür. Şekil 17’de pistonun üst ölü noktaya hareketi sırasında özellikle manyetik alana maruz kaldığı kanal içindeki akışkanın viskozitesinde meydana gelen değişim görülmektedir. 0.092 Pa.s olan akışkanın plastik viskozitesinin bazı bölgelerde 52.46 Pa.s’ye yükseldiği görülmektedir. Aynı zaman dilimindeki hız vektörleri Şekil 18’de görülmektedir. Bu hız vektörlerinden hava dolu olan dış silindirin içindeki hava hızının komşu MR akışkana daha hızlı olduğu ancak karışmanın olmadığı ara geçişteki hız farkından görülmektedir. Aynı zamanda akışkanın daha yüksek bir hız ile valfden geçtiği görülmektedir. Şekil 19’de ise piston üst ölü noktaya doğru ilerlerken dış silindirden iç silindire hava çekip çekmediği kontrol edilmiştir ve şekilde de görülebildiği gibi hava dış silindire de iç silindire geçmemektedir.



Şekil 17. 0.22. sn.'de kanallarda manyetik alan etkisi ile meydana gelen dinamik viskozite



Şekil 18. 0.22. sn.'de pistonun ileri doğru hareketinde hız vektörleri



Şekil 19. Hareket eden damperin 0.22 sn. deki havanın hacimsel oranının yüzey üzerindeki değişimi

4. MR AMORTİSÖRÜN İMALATI VE TESTLERİ (MANUFACTURE AND TEST OF MR ABSORBER)

Gerçekleştirilen manyetik alan ve CFD analizleri ile yapılan ön tasarımlarda olduğu gibi orta valf (piston kafasındaki) MR valfe dönüştürülmüştür. Amortisörün taban valfi ise, yön kontrolü gerekmeden basınç dengesinin sağlanabilmesi için klasik taban valf olarak bırakılmıştır. Yapılan bu tasarıma uygun olarak gerçekleştirilen hem manyetik hem de akış analizleri ile amortisörün performansını etkileyen temel parametreler optimize edilmiştir. Bu verilere göre ilk prototip MR amortisörün bazı parçaları yeni tasarlanmış, bazıları ise revize edilmiştir. (Şekil 20.a).

Şekil 11 de gösterilen manyetik akı dönüş genişliğine ulaşarak manyetik alan performansının artırılmak için iç boru üzerine gömlek eklenmiştir (Şekil 20.b).



(a)

(b)

Şekil 20. (a) İmal edilen MR amortisör parçalarından bazıları (b) Piston silindirinin üzerine giydirilen dış silindir

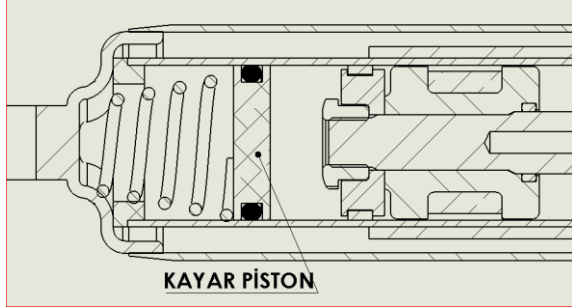
Parça imatları yapılan MR amortisör montajı yapılmış ve LORD firmasına ait MRF-132DG kodlu sıvı [17] ile doldurulmuştur. İmal edilen MR Amortisörler üzerinde laboratuvarındaki Roehrig marka amortisör test cihazıyla 3 farklı hız ve 7 farklı akım değerinde performans testleri yapılmıştır. Testlerden sonra MR amortisör söküldüğünde ise taban valf etrafında topaklanmalar (MR akışkan içindeki demir tozu parçacıklarının bir araya gelmesi) gözlemlenmiştir. Bu topaklanmanın giderilmesi için klasik pul yay tarzında çeşitli tasarımlar yapılmıştır. Yapılan bu tasarımların tamamında bu topaklanma problemi görülmüştür. (Şekil 21)



Şekil 21. Klasik taban valf sisteminde MR sıvının topaklanması

Bu testler neticesinde MR sıvının klasik valf sistemiyle uyumlu çalışmadığı görülmüştür. Bilindiği gibi, klasik taban valfinde yay, basınca bağlı olarak açılmakta ve akış bölgesinin kesit alanı artmaktadır. Dolayısı ile yayın tam açılmadığı süreçlerde kesit alanının darlığından dolayı MR sıvı içinde mikron boyutlu parçacıklar bu kesit alandan geçemezken, taşıyıcı sıvı geçebilmektedir. Tekrarlanan bu süreçte, bir kaç çevrim sonunda taban valfin kanal bölgesinde bu topaklanma sorununun her çevrimde daha da arttığı anlaşılmıştır. Bu sorunun üstesinden gelmek için alternatif olarak, kayar pistonlu sistemli tasarımlar yay destekli olarak yapılmış (Şekil 22) ve testleri gerçekleştirilmiştir. Bu kayar pistonlu tasarım ile Tablo 1'de verilen hedef performans değerlerinden yumuşak amortisör değerlerine ulaşabildiği görülmüştür. Ancak mevcut tasarımda daha sert yay konabilecek hacim bulunmadığından Tablo 1'deki sert amortisör değerleri

sınırına çıkılamamıştır. Bu MR amortisörün yapılan performans testlerinde topaklanma sonucu oluşan aşırı basınç kaynaklı taban valf gövdesinde kırılmalar olmuş, ayrıca topaklanmaya bağlı baskı yayında deformasyonlar gözlemlenmiştir (Şekil 23).

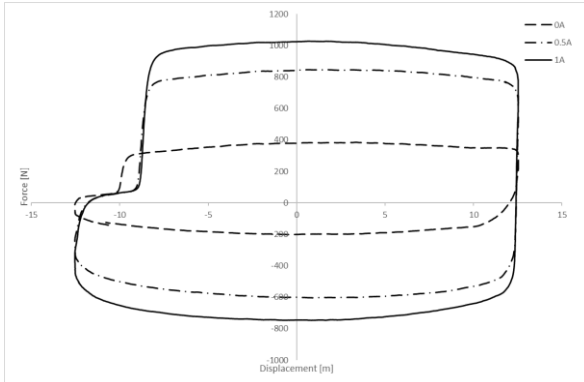


Şekil 22. Yay baskılı kayar pistonlu MR amortisör kesiti

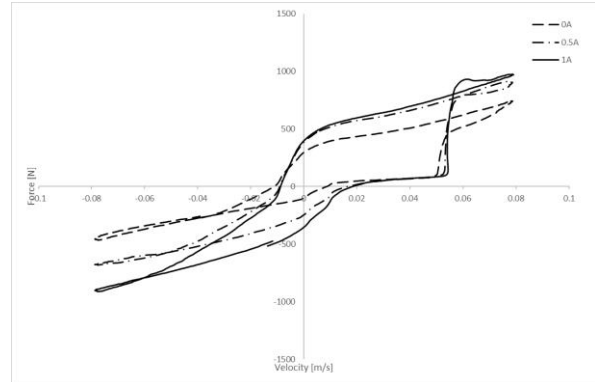


Şekil 23. Test sonucu karşılaşılan problemler

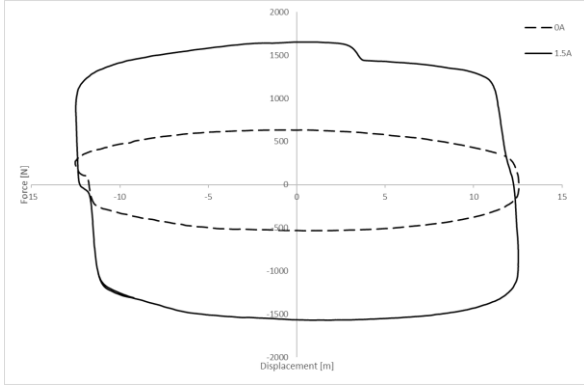
Taban valf sistemindeki topaklanma sorunu, sistem çalışmaya başladıktan bir süre sonra özellikle sıkıştırma bölgesinde kuvvet-yer değiştirme veya kuvvet hız grafiğinde dalgalanma, gecikme ve kuvvet atlaması olarak kendisini göstermektedir. Amortisörün açılma evresi, sıkıştırmada yaşanan bu olaydan olumsuz etkilenmektedir. Açılma evresinde gerekli olan MR sıvıyı silindirin içine çekememiştir. Bu esnada oluşan vakum basınç amortisörün içine hava çekmesiyle neticelenmiştir. MR amortisörlerin test verileri incelendiğinde genel olarak sıkıştırma sürecinin başında bir basınç düşümü ve dolayısıyla performans kaybı görülmektedir. Bunun sebebi iç odacıkta bulunan havadan kaynaklanmaktadır. En uygun grafikler yaylı baskının olduğu kayar pistonlu MR amortisörde elde edilmiştir. Yay destekli kayar pistonlu MR amortisör verileri incelendiğinde kuvvet-hız ve kuvvet-yer değiştirme ilişkilerinin çok daha düzgün olduğu görülmektedir. Klasik taban valfli veya benzeri yapıdaki tüm valf yapılarında topaklanma problemi görülmüş ve buna bağlı vakum yapma sorunu görülmüştür (Şekil 24-Şekil 25). En uygun sonuçların Şekil 26 ve Şekil 27'de görüldüğü gibi kayar pistonlu MR amortisörden elde edildiği görülebilir.



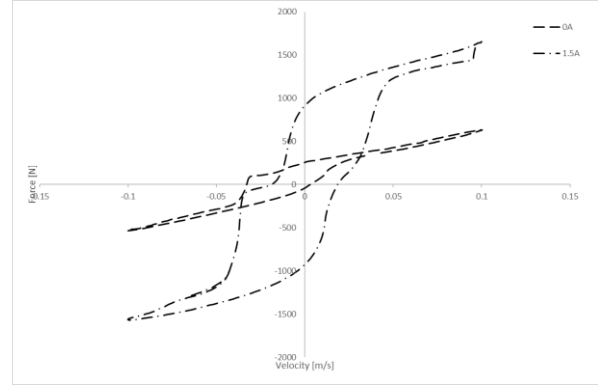
Şekil 24. Klasik Taban Valfli amortisör Kuvvet-Hız Grafiği



Şekil 25. Klasik Taban Valfli amortisör Kuvvet-Yer değiştirme Grafiği



Şekil 26. Yay destekli kayar pistonlu amortisör Kuvvet-Hız Grafiği



Şekil 27. Yay destekli kayar pistonlu amortisör Kuvvet-Yer değiştirme Grafiği

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada araç koltuk sistemlerinde kullanılan çift borulu amortisör tasarımının, içinde MR sıvı kullanılacak bir amortisöre dönüştürülmüştür. Bu maksatla, mevcut çift borulu amortisörün taban kısmında yer alan ve pistonun hareket yönüne bağlı olarak sıvının dış veya iç silindire aktarıldığı valf grupları yeniden tasarlanmış ve ayrıca sıvı üzerinde manyetik etkiyi oluşturabilmek için amortisörün piston grubu tamamen yeniden tasarlanarak pistonu bir bobin yerleştirilmiştir. Böyle bir tasarım ile sürücü koltuklarında kullanılacak olan amortisöre hem yarı-aktif bir kontrol sistemi özelliği kazandırılmış hem de istenen sönüm kuvvetinin sağlanması hedeflenmiştir.

Bu çalışmada, kavramsal tasarım sonrasında hem akış hem de elektromanyetik analizler yardımıyla uygun ölçüler için parametrik çalışmalar yapılarak temel ölçüler belirlenmiştir. Belirlenen bu ölçüler doğrultusunda prototip imalatlar gerçekleştirilmiştir. Parçaların montajından sonra performans testleri belirlenen hızlarda ve 25°C'de amortisör gövde sıcaklığında yapılmıştır. Her test sonrası performans grafikleri incelenmiş ve beklenen sonuçlarla kıyaslama yapılmıştır.

Tasarımlarda hem klasik taban valfi hem de kayar piston (yay destekli) prototip çalışılmıştır. Kayar pistonlu sistem tek borulu amortisör (mono-tube) yapısı olduğundan, daha çok orta valfin (MR valf) düzgün çalışıp çalışmadığını gözlemlemek için yapılmıştır. Yay destekli kayar piston performans testlerinde, MR etki ile üretilen kuvvet değeri yay tepki kuvvetini geçmediği sürece düzgün çalıştığı görülmüştür (Şekil 23, Şekil 26 ve Şekil 27). Bu durum orta valfteki MR valf düzgün çalışmadığını göstermektedir. Ancak mevcut boyutlarda kayar piston altında kalan hacim için yeterli direnci gösterecek düzgün karakteristiğe sahip yay bulunamadığından üretilen kuvvet yeterli büyüklüğe ulaşılamamıştır.

Klasik amortisör taban valfinin kullanıldığı sistemler incelendiğinde ise, bu tür yapının MR sıvı ile kullanıma uygun olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 21, Şekil 24 ve Şekil 25). Bunun sebebi olarak; taban valfi basınca bağlı olarak açılma göstermektedir, ilk anda sadece sıvının akışına izin verecek kadar disk yay açıldığından, demir parçacıklarının taşıyıcı sıvıdan ayrışması sebebi ile dar akış bölgelerinde topaklanma olmaktadır. Taban valf yapısından dolayı havanın bulunmaması gereken iç silindire hava girişi olduğu deneylerden gözlemlenmiştir. Dolayısıyla pistonun yön değiştirdiği bölgelerde bu hava odacıkları sebebiyle performans üretilmemekte, gecikmeler olmaktadır. Bu çalışmada bu sorunların aşılabilmesi için çeşitli taban valf tasarımları yapılmış ve testler tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, MR sıvının geometrik bir engel yardımıyla direnç üretmesine uygun bir sıvı olmadığı, sadece manyetik alan ile kuvvet üretmek üzere çalıştırılmasının gerektiği yönünde yorumlanmıştır.

Böylece bu damper sistemine uygun bir MR sıvı geliştirilmesinin uygun olacağı görülmüştür. Yapılan testler de klasik amortisörün yumuşak sönümlenme değerlerine ulaşılmış ancak sert amortisör değerlerine mevcut amortisör yapısından dolayı 100% seviyede ulaşılamamıştır. Bunların neticesinde taban valf yapısı ile daha yüksek sönümlenme kuvveti değerlerine çıkılmasının ve kararlı bir çalışmanın oluşturulmasının bu yapı ile mümkün olmadığı kanaatine varılmıştır.

Bundan sonraki çalışmalarımızda kayar pistonlu sistemin, çift borulu sisteme uygulanmasının daha uygun sonuçlar vereceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca bu çalışmadan elde edilen bilgi ve deneyimler ışığında,

klasik kayar pistonlu amortisörden farklı olarak, planlanan çalışmada kayar pistonu (veya diyafram) iki boru arasına yerleştirmenin daha iyi bir alternatif olabileceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

5140003 Proje numarası ile bu çalışmanın yapılmasını olanaklı kılan TÜBİTAK'a ve Üniversite-Sanayi işbirliği olan bu projenin sanayi ortağı olan MAYSAN MANDO'ya teşekkürlerimizi bir borç biliriz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] S.B. Choi, M.H. Nam, B.K. Lee, Vibration control of a MR seat damper for commercial vehicles. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 11:12 (2000) 936-944.
- [2] F. Gordaninejad, S.P. Kelso, Fail-safe magneto-rheological fluid dampers for off-highway, high-payload vehicles. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 11:5 (2000) 395-406.
- [3] S.J. Dyke, Jr. B.F. Spencer, M.K. Sain, J.D. Carlson, Modeling and control of magnetorheological dampers for seismic response reduction. *Smart materials and structures*, 5 (1996) 565-575.
- [4] H. Zhu, Y. Wen, H. Iemura, A study on interaction control for seismic response of parallel structures. *Computers & Structures*, 79:2 (2001) 231-242.
- [5] S. Nagarajaiah, S. Sahasrabudhe, R. Iyer, Seismic response of sliding isolated bridges with MR dampers. In *American Control Conference*, 6 (2000) 4437-4441.
- [6] N.M. Wereley, G.M. Kamath, V. Madhavan, Hysteresis modeling of semi-active magnetorheological helicopter dampers. *Journal of intelligent material systems and structures*, 10:8 (1999) 624-633.
- [7] C.R. Mehta, V.K. Tewari, Damping characteristics of seat cushion materials for tractor ride comfort. *Journal of Terramechanics*, 47:6 (2010) 401-406.
- [8] H. Ciloglu, M. Alziadeh, A. Mohany, H. Kishawy, Assessment of the whole body vibration exposure and the dynamic seat comfort in passenger aircraft. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 45 (2015) 116-123.
- [9] R. Gürhan, C.İ. Çay, Performances of tractor's driver seats with passive damping system under simulated test conditions. *Journal of Agricultural Sciences*, 14: 4 (2008) 401-408.
- [10] I. Maciejewski, Control system design of active seat suspensions. *Journal of Sound and Vibration*, 331:6 (2012) 1291-1309.
- [11] A. Achen, J. Toscano, R. Marjoram, K. St Clair, B. McMahon, A. Goelz, S. Shutto, Semi-active vehicle cab suspension using magnetorheological (MR) technology. In *Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power*, 7:2 (2008) 561-564.
- [12] İ. Şahin, H.R. Öz, T. Engin, A. İlhan, A. Akpolat, Manyetik Sıvılı Damperlerin Yapısal Analizi. *Mühendis ve Makina*, 46:551 (2008) 41-50.
- [13] İ. Şahin, Manyeto Reolojik Damperli Yarı-Aktif Süspansiyon Sistemi Tasarımı Ve Traktör Koltuğu Uygulaması, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2005.
- [14] Y. Taşcıoğlu, Kampana-Tipi Ve Disk-Tipi Manyetoreolojik Frenlerin Sayısal Yöntemlerle Karşılaştırılması. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5:1 (2017) 1-10.
- [15] H. Fujitani, H. Sodeyama, T. Tomura, T. Hiwatashi, Y. Shiozaki, K. Hata, S. Soda, Development of 400kN magnetorheological damper for a real base-isolated building. In *Smart Structures and Materials 2003: Damping and Isolation*, 5052 (2003) 265-277.
- [16] Lord Corporation. (2003). MR Fluid Product Bulletins, <http://www.rheonetic.com/fluidbegin.htm>, 2008.
- [17] Lord Corporation. (2011). MRF-132DG Magneto-Rheological Fluid, http://www.lordmstore.com/_literature_231215/Data_Sheet_-_MRF-132DG_Magneto-Rheological_Fluid, 06.02.2019.

A Comprehensive Study on the Sensing Characteristics of a Piezoresistive Tactile Sensor

Bilsay SÜMER

Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 06800, Beytepe/ANKARA

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 21/01/2019

Revision 03/04/2019

Accepted: 09/04/2019

Highlights

- Microfabrication of thin and flexible tactile sensor
- Piezoresistive scanning circuit design
- Measurement of the static and dynamics characteristics of a taxel

Keywords

Touch Sensor
Tactile Sensor
Contact Pressure and Area
Microfabrication
Signal Conditioning

In this study, the sensing characteristics of a taxel inside a flexible piezoresistive tactile sensor were investigated for accurate contact pressure measurements. A signal conditioner was designed to acquire the resistance change of a taxel during the loading and unloading. The static and dynamic characteristics of the sensor such as the linearity, hysteresis, repeatability, time drift, response time and frequency response were measured on a flat substrate.

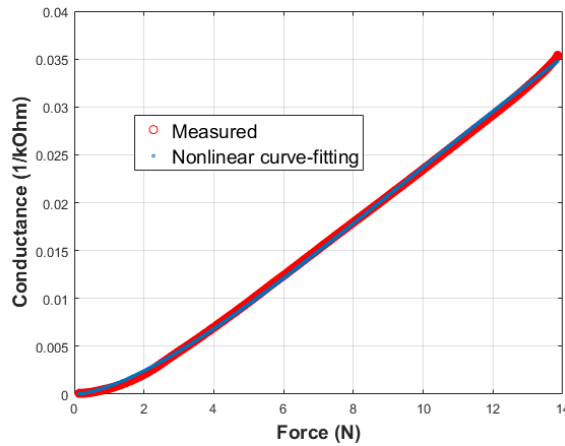


Figure A. The variation of conductance of the sensor with force during the loading experiment

Purpose: The flexible and slimness of the tactile sensor gives a unique and outstanding ability to measure the contact force/pressure of two contacting solid surfaces which is unachievable with other methods. In this work, the static and dynamic characteristics of a taxel inside a tactile sensor was investigated for proper calibration and accurate measurements.

Theory and Methods: A tactile sensor with 64 taxels was designed and manufactured using the microfabrication techniques. A SPICE simulation was carried out to find the relation between the excite voltage, feedback resistor and output voltage. An electronic circuit was designed to scan and acquire the tactile data. Two custom-build experimental setups were designed and implemented for the measurement purposes. In the first experimental set-up, the variation of electrical resistance was measured while a rigid punch was loaded and unloaded on a taxel. The second experimental setup utilized a piezoelectric shaker for the dynamic excitation of the sensor.

Results: The transfer function of the sensor was found which relates the conductance of the taxel to the force. The resistance of the taxel was decreased with the application of the compression load. Thus, the thin-film sensor shows a semi-conductive property when it is loaded. Moreover, stable change of the resistance was characterized and lower limit of the pressure was found. In the second experimental setup, the frequency response of the sensor was revealed.

Conclusion: In this study, it was shown that the taxel had an accuracy of 5.5% which is an acceptable limit for a flexible and bendable sensor. It was found that within a $48 \pm 27 \mu\text{sec}$, the sensor was responsive to the impact loading. The gain of the taxel was not flat and might be used carefully in the dynamic load configuration after accurate calibration.



Piezodirenç Dokunsal Algılayıcı Karakteristikleri Hakkında Kapsamlı Bir Çalışma

Bilsay SÜMER

Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 06800, Beytepe/ANKARA

Öz

Günümüzde, dokunsal algılayıcı teknolojisi normal temas durumunda bulunan iki katının basınç ve temas alanının ölçümünü yapabilen tek çözümdür. Bu çalışmada, esnek bir dokunsal algılayıcı dizini içinde bulunan bir adet algılayıcının statik ve dinamik özellikleri, bu algılayıcılar ile yapılan ölçümlerin doğruluğunun geliştirilmesi için araştırılmıştır. İlk olarak, 64 tane teksele sahip algılayıcı dizini tasarlanmış ve mikrofabrikasyon teknikleri kullanılarak üretilmiştir. Daha sonra, dokunsal algılayıcının kuvvet ile yükleme ve boşaltılması sırasında oluşan direnç değişimini ölçmek için bir elektronik tarama devresi tasarlanmıştır. Algılayıcının statik ve dinamik özelliklerini ortaya çıkarmak için dokunsal algılayıcının içerisinde belirli bir teksele seçilmiştir. Ölçümler için iki adet özel yapım deney düzeneği kurulmuştur. İlk deney düzeneğinde, tekrarlanabilirlik, histerezis, duyarlılık ve zaman kayması gibi algılayıcının statik özellikleri ölçülmüştür. Ayrıca, piezodirenç algılayıcıların fiziksel algılama mekanizması tartışılmış ve algılayıcının kuvvet ölçüm aralığı bulunmuştur. Algılayıcının doğruluğu %5.5 olarak bulunmuştur. İkinci deney düzeneğinde ise algılayıcının frekans tepkisi 0.1Hz ila 40Hz frekans bandında ortaya çıkarılmıştır. Algılayıcının kazanç oranının incelenen frekans bant aralığında sabit olmadığı ve dinamik yük altında kullanımının dikkatli bir ölçümleme süreci sonunda kullanılabileceği görülmüştür. Ayrıca, bir başka test düzeneği kullanılarak algılayıcının ani bir yük girişine karşı tepki süresi $48 \pm 27\mu\text{s}$ olarak bulunmuştur.

Makale Bilgisi

Başvuru: 21/01/2019
 Düzeltme: 03/04/2019
 Kabul: 09/04/2019

Anahtar Kelimeler

Dokunsal Algılayıcı
 Dokunsal Algılayıcı Dizini
 Temas Basıncı ve Alanı
 Mikrofabrikasyon
 Sinyal Şartlandırıcı

Keywords

Touch Sensor
 Tactile Sensor
 Contact Pressure and Area
 Microfabrication
 Signal Conditioning

A Comprehensive Study on the Sensing Characteristics of a Piezoresistive Tactile Sensor

Abstract

At present, tactile sensor technology is the only solution to measure the pressure and contact area of two solid in normal contact. In this study, the sensing characteristics of a taxel inside a flexible tactile sensor were investigated for accurate contact pressure measurements with the tactile sensors. First, a tactile sensor with 64 taxels was designed and manufactured using the microfabrication techniques. Then, an electronic scanning circuit was designed to acquire the resistance change of the tactile sensor during the loading and unloading. A particular taxel was selected inside the tactile sensor to reveal the static and dynamic characteristics of the sensor. Two custom-built experimental setups were realized for the measurements. In the first experimental setup, the static characteristics of the taxel such as the repeatability, hysteresis, sensitivity and time drift were measured. Moreover, the physical sensing mechanism of the piezoresistive sensors was discussed to find the span of the force measurement. The accuracy of the taxel was found to be 5.5%. In the second experimental setup, the frequency response of the sensor was revealed for a frequency band of 0.1Hz to 40Hz. The gain of the taxel was not flat in the measured frequency band and might be used carefully in the dynamic load range after accurate calibration. Moreover, it was found that within a $48 \pm 27\mu\text{sec}$, the sensor was responsive to the impact loading using an another test set-up.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İki katı cisim temas haline getirildiğinde ara yüzde sınırlı bir temas alanı ve normal gerilme oluşmaktadır. Katılardan biri saydam değilse, optik yöntemler kullanarak temas basıncı ve alanını gözlemlemek mümkün değildir. Bu ölçümü yapmak için kullanılan bir yöntemde iki katı arasına konulan ince kâğıt formunda olan

filmlerde gerçekleşen renk değişimi ve yoğunluğundan temas bilgileri elde edilmeye çalışılmaktadır[1]. Fakat bu ölçüm yöntemi gerçek zamanlı ölçüm yapan herhangi bir algılayıcı, elektronik cihaz ve yazılım kullanmadığından dolayı ölçüm, analiz ve niceliksel bilginin elde edilmesinde zorluklar içermektedir. Son zamanlarda, temas ara yüzüne ince ve esnek dokunsal algılayıcı dizini yerleştirilerek temas basıncı ve alanını gerçek zamanlı olarak ölçmek mümkün olmuştur. Bu yapıların katı hal silikon teknolojilerinden farklı olarak esnek olarak üretilebilmelerini sağlayan teknolojinin adı esnek elektronik olarak adlandırılmaktadır. Katı cisimlerin temasında, temas alanı ve basıncının ölçülmesine duyulan ihtiyaç, otomotiv, medikal, robotik ve havacılık alanı gibi birçok bilimsel ve endüstriyel alanda büyük ölçüde artmaktadır[2-4]. Örnek olarak, dokunsal algılayıcılar robotik el uygulamalarında dokunma geri bildirimini vermek için insansı ve medikal robotlarda giderek daha fazla kullanılmaktadır[5,6]. Ayrıca, dokunsal algılayıcıların esnek özellikleri, sadece düz-düz katı cisim temasın değil aynı zamanda pürüzlü ve kavslü yüzeylerde de ölçüm yapılmasına izin vermektedir[7].

Dokunsal algılayıcı dizinin herhangi bir temas yüzeyinin basınç haritasını çıkarabilmesi için bir dizin halinde üretilmeleri gerekmektedir. Temel olarak, dokunsal algılayıcı dizini birçok tekil dokunsal algılayıcıdan (teksel) oluşmaktadır. Dokunsal algılayıcı ağında tekselin yanal çözünürlüğünü belirleyecek olan etken her bir dokunma algılayıcısının boyutu ve yerleştirme sıklığıdır. Her bir satır ve sütunun keşifini bir adet teksele verir. Elektronik anahtar aracılığı ile belirli bir örnekleme frekansında ayrı ayrı okunan algılayıcı çıktıları uygun bir elektronik kart ve tarama algoritması kullanılarak bilgisayara aktarılır. Bilgisayara gönderilen bilgi işlenerek temas yüzeyinde oluşan basınç haritası ve temas alanı bir kullanıcı ara yüz yazılımı kullanarak görüntülenir.

Temel olarak, teksele elemanları uygun bir algılama mekanizması kullanarak kuvvet ölçümünden sorumludur. Dokunsal algılayıcı dizini teknolojisi yapımında yaygın olarak kullanılan, piezodirenç[8,9], kapasitif[10,11] ve piezoelektrik[12,13] olmak üzere üç farklı algılama mekanizması vardır. Algılama prensiplerinin her birinin, dokunsal tanıma yönünden kendi avantajları ve dezavantajları vardır ve genellikle bu algılayıcıların kullanılması uygulamaya özeldir. Piezoelektrik algılayıcılar tipik olarak kuvvet veya temas basıncının dinamik ölçümlerinde tercih edilirken, kapasitif ve piezodirenç temelli algılayıcılar statik veya yarı-statik yüklemelerin ölçümleri için kullanılmaktadır. Piezoelektrik algılayıcıların doğrusallığı bahsi geçen iki algılama yönteminden daha yüksek olmasına rağmen statik yüklemelerde piezoelektrik temelli algılayıcılar yük boşalması probleminde dolayı tercih edilmemektedir. Kapasitif algılayıcıların nem ve sıcaklık değişimine karşılık gelen kararlılığı diğerlerinden daha üstündür. Bununla birlikte, piezodirenç algılayıcılar, geniş bir ölçüm aralığına sahip olacak şekilde tasarlanabilirken, kapasitif algılayıcılar, uygulanan kuvvete yanıt olarak hızlı olarak gelişen doygunluklarından dolayı sınırlı kuvvet ve temas basıncı ölçüm aralığına sahiptir[3].

Yukarıda bahsedilen algılayıcı tiplerinin ortak bir gereksinimi, doğru ve tekrarlanabilir kuvvet ölçümünü sağlamak için yapılan ölçümleme prosedürüdür. Dokunsal algılayıcılar esnek olduğundan ve bükülebilir malzemelerden yapıldığından, statik ve dinamik karakteristik değerleri, yarı iletken silikon teknolojisi kullanılarak oluşturulan kuvvet algılayıcılarından daha kötüdür. Buna rağmen, dokunsal algılayıcılar, ince film şeklinde olmaları ve bükülebilir özelliklerinden dolayı temas basıncı ve alanı ölçümlerinde kullanılabilen tek algılayıcı ölçüm teknolojisidir. Bu duruma diş ve çene cerrahisinden örnek vermek gerekirse, aşırı oklüzal kuvvetlerin, abfraksiyon da dâhil olmak üzere diş restorasyonların ömrünü azaltan önemli bir faktör olduğu bildirilmiştir[14]. Bu kuvvetlerin ölçümü hastalıkların tanı ve tedavisinde kritik bir olgu olarak görülmekte ve dokunsal algılayıcı dizini teknolojisi kullanılarak gerçek zamanlı olarak dişler arası temas basıncı ve alan ölçümü yapılabilmektedir. Bu algılayıcıların medikal alanda tanı ve tedavide kullanımlarına yönelik bir başka örnek ise yürüyüş örüntüsü analizlerinde kullanımları ile ilgili verilebilir[15,16]. Bu medikal uygulamada, dokunsal algılayıcı dizinleri, ayak tabanının yer ile olan basınç dağılımı ve temas alanı ölçümlerinde kullanılarak diyabet, Parkinson, ortopedi ve nörolojik bozukluk gibi hastalıkların ortaya çıkardığı yürüyüş bozuklukları ile ilgili tanı koymak ve tedavinin durumunu izlemek için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, bir dokunsal algılayıcı dizininin içinde bulunan birim algılayıcının (teksel) statik ve dinamik algılayıcı özellikleri özel yapım deney düzenekleri kullanılarak incelenmiştir. İlk olarak, içerisinde 64 adet teksele barındıran bir dokunsal algılayıcı dizininin mikrofabrikasyon teknikleri kullanılarak imalatı yapılmıştır. Daha sonra bu algılayıcının çalıştırılması için elektronik bir sinyal tarama ve şartlandırıcı devresi tasarlanmış ve üretilmiştir. Sinyal koşullandırma cihazı farklı giriş uyarı voltajlarını verme

yeteneğine sahiptir ve algılayıcı çıkışları için bir yükselticiye sahiptir. Algılayıcı ağında tek bir algılayıcının seçimi yapılmış ve bu algılayıcının doğrusallık, histerizis, tekrarlanabilirlik ve sinyalin zamanla kayması gibi statik özellikleri ölçülmüştür. Bu değerler kullanılarak tekselin doğruluğu bulunmuştur. Ayrıca, algılayıcının tepki zamanı, frekans tepkisi ve kazanç gibi dinamik özellikleri de bir başka özel yapım test düzeneği kullanılarak ölçülmüş ve algılayıcının dinamik yükler altında kullanımı ile ilgili durum ortaya konulmuştur.

2. MALZEMELER ve YÖNTEM (MATERIALS AND METHODS)

2.1 Piezodirenç Dokunsal Algılayıcı Dizini İmalatı (Fabrication of the Piezoresistive Tactile Sensor)

Direnç ve piezodirenç etkileri, kuvvet ve basınç algılayıcılarında en çok kullanılan iki algılama prensibidir[17,18]. Her iki algılama yöntemi de direnç değişimini gerektirse de, iki algılama prensibi arasında önemli bir fark vardır. Bir malzemenin elektriksel direnci Denklem 1 ile hesaplanabilir.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad 1$$

Burada;

R : Elektriksel direnci

ρ : Elektrik özdirenci

L : Akım boyunca uzunluk

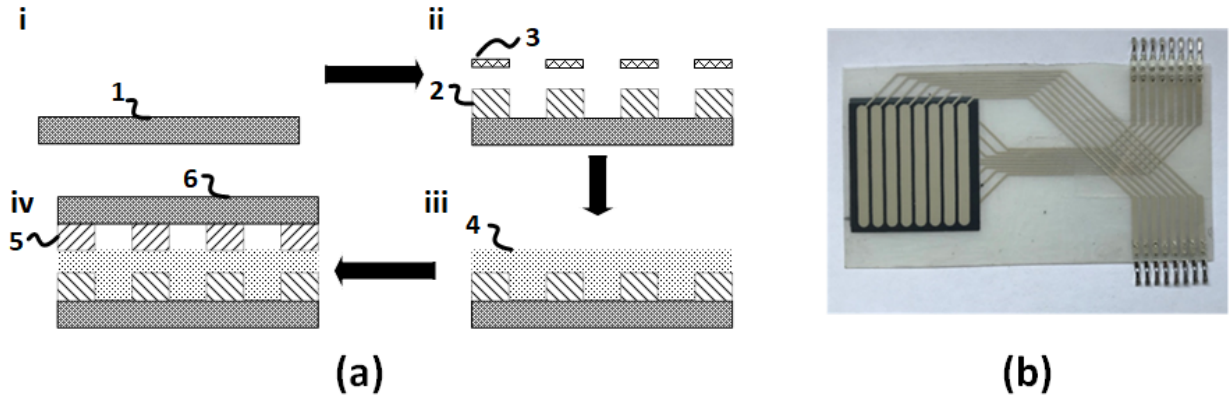
A : Kesit alanı

Gerinim pulu gibi elektrik özdirencinin sabit kaldığı ve uygulanan gerilim altında fiziksel boyut değişikliği sonucunda elektriksel direncin değiştiği algılayıcılar direnç etkisi ile çalışan algılayıcılar olarak adlandırılır. Buna karşılık, piezodirenç etki ile çalışan algılayıcılar ise boyutsal bileşenin elektriksel direnç değişimine önemsiz bir katkısı olduğu, uygulanan gerilme üzerindeki elektrik özdirencinin değişiminin önemli olduğu algılayıcılarıdır.

Dokunsal algılayıcı dizini mikrofabrikasyon teknikleri kullanılarak imal edilmiştir ve imalat aşamaları Şekil 1(a)'da gösterilmiştir. Şekil 1(b)'de olan örnek resimde gösterildiği gibi algılayıcı elektriksel iletken elektrot serileri arasına sıkıştırılan piezodirenç bir algılama katmanından oluşur. Piezodirenç algılama tabakası, sıvı silikon kauçuğu ve iletken karbon siyahının uygun birleşiminden yapılan yarı iletken bir polimer kompozit malzemedir. Elektriksel iletken hatlar gümüş (Ag) temelli bir solüsyondan bir maske yardımı ile oluşturulmuştur. Katmanlar, çift eksenli yönelimli polietilen tereftalat ince filmler üzerinde büyütülmüştür. Bu filmler katmanların üzerinde bulunduğu bir alttaş görevi görmelerinin yanında algılayıcı dizinin çevresel etkilerden korumasını da sağlamaktadır. Dokunsal algılayıcı dizininin toplam kalınlığı $290\mu\text{m}$ 'dir. Algılayıcı, dizi ve sütun şeklinde düzenlenmiştir ve yapıda elektriksel iletken dizi (n) ve sütun (m) sayısı sekizdir. Bu nedenle, nxm yapılandırmasında dokunsal algılayıcı dizini 64 adet teksel barındırmaktadır. Bu düzenleme ile dokunsal algılayıcı dizinin okuma devresindeki hesaplamaların azalması sağlanmaktadır ve bir sonraki bölümde kullanılan teknoloji ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Dahası, dikey ve yatay çizgilerin kesişimi basitçe teksel birimini vermektedir. Böylece, dokunsal algılayıcı dizinin uzamsal çözünürlüğü $2.73\text{teksel}/\text{cm}^2$ olarak bulunabilir ve teksellerin her biri kare yapısında olarak $3\text{mm} \times 3\text{mm}$ bir alanı kaplamaktadırlar. Dokunsal algılayıcı dizini ise toplamda $30\text{mm} \times 30\text{mm}$ 'lik bir alanı çevrelemektedir.

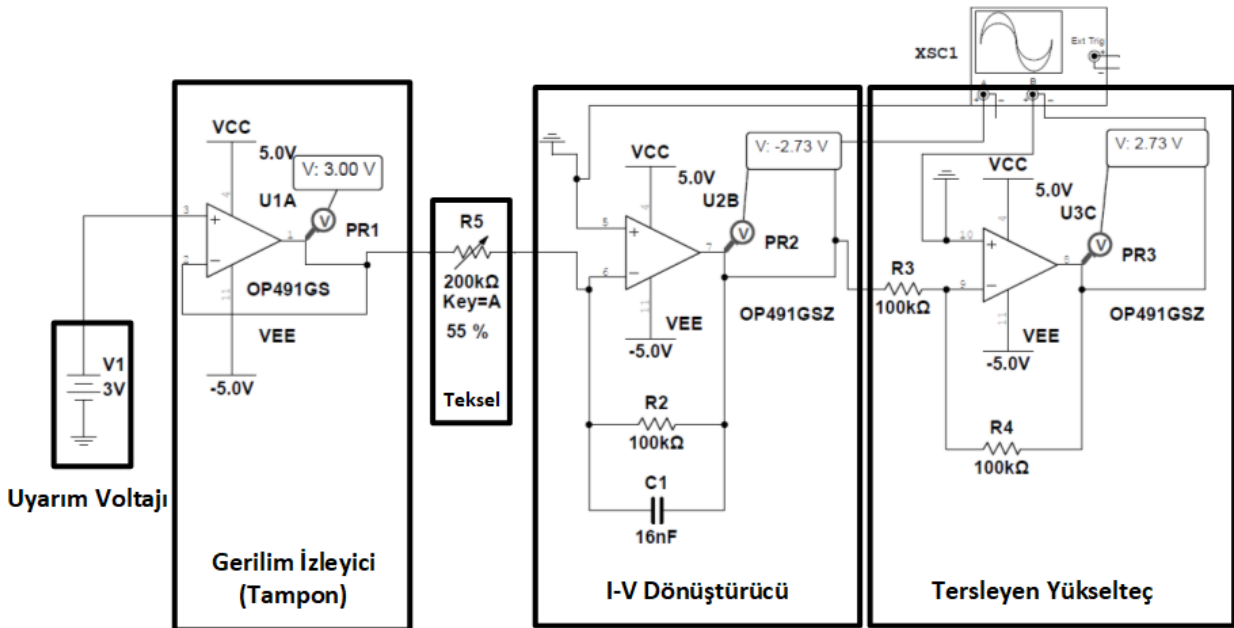
2.2 Elektronik Tarama Devresi Tasarımı (Design of Electronic Scanning Circuit)

Algılayıcı dizinini taramak ve her bir teksel verisini elde etmek için bir elektronik devre tasarlanmıştır. İlk olarak, entegre devre vurgulu simülasyon programı (SPICE) kullanılarak uyarma gerilimi, geri besleme direnci ve çıkış gerilimi arasındaki ilişkileri bulmak için elektronik devre simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, 64° e kadar teksele sahip dokunsal algılayıcı dizininin tarama kabiliyetine sahip elektronik sinyal tarama ve şartlandırıcı devresi tasarlanmıştır. Bu elektronik kartta teksel verisinin 100Hz örnekleme frekansına kadar gerçek zamanlı olarak elde edilmesi mümkündür.



Şekil 1. a) Dokunsal algılayıcı dizinin imalat akış diyagramı: alt alltaş (1), alt elektrot katmanı (2), maske (3), piezodirenç algılama katmanı (4), üst elektrot katmanı (5), üst alltaş (6), b) Dokunsal algılayıcı dizinin resmi

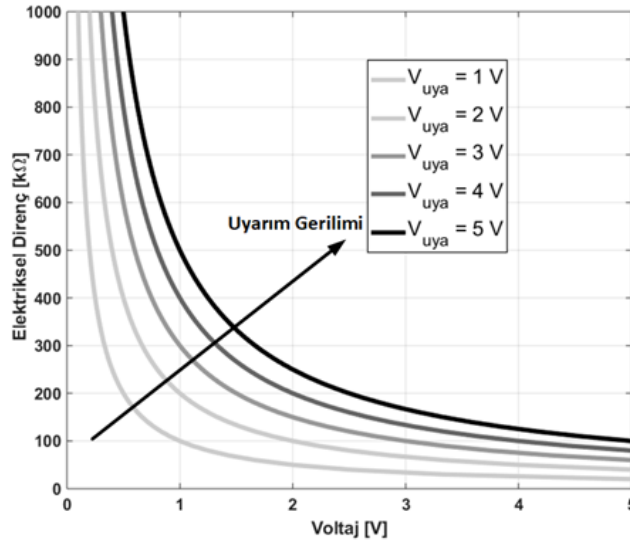
Bir teksele için tarama devresinin SPICE benzetimi Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu elektronik devre gerilim izleyici (tampon), akım-gerilim dönüştürücü ve tersleyen yükselteç olmak üzere üç temel bölüme sahiptir. Gerilim izleyicinin amacı, giriş gerilimine yüksek empedans sağlayarak, teksele direnç değişimden kaynaklanan gerilim düşüşlerini önlemektir. İkinci kısım, teksele direnç değişimini geri besleme direnci ile kıyaslayarak ölçmektedir ve aynı zamanda birinci dereceden alçak geçiren filtre görevi görmektedir. Simülasyonda kesim frekansı 99.5Hz olarak ayarlanmıştır. Üçüncü kısımda ise gerilimin işareti değişmektedir ve algılayıcıyı diğer elektronik bileşenlerin bozucu etkilerinden ayırmaktadır. Sabit bir geri besleme direnci (R_{ref}) için uyarma gerilimi (V_{uya}), çıkış gerilimi ($V_{çık}$) ve teksele direnci (R_{teks}) arasında bulunan ilişki Şekil 3’te verilmiştir. Bu benzetime göre kuvvetin artmasıyla algılayıcı direnci azalmaktadır ve buna karşın çıkış gerilimi artmaktadır. Ayrıca, uyarma gerilimi arttıkça, bir teksele direnç değişim farkının oranı azalmaktadır. Dolayısı ile elektronik devrenin uyarma gerilimi arttıkça kullanılabilir olan kuvvet aralığı daralmaktadır. Ayrıca, çıkış voltajını etkileyen önemli bir faktör ise işlemsel yükselteçlerin besleme gerilimlerinin algılayıcı çıkış gerilimini sınırlandırmasıdır. Dolayısı ile uyarma voltajı ne kadar artırılırsa artırılırsa algılayıcının çıkış voltajı işlemsel yükselteçlerin besleme gerilimlerinden büyük olamayacaktır.



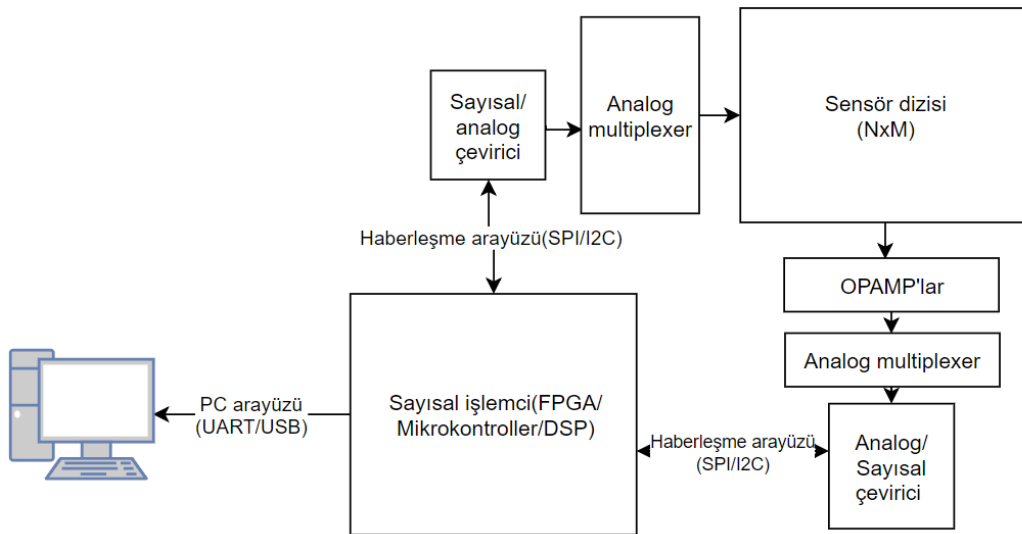
Şekil 2. Dokunsal algılayıcı dizinin bir elemanı için yapılan SPICE benzetimi şeması

Şekil 4’de ise elektronik tarama devresinin akış diyagramı gösterilmiştir. Elektronik devre algılayıcının satırlarına uyarma gerilimi uygulama ve algılayıcının sütunlarından ise gerilim okunmasından sorumludur.

Dijital-analog dönüştürücüler (DAC) algılayıcıya istenilen seviyede uyarma gerilimi verebilmeyi sağlar. Analog çoklayıcılar (MUX) ise matris yapıları algılayıcının istenen tekselini seçebilmeyi sağlar. Böylelikle, uygun tarama hızı ile çoklayıcılar açılıp kapatılarak her bir tekselin bilgileri toplanabilmektedir. Elektrotlar, piezodirenç katmanının her iki tarafına yerleştirildiğinden tekseller arasında elektriksel çapraz konuşma meydana gelmektedir. Bu durum, seçilen teksellerin direnç değişiminin doğru okunmasını engellemektedir. Bu problemin üstesinden gelmek amacı ile bu çalışmada sıfır-gerilim tarama metodu kullanılmıştır[12]. Bu teknikte, tüm sütunlar, işlemsel yükselteçlerin (OPAMP) sanal toprak özelliği sayesinde toprak seviyesine çekilmiştir. Dolayısı ile anlık olarak tüm taranmayan sütun ve satırlar toprak seviyesinde bulunmaktadır ve akım kaçağı azaltılmış veya yok edilmektedir. Terslendirici işlemsel yükselteçlerin yapısı istenen oranda kazanç ayarı yapmak için kullanılmıştır. İşlemsel yükselteçlerin çıkış gerilimleri direnç değişimi ile orantılıdır ve algılayıcının kalibrasyonun yapılması durumunda uygulanan kuvveti verir. Bu sebeple, doğru kalibrasyon, bu algılayıcıların mühendislik uygulamalarında kullanılması için en önemli adımlardan birisidir. Analog- dijital dönüştürücüler (ADC) analog gerilim değerlerini sayısal veriye çevirir. Elektronik devrede yüksek hızlı işlemci olarak alanda programlanabilir kapı dizileri (FPGA) elektronik entegresi kullanılmaktadır. FPGA ADC'den gelen sayısal veriyi uygun bir seri haberleşme protokolü ile okumaktadır ve bilgisayara UART-USB dönüştürücüsü kullanarak göndermektedir. Son olarak bilgisayarda bulunan kullanıcı ara yüzü vasıtası ile temas halinde bulunan yüzeylerin temas basıncı ve alanı görüntülenir ve veriler uygun bir formatta kaydedilmektedir.



Şekil 3. Uyarma gerilimi (V_{uya}), çıkış gerilimi ($V_{çık}$) ve teksele elektriksel direnci (R_{teks}) ilişkisi

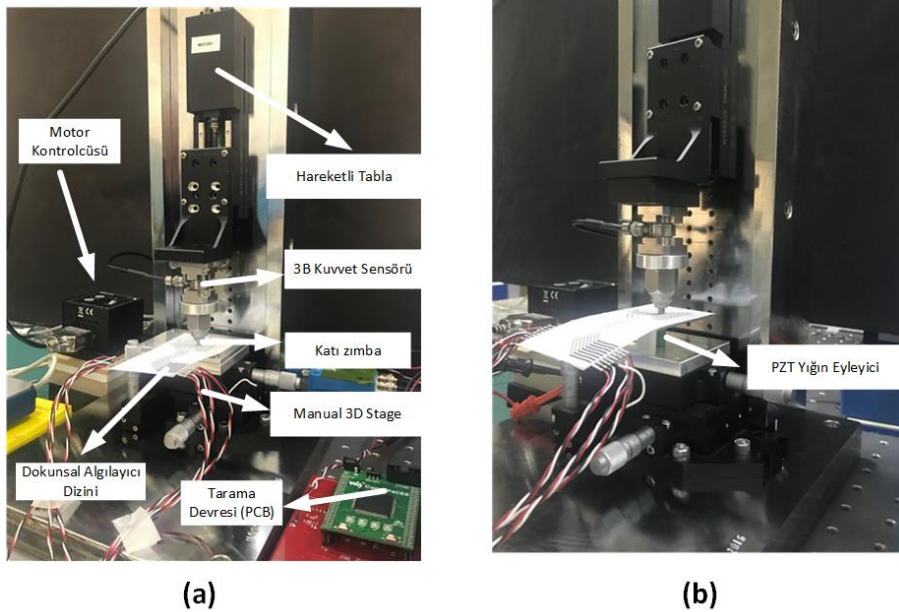


Şekil 4. Elektronik tarama devresinin sistem mimarisi

2.3 Deney Düzenekleri Tasarımı ve Kurulumu (Design and Installation of the Experimental Setups)

Dokunsal algılayıcı dizinleri herhangi bir kuvvet uyarımına karşılık olarak elektriksel direnç değişikliği göstermektedirler. Dokunsal algılayıcı dizinin uzamsal özellikleri birim alanda bulunan teksel elemanlarının sayısı ile ilgilidir. Uzamsal çözünürlük dokunsal algılayıcı dizini ile yapılan temas alan ölçümünün doğruluğunu belirlemektedir. Buna karşın algılayıcının dikey özellikleri ölçebileceği kuvvet aralığı ile ilgilidir. Dikey çözünürlüğün uzamsal çözünürlük ile birleşimi, temas eden yüzeylerin genel bir basınç ve temas alanı haritasını çıkarmaktadır. Bu bölümde algılayıcının dikey özelliklerini çıkarmak amacı ile iki adet özel yapım deneysel test düzeneklerinin kurulumu hakkında bilgi verilecektir. Bu test düzenekleri tekselin statik ve dinamik özelliklerini hassas bir biçimde ölçmek için kullanılacaktır.

İlk deney düzeneğinde, algılayıcının elektrik direncinin baskı kuvveti altında değişimi ve statik karakteristikleri, Şekil 5(a) 'da gösterilen test düzeneği kullanılarak bulunmuştur. Bu test düzeneğinde doğrusal yönde hareket edebilen bir adet hareketli tabla (Thorlabs MTS-50) dikey yönde yerleştirilmiştir. Bu tablanın kontrolü bir adet kontrolcü vasıtası ile yapılmaktadır ve hareketli tablanın 50nm pozisyon hassasiyeti bulunmaktadır. Üç boyutta (3B) kuvvet ölçebilen bir adet piezoelektrik kuvvet algılayıcısı (Kistler 9347C) hareketli tablaya bir L-braketi vasıtası ile bağlanmıştır. 3B kuvvet algılayıcısının her bir yönde olan çıkışları yük yükselticisine bağlanmıştır ve yük yükselticinin çıkışı bir adet veri alım elektronik kartına bağlanmıştır. Böylelikle yatay iki yönde $0.01N$ ve dikey yönde ise $0.1N$ kuvvet çözünürlüğü ile ölçümler yapılabilmektedir. Yatay yönlerde kuvvet izlemesinin yapılmasının sebebi sadece dikey yönde dokunsal algılayıcı üzerine baskı kuvveti yapıldığı ve ölçüm zamanı süresince yatay yönde herhangi bir sürtünme kuvvetinin oluşup oluşmadığını belirlemektir. 3D kuvvet algılayıcısına bir plaka yardımı ile teksel ile düzlemsel olarak aynı boyutlarda ve çelikten üretilmiş sert bir zımba bağlanmıştır. Dokunsal algılayıcı dizini manüel olarak kontrol edilebilen üç eksenli bir hareketli tablaya (Thorlabs RB13M) bağlanmıştır ve böylelikle dokunsal algılayıcı dizini içerisinde bulunan bir tekselin zımba altına konumlandırılması sağlanmıştır. Tipik bir deneyde, dikey hareketli tabla önceden belirlenmiş bir baskı kuvvetine ulaşıncaya kadar zımba ile tekselin üzerine düşük ve sabit bir hızla girinti oluşturmaktadır. Hareketli tabla istenilen baskı kuvvetine ulaşıncaya aynı hız ile ters yönde baskı kuvvetini azaltarak ilk pozisyonuna döner. Aynı zamanda, sinyal tarama devresi, dokunsal algılayıcı dizini içerisinde seçilen tekselin voltaj çıkışını kaydeder. Deney düzeneğinin tüm bileşenleri gerçek zamanlı olarak Labview programı kullanılarak yazılmış bir kontrolcü programı tarafından kontrol edilmektedir.



Şekil 5. a) Algılayıcının statik özelliklerini ölçmek için kullanılan test düzeneği, b) Algılayıcının dinamik özelliklerini ölçmek için kullanılan test düzeneği

Algılayıcının dinamik özelliklerini bulmak için Şekil 5(b)'de gösterilen deney düzeneği kullanılmıştır. Bu test düzeneğinde, birinci deney düzeneğine bir adet piezoelektrik yığın eyleyici eklenmiştir. Bu eyleyici manüel tablanın üzerine sabitlenmiştir ve dokunsal algılayıcı dizini zımba ve eyleyici arasında yerleştirilmiştir. Bu test düzeneğinde, istenilen teksel üzerine ön yükleme kuvveti dikey olarak uygulanır. Böylece, teksel zımba ile piezoelektrik elemanın üst yüzeyi arasında sıkıştırılmış olur. Bir sinyal üretici kullanılarak piezoelektrik yığın eyleyicisi istenilen genlik ve frekansta sürülmektedir. Dokunsal algılayıcının kuvvet ve voltaj çıkışı aynı anda kaydedilmekte ve tekselin frekans cevabını karakterize etmek için kazanç faktörü hesaplanabilmektedir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1 Tekselin Statik Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu bölümde bir adet tekselin kuvvet ölçüm aralığı, duyarlılığı, doğrusallığı, tekrarlanabilirliği, histerezisi, sinyalin zaman ile kayması ve doğruluğu gibi statik özellikleri bulunmuştur. İlk olarak, algılayıcının transfer fonksiyonunu ve duyarlılığını bulmak için deney yapılmıştır. Tipik bir deneyin yükleme ve boşaltma çevrimi için örnek grafik Şekil 6' da verilmiştir. Bu test sırasında doğrusal motor $0.05mm/sn$ sabit bir hızla doğrusal olarak hareket ettirilmiştir. Sert ve eksenel simetrik sürtünmesiz bir zımba, önceden belirlenmiş bir maksimum kuvvet değerine ulaşıncaya kadar, teksel elemanına girinti oluşturmuştur. Ardından, düz zımbanın algılayıcı yüzeyi ile teması kopuncaya kadar hareketli tabla geri çekilmektedir. Yükleme ve boşaltma çevrimi sırasında kuvvet ve gerilim çıkışı gerçek zamanlı olarak kaydedilmektedir. Algılayıcı üzerine uygulanan kuvvet ile çıkış gerilimi arasındaki ilişkiyi tanımlamak için güç denkleminin yararlanılabilir.

$$V_{çık} = \alpha L^{\beta} \quad 2$$

Burada;

$V_{çık}$: Çıkış gerilimi

α, β : Eğri uydurma parametreleri

L : Kuvvet

Tekselin gerilim çıkışının direnç değişimi ile ilişkisi sinyal koşullandırıcının I-V dönüştürücü bölümü dikkate alınarak Denklem 3 ile hesaplanabilir.

$$V_{çık} = V_{uya} \frac{R_{ref}}{R_{teks}} \quad 3$$

Böylece, kuvvet ve elektriksel iletkenlik arasında bulunan ilişki eğri uydurma parametreleri cinsinden Denklem 4 ile hesaplanabilir.

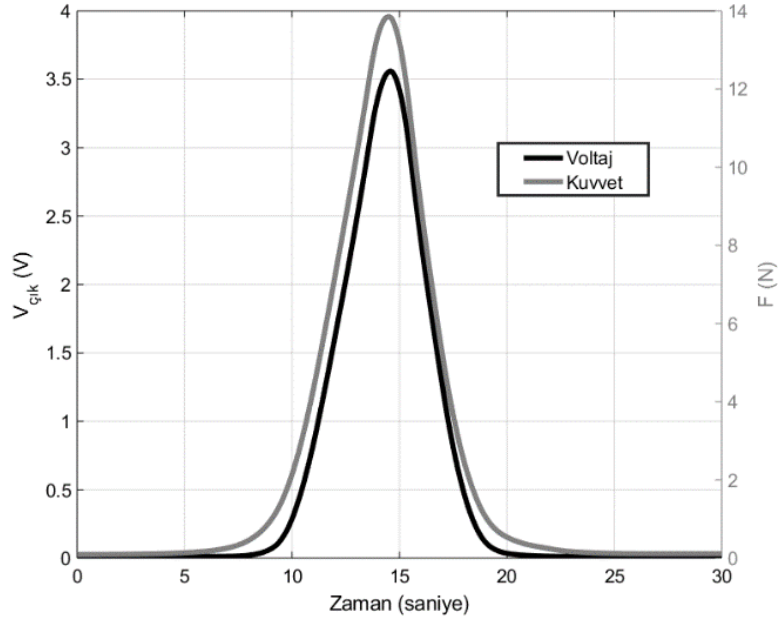
$$G = \gamma L^{\vartheta} \quad 4$$

Burada;

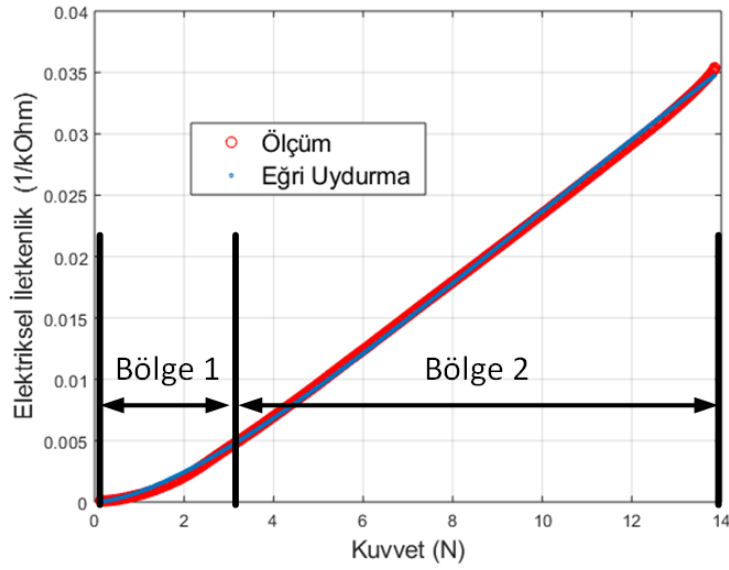
G : Elektriksel iletkenlik.

γ, ϑ : Eğri uydurma parametreleri

Teksel elemanın iletkenliği yükleme sırasında kuvvetle doğrusal olmayan bir şekilde artmaktadır (Şekil 7). Bu çalışmada, elektriksel iletkenlik ile kuvvet verilerini incelemek ve verilere bir eğri uydurma amacı ile sönümlü en küçük kareler metodu kullanılmıştır. Veri noktaları ve fonksiyon arasındaki hataların karelerinin toplamını en aza indirmek için dereceli azalma ve Gauss-Newton metodunun birleşimi olan bir doğrusal olmayan regresyon yöntemi uygulanmıştır. Güç denkleminin doğrusal olmayan regresyon uydurma parametreleri $\gamma = 0,0012$ ve $\vartheta = 1,2984$ olarak bulunmuştur.



Şekil 6. Yüklemeye ve boşaltma sırasında referans kuvvet algılayıcısı ve teksel voltaj çıktısı



Şekil 7. Elektriksel iletkenliğin kuvvet ile olan değişimi

Piezodirenç algılayıcılar bir polimer matrisinin içinde dağıtılmış elektriksel iletken parçacıklardan oluşan ince film kompozitlerdir. Böylece, yalıtkan polimerin elektriksel özellikleri değiştirilmiş olmaktadır. Algılayıcı üzerinde herhangi bir yüklemeye olmadığında, teksel $10M\Omega$ 'dan daha büyük bir elektriksel dirence sahiptir ve dolayısı ile elektriksel olarak yalıtkan bir davranış sergilemektedirler. Bununla birlikte, dikey yönde yüklemeye maruz bırakıldıklarında iletken parçacıklar polimer matrisin içinde tek eksenli yönde toplanmakta ve iletken yollar oluşturmaktadır. Dolayısıyla ince algılayıcı film, bir yüklemeye ile sıkıştırıldığında yarı iletken bir davranış sergilemeye başlamaktadır. Yüklemeye sırasında teksel yüzeyine verilen basınç değeri göreceli olarak tekdüze olarak düşünülebilir. Fakat tekselin et kalınlığı yönünde gerilme tekdüze değildir ve merkezden kenarlara doğru yayılan bir gerilme dağılımı oluşmaktadır. Dolayısıyla temas basıncı altında oluşan birbirine paralel olan iletken hatların hepsi aynı iletkenliğe sahip olmamaktadırlar. Bu durum kuvvet uygulanmadan önce yalıtkan özellik gösteren algılayıcının kuvvet uygulanması ile birlikte elektriksel iletkenlikte gerçekleşen anlamlı değişiminin algılamak için minimum bir gerilmenin gerekli olduğunu da göstermektedir. Bu fiziksel mekanizma dokunsal algılayıcının kuvvet ölçüm aralığının alt limitini belirlemektedir. Ayrıca, piezodirenç malzemenin bu davranışı düşük basınç

altında iletken değişiminin Şekil 7 üzerinde gösterilen Bölge 1’de olduğu gibi doğrusal olmamasına yol açmaktadır. Şekil 7 üzerinde gösterilen bölge 2’de ise kompozit malzeme içerisinde oluşan elektriksel iletken yolların oluşumunun yavaşladığı ve uygulanan yük ile doğru orantılı olarak değiştiği görülmektedir. Böylelikle, iletkenlik davranışının kuvvet ile değişiminin Bölge 2’de doğru orantılı olarak gerçekleştiği görülmektedir. Bu çalışmada deney düzeneğinde bulunan hareketli tablaların belirli bir yük taşıyabilmelerinden dolayı üst kuvvet değeri tespit edilememiştir. Fakat yükleme ile birlikte direnç değişimindeki azalma oranın gittikçe azaldığı görülmektedir. Dolayısı ile piezodirenç kompozitin sıkıştırılabilirlik davranışının belirli bir noktada azalması ile birlikte iletken parçacıkların yanal olarak kaymaya başlayacağı öngörülebilir. Bu eylemin tünel yollarını baskı kuvveti yönünde yok etmeye başladığını ve direnç değişim oranının gittikçe azalacağını göstermektedir. Sonuç olarak, direnç değişim oranı kuvvetin artması ile azalmaya başlar ve bir tolerans bandı içerisinde anlamlı bir değişiklik göstermemektedir. Bu durum dokunsal algılayıcının kuvvet ölçüm aralığının üst sınırını vermektedir.

Bir algılayıcının doğrusallığı algılayıcının istenilen ölçüm aralığında ideal bir doğrusal düz çizgiden sapması olarak tanımlanmaktadır. Algılayıcıların doğrusallık hatası sıklıkla iki farklı yöntem kullanılarak analiz edilebilir: en küçük kareler regresyonu veya son nokta doğrusallık analizi. Bu çalışmada en küçük kareler regresyon analizi kullanılarak ideal doğrusal eğri elde edilmiştir. Doğrusallık hatası Denklem 5 ile hesaplanmıştır.

$$\epsilon_{doğr} = \% \frac{mak_doğ (\Delta V_{çık})}{V_{öa}} \times 100 \quad 5$$

Burada;

$\epsilon_{doğr}$: Doğrusallık hatası

$V_{öa}$: Voltaj ölçüm aralığı

$mak_doğ (\Delta V_{çık})$: İdeal doğrusal eğriden elde edilen voltaj değerleri ile deneyden elde edilen voltaj çıktısı arasında oluşan maksimum değişim değeri

İdeal bir kuvvet algılayıcısında yükleme ve boşaltma yolu aynı eğri üzerinde olmak zorundadır ve bu durumdan sapma histerizis olarak adlandırılır. Başka bir deyişle, istenilen bir kuvvet değerine yaklaşırken artarak veya azalarak ulaşmanın ideal bir algılayıcı için önemi yoktur. Bununla birlikte, tüm kuvvet ve basınç algılayıcıları algılama mekanizmasına ve kullanılan malzemelere bağlı olarak bir miktar histerizis gösterir. Bu çalışmada kullanılan algılayıcının büyük ölçüde polimerik malzemelerden yapıldığı düşünüldüğünde daha önce tartışılan elektriksel direnç ile ilgili reolojik davranış ve viskoelastik öğelerin histerizis oluşumunda etkili olduğu söylenebilir. Histerizis davranışını incelemek için Şekil 6’da verilen yükleme ve boşaltma grafiği kullanılmıştır. Algılayıcın ölçüm aralığında maksimum voltaj farkına bakılarak histerizis değeri Denklem 6 ile verilebilir.

$$\epsilon_{his} = \% \frac{mak_his (\Delta V_{çık})}{V_{öa}} \times 100 \quad 6$$

Burada;

ϵ_{his} : Histerizis hatası

$mak_doğ (\Delta V_{çık})$: Yükleme ve boşaltma sırasında oluşan maksimum voltaj farkı

Tekselin tekrarlanabilirlik hatasını bulmak amacı ile ardışık olarak beş adet basma ve çekme deneyi yapılmıştır ve hata hesaplamasında sadece yükleme bölgesi göz önüne alınmıştır (Şekil 8). Aynı kuvvet değeri için algılayıcının çalışma aralığında gerçekleşen maksimum voltaj farkı bulunmuş ve tekrarlanabilirlik hatasını bulmak için Denklem 7’den yararlanılmıştır:

$$\epsilon_{tek} = \% \frac{mak_tek (\Delta V_{çık})}{V_{öa}} \times 100. \quad 7$$

Burada;

ϵ_{tek} : Tekrarlanabilirlik hatası

mak_tek ($\Delta V_{çık}$): Yükleme bölgesinde denemeler arasında oluşan maksimum voltaj farkı

Son olarak algılayıcının voltaj sinyalinde zaman ile gerçekleşen kayma miktarı bulunmuştur. Bu amaçla algılayıcı yaklaşık olarak $11N$ kuvvet ile 24 saat boyunca yüklenmiş bir durumda bırakılmış ve bu durumda voltaj sinyali kaydedilmiştir. Bu süre zarfında algılayıcının çıkış voltajında gerçekleşen maksimum voltaj farkının zamana bağlı olarak kaydedilen çıkış voltajın kök ortalama karesi (rms) değerinden maksimum sapması Denklem 8 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\epsilon_{kay} = \% \frac{mak_kay (\Delta V_{çık})}{rms (V_{çık})} \times 100 \quad 8$$

Burada;

ϵ_{kay} : Sinyal kayma hatası

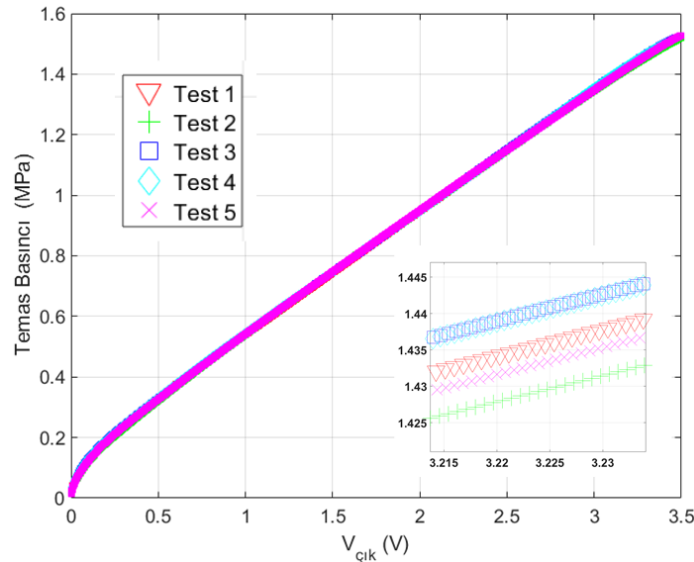
mak_kay ($\Delta V_{çık}$): Algılayıcının çıkış voltajında gerçekleşen maksimum voltaj farkı

Algılayıcının yukarıda verilen yöntemler ile hesaplanmış statik karakterizasyon değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu değerler kullanılarak tekselin doğruluk değeri her bir statik özelliğin karelerinin toplamının karekökü olarak Denklem 9 kullanılarak hesaplanabilir.

$$\epsilon_{doğ} = \sqrt{\epsilon_{doğr}^2 + \epsilon_{his}^2 + \epsilon_{tek}^2 + \epsilon_{kay}^2} \quad 9$$

Tablo 1. Tekselin Statik Karakteristikleri

Kuvvet Ölçüm Aralığı	Basınç Ölçüm Aralığı	Doğrusallık(%)	Histerezis(%)	Tekrarlanabilirlik(%)	Sinyal Kayması (%)	Doğruluk (%)
0.14-13.50	0.016-1.522	3.95	3.73	0.4	0.87	5.52

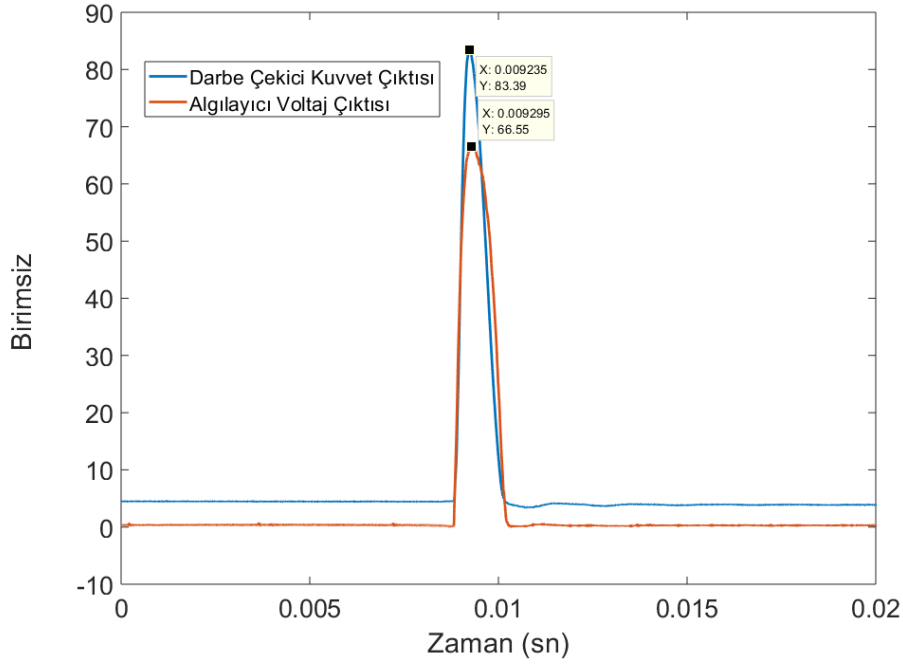


Şekil 8. Algılayıcı üzerinde yapılan 5 adet yükleme durumunda oluşan basınç ve voltaj değişim grafiği.

Ekli küçük resim algılayıcının maksimum sapma bölgesini göstermektedir.

3.2 Tekselin Dinamik Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu bölümde algılayıcının dinamik özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili çalışmalar yapılacaktır. İlk olarak algılayıcının tepki süresi (τ) ölçülmüştür. Ölçüm teknolojilerinde, tepki süresi, harici bir uyarı nedeniyle algılayıcı çıkışında oluşan gecikme süresidir ve algılayıcının önemli bir dinamik özelliğidir. Bu çalışmada ucunda piezoelektrik kuvvet algılayıcısı takılmış olan bir darbe çekici kullanılarak sıfırcı zamanda teksele ani darbe girişi verilmiştir. Darbe girişinin kuvvet genliğinin maksimuma ulaştığı zaman tespit edilmiştir (t_{darbe}). Aynı anda tekselden gelen voltaj çıkışı kaydedilmiş ve genliğinin maksimuma ulaştığı zaman (t_{teksel}) bulunmuştur. Bu çalışmada tepki süresi Şekil 9'da gösterildiği üzere iki zaman arasında oluşan değer farkı olarak tanımlanmıştır ($\tau = t_{teksel} - t_{darbe}$). Algılayıcının beş adet deney sonucuna göre $48 \pm 27 \mu sn$ içerisinde tepki verebildiği tespit edilmiştir.



Şekil 9. Algılayıcının tepki süresinin ölçümü ile ilgili örnek bir grafik

Tekselin dinamik bir tahrik kuvveti karşısında oluşan frekans tepkisi dinamik bir deney düzeneği kullanılarak ölçülmüştür. Bu test sırasında algılayıcı üzerine gelen kuvvet uyarımı Denklem 10 ile verilebilir.

$$L_{din} = L + L_o \sin(w_{tah}t) \quad 10$$

Burada;

L_{din} : Kuvvet Uyarımı

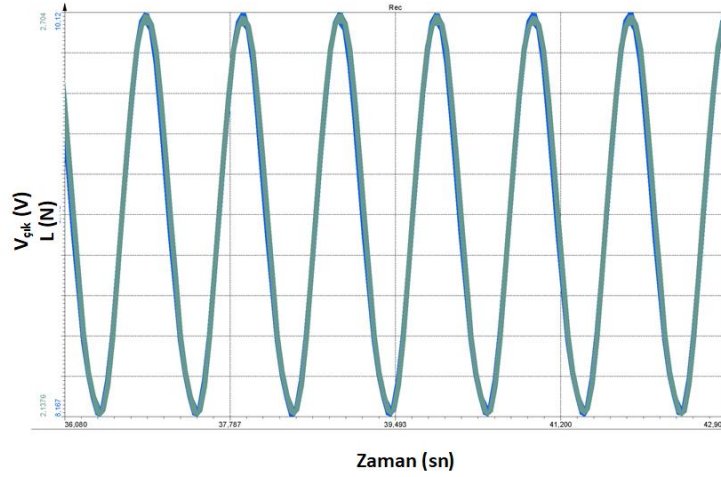
L : Ön yükleme kuvveti

L_o : Titreşim tahrik kuvvetinin genliği

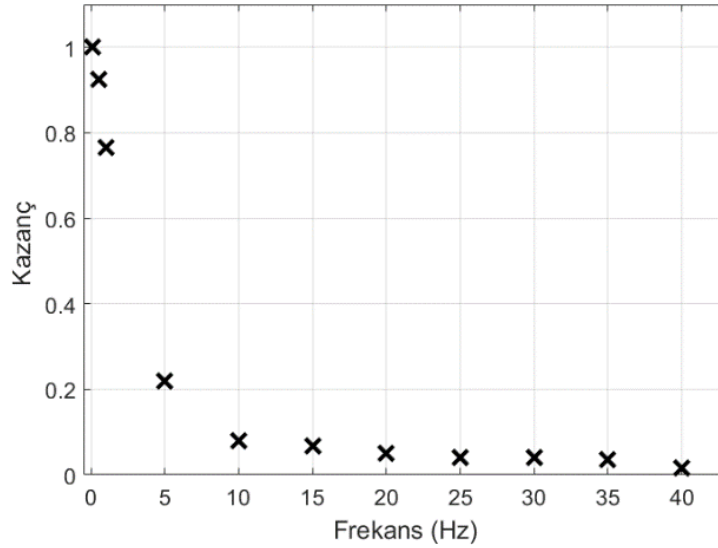
w_{tah} : Tahrik frekansı

t : Zaman

Tekselin 1Hz uyarım frekansı altında dinamik bir yüke olan tepkisi Şekil 10'da göstermektedir. Grafikten takip edilebileceği üzere teksel voltaj çıkışı referans ölçümlene algılayıcısının çıkışı olan kuvvet sinyalini yakından takip etmektedir ve algılayıcının ölçek faktörünün (tepeden tepeye gerilim çıkışının tepeden tepeye kuvvet algılayıcı çıkışına oranı) ortalama olarak 0.264 olduğu bulunmuştur. Ayrıca, dokunsal algılayıcının frekans tepkisi, Şekil 11'de gösterildiği gibi 0.1 ila 40Hz aralığında ölçülmüştür. Algılayıcının kazancı düz değildir ve monoton şekilde azalmaktadır. Bununla birlikte, 40Hz'e kadar voltaj çıkışında önemli bir bozulma gözlenmemiştir. Böylece, dokunsal algılayıcı istenen dinamik frekansa göre uygun şekilde kalibre edilebilirse dinamik temas basınç ölçümünde de kullanılabilir.



Şekil 10. Referans kuvvet algılayıcı sinyali (mavi) ile teksel voltaj çıkışının (yeşil) karşılaştırılması.



Şekil 11. Algılayıcının 0,1 Hz ile 40 Hz arasında gerçekleşen kazanç grafiğidir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Dokunsal algılayıcının esnekliği ve inceliği, iki temas eden katı yüzeyin temas kuvvetini / basıncını ölçmek için diğer yöntemlerle ulaşılamayan benzersiz ve olağanüstü bir yetenek sağlar. Bu nedenle dokunsal algılayıcı teknolojisinin kullanımı birçok bilimsel ve endüstriyel alanda yer bulmaktadır. Bu çalışmada dokunsal algılayıcı dizini içerisinde bulunan bir adet algılayıcının statik ve dinamik özellikleri bu tip algılayıcılar ile yapılan basınç ölçümlerinde ki doğruluğu arttırmak için incelenmiştir.

Bu çalışmada ilk olarak 64 tane teksele sahip algılayıcı dizini mikrofabrikasyon teknikleri kullanılarak üretilmiştir. Daha sonra, yükleme sırasında dokunsal algılayıcı dizinde bulunan teksellerin direnç değişimini elde etmek için bir sinyal tarayıcısı tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu tasarımda tekseller arası elektriksel konuşmayı önlemek amacı ile elektronik devrede sıfır potansiyel tarama yöntemi kullanılmıştır. Ardından, dokunsal algılayıcı dizini içerisinde bir tane teksel statik ve dinamik karakterizasyon yapmak amacı ile seçilmiştir. Bu amaçla iki adet özel yapım deney düzeneğinin tasarımı yapılmıştır. İlk test düzeneğinde, tekselin doğrusallık, tekrarlanabilirlik, histerezis ve zaman kayması gibi statik özellikleri ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda tekselin elektriksel iletkenliğini kuvvet ile ilişkilendiren transfer

fonksiyonu bulunmuştur. Buna göre algılayıcıya sıkıştırma yükü uygulandığında, tekselin elektriksel iletkenliği düşük kuvvetlerde doğrusal olmayan bir biçimde ve daha sonra ise ölçüm aralığında yaklaşık olarak doğrusal bir biçimde değişmektedir. Böylece, ince film algılayıcı yüklendiğinde yarı iletken bir özellik gösterir. Bu olguya ek olarak direncin kararlı bir şekilde değişmesi karakterize edilmiş ve algılayıcının ölçüm aralığı tespit edilmiştir. Teksell, esnek ve bükülebilir bir algılayıcı için kabul edilebilir sınırdaki olan %5.5 oranında bir doğruluğa sahiptir. İkinci test düzeneğinde ise tekselin dinamik özellikleri ölçülmüştür. İlk olarak algılayıcının tepki cevabı $48 \pm 27 \mu\text{s}$ olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla ile algılayıcı herhangi bir dış etkiye ortalama $48 \mu\text{s}$ içerisinde anlamlı olarak cevap verebilmektedir. Daha sonra algılayıcı 1Hz frekansında bir dinamik yük ile yüklenmiştir. Algılayıcının dinamik ölçek faktörü ortalama olarak 0.264 bulunmuştur. Ayrıca, algılayıcının 1Hz ile 40Hz arasında frekans tepkisi bulunmuştur. Tekselin kazancı düz değildir ve doğru kalibrasyondan sonra dinamik yük aralığında dikkatli bir şekilde kullanılabilir olduğu görülmüştür. Sonuç olarak dokunsal algılayıcı davranışı uygulamaya özeldir ve algılayıcının kullanımı farklı uygulama alanları için dikkatli olarak değerlendirilmelidir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Elektronik kart tasarım ve imalatı ile ilgili yardımlarından dolayı Berker Işık'a teşekkür ederim. Temiz oda ve algılayıcı imalat imkânlarını kullandırmasından dolayı Senslab A.Ş. firmasına şükranlarımı sunarım.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] İ. Mutlu, Y. Kişioğlu, M.Y. Çırpıcı, M.S. Müezzinoğlu, L. Buluç, Temas Basınç Sensörü Kalibrasyonu ve Kalibrasyon Eğrilerinin Karşılaştırılması, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 16 (2012) 361-365.
- [2] L. Zou, C. Ge, Z.J. Wang, E. Cretu, X. Li, Novel tactile sensor technology and smart tactile sensing systems: A review, Sensors, 17(11) (2017) 1–24.
- [3] H. Yousef, M. Boukallel, K. Althoefer, Tactile sensing for dexterous in-hand manipulation in robotics - A review, Sensors and Actuators A: Physical, 167(2) (2011) 171–187.
- [4] R.S. Dahiya, P. Mittendorfer, M. Valle, G. Cheng, V.J. Lumelsky, Directions toward effective utilization of tactile skin: A review, IEEE Sensors Journal, 13(11) (2013) 4121–4138.
- [5] R.S. Dahiya, M. Valle, Robotic Tactile Sensing, Springer Netherlands, Dordrecht, 2013.
- [6] C. Chi, X. Sun, N. Xue, T. Li, C. Liu, Recent progress in technologies for tactile sensors, Sensors, 18(4) (2018) 948 .
- [7] T. Dumbleton, A.W.P. Buis, A. McFadyen, B.F. McHugh, G. McKay, K.D. Murray, S. Sexton, Dynamic interface pressure distributions of two transtibial prosthetic socket concepts, Journal of Rehabilitation Research and Development, 46(3) (2009) 405.
- [8] A. TermehYousefi, S. Azhari, A. Khajeh, M.N. Hamidon, H. Tanaka, Development of haptic based piezoresistive artificial fingertip: Toward efficient tactile sensing systems for humanoids, Materials Science and Engineering C, 77 (2017) 1098–1103.
- [9] S. Stassi, V. Cauda, G. Canavese, C.F. Pirri, Flexible tactile sensing based on piezoresistive composites: A review, Sensors, 14(3) (2014) 5296–5332.
- [10] M. Chandra, S.Y. Ke, R. Chen, C.Y. Lo, Vertically stacked capacitive tactile sensor with more than quadrupled spatial resolution enhancement from planar arrangement, Sensors and Actuators A: Physical, 263 (2017) 386–390.
- [11] P. Maiolino, M. Maggiali, G. Cannata, G. Metta, L. Natale, A flexible and robust large scale capacitive tactile system for robots, IEEE Sensors Journal, 13(10) (2013) 3910–3917.
- [12] J. Lee, W. Choi, Y.K. Yoo, K.S. Hwang, S.M. Lee, S. Kang, J. Kim, J.H. Lee, A micro-fabricated force sensor using an all thin film piezoelectric active sensor, Sensors, 14(12) (2014) 22199–22207.

- [13] L. Seminara, L. Pinna, M. Capurro, M. Valle, A Tactile Sensing System Based on Arrays of Piezoelectric Polymer Transducers, *Smart Actuation and Sensing Systems – Recent Advances and Future Challenges*, (2012) 611–638.
- [14] T.P. Verma, Bite Force Recording Devices - A Review, *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 11(9) (2017) 37–45.
- [15] T.L. Chevalier, H. Hodgins, N. Chockalingam, Plantar pressure measurements using an in-shoe system and a pressure platform: A comparison, *Gait Posture*, 31(3) (2010) 397–399.
- [16] S. Bakbak, R. Kayacan, Hastalıkların Teşhis Ve Takibinde Kullanılan Yürüyüş Analiz Sistemleri, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 2(4) (2014) 323–332.
- [17] S.D. Senturia, *Microsystem Design*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2002.
- [18] J.C. Doll, B.L. Pruitt, *Piezoresistor Design and Applications*, Springer New York, New York, NY, 2013.

GPS L1 Signal Simulation and Interface Design

 Ahmet Esat SÜZER^{1,*} Hakan OKTAL¹
¹Eskisehir Technical University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Avionics, 26470, Tepebaşı/ESKİŞEHİR

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 25/01/2019

Revision 02/04/2019

Accepted: 16/04/2019

Highlights

- GPS civil signal simulation.
- Satellite signal processing.
- Flexible interface design

Keywords

 GPS
 Satellite Based Positioning
 Satellite Signal Simulation
 User Interface Design

The use of satellite-based positioning systems such as Global Positioning System (GPS) has become increasingly popular and these systems are becoming more and more common in all transportation modes, especially in air transportation. In this study, the simulation of GPS L1 civil signal is implemented and the user interface is designed to visualize the results and signal outputs. Signal processing techniques used in the simulation are implemented by means of MATLAB (Matrix Laboratory) R2015b and finally an interface is designed by using MATLAB-GUI (Graphical User Interface) to display the analyses results and the calculated receiver position. It is possible to analyze the signal output of each stage from the generation of the satellite signal to the decoding of the navigation message at the receiver. Since the developed user interface is flexible, it can also be used for testing and analyzing the performance of new signal processing technics on satellite-based navigation systems.

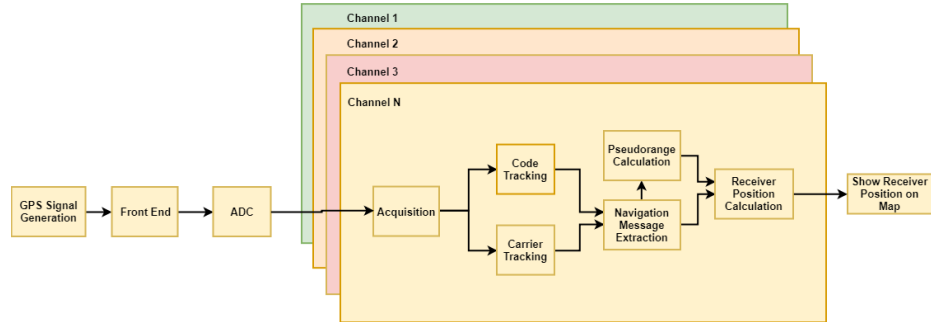


Figure A. Block diagram of GPS L1 signal simulation

Purpose: The aim of this study is to simulate GPS L1 civil signal and to design the user interface in order to explore working principle of the system and to analyze the effects of receiver clock error, Doppler frequency shift and medium noise on the accuracy of calculated receiver position.

Theory and Methods: GPS L1 signals are generated and broadcasted by the satellites. These signals reach to the receivers from the satellites in a noisy environment with Doppler frequency shifted and with delay. In receiver stage, after the coming signals are demodulated, navigation message which contains the data for the calculation of receiver position is obtained.

Results: In order to investigate the effect of noise on position error, the receiver position is calculated by adding the various signal to noise ratio (SNR) values to the GPS L1 signal. The simulation results show that, as the SNR of the signal decreases, the receiver position error increases. Also, the receiver position cannot be calculated after the specific SNR value.

Conclusion: In this study, almost all stages of GPS L1 signal processing are comprehensively simulated in MATLAB environment. In this framework, each stage from the generation of the satellite signal to the decoding of the navigation message at the receiver is implemented. When the simulation process is evaluated, it is observed that the receiver position error changes directly depending on SNR value of the received signal, also the receiver clock error and Doppler frequency shift contribute to this error partially. This study also enables to test new technologies and to analyze performance of different signal processing techniques used in satellite-based global positioning systems such as GPS, GLONASS, Galileo and Beidou.



GPS L1 Sinyal Simülasyonu ve Arayüz Tasarımı

Ahmet Esat SÜZER^{1,*} Hakan OKTAL¹

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Elektrik ve Elektronik Bölümü, 26470, Tepebaşı/ESKİŞEHİR

Öz

Bu Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System-GPS) gibi uydu tabanlı konum belirleme sistemlerinin, başta hava taşımacılığı olmak üzere, tüm taşımacılık türlerinde kullanımı her geçen gün daha da yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmanın amacı, GPS L1 sinyalinin simülasyonu ve kullanıcı arayüzü tasarımını gerçekleştirerek sistemin çalışma prensibinin tanıtılması yanında ortam gürültüsü, Doppler frekans kayması, alıcı saat hatası gibi faktörlerin alıcıda konum hesaplama hassasiyeti üzerine etkilerini ortaya koymaktır. Bu doğrultuda öncelikle uydulardan yayınlanan L1 sinyali üretilmiş ve daha sonra üretilen sinyallere ortam gürültüsü eklenerek alıcıya ulaşması sağlanmıştır. Alıcıya gelen sinyallerin demodülasyon işlemi sonucunda kullanıcının konum belirlemesine yardımcı olacak bilgileri içeren seyrüsefer mesajı elde edilmiştir. Simülasyonda kullanılan sinyal işleme teknikleri, MATLAB (Matrix Laboratory) R2015b programlama dili aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın son aşamasında ise alıcının gelen sinyallerden elde ettiği sonuçların ve konum bilgilerinin sunulabilmesi amacıyla MATLAB-GUI (Graphical User Interface) kullanılarak bir arayüz tasarlanmıştır. Geliştirilen arayüz ile kullanıcının hesaplanan ve gerçek konumunu harita üzerinde gösterilebilme ve alıcıda farklı sinyal işleme adımlarına ait dalga formlarını inceleyebilme imkânı sunulmuştur. Geliştirilen arayüz esnek bir yapıya sahip olup, uyduya dayalı küresel konum belirleme sistemlerinde yeni sinyal işleme tekniklerinin denenmesi ve performanslarının analiz edilmesi amacı ile de kullanılabilir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 25/01/2019
 Düzeltme: 02/04/2019
 Kabul: 16/04/2019

Anahtar Kelimeler

GPS
 Uyduya Dayalı Konum Belirleme
 Uydu Sinyal Simülasyonu
 Kullanıcı Arayüz Tasarımı

Keywords

GPS
 Satellite Based Positioning
 Satellite Signal Simulation
 User Interface Design

GPS L1 Signal Simulation and Interface Design

Abstract

The use of satellite-based positioning systems such as Global Positioning System (GPS) has become increasingly popular and these systems are becoming more and more common in all transportation modes, especially in air transportation. The aim of this study is to simulate GPS L1 civil signal and to design the user interface in order to explore working principle of the system and to analyse the effects of receiver clock error, Doppler frequency shift and medium noise on the accuracy of calculated receiver position. In this framework, first of all, L1 signal transmitted by the satellites is generated and then these signals are transferred to the receiver by interfering with the noise. In receiver stage, after the coming signals are demodulated, navigation message which contains necessary information for the calculation of receiver position is obtained. Signal processing techniques used in the simulation are implemented by means of MATLAB (Matrix Laboratory) R2015b and finally an interface is designed by using MATLAB-GUI (Graphical User Interface) to display the analyses results and the calculated receiver position. By using designed interface, it is possible to display the calculated and the real receiver positions on the map and to analyse the signal waveforms related to different signal processing stages in receiver. Since the user interface developed is flexible, it can also be used for testing and analysing the performance of new signal processing technics on satellite-based navigation systems.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

1990'lı yılların başından itibaren popüler olmaya başlayan küresel uydu seyrüsefer sistemleri (Global Navigation Satellite Systems-GNSS) günümüzde hem sivil, hem askeri birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Önceleri sadece askeri amaçlı kullanılan uydu temelli seyrüsefer sistemleri, zaman içerisinde sivil kullanıma da açılmış, tüm ulaşım türlerinde küresel boyutta seyrüsefer yardımcısı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Farklı ülkeler tarafından geliştirilmiş uydu temelli küresel konum belirleme sistemlerinden birisi de ABD tarafından geliştirilen GPS'tir. Başlangıçta 21 operasyonel 3 yedek toplam

24 uydu ile hizmet vermesi planlanan sistem, şimdilerde toplam 31 operasyonel uydu ile kullanıcılarına hizmet vermektedir. Günümüzde GPS uyduları, mevcut L1 (1575,42 MHz) ve L2 (1227,60 MHz) frekansına ilave olarak L5 (1176,45 MHz) frekansının da eklenmesi ile toplam üç farklı frekanstan yayın yapmaktadır.

GPS uzay, kontrol ve kullanıcı olmak üzere üç temel bölümden meydana gelir. Uzay bölümü, kullanıcılara üç boyutlu konum ve hızlarını hesaplamalarına yardımcı olan seyrüsefer bilgilerini gönderen uydulardan oluşur [2]. Kullanıcı bölümü sivil ve askeri amaçlı zaman, konum ve hız bilgilerini sağlayan alıcılardan oluşur. Kontrol bölümünün ana işlevi uydu saatlerini ayarlama, uydu yörüngelerinde meydana gelen sapmaları düzeltme, GPS uydularını izleme, seyrüsefer mesajının içeriğinde oluşan hataları düzeltip güncelleme, uyduların saat hatalarını belirleme ve düzeltme, batarya şarj durumunu, yörünge bilgilerini, uydu sağlık durumunu ve doğru çalışıp çalışmadığını kontrol etme olarak sıralanabilir [3]. Diğer görevi ise uydularda herhangi bir problem yaşandığında yedek uyduyu devreye sokmaktır [4].

Bu çalışmanın amacı, uydudan yayınlanan GPS L1 sivil sinyalinin üretiminden faydalı seyrüsefer bilgisine dönüştürülene kadar geçen süreçteki işlem adımlarını içeren bir kullanıcı arayüzü tasarlayarak ortam gürültüsü, alıcı saat hatası, Doppler frekans kayması gibi hesaplanan konum bilgisinin hassasiyetini etkileyebilecek faktörlerin analiz edilmesidir. Bu doğrultuda öncelikle kullanıcı tarafından seçilen dört uyduda L1 sinyali üretilmiş ve daha sonra üretilen sinyallere ortam gürültüsü, alıcı saat hatası ve Doppler frekans kaymaları eklenerek konum hesaplama işlemi başlatılmıştır. Alıcıya gelen sinyallerin demodülasyon işlemi sonucunda kullanıcı için son derece önemli bilgiler içeren seyrüsefer mesajı elde edilmiştir. Simülasyonda kullanılan sinyal işleme teknikleri, MATLAB R2015b programlama dili aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Son aşamada da alıcının gelen sinyallerden elde ettiği sonuçlar ve konum bilgilerinin sunulabilmesi amacıyla MATLAB-GUI kullanılarak, elde edilen analiz sonuçları görselleştirilmiştir. Ayrıca geliştirilen arayüz ile kullanıcının hesaplanan ve gerçek konumunun harita üzerinde karşılaştırılabilmesi imkânı sağlanmış, uydu sinyalinin üretiminden alıcıda seyrüsefer mesajının elde edilmesine kadar olan süreçte gerçekleştirilen işlemlere ait sinyal çıktılarını inceleme imkânı sunulmuştur.

GPS sinyali ile ilgili yazılım tabanlı çalışmalar incelendiğinde, çoğunlukla gerçek GPS sinyali için alıcı tasarımı, alıcıda seyrüsefer mesajının elde edilmesi, uydu sinyalini yakalama ve izleme konuları üzerine odaklanılmıştır. Elango vd. [5], çalışmalarında çoklu yol etkisini de dikkate alarak gerçek GPS sinyalinden yazılım tabanlı seyrüsefer mesajını elde etmişlerdir. Abhishek vd. [6], Zubaroğlu [7], Akopian vd. [8], Günaydn [9] ve Dong [10], GPS L1 C/A sinyali için gerçek GPS sinyallerini kullanarak sinyal yakalama ve izleme aşamalarını da kapsayan yazılım tabanlı bir alıcı tasarlamışlardır. Kassas vd. [11], LabVIEW programlama dilini kullanarak GPS sinyal yakalama ve izleme aşamalarını yazılım tabanlı olarak gerçekleştirmiş, Ma vd. [12] ise yaptığı simülasyon ile gerçek ve yazılım tabanlı oluşturulan GPS sinyallerini kullanarak yakalama ve izleme performanslarını incelemiştir. Bright [13], GPS L2 C sinyalinin yakalama ve izleme aşamalarını MATLAB ortamında gerçekleştirmiş ve L1 alıcısına göre performansını karşılaştırmıştır. Rao vd. [14], GPS ve Galileo sinyallerini eş zamanlı olarak işleyebilen yazılım tabanlı bir alıcı geliştirmiştir. Campana vd. [15], GPS/Galileo için SIMULINK ortamında gürültü etkisini de dikkate alarak verici ve alıcı aşamalarını gerçekleştirmiştir. Borre vd. [16], GPS ve Galileo L1 sinyalini SIMULINK ortamında, Aguilar [17] ise MATLAB ve VHDL kullanarak üretmiştir. Guo vd. [18], donanımsal olarak elde edilen Ara Frekans (Intermediate Frequency-IF) sinyalini gecikme zamanı, Doppler frekans kayması, gürültü gibi etkileri dikkate alarak üretmiş ve gerçek GPS IF sinyali ile karşılaştırarak simülasyonun doğruluğunu test etmiştir.

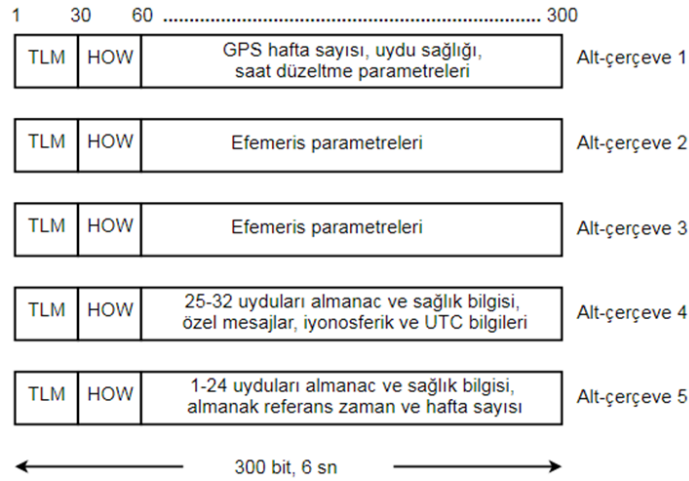
Yapılan çalışmalardan da görüleceği üzere, uydu seyrüsefer sistemlerinin verici ve alıcılarında yazılım tabanlı sinyal üretimi ile ilgili olarak sinyal simülasyonundan çok, gerçek uydu sinyali kullanılarak alıcı tasarımı üzerine odaklanılmıştır. Yapılan bu çalışmada ise GPS L1 sinyalinin üretimi ve alıcıda çözümlenmesi yanında geliştirilen arayüz sayesinde deneysel bir analiz ortamı yaratılarak farklı sinyal işleme tekniklerinin ve algoritmalarının denenmesi imkânı yaratılmıştır.

2. GPS SİNYAL YAPISI (GPS SIGNAL STRUCTURE)

GPS kullanıcılarına, dünya üzerindeki her noktada, her türlü hava koşulunda, kesintisiz olarak ve yüksek doğrulukta 3 boyutlu konum, hız ve zaman bilgilerini sağlar [7]. Her GPS uydusu L1 ve L2 frekansında yayın yapar. L5 ise yeni nesil Block IIF uydularından yayınlanan sivil amaçlı yeni bir sinyal olup, hava araçlarının güvenliği amacıyla kullanılması planlanmaktadır. GPS uydularının kullanıcılara gönderdiği sinyal, herhangi bir bilgi içermeyen Sözde Rasgele Gürültü (Pseudo Random Noise-PRN) kodu ve seyrüsefer mesajından oluşur.

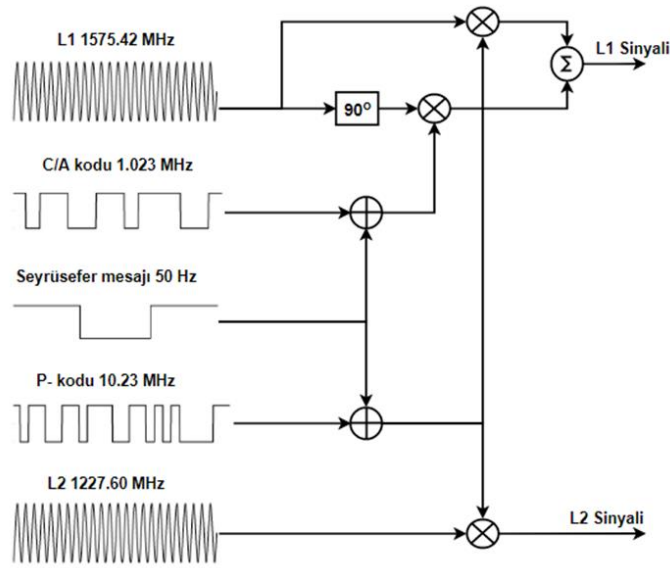
0 ve 1 sayılarından meydana gelen PRN kodu, rasgele bir sayı dizisine benzemekte olup belirli bir algoritma veya kurala göre kayan yazmaç (shift register) kullanılarak üretilir [19]. Uydularda PRN kodları kayan yazmaçlardaki farklı hücrelerden alınan çıkış bitleri sayesinde birbirinden farklılık gösterir [19]. PRN kodları sadece sinyalin alındığı uyduyu belirlemez, bunun yanında alıcı ve uydu arasındaki mesafeyi hesaplamak için de kullanılır. Geleneksel GPS uydularında iki farklı PRN kodu bulunur. Birincisi sivil kullanıcılar için C/A kodu (Coarse Acquisition), diğeri ise askeri uygulamalar için P- (Precision) kodudur. L1 taşıyıcı frekansı üzerine sözü edilen iki PRN kodu ve seyrüsefer mesajı bindirilir. L2 taşıyıcı frekansı ise yalnızca P kodu ve seyrüsefer mesajından oluşur [2,7].

Seyrüsefer mesajı, kullanıcıya görünür uyduların hassas konumunu ve iletilen sinyalin zamanını hesaplamak için önemli bilgiler sağlar, aynı zamanda mesafe ölçüm hatasını etkileyen birçok hata kaynağı ile ilgili düzeltmeler içerir [4]. Veri hızı 50 bps (bit per second) olan seyrüsefer mesajı, 1500 bit uzunluğa sahip çerçevelerden (frame) oluşur. Bir çerçevenin iletim süresi 30 saniyedir. Her bir çerçeve beş alt-çerçeveye (sub-frame) ayrılır. Bir alt-çerçeve 300 bit uzunluğunda ve süresi 6 saniyedir. Her bir alt-çerçeve 30 bit uzunlukta on kelimededen (word) oluşur [2]. Alt-çerçeve 1, 2 ve 3 her çerçevede sürekli olarak tekrar eder. Fakat alt-çerçeve 4 ve 5'de aynı yapıya sahip farklı veriler içeren toplam 25 sayfadan (page) oluşur. Seyrüsefer mesajının tamamının alınması için gerekli süre 12,5 dakikadır [16]. Şekil 1'de çerçeve, alt-çerçeve ile kelimelerin yapısı ve içerdikleri seyrüsefer mesajı gösterilmektedir.



Şekil 1. Seyrüsefer mesaj yapısı

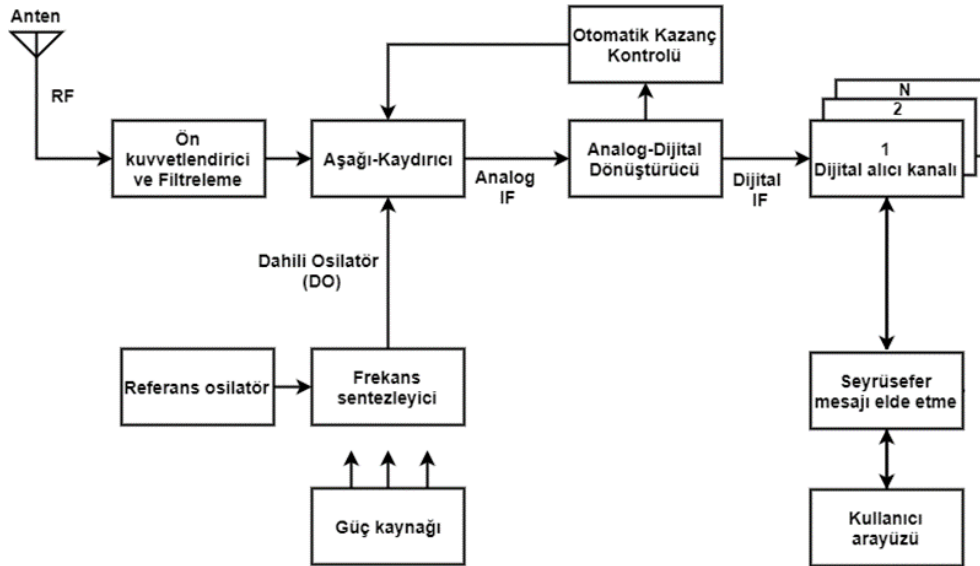
GPS uydularında PRN kodu ve seyrüsefer mesajından oluşan L1 ve L2 sinyalini kullanıcılara iletmek için bir faz modülasyonu türü olan İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama (Binary Phase Shift Keying-BPSK) tekniği kullanılır. Kısaca BPSK, giriş sinyalinin 0 ve 1 olmasına bağlı olarak taşıyıcı sinyalin fazının 180° değiştiği modülasyon türüdür. Taşıyıcı sinyalin fazında değişim gerçekleşebilmesi için BPSK modülasyonunda 0 ve 1 ikili sayılarının Sıfıra Dönmeyen Kodlama (Non-Return-to-Zero Encoding) ile -1 ve 1 sayılarına çevrilmesi gerekir. Söz konusu dönüşüm gerçekleştiği takdirde 1 değeri -1 olarak, 0 değeri ise +1 olarak elde edilir. GPS L1 sinyali C/A ve P-kodları ile seyrüsefer mesajından oluşurken, L2 sinyali sadece P-kodu ve seyrüsefer mesajından oluşur. GPS sinyalinin üretimini gösteren blok diyagramı Şekil 2'de gösterilmiştir. Buradan da görüldüğü üzere, L1 sinyali hem C/A kodlu, hem de 90° faz farklı P- kodlu seyrüsefer mesajından oluşurken, L2 sinyali sadece P- kodlu seyrüsefer mesajını içerir.



Şekil 2. GPS bileşke sinyal üretimi

3. GPS ALICI YAPISI (GPS RECEIVER STRUCTURE)

GPS alıcısı, GPS uydularının yayınladığı sinyali alıp kullanıcının konum, hız ve zaman bilgilerini hesaplayan aygıtlardır. Geçmişte GPS alıcıları sadece donanımsal olarak üretilirken, günümüzde yazılım tabanlı alıcıların üretimi de her geçen gün artmaktadır. Alıcıda, uydulardan gelen sinyali kullanıcı açısından faydalı bilgiye dönüştürme işlemi çeşitli basamaklardan oluşur. Bu basamaklar genellikle bütün alıcı yapılarında aynı olmasına rağmen tasarım kriterlerine göre bazı farklılıklar gösterebilmektedir. Şekil 3’de genel bir GPS alıcı blok şeması verilmiştir.



Şekil 3. GPS alıcı blok şeması

GPS sinyalleri dairesel polarizasyonlu olup, sağ el polarizasyona sahip antenler ile alınır. Antenden gelen sinyalin gücü oldukça düşüktür. Bu yüzden alıcılarda genellikle antenden sonra sinyal gücünü artırmak için ön kuvvetlendiriciler kullanılır. Radyo frekans (Radio Frequency-RF) sinyalinin frekansı çok yüksek olmasından dolayı alıcıda işlem yapmak oldukça zordur. Bunun üstesinden gelmek için Aşağı Kaydırıcı (Down-Converter) kullanılarak aynı sinyal daha düşük frekans değeri olan IF sinyaline dönüştürülür. Bu işlem sonucunda sinyalin içeriğinde bir değişiklik olmayıp sadece gelen sinyal, daha düşük bir frekans değerine indirilir.

Analog bir sinyalin işlenmesi çok karmaşık ve donanım gerektiren bir durum olduğu için Analog-Sayısal Dönüştürücüler (Analog to Digital Converter-ADC) aşağı kaydırma işleminden gelen analog IF sinyalini sayısala dönüştürür ve sinyal işleme tekniklerinin daha rahat kullanımına olanak sağlar [20]. Otomatik Kazanç Kontrolü (Automatic Gain Control-AGC) ise, ADC'deki bit sayısını en etkili şekilde kullanmak üzere giriş dalga formunun seviyesini ADC'ye göre ayarlamak için kullanılır [20]. ADC çıkışında elde edilen sayısal IF sinyalin hangi uydudan geldiğinin belirlenmesi ve takibi için alıcının kapsama alanındaki her bir sinyal bir kanala alınarak analiz edilmeye başlanır. Alıcı tarafından görünür durumdaki uydulardan gelen sinyallerin kod gecikmesinin ve taşıyıcı frekansının belirlenmesi aşaması, sayısal alıcı kanalları içerisinde gerçekleştirilir [16]. Uydudan gelen sinyalin frekansı Doppler etkisinden dolayı nominal değerinden farklılık gösterir. Uydular açısından dünya üzerindeki sabit kullanıcı için en fazla ± 5 kHz, mobil kullanıcı için ise ± 10 kHz frekans kayması meydana gelir.

Uydu ile kullanıcı arasındaki mesafeden dolayı gelen sinyal belirli bir gecikme ile alınır. Bunun sonucunda gelen sinyal içerisinde yer alan PRN kodunda gecikme meydana gelir. Bu durum kod gecikmesi olarak adlandırılır. Sinyalin alıcıya ulaştığı anda 1023 çip uzunluğundaki PRN kodunda meydana gelen gecikmenin belirlenmesi hem sinyalin doğru olarak çözülmesi, hem de alıcı ile uydu arasındaki mesafenin doğru olarak hesaplanması açısından son derece önemlidir [8]. Uydudan gönderilen sinyal frekansındaki değişim ve kod gecikmesini belirlemek için farklı korelasyon teknikleri kullanılır [16]. Uyduların yakalanması işlemi esnasında her uydudan gelen sinyalin taşıyıcı frekansı, PRN kodu ve kod gecikmesi bulunduktan sonra sinyal izleme aşamasına geçilir. İzleme işleminin amacı, zamanla değişen sözü geçen bilgileri daha hassas bir şekilde bulmak, takip etmek ve sinyaldeki kullanıcı açısından önemli olan seyrüsefer bilgisini elde etmektir [16,19]. Bu amaç için kod ve taşıyıcı frekans/fazı olmak üzere iki izleme döngüsü kullanılır.

Alıcıda ilgili uyduya ait C/A kodu yakalandıktan sonra faz değişimleri takip edilerek ilk bit değişiminin olduğu (+1'den -1'e ya da tam tersi) yer bulunur ve buradan başlanarak her 20 milisaniyelik bölümden bir seyrüsefer mesaj biti elde edilir [7,16]. İzleme döngüsünden gelen sinyal anlatılan işlemler sonucunda 50 Hz'lik bit dizisine çevrilerek seyrüsefer mesajı elde edilir.

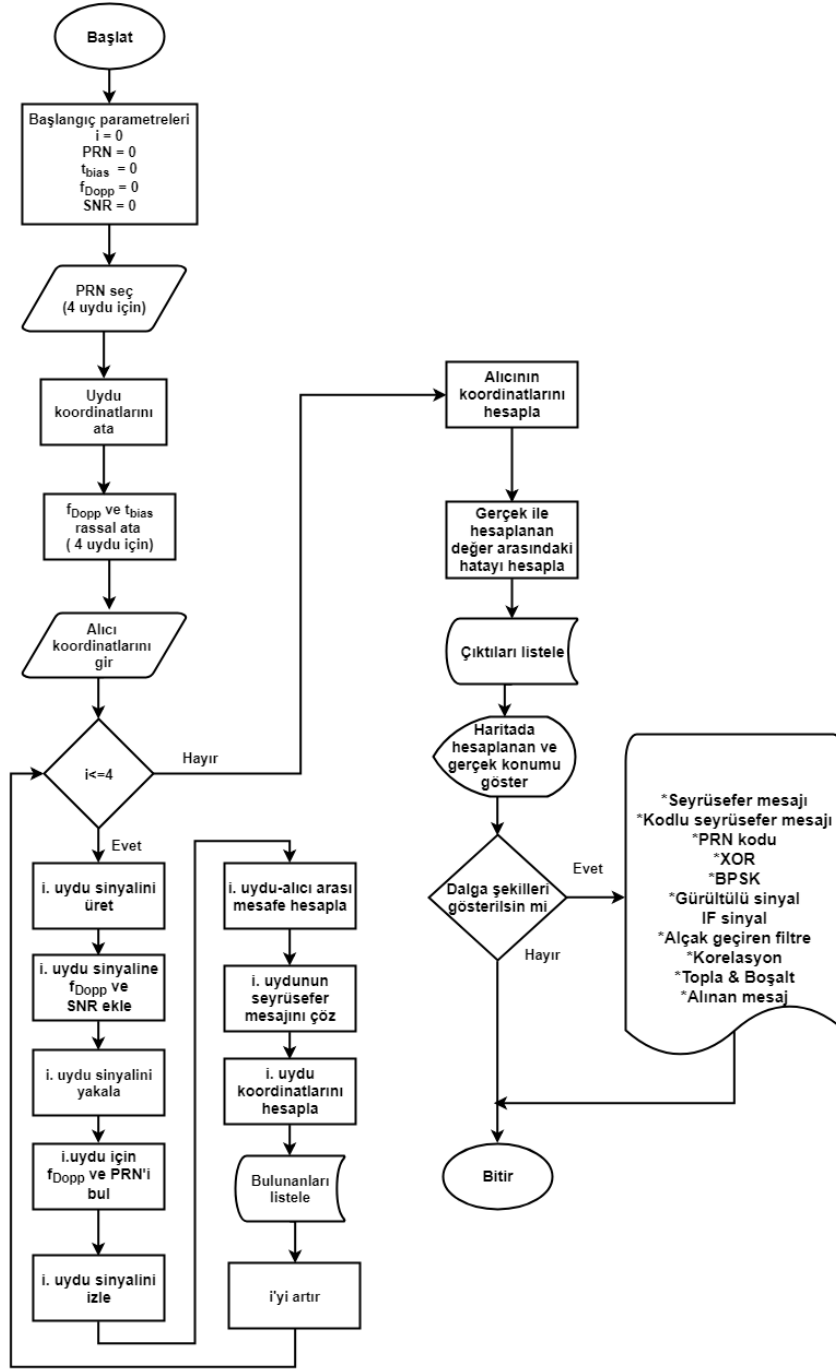
Konum hesaplamadan önce belirlenmesi gereken en önemli büyüklük alıcı ve uydu arasındaki mesafedir. Alıcı ve uydu saatlerinin senkronize olmamasından kaynaklanan hatadan dolayı alıcı ile uydu arasındaki uzaklık olması gerekenden farklı çıkmakta ve bu büyüklük de sözde-menzil (pseudorange) olarak ifade edilir. Pseudorange, uydudan gönderilen sinyalin çıkış zamanı ile alıcıya varış zamanı arasında geçen sürenin ışık hızı ile çarpılması sonucu hesaplanır. Pseudorange değeri hesaplandıktan sonra, uyduların yörünge üzerindeki koordinatlarını bulmaya yarayan ve seyrüsefer mesajı ile yayınlanan yörünge parametreleri (efemeris) kullanılarak kullanıcının konumu belirlenir.

4. GPS SİNYAL SİMÜLASYONU (GPS SIGNAL SIMULATION)

GPS L1 sinyalinin simülasyonu için MATLAB ortamında gerçekleştirilen adımlar Şekil 4'deki akış diyagramında gösterilmiştir. Simülasyonda başlangıç parametreleri olan PRN kodu PRN , alıcı saat hatası t_{bias} , Doppler frekans kayması f_{Dopp} , Sinyal-Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio) SNR değişkenleri tanımlanır. Daha sonra kullanıcı tarafından keyfi olarak 1'den 32'ye kadar olan PRN kodları arasından seçim yapılır. Oluşturulan veri tabanından, seçilen uydulara ait anlık (X,Y,Z) koordinatları otomatik olarak atanır. Tanımlanan aralık çerçevesinde f_{Dopp} ve t_{bias} rassal olarak atanırken SNR kullanıcı tarafından belirlenir. Daha sonraki adımda alıcının gerçek konum bilgisi, enlem ve boylam olarak derece cinsinden girilir.

Ön hazırlık aşamasında belirlenen büyüklükler kullanılarak her bir uydu için GPS L1 sinyali üretilir. Sinyale alıcıda kullanıcı tarafından atanan f_{Dopp} , t_{bias} ve SNR değerleri eklenir. İlgili uyduya ait PRN kodu ve f_{Dopp} belirlendikten sonra uydu-alıcı arası mesafe hesaplanır. Seyrüsefer mesajı çözülerek ilgili uyduya ait koordinatlar belirlenir. Sinyal üretimi ve alıcıda çözümlenmesi işlemi 4 uydu için tekrarlanır. Uyduların konumu belirlendikten sonra alıcının koordinatları hesaplanarak gerçek ve hesaplanan konum arasındaki hata saptanır. İstendiği takdirde her bir aşamadaki sinyal yapıları görselleştirilir.

Akış diyagramı referans alınarak simülasyonda gerçekleştirilen işlemler, kullanılan parametreler ve teknikler, başlıklar halinde ilerleyen bölümlerde daha ayrıntılı olarak açıklanmıştır.



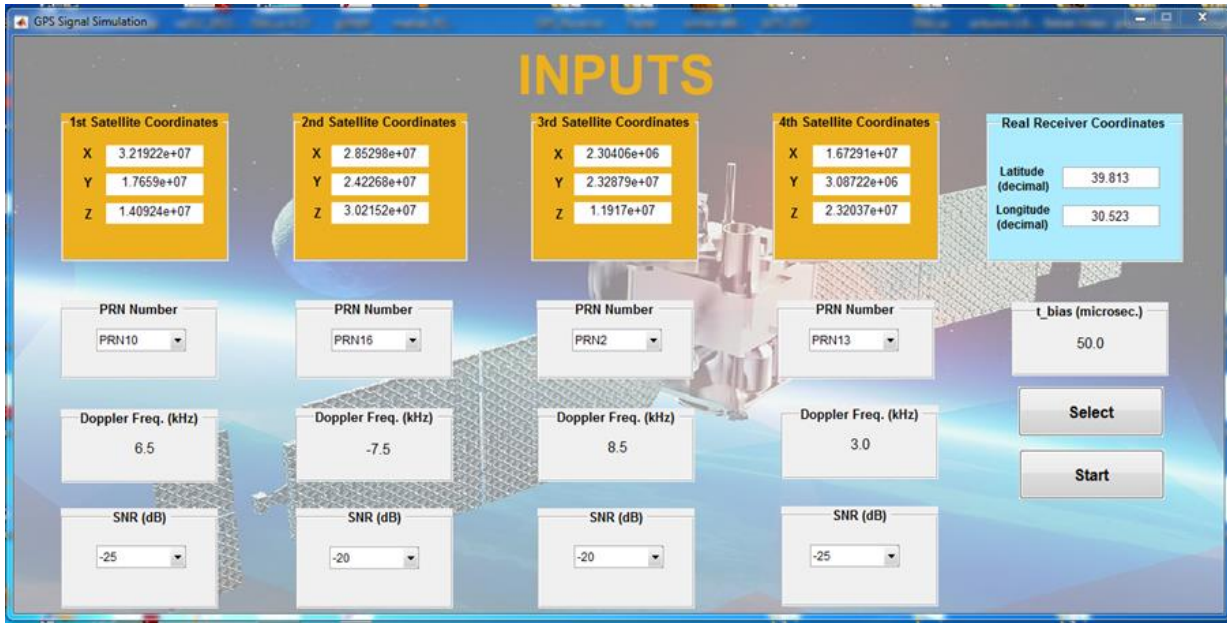
Şekil 4. GPS sinyal simülasyonu akış diyagramı

4.1. Başlangıç Ekranı (Input Screen)

Dört farklı uydunun kullanıcı tarafından keyfi olarak seçilen PRN kodları, dB cinsinden SNR ile gerçek uydular referans alınarak rassal atanan Doppler frekansı ve alıcı saat hatasının belirlendiği bölümdür. Simülasyonun gerçek dünya ile tam olarak uyumlu olabilmesi için kullanıcı 1'den 32'ye kadar olan PRN kodları arasında tercih yapabilir. Uygun olmayan uydu koordinat bilgisi girilmesinin önüne geçmek için kullanıcı tarafından seçilen PRN koduna bağlı olarak, gerçek GPS uydularına ait kartezyen koordinat bilgileri referans alınarak oluşturulmuş veri tabanından ilgili uyduya ait anlık (X,Y,Z) koordinatları otomatik olarak atanır. Kullanıcının aldığı GPS sinyalinin ortalama SNR değeri -29 ve -21 dB arasında değişir [21]. Bu durum dikkate alınarak başlangıç parametrelerinde gerekli olan SNR değerinin skalası -40 ile 0 dB arasında geniş bir aralık alınarak istenilen gürültü seviyesinde sinyal üretme ve bu sayede gürültünün sinyale olan etkisini inceleme imkânı sunulur. 4 uydu için PRN kodları ve SNR değerleri

belirlendikten sonra alıcının enlem ve boylam bilgilerinin girilmesi gerekir. Böylece uydulardan gelen sinyalleri çözüp seyrüsefer mesajını kullanarak hesaplanan konum bilgisi ile gerçek konum bilgisi arasındaki hata karşılaştırılır.

Simülasyonu başlatmadan önceki son adımda, Doppler frekansı ve alıcı saat hatasını belirlenir. Bu çalışmada kullanıcının mobil olduğu varsayılarak Doppler frekansı ± 10 kHz arasında alınmıştır. Uydu ve alıcı hareketine bağlı olarak değişiklik gösteren Doppler frekansı, 'Seç (Select)' butonuna basıldığında her bir uyduya ± 10 kHz aralığında rassal olacak şekilde atanır. Uydu ve alıcı saat senkronizasyon hatası büyüklüğün etkisi de göz önünde bulundurularak gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında alıcı saat hatası, başlangıç parametrelerinde yer alan 't_bias' bölümünde gösterilir. Alıcı saat hatası, alıcının kullandığı dahili saatten kaynaklanan bir hatadır. Bu yüzden de alıcı saat hatası için herhangi bir tipik değer söz konusu değildir. Bu durum dikkate alınarak alıcı saat hatası, 10 ile 50 mikro saniye arasında makul bir aralık belirlenmiştir. Seç butonuna basıldığında 't_bias' bölümüne 10 ile 50 mikro saniye aralığında rassal bir sayı, alıcı saat hatası olarak atanır. Simülasyonun ön hazırlık evresi olan başlangıç parametrelerinin tamamı girildikten sonra 'Başlat (Start)' butonuna basılarak simülasyon çalıştırılır. Şekil 5'de simülasyon için gerekli parametrelerin seçildiği başlangıç ekranı verilmiştir.



Şekil 5. Başlangıç ekranı

4.2. GPS Sinyal Üretimi (GPS Signal Generation)

Başlangıç parametrelerinin girilip simülasyonun çalıştırılması sonrası gerçekleştirilen ilk adım, uydulardan yayınlanan GPS L1 sinyalinin üretilmesidir. Bu aşamada sinyal üretimi için gerekli parametreler, seyrüsefer mesajını oluşturan uydu koordinat bilgileri ve PRN kodudur. Seyrüsefer mesaj yapısı uydu koordinatları, iyonosferik hata düzeltmesi, saat düzeltmesi gibi detaylı bilgiler içerir. Bu yüzden seyrüsefer mesajını oluşturmak için bazı matematiksel dönüşüm ve hesaplamaların yapılması gerekir.

Simülasyon çalışmasında işlem kolaylığı olması açısından seyrüsefer mesajı sadece uydunun koordinat bilgileri kullanılarak oluşturulur. Onluk tabanda girilen kartezyen koordinat (X,Y,Z) bilgileri, ikilik (binary) tabana dönüştürülerek seyrüsefer mesajı elde edilir. GPS'te kullanılan Hamming tekniği, alınan sinyalde herhangi bir hata olup olmadığını tespit etmek için kullanılan hata ayıklama yöntemlerinden birisidir. Seyrüsefer mesajının Hamming ile kodlanması sonucu 5,040 saniye uzunluğunda kodlu seyrüsefer mesajı elde edilir. Daha sonra kodlu sinyale, aynı süreye sahip PRN kodu ile Özel Veya (Exclusive OR-XOR) işlemi uygulanıp, oluşan sinyal BPSK modülasyonu kullanılarak 1575,42 MHz frekanslı taşıyıcı sinyal üzerine bindirilerek alıcılara gönderilir.

4.3. Alıcı Kanalı (Receiver Channel)

GPS uydularının gönderdiği sinyaller uzay boşluğundan alıcıya ulaşana kadar birçok bozucu etkiye maruz kalır ve bunun sonucunda da kullanıcı gürültülü bir sinyal alır. Kanal aşaması, üretilen sinyale gürültü, alıcı-uydu arasındaki mesafeden kaynaklanan gecikme süresi ve Doppler frekansının eklendiği bölümdür. Gürültü eklemek için sinyale Toplanır Beyaz Gauss Gürültü (Additive White Gauss Noise-AWGN) kanal modeli uygulanır. Simülasyonda başlangıç parametrelerinde her bir uyduya rassal olarak atanan Doppler frekansı, uydudan gönderilen sinyal frekansının (1575,42 MHz) Doppler frekansı kadar değiştirilmesi ile sisteme dahil edilir. Uydu ile alıcı arasındaki mesafeden dolayı uydudan gönderilen sinyal alıcıya belirli bir gecikme süresi ile ulaşır. Belirli gecikme süresi, başlangıçta girilen alıcı ile uydu arasındaki uzaklığın ışık hızına bölünmesi ile gecikme süresi hesaplanır. Daha sonra bu gecikme süresine denk gelecek şekilde PRN koduna çip gecikmesi uygulanır.

4.4. Sinyal Çözümleme (Signal Decoding)

Uydulardan gelen sinyalin alıcı tarafından çözülmesinden seyrüsefer mesajını elde etme sürecine kadar gerçekleşen aşamaları içerir. Uydudan gelen sinyalin (1575,42 MHz \pm Doppler frekansı) frekansının çok yüksek olması ve temel bant işlemlerinin kolay yapılabilmesi için daha düşük frekansa sahip IF sinyaline dönüştürülmesi gerekir. Uygulamalarda donanım elemanları ile gerçekleştirilen aşağı kaydırma işlemi, yazılım tabanlı simülasyon çalışması çerçevesinde yapay olarak MATLAB ortamında gerçekleştirilir. Aşağı kaydırma işlemi tamamlandıktan sonraki ilk adım sinyal yakalamadır. Yapılan çalışmada, diğer metotlara göre daha hızlı ve uygulaması açısından daha kolay olan Paralel Kod Fazı Arama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde 500 Hz aralıklarla üretilen taşıyıcı sinyal ve PRN kodları kullanılarak 41 (10 kHz / 500 Hz +1) adımda sinyal yakalama aşaması tamamlanır. Bu işlem sonucunda en yüksek korelasyon değerine sahip olan sonuç dikkate alınır ve buna göre gelen sinyalin PRN kodu, Doppler frekansı ve taşıyıcı frekansı belirlenir. Daha sonra belirlenen PRN kodu ile dahili olarak üretilen aynı PRN kodu arasında oto korelasyon işlemi uygulanması sonucu kod gecikmesi tespit edilir. Elde edilen gecikme süresi ışık hızı ile çarpıldığında alıcı-uydu arası mesafe hesaplanır.

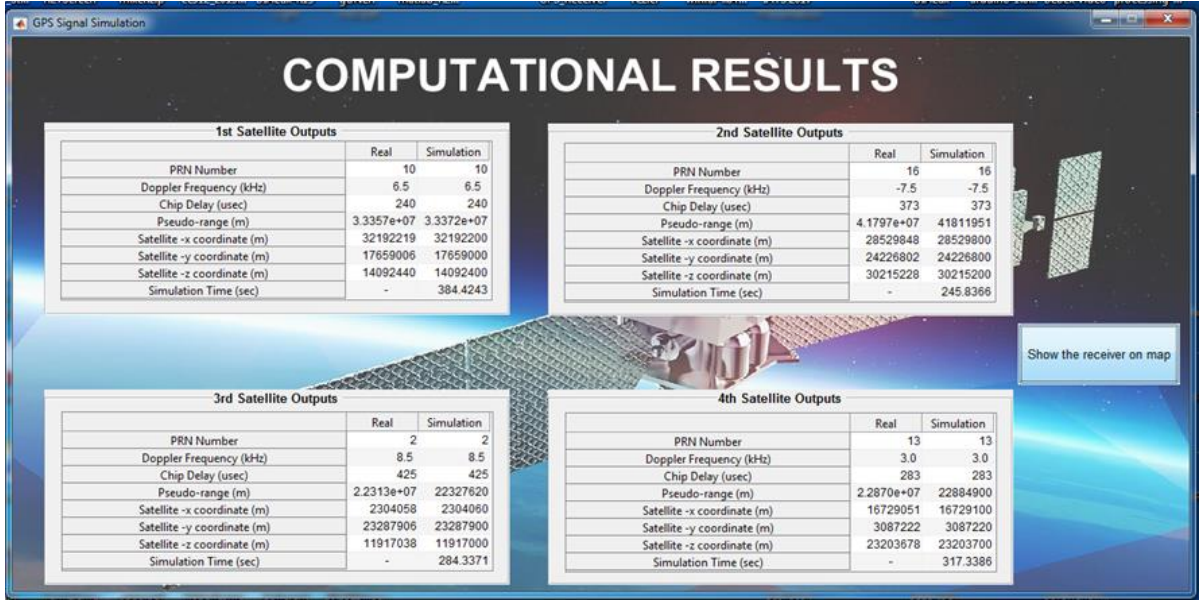
Sinyal yakalama işlemi tamamlandıktan sonra, gelen sinyaldeki seyrüsefer mesaj bitlerini belirleme aşamasına geçilir. Bunun için gelen sinyalin frekans ve fazının belirlenmesi gerekir. Daha önce söz edildiği gibi faz ve frekans izleme döngüleri bu amaç için kullanılır. Alıcıda IF ile aynı frekanslı bir sinyal üretilerek gelen sinyal ile çarpılır. Elde edilen sinyalin bir periyotluk PRN kodu uzunluğuna denk gelen 1 milisaniye süresince integralinin alınması sonucu oluşan, önceden belirlenen eşik değeri olan 0'dan büyük ise 1, küçük ise 0 olarak değerlendirilerek sinyal ikilik tabana dönüştürülür. Bu işlemin sonucunda elde edilen sinyal hem PRN kodu, hem de seyrüsefer mesajını içerir. Seyrüsefer mesajını elde etmek için sinyal PRN kodundan ayrılarak seyrüsefer mesajındaki hataları ayıklayıp doğru olarak belirlemek için sinyale Hamming kod çözme işlemi uygulanır ve bu işlemin sonucunda seyrüsefer mesajı elde edilir. Seyrüsefer mesajının ikilik tabandan onluk tabana dönüştürülmesi sonucu uyduların X, Y, Z koordinatları belirlenir. Alıcının konumunu hesaplayabilmesi için en az dört farklı uydudan sinyal alması gerektiğinden bu adımlar dört farklı uydu için tekrarlanır. Şekil 6'da 4 uydu için alıcı kanal çıkışlarından elde edilen hesaplama sonuçları verilmiştir.

4.5. Konum Hesaplama (Position Calculation)

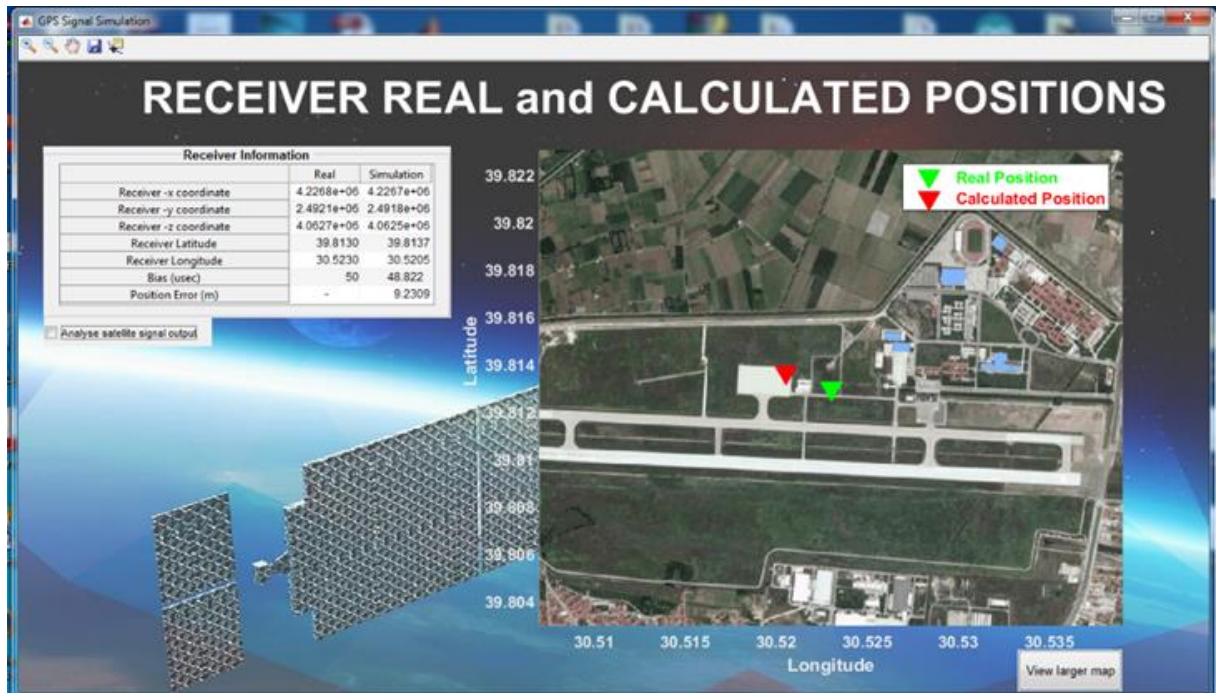
Bu bölümde, alıcının gerçek ve hesaplanan konum bilgisi arasında ortaya çıkan hata oranı karşılaştırılarak yapılan çalışmanın performansı analiz edilir. Ayrıca başlangıçta 't_bias' olarak atanan alıcı saat hatası değerinin hesaplamalar sonucu bulunan değeri de gösterilir. Böylece gerçek ve hesaplanan değerler arasında bir kıyaslama yapılarak oluşan hata oranı belirlenir.

Simülasyonun en son aşaması, enlem-boylam bilgisine dönüştürülen alıcı konumunun Google şirketinin sunduğu Google Statik Harita (Google Static Map) hizmeti kullanılarak harita üzerinde gösterilmesidir. Hem gerçek, hem de hesaplanan alıcı konumu kullanılarak simülasyon sonucunda oluşan konum hatası Şekil 7'deki harita üzerinde gösterilmektedir. Ayrıca iki farklı enlem ve boylam arasındaki kuş bakışı mesafeyi ölçmede kullanılan Haversine formülü yardımıyla, gerçek ve hesaplanan konum arasındaki hatanın büyüklüğü de metre cinsinden verilmiştir.

Yapılan çalışmada gürültünün konum hatasına olan etkisini inceleyebilmek için sinyale çeşitli SNR değerleri eklenerek konum belirlenmiştir. Gürültünün etkisini doğru olarak tespit edebilmek için Doppler



Şekil 6. Kanal çıkışlarından elde edilen uydulara ait hesaplama sonuçları



Şekil 7. Hesaplanan ve gerçek alıcı konumları

kayması ile saat hatası her SNR değeri için sabit tutulmuştur. Simülasyon kapsamında sinyale uygulanan SNR değerlerinin konum hatasına olan etkisi Tablo 1’de verilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere, SNR değeri azaldıkça elde edilen konum hatasında artış meydana gelmektedir. Ayrıca belirli bir SNR değerinden sonra yüksek gürültüden dolayı alıcının konumu hesaplanamamaktadır.

4.6. Sinyal Analizi (Signal Analysis)

GPS sinyalinin üretim aşamasından seyrüsefer mesajının çözülmesine kadar gerçekleşen işlemler sonucunda elde edilen sonuçların detaylı bir şekilde incelenmesi ve simülasyonda yapılan herhangi bir değişikliğin sinyal sonucuna olan etkisinin gözlemlenmesi amacı ile geliştirilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan 4 uydü için gerçekleştirilen aşamaların aynı olmasının yanında MATLAB R2015b yazılımının veri kapasite sınırı nedeniyle sadece birinci uydunun sinyal çıkışlarının önemli bölümleri dikkate alınmıştır. Geliştirilen arayüz ile simülasyonun farklı adımlarında verici ve alıcı kısmında elde edilen sinyal dalga

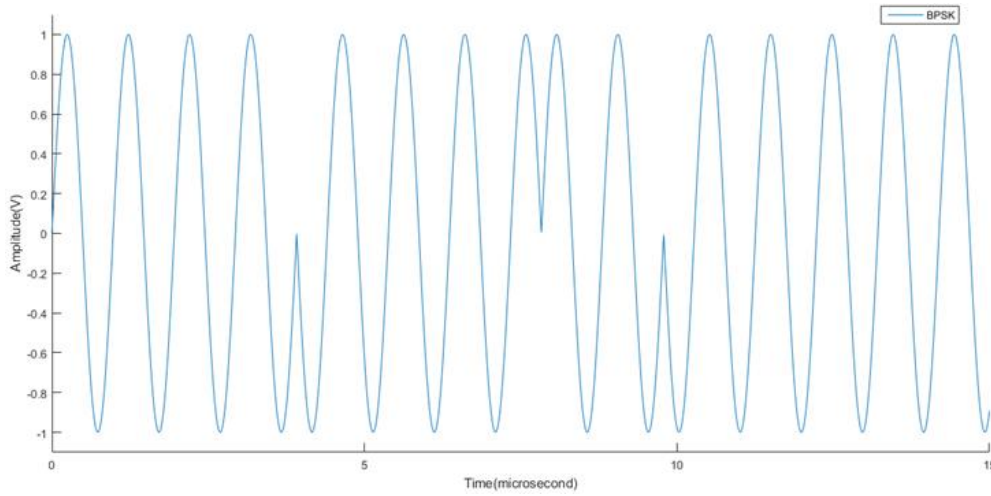
formlarını görselleştirmek ve başlangıç ekranındaki giriş değerlerini değiştirerek dalga formlarında meydana gelen değişimleri analiz etmek mümkündür.

Tablo 1. Gürültü analizi sonuçları

Gerçek		Hesaplanan					
SNR (dB)	Hepsi	0	-10	-25	-30	-35	-40
x-koordinatı	4227273,4	4227284,3	4227284,3	4227197,7	4226167,5	4226651,7	**
y-koordinatı	2491346,4	2491352,3	2491352,3	2491295,6	2490735,3	2491405,7	**
z-koordinatı	4062698,6	4062706,6	4062706,6	4062670	4061640,4	4062266,8	**
Enlem	39,8	39,812983	39,812983	39,813326	39,812962	39,812927	**
Boylam	30,51299	30,512995	30,512995	30,512937	30,513408	30,517282	**
Saat hatası (µs)	50,0	50,040977	50,040977	49,698560	44,983175	48,390213	**
Konum hatası (m)	-	0,1043522	0,1043522	2,0908173	4,6449647	14,106924	**

** Hesaplama sonuçlarının bulunamadığını ifade etmektedir.

Örneğin uydudan gönderilen ve PRN kodu ile seyrüsefer mesajını içeren BPSK modülasyonlu taşıyıcı sinyalin dalga şekli görüntülenmek istendiğinde, sayfa üzerinde “BPSK” kutucuğu seçilerek Şekil 8’de verilen dalga formu elde edilebilir.



Şekil 8. Uydudan yayınlanan BPSK modülasyonlu sinyal dalga formu

5. SONUÇ

Bu çalışmada GPS L1 sivil sinyalinin üretiminden faydalı seyrüsefer bilgisine dönüştürülene kadar geçen tüm işlem süreçlerini görselleştiren kapsamlı bir uydu sinyal simülasyonunun gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda alıcının konum bilgisinin hassasiyetini etkileyebilecek gürültü, alıcı saat hatası, Doppler frekans kayması gibi faktörlerin incelenebilmesi, yapılan herhangi bir değişikliğin sinyal sonucuna olan etkisinin gözlemlenebilmesi, uydu sinyalinin üretiminden alıcıda seyrüsefer mesajının elde edilmesi sürecine kadar olan her bir adımdaki sinyal çıktılarının analiz edilebilmesi, farklı ve yeni sinyal işleme teknikleri ile algoritmaların test edilebilmesi esnekliğine sahip bir arayüz geliştirilmiştir. Yapılan çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde konum hatasının, doğrudan sinyalin maruz kaldığı gürültü oranına bağlı olarak değiştiği, bunun yanında hesaplama yolu ile bulunabilen alıcı saat hatası ve Doppler frekansının da bu hataya kısmen katkı sağladığı gözlemlenmiştir.

Seyrüsefer mesajı uydu koordinatları yanında iyonosferik hata düzeltmesi ve saat düzeltmesi gibi ayrıntılı bilgiler içerir. Bu yüzden seyrüsefer mesajını oluşturmak için bazı matematiksel dönüşüm ve hesaplamalar

yapılmalıdır. Hem işlem kolaylığı sağlaması açısından, hem de seyrüsefer mesajının 1500 bit gibi uzun bir mesaj yapısına sahip olmasından dolayı, simülasyon çalışmasında seyrüsefer mesajı, sadece bir alt-çerçeve uzunluğuna denk gelecek şekilde 300 bitlik uydu koordinat bilgilerinden oluşturulmuştur. Bu sayede dalga formlarının daha görsel ve anlaşılır hale getirilmesi sağlanmıştır. Simülasyon, sadece bir alt-çerçeve uzunluğunda seyrüsefer mesajı ile sınırlı kalmakla birlikte, yapılacak bazı değişiklikler ile gerçek uydu sinyaline ait tam bir seyrüsefer mesajı kullanılarak tüm aşamaları gerçekleştirilebilmek mümkündür.

GPS L1 yayını için geliştirilen bu arayüz çalışmasının devamında aynı adımlar GLONASS, Galileo ve Beidou gibi diğer küresel konum belirleme sistemleri için de tekrarlanabilir, hatta tek bir arayüz içerisinde 4 farklı modül oluşturularak her birinin çalışma prensibi, sinyal yapıları ve alıcı konum doğruluğuna etki eden faktörler analiz edilebilir. Ayrıca her bir sistemin performansı da farklı başlangıç değerleri için test edilebilir. Bunun yanında uydu seyrüsefer sistemlerinde kullanılan farklı hata bulma ve düzeltme algoritmalarının performansları da GPS veya diğer küresel konum belirleme sistemleri üzerinde denenebilir. Örneğin GPS'te hata bulma ve düzeltme algoritması olarak Hamming tekniği kullanılmıştır. Beidou'da aynı amaç için kullanılan BCH (The Bose, Chaudhuri and Hocquenghem), Galileo'da Viterbi ve şu zamana kadar hiçbir uydu seyrüsefer sisteminde denenmemiş olan Turbo kod algoritmalarının performansları GPS üzerinde karşılaştırılarak GPS sinyal yapısına ne derece uygun oldukları ortaya konabilir. Bunun için seyrüsefer mesajının, kullanılan hata bulma ve düzeltme algoritmasına göre yeniden düzenlenmesi yeterli olacaktır. Bir başka deyişle geliştirilen arayüz esnek bir yapıya sahip olduğu için, GPS sinyal yapısının ve alıcıda sinyal yakalama, izleme ve işleme aşamalarının açıklanması için eğitim amaçlı kullanılabileceği gibi, farklı sinyal işleme tekniklerinin kullanıldığı GPS, GLONASS, Galileo ve Beidou gibi uyduya dayalı küresel konum belirleme sistemlerinde yeni teknolojilerin denenmesi ve performanslarının analiz edilmesi de mümkündür.

Küresel konum belirleme ile ilgili yapılan çalışmalar, sözü geçen dört küresel sistemden alınan sinyallerin bir arada değerlendirilebileceği bütünlük bir alıcı tasarımı üzerine yoğunlaşmaktadır. İleride benzer simülasyon çalışması, sistemin çalışma prensibinin kolaylıkla kavranabilmesi ve konum hassasiyetine etki eden faktörlerin analiz edilebilmesi için bütünlük GNSS alıcısı için de gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] H. Hülako, S. Kapucu, Düşük maliyetli gps tabanlı otonom bir insansız kara aracının tasarımı ve yapımı. Gazi üniversitesi fen bilimleri dergisi part c: tasarım ve teknoloji, 6: 4 (2018) 834-850.
- [2] M. Kahveci, F. Yıldız, GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri Teori ve Uygulama, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2012.
- [3] J. Zhang, Advanced Signal Processing in Multi-Mode Multi-Frequency Receivers for Positioning Applications, PhD Thesis, Tampere University of Technology, Finland, 2013.
- [4] E. Kaplan, C. Hegarty, Understanding GPS Principles and Applications, Artech House, London, 2006.
- [5] G. A. Elango, G. F. Sudha, Design of complete software GPS signal simulator with low complexity and precise multipath channel model. Journal of electrical systems and information technology, 3: 2 (2016) 161-180. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jesit.2016.03.002>
- [6] C. Abhishek, A. Charitha, D. Goutham, GPS receiver implementation using simulink. International journal of advance engineering and research development (ijaerd), 1: 5 (2014) 1-5. doi:10.21090/ijaerd
- [7] T. Zubaroglu, Yazılım Tabanlı GPS Almaçlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013.
- [8] D. Akopian, A. Soghoyan, A labview-based fast prototyping software defined GPS receiver platform. Global Conference on Signal and Information Processing. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 1230-1233, Austin, 2013. doi: 10.1109/GlobalSIP.2013.6737130

- [9] E. Günaydın, Implementation of Software GPS Receiver, Master of Science, Middle East Technical University Institute of Science, Ankara, 2005.
- [10] L. Dong, IF GPS Signal Simulator Development and Verification, Master of Science, University of Calgary Department of Geomatics Engineering, Canada, 2013.
- [11] Z. Kassas, J. Bhatti, T. Humphreys, A graphical approach to GPS software-defined receiver implementation. Global Conference on Signal and Information Processing, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 1226-1229, Austin, 2013. doi: 10.1109/GlobalSIP.2013.6737129
- [12] C. Ma, G. Lachapelle, M. Cannon, Implementation of a software GPS receiver. The Institute of Navigation Global Navigation Satellite Systems (ION GNSS) 2004, The Institute of Navigation (ION), 1-15, California, 2014.
- [13] M. Bright, GPS L2 C Signal Survey and The Development of The Emergent MATLAB L2C (emal2) Receiver, Master of Science, The University of Texas Department of Engineering, Austin, 2012.
- [14] M. Rao, G. Falco, SDR joint GPS/Galileo receiver from theory to practice. International journal of aerospace sciences, 1: 1 (2012) 1-7. doi: 10.5923/j.aerospace.20120101.01
- [15] R. Campana, F. Gottifredi, V. Valla, P. Lombardo, Different Acquisition Algorithms for the GALILEO L1 Signal with BOC(1,1) Modulation, Springer Series on Signals and Communication Technology, 2008.
- [16] K. Borre, D. Akos, N. Bertelsen, P. Rinder, S. Jensen, S, A Software-Defined GPS and Galileo Receiver: A Single-Frequency Approach, Birkhauser, Boston, 2007.
- [17] European Space Agency, (2003). Development of a GALILEO Signal Simulator. Erişim Adresi: <http://microelectronics.esa.int/papers/GalSimBorras-Jan2003.pdf> (Erişim Tarihi: 11.06.2018)
- [18] J. Guo, W. Wang, B. Chao, Model of gps if signal and its simulation. Geo-spatial information science, 12: 2 (2012), 100-103. doi: <https://doi.org/10.1007/s11806-009-0225-x>
- [19] J. Bao, Y. Tsui, Fundamentals of Global Positioning System Receivers: A Software Approach, John Wiley & Sons, New York, 2000.
- [20] J. W. Betz, Engineering Satellite-Based Navigation and Timing, John Wiley & Sons, New Jersey, 2016.
- [21] A. Joseph, Measuring GNSS Signal Strength. InsideGNSS November/December 2010 Edition. Erişim Adresi: <http://insidegnss.com/wp-content/uploads/2018/01/novdec10-Solutions.pdf> (Erişim Tarihi: 21.05.2018)

İnce Cidarlı U Çelik Profillerin Eksantrik Yük Altında Tek Bulonlu Bağlantılarının İncelenmesi

Yusuf DEMİREL^{1,*} Oğuzhan TÜYLÜOĞLU²

¹Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06570, Çankaya/ANKARA

²Teleses, İnşaat Firması, Çayyolu Mah., 06810, Çankaya/ANKARA

Grafik/Tablo Özet

Bu çalışmada sırt sırta bağlanmış ince cidarlı C profilli elemanlarının ağırlık merkezlerinden uygulanan çekme kuvveti ile eksantrik davranış oluşturulmuştur. Üç farklı sac et kalınlığı, üç farklı bulon çapı ve üç farklı bağlantı geometrisi değişkenleri ile deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları ile ilgili standartlarda verilen eşitliklerden elde edilen dayanımlar ve kopma modları karşılaştırılmıştır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 27/03/2019

Düzeltilme: 23/04/2019

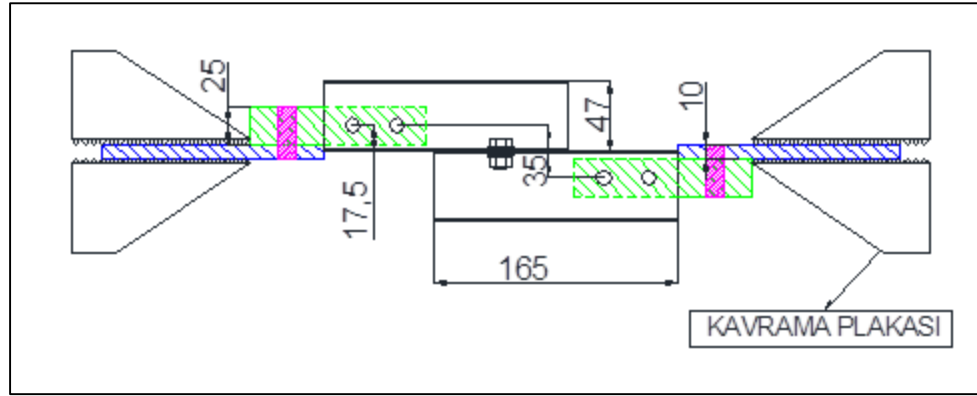
Kabul: 19/04/2019

Anahtar Kelimeler

İnce cidarlı çelik
Bulonlu bağlantı
Eurocode
AISI
Eksantrik

Keywords

Thin walled steel
Bolted connections
Eurocode
AISI
Eccentric



Şekil A. Örnek deney düzeneği

Amaç: Bu çalışmada literatür taramasında elde edilen deneysel çalışmalarda dikkate alınmayan eksantrik etki altında yapılan deneyler ile AISI ve EC standart eşitliklerinden elde edilen teorik dayanımlar ile deneysel dayanımlar karşılaştırılmak istenmiştir.

Teori ve Metod: Eksantrik çekme yapabilen deney makinesi üretilen ek deney elemanları ile eksantrik çekme yapabilir duruma getirilmiş ve oluşturulan bu eksantrik etkinin literatür taramasında elde edilen çalışmalardaki güvenlik katsayılarından düşük sonuçlar elde edilmesi öngörülmüştür.

Sonuçlar: Deney sonuçları ile ilgili standartlarda verilen eşitliklerden elde edilen dayanımlar ve kopma modları karşılaştırılmıştır. AISI dayanımlarının EC dayanımlarına göre daha güvenli tarafta kaldığı, EC kopma modu öngörülerinin, AISI öngörülerine göre bu çalışmanın deneysel kopma modları ile sayıca daha fazla örtüştüğü tespit edilmiştir.

Değerlendirme: Elde edilen deneysel kopma yükü sonuçları sac kalınlıkları göz önüne alınarak incelendiğinde ise $t=2$ mm'de deney elemanlarının diğer kalınlıklara göre standart öngörülerinden daha yüksekte kaldığı görülmüştür. Eksantrik etki altında ancak 9 farklı deney elemanı üstünde, 3 farklı profil et kalınlığı, bulon çapı ve bulon yerleşim geometrisine içerisinde sınırlı değişken aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada deneysel sonuçlar bu değişkenler içerisinde sınırlı aralıkta elde edilmiştir. Eksantrik etki altında ince cidarlı çelik profillerin bulonlu bağlantılarının daha farklı et kalınlıklarında ve daha farklı bulon çaplarında irdelenmelidir.



İnce Cidarlı U Çelik Profillerin Eksantrik Yük Altında Tek Bulonlu Bağlantılarının İncelenmesi

Yusuf DEMİREL^{1,*} Oğuzhan TÜYLÜOĞLU²

¹Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06570, Çankaya/ANKARA

²Teleses, İnşaat Firması, Çayyolu Mah., 06810, Çankaya/ANKARA

Öz

İnce cidarlı çelik elemanların bulon bağlantıları hakkında bir Türk standardı bulunmamaktadır. Eurocode ve AISI standartları dikkate alınarak yapılan hesaplamalarda aynı örnek için farklı yaklaşım ve davranış ortaya çıkmaktadır. Literatür taramasında elde edilen deneysel çalışmalarda eksantrik etki göz ardı edilmiş, yalnızca eksele çekme altındaki davranış irdelenmiştir. Ancak uygulamada profil yapısından kaynaklanan eksantrik davranıştan kaçınılması mümkün değildir. Sırt sırta verilmiş ince cidarlı U profillerin tek bulon bağlantısı ile ağırlık merkezlerinden uygulanan çekme kuvveti uygulanması ile oluşturulan eksantrik davranış çeşitli sac et kalınlıkları ($t=1,5\text{mm}$, 2mm , $2,5\text{mm}$) ve çeşitli bulon çapları ($\varnothing=8\text{mm}$, 10mm , 12mm) altında ilgili standartlarda (AISI ve Eurocode) verilen eşitliklerden elde edilen kopma yükleri ve kopma modları karşılaştırılmıştır. AISI kopma yükü öngörülerinin Eurocode öngörülerine göre daha güvenli tarafta kaldığı, kopma modlarının öngörülmesinde ise Eurocode'un daha isabetli sonuç verdiği saptanmıştır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 27/03/2019

Düzeltilme: 23/04/2019

Kabul: 19/04/2019

Anahtar Kelimeler

İnce cidarlı çelik

Bulonlu bağlantı

Eurocode

AISI

Eksantrik

Investigation of Single Bolted Connections of Thin Wall U Steel Profiles with Eccentric Behaviour

Keywords

Thin walled steel

Bolted connections

Eurocode

AISI

Eccentric

Abstract

There is no Turkish standard for bolted connections of thin walled steel elements. In the calculations made according to Eurocode and AISI standards, there are different approaches and behaviours for the same sample. The eccentric effect was ignored in the experimental studies obtained in the literature review and only the behaviour under axial stress was examined. In practice, however, it is not possible to avoid eccentric behaviour arising from the profile structure. The eccentric behaviour created by applying the pulling force applied from the centre of gravity of thin walled U profiles placed on back to back is compared with the strengths obtained from the equations given in the relevant standards under various sheet metal thicknesses ($t=1,5\text{mm}$, 2mm , $2,5\text{mm}$) and various bolt diameters. ($\varnothing=8\text{mm}$, 10mm , 12mm)

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnce cidarlı çelik elemanların kullanımına Amerika Birleşik Devletleri ve İngiltere'de 1850 yılında başlanmıştır. Kullanım büyük ölçüde deneysel ve birkaç temel yapı ile sınırlanmıştır. 1980 yılından sonra Amerika Birleşik Devletleri'nde, artan ahşap fiyatlarından dolayı az katlı yapılarda hafif çelik elemanların kullanımı yaygınlık kazanmaya başlamıştır [1]. Güneş enerji yatırımlarının hız kazanması ve az katlı yapılara yönelim ile de ince cidarlı çelik yoğun olarak tercih edilmeye başlanmıştır [2]. Bu gelişmelerin ardından ülkeler kendi standartlarını oluştururken Türkiye'de ince cidarlı çelik elemanların bulon bağlantıları için bir teknik standart mevcut değildir.

İnce cidarlı çeliğin kaynaklı birleşimleri malzemenin korozyon direncini düşürmekte, taneler arası korozyon, sigma fazı oluşumu kaynak sonrası sıcak çatlakların oluşması gibi birçok problemi peşinden getirmektedir. [3] Ayrıca işlemin yapılması için vasıflı işçilik ve elektrik gerekmede bu da uygulamayı zorlaştırmaktadır.

İnce cidarlı çeliklerin bulonlu bağlantıları ise uygulamada yaygın olarak kullanılan bağlantı türlerinden biridir. Bulonlu birleşimlerin tasarım kuralları Amerikan ve Avrupa standartlarında ayrı konu başlıkları altında bulunmaktadır. Bununla birlikte, bu standartların tasarım kuralları, ince cidarlı çelik bulon bağlantılarının deneysel çalışmaları nispeten sınırlı olduğundan, ilgili bilgiler, normal çelik profil hesaplarının üzerinde ufak değişiklikler yapılarak temellendirilmiştir. Günümüze kadar ince cidarlı çeliklerin bulonlu birleşimleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sınırlı olduğuna dikkat edilmelidir. Ayrıca, ince cidarlı çeliğin gerilme-şekil değiştirme davranışı, karbon çeliğinkinden temelde farklıdır [4]. Bu nedenle, ince cidarlı çeliğin bulon bağlantılarının yapısal davranışını incelemek önem taşımaktadır.

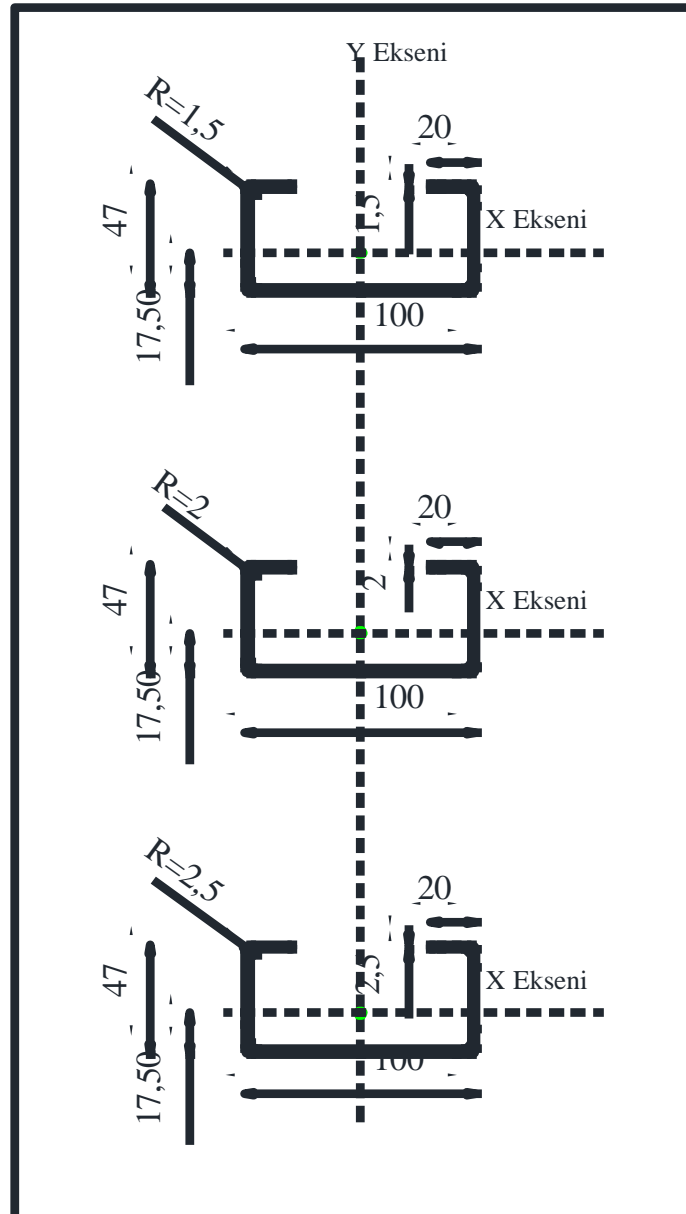
İnce cidarlı çeliklerin birleşim hesapları normal hadde profillerden ince cidarlı olması sebebiyle farklılıklar göstermektedir. AISI [5] ve Eurocode 3 Part 1-3'e [6] göre tasarımları incelenmiş ve uygulamalar yapılarak tasarım adımları gösterilmiştir. 1996'dan önce, Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (AISI), ince cidarlı çelik yapı elemanları, birleşimleri ve montaj tasarımları için 2 ayrı standart yayımlamıştır. Bunlardan bir tanesi Emniyet Dayanımları Tasarımı metodu (ASD), diğeri ise Yük ve Dayanım Faktörü ile Tasarım metodudur (LRFD). Bu iki standart 1996'da tek bir standart olarak birleştirilmiştir. Özdeş tasarımlar üretmeseler de bu metodların ikisi de ince cidarlı çelik yapı elemanlarının tasarımı için kullanılmıştır. 2001 ve 2007 yıllarında Kuzey Amerika standardı yayımlandığında Kanada'da kullanılması için LSD yöntemi standarda eklenmiştir. ASD ve LRFD yöntemleri sadece Amerika ve Meksika'da kullanılmaktadır. Tasarım kuralları gerilmeler yerine dayanıma göre temellendirildiği için ASD yöntemi "güvenlik dayanımlarına göre tasarım" olarak yeniden tanımlanmıştır. [7]

Son yıllarda, yük ve dayanım faktörü tasarımı (LRFD) Amerika ve diğer ülkelerde çelik yapıların inşasında kullanılmaktadır. Yük ve dayanım faktörü tasarımının faydaları: (1) farklı yükler ve dayanımların belirsizlikleri ve çeşitliliği, çok sayıda katsayıyla hesaplanabilmektedir. (2) olasılık teorisi kullanılarak, tüm tasarımlar tutarlı bir güvenilirlik kazanabilirler. Bundan dolayı, yük ve dayanım katsayılarıyla tasarım metodu, emniyet gerilmesi yönteminden daha güvenilir ve rafine bir tasarım temeli sağlar [7]. Eurocode için birleşimlerin tasarım kuralları ve koşulları için EN 1993-1-3'e bakılmalıdır. Standarttaki formüller 3 mm üzerindeki kalınlıkla için geçerli değildir. Seçilen deney elemanlarının kalınlığı 3 mm altında olduğundan bu standarttan faydalanılmıştır.

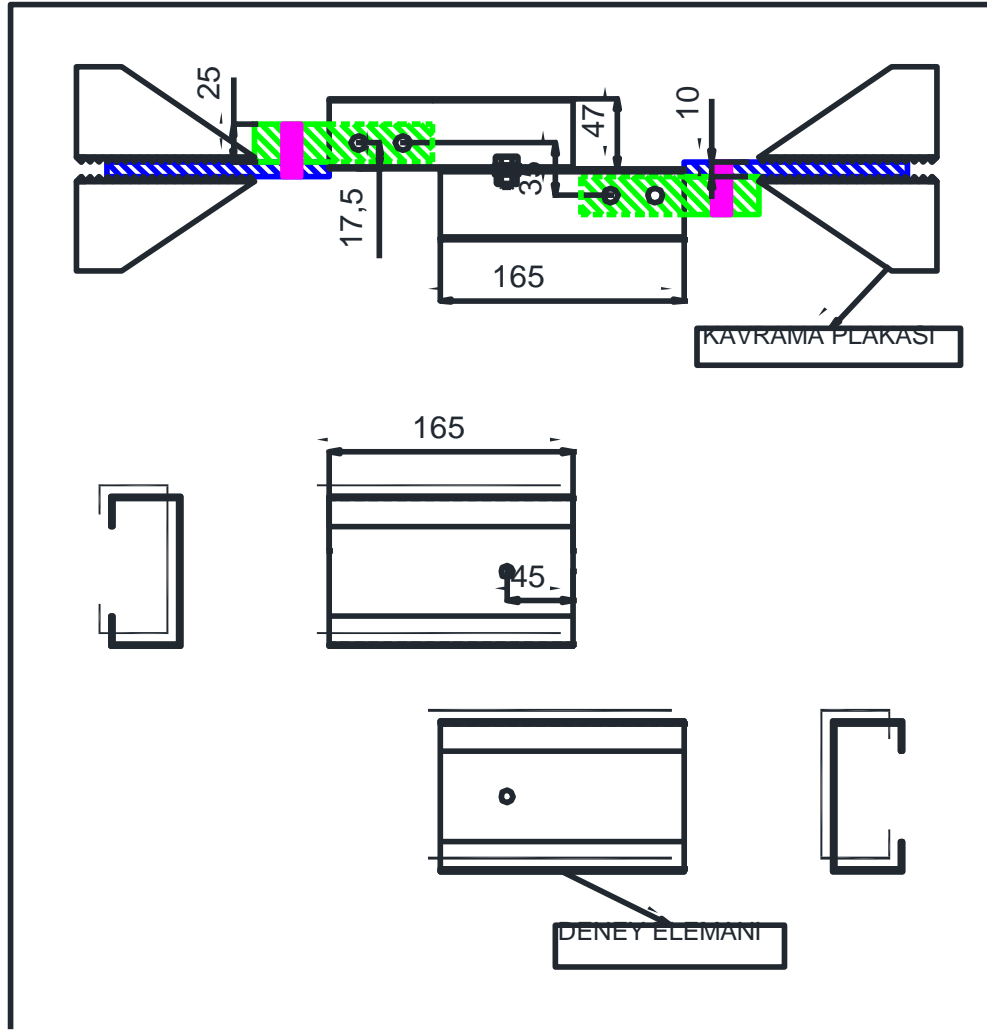
Bu çalışmada, ilk defa günümüze kadar ince cidarlı çeliklerin bulon bağlantıları için gerçekleştirilen çalışmalarda deney düzeneğine eklenmeyen dış merkezlik etkisi deney elemanlarına yansıtılmış, Avrupa ve Amerikan standartlarının öngörülleri ile deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL ve METOD (MATERIAL AND METHOD)

İnce cidarlı çelik elemanların tek bulonla bağlantı hesaplarını incelemek amacıyla deneysel çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada iki adet U profil çelik birbirine bulon ile bağlanıp kütle merkezlerinden yük aktarımı gerçekleştirebilen bir deney düzeneği deneye tabi tutulmuştur. Deney için tasarlanan elemanların boyutları, deneyde kullanılan ek parçalar (dış merkezlik oluşturabilmek için) ve örnek deney kurulumu Şekil 1 ve 2'de gösterilmiştir. U profilin imalatında kullanılan bükülme iç çapı TS EN 10025-2'den, $R=t$ olarak alınmıştır. [8]



Şekil 1. U profil kesiti (mm)



Şekil 2. Örnek deney düzeneği (mm)

Deneye tabi tutulacak elemanlar ilgili standartların; Eurocode [6] ve AISI [5] gereklerine göre tasarlanmıştır. Deney elemanları üç ayrı et kalınlığına ($t=1,5\text{mm}$, 2mm , $2,5\text{mm}$) ve üç ayrı bulon çaplarının ($\text{Ø}=8\text{mm}$, 10mm , 12mm) tüm olasılıklı irdelenmesini sağlayacak 9 farklı şekilde hazırlanmıştır. Deney elemanlarının malzeme, geometri, bulon çapı özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Deneye tabi tutulan deney elemanlarının özellikleri

DENEY ELEMANLARININ MALZEME, BAĞLANTI GEOMETRİSİ, BULON ÇAPI ÖZELLİKLERİ				
Deney Eleman Adı	Sac Et Kalınlığı	Bulon Adedi ve Yerleşim Geometrisi	Bulon Çapı	Malzeme Cinsi
DE - 1	1,5 mm	Tek Bulon Yük Eksenine Dik	M8	St 37
DE - 2	1,5 mm	Tek Bulon Yük Eksenine Dik	M10	St 37
DE - 3	1,5 mm	Tek Bulon Yük Eksenine Dik	M12	St 37
DE - 4	2 mm	Tek Bulon Yük Eksenine Dik	M8	St 37
DE - 5	2 mm	Tek Bulon Yük Eksenine Dik	M10	St 37

DENEY ELEMANLARININ MALZEME, BAĞLANTI GEOMETRİSİ, BULON ÇAPI ÖZELLİKLERİ				
Deney Eleman Adı	Sac Et Kalınlığı	Bulon Adedi ve Yerleşim Geometrisi	Bulon Çapı	Malzeme Cinsi
DE - 6	2 mm	Tek Bulon Yük Eksenine Dik	M12	St 37
DE - 7	2,5 mm	Tek Bulon Yük Eksenine Dik	M8	St 37
DE - 8	2,5 mm	Tek Bulon Yük Eksenine Dik	M10	St 37
DE - 9	2,5 mm	Tek Bulon Yük Eksenine Dik	M12	St 37

Çalışmada ince cidarlı çeliğin bulon bağlantılarına eksantrik yüklemenin etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışma için eksantrik çekme yapabilen deney düzeneğine sırt sırta bağlanmış U profiller üzerinde eksantrik davranışın oluşturulması amaçlanmıştır. U profilin alt tabakası ile bulon bağlantısının arasında kalan mesafe eksantrik uzaklığın yarısı, “ $e/2$ ”yi ifade etmektedir. Diğer U profilin de bağlanması ile toplam eksantrik etkiyi oluşturacak “ e ” mesafesi oluşturulmuştur. U profillerin yan kanatlarından deney aparatlarına bağlanması ve ağırlık merkezlerinden uygulanan çekme kuvvetleri ile eksantrik davranış elde edilmiştir.



Şekil 3. Malzemenin deneye hazırlanması ve deneyin yapılması

Üretilen sacların delikleri laboratuvarında delinmiştir. Bağlantılardan doğru sonuç almak adına 8.8 kalite bulonlar gereken tork-metre değerlerine göre sıkılmıştır [9]. Hazırlıkları tamamlanan elemanlar Tablo 1'e göre adlandırılıp birbirine bağlandıktan sonra Şekil 3'te görülen deney elemanının deney öncesi yerine yerleştirilmesi, okumayı yapan bilgisayar destekli deney düzeneği, deney sonucu elde edilen kopma ve deney sonrası hali görülmektedir.

Deney aşamasında çekme düzeneğinin çalışmasını sağlayacak iki adet deney aparatı alttan ve üstten mesnetlemiştir. Uygulanan yük sonucunda elemanlarda meydana gelen yük-deformasyon verileri deney düzeneğine bağlı bilgisayar yardımıyla yük-deformasyon grafiği gözlenmiş, sayısal olarak da kaydedilmiştir. Deney aşaması bu grafikler ile sürdürülmüş, kayıt edilen veriler deney sonrasında yorumlanmıştır.

Deney elemanlarının ve düzeneğin hazırlanmasının ardından sırasıyla deneye tabi tutulmuştur. Deney elemanları deneyden önce, deney esnasında ve deneyden sonra fotoğraflanmıştır. Elemanlar makineye konduktan sonra önce elle tutturulmuş daha sonra makine yardımı ile hidrolik sıkıştırılmıştır. Bu sayede tutma kafalarında kaymanın önüne geçilmiştir. Uygulanan yük sonucunda elemanlarda meydana gelen yük-deformasyon verileri deney ekipmanına bağlı bilgisayar ile LVDT (doğrusal deplasman ölçer) yardımı ile okunmuştur. LVDT her yükleme öncesi kalibre edilmiştir. Kullanılan makine deformasyon/yük bilgilerini otomatik bilgisayar kontrollü bilgisayar programı ile %1 hassasiyette ASTM E4-16'ya uygun olarak kayıt altına almıştır.

3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Tablo 1'de mekanik özellikleri verilen deney elemanlarının hepsi için deney gerçekleştirilmiş ve tüm kopmalar için yük/deformasyon bilgileri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2'te verilmiştir.

Tablo 2. Deney sonuçları

DENEY SONUÇLARI		
Deney Eleman Adı	Kopma Yüğü (KN)	Kopma Modu
DE - 1	9,83	Ezilme
DE - 2	13,41	Ezilme
DE - 3	16,47	Ezilme
DE - 4	22,75	Bulon Kopması
DE - 5	27,00	Ezilme
DE - 6	34,42	Ezilme
DE - 7	19,45	Bulon Kopması
DE - 8	30,38	Ezilme
DE - 9	41,00	Ezilme

U profil sacların standart eşitliklerinde kullanılmak için gereken çekme dayanımı (fu); profillerin üretildiği rulodan rastgele alınan her üç kalınlık için TS EN ISO 6892-1 [10] standardının Tablo B.1'deki şartları yerine getirilerek tayin edilmiştir. Saptanan bu dayanımlar standart eşitliklerinde kullanılmıştır.

Tablo 3. Deneye tabi tutulan sacların çekme sınır gerilme değerleri

U Profil Sacların Çekme Sınır Gerilmeleri	
Sac Et Kalınlıkları	f_u (MPa)
1,5 mm	433
2 mm	400
2,5 mm	427

Deneyi yapılacak ince cidarlı çelik U profil sacların birleşim kopma yükleri her bir tasarım için hesaplanmış ve ilgili standardın öngördüğü kopma modları ile belirlenmiştir. Beş farklı kopma modu için standartlar beş farklı hesaplama yöntemi ortaya koymuştur. Tablo 4'te, kopma modları altında EC olarak gösterilen sütun altında ilgili kopma modunun Eurocode eşitliğinden elde edilen teorik kopma yükü, AISI olarak gösterilen sütun altında ise ilgili kopma modunun AISI eşitliklerinden elde edilen teorik kopma yükü verilmiştir. Kalın olarak gösterilen değer ise ilgili deney elemanının kritik yüklemesini ifade etmektedir. Yani ilgili standart deney elemanının bu değerde ilgili kopma modunun gerçekleştireceğini öngörmektedir.

Tablo 4. Standartlardan elde edilen minimum kopma yükleri

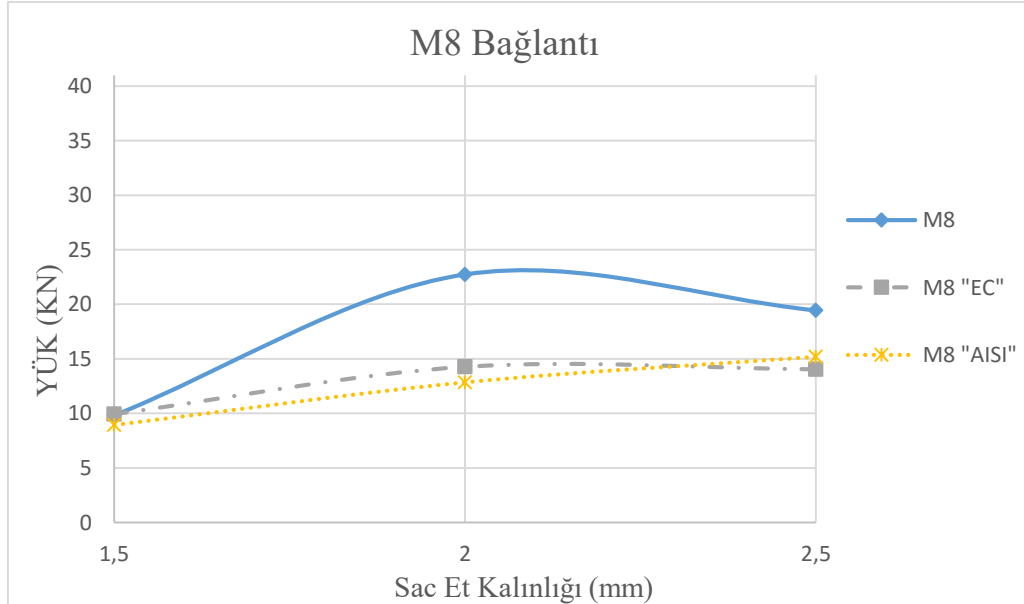
STANDARTLARDA VERİLEN EŞİTLİKLERDEN ELDE EDİLEN DAYANIMLAR										
Deney Eleman Adı	Levhanın Akma Dayanımı (KN)		Levhanın Yırtılma Dayanımı (KN)		Bulonların Ezilme Dayanımı (KN)		Bulonların Kesme Dayanımı (KN)		Net Kesit Dayanımı (KN)	
	EU	AISI	EU	AISI	EU	AISI	EU	AISI	EU	AISI
DE - 1	51,4	46,2	22,4	19,6	9,9	8,9	14,1	15,2	16,7	19,6
DE - 2	51,4	46,2	22,4	19,6	12,4	11,2	22,3	23,7	19,0	19,1
DE - 3	51,4	46,2	22,4	19,6	14,9	13,4	32,4	34,2	21,2	18,7
DE - 4	63,7	57,4	32,1	28,1	14,3	12,9	14,1	15,2	24,0	28,2
DE - 5	63,7	57,4	32,1	28,1	17,8	16,1	22,3	23,7	27,3	27,5
DE - 6	63,7	57,4	32,1	28,1	21,4	19,3	32,4	34,2	30,4	26,8
DE - 7	82,4	74,1	44,3	38,7	19,7	17,7	14,1	15,2	33,1	38,8
DE - 8	82,4	74,1	44,3	38,7	24,6	22,1	22,3	23,7	37,6	37,9
DE - 9	82,4	74,1	44,3	38,7	29,5	26,6	32,4	34,2	41,9	36,9

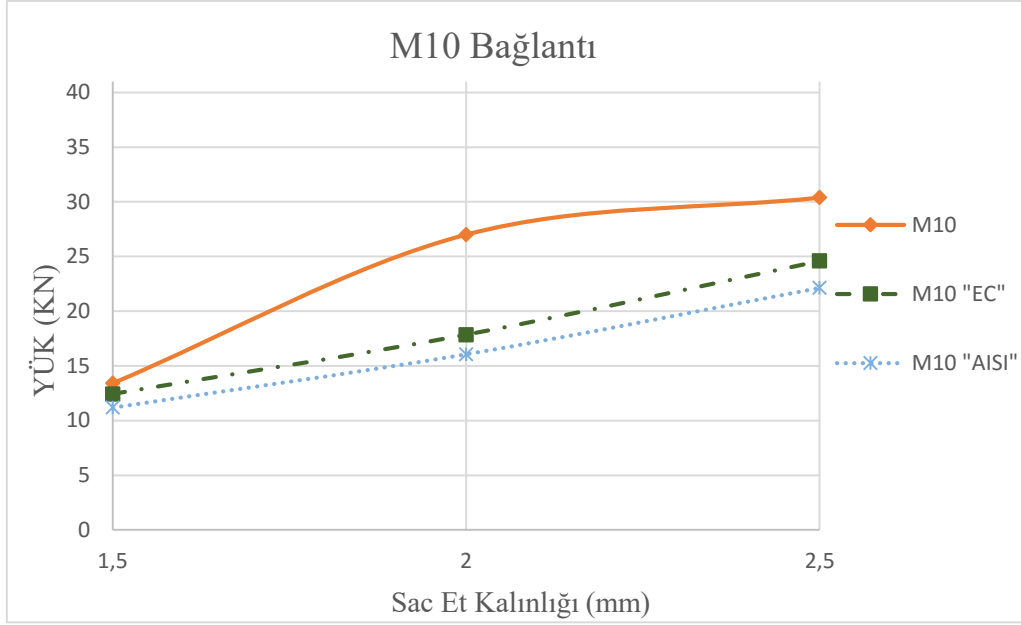
Tablo 5'te ise " P_{exp} " deney elemanının deneysel kopma yükünü, " P_{exp}/P_{EC} " ve " P_{exp}/P_{AISI} " ilgili deney elemanının deneysel kopma yükünün standart eşitliklerinden elde edilen teorik kopma yüküne bölünerek kıyaslanmasını ifade etmektedir. Deney sonuçları ile standart kritik kopma yükü oranları ve standartların kopma modu öngörülleri bu tabloda gösterilmiştir.

Tablo 5. Deney sonuçları ile teorik sonuçların karşılaştırılması

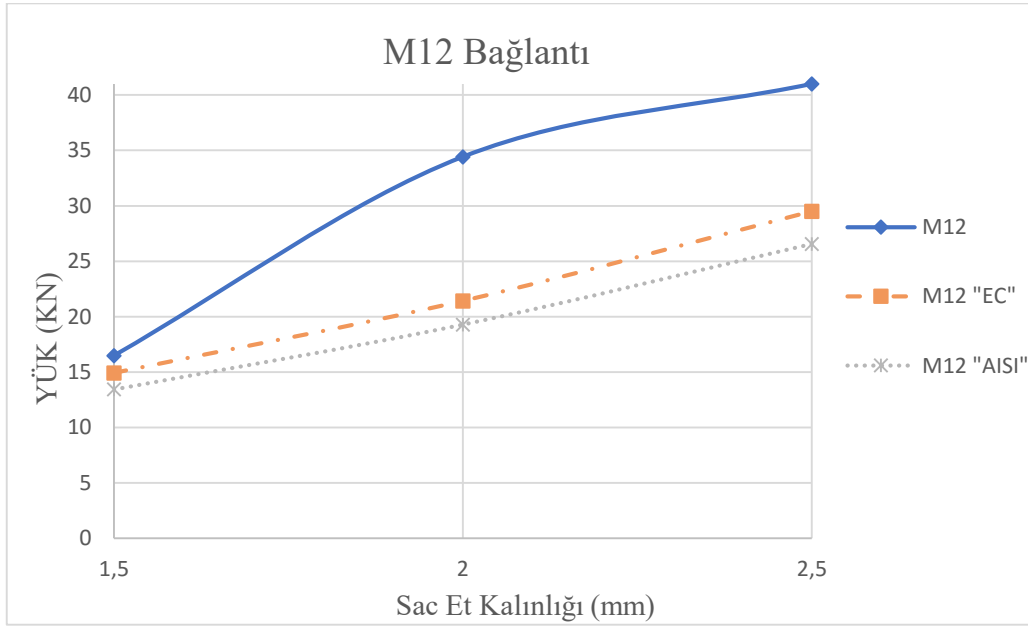
DENEY SONUÇLARI İLE STANDART EŞİTLİKLERİNDEN ELDE EDİLEN DAYANIMLARIN KARŞILAŞTIRILMASI						
Deney Eleman Adı	P_{exp} (KN)	Kopma Modu	P_{exp}/P_{EC}	P_{exp}/P_{AISI}	Öngörülen Kopma Modu	
					EC	AISI
DE - 1	9,83	Ezilme	0,99	1,10	Ezilme	Ezilme
DE - 2	13,41	Ezilme	1,08	1,20	Ezilme	Ezilme
DE - 3	16,47	Ezilme	1,10	1,23	Ezilme	Ezilme
DE - 4	22,75	Bulon Kopması	1,62	1,50	Ezilme	Ezilme
DE - 5	27,00	Ezilme	1,51	1,68	Ezilme	Ezilme
DE - 6	34,42	Ezilme	1,61	1,79	Ezilme	Ezilme
DE - 7	19,45	Bulon Kopması	1,38	1,28	Bulon Kopması	Ezilme
DE - 8	30,38	Ezilme	1,24	1,37	Ezilme	Ezilme
DE - 9	41,00	Ezilme	1,39	1,54	Ezilme	Ezilme
Ort.			1,32	1,41		

Elde edilen deney sonuçları ile standart öngörülerini karşılaştırılarak Şekil 4, 5 ve 6'da gösterilmiştir. Üç ayrı grafikte ilgili bulon çapında $t=1,5$ mm, 2 mm ve 2,5 mm saclardan üretilen deney elemanlarının deneysel kopma yükleri ile Eurocode ve AISI standartlarından elde edilen kopma modu öngörülerini karşılaştırılmıştır. Şekillerde düz çizgi deney elemanlarının deneysel kopma yükünü, kesik çizgili Eurocode standart eşitliklerinin kritik kopma yükü öngörü değerini, noktalı çizgi ise AISI standart eşitliklerinin kritik kopma yükü öngörü değerini ifade etmektedir. Şekiller incelendiğinde $t= 2$ mm saclardan üretilen deney elemanlarının kopma yüklerinin $t=1,5$ mm ve 2,5 mm saclardan üretilen deney elemanlarına göre standart öngörülerinden daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Standart eşitliklerinden elde edilen kopma yükleri aynı sac kalınlığında karşılaştırıldığında ise AISI eşitliklerinin Eurocode eşitliklerinden deneysel kopma yüklerine oranla daha düşük yakınsama göstermiştir.

**Şekil 4. DE 1-4-7 ile standart öngörülerinin karşılaştırılması**



Şekil 5. DE 2-5-8 ile standart öngörülerinin karşılaştırılması



Şekil 6. DE 3-6-9 ile standart öngörülerinin karşılaştırılması

Deney elemanlarının üretildiği ince cidarlı çeliğin et kalınlığı ve bağlantıdan kullanılan bulon çaplarının artırılması ile kopmayı gerçekleştiren yük miktarı artmıştır. Elde edilen deney sonuçları ile standart öngörülerini şekiller üzerinde karşılaştırıldığında; deney sonuçlarının, deney elemanlarında kullanılan sac et kalınlığının ve bulon çaplarının lineer olarak artırılmasına rağmen deney sonuçlarında lineer olmayan değişim tespit edilmiştir. Eksantrik etki altında yapılmayan “Yancheng Cai, Ben Young (2014)” [11] çalışmasına göre bu çalışmada daha düşük emniyet katsayıları elde edilmiştir.

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ ve ÖNERİLER (ANALYSIS OF RESULTS AND RECOMMENDATION)

Elde edilen sonuçlar irdelendiğinde AISI'nin kopma yük değerlerinin öngörülerinde daha güvenli tarafta kaldığı saptanmıştır. Kopma modlarının öngörülmesinde Avrupa standardı Amerikan standardına göre daha isabette sonuç vermiştir. Ortaya çıkarılan eksantrik etki ile "Soğukta İşlem Görmüş Paslanmaz Çeliğin Bulonlu Birleşimlerinin Yapısal Davranışı" "Yancheng Cai, Ben Young (2014)" çalışmasında ortaya çıkan dayanım katsayılarından daha düşük dayanım katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen deneysel kopma yükü sonuçları sac kalınlıkları göz önüne alınarak incelendiğinde ise $t=2$ mm'de deney elemanlarının diğer kalınlıklara göre standart öngörülerinden daha yüksekte kaldığı görülmüştür.

Eksantrik etki altında ancak 9 farklı deney elemanı üstünde test edilmiştir. Bu eki altındaki ince cidarlı çelik profillerin bulonlu bağlantıların daha farklı et kalınlıklarında ve daha farklı bulon çaplarında irdelenmelidir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] U.S. Bureau of Labor Statistics, Producer Price Index by Commodity for Lumber and Wood Products: Lumber, https://data.bls.gov/timeseries/wpu08?data_tool=XGtable, (2018).
- [2] G. Annageldiyev, "Soğukta Şekil Verilmiş Çelik Çerçevesel Duvar Panellerine Diyagonallerin Konması Halinde Yatay Yükler Altında Davranışı", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2009).
- [3] Y. Özçatalbaş, G. Kuştutan ve U. Arabacı, AISI 304 Paslanmaz Çeliğin Nokta Direnç Kaynağında Birleştirmenin Mekanik Özelliklerine Soğuma Hızının Etkisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 6(2), 294-307, (2018).
- [4] M. C. Akar, Sıcak Hadde Çeliği İle Soğukta Şekillendirilen Çeliklerin Özelliklerinin ve Taşıyıcı Farklılıklarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2010).
- [5] AISI, North American Specification for Design of Cold-Formed Steel, Washington DC: American National Standards Institute, (2001), 1-98.
- [6] Eurocode, "EN 1993-1-3, Eurocode 3 - Design Of Steel Structures - Part 1-3: General rules - Supplementary Rules For Cold-Formed Members And Sheeting", European Committee for Standardization, Brussels, (2005), 1-67.
- [7] W. W. Yu ve R. L. LaBoue, "Cold-Formed Steel Design (4rd Edition)", Rolla: Missouri University of Science and Technology, Missouri, (2010), 1-272.
- [8] TSE, "TS EN 10025-2, Sıcak Haddelenmiş Yapı Çelikleri - Bölüm 2: Alaşımız Yapı Çeliklerinin Genel Teknik Teslim Şartları", Ankara, (2006), 25-28.
- [9] Fastenal Company, Torque Calculator, <https://www.fastenal.com/en/83/torque-calculator>, (2018).
- [10] TSE, "TS EN ISO 6892 - 1 Metalik Malzemeler - Çekme Deneyi - Bölüm 1: Ortam Sıcaklığında Deney Metodu", Ankara, (2010), 1-41.
- [11] Y. Cai ve B. Young, "Structural Behaviour of Cold Formed Stainless Steel Bolted Connections", The University of Hong Kong, Hong Kong, (2014).

Design of PID Controller for Automatic Voltage Regulator System through Kidney-inspired Algorithm

 Serdar EKİNCİ^{1,*}, Ayşen DEMİRÖREN², H. Lale ZEYNELGİL³, Serhat KAYA⁴
¹Batman Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 72100, Batı Raman/BATMAN

^{2,3}İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak/İSTANBUL

⁴Batman Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 72100, Batı Raman/BATMAN

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 22/01/2019

Revision: 14/04/2019

Accepted: 19/04/2019

Highlights

- Optimization
- Kidney-inspired algorithm is effective technique
- PID controller design

Keywords

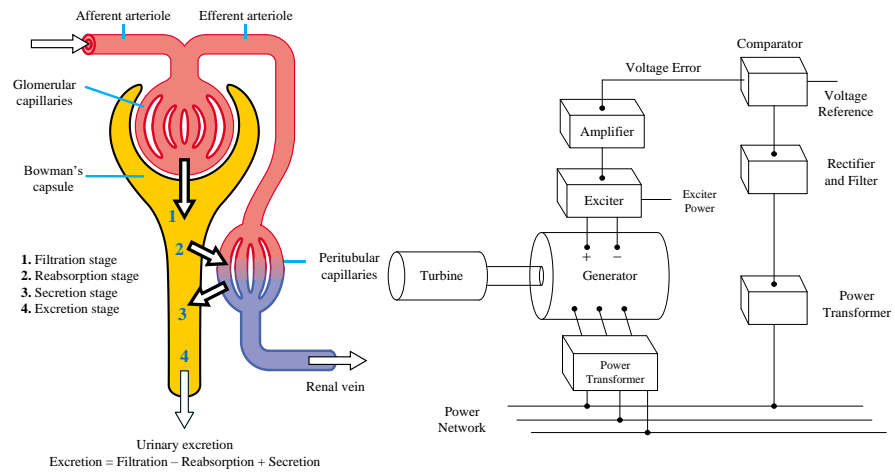
 Automatic Voltage Regulator
 Kidney-inspired Algorithm
 PID Controller


Figure A. KA-based PID controller design for AVR system

Purpose: This study presents a new design method for determining the best proportional-integral-derivative (PID) controller parameters (K_p , K_i and K_d) of an automatic voltage regulator (AVR) system using kidney-inspired algorithm (KA) for the first time.

Theory and Methods: KA technique has high quality solution ability, good computational efficiency and fast convergence characteristics. The design problem of the proposed PID controller is defined as an optimization problem and KA technique is utilized to find the controller gains of K_p , K_i and K_d .

Results: The superiority of the optimized PID controller with KA technique over Ziegler-Nichols (ZN) classical tuning method and some modern heuristic optimization algorithms based controllers is inspected via transient response analysis to achieve an efficient AVR system. To evaluate the stability of the related power system tuned by KA technique, pole/zero map analysis and Bode plot are performed. Afterwards, robustness analysis is also carried out to check the performance of the proposed controller in the AVR system.

Conclusion: The numerical simulation results verify that KA technique has an excellent tuning capability and is more efficient in improving the step response of the AVR system than the other existing methods.



Böbrek-ilhamlı Algoritma ile Otomatik Gerilim Regülatör Sistemi için PID Kontrolör Tasarımı

Serdar EKİNCİ^{1,*}, Ayşen DEMİRÖREN², H. Lale ZEYNELGİL³, Serhat KAYA⁴

¹Batman Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 72100, Batı Raman/BATMAN

^{2,3}İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak/İSTANBUL

⁴Batman Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 72100, Batı Raman/BATMAN

Öz

Bu çalışma, ilk kez böbrek-ilhamlı algoritma (KA) kullanarak otomatik gerilim regülatörü (AVR) sisteminin en iyi oransal-integral-türevsel (PID) kontrolör parametrelerini (K_p , K_i ve K_d) belirlemek için yeni bir tasarım yöntemi sunmaktadır. KA tekniği yüksek kaliteli çözüm, iyi hesaplama verimliliği ve hızlı yakınsama özelliklerine sahiptir. Önerilen PID kontrolörünün tasarım problemi bir optimizasyon problemi olarak tanımlanmıştır ve K_p , K_i ve K_d 'nin kontrolör kazançlarını bulmak için KA tekniği kullanılmıştır. KA tekniği ile optimize edilmiş PID kontrolörünün Ziegler-Nichols (ZN) klasik ayar metoduna ve bazı modern sezgisel optimizasyon algoritmalarına dayalı kontrolörlere göre üstünlüğü, etkin bir AVR sistemi elde etmek için geçici hal cevap analizi yapılarak incelenmiştir. KA tekniği ile ayarlanan ilgili güç sisteminin kararlılığını değerlendirmek için kutup/sıfır haritası analizi ile Bode çizimi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, önerilen kontrolörün performansını AVR sisteminde kontrol etmek için gürbüzlük analizi de yapılmıştır. Sayısal simülasyon sonuçları, KA tekniğinin mükemmel bir ayarlama kabiliyetine sahip olduğunu ve AVR sisteminin diğer mevcut yöntemlere göre basamak cevabını iyileştirmede daha etkili olduğunu doğrulamaktadır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 22/01/2019

Düzeltilme: 14/04/2019

Kabul: 19/04/2019

Anahtar Kelimeler

Otomatik Gerilim
Regülatörü
Böbrek-ilhamlı Algoritma
PID Kontrolör

Keywords

Automatic Voltage
Regulator
Kidney-inspired Algorithm
PID Controller

Design of PID Controller for Automatic Voltage Regulator System through Kidney-inspired Algorithm

Abstract

This study presents a new design method for determining the best proportional-integral-derivative (PID) controller parameters (K_p , K_i and K_d) of an automatic voltage regulator (AVR) system using kidney-inspired algorithm (KA) for the first time. KA technique has high quality solution ability, good computational efficiency and fast convergence characteristics. The design problem of the proposed PID controller is defined as an optimization problem and KA technique is utilized to find the controller gains of K_p , K_i and K_d . The superiority of the optimized PID controller with KA technique over Ziegler-Nichols (ZN) classical tuning method and some modern heuristic optimization algorithms based controllers is inspected via transient response analysis to achieve an efficient AVR system. To evaluate the stability of the related power system tuned by KA technique, pole/zero map analysis and Bode plot are performed. Afterwards, robustness analysis is also carried out to check the performance of the proposed controller in the AVR system. The numerical simulation results verify that KA technique has an excellent tuning capability and is more efficient in improving the step response of the AVR system than the other existing methods.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Otomatik gerilim regülatörü (AVR), senkron bir generatörün sabit gerilim seviyesini otomatik olarak kontrol etmek, ayarlamak veya korumak için tasarlanmış bir cihazdır. AVR'nin temel görevi, bir alternatörün gerilimini belirli bir seviyede tutmaktır. Bu nedenle güç sisteminin güvenliği AVR sisteminin kararlılığından ciddi şekilde etkilenir [1]. Bununla birlikte, AVR sistemi yetersiz salınımlı geçici hal cevabı, maksimum aşım ve sürekli hal hataları ile ilgili sorunlar içerir. Bu sorunlar, AVR

sistemi ve kontrolör ile bir kapalı çevrim sistemi oluşturarak aşılabilir. Farklı yapıya sahip modern kontrol tekniklerinin potansiyeline rağmen, basit yapısı ve kolay uygulanabilirliği sayesinde oransal-integral-türevsel (PID) tipi kontrolör, AVR sistemi için hala yaygın olarak kullanılmaktadır. AVR sistemlerinde PID kontrol cihazlarının endüstriyel uygulamaları, PID kontrolör parametrelerinin uygun seçiminin, sistem kesintileri sırasında tatmin edici bir performansla sonuçlandığını göstermiştir. Bu nedenle, istenilen performans seviyesini elde etmek için PID kazançlarının en iyi şekilde ayarlanması gereklidir [2].

Uzun yıllardan beri PID kazançlarının belirlenmesi amacıyla çeşitli metotlar önerilmiştir. Çok popüler geleneksel PID kontrol teknikleri Ziegler-Nichols, kazanç-faz marjı, Cohen-Coon ve kutup yerleştirme metotlarıdır [3]. Ancak bu metotlar, sistemi daha karmaşık hale getiren çok sayıda matematiksel hesaplama içerdiğinden en uygun PID parametrelerinin bulunmasını zorlaştırır. Bu sebepten ötürü, son zamanlarda kontrolör parametrelerinin optimizasyonu için yapay zeka tabanlı ayarlama ve optimizasyon yöntemleri tercih edilmektedir [4]. Genetik algoritma (GA) [5], parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) [6, 7], yapay arı kolonisi (ABC) [7], diferansiyel evrim (DE) [7], örüntü arama algoritması (PSA) [8], anarşik toplum optimizasyonu (ASO) [9], yerel tek modlu örnekleme algoritması (LUS) [10], dünya kupası optimizasyonu (WCO) [11], çekirge optimizasyon algoritması (GOA) [12], yer çekimsel arama algoritması (GSA) [13], öğretim öğrenme tabanlı optimizasyon (TLBO) [1, 14], biyo-coğrafya tabanlı optimizasyon (BBO) [15], stokastik fraktal arama (SFS) algoritması [16], sürekli ateş böceği algoritması (CFA) [2], salp sürüsü algoritması (SSA) [17], sinüs kosinüs algoritması (SCA) [18], karınca aslanı optimizasyonu (ALO) [19, 20], simbiyotik organizmalar arama algoritması [21] ve simbiyotik organizmalar arama ile benzeltmiş tavlama tekniğinin hibrit hali [22] gibi yapay zeka tabanlı yaklaşımlar AVR sisteminin PID kontrolör ayarlanması için kullanılmıştır. Bununla birlikte, AVR sistemi için optimal çözümü elde etmek için kesin bir algoritma yoktur. Bu nedenle, bir AVR sistemindeki PID kontrolörün en iyi parametrelerini tanımlamak için yeni bir sezgisel-üstü optimizasyon algoritma üzerinde çalışılması araştırmacılar için ilgi çeken önemli bir problemidir.

Verimli ve güçlü bir küresel optimizasyon tekniği olarak böbrek-ilhamlı algoritma (KA), ilk olarak 2017 yılında Jaddi ve arkadaşları tarafından önerildi [23]. Bu optimizasyon tekniği böbreklerin üriner sisteminin fizyolojik yapısındaki dört işlevi (filtreleme, geri-emilim, salgılama ve boşaltım) taklit eder. Ön çalışmalar, KA'nın optimizasyon kabiliyetinin GA, PSO ve kısıtsız optimizasyon problemlerini çözmek için literatürde bulunan diğer optimizasyon algoritmalarından daha üstün olduğunu göstermektedir [23, 24]. Keşif ve sömürü arasındaki uyumlu denge, bu optimizasyon tekniğinin en göze çarpan özelliğidir. Bu özellik, optimizasyon tekniğinin daha iyi bir yakınsamaya ulaşmasını sağlamaktadır. Bu algoritma, birkaç mühendislik uygulaması haricinde birçok araştırma konusuna henüz uygulanmamıştır [25, 26].

Bu makalede, KA tekniğinin bu avantajlarını göz önünde bulundurarak, bir AVR sisteminde PID kontrolör parametrelerini ayarlamak için KA tekniği ilk defa uygulanmıştır. Bu nedenle, bu çalışmanın asıl amacı akıllı ve verimli bir şekilde gerilim büyüklüğünü kontrol eden etkili ve gürbüz bir KA tabanlı PID (KA-PID) kontrolörünün tasarlanması ve uygulanmasıdır. Zaman ağırlıklı karesel hatanın integrali (ITSE) amaç fonksiyonu kullanılarak PID kontrolör kazançları optimize edildi ve önerilen kontrolörün performansını değerlendirmek için geçici hal cevap analizi yapıldı. Elde edilen geçici hal cevabı parametrelerinin (maksimum aşım, yerleşme zamanı, yükselme zamanı ve tepe zamanı) değerleri, klasik ayarlama tekniklerinden en bilineni olan ZN [12] ve güncel sezgisel algoritmalar sınıfına giren ABC [7], LUS [10], PSA [8] ve BBO [15] ile elde edilen değerlerle karşılaştırıldı. Önerilen sistemin geçici hal cevabı parametrelerinin tümünün en düşük değerlere sahip olması, KA tekniğinin literatürdeki diğer tekniklere olan üstünlüğünü açıkça kanıtlamaktadır. Bununla birlikte, önerilen AVR sistemin kararlılığını test etmek için, kutup/sıfır haritası analizi ile Bode analizi ve ardından bazı sistem parametrelerini değiştirerek önerilen sistemin gürbüzlük analizi yapıldı.

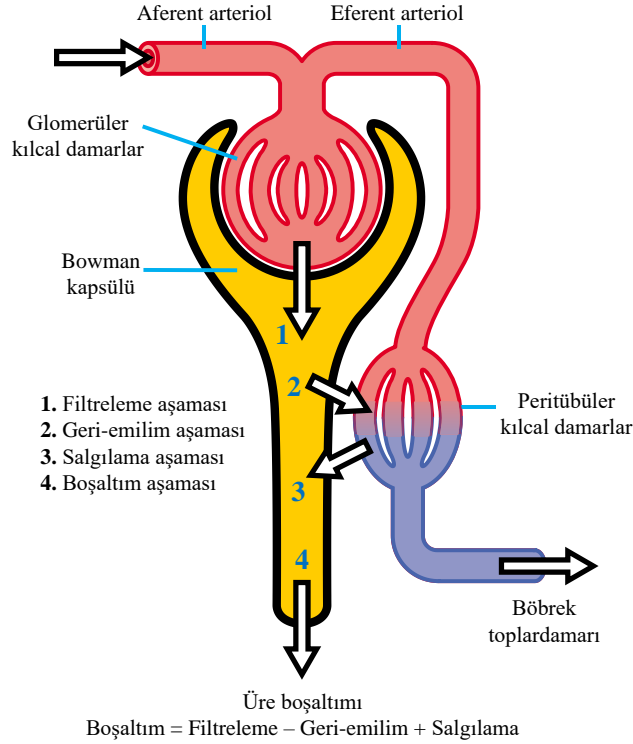
2. BÖBREK-İLHAMLI ALGORİTMA (KIDNEY-INSPIRED ALGORITHM)

KA, insan vücudundaki böbrek çalışma sürecinden esinlenilerek geliştirilmiş bir sezgisel-üstü arama algoritmasıdır. KA algoritmasının esinlendiği böbreğin çalışma döngüsünü açıklayan başlıca adımlar aşağıda verilmektedir [23, 24]:

- i. Filtreleme (filtration): su ve çözünmüş maddelerin kandan tüplere aktarılması

- ii. Geri-emilim (reabsorption): faydalı suyun ve çözülmüş maddelerin tüplerden kan dolaşımına taşınması
- iii. Salgılama (secretion): zararlı ve atık bileşenlerin kan dolaşımından tüplere aktarılması
- iv. Boşaltım (excretion): Üriner sistem yardımı ile önceki üç adımdan atık maddelerin tahliye işlemi

Şekil 1, böbrek ana biyolojik mekanizmasını göstermektedir. Şekil 1'in alt kısmında belirtildiği üzere, boşaltım miktarı, filtreleme miktarı ile salgılama miktarının toplamından geri-emilim miktarının çıkarımıdır.



Şekil 1. Böbreğin ana biyolojik mekanizması [27]

KA'da yer alan bileşenler aşağıdaki gibi basitçe tanımlanmaktadır [23, 24].

2.1. Sanal çözümlerin hareketi (Movement of virtual solutes)

KA'nın popülasyonundaki her bir çözüm, biyolojik böbrekte bir çözünmeyi temsil eder. Bu algoritmada, mevcut çözümü en iyi çözüme doğru hareket ettirerek yeni bir çözüm yaratılmaktadır. Bu hareket aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$S_{i+1} = S_i + rand(S_{best} - S_i) \quad (1)$$

Eş. (1)'de, S_i i . iterasyondaki çözüm, $rand$ 0 ile 1 arasında rastgele bir sayı ve S_{best} ise algoritma tarafından önceki iterasyonlardan elde edilen en iyi çözümdür.

2.2. Filtreleme Oranı (Filtration Rate)

Popülasyon içindeki çözümler, her bir iterasyonda bir filtreleme fonksiyonu ile hesaplanan bir filtreleme oranı kullanılarak süzülür. Filtreleme oranı (f_r) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$f_r = \alpha \times \sum_{i=1}^p f(x_i) / p \quad (2)$$

Eş. (2)'de, α sabit bir sayı olup (0, 1] aralığındadır, $f(x_i)$ amaç fonksiyonunu, x_i i . çözüm adayını ve p ise popülasyondaki çözüm aday sayısını temsil etmektedirler.

2.3. Geri-emilim süreci (Reabsorption Process)

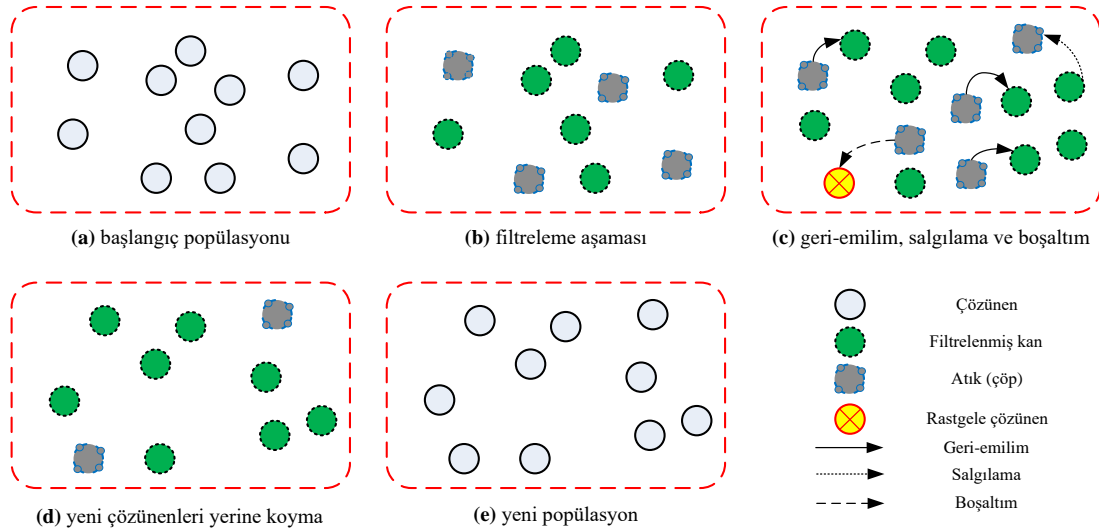
Geri-emilim operatörü, atık çöpe (W) ait bir çözünmüş kanın (FB) bir parçası olması için şans sağlayan süreçtir. Eş. (1)'deki aktarma operatörü tekrar uygulandıktan sonra, filtreleme oranını karşılaması durumunda W'ye atanan bir çözüm FB'ye geri atanabilir.

2.4. Salgılama Süreci (Secretion Process)

Salgılama, FB'ye atanan çözümler için bir operatördür. FB'ye atanan bir çözüm, FB'deki en kötü çözümden daha iyi değilse, W'ye aktarılır; aksi halde bu çözüm FB'de kalır ve FB'deki en kötü çözüm salgılanarak W'ye taşınır.

2.5. Boşaltım Süreci (Excretion Process)

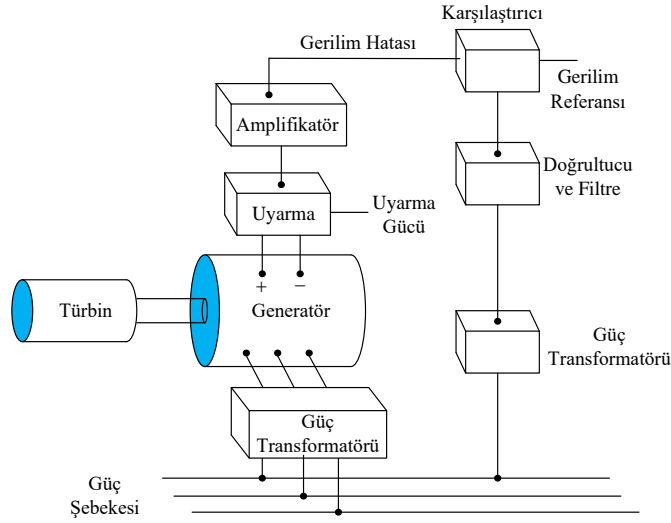
W'deki çözümler, geri-emilim şansı verildikten sonra, FB'nin bir parçası olmak için filtreleme oranını karşılayamazlarsa atılırlar. İki kez hareket ettikten sonra FB olma becerisine sahip değilse, bu çözümler atılır. Bu durumda, W'deki böyle bir çözüm, rastgele bir çözüm ile değiştirilir. Rastgele çözümlerin eklenmesi, böbreklerin glomerüler kılcal damarlarına sürekli su ve çözünmüş madde girişini taklit eder. Şekil 2, böbrek algoritmasının aşamalarını göstermektedir.



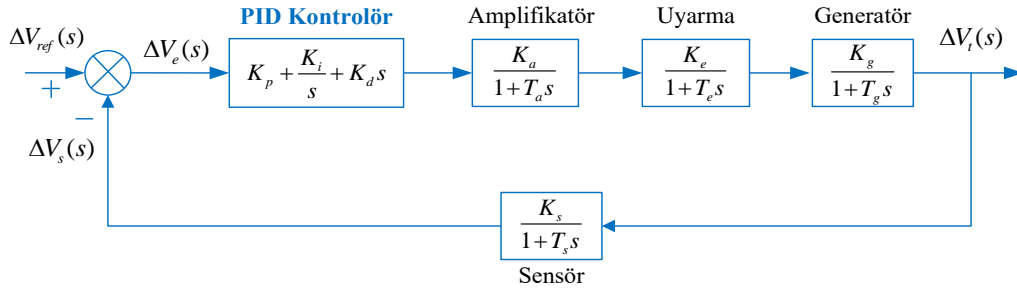
Şekil 2. KA sürecinin şeması: a) başlangıç popülasyonu, b) filtreleme aşaması, c) geri-emilim, salgılama ve boşaltım, d) yeni çözümleri yerine koyma, e) yeni popülasyon [26]

3. AVR SİSTEMİ (AVR SYSTEM)

Bir güç sisteminde, aktif güçteki bir değişim temel olarak frekans etkiler ve reaktif güçteki bir değişim ise temel olarak gerilim büyüklüğünü etkiler. Bir güç üretim sisteminin gerilim kontrolü ve frekans kontrolü arasındaki karşılıklı etki genellikle yeterince zayıf olduğundan, analizleri ayrı ayrı yapılabilir [28]. Generatörler, reaktif gücün ana kaynaklarından biridir ve bir generatörün reaktif güç kontrolünün ana araçlarından biri AVR yoluyla kendi uyarmasını kontrol etmektir. Dolayısıyla, bir AVR'nin işlevi bir generatörün terminal gerilim büyüklüğünü belirli bir seviyede tutmaktır. Şekil 3 tipik bir AVR sistemini göstermektedir. Şekil 3'te görüldüğü gibi, AVR sistemi esas olarak dört bileşenden oluşmaktadır: amplifikatör, uyarma, sensör ve generatör [28]. PID kontrol yöntemi oransal, integral ve türevsel kontrolör olarak adlandırılır [29]. PID kontrolör ilaveli bir AVR sistemi, Şekil 4'te gösterildiği gibi tüm bileşenlerinin transfer fonksiyonu ile modellenilebilir.



Şekil 3. Bir AVR sisteminin şematik diyagramı



Şekil 4. PID kontrolör ilaveli bir AVR sisteminin transfer fonksiyonu modeli.

Burada $\Delta V_{ref}(s)$, $\Delta V_s(s)$, $\Delta V_e(s)$ ve $\Delta V_t(s)$ sırasıyla referans giriş gerilimi, sensör çıkış gerilimi, hata gerilimi ve generatör terminal gerilimidir. PID kontrolsüz ve kontrolörlü AVR sisteminin transfer fonksiyonları sırasıyla aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\Delta V_t(s)}{\Delta V_{ref}(s)} = \frac{K_a K_e K_g (1 + sT_s)}{(1 + sT_a)(1 + sT_e)(1 + sT_g)(1 + sT_s) + K_a K_e K_g K_s} \quad (3)$$

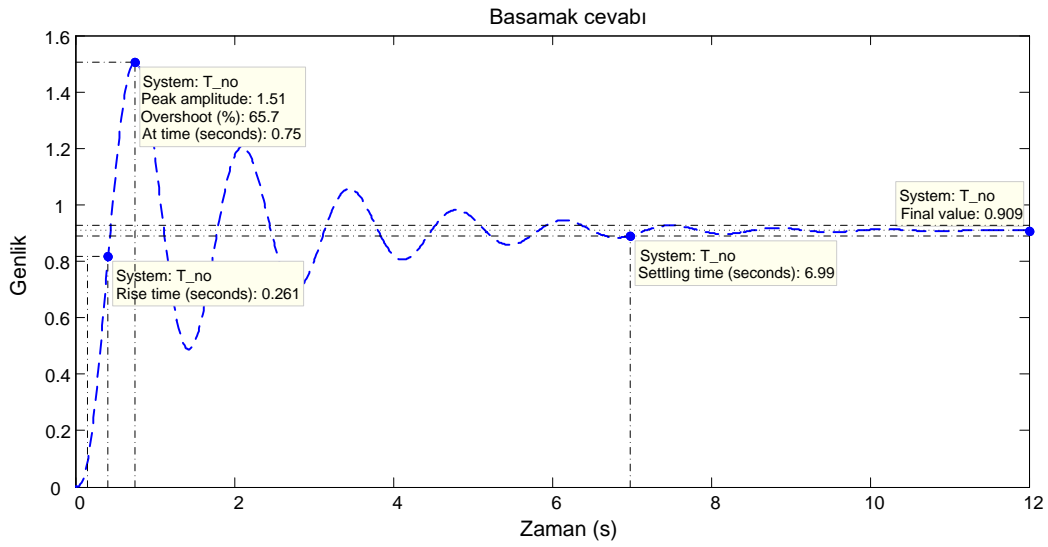
ve

$$\frac{\Delta V_t(s)}{\Delta V_{ref}(s)} = \frac{(s^2 K_d + sK_p + K_i)(K_a K_e K_g)(1 + sT_s)}{s(1 + sT_a)(1 + sT_e)(1 + sT_g)(1 + sT_s) + (K_a K_e K_g K_s)(s^2 K_d + sK_p + K_i)} \quad (4)$$

AVR sistem bileşenlerinin sınır değerleri ve AVR sisteminde kullanılan parametre değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Bu değerler kullanıldığında, sistem kararlı olmasına rağmen, kontrolsüz AVR sisteminin basamak gerilim cevabı Şekil 5’te gösterildiği gibi yüksek derecede titreşimlidir. Kontrolsüz sistemin iki reel kutbu ($s_1 = -99.971$ ve $s_2 = -12.489$) ve sönüm oranı 0.111 olan iki kompleks kutbu ($s_{3,4} = -0.5198 \pm 4.6642i$) vardır. Kontrolsüz sistemin yükselme zamanı $t_r = 0.261$ s; tepe zamanı $t_p = 0.752$ s; %2’lik tolerans bandı için yerleşme zamanı $t_s = 6.99$ s; maksimum yüzdelerik aşım $\%OS = \%65.7$ (tepe değeri $M_p = 1.5066$ pu) ve sürekli hal hatası ise $E_{ss} = 0.091$ pu’dur. Bu rakamlara bakıldığında AVR sisteminin dinamik cevabının geliştirilmesi gerekmektedir ve sürekli hal hatasının PID kontrolör kullanılarak iptal edilmesi gerektiği açıktır.

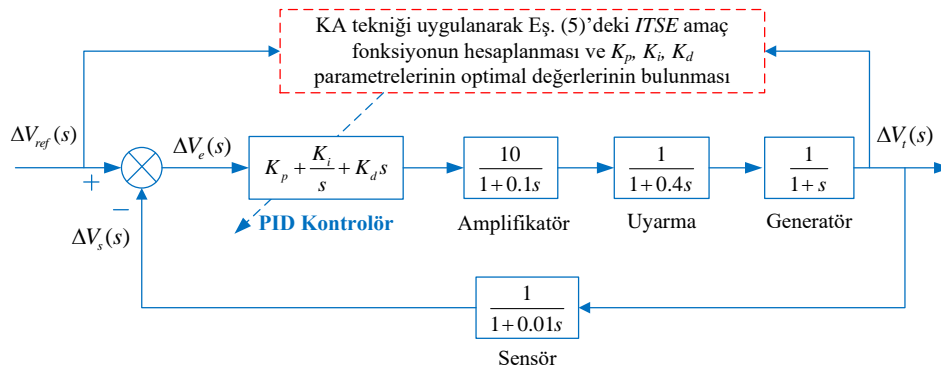
Tablo 1. PID Kontrolör İleveli AVR Sisteminin Sınır Değerleri.

Bileşenler	Parametre Aralıkları	AVR sisteminde kullanılan değerler
Kontrolör	$0.2 \leq K_p, K_i, K_d \leq 2.0$	K_p, K_i, K_d 'nin en iyi değerleri
Amplifikatör	$10 \leq K_a \leq 40, 0.02 \leq T_a \leq 0.1$	$K_a = 10, T_a = 0.1$ s
Uyarma	$1.0 \leq K_e \leq 10, 0.4 \leq T_e \leq 1.0$	$K_e = 1.0, T_e = 0.4$ s
Generatör	$0.7 \leq K_g \leq 1.0, 1.0 \leq T_g \leq 2.0$	$K_g = 1.0, T_g = 1.0$ s
Sensör	$1.0 \leq K_s \leq 2.0,$ $0.001 \leq T_s \leq 0.06$	$K_s = 1.0, T_s = 0.01$ s

**Şekil 5.** Kontrolsüz AVR sisteminin basamak cevabı.

4. AVR SİSTEMİNE KA'NIN UYGULANMASI (APPLICATION OF KA TO THE AVR SYSTEM)

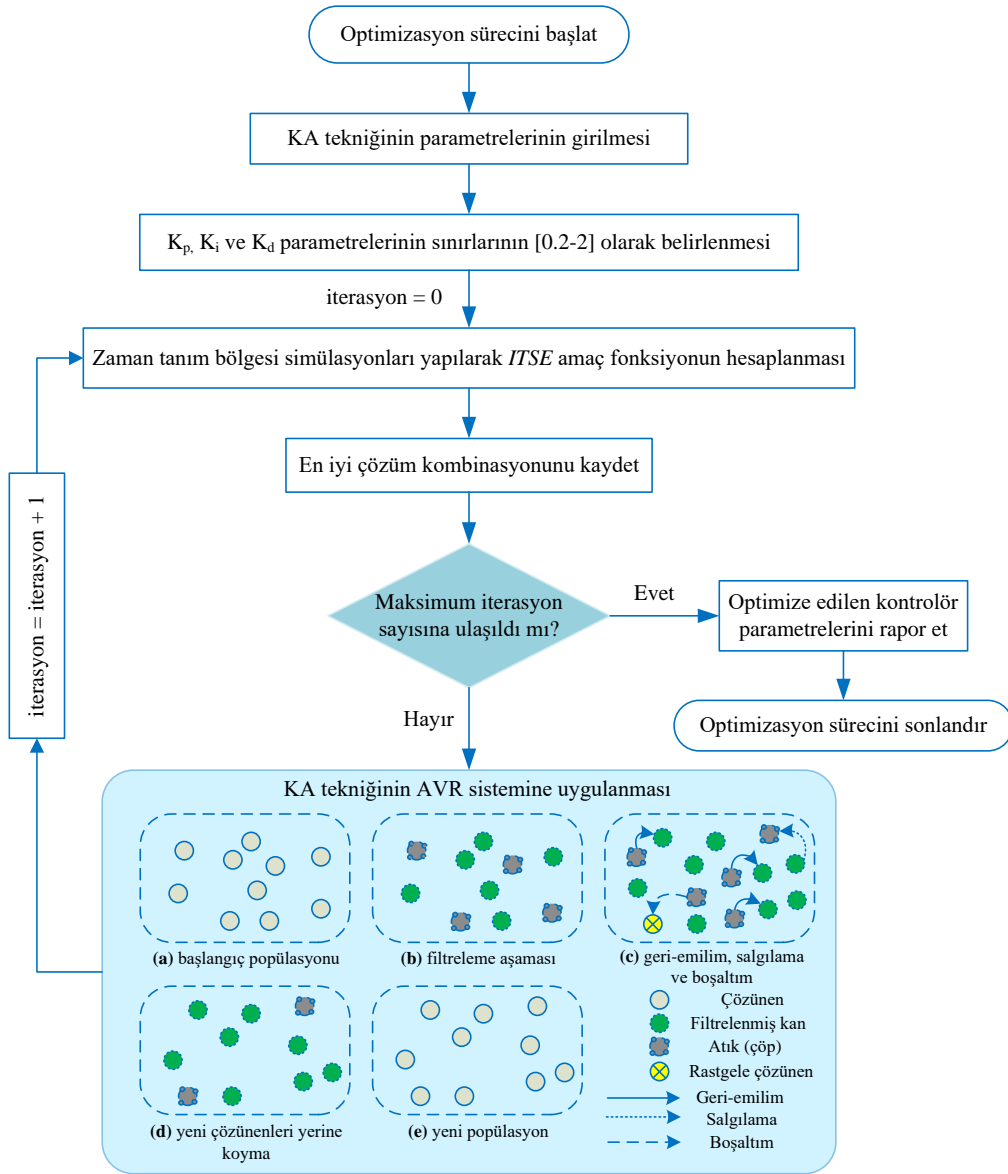
Bu bölümde bir AVR sisteminin geçici hal cevabını düzeltmek için, nispeten yeni olan güçlü KA tekniğinden yararlanarak bir PID kontrolör tasarımı gerçekleştirilecektir. KA tekniği kullanılarak en uygun K_p , K_i ve K_d kontrolör parametreleri bulunabilir ve böylece ilgili sistemin kontrol performansı etkin bir şekilde artırılabilir. KA-PID kontrolörü ile birleştirilmiş bir AVR sisteminin blok diyagramı Şekil 6'da gösterilmiştir.

**Şekil 6.** KA-PID kontrolör ilaveli AVR sistemi.

KA kullanılmak suretiyle üç adet PID parametresini optimize etmek için, tasarım parametreleri ilk olarak her çözünen maddenin reel bir sayı ile temsil edildiği $S = [K_p; K_i; K_d]$ gibi bir çözünen maddeye kodlanır.

Daha sonra, çözünen maddeler bir amaç fonksiyonunun değerini en aza indirmek için KA tekniğinin adımlarını takip ederek optimize edilir. Bu amaç fonksiyonunu seçimi oldukça önemlidir ve istenilen biçimde parametreleri optimize edilmiş bir PID kontrolörü elde etmek için problemin doğasına bağlı olarak gerçekleştirilmelidir. Bu çalışmada AVR çalışmalarında yaygın olarak kullanılan ve sistemdeki yerleşme zamanını en aza indirgeyen Eş. (5)'deki zaman ağırlıklı karesel hatanın integrali (*ITSE*) amaç fonksiyonu olarak tercih edildi. AVR sisteminin performansını optimize etmek için uygulanan KA tekniğinin detaylı akış diyagramı Şekil 7'de gösterilmiştir.

$$ITSE = \int_0^{t_{sim}} t \cdot e^2(t) \cdot dt = \int_0^{t_{sim}} t \cdot (\Delta V_e)^2 \cdot dt \quad (5)$$



Şekil 7. AVR sistemini optimize etmek için KA uygulama blok şeması

5. SİMÜLASYON SONUÇLARI (SIMULATION RESULTS)

KA tekniğine ilişkin kodlamalar ve simülasyonlar, Intel® i7 2.50 GHz işlemci ve 16.00 GB RAM özelliğine sahip kişisel bir bilgisayarda çalışan MATLAB/Simulink 7.11.0 (R2010b) ortamında yapılmıştır. Optimize edilecek parametre sayısı yalnızca üç adet olduğundan KA tekniği çalıştırılırken popülasyon (çözünen madde) büyüklüğünün 40 ve maksimum iterasyon sayısının ise 50 alınması yeterlidir. KA tekniğinin 30 kez çalıştırılmasıyla *ITSE* amaç fonksiyonu için bulunan istatistiksel sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca

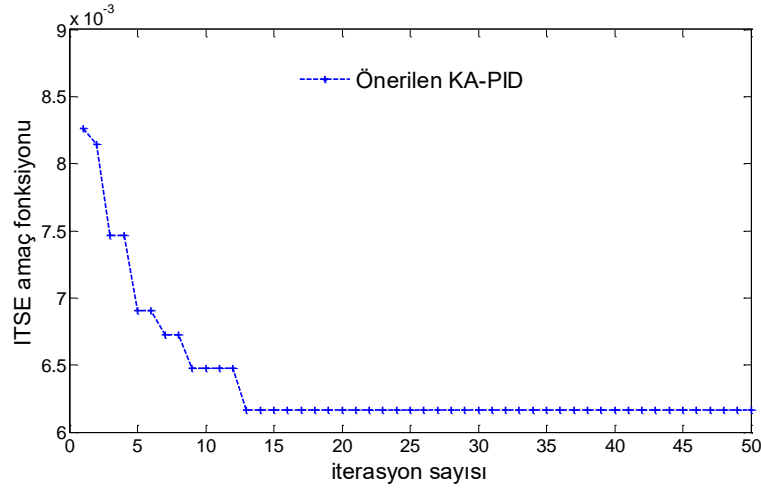
optimizasyon aşamasında geçen süre 185.07 s'dir. Simülasyon sürecinden sonra, elde edilen PID kontrolör parametrelerinin en iyi değerleri $K_p=1.0685$, $K_i=1.0018$ ve $K_d=0.5103$ 'dir. Bu parametreleri kullanmak suretiyle elde edilen KA-PID kontrolörlü sistemin kapalı çevrim transfer fonksiyonu Eş. (6)'da verilmiştir.

$$T_{KA-PID} = \frac{0.05103s^3 + 5.21s^2 + 10.79s + 10.02}{0.0004s^5 + 0.0454s^4 + 0.555s^3 + 6.613s^2 + 11.69s + 10.02} \quad (6)$$

Tablo 2. KA tekniğine ilişkin istatistiksel sonuçlar

Amaç fonksiyonu	En kötü	En iyi	Ortalama	Standart sapma
ITSE	0.00642	0.00614	0.00621	8.65E-05

Şekil 8, AVR sisteminin PID kontrolör kazançlarının optimizasyonunda önerilen KA tekniğinin tipik yakınsama profilini göstermektedir. Şekilden görüleceği gibi KA tekniği, *ITSE* amaç fonksiyonu 0.0061 değerini alarak, 13. iterasyondan sonra yakınsamaya başlamaktadır.

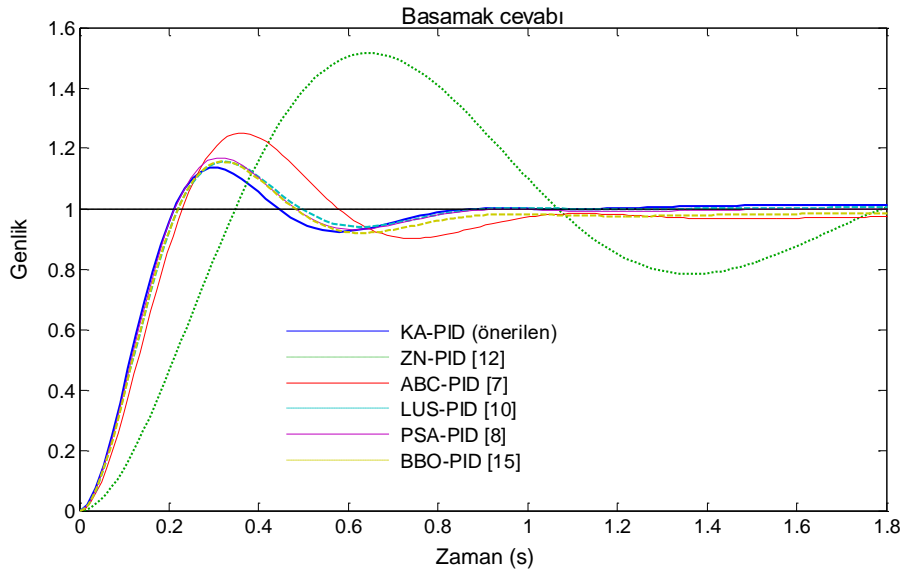


Şekil 8. KA tekniğinde yakınsama eğrisi

Önerilen KA-PID kontrolörün etkinliğini kanıtlamak amacıyla, literatürdeki çalışmalardan olan klasik ayarlama tekniğine dayalı ZN-PID [12] ve sezgisel algoritmalara dayalı ABC-PID [7], LUS-PID [10], PSA-PID [8] ve BBO-PID [15] kontrolörler ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu tekniklerdeki kontrolör kazançları için arama uzayı sınırları ve sistem parametreleri aynı olduğu için uygun bir performans karşılaştırması yapılabilir. Farklı kontrolörler ile AVR sisteminin terminal gerilim basamak cevabı için elde edilen karşılaştırmalı simülasyon sonuçları Şekil 9'da gösterilmiştir. Nominal çalışma koşulları ($K_g = 1$ ve $T_g = 1$) altında M_p , E_{ss} ($t=1.8$ s sonundaki), t_s , t_r ve t_p performans özelliklerini içeren karşılaştırmalı geçici hal cevap analizi Tablo 3'te verilmiştir. Tabloda ayrıca kontrolör parametreleri ve optimizasyon süresinde kullanılan *ITSE* amaç fonksiyonunun değerleri de verilmiştir. En iyi bulunan değerler kalın yazı tipi ile vurgulanmıştır. Tablodan açıkça anlaşılacağı üzere AVR sistemi için M_p , t_s , t_r , t_p ve *ITSE* değerleri önerilen KA-PID kontrolör ile en az çıkmıştır ve bu sonuçlar önerilen kontrolörün diğer metotlarla (ZN, ABC, LUS, PSA ve BBO) ayarlanan kontrolörlerden daha iyi performansa sahip olduğunu doğrulamaktadır.

Tablo 3. Karşılaştırmalı Optimize Edilen PID Parametreleri ve Geçici Hal Cevap Analizi Sonuçları

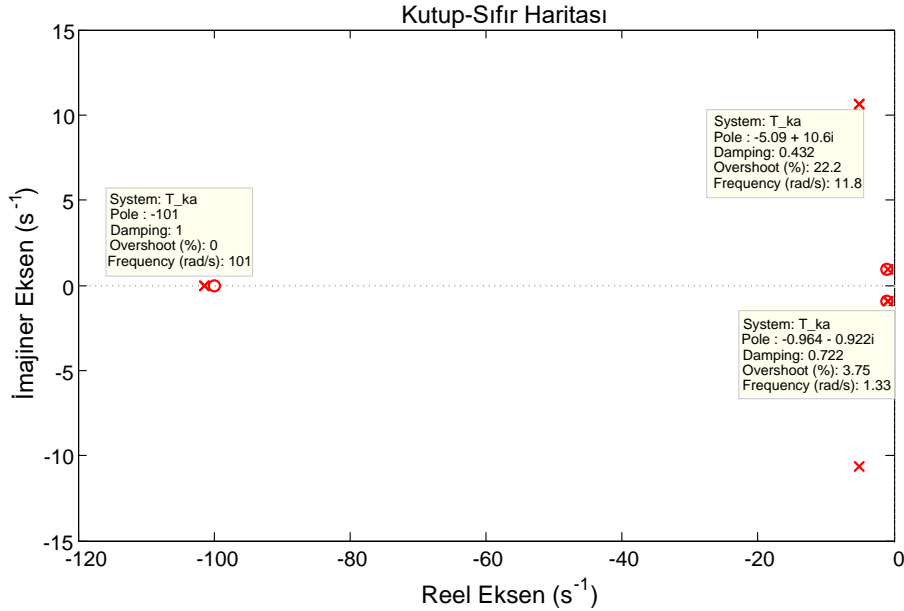
Kontrolör tipi	K_p	K_i	K_d	M_p (pu)	E_{ss} (pu)	t_s (s)	t_r (s)	t_p (s)	<i>ITSE</i> ($t_{sim}=20$ s)
KA-PID (önerilen)	1.0685	1.0018	0.5103	1.136	0.01290	0.771	0.143	0.308	0.0061
ZN-PID [12]	1.0210	1.8743	0.1390	1.515	0.00553	3.052	0.237	0.644	0.1070
ABC-PID [7]	1.6524	0.4083	0.3654	1.250	0.02684	3.094	0.156	0.360	0.0180
LUS-PID [10]	1.2012	0.9096	0.4593	1.156	0.00358	0.800	0.149	0.322	0.0064
PSA-PID [8]	1.2771	0.8471	0.4775	1.169	0.00174	0.804	0.144	0.316	0.0064
BBO-PID [15]	1.2464	0.5893	0.4596	1.160	0.01564	1.446	0.149	0.317	0.0077



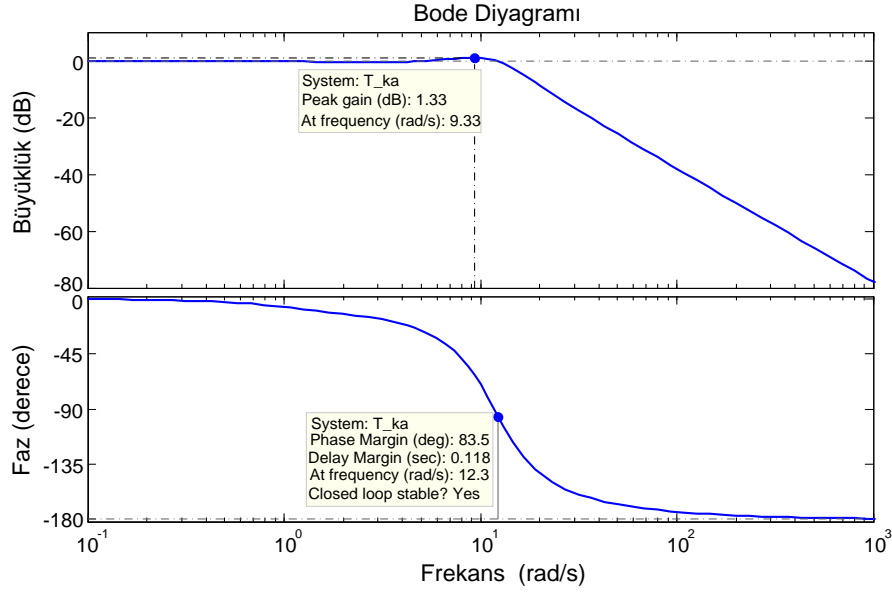
Şekil 9. KA-PID ve farklı kontrolörler ile AVR sisteminin terminal gerilim basamak cevabı

KA algoritması ile ayarlanan tasarlanmış AVR sisteminin kararlılık performansını kontrol etmek için kutup/sıfır haritası ve Bode analizleri yapılmıştır. Kutup/sıfır haritası ve Bode çizimleri sırasıyla Şekil 10 ve Şekil 11’de verilmiştir. Farklı yaklaşımlarla tasarlanan AVR sisteminin karşılaştırmalı kutup/sıfır haritası ve Bode kararlılık analizi sonuçları sırasıyla Tablo 4 ve Tablo 5’te verilmiştir.

Kutup/sıfır haritası sonuçlarına göre, KA-PID tabanlı AVR sisteminin kapalı çevrim kutupları sırasıyla $s_1 = -101.4$, $s_{2,3} = -5.0883 \pm 10.628i$ ve $s_{4,5} = -0.96356 \pm 0.92227i$ ’dir ve ilgili sönüm oranları ise sırasıyla 1.000, 0.432 ve 0.722’dir. Ayrıca, Bode çiziminden elde edilen tepe kazancı, faz payı, gecikme payı ve bant genişliği parametreleri ise sırasıyla 1.33 dB (9.33 rad/s), 83.5°, 0.118 s (12.3 rad/s) ve 15.11’dir. Bu sonuçlara göre KA-PID tabanlı sistemin kapalı çevrim kutuplarının hepsi s -düzleminin sol-yarısında olduğu için sistem kararlıdır ve sistem iyi bir frekans cevabına sahiptir.



Şekil 10. KA-PID kontrolörlü AVR sisteminin kutup/sıfır haritası çizimi.



Şekil 11. KA-PID kontrolörlü AVR sisteminin Bode çizimi

Tablo 4. Farklı Kontrolör Tipleri için AVR Sisteminin Kapalı Çevrim Kutupları ve Sönüm Oranları

Kontrolör tipi	Kapalı çevrim kutupları	Sönüm oranları
KA-PID (önerilen)	-101.4	1.00
	-5.0883+10.628i	0.432
	-5.0883-10.628i	0.432
	-0.96356+0.92227i	0.722
	-0.96356-0.92227i	0.722
ZN-PID [12]	-100.37	1.00
	-7.7225	1.00
	-1.2282+4.3549i	0.271
	-1.2282-4.3549i	0.271
	-2.9528	1.00
ABC-PID [7]	-100.98	1.00
	-3.7585+8.4058i	0.408
	-3.7585-8.4058i	0.408
	-4.7483	1.00
	-0.25108	1.00
LUS-PID [10]	-101.25	1.00
	-4.8842+9.8807i	0.443
	-4.8842-9.8807i	0.443
	-1.2388+0.56033i	0.911
	-1.2388-0.56033i	0.911
PSA-PID [8]	-101.3	1.00
	-4.8163+10.109i	0.430
	-4.8163-10.109i	0.430
	-1.2829+0.14614i	0.994
	-1.2829-0.14614i	0.994
BBO-PID [15]	-101.25	1.00
	-4.8024+9.892i	0.437
	-4.8024-9.892i	0.437
	-2.0568	1.00
	-0.58505	1.00

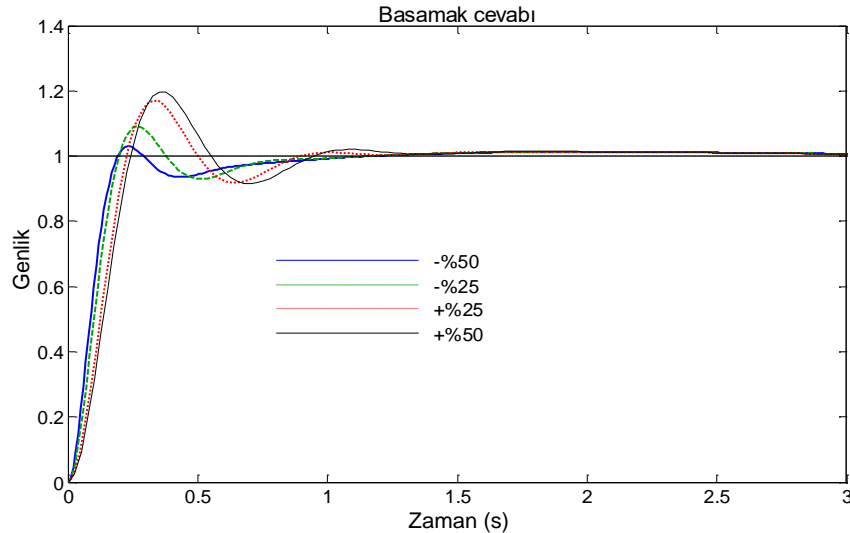
Tablo 5. Farklı Kontrolör Tipleri için AVR Sisteminin Bode Kararlılık Analizi

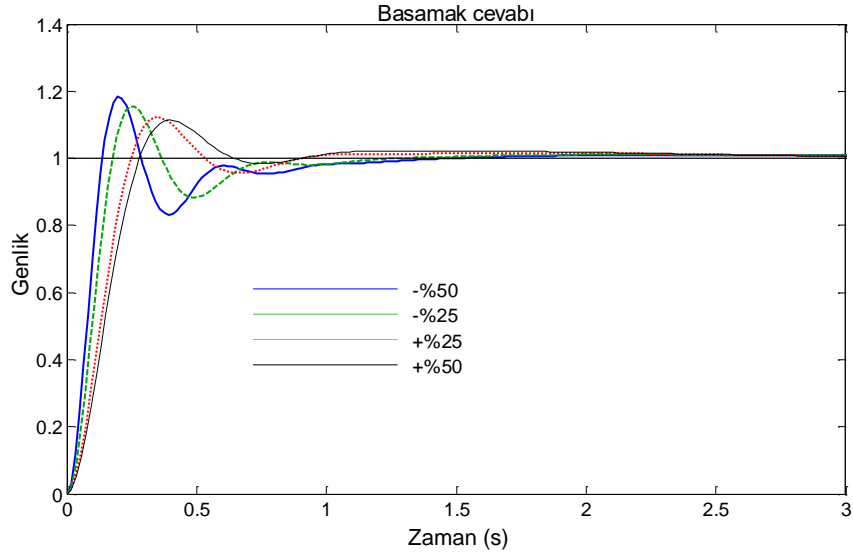
Kontrolör tipi	Tepe kazancı	Faz payı (derece)	Gecikme payı	Bant genişliği
KA-PID (önerilen)	1.33 dB (9.33 rad/s)	83.5	0.118 s (12.3 rad/s)	15.11
ZN-PID [12]	6.96 dB (4.18 rad/s)	51.9	0.14 s (6.48 rad/s)	7.428
ABC-PID [7]	2.87 dB (7.52 rad/s)	69.4	0.111 s (10.9 rad/s)	12.88
LUS-PID [10]	1.43 dB (8.59 rad/s)	83.2	0.126 s (11.6 rad/s)	14.21
PSA-PID [8]	1.68 dB (8.89 rad/s)	79.7	0.115 s (12.1 rad/s)	14.64
BBO-PID [15]	1.56 dB (8.65 rad/s)	81.6	0.122 s (11.7 rad/s)	14.28

Son olarak, KA tekniği ile ayarlanan PID kontrollü AVR sisteminin gürbüzlüğüne incelemek için amplifikatör, uyarma, generatör ve sensör zaman sabitleri %25'lik adımlarla -%50 ile +%50 arasında ayrı ayrı değiştirildi. Elde edilen sonuçlar Şekil 12-15 ve Tablo 6'da sunulmuştur. Ayrıca incelenen sisteme ilişkin toplam sapma aralığı ve maksimum sapmaların yüzdelik değerleri ise Tablo 7'de listelenmiştir. Bu tablo, KA ile optimize edilen AVR sisteminin gürbüz olduğuna işaret etmektedir.

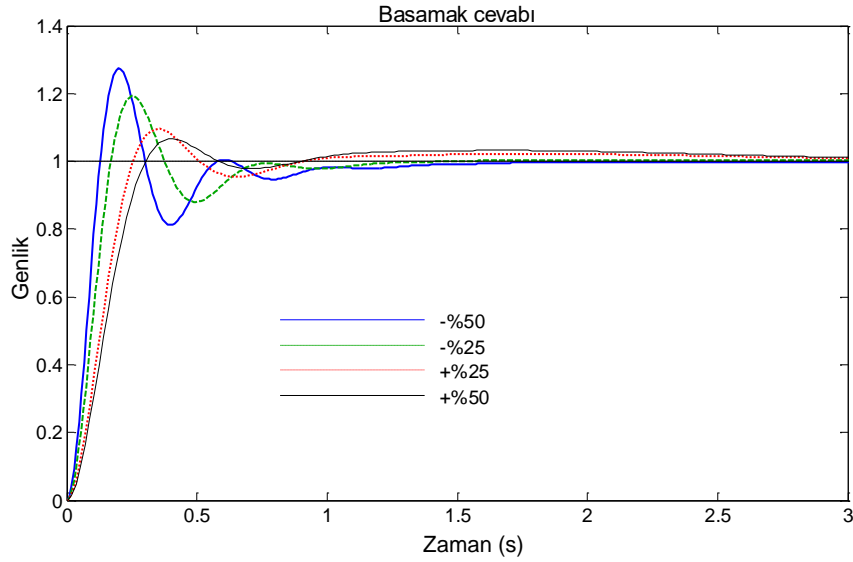
Tablo 6. KA Tekniği ile Optimize Edilmiş Kontrol Sisteminin Gürbüzlük Analizi Sonuçları

Parametre	Yüzdelerik değişim oranı	M_p (pu)	t_s (s) (\pm %2)	t_r (s)	t_p (s)
T_a	-50	1.029	0.792	0.123	0.238
	-25	1.092	0.728	0.133	0.269
	+25	1.171	0.830	0.153	0.326
	+50	1.197	1.111	0.163	0.352
T_e	-50	1.184	0.969	0.093	0.196
	-25	1.155	0.701	0.119	0.245
	+25	1.123	0.805	0.166	0.352
	+50	1.114	1.827	0.188	0.395
T_g	-50	1.275	1.198	0.087	0.199
	-25	1.193	1.016	0.115	0.248
	+25	1.095	2.103	0.171	0.358
	+50	1.066	2.520	0.200	0.407
T_s	-50	1.112	0.779	0.148	0.304
	-25	1.124	0.775	0.145	0.297
	+25	1.150	0.768	0.141	0.301
	+50	1.163	0.766	0.139	0.293

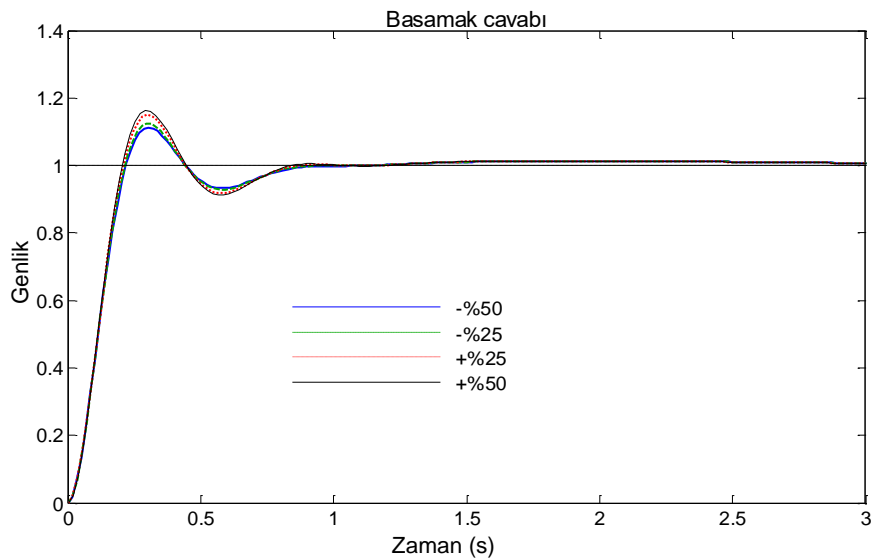
**Şekil 12. -%50 ile +%50 aralığında değişen T_a için gerilim değişim eğrileri**



Şekil 13. -50% ile $+50\%$ aralığında değişen T_e için gerilim değişim eğrileri



Şekil 14. -50% ile $+50\%$ aralığında değişen T_g için gerilim değişim eğrileri



Şekil 15. -50% ile $+50\%$ aralığında değişen T_s için gerilim değişim eğrileri

Tablo 7. Toplam Sapma Aralığı ve Sistemin Maksimum Sapma Yüzdesi

Parametre	Performans ölçütleri	Toplam sapma aralığı	Maksimum sapma yüzdesi (%)
T _a	M_p (pu)	0.168	9.42
	t_s (s) ($\pm\%2$)	0.383	44.10
	t_r (s)	0.040	13.99
	t_p (s)	0.114	22.73
T _e	M_p (pu)	0.070	4.23
	t_s (s) ($\pm\%2$)	1.126	136.96
	t_r (s)	0.095	34.97
	t_p (s)	0.199	36.36
T _g	M_p (pu)	0.209	12.24
	t_s (s) ($\pm\%2$)	1.504	226.85
	t_r (s)	0.113	39.86
	t_p (s)	0.208	35.39
T _s	M_p (pu)	0.051	2.38
	t_s (s) ($\pm\%2$)	0.013	1.04
	t_r (s)	0.009	3.50
	t_p (s)	0.011	4.87

6. SONUÇ (CONCLUSION)

PID kontrolör, dikkate değer etkinliği ve uygulama kolaylığı nedeniyle kontrol sistemlerinde kullanılan en popüler kontrolördür. PID kontrolörlerinin tasarımında PID parametrelerini ayarlamak çok önemlidir. Bu ayarlama yetersizse, sadece kontrol performansları kötüleşmez, aynı zamanda kontrol sistemi de verimsiz olur. Bu makalede, insan vücudundaki böbreklerin temel işlevinden esinlenen güncel bir optimizasyon algoritması olan KA tekniğinin AVR sistemindeki PID kontrolör tasarımında kullanılması ilk kez önerilmiştir. Parametre ayarlama sürecinde, tekli amaç fonksiyonu olarak *ITSE* kullanılarak KA tekniği defalarca çalıştırıldı ve minimum iterasyon sayısı ile PID kazançlarının en iyi değerleri bulundu. Sunulan tasarımın işe yararlılığını açığa çıkarmak için klasik ayarlama kuralından ZN ve bazı modern optimizasyon tekniklerinden ABC, LUS, PSA ve BBO algoritmaları ile performans karşılaştırması yapılmıştır. Simülasyon sonuçları, KA ile ayarlanan sistemin M_p , t_s , t_r , t_p ve *ITSE* açısından mevcut tekniklere nazaran daha iyi geçici hal cevap profiline sahip olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, KA tekniği ile ayarlanan sistemin kararlılığını değerlendirmek için kutup/sıfır haritası analizi, Bode analizi ve gürbüzlük analizi yapılmıştır. Bu analizlerden sistemin iyi bir kararlılık yapısına sahip olduğu ve önerilen KA-PID kontrolörün sistem parametreleri değişiminden etkilenmediği görülmüştür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] S. Chatterjee, V. Mukherjee, PID controller for automatic voltage regulator using teaching-learning based optimization technique, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 77 (2016) 418-429.
- [2] O. Bendjeghaba, Continuous firefly algorithm for optimal tuning of PID controller in AVR system, *Journal of Electrical Engineering*, 65: 1 (2014) 44-49.
- [3] L. dos Santos Coelho, Tuning of PID controller for an automatic regulator voltage system using chaotic optimization approach, *Chaos, Solitons & Fractals*, 39: 4 (2009) 1504-1514.
- [4] S. Ekinçi, B. Hekimoğlu, Multi-machine power system stabilizer design via HPA algorithm, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32: 4, (2017) 1271-1285.
- [5] H.M. Hasanien, Design optimization of PID controller in automatic voltage regulator system using Taguchi combined genetic algorithm method, *IEEE Systems Journal*, 7: 4 (2013) 825-831.

- [6] Z. L. Gaing, A particle swarm optimization approach for optimum design of PID controller in AVR system, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 19: 2 (2004) 384-391.
- [7] H. Gozde, M. C. Taplamacioglu, Comparative performance analysis of artificial bee colony algorithm for automatic voltage regulator (AVR) system, *Journal of the Franklin Institute*, 348: 8 (2011) 1927-1946.
- [8] B. K. Sahu, S. Panda, P. K. Mohanty, N. Mishra, Robust analysis and design of PID controlled AVR system using pattern search algorithm, *IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, Bengaluru, India, (2012) 1-6.
- [9] H. Shayeghi, J. Dadashpour, Anarchic society optimization based PID control of an automatic voltage regulator (AVR) system, *Electrical and Electronic Engineering*, 2: 4 (2012) 199-207.
- [10] P. K. Mohanty, B. K. Sahu, S. Panda, Tuning and assessment of proportional–integral–derivative controller for an automatic voltage regulator system employing local unimodal sampling algorithm, *Electric Power Components and Systems*, 42: 9 (2014) 959-969.
- [11] N. Razmjooy, M. Khalilpour, M. Ramezani, A new meta-heuristic optimization algorithm inspired by FIFA world cup competitions: theory and its application in PID designing for AVR system, *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 27: 4 (2016) 419-440.
- [12] B. Hekimoğlu, S. Ekinçi, Grasshopper optimization algorithm for automatic voltage regulator system, *IEEE 5th International Conference on Electrical and Electronic Engineering (ICEEE)*, Istanbul, Turkey, (2018) 152-156.
- [13] S. Duman, N. Yörükeren, İ. H. Altaş, Gravitational search algorithm for determining controller parameters in an automatic voltage regulator system, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24: 4, (2016) 2387-2400.
- [14] V. Rajinikanth, S. C. Satapathy, Design of controller for automatic voltage regulator using teaching learning based optimization, *Procedia Technology*, 21 (2015) 295-302.
- [15] U. Güvenç, A. H. Işık, T. Yiğit, I. Akkaya, Performance analysis of biogeography-based optimization for automatic voltage regulator system, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24: 3 (2016) 1150-1162.
- [16] E. Çelik, Incorporation of stochastic fractal search algorithm into efficient design of PID controller for an automatic voltage regulator system, *Neural Computing and Applications*, 30: 6 (2018) 1991-2002.
- [17] S. Ekinçi, B. Hekimoglu, S. Kaya, Tuning of PID controller for AVR system using salp swarm algorithm, *IEEE International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*, Malatya, Turkey, (2018) 424-429.
- [18] B. Hekimoglu, Sine-cosine algorithm-based optimization for automatic voltage regulator system, *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 41: 6 (2019) 1761-1771.
- [19] R. Pradhan, S. K. Majhi, B. B. Pati, Design of PID controller for automatic voltage regulator system using Ant Lion Optimizer, *World Journal of Engineering*, 15: 3 (2018) 373-387.
- [20] S. Ekinçi, B. Hekimoglu, S. Kaya, O. Adibelli, Ş. Ay, Design of PID controller employing ALO algorithm for automatic voltage regulator system, *1st International Engineering and Technology Symposium (IETS 2018)*, Batman, Turkey, (2018) 640-645.
- [21] E. Çelik, R. Durgut, Performance enhancement of automatic voltage regulator by modified cost function and symbiotic organisms search algorithm, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 21: 5 (2018) 1104-1111.

- [22] E. Çelik, N. Öztürk, A hybrid symbiotic organisms search and simulated annealing technique applied to efficient design of PID controller for automatic voltage regulator, *Soft Computing*, 22: 23 (2018) 8011-8024.
- [23] N. S. Jaddi, J. Alvankarian, S. Abdullah, Kidney-inspired algorithm for optimization problems, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 42 (2017) 358-369.
- [24] N. S. Jaddi, S. Abdullah, Optimization of neural network using kidney-inspired algorithm with control of filtration rate and chaotic map for real-world rainfall forecasting, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 67 (2018) 246-259.
- [25] S. Ekinci, B. Hekimoğlu, E. Uysal, Kidney-inspired algorithm for determination of PID power system stabilizer parameters. *Journal of Polytechnic*, 22: 2 (2019) 453-460.
- [26] S. Ekinci, A. Demiroren, B. Hekimoglu, Parameter optimization of power system stabilizers via kidney-inspired algorithm, *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 41: 5 (2019) 1405-1417.
- [27] J. E. Hall, *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*. Philadelphia: Elsevier Health Sciences (2015).
- [28] S. Ekinci, B. Hekimoğlu, Improved kidney-inspired algorithm approach for tuning of PID controller in AVR system, *IEEE Access*, 7 (2019) 39935-39947.
- [29] K. Kayışlı, M. Uğur, 3 Serbestlik Dereceli Bir Robot Kolun Bulanık Mantık ve PID ile Kontrolü, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5: 4 (2017) 223-233.



Reactive Power Control of Thyristor Controlled Reactor using Neuro - Fuzzy Controller

Ö. Fatih KEÇEÇİOĞLU^{1,*} Erdal KILIÇ¹

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Department of Electrical and Electronics Engineering, 46100, Onikişubat/KAHRAMANMARAŞ

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 21/02/2019

Revision 16/04/2018

Accepted: 08/05/2019

Highlights

- Multi-source operation of NPC inverters.
- Voltage balancing of NPC inverters.
- Harmonic compensation of grid connected NPC inverters

Keywords

Reactive Power
Thyristor controlled reactor
Neuro-fuzzy controller

In this study, the reactive power of thyristor controlled reactor (TCR) that is fundamental element of flexible ac transmission system devices is controlled using neuro-fuzzy controller. Adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS) is used as neuro-fuzzy control architecture. A simulation model was developed in MATLAB / Simulink environment to examine the performance of the proposed controller.

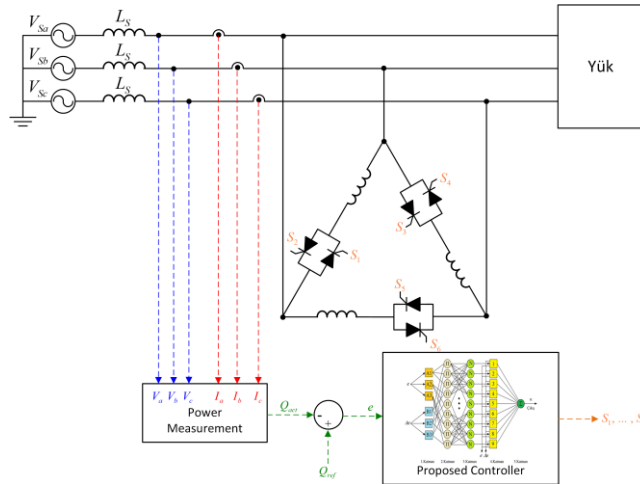


Figure A. Proposed Method for Reactive Power Control of Thyristor Controlled Reactor

Purpose: Conventional Proportional Integral (PI) controller is mostly used flexible AC transmission system (FACTS) devices. However, system parameter variations and non-linear system structures severely impair the performance of this controller. In this study, the neuro-fuzzy controller is used for overcome to these disadvantages.

Theory and Methods: The neuro-fuzzy controller is designed for reactive power control of TCR. Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) is used as neuro-fuzzy control architecture. In order to examine the performance of the proposed controller, two different cases are simulated in the studies. The reactive power control performance of the proposed controller is compared to two PI controllers.

Results: Simulation results show that the tracking of the reference reactive power of proposed controller is more successfully than to PI controllers. The results that are obtained under the voltage disturbance condition show that, the neuro-fuzzy controller is better disturbance rejection capability than PI controllers.

Conclusion: In this study, the neuro-fuzzy controller is used for reactive power control of TCR. The proposed controller for TCR is more superior than conventional PI controllers in terms of control performance parameters (rising time, settling time and overshoot) values. The proposed controller has improved the reactive power control capabilities of thyristor controlled reactor.



Tristör Kontrollü Reaktörün Sinirsel Bulanık Denetim Esaslı Reaktif Güç Kontrolü

Ö. Fatih KEÇECİOĞLU^{1,*} Erdal KILIÇ¹

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 46100, Onikişubat/KAHRAMANMARAŞ

Öz

Bu çalışmada, esnek AA iletim sistemi cihazlarının ana elemanlarından biri olan tristör kontrollü reaktörün (TKR) sinirsel bulanık denetim esaslı reaktif güç kontrolü yapılmıştır. Sinirsel bulanık denetim mimarisi olarak adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) kullanılmıştır. Önerilen denetleyicinin başarımını incelemek için MATLAB/Simulink ortamında benzetim modeli oluşturulmuştur. Bununla birlikte ANFIS denetim esaslı TKR'nin farklı çalışma durumlarındaki referans reaktif gücü takip etme başarımı klasik Oransal İntegral (PI) denetleyici ile karşılaştırılmıştır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 21/02/2019

Düzeltilme: 16/04/2018

Kabul: 08/05/2019

Anahtar Kelimeler

Reaktif güç
Tristör kontrollü reaktör
Sinirsel bulanık
denetleyici

Keywords

Reactive Power
Thyristor controlled
reactor
Neuro-fuzzy controller

Reactive Power Control of Thyristor Controlled Reactor using Neuro - Fuzzy Controller

Abstract

In this study, the reactive power of thyristor controlled reactor (TCR) that is fundamental element of flexible ac transmission system devices is controlled using neuro-fuzzy controller. Adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS) is used as neuro-fuzzy control architecture. A simulation model was developed in MATLAB / Simulink environment to examine the performance of the proposed controller. In addition to this, the tracking performance of the reference reactive power in different simulation cases of ANFIS controller based TCR is compared with the conventional Proportional Integral (PI) controller.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

AA iletim hatlarının elektrik enerjisi kalitesinin iyileştirilmesi için artan gereksinimler ve kısıtlamalarla birlikte yeni iletim hatları ve enerji üretim santrallerinin kurulmasında ortaya çıkan sorunlar mevcut enerji santrallerinin ve iletim hatlarının en etkin şekilde kullanımını gerektirmektedir [1]. Ayrıca geleneksel güç sistemlerinin düşük gerilim denetim performansı gibi sahip olduğu dezavantajlar yüzünden esnek AA iletim ve dağıtım sistemleri gittikçe önem kazanmıştır. Güç sistemlerinde esnek AA iletim sistemi cihazlarının kullanımının avantajları şu şekilde sıralanabilir: güç aktarım kapasitesinin artırılması ve performansının geliştirilmesi, gerilimin iyileştirilmesi, reaktif ve aktif güç kontrolü [2, 3]. Ayrıca bu cihazlar güç elektroniği tabanlı olduğundan geleneksel sistemlere göre daha hızlı tepki verme özelliğine sahiptirler. Yine bu cihazlar uygun bir şekilde ayarlandığı zaman için güç sistemlerinin kararlılığının iyileştirilmesine de katkı sağlarlar [2, 4]. Bu cihazlar, güç sisteminin seri empedansı, akımı, gerilimi, aktif ve reaktif gücü gibi şebeke parametrelerinin uygun kompanzasyonu yoluyla güç sisteminin denetimini sağlamaktadırlar. Esnek AA iletim sistemleri cihazları olarak statik VAR kompanzator (SVK) gibi tristör temelli cihazlar ve statik senkron kompanzator gibi dönüştürücü tabanlı cihazlar kullanılmaktadır.

SVK sistemleri, güç elektroniği ve gömülü sistemlere dayalı cihazlardır. Bu nedenle, şebekeden çekilen veya verilen reaktif gücü hızla kontrol edebilir ve müdahale edebilirler [4]. SVK sistemleri, TKR, tristör anahtarlamalı reaktör (TAR), Sabit kapasitör-tristör kontrollü reaktör (SK-TKR), tristör anahtarlamalı

kapasitör (TAK) veya TAK-TKR yapılarından oluşmaktadır. Bu yapılardan her biri tek başına kullanılabilirdiği gibi birlikte de kullanılabilirler.

TKR, esnek AA iletim sistemleri cihazlarının ana elemanlarından birisidir. Tristör kontrollü reaktörler, diğer esnek AA iletim sistemi cihazlarına göre daha basit yapısı ve kurulum maliyetinin ucuz olması nedeniyle günümüzde reaktif güç kompanzasyonu için sıklıkla kullanılır hale gelmiştir. TKR'lerde reaktif güç kontrolü, yapısında bulunan tristörlerin tetikleme açılarının denetimi ile bu tristörlere bağlı reaktörlerin süseptansının ayarlanması ile sağlanır [5].

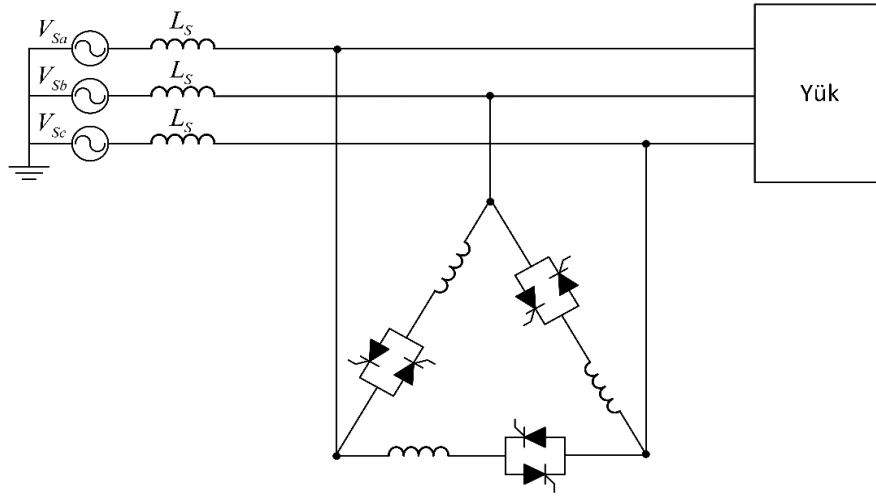
Geleneksel PID tipi denetleyiciler, basit ve hızlı olmasından dolayı endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak sistem parametre varyasyonları ve doğrusal olmayan sistem yapıları bu denetleyicilerin performansını ciddi şekilde bozmaktadır. TKR'lerde tetikleme açısına göre süseptansının değişimi doğrusal olmayan bir karaktere sahip olduğundan geleneksel denetleyiciler reaktif gücün anlık değişimi için yeterli ölçüde başarı gösterememektedir. TKR'nin yüksek performanslı reaktif güç denetimi için birçok araştırmacı, model öngörülü denetim, bulanık mantık, yapay sinir ağları (YSA), genetik algoritma, kayan kipli denetim gibi çeşitli denetim stratejilerini önermiştir [6-10]. Özellikle sistem belirsizlikleri ve zamanla değişen sistem parametreleri dikkate alındığında denetimde daha iyi bir performans elde etmek için uyarlamalı denetleyicilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bulanık denetleyicilerin çıkarım yapabilme özelliği [11] ile yapay sinir ağlarının öğrenme, genelleme ve uyarlama yeteneklerini [12] yapısında bulunduran sinirsel bulanık denetleyiciler doğrusal olmayan sistemlerin denetiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sinirsel bulanık denetleyici yapısı, bulanık kuralların ve denetim sisteminin özelliklerini ayarlayarak tüm farklı sistem koşullarına ve bozucu girişlere daha iyi uyum sağlamaktadır. Bu çalışmada TKR'lerdeki süseptans, sinirsel bulanık denetleyici ile ayarlanarak TKR'nin reaktif güç kontrolü gerçekleştirilmiştir. Sinirsel bulanık denetleyici tipi olarak ise adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) mimarisi kullanılmıştır.

Bu makale şu şekilde düzenlenmiştir: TKR'nin yapısı ve analizi bölüm 2'de, TKR için tasarlanan ANFIS yapısı bölüm 3'te ve benzetim çalışmasının sonuçları ile önerilen denetleyicinin başarımı ise Bölüm 4'te verilmiştir.

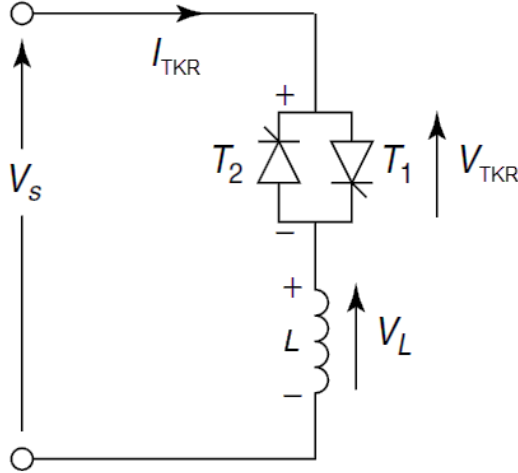
2. TRİSTÖR KONTROLLÜ REAKTÖR (THYRISTOR CONTROLLED REACTOR)1

TKR'ler SVK'ları oluşturan en önemli yapılardan birisidir. TKR'ler güç sistemi içerisinde tek başına kullanıldıkları gibi, endüktif veya kapasitif reaktif gücün hızlı ve sürekli kontrolünü sağlamak için sabit veya tristör anahtarlamalı kondansatörlerle birlikte de kullanılabilirler. Üç fazlı bir yükü ve sadece TKR yapısını içeren güç sistemi şekil 1'de gösterilmiştir. Buradaki yapı genellikle kapasitif karakterli yükler ile dengeli olmayan yüklerin kompanzasyonu için kullanılmaktadır [13].



Şekil 1. TKR yapısını içeren üç fazlı bir güç sistemi

TKR'nin tek faz eşdeğer devresi şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü üzere TKR yapısı bir tristör valfi ve reaktörün birbirine seri bağlanmasıyla oluşur. Yapıdaki tristör valfi reaktör üzerindeki sinüzoidal akımı sağlamak için çift yönlü bir anahtar gibi davranmaktadır [3, 5-7]. Böylece TKR için tetikleme açısı (α)'na bağlı ve kontrol edilebilir süseptans fonksiyonu elde edilir.



Şekil 2. TKR'nin tek faz eşdeğer devresi

Şekil 2'de verilen devrede kaynak gerilimi,

$$v_s(t) = V_m \cdot \sin(\omega t) \quad 1$$

olarak ifade edilirse reaktör gerilimi de,

$$v_L(t) = L \cdot \frac{di_{TKR}(t)}{dt} = v_s(t) \quad 2$$

diferansiyel eşitliğiyle gösterilir. Burada, L , TKR'nin endüktansıdır. TKR akımı ise,

$$i_{TKR}(t) = \frac{1}{L} \int v_s(t) \cdot dt \quad 3$$

olarak ifade edilir. Eşitlik 3'ün çözümü yapılırsa

$$i_{TKR}(t) = -\frac{V_s}{\omega L} \cos(\omega t) \quad 4$$

olarak bulunur. Bu eşitlikte $\alpha < \omega t < (\alpha + \sigma)$ sınır şartları kullanıldığında TKR akımı,

$$i_{TKR}(t) = -\frac{V_s}{\omega L} (\cos \alpha - \cos \omega t) \quad 5$$

eşitliği ile ifade edilir. TKR akımının temel bileşeni I_{TKR1} 'yi elde etmek için Fourier analizi kullanılırsa,

$$i_{TKR1}(\alpha) = \frac{V_s}{\omega L} \left(2 - \frac{2\alpha}{\pi} + \frac{1}{\pi} \sin(2\alpha) \right) \quad 6$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlik,

$$i_{TKR1}(\alpha) = V_s \cdot B_{TKR} \quad 7$$

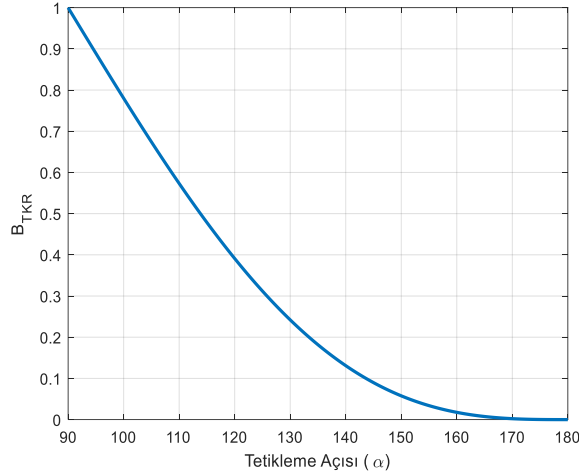
olarak da yazılabilir. Eşitlik 6 ve 7 kullanılarak reaktörün süseptansı,

$$B_{TKR} = B_{\max} \cdot \left(2 - \frac{2\alpha}{\pi} + \frac{1}{\pi} \sin(2\alpha) \right) \quad 8$$

elde edilir. Bu eşitlikte verilen B_{\max} ,

$$B_{\max} = B_L = \frac{1}{\omega L} \quad 9$$

olarak ifade edilir. Tristörlerin tetikleme açısının kontrol edilebilir aralığı 90° ile 180° arasındadır. Tetikleme açısının durumuna göre reaktör süseptansının değişimi Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 3’de görüldüğü üzere 90° ’lik bir tetikleme açısı, TKR’de sürekli bir sinüzoidal akım akışı ile tam tristör iletimi sağlar ve reaktörün reaktif gücü tam olarak güç sistemine aktarılır. Tetikleme açısı arttıkça TKR tarafından üretilen endüktif reaktif güçte sıfıra yaklaşır.



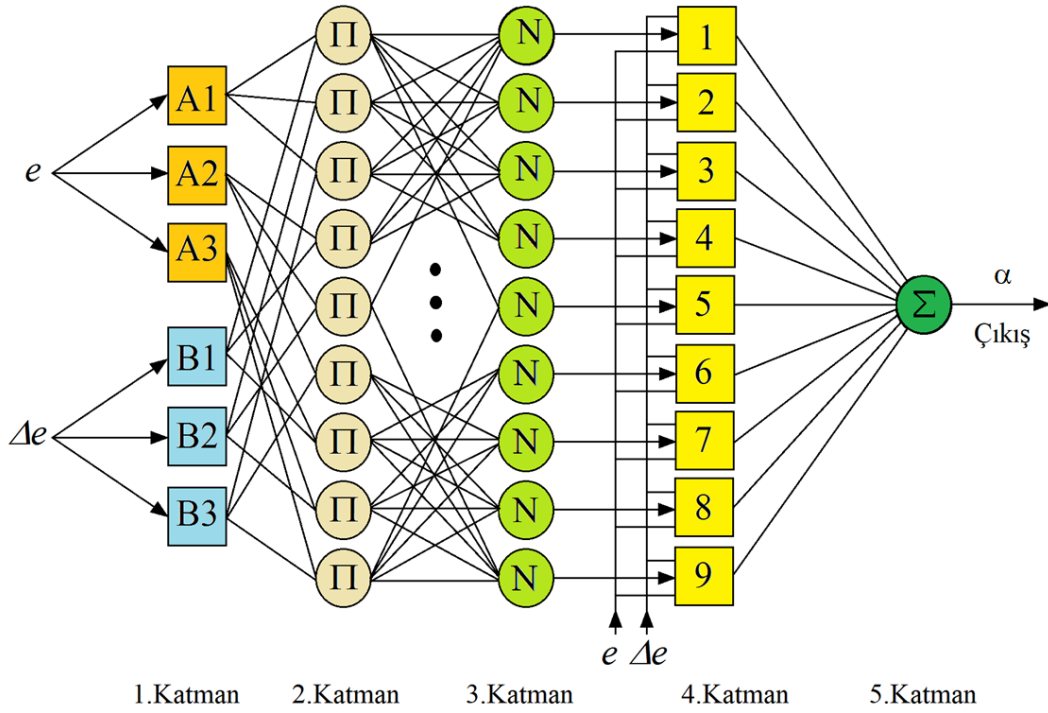
Şekil 3. Tetikleme açısına göre TKR süseptansının değişimi

3. TKR İÇİN ANFIS DENETLEYİCİ TASARIMI (ANFIS CONTROLLER DESIGN FOR TCR)

Karmaşık sistemlerin sınıflandırılması, modellenmesi ve denetimi gibi problemlerde etkili olan ANFIS mimarisi yapay sinir ağı ve bulanık çıkarımın uygun bir kombinasyonu ile oluşturulmuş J.S.R. Jang [14] tarafından Sugeno bulanık modeli esas alınarak geliştirilmiş sinirsel bulanık bir ağ yapısıdır. Bu yapının amacı, sistem performansını arttırmak için üyelik fonksiyon parametreleri ve dilsel kuralları ayarlayabilen bir sinir ağından türetilen öğrenme yeteneğine sahip bir sistem tasarlamaktır. ANFIS’in yapısında yapay sinir ağlarının öğrenme algoritmaları kullanarak uyarlanabilen parametreler bulunmaktadır. Birinci katmanda, üyelik fonksiyonları girişiyle ilgili üç değişken parametre $\{a_i, b_i, c_i\}$ vardır. Dördüncü katmanda ise birinci dereceden polinom ile ilgili değiştirilebilen üç parametre $\{p_j, q_j, r_j\}$ vardır. Referans reaktif güç (Q_{ref}) ile TKR’nin bağlı olduğu güç sisteminin anlık reaktif gücü ($Q_{anlık}$) arasındaki hata (e) öncül ve sonuç parametrelerini ayarlamak için kullanılır [15-19].

$$e = Q_{ref} - Q_{anlık} \quad 10$$

Her biri üç üyelik fonksiyonu ile bulanıklaştırılmış iki giriş ve bir çıkışa sahip beş katmanlı bir yapay sinir ağı yapısına sahip bulanık mantık algoritmasını içeren 9 kurallı olarak önerilen sinirsel bulanık denetleyici yapısı Şekil 4’te gösterilmektedir. Burada daire biçimde gösterilmiş olan düğüm noktaları sabit olup, kare biçiminde olan düğüm noktaları ise uyarlanabilmelidir.



Şekil 4. İki girişli 9 kurallı ANFIS yapısı

1.Katman: Bu katman bulanıklaştırma katmanıdır. Her giriş değişkeni için üyelik dereceleri hesaplanır. ANFIS'in giriş değişkenleri hata (e) ve hatanın değişimi (Δe) olarak seçilmiş ve bu değerler (-1, +1) aralığına ölçeklenmiştir.

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(e) = \frac{1}{1 + \left[\frac{e - c_i}{a_i} \right]^{b_i}} \quad i = 1, 2, 3 \quad 11$$

$$O_{i+3}^1 = \mu_{B_i}(\Delta e) = \frac{1}{1 + \left[\frac{\Delta e - c_{i+3}}{a_{i+3}} \right]^{b_{i+3}}} \quad i = 1, 2, 3 \quad 12$$

Burada A_i ve B_i bulanık kümeler, O_i^1 ise bu katmandaki kare düğüm çıkışlarıdır. Her düğüm için üyelik fonksiyonu olarak çan fonksiyonu seçilmiştir. Bu katmandaki $\{a_i, b_i, c_i\}$ parametrelerine genellikle öncül parametreler denilmektedir.

2.Katman: Bu katman kural çıkarım katmanıdır. Π ile etiketlenmiş olan bu katmandaki her düğüm, gelen sinyalleri çarpım operatörünü kullanarak elde ettiği w_j ateşleme kuvveti çıkışını bir sonraki katmana göndermektedir.

$$O_j^2 = w_j = \mu_{A_i}(e) \cdot \mu_{B_i}(\Delta e) \quad j = 1, 2, 3, \dots, 9 \quad 13$$

3.Katman: Bu katman normalizasyon katmanıdır. Bu katmandaki her düğüm N olarak etiketlenmiş bir daire düğümüdür. Her düğüm kuralının ateşleme kuvveti ile tüm kuralların ateşleme kuvvetlerinin toplamını oranlayarak normalize işlemi yapılır.

$$O_j^3 = \bar{w}_j = \frac{w_j}{\sum_j w_j} \quad j = 1, 2, 3, \dots, 9 \quad 14$$

4.Katman: Sonuç parametrelerine göre kural çıktılarının hesaplandığı katmandır.

$$O_j^4 = \overline{w_j} f_j = \overline{w_j} (p_j x + q_j y + r_j) \quad j=1,2,3,\dots,9 \quad 15$$

Burada $\{p_j, q_j, r_j\}$, bu düğümün parametre setidir. Bu katmandaki parametrelere genellikle sonuç parametreleri denir. Sonuç parametreleri, geri yayılım algoritması kullanılarak uyarlanır. Sonuç parametrelerinin kullanımı ise birinci derece Sugeno bulanık modelinin aşağıdaki kural ifadesindeki gibidir.

$$\text{Kural } j: \text{Eğer } e = A_i \text{ VE } \Delta e = B_i \text{ İSE } f_j = p_j e + q_j \Delta e + r_j$$

5.Katman: Bu katman ağınc çıkış katmanıdır. Bu katmandaki tek düğüm, gelen tüm sinyallerin toplamını hesaplayan Σ etiketli sabit bir düğümdür. Çıkış, durulaştırılmış kesin değerdir.

$$\alpha = O_j^5 = \sum_j \overline{w_j} f_j \quad j=1,2,3,\dots,9 \quad 16$$

Denetleyicinin uyarlanabilir parametreleri, sistem çıkış hatasına bağlı olarak aşağıdaki gibi tanımlanan uygunluk fonksiyonu geri yayılım algoritması ile minimize edilerek uyarlanır.

$$E = \frac{1}{2} (Q_{ref} - Q_{anlık})^2 = \frac{1}{2} e^2 \quad 17$$

Uygunluk fonksiyonu E'nin ANFIS çıkışı $\Delta\alpha$ 'ya göre hassasiyeti, aşağıda gösterilen delta uyarlama kuralı ile hata ve hata değişim oranının doğrusal bir kombinasyonu ile tahmin edilebilir [20-23].

$$\frac{\partial E}{\partial \Delta\alpha} = k_1 \cdot e + k_2 \cdot \Delta e \quad 18$$

Burada k_1 ve k_2 , deneme-yanılma ile ayarlanan parametreler olup bu çalışmada $k_1=0.5$ ve $k_2=0.35$ olarak ayarlanmıştır. ANFIS denetleyicinin sonuç parametreleri, uygunluk fonksiyon değerini sıfıra yaklaştıracak şekilde geri yayılım algoritması ile güncellenir.

$$(pqr)_{k+1} = (pqr)_k - \eta \frac{\partial E}{\partial (pqr)_k} \quad 19$$

Burada pqr güncellenecek (p, q ve r) sonuç parametrelerinden birini, η ise öğrenme katsayısını ifade etmektedir. Benzetim modelinde kullanılan sonuç parametrelerinin başlangıç değerleri $p_j=1$, $q_j=1$, $r_j=1$ ve $\eta = 0.25$ olarak belirlenmiştir.

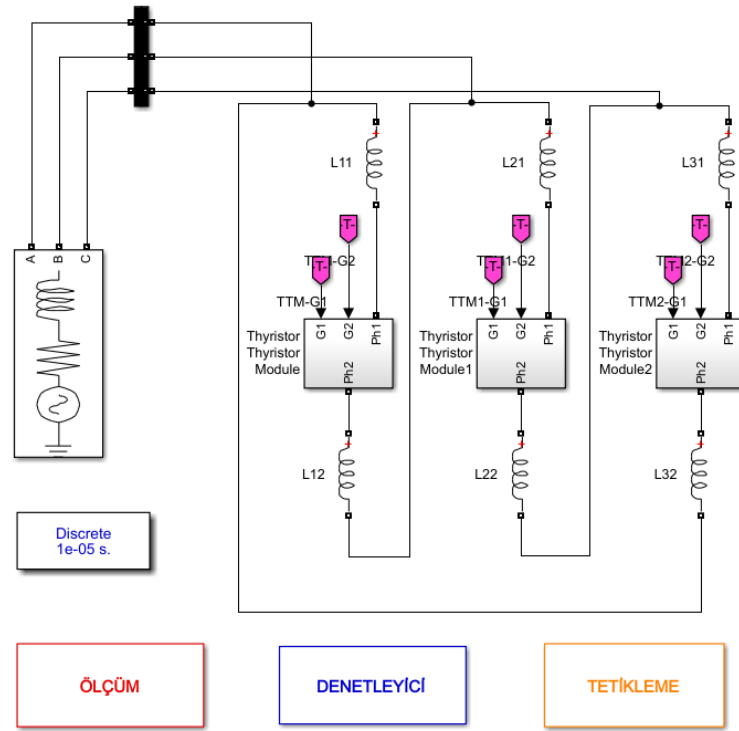
4. BENZETİM ÇALIŞMALARI (SIMULATION STUDIES)

Bu bölümde, TKR'nin reaktif güç kontrolü için önerilen ANFIS denetleyicisinin başarımını incelemek için MATLAB/Simulink programı ve "Sim Power System" araç kutusu kullanılarak benzetim çalışmaları yapılmıştır. Önerilen denetleyicinin başarımını belirlemek için elde edilen sonuçlar PI tipi denetleyici ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca klasik PI tipi denetleyicinin kazanç katsayılarının denetim başarısındaki etkisini incelemek amacıyla da çalışmada iki farklı PI tipi denetleyici kullanılmıştır. Sinirsel bulanık denetim esaslı tristör kontrollü reaktörün benzetim modeli Şekil 5'te gösterilmiştir. Benzetim modeli için kullanılan model parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

ANFIS esaslı tristör kontrollü reaktörün başarımını değerlendirmek amacıyla reaktif güç kontrolü için iki farklı çalışma koşulu oluşturulmuş ve benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma koşulları şu şekildedir:

Durum 1: Bu çalışma senaryosunda sabit giriş gerilimi altında TKR'nin reaktif gücünün benzetim çalışmasının belirli bir zamanında 15 kVAR'dan 7.5 kVAR'a düşmesi istenmiş ve böylece denetleyicinin giriş referansını takip edebilme başarısı incelenmiştir.

Durum 2: Bu çalışmada değişken giriş gerilimi altında TKR'nin reaktif gücünün 12 kVAR'da sabit kalması istenmiş ve denetleyicinin bozucu girişlere karşı başarımını incelenmiştir.



Şekil 5. Benzetim modeli

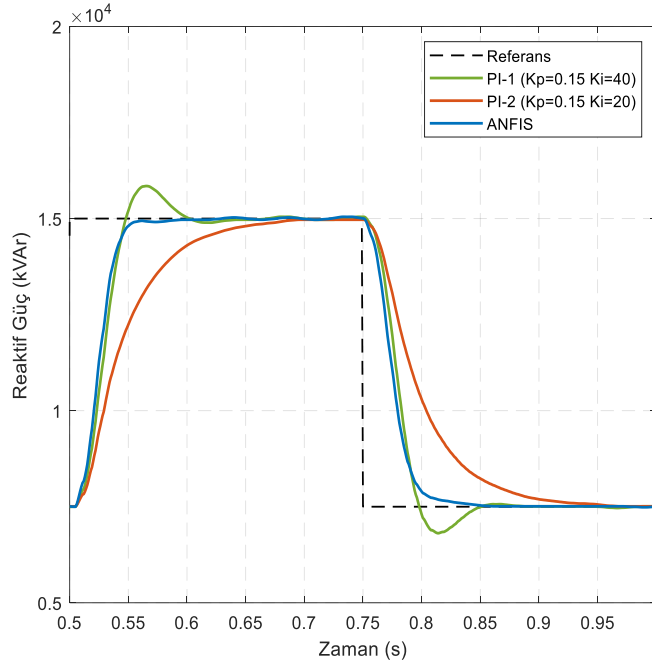
Tablo 1. Benzetim model parametreleri

Parametre	Değeri
Kaynak Gerilimi	400 V
Frekans	50 Hz
Reaktör Endüktansı	50.930 mH
Örnekleme Zamanı	10µs

4.1. Durum 1 (Case 1)

Bu benzetim çalışması durumunda, TKR'nin sabit hat gerilimi altında değişken referans reaktif gücü takip etme başarısı incelenmiştir. Denetlenen sistemin yükselme zamanı, yerleşme zamanı ve aşım gibi denetim parametreleri dikkate alınarak önerilen denetleyici ile klasik PI tipi denetleyicilerin başarımları karşılaştırılmıştır. Benzetim çalışmasının süresi 1 sn olarak belirlenmiştir. TKR'nin referans reaktif gücü 0.75 saniyede 15kVAR'dan 7.5kVAR'a aniden düşürülmüştür. Referans reaktif gücün bu değişimini denetleyicilerin takip etme başarımı Şekil 6'te gösterilmiştir. Ayrıca her bir denetleyicinin başarımlarını sonuçları ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tüm denetleyiciler için başarımlarını sonuçları incelendiğinde; ANFIS tipi denetleyici 35.99 ms ile en kısa yükselme zamanına sahipken buna en yakın sonucu ise 39.89 ms ile PI-1 denetleyicisi sağlamıştır. Ancak yerleşme zamanı ve aşım kriterleri incelendiğinde PI-1 denetleyicisinin başarımlarını ANFIS tipi denetleyiciye göre çok düşük kalmıştır. Tablo 2'den ANFIS ile PI-2 denetleyicilerinin herhangi aşım oluşturmadığı açıkça görülmektedir. Burada PI-2 denetleyici yükselme zamanı ve yerleşme zamanı açısından ANFIS denetleyiciye göre daha az başarımlarını göstermiştir.



Şekil 6. Referans reaktif gücünün değişimini denetleyicilerin takip etme başarımı

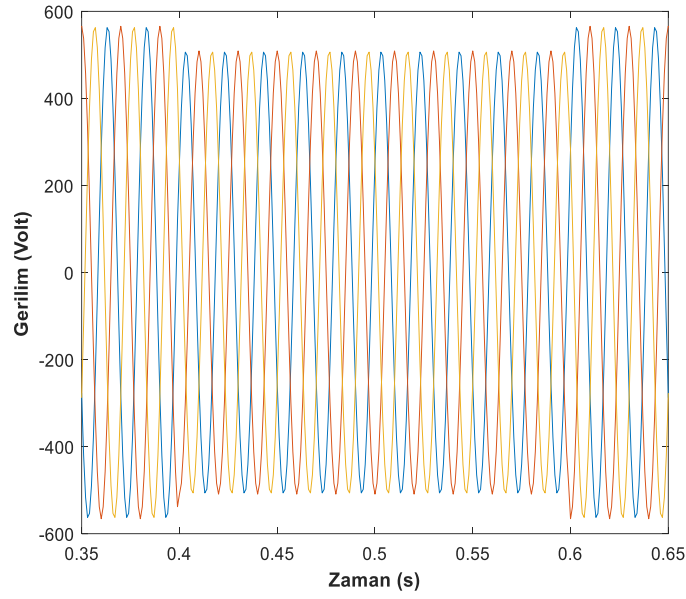
Tablo 2. Durum 1 için denetleyicilerin başarımları

Denetleyici	Yükselme Zamanı	Yerleşme Zamanı	Aşım
PI - 1	39.89 ms	95.03 ms	%4.98
PI - 2	87.32 ms	149.25 ms	%0.0
ANFIS	35.99 ms	49.87 ms	%0.0

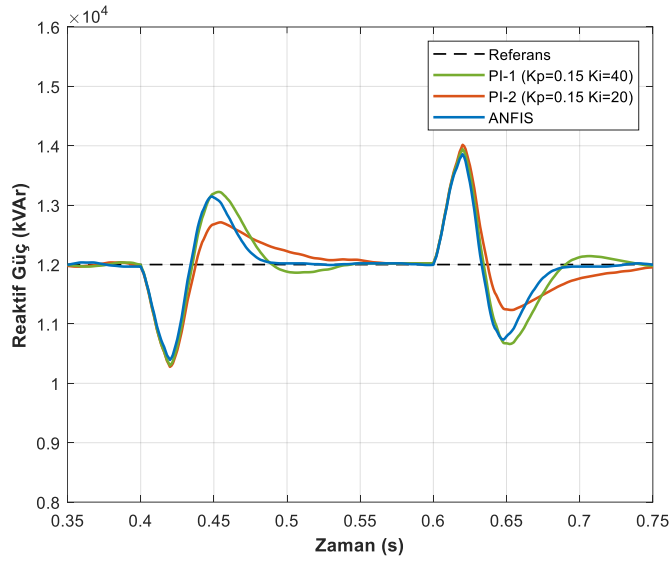
4.2. Durum 2 (Case 2)

Bu benzetim çalışması durumunda, TKR'nin değişken hat gerilimi altında sabit referans reaktif gücü takip etme başarısı incelenmiştir. Yine bir önceki durumda bahsedilen denetim parametreleri dikkate alınarak sonuçlar incelenmiştir. Bu benzetim çalışması süresince hat geriliminin değişimi Şekil 7'de gösterilmiştir. Benzetim çalışmasının süresi yine 1 saniye olarak belirlenmiştir. Şekil 7'de görüldüğü gibi benzetim süresinin 0.4. saniyesinde hat gerilimi %10 düşürülmüş ve 0.2 saniye boyunca bu gerilim düşümü devam etmiştir. Böylece önerilen denetleyicinin başarımı bozucu girişler açısından değerlendirilmiştir. Benzetim çalışmasının sonuçları Şekil 8'de gösterilmiştir.

Referans reaktif gücünün 12 kVAr olduğu durumda sistem kararlı haldeyken bozucu giriş uygulandığı anda TKR'nin reaktif gücünün PI-1 denetleyicide 10.30 kVAr'a, PI-2 denetleyicide 10.28 kVAr'a, ANFIS denetleyicide 10.40 kVAr'a düştüğü görülmüştür. PI-1, PI-2 ve ANFIS denetleyiciler sırasıyla bu bozucu etkiyi 135.02 ms, 154.76 ms ve 84.97 ms de ortadan kaldırmıştır. Sisteme uygulanan bozucu giriş kaldırıldığında ise PI-1, PI-2 ve ANFIS denetleyiciler sırasıyla bu etkiyi 129.78 ms, 150.13 ms ve 87.09 ms de düzeltmiştir.



Şekil 7. TKR hat geriliminin değişimi



Şekil 8. Bozucu girişler olması durumunda denetleyicilerin başarımları

5. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada esnek AA iletim sistemlerinde çok sık kullanılan TKR'nin reaktif güç kontrolü için bir benzetim modeli oluşturulmuştur. Bu modelde TKR'nin reaktif güç kontrolü klasik PI tipi denetleyiciler ve ANFIS tipi denetleyici kullanılarak yapılmıştır.

Önerilen denetleyicinin başarımını incelemek için benzetim modelinde iki ayrı çalışma durumu oluşturulmuştur. Birinci durumda denetleyicilerin referans reaktif gücü takip etme başarımı, ikinci durumda ise sisteme verilen bozucu giriş etkisinin sönümlenmesindeki başarımı detaylı olarak incelenmiştir. Her iki durum için yapılan benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre önerilen ANFIS tipi denetleyicinin referans reaktif gücü takip etmede yükselme zamanı, yerleşme zamanı ve aşım kriterleri açısından PI tipi denetleyicilerden daha başarılı olduğu görülmüştür. Ayrıca önerilen denetleyici, sisteme verilen bozucu giriş etkisinin azaltılmasında klasik denetleyicilere göre daha hızlı tepki vermiştir. ANFIS denetleyicinin ayarlanabilen parametrelerine ait başlangıç değerlerinin yapay zekaya dayalı optimizasyon yöntemleriyle belirlenmesi denetleyicinin başarımını daha da artıracakları öngörülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] R. Agrawal, S. K. Bharadwaj, D. P. Kothari, Population based evolutionary optimization techniques for optimal allocation and sizing of Thyristor Controlled Series Capacitor, *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 5 (2018) 484-501.
- [2] J. G. Jamnani, M. Pandya, Coordination of SVC and TCSC for Management of Power Flow by Particle Swarm Optimization, *Energy Procedia*, 156 (2019) 321-326.
- [3] B. Mahdad, Optimal reconfiguration and reactive power planning based fractal search algorithm: A case study of the Algerian distribution electrical system, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22 (2019) 78-101.
- [4] A. Pekdemir, A. B. Yildiz, Analysis and modelling of FC-TCR based on static VAR compensator, 5th International Conference on Electrical and Electronic Engineering (ICEEE), (2018) 115-118.
- [5] O. F. Kececioğlu, A. Gani, M. Sekkeli, A performance comparison of static VAR compensator based on Goertzel and FFT algorithm and experimental validation, *SpringerPlus*, 5(1) (2016) 391.
- [6] Y. Mi, C. Ma, S. Wang, C. Bi, Y. Zhu, H. Zhang, Reactive power control of an isolated wind-diesel hybrid power system based on SVC by using sliding mode control, 35th Chinese Control Conference (CCC), (2016) 9882-9887.
- [7] R. C. Bansal, Automatic Reactive-Power Control of Isolated Wind-Diesel Hybrid Power Systems, *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, 53(4) (2006) 1116-1126.
- [8] R.C. Bansal, T. S. Bhatti, D. P. Kothari, A novel mathematical modelling of induction generator for reactive power control of isolated hybrid power systems, *International journal of modelling & simulation*, 24(1) (2004) 1-7.
- [9] A. Banerjee, V. Mukherjee, S. P. Ghoshal, Intelligent fuzzy-based reactive power compensation of an isolated hybrid power system, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 57 (2014) 164-177.
- [10] S. Vachirasricirikul, I. Ngamroo, S. Kaitwanidvilai, Coordinated SVC and AVR for robust voltage control in a hybrid wind-diesel system, *Energy Conversion and Management*, 51(12) (2010) 2383-2393.
- [11] M. D. Tür, Z. Aydoğmuş, İletim Hatları için Bulanık Mantık Tabanlı Direk Tipi Seçimi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım ve Teknoloji*, 2(4) (2014) 299-308.
- [12] B. Dandıl, M. Gökbulut, Asenkron Motorların Sinirsel-Bulanık Denetleyici ile Uyarlamalı Denetimi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(2) (2005) 145-153.
- [13] W. Lee, T. Kim, Control of the Thyristor-controlled Reactor for Reactive Power Compensation and Load Balancing, 2nd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, (2007) 201-206.
- [14] J. S. R. Jang, *Neuro-Fuzzy Modeling: Architectures, Analyses, and Applications*, Ph.D. Dissertation, Univ. of California at Berkeley, (1992).
- [15] E. Kılıç, Ş. Yılmaz, H. R. Özçalık, S. Şit, A comparative analysis of FLC and ANFIS controller for vector controlled induction motor drive, 2015 Intl Aegean Conference on Electrical Machines & Power Electronics (ACEMP), (2015) 102-106.
- [16] Y. Kang, Y. W. Chen, Y. P. Chang, M. H. Chu, The Direct Neural Control Applied to the Position Control in Hydraulic Servo System, *Advances in Neural Networks - ISSN 2008. vol 5264*. Springer, Berlin, Heidelberg. (2008).

- [17] J. S. R. Jang, ANFIS, Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems, IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics, 23(5) (1993) 665-685.
- [18] J. S. R. Jang, C. T. Sun, Neuro-Fuzzy Modeling and Control, Proceeding of the IEEE Transactions, 83(3) (1995) 378-406.
- [19] S. Tuncer, B. Dandil, Adaptive neuro- fuzzy current control for multilevel inverter fed induction motor, COMPEL - The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering, 27(3) (2008) 668-681.
- [20] R. Coteli, H. Acikgoz, F. Ucar, B. Dandil, Design and implementation of Type-2 fuzzy neural system controller for PWM rectifiers, International Journal of Hydrogen Energy, 42(32) (2017) 20759-20771.
- [21] S. V. Üstün, A. Nur, M. Kaya, PI Katsayıları ve Sistem Performansı Arasındaki İlişkinin Çıkarılmasında ANFIS ve YSA Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(4) (2018) 322-328.
- [22] H. Acikgoz, O. F. Kececioğlu, I. Karadol, A. Gani, M. Sekkeli, Adaptive Control of Solid State Transformer Using Type-2 Fuzzy Neural System, Studies in Informatics and Control, 26(2) (2017) 171-181.
- [23] E. Kılıç, S. Şit, A. Gani, M. Şekkeli, H. R. Özçalık, Neuro-Fuzzy Based Model Reference Adaptive Control for Induction Motor Drive, Turkish Journal of Fuzzy Systems (TJFS), 8(2) (2017) 63-72.

The Probabilistic Prediction of Solar Energy Power Production Based on Time in Smart Grids

Mehmet DEMİRTAŞ^{1,*}, Nuran AKKOYUN², Emrah AKKOYUN³, İpek ÇETİNBAŞ⁴

¹Gazi University, Faculty of Technology, Department of Electrical and Electronics Engineering, 06500, Yenimahalle/Ankara

²Gazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical and Electronics Engineering, 06500, Yenimahalle/Ankara

³Middle East Technical University, Graduate School of Informatics, Department of Medical Informatics, 06800, Çankaya/Ankara

⁴Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics Engineering, 26480, Odunpazarı/Eskişehir

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 05/04/2019

Revision 18/05/2019

Accepted: 20/05/2019

Highlights

- Solar energy power production estimated.
- Using machine learning algorithms.
- Forecasting based on meteorological measurements.

Keywords

Smart Grid
Solar Energy
Prediction of Energy
Power
Machine Learning
Probabilistic
Programming

Population growth and energy resource based on fossil fuel depletion increase the demand for renewable energy resources, especially for solar energy in the world. Smart grids have been developed in order to meet the growing energy need in the form of an intelligent structure with renewable energy sources. One key goal of the smart grid initiatives, therefore, increases the ratio of the renewable energy within overall energy power generation. However, the integration of renewable energies into the grid, whose power generation is intermittent and uncontrollable, leads to a number of challenges. It is critical to determine which renewable source will be dispatched to satisfy the variety of customer demands, and predict the energy power in advance.

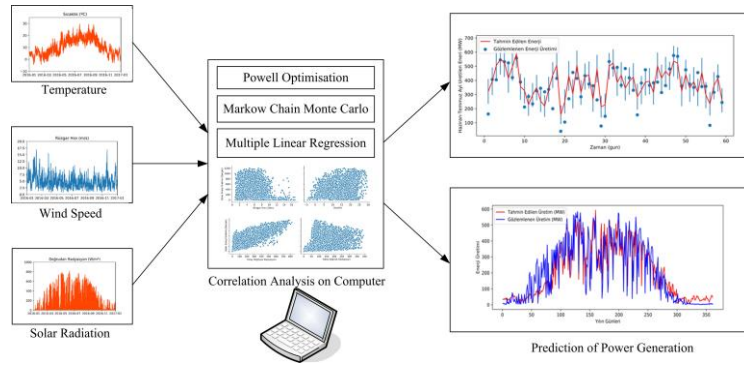


Figure A. Block schema of the system

Purpose: In this study, we aim to show that the energy generation could be modeled based on the weather measurements using the machine learning algorithms and the renewable energy production system oriented power generation could be, thus, predicted hourly.

Theory and Methods: The model was created by machine learning approaches and an energy production estimate was made. A variety of methods such as multiple linear regression, Powell optimization and probabilistic programming based on Markov Chain Monte Carlo simulations were used and their capability of predictions were compared to each other.

Results: The energy production is estimated with an accuracy of 80% with an analytical approach. Additionally, a probabilistic approach was used to predict the power associated with an uncertainty indicating the upper and lower limit of a power based on time.

Conclusion: The power generated from a solar plant could be predictable based on the weather measurements. In addition, it is considered that estimation algorithms will facilitate the integration of renewable energy systems into the existing grid and make the smart grid more widespread.



Akıllı Şebekelerde Güneş Enerjisi Üretiminin Zamana Bağlı Olasılıksal Tahmini

Mehmet DEMİRTAŞ^{1,*}, Nuran AKKOYUN², Emrah AKKOYUN³, İpek ÇETİNBAŞ⁴

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06500, Yenimahalle /Ankara

²Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı, 06500, Yenimahalle /Ankara

³Ortaođu Teknik Üniversitesi, Enformatik Enstitüsü, Sağlık Bilişimi Bölümü, 06800, Çankaya/Ankara

⁴Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 26480, Odunpazarı/Eskişehir

Öz

Dünyada hızlı nüfus artışı ve fosil yakıt kaynakları rezervlerinin azalışı ile birlikte özellikle güneş enerjisi olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep her geçen gün artmaktadır. Artan enerji ihtiyacını yenilenebilir enerji kaynakları ile akıllı bir yapı formunda karşılayabilmek için akıllı şebekeler geliştirilmiştir. Akıllı şebekelerin temel amaçlarından biri, enerji üretim sürecine yenilenebilir enerji kaynaklarının dâhil edilmesi ve kullanımının artırılmasıdır. Ancak, mevcut elektrik şebekesi sistemlerine kesintili enerji üretimi yapan ve kontrol edilemeyen yenilenebilir enerji kaynaklarının dâhil edilmesi beraberinde çeşitli zorlukları da getirmektedir. Değişken elektrik enerjisi talebinin hangi yenilenebilir kaynak tarafından ne zaman karşılanacağıın belirlenmesi için enerji üretiminin önceden tahmin edilmesi bu zorlukların en önemlilerindedir. Bu sebeple bu çalışmada, atmosferik ölçümleri kullanarak yenilenebilir enerji üretim sistemlerine özgü ve saat bazlı enerji üretimini tahmin eden bir model geliştirilmiştir. Bu model makine öğrenmesi yaklaşımları ile oluşturulmuş ve enerji üretimi tahmini yapılmıştır. Çoklu doğrusal regresyon, Powell optimizasyonu ve Markov Chain Monte Carlo simülasyonlarına dayanan olasılıklı programlama gibi çeşitli yöntemler kullanılmış ve tahmin yetenekleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Enerji üretimi analitik yaklaşımla %80 doğrulukla tahmin edilirken, olasılıksal yaklaşımla saat bazlı %95 güven aralığında üst ve alt limitini belirtecek şekilde başarılı tahmin edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar makine öğrenmesi ile atmosferik veriler kullanılarak değişken enerji üretiminin önceden tahmin edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca tahmin algoritmalarının, yenilenebilir enerji sistemlerinin mevcut şebekeye entegrasyonunu kolaylaştıracağı ve akıllı şebekeyi daha yaygın hale getireceği değerlendirilmektedir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 05/04/2019

Düzeltilme: 18/05/2019

Kabul: 20/05/2019

Anahtar Kelimeler

Akıllı Şebeke
Güneş Enerjisi
Enerji Üretimi Tahmini
Makine Öğrenmesi
Olasılıksal Programlama

Keywords

Smart Grid
Solar Energy
Prediction of Energy
Power
Machine Learning
Probabilistic
Programming

The Probabilistic Prediction of Solar Energy Power Production Based on Time in Smart Grids

Abstract

Population growth and energy resource based on fossil fuel depletion increase the demand for renewable energy resources, especially for solar energy in the world. Smart grids have been developed in order to meet the growing energy need in the form of an intelligent structure with renewable energy sources. One key goal of the smart grid initiatives, therefore, increases the ratio of the renewable energy within overall energy power generation. However, the integration of renewable energies into the grid, whose power generation is intermittent and uncontrollable, leads to a number of challenges. It is critical to determine which renewable source will be dispatched to satisfy the variety of customer demands, and predict the energy power in advance. In this study, the energy generation could be modeled based on the weather measurements using the machine learning algorithms and the renewable energy production system oriented power generation could be, thus, predicted hourly. This model was created by machine learning approaches and an energy production estimate was made. A variety of methods such as multiple linear regression, Powell optimization and probabilistic programming based on Markov Chain Monte Carlo simulations were used and their capability of predictions were compared to each other. While energy production is estimated with an accuracy of 80% with an analytical approach, it has been predicted to be successful with a probabilistic approach, indicating the upper and lower limit of 95% confidence interval. These results show that the energy generation could be predictable based on

the weather measurements using machine-learning algorithms. In addition, it is considered that estimation algorithms will facilitate the integration of renewable energy systems into the existing grid and make the smart grid more widespread.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde küresel ısınma, iklim değişikliği, kısıtlı fosil yakıt kaynakları, enerji maliyetleri ve çevre kirliliği gibi nedenlerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi ve bu kaynaklara olan yatırımlar gün geçtikçe artmaktadır. Enerji üreticisi şirketler, kullanıcıların temel ihtiyaçlarını karşılamak için enerji hizmetini her ne kadar mevcut yapı üzerinden yürütseler de, fosil tabanlı enerji kaynaklarındaki sorunlar bu şirketleri enerji üretim yöntemlerini ve tüketim alışkanlıklarını tekrar değerlendirmeye zorlamıştır. Bu doğrultuda yenilenebilir kaynak kullanımı, enerji verimliliği, mevcut enerjinin etkin ve verimli kullanımı konusunda yeni pek çok araştırma yapılmıştır [1-3]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının elde edilmesinin daha az maliyetli olması, dünyanın her yerinde kolay erişilebilmesi ve kaynak bakımından bol olması gibi nedenlerle, bu kaynakların kullanımının artırılması dünyada fosil yakıt bazlı üretime olan bağımlılığı azaltması açısından önemlidir [4].

Enerji ihtiyacı büyük oranda fosil yakıtlardan karşılanan ülkemizde 2018 yılının ilk altı ayı için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan analizde, yenilenebilir ve yenilenemez kaynaklar birlikte değerlendirildiğinde kurulu güç 87.139 MW seviyelerine ulaşmıştır. Kurulu güce en düşük katkıyı %1,3 ile jeotermal enerji yaparken en yüksek katkıyı ise %32 ile hidrolik enerji sağlamaktadır. Bunun haricinde doğalgazdan %26,4 kömürden %21,4, rüzgâr enerjisinden %7,7, güneş enerjisinden %5,4 ve diğer kaynaklardan ise %5,8 oranında faydalanılmıştır [5]. Enerji üretimine karşın Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 2019 yılı Ocak ayı itibarıyla enerji tüketimi 9.254 kiloton eşdeğer petrol olarak açıklanmıştır. Enerji tüketimi doğalgaz, elektrik ve motorin olarak sırasıyla %60, %24 ve %12 oranlarında tüketilmiştir [6]. Bu sonuçlar incelendiğinde; dışa bağımlılık yaratan doğalgaz ve motorinin yüksek tüketim oranları göze çarpmaktadır. Buradan hareketle enerji üretiminde yerli ve yenilenebilir kaynakların kullanımı önem arz etmektedir.

Akıllı şebeke sistemlerinin temel amaçlarından biri, çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmak olup birçok ülke bu doğrultuda hedefler belirlemiştir. Örneğin, 2020 yılına kadar Kaliforniya'da enerji tüketiminin %33'ünün yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmesi hedeflenmektedir [7]. Ancak, yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut şebekelere dâhil edilmesinde, üretimin kesintili ve kontrol edilemez oluşu bir takım zorlukları da beraberinde getirmektedir. Mevcut elektrik şebekeleri tüketici kontrollü olarak ev ve binalarda istenildiği zaman istenildiği kadar enerji tüketimine izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Elektrik enerjisi talebi sürekli izlenerek artan veya azalan ihtiyaç şebekeler üzerinden giderilmektedir. Binlerce binanın ve evin bir araya getirilmesi ile oluşan talep oldukça doğru ve kolayca tahmin edilebilmektedir. Böylece, günümüzdeki şebekelerde hangi kaynaktan ne zaman talebi karşılanacağı doğru olarak önceden başarılı bir şekilde tahmin edilebilmektedir. Ancak bu şebekeler, büyük ölçekte kontrol edilemeyen enerji üretimleri için tasarlanmamıştır [8].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut şebekelere entegrasyonundaki temel problem, enerji üretim miktarının önceden belirlenememesi ve tahmin edilememesidir. Çünkü üretim, santralin bulunduğu yerdeki coğrafi özelliklere ve o günün meteorolojik koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Özellikle küçük ölçekte dağınık üretim yapan ev ve binalarda üretimin tahmin edilebilecek olması, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki pek çok eyalette olduğu gibi fazla üretimin de satılabileceği bir sisteme olanak sağlayabilecektir [9]. Enerji üretiminin tahmini, değişkenlere bağlı bir işlem olduğundan farklı analitik çözümlerle veya olasılıksal programlamalarla çözümlenebilmektedir. Literatürde geleneksel bir yaklaşımla Powell optimizasyonu [10] kullanılarak noktasal bir tahminleme yapılmış sonuçları çalışmada sunulmuştur. Ayrıca, aynı veri seti kullanılarak Bayesian yaklaşımla ön tanımlı ve belirli sınırlamalar dahilinde rastlantısal verilerin simülasyon ile üretilmesi [11] de yapılarak noktasal tahminin yanında belirsizliğinde modellendiği bir çözüm sunulmuş ve sonuçları gösterilmiştir.

Geleneksel olarak yapılan bu tahmin, verilen belirli bir zamanda üretimin herhangi bir güven aralığı verilmeksizin noktasal olarak tahmin edilmesidir. Zaman serileri analizleri [12], uzman sistemler [13],

yapay sinir ağları [14] ve çoklu doğrusal regresyon analizleri [15] geçmişte başarılı sonuçlar vermiş ve uygulanmış olan çalışmalardır. Bu tekniklerin yanı sıra, özellikle yapay zekâ alanında son zamanlarda ortaya çıkan yeni çözümler, enerji üretiminin tahmin edilmesinde de uygulanmıştır. 2012 yılında bu alanda yapılan çalışmaları destekleme kapsamında farklı algoritma ve yaklaşımların enerji üretimi tahminini için kullanılması ve herkese açık veri setlerinin oluşturulması amacıyla uluslararası bir yarışma düzenlenmiştir [16]. Bu yarışma endüstriyel veya akademik alanda çalışan araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Çeşitli tekniklerin sunulması, verilerin ön analizi ve temizlenmesi, spesifik bir gün için tahmin yapılması, sıcaklığın tahmin edilmesi, hiyerarşik tahminleme ve vb. alanlarda çözümlerin sunulmasına olanak sağlamıştır [17]. Çoklu doğrusal regresyon analizleri, yapay ağlar ve rastlantısal tahminleme gibi teknikler bu yarışmada başarılı sonuçlar vermişlerdir [16].

Geleneksel çözümler, özellikle dağıtık enerji kaynaklarındaki üretimin ve tüketim talebinin sürekli değiştiği günümüzde beraberinde bazı zorluklarda getirmektedir. Belirli bir zamana ait üretimin noktasal olarak tahmin edilmesi, zamana bağlı değişen belirsizlik hakkında bilgi vermemektedir. Noktasal tahminin yanında o zamana ait sistem operatörleri açısından oldukça önemli olan belirsizliğin de tahmin edilmesi olasılıksal programlama ile yapılabilmektedir. Fonksiyona bağlı belirli bir zamana ait bir noktanın analitik olarak tahmin edilmesinden farklı olarak, aynı zamanda bir dağılım verilerek tahmin yapılmasını sağlamaktadır. Böylece, enerji sistemlerinde karar verme noktasında genel olarak daha cazip ve kapsamlı bir çözüm sunabilmektedir [18].

Bu çalışmada, güneş enerjisinden yapılacak enerji üretimi değişken meteorolojik koşullara ve radyasyon ölçümlerine göre modellenmiştir. Bu model aracılığıyla saatlik bazda enerji üretimi tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ikinci bölümde temel istatistik metotları, analitik çözüm için kullanılan optimizasyon yöntemi ve olasılıksal programlama ile güven aralığı verilerek enerji üretiminin yapılması açıklanmıştır. Üçüncü bölümde farklı yaklaşımlarla tahmin edilen enerji üretimi sonuçları verilmiş, zamana bağlı gerçek üretilen veriler ile kıyaslanarak performansları incelenmiştir. Son bölümde ise sonuçlar özetlenerek çalışmada karşılaşılan kısıtlar belirtilmiş ve gelecek çalışmalar için çözüm önerileri sunulmuştur.

2. MATERYAL ve METOD (MATERIAL and METHOD)

Bu bölüm çalışmada kullanılan boylamsal veri, istatistiksel analiz, doğrusal regresyon analizi ve olasılıksal programlamayı içermektedir. Olasılıksal programlama bölümünde model tanıtımı, model uydurma ve rastlantısal veri üretimi, sonsal analizi ve enerji üretimi tahmini verilmiştir. İlk olarak temel istatistik analiz metotları kullanılarak verinin zaman içindeki değişimi, ortalaması, standart sapması gibi bilgiler analiz edilmiştir. Devamında Sklearn kütüphanesi kullanılarak farklı ölçümlerin enerji üretimini hangi ölçüde etkilediği doğrusal regresyon analizi ile incelenmiştir. Ölçümlere ek olarak günün saat bilgisi de hesaba katılarak farklı bir yaklaşıma gidilmiştir. Önce optimizasyon ile bir tahmin yapılmış sonra olasılıksal programlama ile güven aralığı içerisinde bir tahminde bulunulmuştur. Optimizasyon ve olasılıksal programlamada bir Python kütüphanesi olan PyMC3 kullanılmıştır. Markov Chain Monte Carlo (MCMC) simülasyonu yöntemi ile veriler üretilmiş ve noktasal tahminleme yerine bir dağılım elde edilerek (normal dağılım) standart sapma ile tahmin yapılmıştır.

2.1. Boylamsal Veri (Longitudinal Data)

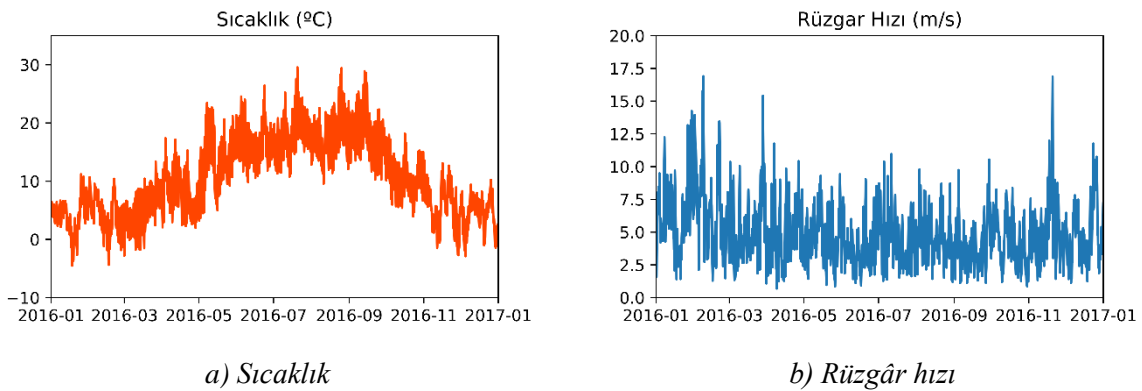
Bu çalışmada kullanılan veri seti, elektrik sistemleri üzerine çalışmalar yapan araştırmacılara açık olan OPSD projesi tarafından sağlanmıştır [19]. Ülkemizde enerji üretimi ile ilgili bir yıl boyunca düzenli ölçümlerin yapıldığı, beraberinde meteorolojik değerlerin olduğu bir güneş enerjisi santrali bulunmadığından tüm araştırmacılara açık olan bu veri seti kullanılmıştır. Ücretsiz ve açık bir platform sunan bu proje, dünyada enerji modellemesi üzerine yapılan çalışmaların ihtiyaç duydukları verileri, zaman serisi olarak üretilen enerji ve atmosfer ölçümleri şeklinde sunmaktadır. Toplam 37 Avrupa ülkesinden toplanan bu veriler, rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi gibi kullanılan teknolojilere veya geleneksel yöntemlere göre elde edilen enerji üretimini bir veri seti olarak, yine o tarihte yapılan ölçümleri bir başka veri seti şeklinde sunmaktadır. Bu veri setlerinden ülke olarak Hollanda'ya ait veri setleri seçilmiştir. Hollanda'da kurulu olan tüm güneş ve rüzgâr enerjisi kaynaklı santrallere ait 2016 ve 2017 yılları arasındaki saatlik enerji üretimleri veri seti olarak kullanılmıştır. Veri setinde hem güneş enerjisi hem de rüzgâr enerjisinden üretilen anlık enerji verileri vardır. Ancak rüzgâr enerjisinden üretilen enerjinin modellenmesi

kapsam dışı bırakılmıştır. Diğer taraftan yine aynı istasyona ait 2016 ve 2017 yıllarındaki rüzgâr hızı (m/s), sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), doğrusal radyasyon (W/m^2), dağınık radyasyon (W/m^2) ve ölçüm aralığı (gün/ay/yıl saat) verileri incelenmiştir. Her saat farklı zamanlarda yapılan pek çok ölçüm, ortalaması alınarak incelenecek şekilde veri analiz edilmiştir. Veriler her ne kadar araştırmacının kolayca çalışabilmesi için yapısal hale getirilse de veri setleri içerisinde enerji üretimine ya da atmosferik ölçümlere ait bazı değerlerde kayıplara rastlanmıştır. Modelleme yapılırken bu zaman aralıklarına ait eksik ölçümlerin performansı etkilememesi için veri setinden çıkartılması sağlanmıştır. Yıl bazında toplamda dört günlük verinin eksik olması ve çıkarılması ile 361 gün için, saat başı ve beş farklı ölçüm üzerinden toplamda 43.320 adet veri ile çalışılarak analiz yapılmıştır.

2.2. İstatistiksel Analiz (Statistical Analysis)

Ön işleme aşamasında, verinin temizlenmesi ve sadece modellemede kullanılacak ölçümlerin belirlenip diğerlerinin çıkartılması işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada açık kaynak kodlu olan ve geniş kütüphane desteğine sahip Python programlama dili kullanılmıştır. Dosya formatı olarak csv uzantılı dosyalar, Panda, numpy, matplotlib, seaborn ve MCMC kütüphaneleri kullanılarak vektör ve matrisler oluşturulmuş ve grafiklerle analiz edilmiştir. Korelasyon ve regresyon analizleri yapılmış, ortalama, medyan ve çeyrek değerleri incelenmiş, yapay zeka algoritmaları ile optimizasyon ve olasılıksal programlama yapılmıştır. Verilerin karakteristiği zaman serili çalışmalarda modelin performansı açısından oldukça önemlidir. 8.664 noktada bir yılda yapılan ölçümün hakkında bilgi sahibi olmak için veriler görselleştirilmiştir. Kuzey kutbuna yakın bir konumda yer alan Hollanda'nın mevsimsel ve gün içerisinde zamana bağlı üretiminin anlaşılması açısından önemlidir. Bu sürede yapılan diğer ölçümlerinde zaman içerisindeki değişimi zamana bağlı çizdirilerek analiz edilmiştir. Şekil 1'de sıcaklığın ve rüzgâr hızının zamana bağlı değişimi verilmiştir. Sıcaklık, 2016 yılı içerisinde -5°C ile 30°C dereceleri arasında değişmiş, yılın başında ve sonundaki kış aylarında eksi değerler görülürken yaz aylarında yüksek sıcaklıklar gözlenmiştir. Rüzgâr hızı ise sıcaklıkta olduğu gibi mevsimlere bağlı anlamlı bir değişim göstermemiş, 2 m/s ile 17 m/s hızları arasında değişmiştir.

Ölçümlerin birbirleri ile olan korelasyonu da oldukça önemlidir. Bağımlı değişkenleri belirleyip yüksek düzeyde bağımlılık gösteren ölçümleri temizlemek için ikili korelasyon analizi yapılmış ve grafiksel analiz elde edilmiştir. Ayrıca, yapılan korelasyon testlerinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını anlamak için p değeri 0,05 olarak seçilmiştir. Elde edilen korelasyon katsayıları, p değerlerine de bakılarak incelenmiş ve tümü 0,05 değerinden küçük olduğundan istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir ($p < 0.05$). Santralin toplam üretimini oluşturan veriler, ortalama, standart sapma, birinci ve üçüncü çeyrek değerlerine bakılarak hesaplanmıştır. Bunun yanında günün her saati yıl boyunca alınan ölçümlerle analiz edilmiş, benzer hesaplamalar yapılarak mevsimsel değişimin enerji üretimindeki etkisi analiz edilmiştir. Saate bağlı santral enerji üretimi kutu grafiği kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca, bu ölçümlerin histogramı çizilerek dağılımları analiz edilmiştir. Bu, günün hangi saatinde günlere bağlı olarak nasıl bir üretim yapıldığını göstermesi açısından da önemlidir. Son olarak, tüm enerji üretimi güne bağlı dağılım grafiği çizilerek özellikleri belirlenmiştir.



Şekil 1. Hollanda'da yer alan santrale ait mevsimsel meteorolojik ölçümler

2.3. Doğrusal Regresyon Analizi (Linear Regression Analysis)

Enerji üretimine etki eden meteorolojik ölçümlerin doğrusal bir regresyon fonksiyonu ile tahmin edilmesi bu bölümde uygulanmıştır. Sklearn kütüphanesi kullanılarak sıcaklık, doğrusal ve dağınık radyasyon ölçümleri ile enerji üretiminin tahmin edilmesi için bir fonksiyon belirlenmiştir. Eşitlik 1’de belirlenen bu fonksiyon ve Eşitlik 2’de ise β vektörü verilmiştir.

$$f: R^n \rightarrow R, \gamma \sim f(x) = \beta^T x + \beta_0 \quad (1)$$

$$\beta = (\beta_1, \dots, \dots, \beta_n) \in R^n \quad (2)$$

Eşitlik 1’de gösterilen doğrusal denklemde y değeri bağımlı değişkeni, x değeri bağımsız değişkenleri yani ölçümleri, n bağımsız değişken sayısını ve R_n ise vektörel uzayı tanımlamaktadır. Eşitlik 2’de verilen β vektörü sıcaklık, doğrusal radyasyon ve dağınık radyasyonu ifade eden her bir x değişkeni için tanımlanmış katsayıyı ifade eder. Eşitlik 3’de tanımlanan ortalama karesel hata değerini minimize edecek parametreleri bulmak amaçlanmıştır.

$$\operatorname{argmin}_{\beta, \beta_0} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \beta^T x_i - \beta_0)^2 \quad (3)$$

Algoritmanın en küçük kareler yöntemi analiz performansını değerlendirmek için sklearn kütüphanesi kullanılmıştır. İlk etapta veri beş gruba ayrılmış, bu gruplardan dört tanesi modeli oluşturmak için algoritmayı eğitmede, kalan bir tanesi ise modelin tahmin edilmesinde test amaçlı kullanılmıştır. Bu çalışma farklı veri setleri ile beş kez tekrarlanarak bu deneylerin ortalama performans ölçümleri alınmış ve doğrulama işlemi yapılmıştır.

2.4. Olasılıksal Programlama (Probabilistic Programming)

Temel bir regresyon eğrisi tanımı yukarıda yapılmış olup bir veriye en uygun olan regresyon eğrisinin sıradan en küçük kareler yöntemi veya maksimum olabilirlik ile elde edilmişinden bahsedilmiştir. Bu bölümde ise aynı regresyon eğrisi Bayesian yaklaşımla olasılıksal olarak ele alınıp Eşitlik 1’de verilen formül Eşitlik 4’te olasılıksal dağılımlar gözetilerek düzenlenmiştir.

$$\gamma \sim N(X\beta, \sigma^2) \quad (4)$$

Eşitlik 4’e göre, zamana bağlı enerji üretimi normal dağılıma uygun şekilde rastlantısal sayılardan oluşan bir vektör olarak tanımlanmaktadır. Bu dağılımın ortalaması, Eşitlik 1’de verilen doğrusal regresyon fonksiyonu ile σ^2 kadar varyans hata payı ile yeniden formüle edilmiştir. Böylece, Bayesian tahmin edilme kullanılarak temelde benzer modele sahip olmasına rağmen iki noktada büyük avantaj sağlanmıştır. Birinci avantajı, hangi tahmin edicinin daha önemli olduğu ve hata oranının ne olabileceği gibi sahip olunan tecrübeler ön bilgi olarak modele dâhil edilerek performansın artırılabilmesidir. İkinci avantajı ise sadece tek bir tahminde bulunmak yerine her bir tahminin beraberinde bir olasılık değeri de sunması ve sonucun daha iyi değerlendirilmesine olanak sağlamasıdır. Örneğin, varyansı yüksek bir sonsal dağılımı, tahmin edilmede geniş aralık vereceğinden sunacağı bilgi sınırlı olabilecektir.

2.4.1. Model Tanımı (Model Specification)

Bu çalışmada kullanılan Bayesian doğrusal regresyon modeli, normal dağılıma sahip parametreler ile tanımlanmıştır. Normal dağılıma sahip sonuç γ değerleri, sıcaklık, doğrusal ve dağınık radyasyon tahmin edicilerinin bir doğrusal fonksiyonu olarak beklenen değer μ ve gözlemsel hata oranı olan σ ile Eşitlik 5-6’da tanımlanmıştır.

$$\gamma \sim N(\mu, \sigma^2) \quad (5)$$

$$\mu = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \quad (6)$$

α değeri kesişim noktasını, β değerleri katsayıları ve X değerleri ise tahmin edicileri belirlemektedir. Bayesian bir model oluşturulduğundan modeldeki bilinmeyen değerler Eşitlik 7-9’da geniş bir varyans (zayıf bilgi) ile normal dağılımda verilmiştir. Gözlemsel hata oranı ise farklı olarak yarı normal dağılımla verilerek değerinin sıfırdan düşük olmasının önüne geçilmiştir.

$$\alpha \sim N(0, 10) \quad (7)$$

$$\beta \sim N(0, 10) \quad (8)$$

$$\sigma \sim |N(0, 100)| \quad (9)$$

Açık kaynak kodlu olan Python programlama dilinin PyMC3 kütüphanesi bu çalışmada kullanılmıştır. İstatistikte sıkça kullanılan R programlama diline benzeyen notasyonu ile kolayca istatistik dışından gelen araştırmacılar için modellenen bir ortam sağlamaktadır. Bayesian doğrusal modelde, her bir katsayı ve gözlemsel hata oranı stokastik rastlantısal değişkenlerdir. Bu değişkenler stokastik olarak adlandırılır çünkü değerleri bir nevi ebeveynleri tarafından rastlantısal olarak belirlenmektedir. Modelin gözlemsel stokastik olarak tanımlanan üretilecek örneklem uzayının uyacağı olasılıksal dağılım belirlenmiştir. Modele doğrudan elde olan gözlemsel veri verilir ve herhangi bir veri uydurma algoritmasında değişmeyecek değer olarak belirtilir. Böylece örneklem oluşturulacak verinin, tek bir değer yerine ortalaması tahmin edicilerin doğrusal bir fonksiyonu olan ve hata oranı varyans olarak tanımlanan normal dağılıma sahip bir vektör olması sağlanmıştır.

2.4.2. Model Uydurma ve Rastlantısal Veri Üretimi (Model Fitting and Random Sampling)

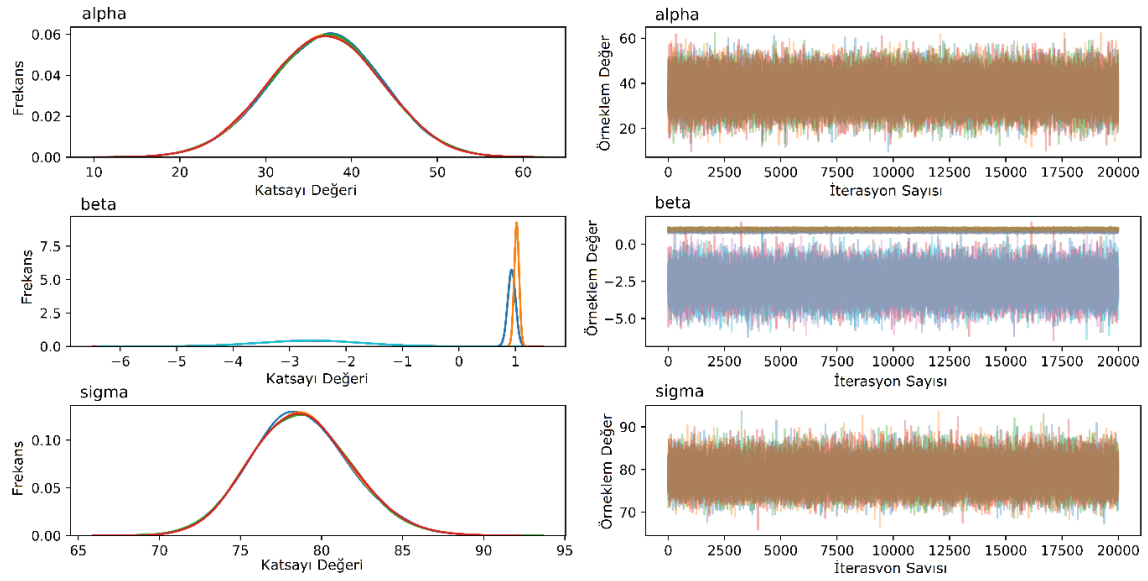
Model tanımından sonraki adım modelde belirtilen ve bilinmeyen değişkenlerin sonsal tahmin edilmesinin gerçekleştirilmesidir. Aslında, sonsal tahmin edilme analitik olarak hesaplanabilir ancak bu modellerin karmaşık olduğu yapılarda pek mümkün değildir. Bu nedenle model parametrelerinin tahmin edilmesi bir optimizasyon yöntemi olan en çok sonsal kestirici ve bir simülasyon yöntemi olan MCMC örneklemlemesi olmak üzere iki farklı yaklaşımla yapılmıştır. En çok sonsal kestirici, sonsal dağılımının modunu bulmakta kullanılan bir tahmin edicidir ve genelde numerik optimizasyon yöntemleri ile hesaplanır. Bu nedenle genelde hızlı ve kolaydır. Ancak, modelde katsayılar ve hata oranı gibi bilinmeyen değişkenler için sadece noktasal bir tahmin edilme verir ve mod eğer dağılımı düzgün tanımlamıyorsa önyargı hassastır. Ayrıca, genel olarak yeterli görünen lokal optimumları bulmada iyidir. PyMC3 kütüphanesi birden fazla optimizasyon yöntemi ile bu tahmin edilmeyi yapabilmektedir. Bu çalışmada Powell Optimizasyon yöntemi kullanılarak tahmin edilme yapılmıştır. En çok sonsal kestirici yaklaşımının dezavantajlarının üstesinden gelmek için örnekleme yaklaşımı da çalışmada kullanılmıştır. Bir simülasyon tabanlı yaklaşım olan MCMC kullanılarak belirli kıstaslara uyan Markov zinciri değerleri sonsal dağılımına uygun üretilmiştir. PyMC3 kütüphanesi Metropolis-Hasting gibi pek çok veri üretim algoritmasını desteklese de bu çalışmada hızlı olması, süreli değişkenlerde iyi olması ve hızlı yakınsama avantajları nedeniyle No-U-Turn Sampler (NUTS) algoritması seçilmiştir. Böylece her bir bilinmeyen değer için 40.000 örneklem yapacak şekilde bir veri objesinin izlerinin oluşturulması sağlanmıştır.

2.4.3. Sonsal Analiz (Posterior Analysis)

PyMC3 kütüphanesi, üretilen örneklem için aynı zamanda grafik çizdirme ve özetleme fonksiyonlarına da sahiptir. Şekil 2'de her bir stokastik bilinmeyen değişkenler için üretilen verilerin dağılımları yumuşatılmış histogram ile ilk sütunda ve her bir iterasyonda aldıkları değerler ise ikinci sütunda çizilmiştir. Doğrusal modelde tanımlı olan kesim noktası alpha ilk satırda, üç farklı katsayı olan beta değeri ikinci satırda ve gözlemsel hata oranı olan sigma ise üçüncü satırda verilmiştir. Her bir dağılıma ait ortalama ve standart sapma parametreleri elde edilerek sonsal dağılım tahmin edilmiştir.

2.4.4. Enerji Üretimi Tahmini (Prediction of Power Generation)

Bayesian doğrusal regresyon modeli ile sonsal tahmin edilmesi yapılan değerler kullanılarak herhangi bir zamanda o santrale ait enerji üretimi belirli bir güven aralığı ile yapılabilmektedir. Bu çalışmada meteorolojik verilere ve enerji üretimine ek olarak zaman değeri de hesaba katılarak yılın herhangi bir gününe ve saatine uygun olasılıksal tahmin yapılmıştır. Belirlenen herhangi bir gün ve saat için enerji üretimi belirli bir yüzde ile tahmin edilmiştir. Günün her saatinde enerji üretimi aynı olmadığı gibi gün içerisinde belirli bir zaman aralığında belirgin enerji üretimi yapılmaktadır. Örnek olarak alınan ülkenin kuzeyinde yer alan örnek santralde ise kışın geceler uzun olmakta, yazın ise gündüzler uzun geçmektedir. Bu nedenle günün her saati kendi içerisinde gruplandırılmıştır ve her bir saat için 361 örneklem ile enerji üretim vektörü oluşturulmuştur. Yılın 4 günü ise ölçümlerin sağlıklı olmayışı nedeniyle çıkartılmıştır. Örneğin saat 09.00'da enerji üretimi tahmini yapılacaksa o yıl içerisinde sadece 09.00'da yapılan üretim verileri kullanılarak bir sonraki yıl için, yılın istenilen gününe ve meteorolojik ölçümlere göre enerji üretiminin miktarı olasılıksal olarak elde edilmiştir.

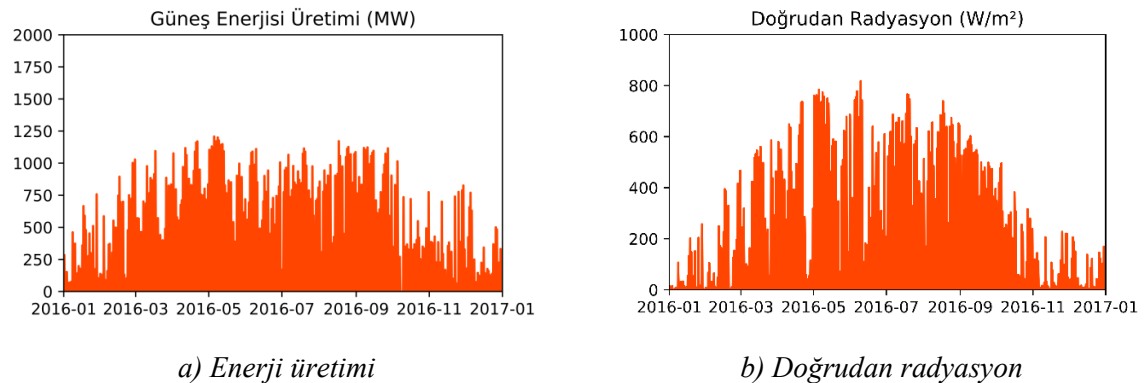


Şekil 2. Bilinmeyen değişkenlerin dağılımı

3. BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

3.1. Verinin Görselleştirilmesi ve Regresyon Analizi (Data Visualization and Regression Analysis)

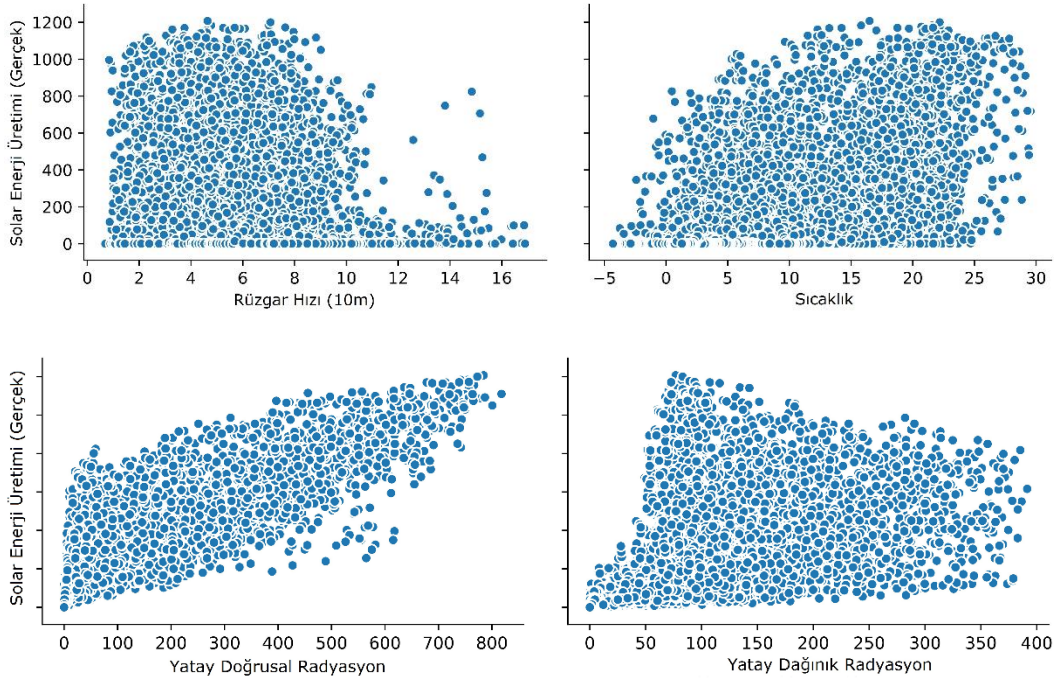
Güneş enerjisi santralinden 1 yıl boyunca saat başı alınan ölçümler model oluşturmadan ve üretim tahmini yapılmadan önce özelliklerinin belirlenmesi açısından öncelikle görselleştirilmiş ve temel istatistik yöntemleri ile analiz edilmiştir. Şekil 3’de bir yıllık enerji üretimi ve doğrusal radyasyonun değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere enerji üretimi yılın başında ve sonunda azalmıştır. Mayıs ve Ekim aylarında enerji üretimi artmıştır. Doğrusal radyasyon incelendiğinde de benzer bir eğilim görülmektedir. Yılın ortalarında oldukça yüksek olan doğrusal radyasyon yılın başı ve sonunda düşmektedir. Bu eğriler enerji üretiminin radyasyon ölçümü ile bağıntılı olabileceğini göstermektedir. Bunların dışında gerek enerji üretimi gerekse radyasyon ölçümlerinde analizi zorlaştıracak ani değer ölçüm değişimleri bulunmaktadır. Örneğin Nisan sonunda 800 W/m^2 olarak ölçülen radyasyon mayıs ayının başında ani bir düşüş yaşamış ve 100 W/m^2 olarak ölçülmüştür. Bu durum, enerji üretimi ile doğrudan radyasyonun korele olmasına rağmen oluşması veri setlerindeki gürültülerden, ölçümlerin tek bir santrale değil ülkede kurulu olan tüm santrallerden alınmasından kaynaklıdır. Bu nedenle tüm santrallerden yapılan ölçümlerden kaynaklı belirsizlikler, olasılıksal yaklaşımla da zamana bağlı olarak modellenmiş ve çalışmada gösterilmiştir.



a) Enerji üretimi

b) Doğrudan radyasyon

Şekil 3. Günlere bağlı enerji üretimi ve doğrudan radyasyon



Şekil 4. Enerji üretimi ve meteorolojik ölçümler arasındaki korelasyon analizi

Enerji üretimi farklı meteorolojik ölçümlere göre değişmektedir. Şekil 4'te enerji üretimi ve meteorolojik ölçümler arasındaki korelasyon analizi verilmiştir. Her bir ölçümle korelasyon analizine bakılarak enerji üretimini etkileyecek ölçümler analiz edilmiştir. Benzer şekilde regresyon analizi de yapılmış, enerji üretimi sırasıyla rüzgâr hızı, sıcaklık, doğrusal ve dağınık radyasyon ölçümleri ile 0,014, 0,44, 0,89 ve 0,65 olarak bulunmuştur ($p < 0,05$). Bu sonuçlar rüzgâr hızının bu santral için enerji üretiminde bağıntılı olmadığını ancak sıcaklık ve radyasyon ölçümlerinin korelasyonunun yüksek olduğunu göstermiştir. Bu nedenle enerji üretimi hesaplanırken regresyon analizinde rüzgâr hızı hesaba katılmamış, diğer üç ölçümün bir fonksiyonu olarak model oluşturulmuştur. Bu çalışmada rüzgârın hissedilen sıcaklığa olan etkisi göz ardı edilmiş, modellemeye dâhil edilmemiştir.

3.2. Doğrusal Regresyon Analizi (Linear Regression Analysis)

Doğrusal regresyon analizi için Sklearn Kütüphanesi kullanılmış, her bir ölçümün katsayısı hesaplanmıştır. Eşitlik 10'da enerji üretiminin hesaplanması verilmiştir. Bu eşitliğe göre enerji üretimine sıcaklık negatif şekilde etki etmiştir. Doğrusal ve dolaylı radyasyon üretimi artıran etmenler olmuş, doğrusal radyasyon dolaylı radyasyona göre daha enerji üretiminde pozitif etkisi olmuştur.

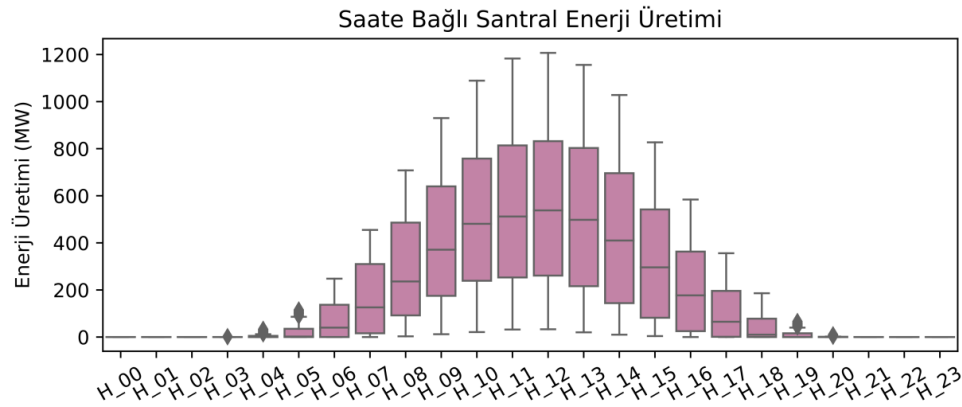
$$\text{Enerji Üretimi} = 43 - 3,63 \times \text{Sıcaklık} + 1,34 \times \text{Doğrusal Radyasyon} + 0,98 \times \text{Dolaylı Radyasyon} \quad (10)$$

Modelin performansını değerlendirmek için veri seti beş parçaya bölünmüş ve yapılan her bir testte ortalama doğruluk %80 olarak hesaplanmıştır. Doğrusal regresyon analizinin performansının yüksek çıkmasının nedenlerinden biri enerji üretiminin günün yarısında sıfır veya sıfıra yakın olmasıdır. Verinin büyük bir kısmında radyasyon değerlerinin sıfır olmasından kaynaklı geceleri üretim de sıfır olarak çıkmakta ve model bu tahmin edilme de başarılı sonuç vermektedir. Ancak, santralin aktif olarak enerji ürettiği zamandaki üretimin ne kadar olacağını tahmin edilme de bu kadar başarılı sonuç vermeyecektir. Çünkü günün hangi saatinde bu ölçümün yapıldığı bu modelde göz ardı edilmiştir. Bu nedenle model zaman bilgisini de hesaba katacak şekilde daha ileri seviyede oluşturulmuştur.

Tablo 1'de bir yıl boyunca yapılan ölçümlerin o saate göre gruplandırılarak ortalaması gösterilmiştir. Üretim beklendiği üzere günün ortasında yükselmiş, en fazla üretim saat 12.00'da ölçülmüştür. Belirgin enerji üretimi ise saat 07.00'da başlamış ve 18.00 gibi sonlanmıştır. Rüzgâr hızı yılın her saatinde istikrarlı seyretmiştir. Sıcaklıkta yaz mevsimlerinde artış göstermiş ama ortalama olarak eksili değerlere ulaşmamıştır.

Tablo 1. Saate göre ortalama ölçümler

Zaman (Saat)	Enerji Üretimi (MW)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Sıcaklık (°C)	Doğrusal Radyasyon (W/m ²)	Dağımsal Radyasyon (W/m ²)
00.00	0,0	4,6	8,7	0,0	0,0
02.00	0,0	4,6	8,3	0,0	0,0
04.00	4,5	4,6	8,0	0,1	0,7
06.00	73,3	4,7	8,4	19,4	34,0
08.00	290,5	5,1	10,0	114,7	101,5
10.00	504,8	5,4	12,0	235,4	153,4
12.00	552,4	5,6	13,2	271,1	170,0
14.00	431,5	5,4	13,3	209,3	147,4
16.00	205,3	5,1	12,5	104,3	95,1
18.00	41,7	4,7	11,2	22,0	41,3
20.00	1,2	4,5	9,8	0,3	2,2
22.00	0,0	4,6	9,2	0,0	0,0

**Şekil 5.** Saate bağlı enerji üretim değişimi

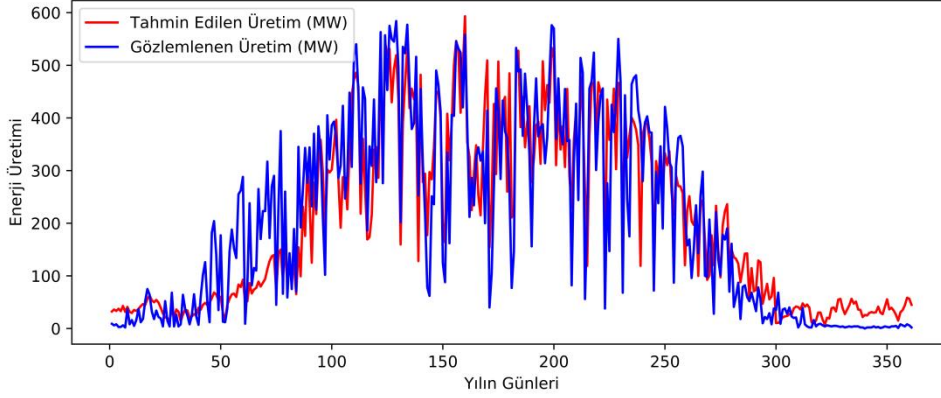
Şekil 5’te saate bağlı enerji üretim değişimi verilmiştir. Gün içerisindeki her bir saat, şekilde “H_” ön eki ile gösterilmiştir. Enerji üretimi yılın her saatinde büyük değişkenlikler göstermektedir. Örneğin öğlen saat 12.00’da en yüksek enerji üretimi 1MW’ı geçerken 0 olarak ölçüldüğü zamanlarda görülmüştür. Bu değerler uç değer olarak nitelendirilse bile 1. ve 3. çeyrek ölçümleri arasında ortalama 500 kW’lık bir fark bulunmaktadır. Ölçüm yapılan santral için yaz ve kış üretimleri için günün aynı saatinde oldukça büyük farklılıklar olduğunu göstermektedir. Bu değer tüm saatler için geçerli olup modellemeyi zorlaştırmaktadır. Bu sebeple tahmin ederken güven aralığını da sunmak önemlidir.

3.3. En Çok Sonsal Kestirici ile Tahmin (Maximum a Posteriori Estimation)

Doğrusal regresyon analizinde olduğu gibi noktasal bir tahmin edilme vermektedir. Normal dağılıma sahip örneklemelere en uygun doğrusal fonksiyonun katsayıları belirlenmiş ve bu katsayılar üzerinden tahmin edilme yapılmıştır. Farklı olarak zaman bilgisi de hesaba katılarak zamana bağlı bir enerji üretimi noktasal olarak yapılmıştır. Tablo 2’de farklı zamanlarda seçilen üç farklı saat için tahmin edilme fonksiyonu katsayıları, gözlemsel hata ve performansı verilmiştir.

Tablo 2. Saate bağlı tahmin edilme fonksiyonu katsayıları, gözlemsel hata ve performansı

Zaman (Saat)	Alpha	Beta0	Beta1	Beta2	Sigma	Performans
09.00	109,90	-6,49	0,80	1,41	57,01	0,84
11.00	106,81	-0,78	0,52	1,34	52,25	0,85
16.00	53,47	-3,91	0,94	1,04	36,04	0,90



Şekil 6. Zamana bağlı gerçek ve tahmin edilen enerji üretimi

Tablo 2’de görüldüğü üzere her bir saatin kendi içerisinde tahmin edilme fonksiyonu elde edilen gözlemlere göre uyarlanarak oluşturulmuştur. Böylece günün herhangi bir saatinde, o saatte yılın tüm ölçümleri sadece baz alınarak bir model oluşturulmuş, diğer saatlerin bilgisi dışarıda bırakılmıştır. Tabloda doğrusal regresyon katsayıları yanında gözlemsel hata oranı ve o modelin performans ölçüsü de gözlemlenen ve tahmin edilen ölçümlerin regresyon analizi sonucu hesaplanmasıyla verilmiştir. Buna göre saat 16.00’da yapılan hata oranı diğerlerine göre daha düşüktür. Buda modelin veriye ne kadar iyi uyum sağladığını göstermektedir. Bu nedenle de performansı en yüksek saat 16.00 çıkmıştır. Bu durum Şekil 5’te verilen enerji dağılım grafiği ile değerlendirildiğinde de tutarlı olduğu görülmüştür. Çünkü enerji değişimi seçilen bu üç saat içerisinde en düşük olan saat 16.00’dır. Şekil 6’da bir yıl boyunca santralde üretilen ve gözlemlenen enerji üretimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere yıl içerisinde olduğu gibi hafta içerisinde birbirini takip eden günlerde bile ciddi değişimler gözlemlenmektedir. Buna göre meteorolojik ölçümler kullanılarak elde edilen doğrusal regresyon modelinde yapılan tahminler ile gerçek üretim verilerinin örtüşmesi modelin başarısını göstermesi açısından önemlidir.

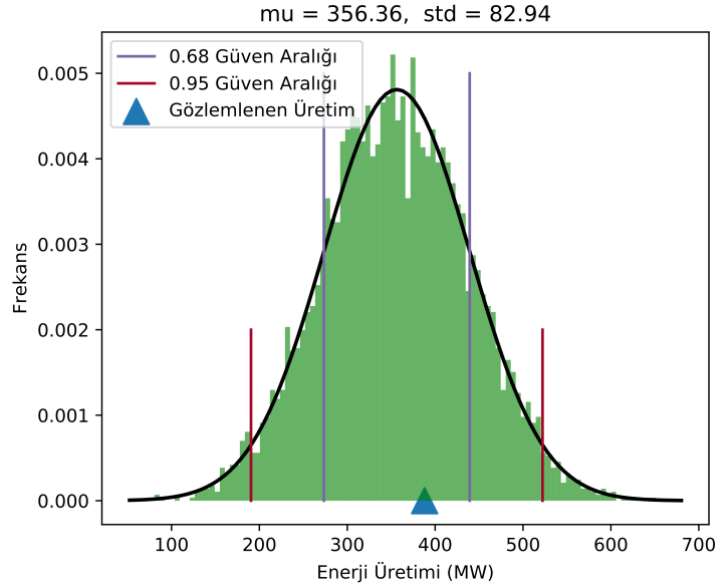
3.4. Rastlantısal Veri Üretme ile Tahmin (Prediction with Random Sampling)

Zamana bağlı yapılan tahmin edilme de enerji üretimi noktasal tahmin edilme ile verilmiştir. Her ne kadar günün saatine özgü bir model geliştirilmiş olsa da herhangi bir gün için yapılan tahminde herhangi bir güven aralığı verilmemiştir. Bu, özellikle tahmin edilmesi zor olan modellerde bir eksiklik. Bu nedenle simülasyon tabanlı bir yaklaşımla bu kuralları sağlayan vektörel bir veri seti üretilmiş ve bu veri seti kullanılarak parametre tahmini yapılmıştır. Böylece, noktasal tahmin yerine dağılım oluşturularak tahmin model tarafından yapılmıştır.

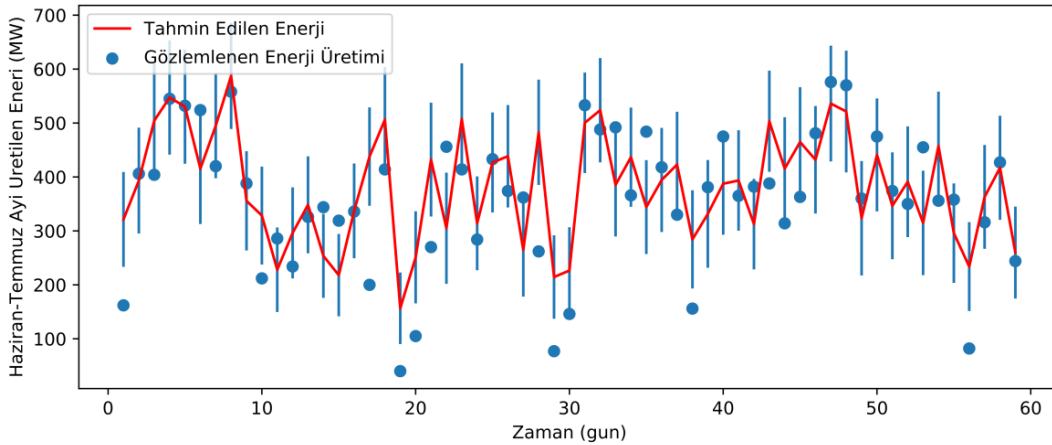
Olasılıksal bilinmeyen değişkenlerin sonsal parametrelerinin tahmini Tablo 3’te verilmiştir. Olasılıksal dağılıma sahip bir tahmin edilme fonksiyonu tahmin edilme yaparken güven aralığına bağlı olarak üst ve alt limiti olan tahmin gerçekleştirmektedir. Şekil 7’de buna örnek bir tahmin gösterilmiştir. Grafikteki kırmızı ve turuncu dikey çizgiler sırasıyla %95 ve %68 güven aralıklarında olması beklenen enerji üretim miktarları aralıklarını belirlemektedir. Ortalama 355 KW enerji üretimi 82 KW standart sapma ile tahmin edilmiştir. Gözlemlenen enerji üretimi 388 KW olan bir santralde meteorolojik veriler kullanılarak yapılan tahmin şu şekildedir: %68 olasılıkla saat 16.00’da 160. günde enerji üretimi 437 kW ile 272 kW arasında olacaktır. %95 olasılıkla ise bu aralık 520 kW ile 190 kW aralığında değişmektedir. Her iki olasılıkla da enerji üretimi başarılı bir şekilde tahmin edilebilmiştir. Her bir güvenlik aralığı da olasılıksal dağılım fonksiyonu ile birlikte verilmiştir.

Tablo 3. Olasılıksal bilinmeyen değişkenlerin sonsal parametrelerin tahmin edilmesi

Değişkenler	Ortalama	Standart sapma	MC Hata
Alpha	36,85	6,44	0,03
Beta0	-2,66	0,89	0,00
Beta1	0,93	0,07	0,00
Beta2	1,02	0,04	0,00
Sigma	78,69	2,99	0,01



Şekil 7. Saat 16.00'da 160. günde üretilecek enerjinin tahmini



Şekil 8. Mayıs-Haziran ayları enerji üretiminin %95 güven aralığında olasılıksal tahmini ve beklenen değerleri

Şekil 8'de ise 152. ve 211. günler arasında yapılan ölçümler ve tahmin edilme sonuçları verilmiştir. Birbirini takip eden günler arasında hızlı bir değişim mevcuttur. Tahmin edilen enerji, modelin o gün için yaptığı tahmin edilmenin ortalamasını vermektedir. Bu bakımdan maksimum sonsal analizi ile tahmin edilmeye benzerdir. Gözlemlenen enerji üretimi ise %95 güven aralığında alabileceği enerji üretimini üst ve alt limitler şeklinde göstermiştir. Grafik incelendiğinde noktaların pek çoğu bu mavi çizgiler arasına düşmektedir.

4. SONUÇ ve KISITLAR (CONCLUSIONS and LIMITATIONS)

Bu çalışmada seçilen bir ülkeye ait meteorolojik ve enerji üretim verileri değerlendirilmiştir. Toplamda 361 gün için, saat başı, 5 farklı ölçüm üzerinden 43.320 veri üzerinde çalışılarak analiz yapılmıştır. Panda, numpy, matplotlib, seaborn ve MCMC gibi farklı kütüphaneler kullanılarak vektör ve matrisler oluşturulmuş ve grafiklerle analiz edilmiştir. Korelasyon ve regresyon analizleri yapılmış, ortalama, medyan ve çeyrek değerleri incelenmiş, yapay zeka algoritmaları ile optimizasyon ve olasılıksal programlama yapılmıştır. Basit regresyon modeli ile sadece meteorolojik ölçümler gözetilerek bir tahmin edilme ile başlanmış, zaman ekseninin üretimde önemli olduğu gösterilerek veriler saat bazlı gruplandırılarak optimizasyon ve olasılıksal programlama ile analiz edilmiştir. Böylece, akıllı şebekeler için oldukça önemli olan kısa süre sonrası saat bazlı tahmin etmek mümkün olabildiği. Bu çalışmada karşılaşılan en büyük kısıt, zamana bağlı enerji üretimi ve atmosferik ölçümleri içeren uzun zamanlı yapısal

boylamsal bir verinin olmayışıdır. Bu çalışmada araştırmacılar için açık ve ücretsiz bir platform sunan OPSD projesi üzerinden Hollanda için hazırlanmış veri setleri kullanılmıştır. Tek bir santral yerine tüm ülkede kurulu olan santrallerden alınan toplam enerji üretimi ve ülke genelinde yapılan meteorolojik ölçümler kullanılarak bir model oluşturulmuştur. Santral özeli yerine ülke genelinde yapılan ölçümlerle oluşturulan veriler standart sapmayı artırmış ve tahmin edilme aralığını yükselmesine neden olmuştur. Bunun yerine ileride ülkemizde kurulu bir güneş enerjisi santrali ve meteorolojik istasyon üzerinden toplanacak enerji üretim verileri ve hava durumuna ait ölçümler birleştirilerek oluşturulacak veri seti, modelin çok daha doğru ve az sapma ile tahmin edilebilmesine olanak sağlayacaktır. Sadece dört özellikle belirtilen atmosferik ölçüm verisi bulut kapalılık oranı, yağış durumu, nem ve çığ gibi bilgileri içermemektedir. Bu bilgilerinde veri setinde olması daha iyi bir modellemeye olanak sağlayacaktır. Ayrıca, veri toplama frekansı 1 saat olarak veri setinde belirlenmiştir. 15 dakika aralıklarla toplanan verilerin özellikle saat bazlı tahminlerde performansı artırıcı etkisi olacaktır. Çalışma 1 yıllık veri üzerinde yapılmıştır. Mevsimsel özelliklerinde dâhil edilerek 5 yıl ve üzeri boylamsal bir veri seti üzerinde çalışma yapılması tahminin daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayabilecektir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] A. Sağbaş, B. Başbuğ, Sürdürülebilir Kalkınma Ekseninde Enerji Verimliliği Uygulamaları: Türkiye Değerlendirmesi, *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 1 (2018) 41-48.
- [2] İ. Çetinbaş, B. Tamyürek, M. Demirtaş, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Kampüsünde Elektrik Tüketim Maliyetinin Azaltılmasına Yönelik FV Üretim Ve Enerji Depolama Biriminden Oluşan Bir Mikro Şebekenin Optimal Tasarımı, *EMO Bilimsel Dergi*, 8 (2018) 33-38.
- [3] G. Arslan, B. Bayhan, K. Yaman, Mersin / Türkiye için Ölçülen Global Güneş Işınımının Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi ve Yaygın Işınım Modelleri ile Karşılaştırılması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7 (2019) 225-235.
- [4] S. K. H. Chow, E. W. M. Lee, D. H. W. Li, Short-Term Prediction of Photovoltaic Energy Generation by Intelligent Approach, *Energy and Buildings*, 55 (2012) 660-667.
- [5] Elektrik, Web Adresi: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>, Erişim Tarihi: 01.04.2019.
- [6] Ocak 2019 Aylık Enerji İstatistikleri Raporu-01, Web Adresi: <https://www.eigm.gov.tr/File/?path=ROOT%2f4%2fDocuments%2f%C4%B0statistik%20Raporu%2f2019%20Ocak%20Ay%20C4%B1%20Enerji%20Raporu.pdf>, Erişim Tarihi: 01.04.2019.
- [7] State of California Executive Order S-21-09, Web Adresi: <http://gov.ca.gov/executive-order/13269>, Erişim Tarihi: 30.03.2019.
- [8] N. Sharma, P. Sharma, D. Irwin, P. Shenoy, Predicting Solar Generation From Weather Forecasts Using Machine Learning, 2011 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm), (2011) 528-533.
- [9] J. Rose, S. Chapman, Freeing the Grid Best and Worst Practices in State Net Metering Policies and Interconnection Procedures: 2009 Edition. New York, NY: Network for New Energy Choices. Accessed Apr; 2009 Apr; 11:2013.
- [10] M. J. D. Powell, A fast algorithm for nonlinearly constrained optimization calculations, *Numerical Analysis*, (1978) 144-157.
- [11] J. Salvatier, T.V. Wiecki, C. Fonnesbeck, Probabilistic programming in Python using PyMC3, *PeerJ Computer Science*, 10.7717/peerj-cs.55, (2016).
- [12] N. Amjady, Short-Term Hourly Load Forecasting Using Time-Series Modeling With Peak Load Estimation Capability, *IEEE Transactions on Power Systems*, 16 (2001) 498-505.

- [13] S. Rahman, R. Bhatnagar, An Expert System Based Algorithm for Short Term Load Forecast, *IEEE Transactions on Power Systems*, 3 (1988) 392-399.
- [14] H. S. Hippert, C. E. Pedreira, Souza R.C. Neural Networks for Short-Term Load Forecasting: A Review and Evaluation, *IEEE Transactions on Power Systems*, 16 (2001) 44-55.
- [15] C. Kang, Q. Xia, B. Zhang, Review of Power System Load Forecasting and its Development, *Automation of Electric Power Systems*, 28 (2004) 1-11.
- [16] T. Hong, P. Pinson, S. Fan, Global Energy Forecasting Competition 2012, *International Journal of Forecasting*, 30 (2014) 357-363.
- [17] Q. Chang, Y. Wang, X. Lu, D. Shi, H. Li, J. Duan, Z. Wang, Probabilistic Load Forecasting Via Point Forecast Feature Integration, *arXiv preprint arXiv:1903.10684*, (2019).
- [18] T. Hong, S. Fan, Probabilistic Electric Load Forecasting: A Tutorial Review. *International Journal of Forecasting*, 32 (2016) 914-938.
- [19] OPSP: Open Power System Data; A Free and Open Data Platform for Power System Modelling, Web Adresi: <http://open-power-system-data.org/>, Erişim Tarihi: 30.03.2019.

Design and Testing of a Web Based Augmented Reality Virtual Dressing Application

 Tarık İÇTEN^{1,*}, Güngör BAL²
¹Gazi University, Informatics Institute, Information Systems, 06680, Çankaya/ANKARA

²Gazi University Faculty of Technology, Department of Electrical Electronics Engineering, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 22/02/2019

Revision 07/05/2019

Accepted: 20/05/2018

Highlights

- Web based virtual dressing room application.
- Product selection with remote hand gestures.
- User opinions and satisfaction levels about the application

Keywords

 Augmented Reality
 Virtual Dressing Room
 Artoolkit
 Actionsript

The webcam image has scanned in real time; the user has captured the hand movement and the pointer. In the marker section; the 3D position and location of the caught marker have calculated, the marker has decoded and ready for product display. On the hand movement section; the webcam image has compared with the previous image, the difference image has created and the visual hand cursor has positioned at the obtained image coordinate point.

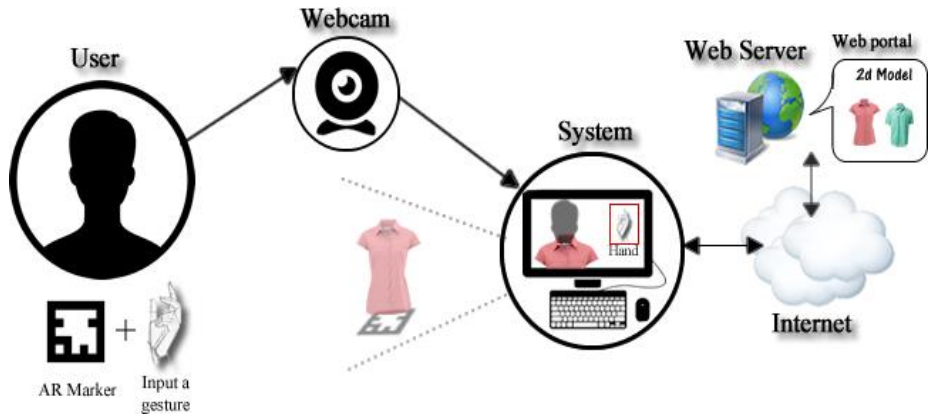


Figure A. System architecture

Purpose: In this study, a web based virtual dressing application with help of augmented reality technology is successfully achieved and presented. This application has a structure that uses the computer camera as motion sensor, select the product with remote hand movements and display the selected product as 2D on the user.

Theory and Methods: In the first step, the webcam image has scanned in real time; the user has captured the hand movement and the pointer. In the marker section; the 3D position and location of the caught marker have calculated, the marker has decoded and ready for product display. On the hand movement section; the webcam image has compared with the previous image, the difference image has created and the visual hand cursor has positioned at the obtained image coordinate point. As a result of these operations; the hand cursor positioned on the screen according to the user's hand movements, triggers the buttons on the screen in the stage of product change.

Results: The study has experimented with 20 users in the web environment during one day. Opinion of the users about the application and satisfaction level of users has been gathered with 5 point likert scale. It was found that the highest average value is Entertainment (4.64), the lowest average value is Reliability (4.11) and the satisfaction level of the application is high ($\bar{X}=4.42$).

Conclusion: In this study, a web based virtual dressing application with help of augmented reality technology is successfully achieved and presented. User opinions and satisfaction levels about the application have been measured by the prepared scale and successful results have been achieved with well posed marker in front of the camera.



Web Tabanlı Artırılmış Gerçeklik Sanal Giyinme Uygulamasının Tasarımı ve Test Edilmesi

Tarık İÇTEN^{1,*}, Güngör BAL²

¹Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Bilişim Sistemleri, 06680, Çankaya/ANKARA

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Öz

Bu çalışmada, web tabanlı artırılmış gerçeklik teknolojisine sahip bir sanal giyinme uygulaması başarıyla gerçekleştirilmiş ve sunulmuştur. Geliştirilen bu uygulama, bilgisayar kamerasını hareket algılayıcı olarak kullanabilen, uzaktan el hareketleri ile ürün seçimi yapabilen ve seçimi yapılan ürünü 2B olarak kullanıcı üzerinde görüntüleyebilen bir yapıdadır. Günümüzde sanal giyinme uygulamalarının genellikle e-ticaret aracılığıyla pazarlama sektöründe kullanıldığı görülmektedir. Bu uygulamaların e-ticaret işlemlerinde kullanımı, firmaların yeni ürünlerini müşterilerine tanıtım ve satışını daha kolay ve eğlenceli hale getirmektedir. Genellikle firmaların çevrimiçi verdikleri bu uygulama hizmeti bazı firmaların satış mağazalarında çevrimiçi ve çevrimdışı olarak da sunulmaktadır. Mağazalardaki sanal giyinme uygulama deneyimi; mağazanın fiziksel durumu, artırılmış gerçeklik ve hareket yakalama teknolojisine sahip cihazların maliyeti, mağaza içi uygulama kullanım yoğunluğu gibi zorluklar oluşturmaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için web tabanlı bir uygulama çalışması geliştirilmiştir. Bu uygulama sayesinde, el imleci kullanıcı el hareketlerine göre ekran üzerinde konumlandırılmakta ve ürün değiştirme aşamasında ekran üzerindeki butonların tetiklenmesini sağlamaktadır. Çalışma, 20 kullanıcı ile web ortamında bir gün süre ile uygulanmıştır. Uygulama hakkındaki kullanıcı görüşleri ve kullanıcıların memnuniyet düzeyleri 5'li likert tipinde ve 5 alt boyutu kapsayan ölçek ile alınmış ve iyi pozlanmış işaretçi ile en yüksek ortalama değer Eğlence (4.64), en düşük ortalama değer Güvenilirlik (4.11), uygulamanın memnuniyet düzeyi yüksek (\bar{X} =4.42) bulunmuştur.

Makale Bilgisi

Başvuru: 22/02/2019

Düzeltilme: 07/05/2019

Kabul: 20/05/2019

Anahtar Kelimeler

Artırılmış Gerçeklik
 Sanal Giyinme Odası
 Artoolkit
 Actionsript

Keywords

Augmented Reality
 Virtual Dressing Room
 Artoolkit
 Actionsript

Design and Testing of a Web Based Augmented Reality Virtual Dressing Application

Abstract

In this study, a web based virtual dressing application with help of augmented reality technology is successfully achieved and presented. This application has a structure that uses the computer camera as motion sensor, select the product with remote hand movements and display the selected product as 2D on the user. Nowadays virtual dressing applications are generally used in e-commerce sectors. These applications made it easier and more enjoyable for companies to introduce and sell new products to customers. Companies generally put the application in service online and some companies put it in service in their outlet stores online or offline. The physical situation of stores, the cost of motion capture devices and heavy demand on the application cause difficulties in practice. To overcome these difficulties a web-based application is develop and all the design processes of the application are presented in this study. By using this application the hand cursor is positioned on the screen according to the user's hand movements and triggers the buttons on the screen in the stage of product change. The study has experimented with 20 users in the web environment during one day. User opinions and satisfaction levels about the application have been measured by the prepared scale and successful results have been achieved with well posed marker in front of the camera. Opinion of the users about the application and satisfaction level of users has been gathered with 5 point likert scale. It was found that the highest average value is Entertainment (4.64), the lowest average value is Reliability (4.11) and the satisfaction level of the application is high (\bar{X} =4.42).

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Teknolojideki gelişmeler ve bu gelişmelerin insan davranışlarına olan etkileri son yıllarda artmakta, artırılmış gerçeklik (augmented reality), sanal gerçeklik (virtual reality) ve giyilebilir teknoloji (wearable technology) gibi teknolojilerin yakın zamanda insan yaşamında oldukça önemli değişikliklere yol açması beklenmektedir. Bu teknolojilerin insan yaşamını kolaylaştıracak uygulamalarda kullanılması ve bu konuda çalışmaların yapılması birçok alanda önemli gelişmelerin ortaya çıkmasını sağlayabilir. Bu gelişmelerle birlikte internet kullanımının yaygınlaşması, alışveriş kavramını önemli oranda değiştirmektedir. Aynı zamanda dünyada tüm bilgisayarları birbirine bağlayan internetin, eğlenceden ticari faaliyetlere kadar her alanda kullanımının yaygınlaşması iletişim, pazarlama, perakendecilik ve ticaret gibi kavramlara yeni anlamlar kazandırmıştır [1]. Ayrıca yeni bir pazarlama kanalı olarak da nitelenen internet ve e-ticaret, tüketicilere elektronik bir alışveriş ortamı sunmakta, yorulmadan, mağaza gezme ve vitrin bakma sıkıntısı yaşamadan, üstelik karşılaştırma yapma, değişik kişilere danışma ve onlardan fikir alma gibi üstünlükleri de kullanarak satın alma sorunlarını çözme imkânı sağlamaktadır [2]. Bu imkân interneti mükemmel bir pazar haline getirmekte [3] ve tüm sektörlerde olduğu gibi geleneksel çevrimiçi alışveriş yaklaşımını değiştirmektedir.

Tüketicilerin beğendiği kıyafeti alması çoğunlukla giyim mağazasına gitmesi, kıyafet seçmesi, seçilen kıyafeti giyinme kabininde denemesi ve alması şeklinde olmaktadır. Tüketicinin yoğun ilgi gösterdiği büyük mağazalarda gerçekleşen bu işlemlerin her biri oldukça zahmetli ve zaman alıcı işlemlerdir. Bu işlemleri en aza indirmek, müşterinin istediği yerden beğendiği kıyafetleri almasını sağlamak amacıyla günümüzde bu işlemler, akıllı telefon ve tablet uygulamaları, standart mağaza web siteleri gibi farklı araçlar ve yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlerin en büyük dezavantajı müşteri açısından; seçilen kıyafetin üzerinde denenememesi, mağaza açısından; satılan ürününün büyük bir bölümünün iade edilmesidir. Gelişen teknoloji bu dezavantajı ortadan kaldırmış, evde veya mağazada tüketicilerin fiziksel bir nesneyi elleriyle incelemiş gibi uzaktan el hareketleriyle kontrol edebildiği, seçtiği kıyafeti üzerinde deneyebildiği Sanal Giyinme Odası (Virtual Dressing Room) teknolojisini oluşturmuştur. Ancak bu uygulamalar ve bu uygulamaların çalıştığı sistemler gerçek zamanlı karmaşık hareketleri kayıt altına alan ve sayısal bir modele dönüştürülmesini sağlayan hareket yakalama (motion capture/mo-cap) sistemlerine sahip, maliyeti yüksek donanım ve yazılımlardan (örn. Microsoft Kinect, Asus Xtion, Xsens Moven, PrimeSense Carmine) oluşmaktadır.

Hareket yakalama sistemleri üç ayrı yapıda çeşitlendirilebilir [4]. Bunlar; kıyafeti giyen kişi hareket ettikçe dış iskeleti de uygulanan kuvvet ile hareket eden *Mekanik Sistemler*, ilk kez, pilotların baş hareketlerini izlemek için kullanılan, bir dizi manyetik alıcının verici tarafından izlenebildiği *Elektromanyetik Sistemler* ve kullanıcı üzerindeki işaretçilerin uzaktan birçok kamera tarafından izlendiği *Optik Sistemlerdir* [5]. Günümüzde bu sistemlerden en çok kullanılanı ise işaretçi tabanlı yöntem [6] ve işaretçi tabanlı olmayan yöntem şeklinde ikiye ayırabildiğimiz optik sistemlerdir [7]. Son yıllarda yeni ve teknolojik işaretçi tabanlı olmayan mo-cap çözümleri üretilmektedir. Bu çözümlere iPiMocap Studio, Captury Live, Kinetisense Motion Capture ve hem Asus Xtion hem de Kinect sensörlerini geliştiren PrimeSense örnek olarak verilebilir.

Sanal giyinme odası olarak ifade edilen teknolojiler genellikle sanal gerçeklik (SG) veya artırılmış gerçeklik (AG) kavramlarının birinden veya her ikisinden [8] oluşabilir. AG ve SG kavramları birbiriyle karıştırılabilmektedir [9]. Bilgisayar tarafından oluşturulmuş SG ve AG kavramları benzer öğeleri kullanan ancak gerçek ve sanal dünya arasında birbirinden farklı kavramlar olarak görülmektedir. SG sanal dünyayı temel alırken, AG gerçek dünyayı temel almaktadır [10]. AG, sağlık, eğitim, eğlence ve pazarlama vb. gibi birçok alanda kullanılmakla birlikte [11], bu alanlardaki uygulamaların genellikle bilgilendirme, eğlenme ve tanıtma gibi amaçlar için yapıldığı görülmektedir. AG teknolojisine sahip sanal giyinme odası uygulamalarında kullanılan hareket yakalama (vücut tarama) teknolojisi; (i) web kamerası (webcam), telefon kamerası ve (ii) Microsoft Kinect, Asus Xtion gibi tarayıcı cihazlar ile gerçekleştirilebilmektedir [12]. Bu çalışmada ise hareket yakalama işlemi web kamerası ile gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada bu teknolojilere alternatif olarak çevrimiçi çalışabilen, bilgisayar kamerasını hareket algılayıcı olarak kullanabilen, uzaktan el hareketleriyle ürün seçimi yapılabilen ve seçimi yapılan ürünün 2B olarak kullanıcı üzerinde görüntülenebilen, bir web tabanlı AG sanal giyinme uygulama yazılımı ve tasarımı geliştirilmiştir. Bu çalışmada amacımız Web Tabanlı AG Sanal Giyinme Uygulaması ile çevrimiçi

alışveriş işlemini daha kolay, daha zevkli ve daha eğlenceli hale getirmek ve bu alanda yapılacak çalışmalara bir alt yapı oluşturmaktadır. Ayrıca geliştirilen uygulamanın hareket algılayıcı cihaz (3B cihaz) yerine web kamerası (webcam) kullanmasından dolayı maliyeti düşük olacaktır. Bununla birlikte bu çalışma, kullanılacak sisteme herhangi bir kurulum zorunluluğu gerektirmemesi, zamandan ve mekândan bağımsız ulaşılabilirliği ve web servis üzerinden hizmet sağlama açısından diğer çalışmalardan ayrılmaktadır. Bu sayede çevrimiçi ve kameraya sahip bir bilgisayar kullanıcısının istediği yer ve zamanda bu uygulamayı kullanması sağlanmaktadır. Bu basit donanım ihtiyacı gerektiren, kolay erişilebilir ve eğlenceli sistemin geniş bir kullanıcı kitlesine hitap edeceği, birçok kullanıcının çevrimiçi alışveriş alışkanlıklarını değiştirebileceği, mağazaların web satış oranlarını yükseltebileceği öngörülebilir.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR (RELATED STUDIES)

Alanyazında yer alan birkaç akademik çalışma şu şekildedir; Erra ve arkadaşları [13], AG tabanlı sanal giyinme uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Microsoft Kinect 2 ve Unity 4 Pro kullanarak yapılan bu uygulamada 47 katılımcı yer almış ve uygulamanın etkinliğine dair anketler yapılmıştır. Genel olarak katılımcıların uygulamayı faydalı buldukları belirtilmiştir. Shaikh ve arkadaşları (2014)[14] klasik masaüstü uygulamalarından farklı olarak insanların el hareketleri ile çevrimiçi alışveriş yapabildiği bir sistem geliştirmişlerdir. Bu sistem kullanıcı vücut boyutlarının verisini almakta, önceden yüklenen fotoğrafları canlı video yayını içerisine yerleştirmektedir. Yerleşen resim kullanıcının hareketlerini izlemekte, ekranda görüntülenmekte ve böylece kullanıcıya giysiyi giyme hissiyatı verilmektedir. Isıkdogan ve Kara tarafından [15] kinect sensör kullanarak sanal giyinme uygulaması yapılmıştır. Önerilen yaklaşım, modellerin hizalanması ve ten rengi tespit işlemleri temeline dayanmakta, 2B modellerin konumlandırma, ölçeklendirme ve rotasyon işlemi için 3B bağlantı noktaları kullanılmaktadır. Uygulamanın performansı %83.97 olarak belirtilmektedir. Yuan ve arkadaşları [16], 3 farklı senaryo kullanarak bir sanal giyinme uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Uygulama sanal kıyafetleri kullanıcının gövde büyüklüğüne ve ten rengine göre otomatik boyutlandırmaktadır. Genel olarak uygulamanın kullanıcılar tarafından başarılı bulunduğu belirtilmektedir. Bir diğer çalışma ise, Pachoulakis ve Kapetanakis [17] tarafından yapılmış olan “Sanal giyinme odaları için artırılmış gerçeklik platformları” isimli çalışmadır. Bu çalışmada yakın bir geçmişte AG teknolojisi üzerine yapılmış sanal giyinme ve destekleyici teknolojilerin başarılı örnekleri gözden geçirilmekte, bu teknolojilerin reklam aracı olarak da kullanılabilmesine ilişkin açıklamalar ifade edilmektedir. Kjærside ve arkadaşları [18] tarafından kullanıcı üzerinde artoolkit tipi işaretçi kullanarak gerçek zamanlı çalışan, ARDressCode olarak ifade edilen bir AG giyinme uygulaması yapılmıştır. Diğer bir çalışma ise; Martin ve Oruklu [19] tarafından yapılan uygulamadır. Bu uygulama android tabanlı mobil cihazlarda çalışmakta, tanımlanan kullanıcı yüz konumuna ve büyüklüğüne göre eklenecek sanal kıyafetlerin boyutunu ve konumunu ayarlamaktadır. Martin ve Oruklu tarafından yapılan çalışmaya benzer çalışma Treepong, Mitake ve Hasegawa (2018) [20] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada kullanıcıya kıyafet giydirmek yerine kinect cihazı ile yüz makyajı uygulanmaktadır.

Akademik alana ek olarak verilebilecek önemli birkaç sektör uygulaması da şu şekildedir: Sanal giyinme aynası olarak ifade edilen SenseMi [21], kullanıcının gövde taraması (360 derece) yapıldıktan sonra 3B sanal kıyafetleri anlık kullanıcı üzerinde göstermektedir. Sistem el hareketleri ile kontrol edilebilir bir yapıda olup, kullanıcı hareketine göre 3B modelleri şekillendirmektedir. Styku [22] ise kullanıcısını 360 derece tarayıp 3B modelini oluşturulduktan sonra bu model üzerine kıyafetleri giydirmektedir. Zugara [23] tarafından sosyal mağaza uygulaması olarak tanıtılan, çevrim içi çalışan, 2B sanal modeller kullanan, AG temelli sanal giyinme uygulaması yapılmıştır. Sanal modeller kullanıcı üzerinde işaretçi ile gösterilmektedir. Sanal kıyafetin boyutlandırılması işaretçi hareketi ile ürün değişimi el hareketi ile yapılmaktadır.

Sanal giyinme alanında yapılan çalışmalar incelendiğinde; bu alanda yapılan çalışmaların Sanal Giyinme Odası (Virtual Dressing Room) [24], Sanal Değişim Odası (Virtual Changing Room), Sanal Giyinme Simülasyonu (Virtual Dressing Simulation) [19] ve Sanal Montaj Odası (Virtual Fitting Room) [25] gibi başlıklar altında ifade edildiği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada; yapılan uygulama “Sanal Giyinme Uygulaması” olarak ifade edilmiştir.

Bu çalışmadaki yaklaşım, sanal giyinme uygulaması olarak adlandırılmış, 3B görüntüleme ile uç nokta belirleme yapısı (örn. kinect iskelet yapısı) kullanan yöntemlere alternatif olarak önerilmiştir. Önerilen sanal giyinme uygulaması, çevrimiçi kullanılabilir, kullanıcı hareketlerini webcam ile yakalayabilecek, ürünleri uzaktan el hareketleri ile kontrol edebilecek şekilde tasarlanmıştır.

AG tabanlı, yönetim panelli, dinamik bir web sitesi yapısında olan uygulama, kullanılabilirlik derecesini oluşturan etkililik, verimlilik ve memnuniyet [26] gibi koşullar göz önüne bulundurularak tasarlanmıştır.

3. WEB TABANLI ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK SANAL GİYİNME UYGULAMASI (A WEB BASED AUGMENTED REALITY VIRTUAL DRESSING APPLICATION)

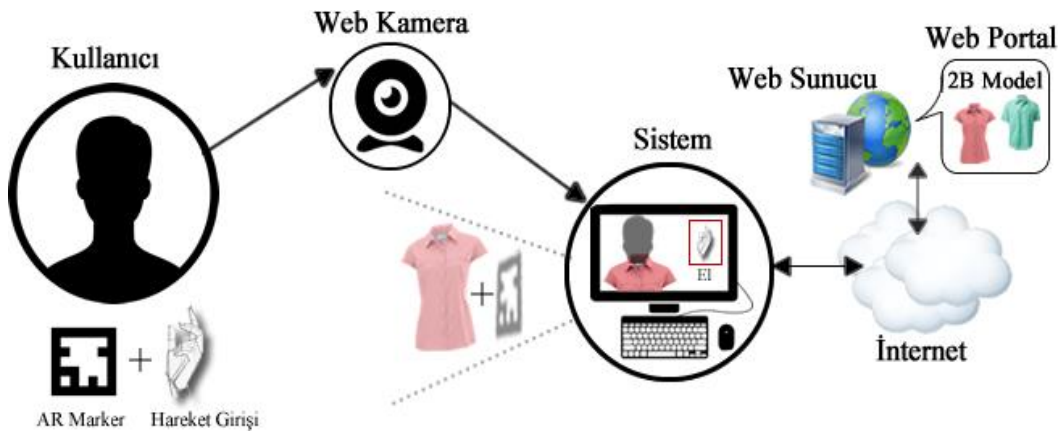
Bu bölümde çalışmanın mimarisi, algoritması ve çalışması detaylı ve açık bir şekilde anlatılmaktadır. Sanal giyinme uygulamasını yazılım ve donanım olarak iki kısımda incelemek mümkündür. Yazılım kısmı 3 alt birime ayrılmakta ve bu birimler şu şekilde tanımlanmaktadır:

a) Hareket İzleme Sistem Birimi: Webcam cihazı karşısındaki kullanıcının uzaktan el hareketini algılayan, algılanan hareket noktasına göre kare içerisinde merkez nokta oluşturan, hareket izleyici/algılayıcı olarak ifade edilen birimdir. İzleme sisteminde kullanılan el imleci, el hareket değişimlerini algılayabilir, değişim koordinat noktasına konumlanabilir ve el hareketinin takibi ile ekran butonlarını tıklayabilir/tetikleyebilir.

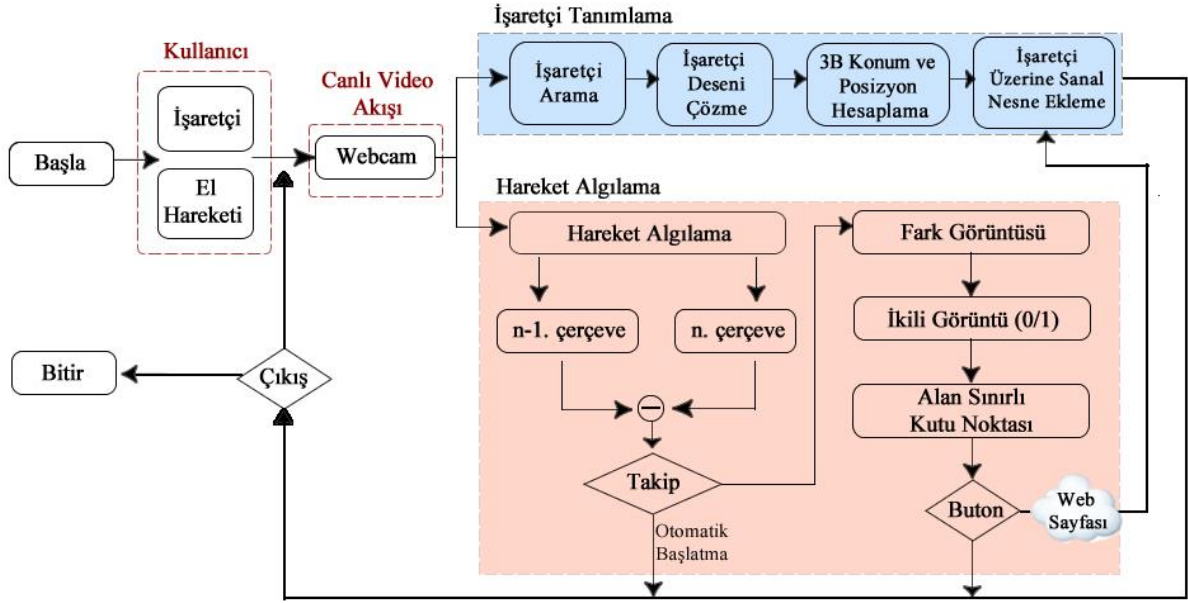
b) Web Sayfası ve Yönetim Panel Birimi: Gerçekleştirilen çalışma web tabanlı bir yapıda olmasından dolayı bir yönetim paneli tasarlanmıştır. Yönetim panelinden ürün görselleri dinamik olarak sisteme eklenebilmekte, sistemden silinebilmekte ve güncellenebilmektedir. Yönetim paneli sayesinde web sayfasında görüntülenebilen ürün görselleri yine kolay ve etkili bir şekilde web uygulamasında kullanılabilen, gerektiğinde web uygulamasından kaldırılabilir.

c) Artırılmış Gerçeklik Arayüz Birimi: Hareket izleme sistem birimi katmanı üzerinde çalışan, arayüz butonlarının el imleci ile tetiklenmesi ile ürün görsellerinin işaretçi üzerine görüntülenmesini sağlayan, çalışmanın AG kısmını oluşturan birimdir. Çalışmanın AG yapısı FLARToolkit Kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın donanım kısmı ise; (i) webcam, masaüstü veya dizüstü bilgisayar, (ii) internet bağlantısı, (iii) uygulamanın yüklü olduğu web sunucu, (iv) ürün modellerin kullanıcı üzerinde görüntülenmesini sağlayan işaretçi olmak üzere 4 temel bileşene ihtiyaç duymaktadır. Bu bileşenler ve sistemin mimarisi Şekil 1’de, algoritması Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Sistem mimarisi



Şekil 2. Sistem akış şeması

İlk aşamada webcam cihazı tarafından alınan görüntü anlık olarak uygulama tarafından taranmakta, kullanıcı el hareketi ve işaretçi yakalama işlemi gerçekleştirilmektedir. İkinci aşama ise *işaretçi tanımlama* ve *hareket algılama* olarak iki kısımda açıklanabilir. İşaretçi kısmında; yakalanan işaretçinin işaretçi deseni çözülmekte, 3B konumu ve pozisyonu hesaplanmakta, bağlı olduğu 2B model veri tabanından alınmakta ve kullanıcı ekranında görüntülenmektedir. Hareket tanımlama kısmında ise; webcam 'den alınan anlık görüntünün bir önceki görüntü ile karşılaştırılması sonucu elde edilen fark görüntüsü oluşturulmakta ve elde edilen bu görüntüye merkez noktası olan alan sınırlı bir kutu çizilmektedir. Daha sonra görsel el imleci koordinatlarına merkez nokta koordinatları atanmaktadır. Bu işlemler sonucunda kullanıcı el hareketlerine göre ekran üzerinde konumlanacak el imleci, ürün değiştirme aşamasında, ekran üzerindeki butonların tetiklenmesi amacıyla kullanılmaktadır.

4. YÖNTEM (METHOD)

Geliştirilen çalışma 3 temel yazılım biriminden oluşmaktadır ve bu üç ana birimin amacı, yapısı ve yetenekleri ayrıntılı olarak bu bölümde açıklanmıştır.

4.1. Hareket İzleme Sistem Birimi (Motion Tracking/ Detection System Unit)

Mevcut görüntüleme sistemleri, sahnede çerçeveden çerçeveye herhangi bir nesneyi takip etmek için işlenebilen canlı görüntüleri bir dizi dijital görüntüye dönüştürebilir [27]. Görüntü işleme dijital bir görüntü içerisindeki önemli bilgilerin okunması, çıkartılması ve işlenmesi için kullanılan bir yöntemdir [28]. Görüntü işleme uygulamaların önemli konulardan biri de nesne takibidir [29]. Alanyazında nesne takibi yapan çalışmalar sırasıyla; (i) Video ön işleme, (ii) nesne tespiti, (iii) nesne sınıflandırma, (iv) nesne takibi aşamalarından oluşmaktadır [29]. Bu adımların içinde en önemlisi nesne tespitidir ve alanyazında bu tespit için basit ve karmaşık yapıları birçok yöntem sunulmaktadır [30]. Bu yöntemler; (i) optik akış, (ii) arka plan modeli çıkartma ve (iii) çerçeveler arasındaki fark olmak üzere üç isimde gruplandırılabilir [29]. Bir videodaki veya görüntüdeki nesnenin tespiti için iki temel bilgi kullanılır. Bunlar; görsel öznelik (renk, doku, şekil gibi) ve bu çalışmada kullanılan hareket bilgileridir [28].

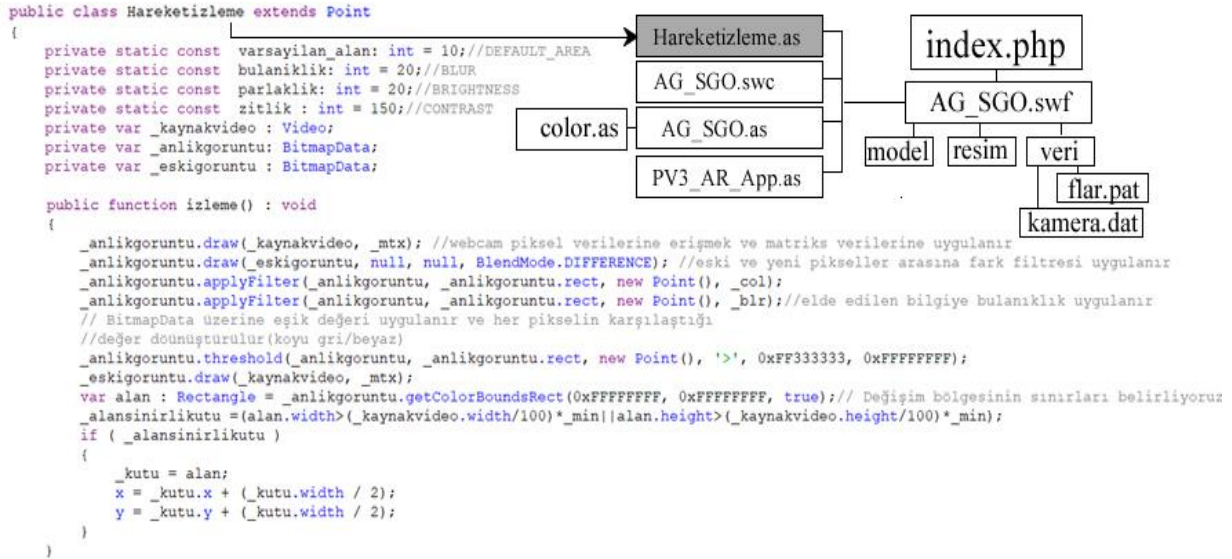
Basit ve hızlı bir hareket izleme yapısına sahip olan bu çalışma web ortam kullanımı için geliştirilmiştir. Çalışmada kullanılan yöntem ise; video sahnesindeki bir değişimi sezmek veya nesne hareketini kestirmek için arka arkaya gelen video çerçevesindeki farkı [31]; yani pikseller arasında piksel piksel hesaplama işlemi yapan geçici değişiklikleri bulma yöntemidir. Geliştirilen hareket izleme sistemi 2 farklı alt bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler; kullanıcı el hareket değişimlerini piksel bazında çözümlen *Fark Görüntüsü (Difference Image)* ve tanımlanan hareketin uygulama ekranda çizgisel olarak gösterilmesini sağlayan, buton yapısına koordinat değeri veren *Alan Sınırlı Kutu Noktası (Area Bounding Box Point)* dir.

Alan Sınırlı Kutu Noktası, kullanıcının uzaktan el hareketleri ile kontrol edebildiği, bir el imleci gibi hareket etmekte ve ürün değişim görevini yerine getirmektedir. Bu bileşenler Adobe Flash programına ait Actionscript 3.0 dili ile geliştirilmiştir. Önerilen sistemin ilk adımını kullanıcı el hareketinin algılanması oluşturmaktadır Sistem, kullanıcı el hareketini görebilmek için webcam cihazı kullanmakta; el hareketini yakalayabilmek için sadece bir elin sağa veya sola hareket ettirilmesi yeterli olmaktadır.

Önerilen sistem tarafından nesne olarak ifade edilen kullanıcı el hareketinin yakalanması, anlık görüntü üzerinden piksel değişimlerinin kontrolü ile sağlanmıştır. Bu işlem için iki ana değişken (`_eskiyoruntu`, `_anlikgoruntu`) bellekte tutulmuş, önceki piksel değeri ve sonraki piksel değeri bu değişkenlere atanmış ve birbirleriyle karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda ekran piksel bölgelerinde oluşan değişim Şekil 3'de yer alan nitel sonuçtan da görüleceği gibi anlık olarak oluşturulan, algılanan hareket büyüklüğüne göre otomatik boyutlanan ve konumlanan, merkez noktası olan kare ile ifade edilmiştir. Merkez nokta uygulamada içi boş bir daire olarak ifade edilmiş, el imleci için koordinat değerlerini elde etmek amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 3. El hareketinin algılanması ve el imlecinin konumlanması



Şekil 4. Hareket izleme kod yapısı

Uygulama, webcam görüntüleri arasındaki anlık oluşan piksel farklılıklarının boyutunu göstermek için temel olarak genel bir eşik değeri (a blur filter) kullanmıştır. Şekil 4'de görüleceği gibi bu değerler parlaklık, zıtlık ve bulanıklık (brightness, contrast, blur) değerleridir. Bu değişken değerlerinin değişimi ve webcam cihazından algılanan hareketin etki büyüklüğü, alınan webcam görüntüsündeki alan kare büyüklüğünü ve buna bağlı olarak merkez nokta konumunu değiştirmektedir. Şekil 4, webcam görüntüsüne fark filtre uygulama kodlamasını ve alan sınırlı kutu oluşturma aşamasının bir kısmını ifade eden kodlama yapısından alınmış bir görseldir.

4.2. Web Sayfası ve Yönetim Panel Birimi (Web Page and Management Panel Unit)

Geliştirilen web yönetim paneli veri tabanı işlemleri MySQL dili, grafiksel işlemler Adobe Flash CS6, Flash CS6 ve MySQL arasındaki bağlantı ise PHP dili ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın web birimi 3 kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlar; kullanıcının uygulamayı her ortamda kullanmasına imkân sağlayan *Web Arayüzü (web interface)*, ürün modellerinin sisteme yüklenmesini ve kaldırılmasını sağlayan *Yönetim Paneli (admin panel)* ve kullanıcının uygulamayı kullanmasını sağlayan *Dene (try it)* butonudur.



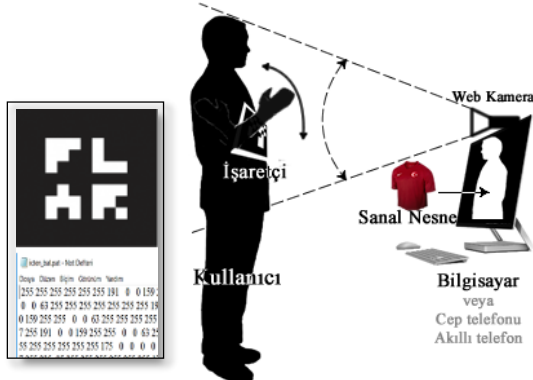
Şekil 5. Web tabanlı AG sanal giyinme uygulama sayfası ve modeli

Şekil 5, web tabanlı AG sanal giyinme uygulaması için oluşturulmuş web sitesinden alınmış bir görseldir. Kullanıcı uygulamayı kullanabilmesi için web sayfasında yer alan “dene (try it)” butonunu tıklaması yeterlidir. Bu işlem sonucunda kullanıcı sanal giyinme uygulamasına yönlendirilecektir. Yönlendirilmiş sayfa görseli Şekil 7’de verilmiştir.

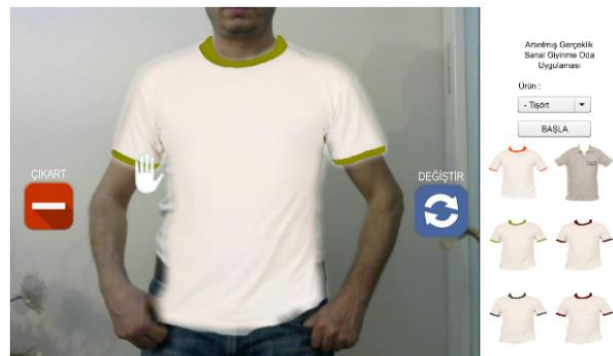
4.3. Artırılmış Gerçeklik Arayüz Birimi (Augmented Reality Interface Unit)

İşaretçi sanal ile gerçek ortamı birleştirmek, aralarındaki etkileşimi sağlamak için kullanılan önemli bir AG aracıdır. Şekil 6’görülebileceği gibi işaretçiler kamera tarafından daha iyi algılanmaları için beyaz kenarlıklılı ile çevrelenmiş siyah zemin içine beyaz ve siyah desenler ile resmedilmektedir. İşaretçi üretim programları işaretçi desenindeki her bir pikselin renk tonunu ifade eden sayısal bir değer (0-255 arasında renk kodları) ile pat dosyalarında saklanmaktadır. Günümüzdeki gelişmeler gerçek dünyadaki bir nesnenin (gerçek bir bina, insan yüzü, duvardaki resim) işaretçi olarak kullanılmasına imkân vermektedir. ARToolkit tipi işaretçiler 16x16 veya 32x32 boyutunda olabilir. Bu tip işaretçiler kare biçiminde olmalı ve kamera tarafından alınan görüntünün yüzde 50’sinin sistemde kayıtlı olan “.pat” uzantılı dosyalardaki sayısal değerlerle eşleşmesi gerekmektedir [10,11]

Geliştirilen AG arayüz, Actionsript 3.0 yazılım dili ve bu dil ile uyumlu 2 kütüphane kullanılarak geliştirilmiştir. Bu kütüphaneler; işaretçi deseninin algılanmasını, çözümlenmesi ve konum bilgilerini sağlayan *FLARToolkit Kütüphanesi* ve ürün modellerinin oluşmasını ve işaretçi noktalara konumlanmasını sağlayan *Papervision3D Kütüphanesi (PV3D)* dir.



Şekil 6. Artoolkit işaretçi



Şekil 7. Web ortamında işaretçi kullanımı

Bu uygulamada, ürün görsellerinin anlık olarak kullanıcı görüntüsü üzerinde gösterilmesi için 32x32 boyutunda AG işaretçi (ing: marker) yapısı tercih edilmiştir. Tercih edilen işaretçi, ürünün kullanıcı üzerine görüntülenebilmesi için bir referans noktasıdır. Uygulamanın işaretçiyi tanıması ve konum noktasını elde edebilmesi için bazı işlem adımlarının yapılması gerekmektedir. Bu işlem adımları şu şekilde açıklanabilir: (a) Kamera tarafından işaretçi görüntüsünün araştırılması, (b) İşaretçi görüntüsünün tanımlanması, (c) İşaretçi konumu ve pozisyonunun hesaplanması ve deseninin çözülmesi, (d) Görsel nesnenin getirilmesi (e) İşaretçi üzerinde modelin gösterilmesi

Kullanıcı, işaretçiyi kameraya tutarak kendine göre konumunu ayarlayabilir, devamında konumu alınmış işaretçiyi bırakarak uzaktan el hareketi ile ürün değişimini sağlayabilir. Bu sayede işaretçi taşımayan kullanıcı rahat bir şekilde uzaktan el hareketi ile kontrol ettiği el imlecini ekran üzerinde yer alan “değiştir” butonunu tetiklemek için kullanabilir. Şekil 7, belirtilen işlem adımları sonucunda elde edilen ürünün kullanıcı üzerindeki görselidir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada, web sayfası PHP programlama dili, işaretçi tanımlama işlemleri FLARToolkit kütüphanesi, 3D oyun motoru Papervision3D yazılımı, sanal giyinme uygulama arayüzü Adobe Flash CS6 programı, hareketlerin piksel tabanlı karşılaştırılması Actionscript 3.0 betik dili ile geliştirilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasını sanal giyinme uygulamasının hangi platformda veya platformlarda çalışabileceğine ilişkin araştırmalar oluşturmuştur. Bu araştırmalar sonucunda AG araçları içerisinde web tabanlı ve açık kaynak kod yapısına sahip olması sebebiyle FLARToolkit yazılımı ve işaretçi tipi tercih edilmiştir. İşaretçi ve uygulamaya yönelik kullanıcı görüşleri (birebir görüşme ve görüş formu) incelendiğinde; kullanıcılar, uygulamanın işaretçi tanımlanmasında, tanımlı işaretçi üzerinde ürün gösteriminde ve ürün değişiminde hata ile karşılaşmadıklarını belirtmişlerdir. Ayrıca kullanıcılar uygulamayı rahat kullanabildiklerini, uygun pozlama şartlarında işaretçi üzerinde ürün gösterimlerinde donma ve gecikme gibi sorunlar yaşanmadıklarını ifade etmişlerdir.

Kullanıcı el hareketleri, webcam akışını oluşturan anlık görüntünün bir önceki görüntü ile karşılaştırılması sonucunda elde edilen fark görüntüsü ile alınmıştır. Fark görüntüsü koordinatına sanal bir el imleç koordinatı ve görevi atanmış, bu sayede anlık görüntü üzerinde hareket ettirilebilecek bir el imleci oluşturulmuştur. Kullanıcı deneyimlerinde uzaktan el hareketleri ile el imlecini rahatlıkla hareket ettirebildiği, arayüz üzerinde yer alan çıkart ve değiştir butonlarının bu imleç ile tetiklenebildiği gözlemlenmiş ve kullanıcılar tarafından başarılı olduğu ifade edilmiştir. Ancak bazı kullanıcıların webcam cihazı ile olan mesafelerini kısa tuttıkları, webcam karşısında iki elini aynı anda hareket ettirdikleri ya da el hareketi sırasında sallandıkları, buna bağlı olarak el imlecini konumlanmasında ve arayüz butonların tetiklenmesinde sorunlarla karşılaştığı belirtilmiş ve görülmüştür. Kullanıcı ile webcam cihazı arasındaki mesafenin kullanıcının ekranda kendini ve işaretçisini tam olarak görebildiği mesafede olması, webcam karşısında sadece el hareketlerinin kullanılması gerektiği açıklanmış ve web sitesine uyarı olarak yazılmıştır. Bu uyarıları göz önüne alan kullanıcıların tekrar eden uygulamalarda belirtilen sorunlarla tekrar karşılaşmadıkları, el imlecini rahat hareket ettirebildikleri ve butonları tetikleyebildikleri görülmüştür.

5.1. Memnuniyet (Satisfaction)

Sanal giyinme uygulaması hakkında kullanıcı görüşlerini ve memnuniyet düzeyini ölçmek için 5’li likert tipinde ve 5 alt boyutu kapsayan bir ölçek hazırlanmıştır. 20 kullanıcının web ortamında bir gün süreyle sanal giyinme uygulamasını kullanmaları istenmiş ve bu uygulamalar sonucunda kullanıcılara hazırlanan ölçek uygulanmıştır. Kullanıcıların her bir boyuta ilişkin ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Web tabanlı sanal giyinme uygulaması hakkında memnuniyet düzeyi seviyeleri.

<i>Alt Boyut</i>	<i>Memnuniyet</i>	<i>Eğlence</i>	<i>Kullanışlılık</i>	<i>Fayda</i>	<i>Güvenilirlik</i>	<i>Toplam (n=20)</i>
\bar{X}	4.55	4.64	4.53	4.27	4.11	4.42
<i>SS</i>	0.521	0.588	0.547	0.564	0.544	0.552

Tablo 1 incelendiğinde kullanıcıların verdiği yanıtlara göre ölçeğin bütününe ait ortalama değer $\bar{X}=4.42$ olarak bulunmuştur. Bu değer ölçekte “Katılıyorum” ile “Kesinlikle Katılıyorum” arasında denk gelmektedir. Bu ifadeye göre; sanal giyinme uygulamasının güvenebilir olduğu, kullanışlı, eğlenceli, faydalı görüldüğü ve kullanılmasından memnuniyet duyulduğu şeklinde açıklanabilir. 5 alt boyut içerisinde en yüksek ortalama değer *Eğlence*, en düşük ortalama değer *Güvenilirlik* olarak bulunmuştur.

5.2. Görüntü Alma ve Algılama Cihazları (Image Acquisition and Detection Devices)

Alanyazında AG tabanlı sanal giyinme uygulamaları üzerine yapılan çalışmalar derinlemesine incelendiğinde; bu çalışmaların ağırlıklı olarak işaretçi tabanlı ve işaretçi tabanlı olmayan sistemler üzerine kurulu olduğu, işaretçi kullanan uygulamalar için sadece görüntü alabilen cihazların kullanıldığı, işaretçi kullanmayan uygulamalar için hareket yakalama ve tanımlama yapabilen cihazlarının kullanıldığı belirlenmiştir.

Bu kısımda ifade edilen hareket yakalama sistemi, hareketli bir modelin hareketlerinin algılanmasını, kayıt altına alınmasını ve bu hareketin sayısal verilerinin bilgisayar ortamına aktarılmasını sağlayan teknolojidir. Bu teknolojilere; Time of Flight Kamera (cam cube), Stereo Kamera (zed stereo), Yapısal Işık Algılayıcı (kinect) ve Hibrit Kamera (leap motion) teknolojileri örnek olarak verilebilir. Görüntü alma teknolojisi ise, hareketli ve hareketsiz görüntüleri basit bir optik düzenek ile alan sistemlerdir. Webcam, bu sisteme örnek verilebilir.

Alanyazın taramasında hareket yakalama amacıyla işaretçi tabanlı olmayan sistemler için VGA görüntü alma ve kızılötesi mesafe ölçme özelliklerine sahip Microsoft Kinect ve Asus Xtion cihazlarının, görüntü alma amacıyla işaretçi tabanlı sistemler için işaretçi ile kullanılması gerekli webcam cihazlarının tercih edildiği belirlenmiştir.

Tablo 2, uygulamalarda en çok kullanılan görüntü algılama cihazlarının (Kinect ve Asus Xtion) sensör yapılarını, yazılım ve donanımların sahip olması gereken minimum gereksinimlerini, fiyat, kontrol ve üretim durumlarını yansıtmaktadır.

Tablo 2. Derinlik ve hareket yakalama teknolojisini kullanan cihazlar ve özellikleri

	<i>Microsoft Kinect</i>	<i>Asus Xtion Pro Live</i>
Sensör	RGB, 3B derinlik, 4 mikrofon	RGB, 3B derinlik, 2 mikrofon
Donanım Gereksinimi	Windows, 2GB Ram, USB 2.0	Windows, Linux, Android
Yazılım Gereksinimi	V. Studio 2010+, Net 4.0+ ve SDK	C++/C# (Windows), Java ve SDK
Derinlik Görüntüsü	VGA (320x240) : 30 fps	VGA (640x480) : 30 fps
Kontrol ve Fiyat	Ses ve hareket, 150-300 dolar arası	Hareket, 400-500 dolar arası
Üretimi	Durduruldu	Devam ediyor

Alanyazın taramasında Microsoft Kinect, Asus Xtion Pro Live sensör cihazlarını ve webcam cihazını kullanan birçok akademik ve özel sektör uygulamaları ile karşılaşmıştır. Alanyazın taraması sonucunda; Microsoft Kinect, Asus Xtion Pro Live ve web kamerası ile gerçekleştirilen AG tabanlı sanal giyinme uygulamalarının kendi arasında (hareket yakalama ve görüntü alma) benzer özelliklere sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu sebepten dolayı Tablo 3’de, Microsoft Kinect, Asus Xtion Pro Live ve webcam cihazları ile gerçekleştirilmiş, her bir cihaz ile kullanılmış birer özel sektör uygulaması ele alınmış ve bu uygulamalar ile birlikte önerilen sistemin özellikleri sunulmaya çalışılmıştır.

Tablo 3. AG özelliğine sahip SGO uygulamaları ve özellikleri

	Örnek Sektör Uygulamaları			Web AGSGO (Önerilen Sistem)
Uygulama	VFT (X-Tech Creative)	AG FR (VIPodium)	WSS (Zugara)	
Cihaz/Sensör	Kinect	Asus Xtion	WebCam	
Kullanım alanı	Mağaza içi, Oyun ve Eğlence		Ev, E-ticaret ve Eğlence	

İnternet Erişimi	Evet	Evet	Evet	Evet
Sosyal özellikler	Facebook, Twitter, e-posta			
İşaretçi	Derinlik ve hareket yakalama		Kare işaretçi	
İndirme	Kinect SDK	OPNI nite SDK	Hayır	Hayır
Yazılım	Tablo 2’de	Tablo 2’de	Flash (swf), AS3, Xml, Papervision	
Donanım	Tablo 2’de	Tablo 2’de	Masaüstü veya dizüstü bilgisayar	
Fiyat	Ücretli, Kiosk (500-3000\$)		(1-100 tık ücretsiz, tık başına 2 cent)	Ücretsiz

VFT= Virtual Fitting App, AG FR= AG Fitting Room, WSS=Webcam Social Shopper, Web AGSGO =Web Tabanlı AG Sanal Giyinme Odası

Tablo 3’de en çok tercih edilen AG özelliğine sahip SGO cihazlarını kullanan örnek uygulamalar ve özellikleri sunulmuştur. Tabloya bakıldığında, derinlik ve hareket algılama özelliğine sahip Microsoft Kinect ve Asus Xtion cihazlarını içeren uygulamaların mağaza içi perakende satış ya da eğlence amaçlı kullanıldığı, web kamerasını kullanan uygulamaların çevrimiçi web sayfası üzerinden alışveriş amaçlı kullanıldığı görülmektedir. Tablo derinlemesine incelendiğinde farklı cihazları kullanan tüm uygulamaların internet erişimi, sosyal ağ bağlantıları ve AG desteklerinin benzer olduğu, derinlik ve hareket yakalama özelliğine sahip uygulamaların herhangi bir işaretçiye ihtiyaç duymadığı, ancak web kamerası kullanan uygulamaların bir işaretçiye ihtiyaç duyduğu anlaşılmaktadır. WSS ve Web AGSGO uygulamalarının bu dezavantajlarına karşın bu uygulamaların kullanılabilirliği için sisteme herhangi bir kurulum gerektirmediği ancak sensör tabanlı uygulamalar için cihaz ile uyumlu SDK paketlerinin indirilmesi ve kurulması gerektiği görülmektedir. Tablodaki diğer veriler incelendiğinde ise önerilen sistem (Web AGSGO) haricinde diğer donanım cihazlarını içeren uygulamaların ücretli olduğu belirlenmiştir.

Araştırmanın bulguları tartışıldığında; memnuniyet ölçek çalışmasında, 5 alt boyut içerisinde en düşük ortalama değer güvenilirlik (4.11) olarak bulunmuştur. Bu düşük ortalama değer sebebi; uygulamada yer alan ürün görsellerinin 3B yerine 2B olarak kullanılması ve farklı bedenler için ölçeklendirilememesi olarak açıklanabilir. Jen (2003) [36]’nin çalışmasına göre bu durum, 3B modellerin dinamik ve etkileşimli yapısıyla birlikte daha güvenilir ve hissiyatlı olmasına bağlanmıştır. Çalışmadaki bu durum, her bir beden ölçüsüne ait aynı işaretçinin 3 farklı ölçek şeklinde oluşturulmuş işaretçi yapısı ile aşılmıştır. Memnuniyet ölçeğinde en yüksek ortalama değer eğlence olarak bulunmuştur. Bu bulgu uygulamanın yenilikçi özelliği, kullanım kolaylığı ve beklentileri karşılanması ile açıklanabilir. Kim ve Park (2008) [37] tarafından bu açıklama “çevrimiçi SGO kullanıcıların kendilerine sağlanan teknoloji ile eğlenebilmeleri için “kullanışlılık”, “memnuniyet” ve “kullanım kolaylığı” gibi hizmetlerden memnun olmasını gerektirmektedir” ifadesi ile desteklenmektedir. Memnuniyet anketinden elde edilen bulgular, öneriler ve “kullanım kolaylığı” kapsamında, sanal giyinme uygulamasının kullanıcı arayüzü tasarımında bazı butonların yerleri değiştirilmiş, butonların seçilmesi durumunda aynı butonun tekrar tekrar tetiklenmesini önlemek için bekleme ve pasif süreleri oluşturulmuştur. Ayrıca kullanıcılar ile yapılan görüşmeler doğrultusunda web sayfasının kullanımı kolay, etkin ve verimli olması için azda olsa bazı tasarım düzenlemelerine gidilmiştir. Hareket algılama cihazı kullanan uygulamalar ile önerilen yöntem birlikte değerlendirilip tartışıldığında; hareket algılama cihazı kullanan uygulamaların kullanıcılar tarafından daha güvenilir ve eğlenceli olduğu ancak erişilebilirlik noktasında sıkıntılar oluşturduğu açıklanmıştır. Hareket algılama cihazı kullanan uygulamaların güvenilir ve eğlenceli olmasının nedeni, doğru ve hassas ölçen derinlik sensörleri barındırmasından [38], sanal iskelet hareket desteğinden [40], 3B görüntüleme özelliğinden, büyük ekran boyutundan, anlık mobil yardımından, jest tanıma kamera teknolojilerinden [39], RFID ile ürün seçiminden ve işaretçi gerektirmediğinden kaynaklanmaktadır. Ancak webcam cihazının kullanıldığı bu önerilen uygulamanın erişilebilirlik ve kullanılabilirlik noktasında başarılı olduğu belirlenmiştir. Bu durum, webcam cihazı kullanan uygulamaların internet bağlantısı olan her noktadan web ara yüzü ile erişilebilir olması ve kurulum gerektirmemesi ile açıklanabilir. Ayrıca çevrimiçi SGO’lar güçlü yapılarıdır [14].

Bu çalışmanın kullanıcı arayüzü, kullanıcıların sözlü ve yazılı (ölçek ve birebir konuşma) ifadeleri, olumlu ve olumsuz görüşleri ile deneyimleri dikkate alınarak yeniden düzenlenmiştir. Geliştirilen çalışma, sektörde

kullanılmakta olan rakiplerine göre az da olsa düşük memnuniyet değerlerine sahip olmasına karşın alanyazında yer alan ve benzer [32,33] olabilecek örneğin Zugara ve Webcam Social Shopper [23] gibi çalışmalar ile karşılaştırıldığında aynı memnuniyet değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu memnuniyet Beck ve Crié (2016) [34] tarafından yapılan ve kullanıcıların SGO aracı ile olumlu satın alma niyetinden kaynaklı olumlu memnuniyet bulguları ile benzerlikler göstermektedir. Bu memnuniyet çalışmanın pahalı donanım gereksinimi yerine sadece webcam cihazı ile kullanılabilmesi, çevrimiçi gibi çevrimdışı da çalışabilecek bir alt yapıya sahip olması, ortamdan bağımsız bir şekilde erişebilme olanağı sunması durumları ile açıklanabilir.

Araştırmada, geliştiricilerin AG tabanlı sanal giyinme uygulamalarında hareket algılama işlemi için en çok Microsoft Kinect ve Asus Xtion Pro cihazlarını, görüntü alma işlemi için webcam cihazlarını kullandıkları belirlenmiştir. Hareket algılama cihazlarının en çok tercih edilmesinin nedeni bu cihazların basit bir web kamerasından daha akıllı çalışmasından, yüksek kare hızının sağladığı yüksek çözünürlük imkânından, bilgisayar çevre birimi olmadan el, kol ve bacak hareketlerini aynı anda algılayabilmesinden, 3B ve vücut tarama özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca bu durum geliştirilen uygulamaların genellikle ev dışı olan reklamcılık ve mağaza içi kullanımlarda alışveriş ve eğlence amaçlı geliştirilmesiyle de açıklanabilir. Bu açıklama Presle (2012) [41] tarafından desteklenmekte ve başarılı bir SGO için en uygun teknolojinin Kinect olduğu, AG işaretçileri gibi zaman alıcı olmadığı ifade edilmektedir. Ancak günümüzdeki bazı araştırmalara göre, AG uygulamaları, poz tahmini gerçekleştirme işlemlerinde işaretçiyi temel alan çözümlerin hâkimiyetindedir. Vlaminck, Long, Philips (2017) [12] tarafından bunun temel nedeni olarak mevcut işaretçi içermeyen takip sistemlerinin kullanıcı başını her zaman takip etme amacına hizmet edecek kadar sağlam olmaması gösterilmiştir. Web tabanlı AG uygulamalarında poz tahmininde genellikle işaretçi görüntüsü temel alınmakta, görüntü alma işlemi için webcam cihazları tercih edilmektedir. Webcam cihazlarının tercih edilmesinin nedeni hareket algılama tekniklerine göre daha az maliyetli olması, kullanım sürecinde teknik desteğe ihtiyaç duymaması, toplumun tüm kesimlerince çevrimiçi erişilebilmesi ve kurulum gerektirmemesidir. Aynı zamanda Desti ve Shanthi (2015) [42] tarafından yapılan araştırma bulgularında webcam cihazlarını kullanan AG çevrimiçi alışveriş çözümlerinin daha kolay olduğu sonuçları ortaya konulmaktadır. Buna karşın webcam ve işaretçi kullanan uygulamalardaki en önemli sıkıntı uygulamanın işaretçileri takip etmeden önce kullanıcıya giydirilmeleri ve bu işaretçilerin kamera tarafından görülme gerekliliğidir [41]. Bu araştırmanın genel sonuçları değerlendirildiğinde Microsoft Kinect ve Asus Xtion Pro cihazlarının webcam cihazlarına göre daha fazla tercih edildiği görülmektedir. Bu tercih, daha önce bahsedilen nedenlerle birlikte perakende satışların yüzde 90'nının hala mağazalarda yapılması ve geliştiricilerin bu alana yönelik ürün geliştirme taleplerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu araştırmada, sanal giyinme odası veya sanal giyinme kabini olarak adlandırılmış pahalı donanım gerektiren, ağırlıklı olarak çevrimdışı çalışan, 3B görüntüleme ile uç nokta belirleme yapısı kullanan yöntemlere alternatif olarak web tabanlı çalışan, kurulum gerektirmeyen, sadece webcam ve internet bağlantısına ihtiyaç duyan bir uygulama tasarımı önerilmiştir.

Geliştirilen tasarım masaüstü ve dizüstü bilgisayarların Internet Explorer web tarayıcılarında çalışmakta, akıllı telefon ve tablet gibi cihazlarda çalışmak için Puffin web tarayıcısına ihtiyaç duymaktadır. Önerilen bu tasarımı akıllı telefon ve tablet gibi cihazlarda daha etkin ve görsel kullanmak isteyen yazılımcıların bu araştırmada verilen algoritmayı ve mimariyi temel almaları, uygulamalarını HTML5, CSS3 ve Javascript teknolojiler ile geliştirmeleri önerilmektedir. Ayrıca çevrimiçi sanal giyinme uygulamasını kendi işletmeleri için düşünen girişimcilerin müşterilerine AG sanal giyinme uygulama çözümlerini oluşturma, uygulama ve sunma noktasında fayda maliyet oranını hesaplamaları, ortaya çıkan değere göre teknolojilerine yatırım yapmaları önerilmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] S. Barutçu, Perakendecilik Sektöründe Teknolojik Değişim: E-Perakendecilik, E-Mağaza Bağlılığı ve E-Mağaza Bağlılığını Etkileyen Faktörler, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 13:1 (2008) 317-334.
- [2] E. Enginkaya, Elektronik Perakendecilik Elektronik Alışveriş, Ege Akademik Bakış Dergisi, 6:1 (2006) 0-16.
- [3] R. Kuttner, The Net: A Market too Perfect for Profits. BusinessWeek, (1998) 3577-11.
- [4] J. F. Stumpf, Motion Capture System, U. S. Patent Application No. 12/802 (2010) 016.
- [5] Hareket yakalama teknolojisi (motion), <http://modsim.metu.edu.tr/en/system/files/node-export/seminermocap3.pdf>, Erişim Tarihi: 13 Aralık 2018.
- [6] A. Cappozzo, F. Catani, U. Della Croce, A. Leardini, Position and orientation in space of bones during movement: anatomical frame definition and determination, Clinical Biomechanics, 10:4 (1995) 171-178.
- [7] S. Corazza, L. Muendermann, A. M. Chaudhari, T. Demattio, C. Cobelli, T. P. Andriacchi, A markerless motion captures system to study musculoskeletal biomechanics: Visual hull and simulated annealing approach, Annals of Biomedical Engineering, 34:6 (2006) 1019-1029.
- [8] M. Yuan, I. R. Khan, F. Farbiz, S. Yao, A. Niswar, M. H. Foo, A Mixed Reality Virtual Clothes Try-On System, IEEE Transactions on Multimedia, 15:8 (2013) 1958-1968.
- [9] S. Somyürek, Öğretim Sürecinde Z Kuşağının Dikkatini Çekme: Artırılmış Gerçeklik, Eğitim Teknolojisi Kuram ve Uygulama, 4:1 (2014) 63-80.
- [10] T. İçten, G. Bal, Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi Üzerine Yapılan Akademik Çalışmaların İçerik Analizi, Bilişim Teknolojileri Dergisi, 10:4 (2017) 401-415.
- [11] T. İçten, G. Bal, Artırılmış Gerçeklik Üzerine Son Gelişmelerin ve Uygulamaların İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 5:2 (2017) 111-136.
- [12] M. Vlaminck, H. Luong, W. Philips, A Markerless 3D Tracking Approach for Augmented Reality Applications, In 2017 International Conference on 3D Immersion (IC3D), 1-7 (December 2017) IEEE.
- [13] U. Erra, G. Scanniello, V. Colonnese, Exploring the Effectiveness of an Augmented Reality Dressing Room, Multimedia Tools and Applications, (2018) 1-31.
- [14] A. A. Shaikh, P. S. Shinde, S. R. Singh, S. Chandra, R. A. Khan, A review on virtual dressing room for e-shopping using augmented reality, International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE), 4:5 (2014) 98-102.
- [15] F. Isıkdogan, G. Kara, A real time virtual dressing room application using Kinect, Computer Vision Course Project, Bogazici University, (2012).
- [16] M. Yuan, I. R. Khan, F. Farbiz, S. Yao, A. Niswar, M. H. Foo, A mixed reality virtual clothes try-on system, IEEE Transactions on Multimedia, 15:8 (2013) 1958-1968.
- [17] I. Pachoulakis, K. Kapetanakis, Augmented reality platforms for virtual fitting rooms, The International Journal of Multimedia & Its Applications, 4:4 (2012) 35.
- [18] K. Kjørside, K. J. Kortbek, H. Hedegaard, K. Grønþæk, ARDressCode: augmented dressing room with tag-based motion tracking and real-time clothes simulation, Proceedings of The Central European Multimedia and Virtual Reality Conference, Prague, Czech Republic, (8-10 June 2005) 43-48.
- [19] C. G. Martin, E. Oruklu, Human friendly interface design for virtual fitting room applications on android based mobile devices, Journal of Signal and Information Processing, 3 (2012) 481-490.
- [20] B. Treepong, H. Mitake, S. Hasegawa, Makeup Creativity Enhancement with an Augmented Reality Face Makeup System, Computers in Entertainment, 16:4 (2018) 6.
- [21] Virtual Dressing Room, <http://sensemi.com/>, Erişim Tarihi: 2 Mayıs 2019.
- [22] Complete 3D full body scanning, <http://www.styku.com>, Erişim Tarihi: 2 Mayıs 2019.

- [23] The Webcam Social Shopper (WSS), <http://zugara.com/virtual-dressing-room-technology/webcam-social-shopper>, Erişim Tarihi: 02 Mayıs 2019.
- [24] K. R. Higgins, E. J. Farraro, J. Tapley, K. Manickavelu, S. Mukherjee, Virtual dressing room, U.S. Patent No. 9,898,742, Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, (2018).
- [25] C. A. Becerra Rodríguez, Virtual Fitting Rooms, Master Thesis, Polytechnic University of Madrid E.T.S. of Computer Engineers (UPM), (2016) 130.
- [26] S. Yükçü, G. Atağan, Etkinlik, etkililik ve verimlilik kavramlarının yarattığı karışıklık, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 23:4 (2009) 1-13.
- [27] G. V. Paul, G. J. Beach, C. J. Cohen, C. J. Jacobus, Real time object tracking system. U.S. Patent No. 7,684,592, Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office (2010).
- [28] K. Hanbay, H. Üzen, Nesne tespit ve takip metotları: Kapsamlı bir derleme, Türk Doğa ve Fen Dergisi, 6:2 (2017) 40-49.
- [29] S. R. Balaji, S. Karthikeyan, A survey on moving object tracking using image processing, 2017 11th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO), Coimbatore, India, IEEE, (5-6 January 2017) 469-474.
- [30] W. Luo, J. Xing, A. Milan, X. Zhang, W. Liu, X. Zhao & T. K. Kim, Multiple object tracking: A literature review, arXiv preprint arXiv:1409.7618 (2014).
- [31] B. Karasulu, Videolardaki Hareketli Nesnelerin Tespit Ve Takibi İçin Uyarlanabilir Arka Plan Çıkarımı Yaklaşımı Tabanlı Bir Sistem, Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 18:1 (2013) 93-110.
- [32] E. I. Setiawan, D. Wibowo, Virtual dressing room online, National Seminar Innovation in Design and Technology (IDeaTech 2015), (2015) ISSN 149-157.
- [33] C. Wongwatkit, S. Lertkulvanich, A Development of Augmented Reality Application: AR Band, In International Conference on Computer and Computer Intelligence (ICCCI 2011), ASME Press, (2011).
- [34] M. Beck, D. Crié, I virtually try it... I want it! Virtual Fitting Room: A tool to increase on-line and off-line exploratory behavior, patronage and purchase intentions, Journal of Retailing and Consumer Services, 40 (2018) 279-286.
- [35] G. S. Yaoyuneyong, W. A. Polлите, J. K. Foster, L. R. Flynn, Virtual dressing room media, buying intention and mediation, Journal of Research in Interactive Marketing, 12:1 (2018) 125-144.
- [36] C. Y. Jen, A Study on 3D Interactive Products Catalog, University of Yuan-Ze, (2003).
- [37] E. Y. Kim, E. J. Park, Summary Brief: Does E-Service Quality Lead to Website Patronage for Apparel Online Purchases?, Marketing Advances Proceedings, (2008) 20-21.
- [38] T. Guzvinecz, V. Szucs, C. Sik-Lanyi, Suitability of the Kinect Sensor and Leap Motion Controller-A Literature Review, Sensors, 19:5 (2019) 1072.
- [39] Y. Sun, C. Li, G. Li, G. Jiang, D. Jiang, H. Liu, Z. Zheng, W. Shu, Gesture recognition based on kinect and sEMG signal fusion, Mobile Networks and Applications, (2018) 1-9.
- [40] B. Li, C. Zhang, C. Han, B. Bai, Gesture Recognition Based on Kinect v2 and Leap Motion Data Fusion, International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, (2018) 1955005.
- [41] P. Presle, A Virtual Dressing Room based on Depth Data, Master's thesis, Vienna University of Technology Faculty of Informatics, Wien, (2012) 75.
- [42] K. Desti, R. Shanthi, The impact of augmented reality on e-commerce, Journal of Marketing and Consumer Research, 8 (2015) 64-73.

The Effects of Weft Density, Weft Yarn Count and Weave Type on Air and Water Vapor Permeability in 100% Acrylic Woven Fabrics

 Arzu YAVAŞCAOĞLU^{1,*} Recep EREN² Gülcan SÜLE²
¹Yalova University, Vocational School of Yalova, Textile, Clothing, Footwear and Leather Department, 77100, YALOVA

²Bursa Uludağ University, Faculty of Engineering, Textile Engineering Department, 16059, BURSA

Graphical/Tabular Abstract

In this study, the effects of weft yarn count, weft density and weave type on the air and water vapor permeability properties of 100% acrylic woven fabrics were examined and evaluated statistically. Fabrics were produced with two different weft yarn counts (Ne 20/1 and Ne 16/1), three different weft densities (13, 15 and 17 thread/cm) and three different weave types (plain, twill and satin).

Article Info:

Received: 29/12/2018

Revision: 13/05/2019

Accepted: 21/05/2019

Highlights

- The effects of weft yarn count on the air and water vapor permeability properties of %100 acrylic woven fabrics.
- The effects of weft density on the air and water vapor permeability properties of %100 acrylic woven fabrics.
- The effects of weave type on the air and water vapor permeability properties of %100 acrylic woven fabrics.

Keywords

Acrylic, weaving, air permeability, water vapor permeability, weft density

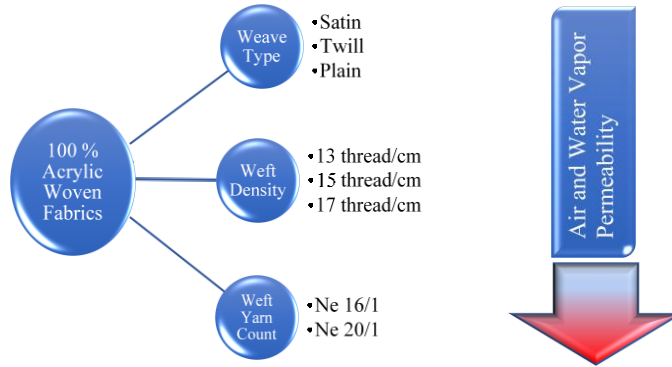


Table 1. Effects of weft density, weft yarn count and weave type on air and water vapor permeability

Purpose: In this study, the effect of weft density, weave type and weft yarn count on the air and water vapor permeability properties of %100 acrylic woven fabrics were examined.

Theory and Methods: In this study, 100% acrylic woven fabrics were produced with two different weft yarn counts (Ne 20/1 and Ne 16/1), three different weft densities (13, 15 and 17 thread/cm) and three different weave types (plain, twill and satin). Air permeability test and water vapor permeability test were applied to experimental fabrics. The results of the study were statistically evaluated by using Mann Whitney U and Kruskal Wallis H tests in SPSS 21 statistics program.

Results: According to the result of the study, the air permeability and water vapor permeability decreased when weft density was increased. Air permeability values of fabrics woven with plain weave were lower than those of satin and twill weaves. Greater water vapor permeability values were obtained in fabrics woven with thicker weft yarns.

Conclusion: According to the results obtained from this research 100% woven acrylic fabrics to be worn in cold and windy weathers should be produced with weaves with higher number of intersections and lower porosity like plain weave to provide lower air permeability for higher heat isolation. Fabric density and weft density should be kept higher for the same purpose. In hot weathers, twill and satin weaves with higher air permeability should be preferred to improve heat transfer. For increasing water vapor permeability, thicker weft yarn should be preferred in the fabric.



Atkı İplik Numarası, Atkı Sıklığı ve Örgü Tipinin %100 Akrilik Dokuma Kumaşların Hava ve Su Buharı Geçirgenliğine Etkisi

Arzu YAVAŞCAOĞLU¹, * Recep EREN² Gülcan SÜLE²

¹Yalova Üniversitesi, Yalova Meslek Yüksekokulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, 77100, YALOVA

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 16059, BURSA

Öz

Bu çalışmada %100 akrilik dokuma kumaşların hava ve su buharı geçirgenliği özelliklerine atkı iplik numarası, atkı sıklığı ve örgü tipi değişiminin etkisi incelenmiş ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada iki farklı numara atkı ipliği ile üç farklı örgüde kumaş üretilerek iplik numarası ve örgü tipi değişiminin etkisi, bezayağı örgülü kumaş yapılarında ise üç farklı atkı sıklığı kullanılarak atkı sıklığı değişiminin etkisi incelenmiştir. Çalışma sonuçları SPSS 21 istatistik programında Mann Whitney U ve Kruskal Wallis H testi yapılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucuna göre, akrilik dokuma kumaşlarda atkı sıklığı arttıkça hava ve su buharı geçirgenliği azalmaktadır. Bezayağı örgünün hava geçirgenliği dişi ve saten örgülü kumaş yapılarına göre daha düşük bulunmuştur. Kalın atkı ipliği kullanılan kumaşlarda daha yüksek su buharı geçirgenliği elde edilmiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 29/12/2018

Düzeltilme: 13/05/2019

Kabul: 21/05/2019

Anahtar Kelimeler

Akrilik, dokuma, hava geçirgenliği, su buharı geçirgenliği, atkı sıklığı

Keywords

Acrylic, weaving, air permeability, water vapor permeability, weft density

The Effects of Weft Density, Weft Yarn Count and Weave Type on Air and Water Vapor Permeability in 100% Acrylic Woven Fabrics

Abstract

In this study, the effects of weft yarn count, weft density and weave type on the air and water vapor permeability properties of 100% acrylic woven fabrics were examined and evaluated statistically. Fabrics were produced with two different weft yarn counts (Ne 20/1 and Ne 16/1), three different weft densities (13, 15 and 17 thread/cm) and three different weave types (plain, twill and satin). The results of the study were statistically evaluated by using Mann Whitney U and Kruskal Wallis H tests in SPSS 21 statistics program. According to the result of the study, the air permeability and water vapor permeability decreased when weft density was increased. Air permeability values of fabrics woven with plain weave were lower than those of satin and twill weaves. Greater water vapor permeability values were obtained in fabrics woven with thick weft yarns.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kumaştan geçen havanın tutulması ya da dışarı iletilmesi ile ilgili bir kullanım özelliği olan hava geçirgenliği, kumaşı oluşturan lif yapısı, iplik yapısı, kumaş konstrüksiyonu ve kumaşın gördüğü terbiye işlemlerinden etkilenen bir özelliktir. Aynı zamanda kumaş gözenekliliğine bağlı bir parametre olan hava geçirgenliği, kumaşın nefes alabilirliğini ifade ettiği için ısı konfor özelliklerine de etki etmektedir.

Temel hava parametrelerinden olan sıcaklık insan sağlığını önemli derecede etkilemektedir [1]. Sıcaklık, nem, rüzgâr gibi iklim şartlarında oluşan değişimler konfor hissini de etkilemektedir. Yüksek hava sıcaklıklarında ısı kaybı azdır. Çevre sıcaklığı deri sıcaklığından fazla ise vücut ısı kaybetmek yerine, çevreden ısı alır [2,3]. Bu durumda hava geçirgenliğinin yüksek olması ısı kaybını arttıracığından konfor açısından önemli bir etki yapacaktır. Çevre sıcaklığının deri sıcaklığından daha yüksek olması durumunda ayrıca kumaşın nem iletim özellikleri, oluşan terin deri yüzeyinden uzaklaştırılması ve buharlaşması özelliklerini belirlediği için önemlidir [4].

Rüzgâr, ısı izolasyonu ve dolayısıyla giysilerin ısı özelliklerini değiştirmektedir. Hava geçirgenliği düşük kumaşların içerisinde hava akışı düşük olacağından bu tip kumaşların su buharı geçirgenliği ve ısı direnç değerleri rüzgâr ile çok fazla değişmemektedir. Rüzgâr ile oluşan hava akışı su buharı ve ısı transferinin artmasına neden olmaktadır. Hava akışının artışı kumaşın hava geçirgenlik özelliğine bağlıdır. Ancak hava geçirgenlik değerleri yüksek olan örme kumaşların su buharı geçirgenliği ve ısı izolasyon değerleri rüzgâr ile önemli ölçüde değişmektedir [5]. Rüzgârın kumaşın ısı direncini ve su buharı direncini değiştirmesinin sebebi, kumaş içerisinde bir hava hareketine neden olmasıdır. Bunun yanında rüzgâr ile ısı kaybının artacağı da belirtilmektedir. 4 m/s'lik rüzgâr hızında kumaşın ısı izolasyon değeri, durgun hava ile karşılaştırıldığında yarı yarıya düşmektedir [6]. Hava akımının etkisi, vücudun hareketlilik durumuna göre de farklılık gösterebilmektedir. Örneğin 1,1 m/s'lik bir hava akımı varlığında yürüyüş sırasında giysi sisteminin ısı izolasyon değerinde bir düşüş olmazken, aynı şartlarda ayakta durulması halinde ısı izolasyon değeri %18 düşmektedir [7]. Düşük rüzgâr hızlarında giysi ısı izolasyonunu etkileyen parametre kumaş kalınlığı iken [8], rüzgâr hızı arttığında kumaşın hava geçirmezlik özelliği ve rüzgârın yaratmış olduğu basınca karşı gösterdiği direnç, kumaşın izolasyon değerinde oluşan düşüşü azaltmaktadır [8,9]. Rüzgârlı hava koşullarında yüksek hava geçirgenliğine sahip çok katlı giysi sisteminin sağladığı ısı izolasyon değeri, hava geçirgenliği düşük tek katlı bir giysinin ısı izolasyon değerine benzer seviyededir [9].

Doğal lifler, yapay liflerden daha yüksek ısı izolasyonu sağlamaktadır [9]. Sentetik kumaşların hava geçirgenliği daha yüksektir [10]. Rotor ipliklerden üretilen kumaşların kalınlıkları, friksiyon ve ring ipliklerden üretilen kumaşlara göre daha yüksek, ısı direnç ve hava geçirgenliği ise daha düşüktür [11]. Kumaşların dokuma yapısı hava geçirgenliğini etkilemektedir. Dime kumaşların kalınlık, hava geçirgenliği ve ısı izolasyon değerleri bezayağı kumaşlardan daha yüksektir [10,11]. Kumaş kalınlığı ile sıklıkları arttıkça ve bunun sonucu olarak hava geçirgenliği düştükçe kumaş ısı iletkenlik değerleri düşmektedir. Sıklık azaldıkça hava geçirgenliği ve ısı iletkenlik artmaktadır [12]. Kumaşların hava ve su buharı geçirgenliğinin incelendiği bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Dziworska ve diğ. (2000) 20 tex viskon çözgü ipliği ve tencel, lyocell, viskon ve pamuk atkı iplikleri kullandıkları çalışmalarında, atkı sıklıkları 15, 17 ve 20 atkı/cm olarak değişen bezayağı kumaşlar dokumuşlardır. Kumaşı oluşturan hammaddenin hava geçirgenliğine, buruşma direncine, kumaşın çekme özelliğine ve ısı izolasyon parametrelerine etkilerini incelemiştirler. Araştırmacılar çalışma sonucunda, tencel ve lyocell iplikleri ile dokunan kumaşların hava geçirgenlik özelliklerinin, pamuk ve viskon iplikleri ile dokunan kumaşlardan daha iyi olduğunu, atkı sıklığı arttıkça hava geçirgenliğinin azaldığını, ancak ısı izolasyon değerlerinin yaklaşık olarak tüm lif tiplerinde aynı olduğunu tespit etmişlerdir [13]. Yadav ve ark. (2006) %2 çinko oksit (ZnO) nanopartiküller ile akrilik bağlayıcı kullanılarak kaplanmış pamuklu kumaşların, kontrol kumaşlarından daha iyi mukavemet özelliklerine, hava geçirgenliğine ve UV engelleme özelliğine sahip olduğu sonucuna varmışlardır [14]. Behera ve Mishra (2007) düşük ağırlığa sahip olan takım elbiselik kumaşların mekanik ve fizyolojik konfor özelliklerini inceledikleri çalışmalarında yün, ipek ve çeşitli yün ve ipek karışımlarından yapılmış olan kumaşları kullanmışlardır. Çeşitli doğal elyaf esaslı kamgarn elbiselik kumaşlar arasından, keten karışımı kumaşların mekanik konfor özelliklerinin diğerlerinden daha iyi olduğu, ipek ve ipek karışımı kumaşlarda ise nemin adsorbsiyon ve difüzyonu için büyük yüzey alanı sağlayan ince lif yapısından dolayı su buharı geçirgenliğinin iyi olduğu sonuçlarına varılmıştır. [15]. Özdil ve ark. (2007) farklı özelliklere sahip pamuk iplikler kullanılarak örülmüş 1X1 rib kumaşların ısı özelliklerini inceledikleri çalışma sonuçlarına göre, iplik özelliklerinin kumaşların ısı direnç, ısı soğurganlık, ısı iletkenlik ve su buharı geçirgenliği gibi özelliklerine etki ettiği, gevşek yapılarından dolayı ince ipliklerden elde edilen kumaşların daha düşük ısı iletkenliğe ve yüksek su buharı geçirgenliğine sahip olduğu, iplik bükümünün artması ile ısı soğurganlık ve su buharı geçirgenliğinin arttığı fakat ısı direncin azaldığı, penye pamuk ipliklerinden elde edilen kumaşların ısı dirençlerinin karde ipliklerden elde edilen kumaşlardan daha düşük olduğu, penye ipliklerle örülen kumaşların ısı iletkenlik, ısı soğurganlık ve su buharı geçirgenliği değerinin daha yüksek olduğu ifade edilmiştir [16].

Çil ve ark. (2009) pamuk-akrilik örme kumaşların konfor özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, yıkamanın incelenen kumaşların su buharı geçirgenliği ve kılcal ıslanma özellikleri üzerinde artırıcı bir etkisinin olduğunu gözlemlemiştirler. Çalışmada, kumaşların daha kalın iplik kullanılmasıyla transfer ve dikey kılcal ıslanma yeteneklerinin, daha ince iplik kullanımı ile kuruma hızlarının arttığı sonuçlarına

varılmıştır [17]. Oğlakçıoğlu ve Marmaralı (2010) çalışmalarında, kompresyon çoraplarının ısı konfor özelliklerinin iyileştirilmesi ve kullanım oranlarının artırılması amacıyla, yüksek giysi konforu sağlayacağı düşünülen çeşitli özel tip iplikler ile kompresyon çorapları üretmiş ve ısı direnç, ısı soğurganlık, bağlı su buharı geçirgenliği ve hava geçirgenliği gibi en önemli ısı konfor parametrelerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, daha düşük ısı direnç, daha yüksek su buharı ve hava geçirgenliği özellikleri ile viskon, modal veya tencel iplikleri yazlık kompresyon çoraplarının üretimi için önerilmiştir [18]. Ertekin ve Marmaralı (2011) farklı askı ve atlama sayılarına sahip düz örme kumaş yapılarının ısı konfor özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, tek atlamalı veya üç askılı kumaşların daha düşük ısı direnç ve daha yüksek hava geçirgenliği gösterdiğini ve sıcak günlerde kullanılabileceğini, düz örgü kumaşların ise daha yüksek ısı direnç ve daha düşük hava geçirgenliği değerlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir [19]. Erenler (2013), giysi amaçlı kullanılan dokuma kumaşların konfor özelliklerini incelediği çalışmasında, apre uygulamalarının kumaşların nem iletim özelliklerine etki ettiğini, atkı sıklığı arttıkça hava geçirgenliğinin azaldığını, atkı ipliği cinsinin, atkı sıklığının, atkı iplik numarasının, dokuma örgüsünün, gramajın, kumaş kalınlığının ve uygulanan apre cinsinin kumaşın hava geçirgenliği üzerinde etkisinin istatistiksel olarak $\alpha=0,05$ güvenilirlik seviyesinde anlamlı olduğunu belirtmiştir [20]. Mert ve ark. (2014), kalandırlama ve dinkleme işleminin takım elbiselik kumaşların giysi konfor özelliklerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, kalandırlama işleminden sonra hava geçirgenliği, kalınlık ve ısı direnç değerlerinin düştüğünü, ısı soğurganlık değerinin arttığını, yüzey özelliklerinde istatistiksel açıdan önemli bir değişim olmadığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, dinkleme işleminin kumaşların hava geçirgenliği, kalınlık, ısı direnç ve sürtünme katsayısı değerlerini arttırdığı, ısı soğurganlık değerlerini ise düşürdüğü bulunmuştur [21]. Mahbub ve ark. (2014), kevlar ve kevlar/yün karışımli kumaşlardan elde ettikleri balistik yeleklerin ısı konfor özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, %100 kevlar ve kevlar/yün balistik kumaşların ısı direnç, su buharı direnci, nem yönetim performansı, hava geçirgenliği, optik gözenekliliği değerleri, patlama ve yırtılma mukavemetleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, kevlar/yün karışımli kumaşların %100 kevlar kumaştan daha iyi nem yönetimi özelliklerine ve gelişmiş mekanik özelliklere sahip olduğu sonucuna varılmıştır [22]. Saad ve Hafez (2014) nano gümüş ile muamele edilmiş pamuklu kumaşların dayanıklılık ve kendi kendini temizleme özelliğinin iyileştirdiğini ifade etmişlerdir [23].

Öner'e (2015) göre, ipliğin yapısal özellikleri kumaş yapısındaki gözeneklerin, boşlukların ve yüzey karakteristiğinin belirlenmesinde önemli etkiye sahiptir. İplik incelidikçe ve büküm seviyesi arttıkça, daha düşük yoğunluklu kumaş yapısı oluşmakta, kumaştaki gözenek miktarı artmakta ve böylece kumaşın hava geçirgenliği ve su buharı geçirgenliği değerleri artmaktadır. Isı direnç açısından düşünüldüğünde ise iplik inceliğinin ve büküm seviyesinin artışı ile kumaş kalınlığının azalacağı ve dolayısıyla ısı direnç değerinin düşeceği düşünülmektedir [24]. Li ve ark. (2016), poliester, pamuk ve pamuk/poliester karışımli giysilik kumaşların ısı özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, kumaşın geometrik parametrelerinin, kalınlığının ve gözenekliliğinin; kumaşın ısı yalıtımına, hava geçirgenliğine ve su buharı geçirgenliğine etki ettiğini belirtmişlerdir. Bu kumaşlarda, sıvı taşınımının elyaf bileşenine bağlı olduğunu, sıvı taşınımı açısından pamuğun daha iyi performans gösterdiğini, %50 pamuk-%50 poliester karışımli kumaşların sıvı taşıma davranışının %100 pamuğa benzediğini ifade etmişlerdir [25]. Li ve ark. (2018) nano gümüş ile muamele edilmiş pamuklu ve PES spor giysilik örme kumaşlarda sınırlı bir uygulamada bile nanogümüş uygulamasının kumaşların ısı özelliklerini etkilemeden UV koruma ve antibakteriyel özelliklerini iyileştirdiği sonucuna varmışlardır [26].

Selli ve Turhan (2017) %100 pamuklu süprem ve ribana örgülü örme kumaşların hava geçirgenliklerini inceledikleri çalışmalarında, ribana örgülü kumaşların hava geçirgenliğinin süprem örgülü kumaşlardan daha yüksek olduğunu, gramaj arttıkça hava geçirgenliğinin azaldığını ve nem iletim özelliğinin düştüğünü ifade etmişlerdir [27]. Yavaşcaoğlu ve ark. (2018) akrilik ipliklerle, pamuk, viskon ve PES ipliklerin birlikte kullanıldığı gömleklik dokuma kumaşların ısı konfor ve nem iletim özelliklerini inceledikleri çalışma sonuçlarına göre lif tipinin ince kumaşların ısı direnç, ısı iletkenlik, ısı soğurganlık ve hava geçirgenliği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını, ancak nem iletim özelliğini etkilediğini, örgü tipinin, ısı direnç, ısı iletkenlik ve ısı soğurganlık üzerinde etkili olduğunu, etamin örgüsü ile dokunan kumaşların, bezayağı örgüyle dokunan kumaşa kıyasla daha yüksek ısı direnç ve hava geçirgenliğine sahip olduğunu, kumaş yoğunluğunun, ısı konfor ve nem yönetim özellikleri üzerinde etkisinin olduğunu, kumaş yoğunluğunu azalması ile ısı direnç, ısı iletkenlik ve hava geçirgenliğinin arttığını ifade etmişlerdir [28]. Azeem ve ark. (2018) nano filament PES, coolmax ve pamuk örme kumaşların ısı konfor özelliklerini inceledikleri çalışma sonucuna göre, nanofilamet PES kumaşın ısı soğurganlık ve ısı iletkenlik değerinin pamuk ve

coolmax kumaşlardan yüksek, ısı direnç değerinin düşük olduğu, nanofilament PES kumaşın pamuklu kumaştan daha yüksek değerlerde su buharı geçirgenliği sergilediği sonucuna varmışlardır [29].

Bu çalışmada, ince dokuma kumaş yapılarında çok fazla kullanılmayan akrilik iplikler ile farklı konstrüksiyonlarda üretilen dokuma kumaşların hava ve su buharı geçirgenlik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada atkı sıklığının, örgü tipinin ve atkı iplik numarasının etkisi araştırılmış ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu konuda yapılan literatür araştırması, akriliğin dokuma kumaş yapılarında kullanıldığı kumaşların hava ve su buharı geçirgenliği özelliklerine ait yapılan çalışmaların sınırlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, yapılan bu çalışmanın literatüre önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışmada çözümlü ipliği olarak Ne 20/1 %100 akrilik iplik (547,5 T/m), atkı ipliği olarak Ne 20/1 (547,5 T/m) ve Ne 16/1 (512,5 T/m) olmak üzere iki farklı incelikte %100 akrilik iplikler kullanılmıştır. Çözümlü ipliklerine dokuma işlemi öncesi bobin halinde haşıl işlemi uygulanmış olup, dokuma işlemi sonrası 60 °C’de yıkama yapılarak haşıl maddesi uzaklaştırılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan kumaşlarda örgü tipinin etkisinin değerlendirilmesi için, bezayağı, dimi (D 3/2 Z) ve saten (1/4 2 atlamalı) örgüler seçilmiştir. Çözümlü sıklığı olarak 36 çözümlü/cm çözümlü sıklığı, atkı sıklığı olarak bezayağı örgülü kumaşlarda 17 atkı/cm, 15 atkı/cm ve 13 atkı /cm olmak üzere üç farklı atkı sıklığı, dimi ve saten örgülü kumaşlarda 17 atkı/cm atkı sıklığı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan kumaş özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Deneysel kumaş özellikleri

<i>Kumaş Kodu</i>	<i>Atkı İplik Numarası</i>	<i>Atkı İpliğinin Cinsi</i>	<i>Örgü Tipi</i>	<i>Atkı Sıklığı (atki/cm)</i>	<i>Gramaj (g/m²)</i>	<i>Kalınlık (mm)</i>	<i>Kumaş Yoğunluğu (g/cm³)</i>
A1	Ne 20/1	Akrilik	Bezayağı	13	158,2	0,48	0,330
A2	Ne 20/1	Akrilik	Bezayağı	15	167,4	0,48	0,349
A3	Ne 20/1	Akrilik	Bezayağı	17	176,3	0,51	0,346
A4	Ne 20/1	Akrilik	Dimi	17	167,8	0,58	0,289
A5	Ne 20/1	Akrilik	Saten	17	165,4	0,59	0,280
A6	Ne 16/1	Akrilik	Bezayağı	13	165,4	0,59	0,280
A7	Ne 16/1	Akrilik	Bezayağı	15	162,8	0,50	0,326
A8	Ne 16/1	Akrilik	Bezayağı	17	181,3	0,51	0,355
A9	Ne 16/1	Akrilik	Dimi	17	168,5	0,63	0,267
A10	Ne 16/1	Akrilik	Saten	17	170,4	0,60	0,284

2.2. Yöntem

Bu çalışmada deneysel kumaşların hava geçirgenliği testi, SDL-Atlas firmasına ait M 021A hava geçirgenliği test cihazında TS 391 EN ISO 9237 “Tekstil kumaşlarda hava geçirgenliğinin tayini” test standardı esas alınarak 100 Pa basınç düşmesi ve 20 cm² lik alanda uygulanmıştır. Hava geçirgenliği test cihazı Şekil 1’de gösterilmiştir. Bağlı su buharı geçirgenliği testleri PERMETEST cihazında ISO 11092 standardına göre yapılmıştır (Şekil 2). Kumaş gramajları TS 251 test standardına göre ölçülmüş, kalınlıkları alambeta cihazında tayin edilmiştir. Numuneler, teste başlamadan önce standart atmosfer koşullarında 24 saat boyunca kondisyonlanmıştır. Tüm testler, Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı fiziksel test laboratuvarında uygulanmıştır. Kumaş yoğunluğu, gramajın kalınlığa oranı alınarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Hava geçirgenliği test cihazı

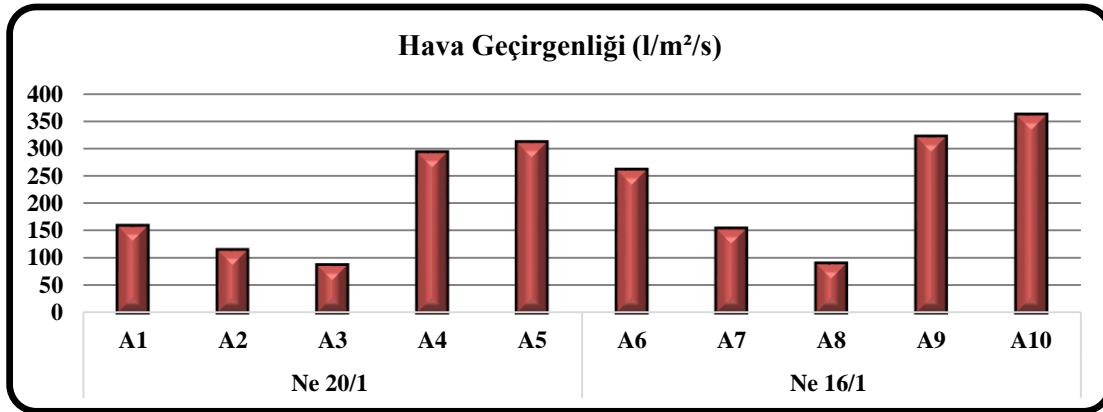


Şekil 2. Permetest test cihazı

Çalışma sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi, SPSS 21 istatistik programında %95 güven aralığında gerçekleştirilmiştir. Bağımsız değişken olarak belirlenen atkı iplik numarasının, örgü tipinin ve atkı sıklığının kumaşların hava ve su buharı geçirgenliğine etkisini istatistiksel olarak değerlendirebilmek için, veri sayısının az olmasından dolayı parametrik olmayan test yöntemleri kullanılmıştır. Kumaşların, hava ve su buharı geçirgenliği özelliklerine atkı iplik numarasının etkisinin belirlenmesi için Mann Whitney U testi, atkı sıklığının ve örgü tipinin etkisinin istatistiksel analizi için ise Kruskal Wallis H testi kullanılmıştır. Anlamlılık değeri (P) 0,05 olarak alınmıştır. Anlamlılık değeri 0,05'ten küçük ($P < 0,05$) olduğunda iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu kabul edilmiştir.

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

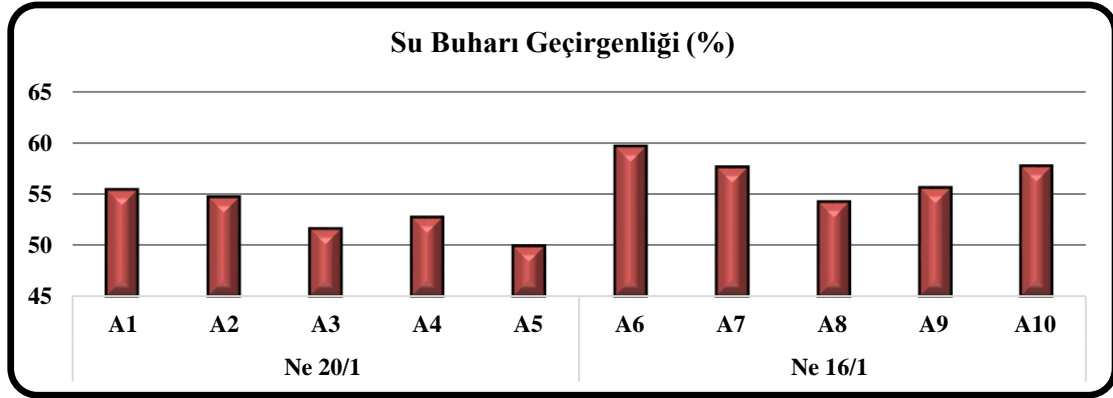
Yapılan ölçümler sonucu elde edilen hava geçirgenliği test sonuçlarının ortalamaları Şekil 3'te, su buharı geçirgenliği test sonuçları ise Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 3. Deneysel kumaşlara ait hava geçirgenliği değerleri

Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek hava geçirgenliği değeri Ne 16/1 atkı ipliği ile 17 atkı/cm atkı sıklığında ve saten örgü ile dokunan kumaşta, en düşük hava geçirgenliği değeri ise Ne 20/1 atkı ipliği ile 17 atkı/cm atkı sıklığında ve bezayağı örgü ile dokunan kumaşta gözlenmiştir. Ne 20/1 atkı ipliği ile dokunan kumaşların hava geçirgenlik değerleri 89-313 (l/m²/s) arasında, Ne 16/1 atkı ipliği ile dokunan kumaşların hava geçirgenlik değerleri ise 92-363 (l/m²/s) arasında değişmektedir.

Deneysel kumaşlar üzerinde gerçekleştirilen su buharı geçirgenliği ölçüm sonuçlarına göre, en yüksek su buharı geçirgenliği (%) değeri Ne 16/1 atkı ipliği ile 13 atkı/cm atkı sıklığında ve bezayağı örgü ile dokunan kumaşta, en düşük su buharı geçirgenliği (%) değeri ise Ne 20/1 atkı ipliği ile 17 atkı/cm atkı sıklığında ve saten örgü ile dokunan kumaşta gözlenmiştir. Ne 20/1 atkı ipliği ile dokunan kumaşların su buharı geçirgenlik değerleri % 49,9-57,7 arasında, Ne 16/1 atkı ipliği ile dokunan kumaşların su buharı geçirgenlik değerleri ise % 54,2-59,6 arasında değişmektedir.



Şekil 4. Deneysel kumaşlara ait su buharı geçirgenliği (%) değerleri

Elde edilen sonuçlar %100 akrilik dokuma kumaşların hava ve su buharı geçirgenlik özelliklerine atkı iplik numarasının etkisi, örgü tipinin etkisi ve atkı sıklığının etkisi şeklinde üç bölüm halinde incelenmiştir.

3.1. Atkı iplik numarasının hava ve su buharı geçirgenliğine etkisi

Atkı iplik numarasının kumaşların hava ve su buharı geçirgenliğine etkisi iki farklı iplik numarası (Ne 16/1 ve Ne 20/1) ile elde edilen dokuma kumaş yapıları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4'te de görüldüğü gibi daha kalın (Ne 16/1) atkı ipliklerinin kullanıldığı kumaşların hava ve su buharı geçirgenliği değerlerinin daha yüksektir. Mann Whitney U testi ile istatistiksel olarak yapılan analizden (Tablo 2) elde edilen sonuçlara göre, istatistiksel olarak atkı iplik numarasının su buharı geçirgenliğine etkisinin anlamlı ($P=0,028$), ($P<0,05$), hava geçirgenliğine etkisinin ise anlamlı olmadığı ($P=0,465$), ($P>0,05$) görülmektedir.

Öner'e (2015) göre, iplik özellikleri ve kumaş yapısındaki gözenekler kumaş yüzey karakteristiğinin belirlenmesinde önemli etkiye sahiptir. İplik incelidikçe ve büküm seviyesi arttıkça, daha düşük yoğunluklu kumaş yapısı oluşmakta, kumaştaki gözenek miktarı artmakta ve böylece kumaşın hava geçirgenliği ve su buharı geçirgenliği değerleri artmaktadır [24]. Ne 20/1 atkı ipliklerinin kullanıldığı kumaşlarda iplik bükümünün fazla olmasına rağmen hava geçirgenliğinin düşük olmasının kumaş yoğunluklarının fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Öztürk ve ark. (2011) pamuk/akrilik rotor ipliklerin ve süprem örme kumaşların kılcal emme özelliklerini inceledikleri çalışma sonuçlarına göre, akrilik lifinin varlığının ve iplik numarasının kumaşların kılcal emme performansı üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğunu, istatistiksel analiz sonuçlarına göre ise iplik kılcal emme özelliğinin kumaşın her iki yönü için de önemli bir etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre karışımdaki akrilik oranı arttıkça ve kaba ipliklerin kullanımıyla ipliğin ve kumaşın su emme yeteneğinin arttığını belirtmişlerdir [30].

Tablo 2. Atkı iplik numarasının hava ve su buharı geçirgenliğine etkisi Mann Whitney U testi

	Atkı İp No.	N	Sıra Ort.	Sıra Top.	Z	U	P
Su buharı geçirgenliği	Ne 20/1	5	3,40	17,00	-2,193	2,000	,028
	Ne 16/1	5	7,60	38,00			
Hava geçirgenliği	Ne 20/1	5	4,80	24,00	-,731	9,000	,465
	Ne 16/1	5	6,20	31,00			

3.2. Örgü tipinin hava ve su buharı geçirgenliğine etkisi

Örgü tipinin hava geçirgenliğine etkisi bezayağı, dimi ve saten olmak üzere üç temel örgü tipinin kullanıldığı kumaş yapıları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Aynı atkı sıklığı (17 atkı/cm) ve iplik numarası kullanılan deneysel kumaşlarda, her iki iplik numarasında da bezayağı örgü tipinde üretilen kumaşların hava geçirgenliğinin dimi ve saten örgülü kumaşlara göre daha düşük olduğu görülmektedir. Saten örgüsü kullanılan kumaşlarda hava geçirgenliği değeri dimi örgüsüne göre biraz daha fazladır (Şekil

3). Su buharı geçirgenliği değerleri incelendiğinde ise Ne 16/1 atkı ipliği kullanılan kumaş yapılarında en düşük su buharı geçirgenliği değerleri yine bezayağı örgülü kumaşlardadır (Şekil 4). Örgü tipinin hava ve su buharı geçirgenliğine etkisini belirlemek için yapılan Kruskal Wallis H testinden elde edilen sonuçlara göre örgü tipinin hava geçirgenliğine istatistiksel olarak etkisinin olduğu ($P < 0,05$) ancak, su buharı geçirgenliğine etkisinin olmadığı ($P > 0,05$) görülmüştür (Tablo 3).

Önceki çalışmalar bezayağı örgü ile dokunan kumaşların, aynı atkı sıklığı ile dokunmuş diğer örgülerde dokunan kumaşlara göre hava geçişine daha dirençli olduğunu göstermektedir [31]. Bu nedenle çalışmada dimi ve saten örgü ile dokunan kumaşların hava geçirgenlik değerlerinin, bezayağı dokuma ile dokunan kumaşların hava geçirgenlik değerlerinden daha yüksek olması bu sonucu desteklemektedir. Wakeham ve Spicer (1949) çalışmalarında bezayağı dokumaların saten veya dimi kumaşlara göre daha az gözenek hacmine ve daha küçük gözeneklere sahip olduğunu, daha küçük gözeneklerin de daha düşük hava geçirgenliğine neden olduğunu [32], Nayak ve diğ. (2009) örgü tipi, atkı sıklığı ve poliester oranının, poliester/viskon karışımı takım elbiselik kumaşların konfor özelliklerine etkisini inceledikleri çalışmalarında, dimi kumaşların bezayağı kumaşlardan daha yüksek hava geçirgenliğine, daha düşük su buharı transferine sahip olduğunu [33], Backer (1951), bezayağı örgülü kumaşların gaz geçişine aynı iplik numarası ve aynı sıklıkta dokunmuş diğer örgülerden daha fazla direnç gösterdiğini, dimi ve saten örgülerin ise maksimum geçirgenlik gösterdiğini ifade etmiştir [31]. Yavaşcaoğlu ve ark. (2018) akrilik ipliklerle, pamuk, viskon ve PES ipliklerin birlikte kullanıldığı gömleklik dokuma kumaşların ısı konfor ve nem iletim özelliklerini inceledikleri çalışma sonuçlarına göre etamin örgüsü ile dokunan kumaşların, bezayağı örgüyle dokunan kumaşa kıyasla daha yüksek hava geçirgenliğine sahip olduğu [28], Çeven ve ark. (2011) metal iplik içeren pamuklu dokuma kumaşların hava geçirgenlik değerlerinin farklı örgü yapıları açısından değerlendirdikleri çalışma sonucunda ribs örgü ile dokunan metal içeren kumaşların en yüksek hava geçirgenliğine sahip olduğu, bu kumaşları sırasıyla saten ve dimi örgüyle dokunan metal içeren kumaşların takip ettiği [34], Karaca ve ark. (2012) PES dokuma kumaşların ısı konfor özelliklerine elyaf kesit şeklinin ve dokuma örgüsünün etkisini araştırdıkları çalışmada, dokuma örgüsünün kumaşların hava geçirgenliğine etki ettiği, trilobal liflerden üretilen dimi kumaşların hava geçirgenliğinin en yüksek olduğu, dimi örgülü kumaşların bezayağı örgülü kumaşlara göre hava geçirgenliğinin daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır [35].

Bu çalışmada bezayağı örgülü kumaşların kumaş yoğunluklarının yüksek olması ve bağlantı sayısının fazla olması sebebiyle daha küçük gözenek boyutuna ve gözenek hacmine sahip olmasından dolayı hava ve su buharı geçişine dirençli olması ve bu yüzden daha düşük hava ve su buharı geçirgenliği değerleri elde edildiği düşünülmektedir.

Tablo 3. Örgü tipinin hava ve su buharı geçirgenliğine etkisi Kruskal Wallis H testi

	Örgü	N	Sıra Ort.	X^2	df	P
Su buharı geçirgenliği	Bezayağı	6	5,83	,182	2	,913
	Dimi	2	5,00			
	Saten	2	5,00			
Hava geçirgenliği	Bez	6	3,50	6,655	2	,036
	Dimi	2	8,00			
	Saten	2	9,00			

3.3. Atkı sıklığının hava ve su buharı geçirgenliğine etkisi

Çalışmada atkı sıklığının etkisinin belirlenmesi için bezayağı örgülü kumaş yapılarında üç farklı atkı sıklığı (13,15,17 atkı/cm) kullanılmıştır. Şekil 3 ve Şekil 4 incelendiğinde hem Ne 20/1 atkı ipliklerinin kullanıldığı kumaşlarda (A1, A2, A3) hem de Ne 16/1 atkı ipliklerinin kullanıldığı kumaşlarda (A6, A7, A8) atkı sıklığı arttıkça hava ve su buharı geçirgenliği değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bunun nedeni, atkı sıklığı arttıkça gramaj ve kumaş yoğunluğunun artması yada kumaşın gözenekliliğinin azalması olabilir. Daha önce yapılan çalışmalarda da atkı sıklığı arttıkça hava geçirgenliği düşmüştür [13, 20]. Gürarda ve ark. (2018) viskon/polyester karışımı giysilik dokuma kumaşların hava geçirgenliği ve ısı konfor özelliklerini inceledikleri çalışma sonuçlarına göre, kumaşların gramaj, kalınlık, örtme faktörü ile

hava geçirgenlik değerleri arasında negatif korelasyon bulunduğu, atkı sıklığının hava geçirgenliği üzerinde bir etkisi olduğu, azalan atkı sıklığının hava geçirgenliğini arttırdığı sonucuna varmışlardır [36].

Tablo 4. Atkı sıklığının hava ve su buharı geçirgenliğine etkisi Kruskal Wallis H testi

	Atkı sıklığı	N	Sıra Ort.	X ²	df	P
Su buharı geçirgenliği	13	2	8,00	2,473	2	,290
	15	2	6,50			
	17	6	4,33			
Hava geçirgenliği	13	2	5,50	1,164	2	,559
	15	2	3,50			
	17	6	6,17			

Ancak bu çalışmada, çalışma sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi için yapılan Kruskal Wallis H testi sonuçlarına göre (Tablo 4), atkı sıklığının hava ve su buharı geçirgenliğine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (P>0,05).

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, %100 akrilik dokuma kumaşlarda hava ve su buharı geçirgenliğine atkı iplik numarası, atkı sıklığı ve örgü tipinin etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda ince atkı iplikleri kullanılan kumaşların hava ve su buharı geçirgenliği değerlerinin daha düşük olduğu ancak iplik numarasının su buharı geçirgenliğine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı, hava geçirgenliğine etkisinin anlamlı olmadığı, örgü tipinin hava geçirgenliğine etkisi olduğu, bezayağı örgülü kumaşların dimi ve saten örgülü kumaş yapılarına göre hava geçirgenliğinin daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca atkı sıklığı arttıkça hava ve su buharı geçirgenliğinin düştüğü, ancak atkı sıklığının hava ve su buharı geçirgenliğine istatistiksel olarak etkisinin olmadığı görülmüştür.

Çalışmadan elde edilen verilere göre soğuk ve rüzgârlı havalarda giyilecek giysilerde kullanılacak olan % 100 akrilik dokuma kumaşlarda ısı izolasyonu arttırmak amacıyla düşük hava geçirgenliği sağlayacak bezayağı örgüsü gibi bağlantı sayısı fazla ve gözenekliliği düşük örgü yapılarının tercih edilmesi, kumaş yoğunluğunun ve atkı sıklığının yüksek tutulması, sıcak havalarda ise ısı kaybını arttırmak için hava geçirgenliğinin yüksek olduğu dimi ve saten gibi atlama sayıları fazla olan örgülerin tercih edilmesi ve su buharı geçirgenliğini arttırmak amacıyla kalın ipliklerin kullanımının tercih edilmesi önerilebilir. Ayrıca bundan sonra yapılacak çalışmalarda kumaşlara uygulanacak çeşitli bitim işlemleri veya nano teknolojik uygulamalar ile kumaş özelliklerinin geliştirilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi yerinde olacaktır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma Bursa Uludağ Üniversitesi BAP Birimi tarafından OUAP (MH)-2014/10' nolu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Sincen, M, Kaya, B, Yıldız, Ö. Artificial neural network based early warning system for Aydın province towards air factors which primarily affect human health. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 5:4 (2017) 121-131. Doi: 10.29109/http-gujsc-gazi-edu-tr.304938
- [2] Havenith, G. The interaction of clothing and thermoregulation. Exogenous Dermatology, 1:5 (2002) 221-230. Doi:10.1159/000068802
- [3] Marmaralı, A., Kretschmar, S.D., Özdil, N. Gülsevin Oğlakçıoğlu, N. Giysilerde ısı konforu etkileyen parametreler. Tekstil ve Konfeksiyon, 4 (2006) 241-246.

- [4] Zhuang, Q., Harlock, S.C., Brook, D.B. Transfer wicking mechanisms of knitted fabrics used as undergarments for outdoor activities. *Textile Research Journal*, 72:8 (2002) 727-734. Doi:10.1177/004051750207200813
- [5] Stuart, I., Denby, E. Wind induced transfer of water vapor and heat through clothing. *Textile Research Journal*, 53 (1983) 655-660. Doi:10.1177/004051758305301103
- [6] Ukponmwan, J.O. The thermal insulation properties of fabrics. *Textile Progress*, 24:4 (1993) Doi:10.1080/00405169308688861
- [7] Nielsen, R., Olesen, B. W., Fanger, P.O. Effect of physical activity and air velocity on the thermal insulation of clothing. *Ergonomics*, 28:12 (1985) 1617-1631.
- [8] Henriksson, O., Lundgren, P. J., Kuklane, K., Holmer, I., Bjornstig, U. Protection against cold in prehospital care-thermal insulation properties of blankets and rescue bags in different wind conditions. *Prehospital and Disaster Medicine*, 24:5 (2009) 408-415.
- [9] Babus'Haq, R.F., Hiasat, M.A.A., Probert, S.D. Thermally insulating behaviour of single and multiple layers of textiles under wind assault. *Applied Energy*, 54:4 (1996) 375-391. Doi: 10.1016/0306-2619(96)00010-4
- [10] Kumpikaite, E., Ragaisiene, A., Barburski, M. Comparable analysis of the end-use properties of woven fabrics with fancy yarns. Part I: Abrasion resistance and air permeability. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 18:3 (2010) 56-59.
- [11] Behera, B., Ishtiaque, S., Chand, S. Comfort properties of fabrics woven from ring-, rotor-, and friction-spun yarns. *Journal of the Textile Institute*, 88:3 (1997) 255-264. Doi:10.1080/00405009708658549
- [12] Vigneswaran, C., Chandrasekaran, K., Senthilkumar, P. Effect of thermal conductivity behavior of jute/cotton blended knitted fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 38:4 (2009) 289-306.
- [13] Dziworska, G., Frydrych, I., Matusiak, M., Filipowska, B. Aesthetic and hygienic properties of fabrics made from different cellulose raw materials. *Fibres Textile East Eur*, 8:2 (2000) 46-49.
- [14] Yadav, A., Prasad, V., Kathe, A.A., Raj, S., Yadav, D., Sundaramoorthy, C., Vigneshwaran, N. Functional finishing in cotton fabrics using zinc oxide nanoparticles. *Bulletin of Materials Science*, 29(6) (2006) 641-645. Doi: 10.1007/s12034-006-0017-y
- [15] Behera, B.K., Mishra, R. Comfort properties of non-conventional light weight worsted suiting fabrics. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 32 (2007) 72-79.
- [16] Özdil, N., Marmaralı, A., Dönmez Kretzschmar, S. Effect of yarn properties on thermal comfort of knitted fabrics. *International Journal of Thermal Sciences*, 46 (2007) 1318-1322. Doi: 10.1016/i.ijthermalsci.2006.12.002
- [17] Çil, M.G., Nergis, U. B., Candan, C. An experimental study of some comfort-related properties of cotton-acrylic knitted fabrics. *Textile Research Journal*, 79:10 (2009) 917-923. Doi:10.1177/0040517508099919
- [18] Oğlakçoğlu, N., Marmaralı, A. Thermal comfort properties of cotton knitted fabrics in dry and wet states. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 3 (2010) 213-217.
- [19] Ertekin, G. Marmaralı, A. Askı ve atlamanın düz örgü kumaşların ısı konfor özelliklerine etkileri. *Tekstil ve Mühendis*, 18:83 (2011) 21-26.
- [20] Erenler, A. (2013). Giysi amaçlı dokunmuş kumaşlarda konfor özelliklerinin incelenmesi ve tahminlenmesi. Doktora Tezi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı. Adana.

- [21] Mert, E., Oğlakçioğlu, N., Bal, Ş., Marmaralı, A. Kalandırlama ve dinkleme işleminin takım elbiselik kumaşların giysi konforu özelliklerine etkisi. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 2:2 (2014) 212-218.
- [22] Mahbub, R.F., Wang, L., Arnold, L., Kaneslingarn, S., Padhye, R. Thermal comfort properties of kevlar and kevlar/wool fabrics. *Textile Research Journal*, 84:19 (2014) 2094-2102. Doi:10.1177/0040517514532157
- [23] Saad E.R., Hafez, N.M. Effect of coating with silver nanoparticles (AgNPs) on cotton fabric functional properties. *International Design Journal*, 4:2, (2014) 33-39.
- [24] Öner, E. (2015). Çeşitli liflerden üretilen kumaşlardan yapılan spor giysilerinin ısı konforunun değerlendirilmesi ve geliştirilmesi. Doktora Tezi. D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı. İzmir.
- [25] Li, M., Wu, Y., Chen, C., Du, Z. Characterization of planter press-comfort performance of warp-knitted spacer fabrics. *Textile Research Journal*, 24 (2016) Doi:10.1177/0040517516679152
- [26] Li, R., Yang, J., Xiang, C., Song, G. Assessment of thermal comfort of nanosilver-treated functional sportswear fabrics using a dynamic thermal model with human/clothing/environmental factors, *Textile Research Journal*, 88(4) (2018) 1–13. Doi: 10.1177/0040517516679147
- [27] Selli, F., Turhan, Y. Investigation of air permeability and moisture management properties of the commercial single jersey and rib knitted fabrics. *Textile and Apparel*, 27 (2017) 27-31.
- [28] Yavaşcaoglu, A., Eren, R., Süle, G. Effects of usage acrylic yarn on thermal comfort and moisture management properties of woven shirting fabrics. *Textile and Apparel*, 28 (2018) 141-150.
- [29] Azeem, N., Noman, M.T., Hes, L., Ali, A., Wiener J., Mansoor, T. Comfort properties of nano-filament polyester fabrics: thermo-physiological evaluation, *Industria Textila*, 69(4) (2018) 315-321
- [30] Öztürk, M. K., Nergis, B., Candan, C. A study of wicking properties of cotton acrylic yarns and knitted fabrics. *Textile Research Journal*, 81:3 (2011) 324-328. Doi:10.1177/0040517510383611
- [31] Backer, S. The relationship between the structural geometry of a textile fabric and its physical properties: Part IV: Interstice Geometry and Air Permeability. *Textile Research Journal*, 21 (1951) 703-714. Doi:10.1177/004051755102101002
- [32] Wakeham, H., Spicer, N. Pore-Size distribution in textiles-a study of windproof and water-resistant cotton fabrics. *Textile Research Journal*, 19 (1949) 703-710. Doi:10.1177/004051754901901105
- [33] Nayak, R.K., Punj, S.K., Chatterjee, K.N., Behera, B.K. Comfort properties of suiting fabrics. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 34 (2009) 122-128.
- [34] Çeven, E. K., Süle, G., Gürarda, A., Ersöz, A. Metal iplikli dokuma kumaşların hava geçirgenliğinin incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16:2 (2011) 65-74
- [35] Karaca, E., Kahraman, N., Ömeroglu, S., Becerir, B. Effects of fiber cross sectional shape and weave pattern on thermal comfort properties of poliester woven fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 20, 3(92) (2012) 67–72.
- [36] Gürarda, A., Zengin, T., Tosun, G. Investigation of the effect of apparel fabrics structure on air permeability and thermal comfort properties. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23 (3) (2018) 169-178. Doi: 10.17482/uumfd.452140

Bu çalışma ICONDATA 2018, Uluslararası Veri Bilimi ve Uygulamaları Konferansı'nda sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

Review of the Solid-State Transformers and an Application of Full Bridge DC/DC Converter

 Oğuz ALKUL^{1,2,*}, Şevki DEMİRBAŞ¹
¹ Gazi University Faculty of Technology, Department of Electrical Electronics Engineering, 06500, Yenimahalle/ANKARA

² Texas A&M University at Qatar, Electrical and Computer Engineering, 23874, Doha/QATAR

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 24/04/2019

Revision: 30/05/2019

Accepted: 07/06/2019

Highlights

- SST topologies.
- DC/DC converter.
- Matlab-Simulink

Keywords

 High Frequency Transformer
 Full Bridge Converter
 Solid State Transformer

In this study, Solid State Transformer (SST) topologies, which are widely used in solar and grid-connected systems, are summarized by examining various configurations. SST topologies are grouped under four headings: AC/AC, AC/DC, DC/AC and DC/DC. The topology structures are analyzed in general and detailed with a sample application. In addition, a 2kVA SST capable of DC/DC conversion with full bridge converters was simulated and prototyped.

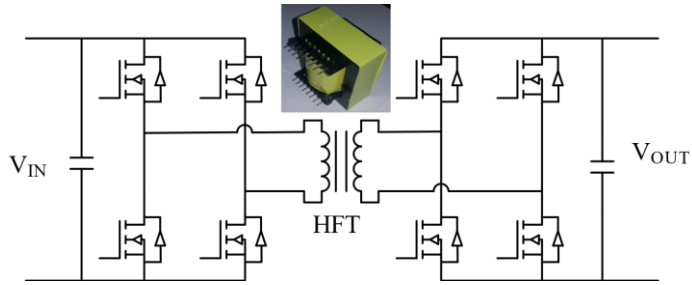


Figure A. Circuit schema of the SST design

Purpose: In this study, SST structures are examined. Simulation and application of full bridge converter performing DC/DC conversion is realized. Firstly, circuit topologies of SSTs are examined, and usage areas are analyzed. Then, a full bridge type converter topology is used to design a converter that converts DC to DC and simulated.

Theory and Methods: Solid state transformer design is explained step by step. High Frequency Transformer (HFT) calculations that are required for the design of the transformer are given in the paper. Core type and wire type were selected, and winding numbers have been calculated to deeply analyze the design procedure. To implement the SST, full bridge switches were connected to input and output side of HFT. The developed SST was simulated in Matlab/Simulink environment and then applied in laboratory.

Results: The results have shown that 300V DC voltage was successfully converted to 100V and 22kHz AC voltage by using the proposed converter. After the experimental setup was completed, SST was tested at 22kHz switching frequency. The simulation and experimental results are presented and compared in Section 3.

Conclusion: Design and application of SST that include HFT are presented in this study. Application studies were realized for each stage that depends on the number of converters. Results show that the efficiency of the system is directly dependent on the number and types of converters. In general, SSTs are more widely used in renewable and grid-connected systems. It has been observed that serial connection structure is preferred in high voltage applications. Most of the parallel connected types are preferred for increasing total power.

To realize the proposed structure, HFT design procedure is presented. The required power, number of winding, conductor selection calculations are explained in the paper. Results show that the proposed system converts DC voltage to DC voltage via 22kHz AC voltage with the help of HFT.

GU J Sci, Part C, 7(2): 450-471 (2019)

Gazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Dergisi

PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ

<http://dergipark.gov.tr/gujsc>

Güç Elektroniği Transformatörlerinin İncelenmesi ve Bir DA/DA Dönüştürücü Uygulaması

Oğuz ALKUL^{1,*} Şevki DEMİRBAŞ²¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06500, Yenimahalle/ANKARA²Katar Texas A&M Üniversitesi, Elektrik ve Bilgisayar Bölümü, 23874, Education City/DOHA

Öz

Malzeme bilimindeki gelişmelere paralel olarak artan güç-boyut oranı ile özellikle ağırlığın önemli olduğu hava, kara, deniz araçları ile uzay teknolojilerinde yüksek frekans transformatörlerine (YFT) olan talep artış göstermektedir. Özellikle YFT'lerin yarı iletken anahtarlar ile birlikte kullanılması sonucunda elde edilen güç dönüştürücüler (Güç Elektroniği Transformatörü – GET), elektrikli araçlardan uzay araçlarına, dağıtık üretim ve depolama birimlerinin şebeke entegrasyonuna kadar birçok uygulamada geniş bir kullanım alanı bulmuşlardır. Bu çalışmada GET yapıları incelenerek DA/DA dönüştürme yapan tam köprü dönüştürücünün benzetim ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ilk olarak GET'ler incelenmiş ve devre topolojileri ile kullanım alanları analiz edilmiştir. Daha sonra tam köprü tipi dönüştürücü topolojisi kullanılarak DA/DA dönüştürme yapan bir çevirici tasarımı yapılmış ve benzetimi gerçekleştirilmiştir. Benzetimi gerçekleştirilen dönüştürücü için gerekli malzeme seçimi yapılarak prototip hazırlanmış ve deneysel çalışmalar tamamlanmıştır. Deneysel kurulumu tamamlanan GET, 22kHz anahtarlama frekansında test edilerek benzetim ve deneysel sonuçlar sunulmuştur.

Makale Bilgisi

Başvuru: 24/04/2019

Düzeltilme: 30/05/2019

Kabul: 07/06/2019

Anahtar Kelimeler

Yüksek Frekans
Transformatörü
Tam Köprü Dönüştürücü
Güç Elektroniği
Transformatörü

Keywords

High Frequency
Transformer
Full Bridge Converter
Solid State Transformer

Review of the Solid-State Transformers and an Application of Full Bridge DC/DC Converter

Abstract

With the increased power to weight ratio, corresponding to the developments in material science, the demand for high frequency transformers (HFT) in air, land, marine and aerospace technologies where the weight is particularly important has increased. Especially, the power converters in which HFTs are used with semiconductor switches (Solid State Transformers – SST) have found wide application area in many applications ranging from electric vehicles to space vehicles, distributed generation and storage network integration. In this study, by reviewing SST topologies, simulation and practical implementation of full-bridge converter performing DC/DC conversion have been realized. Firstly, SSTs have been examined and circuit topologies and usage areas has been analyzed in the study. Then, an SST performing DC/DC conversion has been designed and simulated by using full-bridge converter topology. By selecting the required material for the simulated converter, the prototype has been set up and experimental studies have been completed. After completing the experimental setup for the SST, simulated and experimental results are presented by testing SST under 22kHz switching frequency.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektrik enerjisinin üretiminden tüketimine kadar geçen süreçte, alternatif akım (AA) kullanılmasının en önemli gerekçesi, düşük frekans transformatörleri (DFT) yardımıyla giriş geriliminin farklı gerilim seviyelerine kolaylıkla dönüştürülebilmeleridir. Elektrik güç sistemlerinde, DFT'ler gerilim dönüşümlerinin yanında elektriksel yalıtım görevini de yerine getirmektedir. Fakat DFT'ler, yapısındaki hantal demir nüve ve bakır sargıların ağırlığından dolayı, güç sistemlerinin hacim, ağırlık ve maliyet bakımından en büyük parçasını oluşturmaktadır. Transformatörlerin boyut ve ağırlıkları, yapılarında kullanılan nüvelerin ferromanyetik özellikleri ile nüve ve sargıların sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir.

Güç transformatörlerinde, transformatör üzerine yerleştirilen çeşitli soğutucu düzenekler yardımıyla transformatör ısı kontrol edilirken, nüve yapısında manyetik geçirgenliği yüksek malzemelerin kullanılmasıyla ağırlık ve hacim bakımından azalma sağlanabilmektedir. Diğer taraftan frekans ile transformatör boyutları ters orantılı olarak değiştiğinden, frekansın artırılması ile transformatör boyutlarında küçülme sağlanabilmektedir. Fakat frekansın artırılması histerisiz ve eddy akımından kaynaklanan kayıpları da artıracığından dolayı, geleneksel manyetik nüveler yerine manyetik geçirgenliği yüksek nüvelere ihtiyaç duyulmaktadır. Malzeme bilimindeki ilerlemelerle birlikte orta gerilim seviyelerinde büyük güçlü, manyetik geçirgenliği yüksek nüveler geliştirilebilmektedir[1-4].

Günümüzde gerek değişik profildeki yüklerin ihtiyaçlarının karşılanmasında, gerekse güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye bağlantılarında transformatörler tek başına yetersiz kalmaktadır. Özellikle gerilim yükselmesi ve düşmesi, kırılaşım veya harmonik gibi güç kalitesi problemlerinin giderilmesinde ek düzeneklere ihtiyaç bulunmaktadır[5]. Yarı iletken teknolojisindeki gelişmelerle birlikte, güç elektroniği karmaşık güç sistemlerinin problemleriyle başa çıkma konusunda umut verici bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Yüksek güçlü ve kontrol edilebilir katı hal anahtarları hem iletim hem de dağıtım sistemlerinde uygulama bulan çeşitli güç elektroniği dönüştürücülerinin gelişimini tetiklemiştir. Başlangıçta transistörler yardımı ile oluşturulan güç elektroniği devre ve düzenekleri, öncelikle endüstri alanında kullanılmıştır. Motor kontrol üniteleri ile başlayan bu süreç, gelişen yarı iletken teknolojileri sayesinde endüstrinin dışına çıkarak elektrikli araçlar[6,7], mikro şebekeler[8,9], yenilenebilir enerji kaynakları[10,11], ev, ofis, tarım ve hayvancılığa[12,13] kadar birçok yerde kullanım alanı bulmuştur. Artan taleple beraber üretimi ve tüketimi artan güç elektroniği devreleri, yük etkisinin kaynağa ve çevre cihazlarına etkisini en aza indirmesi ve birbiri ile uyumlu olmasını zorunlu kılmıştır. Ayrıca kullanıcıların kaliteli ve kesintisiz enerji talepleri[14] güç kalitesi, verim, güvenlik ve yalıtım özelliklerinin sağlanmasını zorunlu hale getirmiştir. Arıza durumlarında meydana gelen geniş çapta enerji kesintilerinin önüne geçilmesi, bozucu etkilerin sönümlenmesi ve şebekeye yük oluşturulan güç faktörü düzeyinin en uygun seviyede tutulması gerekliliğini doğurmuştur.

Geleneksel transformatörler ile yarı iletken dönüştürücülerin birlikte kullanılması sonucunda ortaya çıkan güç dönüştürücüleri güç elektroniği transformatörü (GET) olarak tanımlanmaktadır. GET'lerin patenti ilk olarak 1970 yılında Murray tarafından alınmıştır[15]. GET'lerde geleneksel transformatörlerin kullanılması, elektriksel yalıtımın yanında, farklı gerilim seviyeleri arasında kolay dönüşüm sağlamaktadır. Fakat şebeke frekansında (50Hz/60Hz) kullanılan transformatörlerin güce bağlı olarak ağırlık ve boyutlarının çok büyük olması gibi dezavantajları vardır. Brooks 1980 yılında yalıtım bariyerinin frekansını artırmak suretiyle sistemin boyutlarında küçülme sağlanabileceğini ve daha düşük boyutlarda transformatör ile daha fazla güç aktarılacağı fikrini ortaya atmıştır[16]. Böylece frekans uygulama limitleri çerçevesinde çalıştırılabilen transformatörler ile beraber çok küçük boyutlardan çok yüksek enerji dönüşümlerinin önü açılmıştır. Özellikle düşük ve orta gerilim seviyelerinde DFT yerine GET kullanımını yaygınlaştırmaya başlamıştır. GET'ler yapısında bulunan güç elektroniği elemanlarını uygun şekilde kontrol etmek suretiyle geniş bir aralıkta güvenli ve verimli güç kontrolü sağlanmaktadır. GET'ler geleneksel transformatörler ile karşılaştırıldığında yüksek güç yoğunluğu, küçük hacimli ve ağırlık, kontrollü güç faktörü, kontrollü gerilim düşürme vb. gibi iyi özelliklere sahip olduğu görülmektedir[17,18]. Diğer taraftan çalışma frekansının artırılması sonucunda filtre elemanlarının boyutlarında küçülme sağlanarak, düşük hacimlerden yüksek enerji dönüşümleri yapılabilmesine olanak tanınmaktadır[19]. Malzeme bilimindeki ilerlemeler ışığında GET'ler yarı iletken devre elemanları ile paralel gelişme göstermiştir.

Bu çalışmada GET'ler üzerine yapılan çalışmalar incelenerek, literatürde yaygın olarak yer alan GET topolojileri özetlenmiştir. GET topolojileri AA/AA, AA/DA, DA/AA ve DA/DA olmak üzere dört alt başlık altında toplanmıştır. Topoloji yapıları genel olarak incelenmiş ve birer örnek uygulama ile detaylandırılmıştır. Ayrıca tam köprü dönüştürücüler yardımıyla DA/DA dönüşüm yapabilen, 2kVA gücünde bir GET'in benzetimi yapılarak prototipi gerçekleştirilmiştir. Prototip tasarımında, ilk olarak prototip için kullanılacak YFT dizaynı gerçekleştirilerek tasarım basamakları ve hesaplamalara yer verilmiştir. Kullanılan materyal, iletken seçimi ve sarım sayıları belirtilmiştir. Hesaplamalar doğrultusunda ilk örnekleme gerçekleştirilen transformatöre, tam köprü dönüştürücü eklenerek bir GET uygulaması geliştirilmiştir. Geliştirilen GET'in ilk olarak Matlab/Simulink ortamında simülasyonu yapılmış, daha

sonra laboratuvar ortamında uygulaması gerçekleştirilmiştir. Tasarım kriterleri ile benzetim ve uygulamadan elde edilen bulgular çalışmanın 3. Bölüm'ünde sunulmuştur.

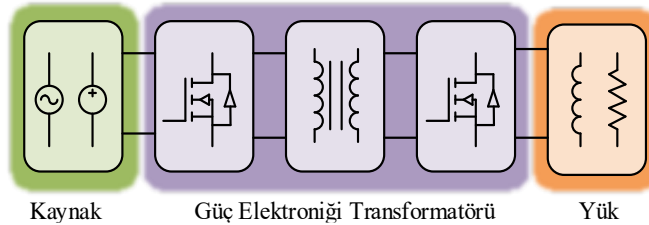
2. GÜÇ ELEKTRONİĞİ TRANSFORMATÖRLERİ (SOLID STATE TRANSFORMERS)

Geleneksel düşük frekanslı transformatörler, güç sistemlerinde enerji dönüşümünün en önemli bileşenlerinden biridir. Bu transformatörler bir taraftan bağlantı noktaları arasında elektriksel yalıtım sağlarken diğer taraftan giriş/çıkış uçlarında gerilim uyumunu gerçekleştirmek için gerilim seviyelerini de değiştirmektedirler. Düşük frekanslı transformatörler yapısının basit olması, verimlerinin yüksek olması ve güvenli olmalarından dolayı elektrik şebekelerinde uzun süre kullanılabilir. Fakat bu transformatörlerin, ihtiyaç duyulan güce bağlı olarak nüve ve sargı yapılarından dolayı boyutları büyümekte, ağırlıkları artmaktadır. Bu da taşınmasını zorlaştırmakta üretimi ve kurulumu karmaşık hale getirerek maliyeti artırmaktadır. Diğer taraftan bu transformatörler DA dağıtım sistemleri, dağıtık üretim kaynakları ve enerji depolama üniteleri gibi teknolojiler ile kullanıma uygun olmaması gibi dezavantajı bulunmaktadır.

Malzeme teknolojisindeki gelişmeler ile amorf, ferit, nanokristal gibi manyetik geçirgenliği yüksek malzemeler transformatörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemelerin kullanılmaya başlanması ile birlikte YFT tasarımları hız kazanmıştır. YFT'lerin güç elektroniği dönüştürücüleri ile birlikte kullanılması sonucunda elde edilen GET'ler teknolojinin her alanında yer bulmuştur. DFT'ler ile karşılaştırıldığında GET'lerin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Aktif güç filtrelemesi yaparak girişteki toplam harmonik etkinin azaltılmasını sağlar.
- Mükemmel gerilim regülasyonu sağlar.
- Giriş/Çıkış frekansları farklı olabilir.
- Farklı bir faza sahip sisteme bağlantı gerçekleştirilebilir.
- Yüksek frekanslarda çalışır. Bu nedenle nüve, sargı ve çıkış filtre boyutları küçüktür. Toplam ağırlıkları azdır.
- Isınma problemi azdır.

Şekil 1'de temel bir GET şeması verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi GET'ler en basit hali ile kaynak, transformatör, güç elektroniği devre elemanları ile yük birimlerinden oluşmaktadır. Devrede transformatör giriş ile çıkış arasında gerilim seviyesini ayarlamının yanında izolasyon görevini de yapmaktadır. Devrede kullanılan güç elektroniği dönüştürücüler ise giriş bölümündeki AA veya DA gerilimi transformatörde ihtiyaç duyulan yüksek frekanslı AA gerilimi dönüştürmekte, transformatör çıkışından elde edilen yüksek frekanslı AA gerilimi ise yük talebine bağlı olarak AA veya DA gerilime dönüştürmektedir.



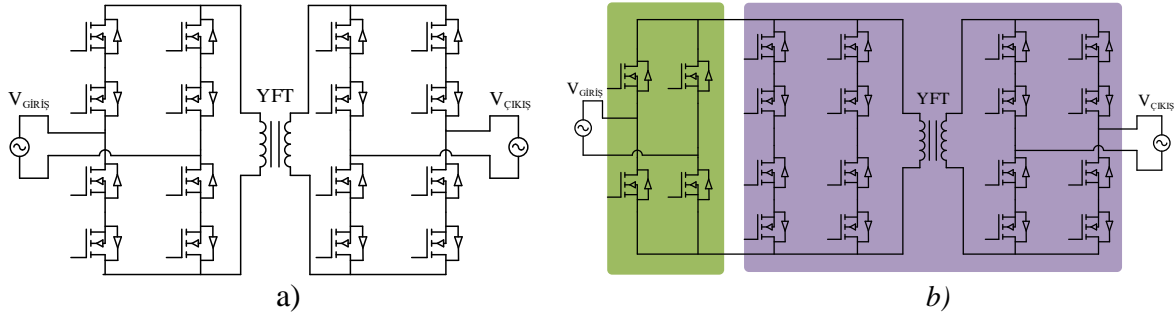
Şekil 1. GET yapısı

Enerji dönüştürme şekillerine göre GET'ler AA/AA, AA/DA, DA/AA ve DA/DA dönüştürücüler olmak üzere dört grupta incelenmektedir.

2.1. AA/AA Dönüştürücü GET Uygulamaları (AC/AC Converter SST Applications)

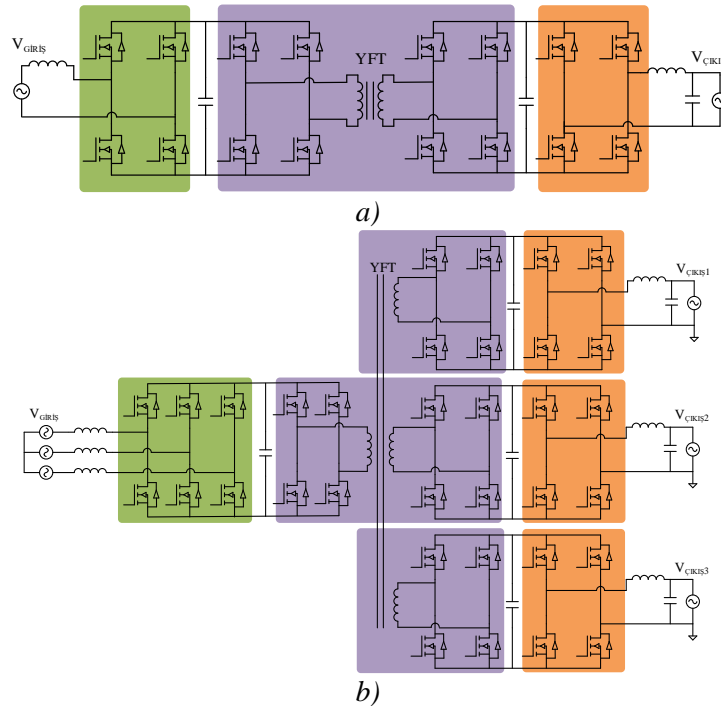
GET içeren AA/AA dönüştürücüler enerji dönüşüm aşamalarına göre temel olarak dört temel topoloji uygulaması bulunmaktadır. Birden çok dönüştürücü yapılarının içerdiği bu uygulamalar yüksek gerilim AA/AA dönüşümü işlemleri için uygundur[21-32,34-44,46,47]. Bir aşamalı AA/AA dönüştürücüler

doğrudan AA gerilimini GET yardımıyla düşürebilir[21,23,26,40,41] İki aşamalı dönüştürücüler ise yüksek AA gerilimini DA gerilimine dönüştürür. Aynı zamanda, bir aşamalı tiplere göre fazladan bir dönüştürücü yardımıyla tekrar AA sinyaline dönüşüm sağlanır[22,24,27,29,30,32,33]. Bir ve iki aşamalı dönüştürücüye örnek Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. GET AA/AA dönüştürücü uygulamaları (a) bir aşamalı[22], b) iki aşamalı[33])

Bir aşamalı dönüştürücülerde AA/AA dönüştürücü yapısı tercih edilir. Bu tip dönüştürücülerin girişine uygulanan düşük frekanslı AA sinyali, uygun bir pozitif ve negatif kenar tetiklemesi yardımıyla yüksek frekanslı AA sinyale dönüştürülür. Bu uygulama yapısında, giriş sinyali DA’ya dönüştürülmeden doğrudan GET’e uygulanır. GET’in girişine uygulanan sinyal, doğrudan anahtarlanarak istenilen frekansta AC elde edilmesi sağlanır. İki aşamalı dönüştürücü yapılarında ise bir aşamalı dönüştürücülerden farklı olarak AA/DA ve DA/AA dönüştürücü yapıları içerir. Birden fazla dönüştürücü yapısının kullanımı verimi düşürür, bileşen sayısını artırır. Devre boyutlarının genel olarak büyümesine ve toplam maliyeti artırmasına neden olur.

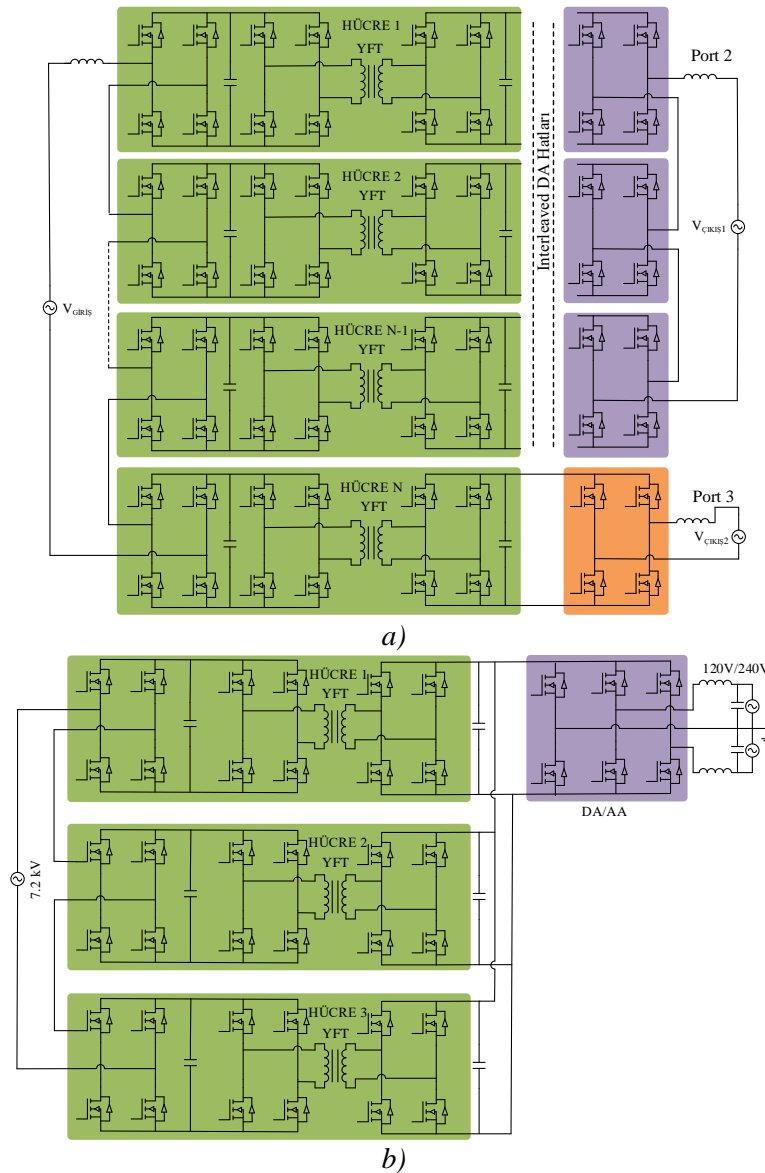


Şekil 3. Üç aşamalı AA/AA dönüştürücü modelleri (a) basitleştirilmiş bir faz[48], b) üç faz[49])

Bir diğer dönüştürücü yapısında ise üç aşamalı dönüştürücü yapısı kullanılır. Şekil 3’te görüldüğü üzere, dönüştürücü sırasıyla, AA/DA dönüşüm, DA/AA ve tersine AA/DA dönüşümü yapar. Elde edilen DA, son bölümdeki tam köprü vasıtasıyla (DA/AA) şebeke frekansına uygun bir AA sinyale dönüştürülür[34,39,41,47,49]. Bir ve iki aşamalı dönüştürücülere nazaran daha fazla dönüştürücü yapısı barındırdığından dolayı verimleri düşüktür. Kullanımı bir ve iki aşamalı dönüştürücülere göre zor ve

maliyetlidir. GET içeren dönüştürücü yapıları galvanik izolasyon ve gerilim dönüşümü sağlar. Sadece giriş ve çıkış birimine sahip dönüştürücüler bir fazlı enerji dönüşümü için uygundur. Birden çok bağlantı yapısına sahip transformatörler ise bağımsız çok fazlı dönüştürücü uygulamaları için uygundur.

Dağıtım gerilim değerleri, yarı iletken teknolojilerinin ve beraberinde GET birimlerinin doğrudan kullanımı için hazır değildir. GET'lerin yüksek gerilim ve yüksek güçlerde kullanılması amacıyla bu sorunun çözümüne yönelik seri ve paralel bağlantılı hücrel yaklaşımlar kullanılır. Seri bağlantı yapısı hücreler üzerine düşen gerilimin dönüştürücü sayısı miktarına bağlı olarak giriş gerilimi dönüştürücüler arasında paylaşılır. GET'ler yüksek gerilim uygulamaları için uygundur[50-52]. Giriş ucu paralel bağlı dönüştürücülerde ise güç, dönüştürücüler arasında paylaşılsa da yarı iletken devre elemanları kullanımı nedeniyle yüksek gerilimlerde uygulamaları sınırlıdır. Giriş ucu seri bağlanan dönüştürücülere göre kontrolü basit ve kullanımı kolaydır. Hücreler üzerine düşen akım miktarının paylaşılmasını temin eder. Oluşturulan bağlantı yapıları sayesinde yarı iletkenlerin dayanım kapasitelerinin üzerindeki gerilim ve akımlarda çalışabilirlik sağlar. Bu uygulamaların dezavantajı ise güç dengesinin sağlanması amacıyla yapılması gereken karmaşık kontrol işlemleridir. Farklı sayıda hücrenin birbiri ile etkileşimli kullanılması ve güç paylaşımının kontrolü için uygun bir kontrol yöntemine gerekmektedir.

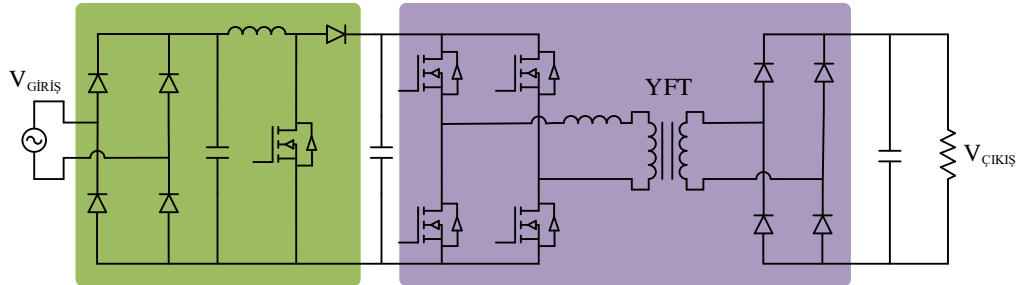


Şekil 4. Girişi seri bağlı GET dönüştürücü modelleri (a) UNIFLEX 300kVA üç faz dönüştürücü modeli[Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.], b) 20kVA, 7,2kV 120/240V AA/AA dönüştürücü modeli[52])

Seri bağlantı yapısı dönüştürücüler içerisinde daha küçük filtre elemanları kullanılarak dalgalanma akımlarının azaltılabilmesini sağlayabilir. Fakat dağıtım geriliminin artması doğrudan hücre sayısının ve kontrol karmaşıklığının artmasına neden olur. Bağlantı yapısı bu sistemlerin bir dezavantajı olarak gösterilmektedir. Şekil 4'teki yapılarda tamamen hücresel bir dönüştürücü konfigürasyonunu görülmektedir. Şekildeki birçok AA/AA topolojisinde güç hücreler arasında paylaşılmaktadır. Topolojiden dolayı, bazı sistemler herhangi bir kontrol metoduna ihtiyaç duymadan güç paylaşımını sağlayabilmektedir. Ancak, bu tüm AA/AA dönüştürücüler için doğru değildir[53].

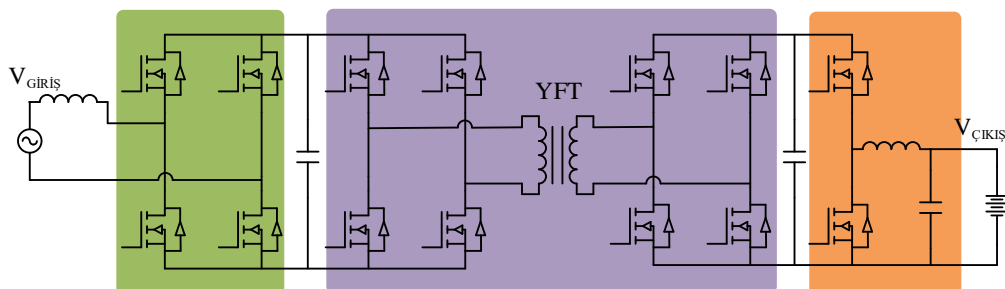
2.2. AA/DA Dönüştürücü GET Uygulamaları (AC/DC Converter SST Applications)

AA/DA GET içeren dönüştürücüler genellikle batarya şarj sistemleri ve DA kaynakla beslenen cihazlarda tercih edilen bir dönüştürücü tipidir. Bir aşamalı dönüştürücüler kaynak AA enerjisini doğrudan yüksek frekans AA enerjisine dönüşüm gerçekleştirerek transformatöre uygulanması ve transformatörden alınan sinyalin doğrultulması adımlarını içerir. İki aşamalı dönüştürücüler AA/DA dönüşümü yapan bir adet dönüştürücünün girişe bağlanarak oluşturulur. Bir aşamalı dönüştürücülere göre farkı, transformatöre uygulanan sinyalin üretilme yöntemidir. Üç aşamalı dönüştürücülerde ise iki aşamalı dönüştürücülere göre fazladan bir adet DA/DA dönüştürücü içermektedir. Örnek olarak Şekil 5'te verilen devre yapısında, alternatif akımın düzenlenmesi ve şebeke üzerindeki bozucu etkilerin minimuma indirilmesi amacıyla ek olarak bir gerilimi artırıcı kullanılmaktadır. Yaygın olarak elektrikli araçlarda tümleşik olarak kullanımı tercih edilen uygulama yöntemi her aşamada %97'ye kadar yüksek verim elde eder. İki kademeli yapı, güç faktörü düzeltme bölümü ve yüksek frekanslı transformatör bölümlü DA/DA dönüştürücü yapılarından oluşur ve toplam verimlilik %94 civarındadır. Bu sınırlama yapısal sorunlardan kaynaklandığı için, bu yapıdaki maksimum verimliliği artırmak neredeyse imkânsızdır. Ayrıca, geniş aralıklı çıkış gerilimi ve galvanik izolasyon için yüksek frekanslı bir transformatör, verimlilik ve güç yoğunluğu üzerinde olumsuz etkiye sahiptir[54-58].



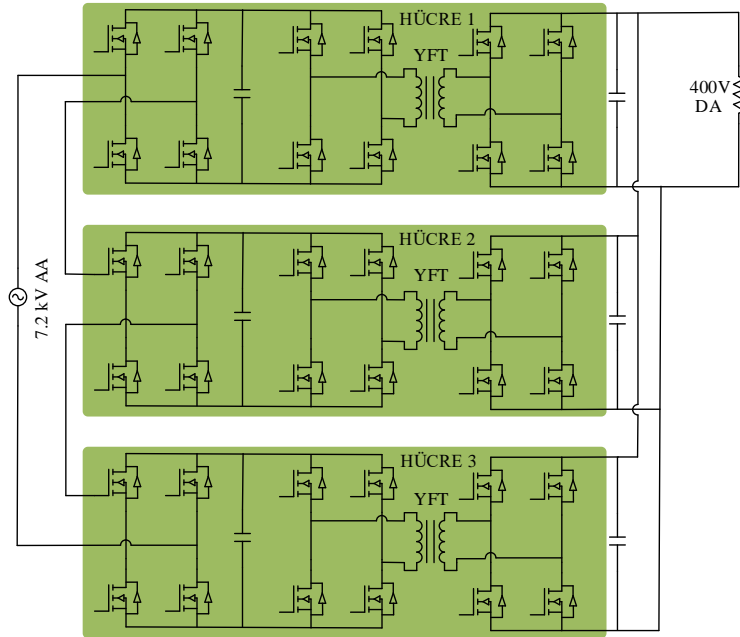
Şekil 5. Geleneksel iki aşamalı AA/DA dönüştürücü basitleştirilmiş modeli

İki aktif köprü dönüştürücüsünü temel alan üç aşamalı konfigürasyon, SST uygulaması için potansiyel bir aday olarak gösterilebilir. Bu topoloji depolama ve ek bir PV entegrasyonu için düşük gerilimli bir DA bağlantıya dayanmaktadır. PV panel depolama elemanı gibi doğrudan GET'in çıkışına bağlıdır. Şekil 6'da görüldüğü gibi ayrı izoleli olmayan ayrı DA/DA dönüştürücüler aracılığıyla elde edilir. Gerilim değerleri düşük voltaj DA geriliminden önemli ölçüde farklıysa ve/veya topraklama için izolasyon gerekliyse, ek bir YFT'ye ihtiyaç duyar ve bu durum dezavantaj olarak gösterilebilir[59].



Şekil 6. Üç aşamalı AA/DA dönüştürücü basitleştirilmiş modeli[59]

AA/DA dönüştürücüleri farklı gerilim ve güç düzeylerinin karşılanabilmesi amacıyla farklı bağlantı yapılarına sahiptir. Seri bağlantı yapısı yüksek gerilim uygulamalarında, paralel bağlantı yapısı ise aktarılan enerji miktarının artırılması amacıyla tercih edilir. Birbirleri arasında seri bağlantı yapısına sahip uygulamalar, yaygın olarak tercih edilen dönüştürücü uygulamasıdır. Şekil 7’de görülen girişi seri çıkışı paralel yapının uygulanması basit olsa da temel dezavantajı, farklı H köprülerinde meydana gelen DA gerilim dengesizliğidir[61-63]. Oluşan gerilim dengesizliği yarı iletken devre elemanlarında bozulmaya neden olmaktadır. İstenmeyen durum olarak nitelendirilen bu durum farklı kontrol ve uygulama yöntemleri ile çözülebilmektedir. En yaygın kullanılan gerilim ve güç kontrol yöntemidir. Düzenli olarak hücrelerde gerilim ve akım ölçümü yapılarak anahtarlama kontrolüne dayanır. Bu sayede gerilim ve güç hücreler arasında eşit olarak paylaştırılmış olur.



Şekil 7. AA/DA giriş seri çıkış paralel GET uygulaması[63]

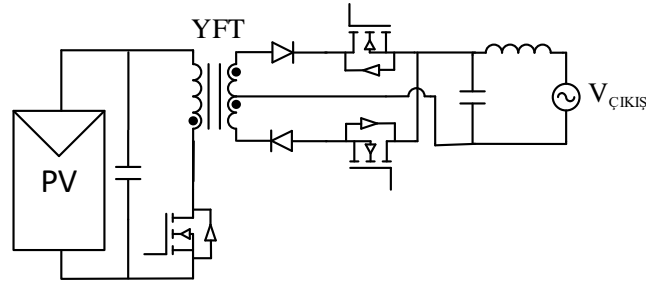
Paralel giriş paralel çıkış uygulamalarında asıl amaç gücün yükseltilmesidir. Seri bağlantı yapısına sahip uygulamalardaki gibi dönüştürücüler arasında gerilim dengesizliği yaşanmaz. Kontrolü kolaydır ve istenilen sayıda devreye alınabilir veya devreden çıkarılabilir. Bu özelliği nedeni ile esnekler. Fakat yarı iletken dayanımları nedeni ile yüksek gerilim uygulamaları için uygun değildir ve düşük gerilimlerde tercih edilen bir dönüştürücü tipidir. Girişi paralel birden çok çıkışa sahip uygulamalarda aynı kaynak üzerinden birden fazla cihazın beslenmesi amacıyla kullanılan uygulamalarda tercih edilir. Yapısı gereği farklı dönüştürme oranlarına sahip olabilmektedirler. Ayrıca bu sistemlerde iki yönlü dönüştürücüler kullanılarak ana kaynağın beslenmesi de sağlanmaktadır. Kullanımı basit ve dönüştürücüler birbirinden bağımsız olarak çalışabilmektedir.

2.3. DA/AA Dönüştürücü GET Uygulamaları (DC/AC Converter SST Applications)

Şebeke uygulamalarında GET temel iki tip dönüştürücü yapısı ile kullanılır. Bir aşamalı güneş paneli uygulamalarında giriş sinyali alternatif sinyale dönüştürülür ve çıkış sinyali doğrudan uygun şebeke gerilimine dönüştürülür[66-68]. Diğer iki aşamalı dönüştürücülerde ise DA gerilimi AA gerilimine dönüştürülerek GET’e uygulanır. Çıkış gerilimi doğrultturulur ve ikinci bir dönüştürücü yardımı ile DA sinyali AA sinyaline dönüştürülür[60,69-73,75]. Her iki uygulama tipi de güneş paneli uygulamalarında maksimum güç noktası takibi için uygundur.

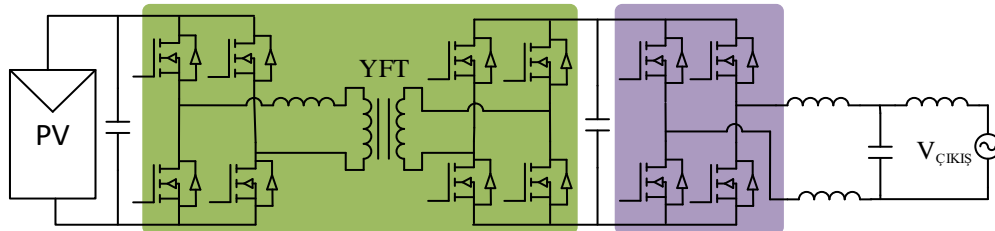
Tek seviyeli dönüştürücüler flyback tipi dönüştürücü yapıları içerirler[65-68]. Birden çok aşamalı dönüştürücülere göre DA enerji dönümü yapılmasına gerek duyulmadan direkt olarak yüksek frekans AA enerjisi, şebeke uyumlu AA enerjisine dönüştürülür. Ekstra bir dönüştürücü yapısı içermeyen tek aşamalı dönüştürücülerde eleman sayısı azdır. Birim maliyet düşük ve kontrolü basittir[65]’de yapılan flyback tipi

dönüştürücü modelinin giriş kısmı değiştirilerek iki[68] ve dört anahtarlı[66] modelleri üretilmiştir. Pek çok DA/DA dönüştürücü topolojisi, bir fazlı gerilim ve akıma izin vermek için anahtarların bir kısmını veya tamamını dört çeyrek anahtarla değiştirerek AA/AA dönüştürücülere dönüştürülebilir. Bu AA/AA dönüştürücü, en basit izole edilmiş DA/DA dönüştürücü topolojisinden, flybackten türetilmiştir. Hücre başına en az anahtar sayısına sahiptir[65]. Görev döngüsü modülasyonu çıkış gerilimi regülasyonuna izin verir. Bir DA barasının bulunmamasına ek olarak, ana dezavantaj, büyük dalgalanma akımları nedeniyle ihtiyaç duyulan filtrelerin büyüklüğüdür. Ayrıca flyback tipi dönüştürücülerin çift ikişer anahtarlı[67] gibi farklı modeli de bulunur. Bu tip dönüştürücülerin çıkış akımı düzenlidir. Elektrik şebekesi bağlantılı uygulamalarda herhangi bir filtre bobinine ihtiyaç duyulmamaktadır. Dönüştürücü girişinde bulunan bir bobin sayesinde kontrollü olarak gerilimi artırma veya azaltma özelliklerine de sahiptir. Şekil 8’de en basit hâli ile bir flyback tipi dönüştürücü yapısı görülmektedir.



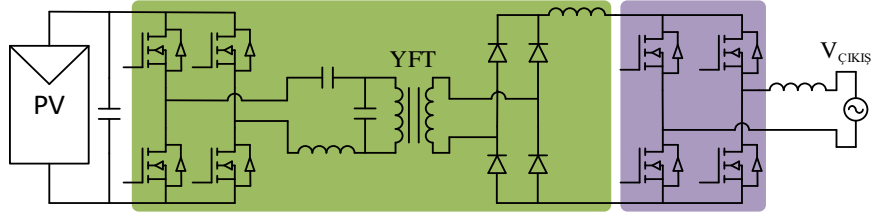
Şekil 8. Yüksek güç ayırıştırımlı flyback tipi evirici[65]

GET içeren uygulamalarda en yaygın kullanılan dönüştürücü tipi iki aşamalı DA/AA dönüştürücü yapısıdır[69-75]. DA/AA dönüştürücüler arasında, kullanım basitliği ve kontrolü ile ön plana çıkar. Bağlantı ve kontrol yapısına göre çıkış bir veya birden çok çıkışlı olabilir. Tam köprü dönüştürücü içeren uygulamalar genel olarak uygulama bakımından benzerlik gösterirler. Yüksek frekans kare sinyalin üretilmesi, doğrultma ve şebekeye uygun tam köprü DA/AA dönüştürücü kombinasyonlarını içerir. Tüm tek aşamalı SST topolojilerine göre, bu topoloji basit kontrol gerektirir. Bu dönüştürücünün basitleştirilmiş bir versiyonu Şekil 9’da verilmiştir. Bu durumda, giriş gerilimi YFT’den geçirilmeden önce %50 görev döngüsü ile yüksek frekanslı kare dalgaya dönüştürülür. Düşük gerilim tarafında, gerilim tekrar eski sinüzoidal şekline dönüştürülür. Bu basit yaklaşım giriş ve çıkış endüktif filtrelerine olan ihtiyacı ortadan kaldırır. Çıkış gerilimi regülasyonu eklemek için görev döngüsü modüle edilebilir. Bununla birlikte, tam sinüzoidal dalga üretebilmek için çıkışa endüktif bir filtre ve üretilen dalgalanma akımını filtre etmek için girişe bir tane daha eklenmelidir. Bu yaklaşımın ana dezavantajı, giriş güç faktörünü etkileyen filtrelerin boyutlarının artmasıdır.



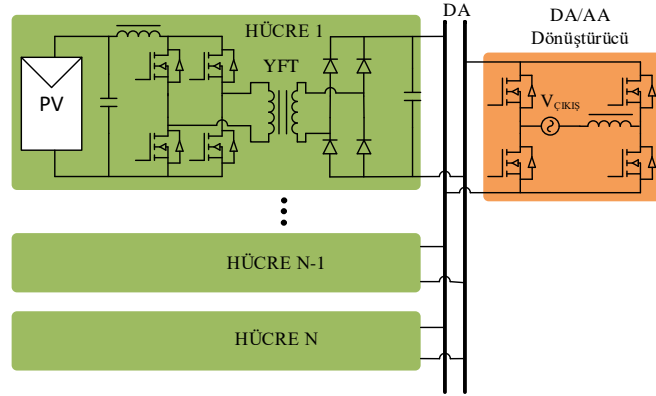
Şekil 9. Tam köprü DA/AA dönüştürücü[75]

Ayrıca iki aşamalı dönüştürücü yapılarında rezonans tipi dönüştürücü yapıları verimlilik açısından tercih edilen bir dönüştürücü yapısı olarak gösterilebilir[76-79]. Bu tip dönüştürücülerde uygun kapasite ve bobin değerinin yakalandığı frekanslarda gerilim alternatif sinyal tipinde salınım yapmaya başlar. Bu işlemde rezonans frekansına uyumlu tetikleme yapılması girişte bulunan anahtarların anahtarlama kayıplarını azaltır. Kaybın azalması ile yüksek frekans anahtarlama yapmaya olanak verir. Ayrıca yüksek verimlerde dönüştürücü yapımına izin verir. Şekil 10’da basit bir seri-paralel rezonans DA/AA eviricili DA/AA yapısı örneği sunulmuştur.



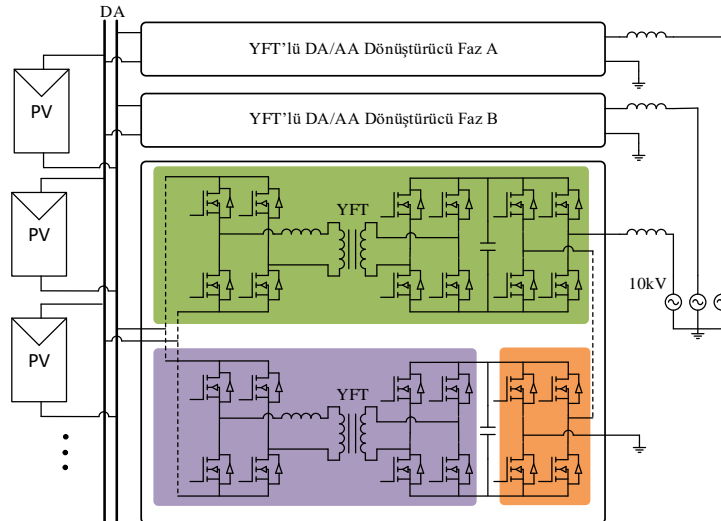
Şekil 10. Seri-paralel rezonans eviricili DA/AA dönüştürücü[77]

Güneş paneli uygulamalarında çıkış toplam gücünün artırılması için panel grupları GET'ler aracılığı ile paralel bağlanmaktadır[80-84]. Her panel grubu YFT içeren birer dönüştürücü kullanılarak ortak bir DA baraya bağlanır. Bununla birlikte, bu yapıların AA çıkışlıları da mevcuttur. DA çıkışlılarda şebeke bağlantısı için merkezi bir DA/AA dönüştürücü kullanılır. Uygulamada her PV panel grubu galvanik izolasyon, maksimum güç takibi olanağı sağlanmakta ve istenilen sayıda PV panel bağlantısı gerçekleştirmeye imkân verir. Diğer dönüştürücülerden bağımsız olarak çalıştırılabilir. İstenilen güce göre istenilen sayıda paralel dönüştürücü sisteme eklenebilir. Fakat büyük güçlü uygulamalarda AA hattının yanında ayrıca bir DA hattının kullanılması kablo maliyeti ve uygulanabilirlik açısından bu tip uygulamaların dezavantajı olarak gösterilebilir.



Şekil 11. Birden çok hücreli evirici modeli[80-84] Hücre başı maksimum güç 1500W, gerilim 200~500V

PV panellerin dönüştürücü olmaksızın bir DA baraya bağlanmasıyla oluşturulan uygulamalar da bulunmaktadır[85]. Bu uygulamalarda bir DA/AA vasıtasıyla güç dönüşümü yapılmaktadır. Her DA/AA dönüştürücü çıkışı uygun sayıda seri bağlı iki aşamalı dönüştürücü gruplarından oluşur. En basit hali ile devre yapısı Şekil 12'de gösterilmiştir.

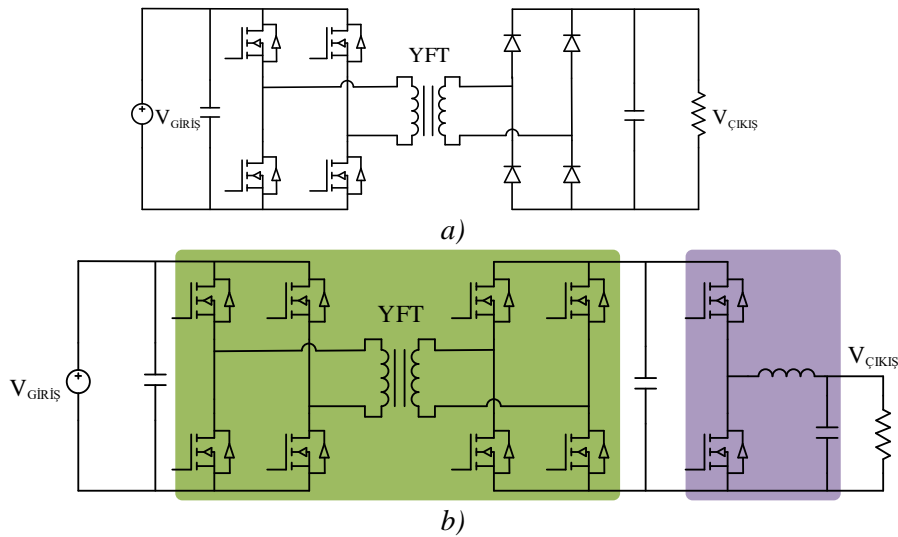


Şekil 12. Paralel bağlı PV grubundan DA/AA yüksek gerilim şebeke uygulaması[85]

Ortak bir DA hattına bağlı uygulamalarda istenilen sayıda PV panel kullanılabilmektedir. Fakat yüksek güçlü uygulamalarda PV paneller dış etkilerin neden olduğu kirlilik, gölgelenme gibi durumlar nedeniyle farklı akım ve gerilim özellikleri gösterir. Bu nedenle paralel bağlantılı PV panel maksimum güç noktası uygulamalarında tüm panellerden aynı verim alınması zordur. Bu tip uygulamalar maksimum güç noktası takibi için çok uygun değildir. Çıkışı seri bağlı uygulamalarda herhangi bir gerilimi artıran dönüştürücü kullanmadan, yüksek gerilimler elde edilmesi sağlanır. Fakat dengeli bir gerilim artışı, dönüştürücüler arasında gerilim ve güç paylaşımı ile sağlanabilir. İhtiyacın karşılanabilmesi her hücrede akım ve gerilimin ölçümü ve kontrolü ile mümkündür. Ayrıca seri bağlantılı uygulamalar herhangi bir devre elemanında meydana gelen arızanın bağlı olduğu fazı etkilenmesi muhtemel ve devreden çıkarılmasını gerektirir.

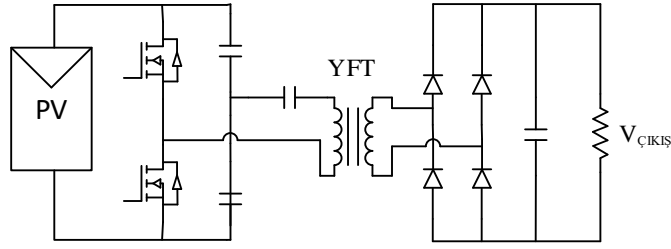
2.4. DA/DA Dönüştürücü GET Uygulamaları (DC/DC Converter SST Applications)

GET kullanılan DA/DA dönüştürücü yapıları transformatörün çalışabilmesi için fazladan dönüştürme işlemine ihtiyaç duyar. İhtiyacın karşılanabilmesi dönüştürücü sayısının artırılması ile mümkündür. Bu tipteki GET'ler DA/AA ve AA/DA dönüştürücü uygulamaları ile kullanılırlar. Yapısında bulunan GET ve fazladan dönüştürücü yardımı ile daha geniş aralıklarda gerilim dönüşümü mümkündür. Diğer dönüştürücülere oranla kontrolü basit ve uygulaması kolaydır. Kolaylıkla basit bir PI kontrol metodu ile denetleme gerçekleştirilebilir. Bu tip dönüştürücü yapıları iki ve üç aşamalı olarak uygulanabilmektedir. Bir aşamalı DA/DA dönüştürücüler en basit hali ile tam köprü evirici ve tam köprü doğrultucu yarı iletken devre elemanları barındırmaktadır. Giriş enerjisi transformatöre uygulanan yüksek frekanslı sinyalin oluşturulması ve transformatörden alınan sinyalin bir adet tam köprü doğrultucu vasıtası ile doğrultulması basamaklarını içerir. İki aşamalı GET içeren DA/DA dönüştürücülerde ise bir aşamalı dönüştürücülere ek bir adet azaltan tip dönüştürücü kullanarak oluşturulmuştur. Bu iki dönüştürücü yapısı da Şekil 13'de basitleştirilmiş olarak paylaşılmıştır.



Şekil 13. Basitleştirilmiş DA/DA dönüştürücü uygulamaları (a) bir aşamalı [96], b) iki aşamalı)

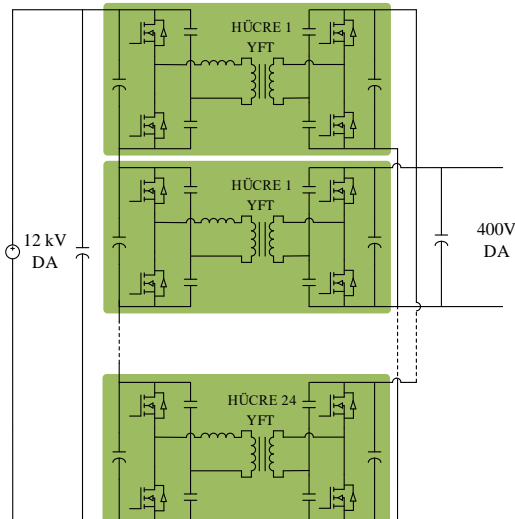
Klasik tipteki GET'lerin yanı sıra bir aşamalı GET içeren rezonans tipi DA/DA dönüştürücüler de bulunmaktadır. Rezonans tipi dönüştürücüler düşük giriş akım stresi, yüksek gerilim dönüşüm oranı, anahtarların düşük iletim kaybı, yüksek verim ve düşük akım salınımları gibi birçok avantaja sahiptir. Bu tip dönüştürücülerde DA enerjisinin AA enerjisine dönüştürülmesi için rezonans devresinin çıkışı transformatörün birincil sargılarına uygulanır. İkincil sargıdan alınan AA sinyal doğrultularak DA'ya dönüştürülür [87-93]. Yarım köprü rezonans dönüştürücülerde (Şekil 14) sıfır akım anahtarlama, uygun bir kapasiteye sahip kondansatör, anahtarlama frekansı ayarlanabilen sürücü sinyalleri, transformatör kaçak endüktansı ve transformatör sargılarına seri bağlı kondansatör kullanılarak gerçekleştirilir. Bunun dışında, MOSFET anahtarlarına paralel olarak bağlanan kapasitif devre elemanlarının kullanılmasıyla yüksek verim elde edilir. Böylece sıfır gerilimde ve neredeyse sıfır akımda değiştirilebilirler. Doğrultucu diyotları sıfır akımda değiştirilir. Anahtarlama kayıpları düşük olduğu için sadece iletim kayıpları baskındır [87].



Şekil 14. Rezonans yarım köprü dönüştürücü [Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.]

[89]'daki yarım köprü rezonans tipi dönüştürücüler düşük gerilim DA/DA dönüşümü için iki bobinli dönüştürücü modelini içerir. Sıfır gerilimde anahtarlama için paralel kondansatörler transformatöre seri olarak bağlanır. Böylece transformatör bobiniyle rezonansa girerek sıfır gerilim geçişi sağlanır. Akım beslemeli birden çok rezonans dönüştürücüye sahip modellerde[91], iki bobin ve bir yarım köprü dönüştürücü arasında rezonans oluşur. Çıkış tam köprü doğrultucudan oluşur. Yüksek geçiş akımı ve transformatör ikincil sargı kayıpları nedeniyle yüksek güç uygulamalarında verim sınırlanabilir. Yüksek gerilim kazancı ve düşük salınımlı giriş akımına sahip geliştirilmiş dönüştürücülerde ise[90] transformatörün dönüş akımını azaltmak için gerilim katlayıcı uygulamaktadır. Kayıpların azalmasını sağlayacak bu durum transformatör boyutlarında küçülme ve bununla beraber maliyetin de azalmasını sağlamaktadır. Diğer dönüştürücüler ile benzer şekilde yarı iletkenler yüksek gerilim ve yüksek güç seviyelerinde direk olarak kullanıma uygun olmaması GET'lerin birbiri aralarında seri ve paralel bağlantı yapılarını zorunlu kılar. GET'lerin yüksek gerilim değerlerini karşılayabilmesinde kullanılan en yaygın yöntem seri bağlantı yapısıdır. Yüksek güç değerinin karşılanabilmesi için kullanılan en yaygın tip ise paralel bağlantı yapısıdır. Seri bağlantı yapısında asıl amaç dönüştürücüler arasında gerilimi paylaşmak, paralel bağlantı yapısında ise asıl amaç gücün paylaşılmasıdır.

Girişin seri, çıkışın paralel bağlantı yapısının tercih edildiği [43]'teki 20kVA bir GET modeli, YFT'li çift yönlü DA/DA konvertör hücreleri, geniş yük aralığında yüksek verime sahip olarak uygulanmıştır. Bu dönüştürücü yapısında girişi seri çıkışı paralel bağlantı yapısı kullanılmıştır. Yüksek frekanslı galvanik izolasyon, çift yönlü güç akışı ve tüm anahtarlama cihazlarının sıfır gerilimde tetiklenmesi sağlanmıştır. Ayrıca, her bir hücre için bir faz kayması çift yarım köprü dönüştürücü kullanılarak yüksek frekanslı çalışmalarda dâhi anahtarlama kayıpları azaltılmıştır. Geniş gerilim aralığında yüksek verim ve yüksek güç yoğunluğu elde edilmiştir. Önerilen çift yarım köprü dönüştürücüsündeki adaptif bobinli anahtar cihazların mevcut gerilimi, geleneksel çift yarım köprü dönüştürücüsüne göre düşüktür. Uyarlanabilir bobin, diğer faz kaymalı çift köprü dönüştürücülere uygulanabilir ve aynı avantajlar elde edilebilir. Ek olarak, bir araya getirilmiş sargılara sahip olan bir düzlemsel transformatör, düşük çekirdek kaybı, optimize edilmiş yüksek frekanslı bakır kaybı, düşük profil ve daha fazla güvenilirliğe yol açan katı yalıtım elde etmek için tasarlanmıştır. 50kHz çalışma ile geniş bir yük aralığında %97,2'ye kadar yüksek verim elde edilmiştir[43].



Şekil 15. Giriş seri çıkış paralel rezonans tipi dönüştürücü yapısı[43].

3. BİR DEN ÇOK BAĞLANTILI GET TASARIMI VE UYGULAMASI (DESIGN AND APPLICATION OF MULTIPLE-LINK SST)

Transformatör seçimi ve tasarım işleminde, transformatörün çıkış gücü, çalışma frekansı ve elde edilmesi beklenen hedef verim göz önünde bulundurulmuştur. Bu amaçla seçilen transformatör tasarım parametreleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Hedef Transformatör Parametreleri

Parametre	Değeri
Çıkış gücü (P_o)	2000W
Doğru akım bara gerilimi	100-300V
Çalışma frekansı (f_{SST})	22kHz
Çıkış gerilimi	100-300V
Çıkış akımı (V_{min} değerinde)	10A(I_{max})
Hedef verim (η)	%95
Regülasyon	%0,5
Doluluk oranı	%40

Anahtarlama elemanı olarak seçilecek mosfet devre elemanının en verimli çalışma koşulunun sağlanması ve ısınma probleminin optimum seviyede tutulması kayıpların en aza indirgenmesi açısından önemlidir. Anahtarlama frekansının artması verimi düşürmekte ve toplam enerji dönüşüm miktarında azalmaya neden olmaktadır. YFT’lerde ise anahtarlama frekansı verimi artırarak toplam güç hacmini artırmaktadır. YFT ile mosfetlerin birleşimi olarak düşünülen GET sisteminde verimlilik açısından uygun değer olarak 20kHz’lik bir sinyal belirlenmiştir. Fakat hesaplamalar doğrultusunda güç hacmi sınırının hedef güç değerinin altında kaldığı görülmüş ve 22kHz’lik bir anahtarlama sinyali olarak değiştirilmiştir. 22kHz’de ve 20°C’de ($\rho = 1.70 \times 10^{-6} \Omega \text{ cm}$)[94] bakır iletkenlerin deri kalınlığı $\delta = 66/\sqrt{22000} \cong 0,445 \text{ mm}$ ’dir. Alternatif akımın deri ve yaklaşım etkisine bağlı olarak kayıpları azaltabilmek ve belirtilen akımları taşıyabilmesi amacıyla 2δ kalınlığında litz teli kullanılabilir. Ancak yüksek frekans nedeniyle deri ve yaklaşım etkisini en aza indirmek ve dönüşüm işlemleri sırasında önemi kritik olan verimin üst düzeye çıkarılabilmesi amacıyla bakır folyo iletkenler tercih edilmiştir. Tablo 2’de verilen parametrelerden görüldüğü üzere, transformatör malzemesi olarak TDG firması tarafından üretilen MnZn (Mangan-Çinko) alaşımlı ferrit TP4 seçilmiştir.

Tablo 2. Transformatör Çekirdeğinin Parametreleri

Parametre	Değeri
Manyetik malzeme	TDG MnZn TP4
AL	9080nH
Manyetik yol uzunluğu	147mm
Pencere kesiti	5,54cm ²
Çekirdek kesiti	5,35cm ²
Güç hacmi($W_a A_c$)	29,6cm ⁴
Hacim	78,6cm ³
Ortalama tur uzunluğu	14cm

Malzeme tipinin belirlenmesinin ardından, çekirdek boyutlarına karar verilmesi amacıyla, hedeflenen güç çevrim miktarı, iletken ve transformatöre uygulanması düşünülen frekansa göre çekirdek güç hacmi hesaplaması yapılmıştır. Burada çekirdek boyutu seçimi için Denklem 1 kullanılmıştır[95].

$$W_a A_c = \frac{P_o}{\Delta B f J K} \quad 1$$

İstenilen değerler ve malzeme özellikleri yerine konularak;

$$W_a A_c = \frac{2000}{0,27 \times 22000 \times 3 \times 10^6 \times 0,40} = 28 \text{ cm}^4 \quad 2$$

güç hacmi bulunmuştur. Verimin çok önemli olduğu şarj sistemlerinde çekirdek seçimi büyük öneme sahiptir. Verimi artırabilmek amacıyla manyetik geçirgenliği yüksek EE 65/65/27 boyutlarındaki ferrit çekirdek seçilmiştir.

Bu veriler yardımıyla hesaplanan birincil sarım sayısı Denklem 3 ile hesaplanmaktadır[96].

$$N_p = \frac{V_{in}^{min} d^{max}}{f A_c \Delta B} \quad 3$$

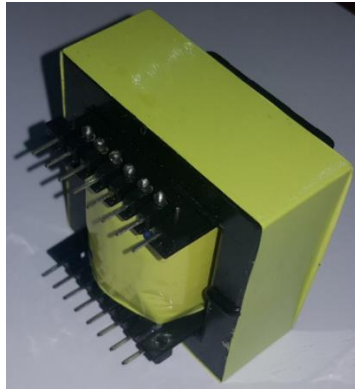
$$N_p = \frac{100 \times 0,40}{22000 \times 5,35 \times 10^{-4} \times 0,27} = 12,58 \quad 4$$

Sarım sayısı Denklem 4'teki gibi bulunmuştur. Kullanılan transformatör 3:1'lik dönüştürme oranına sahip olduğundan dolayı ($\frac{N_p}{3} = \frac{12,58}{3}$ den $N = 4,194$) N değeri 4,194 tur olarak bulunmuştur. İstenilen güç değerlerinin karşılanabilmesi amacıyla bir üst değer olan 5 sarım olarak belirlenmiştir. Bu değerlerden yaklaşık sargı endüktansı Denklem 5 ile hesaplanmıştır[96].

$$L = N^2 \times A_L \quad 5$$

$$L_{1N} = 5^2 \times 9080 \times 10^{-9} = 227 \mu H \quad 6$$

$$L_{3N} = 15^2 \times 9080 \times 10^{-9} = 2043 \mu H \quad 7$$



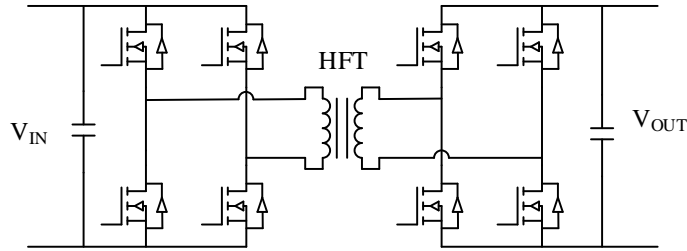
Şekil 16. Transformatörün perspektif görüntüsü

Manyetik geçirgenlik, hava aralığının artması ile azalmaktadır. Bu nedenle hesaplanan endüktans ile gerçek koşullarda ölçülen endüktans arasında farklılık olmaktadır. Ölçülen ve Denklem 5'e göre hesaplanan değerler Tablo 3'de gösterilmektedir.

Tablo 3. Transformatör ölçülen ve hesaplanan endüktans değerleri

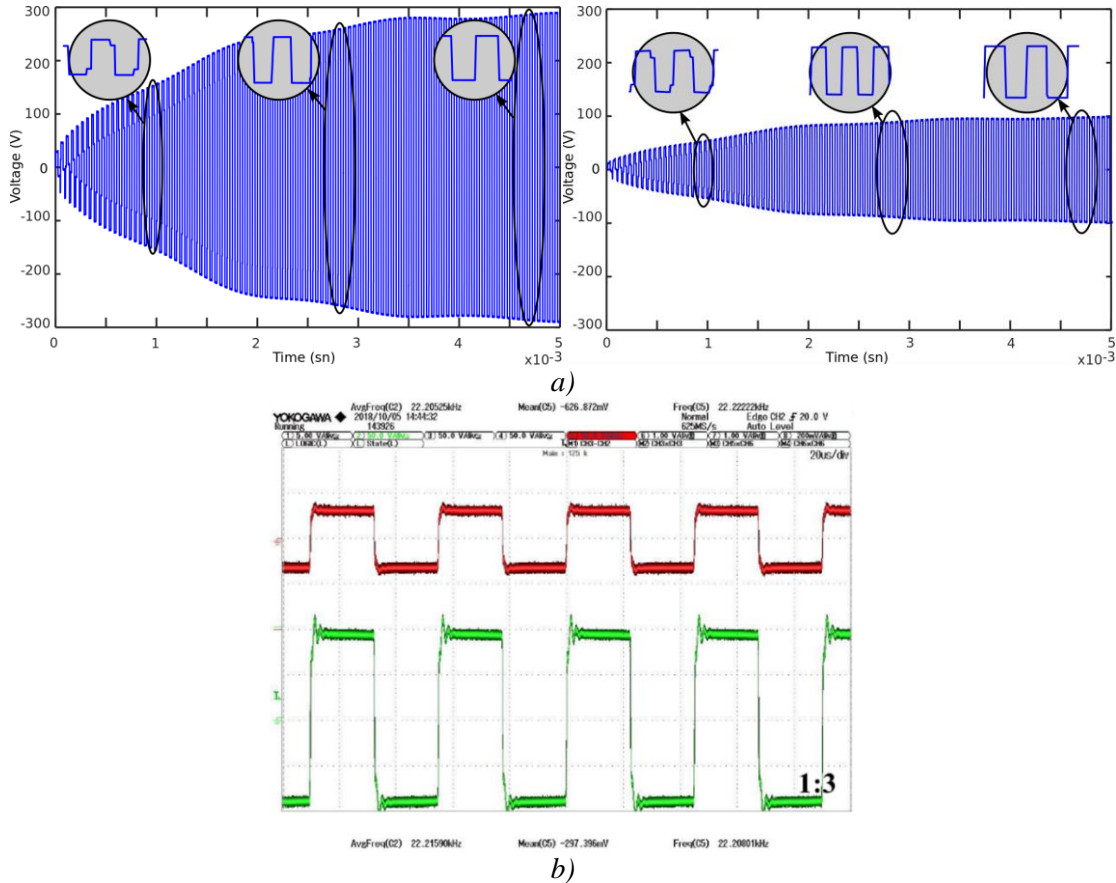
Parametre	Ölçülen	Hesaplanan	Fark
L_{1N}	205 μH	227 μH	%9,3
L_{2N}	1845 μH	2043 μH	%9,3

Tasarımı ve üretimi tamamlanan YFT test amacıyla bir adet DA/DA dönüştürücü yapısı ve tam köprü dönüştürücü kullanılarak oluşturulmuştur. Devre şeması Şekil 17’de verilmiştir.



Şekil 17. GET benzetim ve uygulama devresi

Devre Infineon marka IRS2453D sürücü, ST marka 20A ve 600V dayanım değerlerine sahip 20NM60 adlı mosfet ve 220µF/400V değerinde kondansatörler ile kurulmuştur. 22kHz ile anahtarlama işlemi gerçekleştirilen transformatörün giriş ve çıkış sinyallerinin benzetim ve uygulama sonuçları Şekil 18’de verilmiştir.



Şekil 18. YFT giriş ve çıkış sinyallerinin gözlemlenmesi (a) benzetim sonucu, b) uygulama sonucu)

Yaygın kullanım alanına sahip gerilimi azaltan tip dönüştürücü uygulamalarına bir örnek olarak gösterilebilecek bu dönüştürücü yapısında, 300V DA gerilim bir tam köprü dönüştürücü yardımı ile 22kHz değerinde bir alternatif kare sinyaline dönüştürülmüştür. Oluşturulan AA gerilim 3:1 dönüştürme oranına sahip bir transformatör ile 100V AA’ya dönüştürülmüştür. Bu işlem sonucunda istenilen düzeyde gerilim dönüştürme oranının sağlandığı görülmüştür. Giriş gerilimi ve çıkış geriliminde gözlemlenen kare dalganın geçici durumda yapısının bozulması transformatörün çıkışında bulunan kondansatörden kaynaklanmaktadır. Başlangıç koşullarında kondansatör hızlı olarak şarj olma eğilimi göstermektedir. Kısa bir süre transformatör bu yüksek güç ihtiyacını karşılayamamaktadır. Bu nedenle, çıkış sinyalinde ve genlik

değerinde stabil olmayan bir değişim görülmüştür. 3-4 saniyelik bu geçici durumdan sonra sistem kalıcı durum değerine ulaşmış ve GET devre yapısı kararlı çalışma durumuna geçmiştir.

Yarı iletken devre elemanlarındaki anahtarlama sinyalinin yükselme ve düşme hızları GET'in doyuma ulaşmadan farklı limitler çerçevesinde kullanılabilmesini göstermektedir. Genellikle anahtarlama limitleri transformatörün çalışma frekansını belirleyen ana unsur olmaktadır. Yeni gelişen silisyum karbür tipi mosfetlerin uygulanabilir GET anahtarlama limitlerine ulaşması kolaydır. Ayrıca, çok daha küçük boyutlarda fazladan dönüştürücü yapılarına ihtiyaç duymadan daha yüksek gerilim dönüştürme olanağı doğuracağı düşünülmektedir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu makalede GET'lerde kullanılan farklı topolojilerin sınıflandırılması ve detaylı incelemesi sunulmuştur. Farklı bağlantı yapılarının kullanılması kontrol karmaşıklığına neden olsa da yüksek güç ve gerilimlerde çalışmaya olanak sağlamaktadır. Güç elektroniğindeki gelişmeler ve kullanılan yarı iletken malzemelerinin yüksek frekanslarda anahtarlabilmesi GET'lerin şebeke uygulamalarında kullanılabilirliğini artırmıştır. Gelişen teknoloji doğrultusunda malzeme alanındaki iyileştirmeler, GET'in daha küçük boyutlarda üretimini ve daha küçük devre elemanları ile beraber kullanılmasını sağlamaktadır. Bununla beraber GET'in lokomotif, uçak ve gemi elektrik sistemi gibi maliyetten ziyade büyüklüğün ve ağırlığın önemli olduğu uygulamalarda yaygınlaşacağı tahmin edilmektedir. GET'in farklı alanlarda kullanılması ve referans tasarım adımlarına göre basit ve anlaşılır bir şekilde yapılması önemlidir. Bu amaçlar, bir yüksek frekans transformatörünün tasarım adımları ve ilk örnek işlemi gerçekleştirilmiştir. Yüksek frekans transformatörü uygulamalarında yaygın olarak kullanılan tam köprü dönüştürücü üzerinde benzetim ve ölçümlenmeye yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlar tasarlanan sistemin öngörülen çalışma koşullarını sağladığını ve dönüşümü başarılı bir şekilde gerçekleştirdiğini göstermiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (*Proje No: 07/2018-08*) tarafından desteklenmiştir. Katkılarından dolayı Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Magnetics® Databook, 2004 Magnetics Catalog, www.mag-inc.com.
- [2] Ferroxcube® Databook, "Soft Ferrites and Accessories", www.ferroxcube.com.
- [3] Siemens® Databook, "Ferrites and Accessories", www.epcos.com.
- [4] TDK® Databook, "Ferrites for SMPS", www.tdk.com.
- [5] Dujic, D., Kieferndorf, F., & Canales, F. (2012). Power electronic transformer technology for traction applications—an overview. *Electronics*, 16(1), 50-56.
- [6] Du, Y., Lukic, S., Jacobson, B., & Huang, A. (2011). Review of high power isolated bi-directional DC-DC converters for PHEV/EV DC charging infrastructure. In 2011 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, 553-560.
- [7] Lee, Y. J., Khaligh, A., & Emadi, A. (2009). Advanced integrated bidirectional AC/DC and DC/DC converter for plug-in hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on vehicular technology*, 58(8), 3970-3980.
- [8] Wang, F., Duarte, J. L., & Hendrix, M. A. (2011). Grid-interfacing converter systems with enhanced voltage quality for microgrid application—Concept and implementation. *IEEE Transactions on power electronics*, 26(12), 3501-3513.
- [9] Rocabert, J., Luna, A., Blaabjerg, F., & Rodriguez, P. (2012). Control of power converters in AC microgrids. *IEEE transactions on power electronics*, 27(11), 4734-4749.

- [10] Revathi, B. S., & Prabhakar, M. (2016). Non-isolated high gain DC-DC converter topologies for PV applications—A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 920-933.
- [11] Zhao, Z., Xu, M., Chen, Q., Lai, J. S., & Cho, Y. (2012). Derivation, analysis, and implementation of a boost–buck converter-based high-efficiency PV inverter. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27(3), 1304-1313.
- [12] Buning, E. A. (2010). Electric drives in agricultural machinery—approach from the tractor side. *Journal of Agricultural Engineering*, 47(3), 30-35.
- [13] Burmester, D., Rayudu, R., Seah, W., & Akinyele, D. (2017). A review of nanogrid topologies and technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 760-775.
- [14] Hemetsberger F. A. (2003). An Investigation Of Power Quality Problems In A Remote Mine Site, M.S. Thesis, The University of Queensland.
- [15] McMurray, W. (1970). U.S. Patent No. 3,517,300. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [16] Brooks, J. L. (1980). Solid State Transformer Concept Development (No. CEL-TN-1575). Civil Engineering Lab (navy) port hueneme ca.
- [17] Yang, L., Zhao, T., Wang, J., & Huang, A. Q. (2007). Design and analysis of a 270kW five-level DC/DC converter for solid state transformer using 10kV SiC power devices. In 2007 IEEE Power Electronics Specialists Conference, 245-251.
- [18] Ronan, E. R., Sudhoff, S. D., Glover, S. F., & Galloway, D. L. (2000). Application of power electronics to the distribution transformer. In APEC 2000. Fifteenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, Vol. 2, 861-867.
- [19] Lotfi, A. W., & Wilkowski, M. A. (2001). Issues and advances in high-frequency magnetics for switching power supplies. *Proceedings of the IEEE* 89.6, 833-845.
- [20] Shi, Y., Li, R., Xue, Y., & Li, H. (2016). High-frequency-link-based grid-tied PV system with small DC-link capacitor and low-frequency ripple-free maximum power point tracking. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 31(1), 328-339.
- [21] Qin, H., & Kimball, J. W. (2009). Ac-ac dual active bridge converter for solid state transformer. In 2009 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, 3039-3044.
- [22] Abedini, A., & Lipo, T. (2010). A novel topology of solid state transformer. In 2010 1st Power Electronic & Drive Systems & Technologies Conference (PEDSTC), 101-105.
- [23] Banaei, M. R., & Salary, E. (2011). Power quality improvement based on novel power electronic transformer. In 2011 2nd Power Electronics, Drive Systems and technologies Conference, 286-291.
- [24] Ai-juan, J., Hang-tian, L., & Shao-long, L. (2006). A new matrix type three-phase four-wire power electronic transformer. In 2006 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference, 1-6.
- [25] Mohapatra, K. K., & Mohan, N. (2008). Matrix converter fed open-ended power electronic transformer for power system application. In 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting—Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 1-6.
- [26] Mirmousa, H., & Zolghadri, M. R. (2007). A novel circuit topology for three-phase four-wire distribution electronic power transformer. In 2007 7th International Conference on Power Electronics and Drive Systems, 1215-1222.

- [27] Sabahi, M., Goharrizi, A. Y., Hosseini, S. H., Sharifian, M. B. B., & Gharehpetian, G. B. (2010). Flexible power electronic transformer. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 25(8), 2159-2169.
- [28] Sabahi, M., Hosseini, S. H., Sharifian, M. B., Goharrizi, A. Y., & Gharehpetian, G. B. (2010). Zero-voltage switching bi-directional power electronic transformer. *IET power electronics*, 3(5), 818-828.
- [29] Drabek, P., Peroutka, Z., Pittermann, M., & Cedl, M. (2011). New configuration of traction converter with medium-frequency transformer using matrix converters. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(11), 5041-5048.
- [30] Hugo, N., Stefanutti, P., Pellerin, M., & Akdag, A. (2007). Power electronics traction transformer. In *2007 European conference on power electronics and applications*, 1-10.
- [31] Carpita, M., Marchesoni, M., Pellerin, M., & Moser, D. (2008). Multilevel converter for traction applications: Small-scale prototype tests results. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(5), 2203-2212.
- [32] Glinka, M., & Marquardt, R. (2005). A new AC/AC multilevel converter family. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 52(3), 662-669.
- [33] Mao, X., Falcones, S., & Ayyanar, R. (2010). Energy-based control design for a solid-state transformer. In *Power and Energy Society General Meeting*. IEEE, 1-7.
- [34] Bifaretti, S., Zanchetta, P., Watson, A., Tarisciotti, L., & Clare, J. C. (2011). Advanced power electronic conversion and control system for universal and flexible power management. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2(2), 231-243.
- [35] Zhao, T., Yang, L., Wang, J., & Huang, A. Q. (2007). 270kVA solid state transformer based on 10 kV SiC power devices. In *2007 IEEE Electric Ship Technologies Symposium*, 145-149.
- [36] Ronan, E. R., Sudhoff, S. D., Glover, S. F., & Galloway, D. L. (2002). A power electronic-based distribution transformer. *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 17, no. 2, pp. 537-543.
- [37] Lai, J. S., Maitra, A., Mansoor, A., & Goodman, F. (2005). Multilevel intelligent universal transformer for medium voltage applications. In *Fourtieth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2005 Industry Applications Conference*, Vol. 3, 1893-1899.
- [38] Wang, G., Baek, S., Elliott, J., Kadavelugu, A., Wang, F., She, X., ... & Gould, R. (2011). Design and hardware implementation of Gen-1 silicon based solid state transformer. In *2011 Twenty-Sixth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 1344-1349.
- [39] Grider, D., Das, M., Agarwal, A., Palmour, J., Leslie, S., Ostop, J., ... & Hefner, A. (2011). 10 kV/120 A SiC DMOSFET half H-bridge power modules for 1 MVA solid state power substation. In *2011 IEEE Electric Ship Technologies Symposium*, 131-134.
- [40] Energy Conversation Program for Commercial Equipment, Distribution Transformers Energy Conversation Standards, CFR Standard 431, Oct. 2007.
- [41] Hatua, K., Dutta, S., Tripathi, A., Baek, S., Karimi, G., & Bhattacharya, S. (2011). Transformer less Intelligent Power Substation design with 15kV SiC IGBT for grid interconnection. In *2011 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, 4225-4232.
- [42] Ortiz, G., Leibl, M., Kolar, J. W., & Apeldoorn, O. (2013, April). Medium frequency transformers for solid-state-transformer applications—Design and experimental verification. In *2013 IEEE 10th International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS)*, 1285-1290.

- [43] Fan, H., & Li, H. (2011). High-frequency transformer isolated bidirectional DC–DC converter modules with high efficiency over wide load range for 20kVA solid-state transformer. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26(12), 3599-3608.
- [44] G. Brando, A. Dannier, and A. D. Pizzo, (2010) A simple predictive control technique of power electronic transformers with high dynamic features. In *Proc. IEEE PEMD*, 1–6.
- [45] Komrska, T., & Peroutka, Z. (2008). Main traction converter with medium-frequency transformer: Control of converters around MF transformer. In *2008 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, 1194-1198.
- [46] Steiner, M., & Reinold, H. (2007). Medium frequency topology in railway applications. In *2007 European Conference on Power Electronics and Applications*, 1-10.
- [47] M. Claessens, D. Dujic, J. K. Steinke, P. Stefanutti, and C. Vetterli.(2012). Traction transformation: A power electronic traction transformer (PETT). *ABB Rev.*, 3(16), 1–3.
- [48] Falcones, S., Mao, X., & Ayyanar, R. (2010). Topology comparison for solid state transformer implementation. In *Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE*, 1-8.
- [49] Wang, D., Mao, C., Lu, J., Fan, S., & Chen, L. (2005). The research on characteristics of electronic power transformer for distribution system. In *2005 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific*, 1-5.
- [50] Iman-Eini, H., & Farhangi, S. (2006). Analysis and design of power electronic transformer for medium voltage levels. In *2006 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference*, 1-5.
- [51] Zhao, B., Song, Q., & Liu, W. (2015). A Practical Solution of High-Frequency-Link Bidirectional Solid-State Transformer Based On Advanced Components in Hybrid Microgrid. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(7), 4587-4597.
- [52] Bhattacharya, S., Zhao, T., Wang, G., Dutta, S., Baek, S., Du, Y., ... & Huang, A. Q. (2010). Design and development of generation-I silicon based solid state transformer. In *2010 Twenty-Fifth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 1666-1673.
- [53] Wang, L., Zhang, D., Wang, Y., Wu, B., & Athab, H. S. (2016). Power and voltage balance control of a novel three-phase solid-state transformer using multilevel cascaded H-bridge inverters for microgrid applications. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 31(4), 3289-3301.
- [54] Kim, J. S., Choe, G. Y., Jung, H. M., Lee, B. K., Cho, Y. J., & Han, K. B. (2010). Design and implementation of a high-efficiency on-board battery charger for electric vehicles with frequency control strategy. In *2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 1-6.
- [55] Liu, C., Gu, B., Lai, J. S., Wang, M., Ji, Y., Cai, G., ... & Sun, P. (2013). High-efficiency hybrid full-bridge–half-bridge converter with shared ZVS lagging leg and dual outputs in series. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28(2), 849-861.
- [56] Yilmaz, M., & Krein, P. T. (2013). Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles. *IEEE transactions on Power Electronics*, 28(5), 2151-2169.
- [57] Gu, B., Lai, J. S., Kees, N., & Zheng, C. (2013). Hybrid-switching full-bridge DC–DC converter with minimal voltage stress of bridge rectifier, reduced circulating losses, and filter requirement for electric vehicle battery chargers. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28(3), 1132-1144.
- [58] Khaligh, A., & Dusmez, S. (2012). Comprehensive topological analysis of conductive and inductive charging solutions for plug-in electric vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 61(8), 3475-3489.

- [59] Falcones, S., Ayyanar, R., & Mao, X. (2013). A DC–DC multiport-converter-based solid-state transformer integrating distributed generation and storage. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28(5), 2192-2203.
- [60] Jung, Y., Yu, G., Choi, J., & Choi, J. (2002). High-frequency DC link inverter for grid-connected photovoltaic system. In *Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 1410-1413.
- [61] Shi, J., Gou, W., Yuan, H., Zhao, T., & Huang, A. Q. (2011). Research on voltage and power balance control for cascaded modular solid-state transformer. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26(4), 1154-1166.
- [62] She, X., Huang, A. Q., & Wang, G. (2011). 3-D space modulation with voltage balancing capability for a cascaded seven-level converter in a solid-state transformer. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26(12), 3778-3789.
- [63] Zhao, T., Wang, G., Bhattacharya, S., & Huang, A. Q. (2013). Voltage and power balance control for a cascaded H-bridge converter-based solid-state transformer. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28(4), 1523-1532.
- [64] Krishnaswami, H. (2011). Photovoltaic microinverter using single-stage isolated high-frequency link series resonant topology. In *2011 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, 495-500.
- [65] Shimizu, T., Wada, K., & Nakamura, N. (2002). A flyback-type single phase utility interactive inverter with low-frequency ripple current reduction on the DC input for an AC photovoltaic module system. In *2002 IEEE 33rd Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference. Proceedings (Cat. No. 02CH37289)*, Vol. 3, 1483-1488.
- [66] Kjaer, S. B., & Blaabjerg, F. (2003). Design optimization of a single phase inverter for photovoltaic applications. In *IEEE 34th Annual Conference on Power Electronics Specialist. PESC'03. Vol. 3*, 1183-1190.
- [67] Nagao, M., & Harada, K. (1997). Power flow of photovoltaic system using buck-boost PWM power inverter. In *Proceedings of Second International Conference on Power Electronics and Drive Systems*, Vol. 1, 144-149.
- [68] Papanikolaou, N. P., Tatakis, E. C., Critsis, A., & Klimis, D. (2003). Simplified high frequency converter in decentralized grid-connected PV systems: a novel low-cost solution. In *proc. EPE'03*.
- [69] Kjaer, S. B. (2005). Design and control of an inverter for photovoltaic applications. Institute of Energy Technology, Aalborg University. 2004-2005.
- [70] Mekhilef, S., Rahim, N. A., & Omar, A. M. (2000). A new solar energy conversion scheme implemented using grid-tied single phase inverter. In *2000 TENCON Proceedings. Intelligent Systems and Technologies for the New Millennium. Vol. 3*, 524-527.
- [71] Martins, D. C., & Demonti, R. (2002). Grid connected PV system using two energy processing stages. In *Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE Photovoltaic Specialists Conference*. 1649-1652.
- [72] Martins, D. C., & Demonti, R. (2001). Photovoltaic energy processing for utility connected system. In *IECON'01. 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (Cat. No. 37243). Vol. 3*, 1965-1969.
- [73] Lohner A., Meyer T., Nagel A. (1996). A new panel-integratable inverter concept for grid-connected photovoltaic systems, *IEEE proc. of the 1996 international symposium on industrial electronics (ISIE'96)*. Vol. 2, 827-831.

- [74] Wang, Z., & Li, H. (2011). Integrated MPPT and bidirectional battery charger for PV application using one multiphase interleaved three-port dc-dc converter. In 2011 Twenty-Sixth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). 295-300.
- [75] Cacciato, M., Consoli, A., Attanasio, R., & Gennaro, F. (2010). Soft-switching converter with HF transformer for grid-connected photovoltaic systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 57(5), 1678-1686.
- [76] M. Meinhardt, T. O'Donnell, H. Schneider, J. Flannery, C.O. Mathuna, P. Zacharias, T. Krieger, (1999). Miniaturised "Low Profile" module integrated converter for photovoltaic applications with integrated magnetic components, *IEEE proc. Of the 14th annual applied power electronics conference and exposition (APEC'99)*. Vol. 1, 305-311.
- [77] Prapanavarat C., Barnes M., Jenkins N. (2002). Investigation of the performance of a photovoltaic AC module, *IEE proc. of generation, transmission and distribution*. 149(4), 472-478.
- [78] S.W.H. de Haan, H. Oldenkamp, E.J. Wildenbeest (1994). Test results of a 130 W AC module; a modular solar AC power station, *IEEE proc. of the 24th photovoltaic specialists conference*. Vol. 1, 925-928.
- [79] S.W.H. de Haan, H. Oldenkamp, C.F.A Frumau, W. Bonin. (1994). Development of a 100 W resonant inverter for ac-modules, *Proc. of the 12th European photovoltaic solar energy conference*.
- [80] Teodorescu, R., Blaabjerg, F., Borup, U., & Liserre, M. (2004). A new control structure for grid-connected LCL PV inverters with zero steady-state error and selective harmonic compensation. In *Nineteenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2004. APEC'04*. Vol. 1, 580-586.
- [81] Asiminoaei, L., Teodorescu, R., Blaabjerg, F., & Borup, U. (2004). A new method of on-line grid impedance estimation for PV inverter. In *Nineteenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC'04*. Vol. 3, 1527-1533.
- [82] Timbus, A. V., Teodorescu, R., Blaabjerg, F., & Borup, U. (2004). Online grid measurement and ENS detection for PV inverter running on highly inductive grid. *IEEE power electronics letters*, 2(3), 77-82.
- [83] C. Dorofte, (2001) Comparative analysis of four dc/dc converters for photovoltaic grid interconnection. *Aalborg Univ./Powerlynx A/S, Aalborg East, Denmark, Tech. Rep.*
- [84] -, (2001) Design of a dc/dc converter for photovoltaic grid interconnection. *Aalborg Univ./Powerlynx A/S, Aalborg East, Denmark, Tech. Rep.*
- [85] Liu, T., Yang, X., Chen, W., Li, Y., Xuan, Y., Huang, L., & Hao, X. (2018). Design and implementation of high efficiency control scheme of dual active bridge based 10kV/1MW solid state transformer for PV application. *IEEE Transactions on Power Electronics*.
- [86] Rubino, L., Guida, B., Liccardo, F., Marino, P., & Cavallo, A. (2010). Buck-boost DC/DC converter for aeronautical applications. In *2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*. 2690-2695.
- [87] Kim, E. H., & Kwon, B. H. (2009). High step-up resonant push-pull converter with high efficiency. *IET Power Electronics*, 2(1), 79-89.
- [88] Delshad, M., & Farzanehfard, H. (2011). High step-up zero-voltage switching current-fed isolated pulse width modulation DC-DC converter. *IET power electronics*, 4(3), 316-322.

- [89] Wolfs, P., & Li, Q. (2002). An analysis of a resonant half bridge dual converter operating in continuous and discontinuous modes. In 2002 IEEE 33rd Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference. Proceedings (Cat. No. 02CH37289). Vol. 3, 1313-1318.
- [90] D. Li, B. Liu, B. Yuan, X. Yang, J. Duan, and J. Zhai. (2011) A high step-up current fed multi-resonant converter with output voltage doubler. 26th Applied Power Electronics Conf. and Exposition (APEC) IEEE 1, CD-ROM.
- [91] Yuan, B., Yang, X., & Li, D. (2010). A high efficiency current fed multi-resonant converter for high step-up power conversion in renewable energy harvesting. In 2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition. 2637-2641.
- [92] Çetin, S. (2017) Veri merkezi uygulamaları için yüksek verimli bir LLC rezonanslı DC-DC dönüştürücü tasarımı. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 5(1), 45-54.
- [93] Choi, W. Y., Song, S. G., Park, S. J., Kim, K. H., & Lim, Y. C. (2009). Photovoltaic module integrated converter system minimizing input ripple current for inverter load. In INTELEC 2009-31st International Telecommunications Energy Conference. 1-4.
- [94] Emanet, H. (2001). Yüksek Frekanslı Manyetik Malzemelerde Deri Ve Yaklaşım Etkisi Sonucu Oluşan İletken Kayıplarının Hesaplanması (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [95] Sclocchi, M. Switching Power Supply Design: LM5030 Push-Pull Converter.
- [96] Aydemir, T., Koparan, A., & Şimşek, O. 200 Amper, Yüksek Frekans Anahtarlamalı DA Kaynak Makinesinin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi/Design and Implementation of a 200 Ampere High Frequency Switching DC Welding Machine. EMO BİLİMSEL DERGİ, 2(3), 51-61.

Effective Capacity Performance of α - κ - μ Fading Channels

Nuri KAPUCU^{1,*}¹Hitit University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, 19030, Merkez/ÇORUM

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 08/04/2019

Revision 07/05/2019

Accepted: 07/06/2019

Highlights

- Effective capacity analysis of a single-input single-output system over α - κ - μ fading channels.
- Asymptotic analysis for the evaluation of the considered system at high SNR.
- Truncation error analysis.

Keywords

α - κ - μ fading channels
 Effective capacity
 High SNR analysis

In this work, a closed-form expression is derived for effective capacity of α - κ - μ fading channels. Then, an asymptotic expression is also proposed for the effective capacity of the considered channel model. In addition, an investigation of truncation error analysis is carried out for the infinite series representation which is included in the derived expression. Finally, the effective capacity performance is presented by obtaining the analytical results for different values of fading parameter with simulation results.

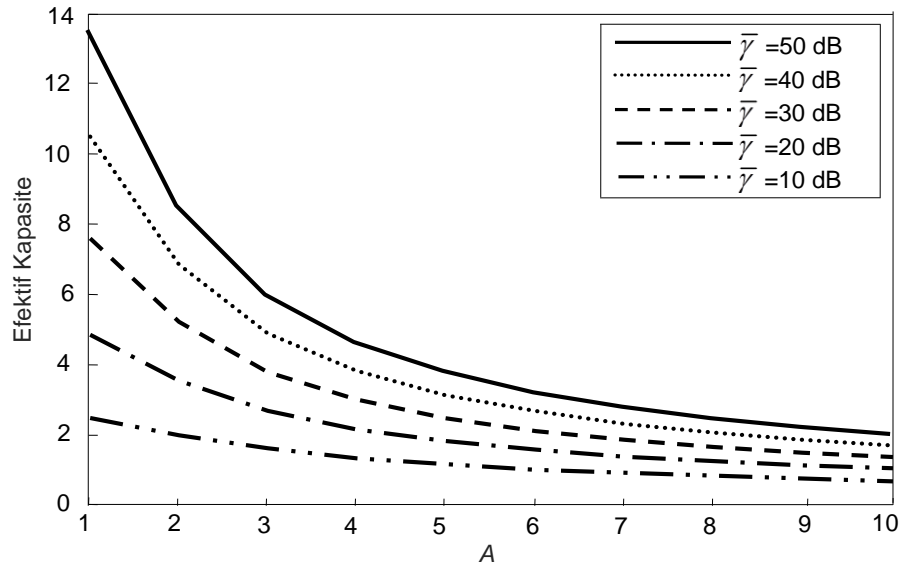


Figure A. Effective capacity of α - κ - μ fading channels with the change of A parameter when $\alpha=2, \kappa=1, \mu=1$

Purpose: The aim of this study is to derive analytical effective capacity expression for a single-input single-output wireless communication system operating over α - κ - μ fading channels. Also, a simplified expression is proposed for evaluation of effective capacity at high signal-to-noise ratio (SNR) regime.

Theory and Methods: Probability density function (PDF) approach is used for the derivation of effective capacity expression. In order to solve the effective capacity integral, the exponential term is expressed in term of Meijer's G function. In asymptotic analysis, it is assumed that the exponential term approaches 1 when the average SNR goes to infinity.

Results: Numerical results show that, the analytical results are in excellent agreement with the simulation results. The asymptotic results show a good fit to the analytical and simulation results at high SNR region. From truncation error analysis, it is seen that truncating the infinite series for the first 30 terms is enough to get the desired accuracy.

Conclusion: In this study, an effective capacity analysis is conducted for α - κ - μ fading channels. Analytical and asymptotic expressions are derived and the results are shown for the different configurations of fading parameter and A parameter.

GU J Sci, Part C, 7(2): 472-481 (2019)

Gazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Dergisi

PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ

<http://dergipark.gov.tr/gujsc>

α - κ - μ Sönümlü Kanalların Efektif Kapasite Başarımı

Nuri KAPUCU^{1,*}¹Hittit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 19030, Merkez/ÇORUM

Öz

Bu çalışmada, α - κ - μ sönümlü kanalların efektif kapasitesi için kapalı formda bir ifade türetilmiştir. Daha sonra ele alınan kanal modelinin efektif kapasitesi için asimptotik bir ifade de önerilmiştir. Buna ek olarak, türetilen ifadede bulunan sonsuz seri için kesme hatası incelemesi gerçekleştirilmiştir. Son olarak ise α - κ - μ sönümlü kanalların efektif kapasite başarımı, farklı parametre değerleri için analitik sonuçlar elde edilerek benzetim sonuçları ile birlikte sunulmuştur.

Makale Bilgisi

Başvuru: 08/04/2019

Düzeltilme: 07/05/2019

Kabul: 07/06/2019

Anahtar Kelimeler

α - κ - μ Sönümlü Kanallar
Efektif Kapasite
Yüksek SNR Analizi

Keywords

α - κ - μ Fading Channels
Effective Capacity
High SNR Analysis

Effective Capacity Performance of α - κ - μ Fading Channels

Abstract

In this work, a closed-form expression is derived for effective capacity of α - κ - μ fading channels. Then, an asymptotic expression is also proposed for the effective capacity of the considered channel model. In addition, an investigation of truncation error analysis is carried out for the infinite series representation which is included in the derived expression. Finally, the effective capacity performance is presented by obtaining the analytical results for different values of fading parameter with simulation results.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kablosuz haberleşme kanallarında karşılaşılan sönümlenmenin doğru olarak modellenmesi, sistem başarımını anlamada ve geliştirmede oldukça önemlidir. Sönümlenme genellikle gölgeleme ve çok yollu yayılım etkilerine bağlı olarak karakterize edilir. Literatürde, bu etkileri kapsamak için farklı genelleştirilmiş karma (composite) sönümlenme modelleri önerilmiş ve çeşitli çalışmalar yapılmıştır [1-8]. [1] ve [2]'de küçük ölçekli sönümlenme etkilerini ortaya koyabilen α - κ - μ , α - η - μ ve α - λ - μ genelleştirilmiş sönümlenme modelleri önerilmiştir. [3]'te en iyi röle seçim tekniğini kullanan doğrudan dizili kod bölmeli çoklu erişim sistemlerinin α - η - μ sönümlü kanallardaki servis-dışı kalma olasılığı başarımı analiz edilmiştir. α - μ sönümlü kanallar [4]'te önerilmiş ve κ - μ ile η - μ sönümlü kanallar ise [5]'te detaylı olarak verilmiştir. Bir başka çalışmada [6] ortamın lineer olmama durumunu, saçılan dalgaların gücünü, baskın bileşenlerin gücünü ve çok yollu kümelenmeyi hesaba katan α - η - κ - μ isimli kompleks bir sönümlenme kanalı önerilmiştir. [7]'de hem sönümlenme hem de gölgeleme etkilerini incelemek için basit formda bir kompozit sönümlenme modeli olan Fisher-Snedecor F dağılımı sunulmuştur. [8]'de ise tek girişli tek çıkışlı bir kablosuz haberleşme sisteminin hata olasılığı Weibull/Log-Normal sönümlü kanallarda incelenmiştir.

Kablosuz haberleşme sistemlerinin genelleştirilmiş sönümlü kanallardaki başarımı literatürde [9-16]'da verilen çalışmalarda incelenmiştir. α - η - κ - μ sönümlü kanalların kapasitesi farklı adaptif iletim teknikleri kullanılarak [9]'da analiz edilmiştir. [10]'daki çalışmada α - η - κ - μ sönümlü kanalların fiziksel katman güvenliği Wyner hat dinleme modeline dayalı olarak araştırılmış ve servis-dışı kalma olasılığı ile kanal kapasitesi için nümerik sonuçlar sunulmuştur. [11]'de en yüksek oranlı birleştirme alıcısının η - μ ve κ - μ sönümlü kanallardaki ortalama bit hata oranı başarımı incelenmiştir. Tek girişli tek çıkışlı ve çok girişli tek

çıkışlı kablosuz haberleşme sistemlerinin Fisher-Snedecor F sönümlü kanallardaki efektif kapasitesi için kapalı formda ifadeler sırasıyla [12] ve [13]'te türetilerek başarımları farklı kanal parametreleri için gösterilmiştir. [14]'te verilen çalışmada, tek girişli tek çıkışlı bir kablosuz haberleşme sisteminin servis-dışı kalma olasılığı, ortalama bit hata oranı ve kanal kapasitesi α - η - μ sönümlü kanallarda ele alınmıştır. Çeşitleme birleştirme alıcılarının α - μ , η - μ ve κ - μ sönümlü kanallardaki servis-dışı kalma olasılığı analizi detaylı bir şekilde [15]'te verilmiştir. [16]'da yazarlar Fisher-Snedecor F sönümlü kanalların kapasitesini çeşitli iletim teknikleri için analiz etmişlerdir.

Yukarıda bahsedildiği gibi çeşitli genelleştirilmiş sönümlü kanallarda kablosuz haberleşme sistemlerinin başarımları üzerine yoğun bir şekilde çalışılmıştır. Bahsedilen kanal modellerinden farklı olarak son zamanlarda α - κ - μ genelleştirilmiş sönümlü kanallar ilgi çekmektedir. Bu kanal yapısının ilgi çekmesinde Rayleigh, Nakagami- m , Rice, Weibull ve κ - μ gibi çeşitli popüler kanal modellerini kapsaması etkili olmuştur. Aynı zamanda α - κ - μ sönümlü kanallarda çok az sayıda çalışma mevcuttur [17-22]. [17] ve [18]'de yazarlar servis-dışı kalma olasılığı, bit hata oranı ve ortalama kanal kapasitesi için ifadeler türeterek başarımları analizi yapmıştır. α - κ - μ dağılımının ikinci derece istatistikleri [19]'da ele alınmıştır. [20] ve [21]'de yazarlar α - κ - μ sönümlü kanallarda spektrum algılama üzerine çalışmalar yapmışlardır. [22]'de aynı dağılım için en yüksek olasılık (maximum likelihood, ML) kestirim yöntemi önerilmiştir. Bilindiği kadarıyla, literatürde α - κ - μ sönümlü kanalların efektif kapasitesini analiz eden herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, α - κ - μ genelleştirilmiş sönümlü kanalların efektif kapasitesi analitik olarak kapalı formda türetilmiştir. Daha sonra yüksek işaret-gürültü oranı (signal-to-noise ratio, SNR) bölgesinde analizi kolaylaştırmak için asimptotik bir ifade de önerilmiştir. Bunlara ek olarak, ele alınan kanal modelinin olasılık yoğunluk fonksiyonunda (probability density function, PDF) bulunan sonsuz seri toplamı belirli bir sayıda terim için hesaplatıldığında efektif kapasite ifadesi için meydana gelen kesme hatası analizi sunulmuştur. Bu sayede türetilen ifadenin kullanılabilirliği gösterilmiştir. Son olarak, elde edilen analitik ifadelerden bulunan nümerik sonuçlar benzetim sonuçları ile kıyaslamalı olarak verilmiştir.

2. KANAL MODELİ (CHANNEL MODEL)

α - κ - μ dağılımı sönümlenmeden kaynaklanan küçük ölçekli değişimleri modellemede kullanılan genel ve başarılı bir kanal modelidir. Bu kanal modeline ait anlık SNR'nin PDF'si şu şekildedir [17]:

$$f_{\gamma}(\gamma) = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{\alpha \mu^{\mu+2j} \kappa^j (1+\kappa)^{\mu+j}}{2\Gamma(\mu+j) j! e^{\kappa\mu} \bar{\gamma}^{\alpha(\mu+j)/2}} \gamma^{\frac{\alpha}{2}(\mu+j)-1} e^{-\frac{\mu(1+\kappa)}{\bar{\gamma}^{\alpha/2}} \gamma^{\alpha/2}} \quad (1)$$

burada γ anlık SNR'yi, $\bar{\gamma}$ ortalama SNR'yi, $\Gamma(\cdot)$ Gamma fonksiyonunu, $\alpha > 0$ ortamın lineer olmayan etkilerini tanımlayan parametreyi, $\kappa > 0$ baskın bileşenlerin toplam gücünün saçılan dalgaların toplam gücüne oranını, $\mu > 0$ çok yollu kümelerin sayısını ifade etmektedir. Bu dağılımda $\alpha > 2$ olduğunda κ - μ dağılımı elde edilmektedir. Diğer özel durumlar Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. α - κ - μ dağılımının kapsadığı özel durumlar

Sönümlenme	α	κ	μ
Tek taraflı Gaussian	2	$\rightarrow 0$	0.5
Rayleigh	2	$\rightarrow 0$	1
Nakagami- m	2	$\rightarrow 0$	m
Rice	2	k	1

3. EFEKTİF KAPASİTE ANALİZİ (EFFECTIVE CAPACITY ANALYSIS)

Efektif kapasite, matematiksel olarak aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [12]:

$$C = -\frac{1}{A} \log_2 \left(E \left[(1+\gamma)^{-A} \right] \right) \text{ bit/s/Hz} \quad (2)$$

burada $A = \theta TB / \ln 2$, $E(\cdot)$ beklenen değer operatörü, θ asimptotik zayıflama oranı, T blok uzunluğu ve

B ise band genişliğidir. Eşitlik (2)'deki ifade yeniden aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$C = -\frac{1}{A} \log_2 \left(\underbrace{\int_0^\infty (1+\gamma)^{-A} f_\gamma(\gamma) d\gamma}_I \right) \tag{3}$$

Eşitlik (3)'te $\theta \rightarrow 0$ olduğunda $A \rightarrow 0$ olacağı için Shannon ergodik kapasite elde edilmektedir. Eşitlik (1) ile verilen PDF ifadesi I integralinde yerine yazılırsa

$$I = \beta \int_0^\infty \gamma^{\frac{\alpha}{2}(\mu+j)-1} e^{-\frac{\mu(1+\kappa)}{\bar{\gamma}^{\alpha/2}} \gamma^{\alpha/2}} (1+\gamma)^{-A} d\gamma \tag{4}$$

haline dönüşür. Burada

$$\beta = \sum_{j=0}^\infty \frac{\alpha \mu^{\mu+2j} \kappa^j (1+\kappa)^{\mu+j}}{2\Gamma(\mu+j) j! e^{\kappa\mu} \bar{\gamma}^{\alpha(\mu+j)/2}} \tag{5}$$

şeklinde. Bilindiği kadarıyla eşitlik (4)'teki integral için kapalı formda bir çözüm bulunmamaktadır. Bu yüzden integralde bulunan üstel terim ifadesi için aşağıda verilen fonksiyonel ilişki kullanılmıştır [23, (8.4.3.1)]:

$$e^{-x} = G_{0,1}^{1,0} \left(x \middle| \begin{matrix} - \\ 0 \end{matrix} \right) \tag{6}$$

Burada $G_{p,q}^{m,n} \left(\cdot \middle| \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$ terimi Meijer'in G fonksiyonunu ifade etmektedir [24]. Eşitlik (6)'dan faydalanarak eşitlik (4) aşağıdaki gibi yeniden düzenlenmiştir:

$$I = \beta \int_0^\infty \gamma^{\frac{\alpha}{2}(\mu+j)-1} (1+\gamma)^{-A} G_{0,1}^{1,0} \left(\frac{\mu(1+\kappa)}{\bar{\gamma}^{\alpha/2}} \gamma^{\alpha/2} \middle| \begin{matrix} - \\ 0 \end{matrix} \right) d\gamma \tag{7}$$

Eşitlik (7)'deki integral [23, (2.24.2.4)] yardımıyla çözülmüş ve I ifadesi aşağıdaki gibi türetilmiştir:

$$I = \sum_{j=0}^\infty \frac{\alpha^A \mu^{\mu+2j} \kappa^j (1+\kappa)^{\mu+j} \sqrt{2}}{2\Gamma(\mu+j) j! e^{\kappa\mu} \bar{\gamma}^{\alpha(\mu+j)/2} (2\pi)^{\alpha-0.5}} G_{\alpha,\alpha+2}^{\alpha+2,\alpha} \left(\frac{\left(\frac{\mu(1+\kappa)}{\bar{\gamma}^{\alpha/2}} \right)^2}{4} \middle| \begin{matrix} \Delta\left(\alpha, 1-\frac{\alpha}{2}(\mu+j)\right) \\ \Delta\left(\alpha, A-\frac{\alpha}{2}(\mu+j)\right), \Delta(2,0) \end{matrix} \right) \tag{8}$$

Burada $\Delta(k,a) = \frac{a}{k}, \frac{a+1}{k}, \dots, \frac{a+k-1}{k}$ olarak tanımlanmaktadır. Eşitlik (8)'deki ifade (3)'te yerine konularak, C

$$C = -\frac{1}{A} \log_2 \left(\sum_{j=0}^\infty \frac{\alpha^A \mu^{\mu+2j} \kappa^j (1+\kappa)^{\mu+j} \sqrt{2}}{2\Gamma(\mu+j) j! e^{\kappa\mu} \bar{\gamma}^{\alpha(\mu+j)/2} (2\pi)^{\alpha-0.5}} G_{\alpha,\alpha+2}^{\alpha+2,\alpha} \left(\frac{\left(\frac{\mu(1+\kappa)}{\bar{\gamma}^{\alpha/2}} \right)^2}{4} \middle| \begin{matrix} \Delta\left(\alpha, 1-\frac{\alpha}{2}(\mu+j)\right) \\ \Delta\left(\alpha, A-\frac{\alpha}{2}(\mu+j)\right), \Delta(2,0) \end{matrix} \right) \right) \tag{9}$$

olarak bulunmuştur.

4. YÜKSEK SNR ANALİZİ (HIGH SNR ANALYSIS)

Yüksek SNR şartları altında, $\bar{\gamma} \rightarrow \infty$, iken eşitlik (1)'de verilen PDF ifadesinde bulunan üstel terim

$$\exp\left(-\frac{\mu(1+\kappa)}{\bar{\gamma}^{\alpha/2}}\gamma^{\alpha/2}\right) \rightarrow 1 \quad (10)$$

olarak alınabilir. Buna göre PDF ifadesi tekrar düzenlenip (4)'te yerine konulursa

$$I^{asm} = \beta \int_0^\infty \gamma^{\frac{\alpha}{2}(\mu+j)-1} (1+\gamma)^{-A} d\gamma \quad (11)$$

elde edilir. Daha sonra [24, (3.194.3)] yardımıyla ve (5) kullanılarak, I^{asm}

$$I^{asm} = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{\alpha \mu^{\mu+2j} \kappa^j (1+\kappa)^{\mu+j} B(\lambda, A-\lambda)}{2\Gamma(\mu+j) j! e^{\kappa\mu} \bar{\gamma}^{\alpha(\mu+j)/2}} \quad (12)$$

olarak türetilmiştir. Burada $\lambda = \alpha(\mu+j)/2$ ve $B(\cdot, \cdot)$ beta fonksiyonudur [24]. (11) ifadesi (3)'te yerine yazılarak asimptotik efektif kapasite, C^{asm} , aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$C^{asy} = -\frac{1}{A} \log_2 \left(\sum_{j=0}^{\infty} \frac{\alpha \mu^{\mu+2j} \kappa^j (1+\kappa)^{\mu+j} B(\lambda, A-\lambda)}{2\Gamma(\mu+j) j! e^{\kappa\mu} \bar{\gamma}^{\alpha(\mu+j)/2}} \right) \quad (13)$$

Görüldüğü gibi, eşitlik (13), eşitlik (9)'daki ifadeye göre hem karmaşıklık açısından daha basit hem de temel fonksiyonlar içermektedir.

5. NÜMERİK SONUÇLAR (NUMERICAL RESULTS)

Bu bölümde, α - κ - μ sönümlü kanalların efektif kapasitesi için (9)'dan elde edilen analitik sonuçlar ve (13)'ten elde edilen asimptotik sonuçlar, benzetim sonuçları ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Aynı zamanda türetilen efektif kapasite ifadesinde bulunan sonsuz seri açılımından kaynaklanan kesme hatası için nümerik sonuçlar Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 2. Eşitlik (9)'daki Sonsuz Seri Açılımının Belirli Bir Sayıda Terim İçin Efektif Kapasite Değerleri

J	$\alpha = 1, \kappa = 2, \mu = 3$	
	Efektif Kapasite ($\bar{\gamma} = 10$ dB)	Efektif Kapasite ($\bar{\gamma} = 20$ dB)
5	1.7845771635382834	3.1896056381891116
10	1.7754825951689117	3.1893603710119596
15	1.775465687348759	3.1893602669638383
20	1.7754657274611227	3.189360267161789
25	1.7754657274553383	3.1893602671617605
30	1.7754657274553385	3.1893602671617605
35	1.7754657274553385	3.1893602671617605

Tablo 2'de ise eşitlik (9) için efektif kapasite değerleri sonsuz toplamın üst sınırı J terim alındığında $\alpha = 1, \kappa = 2, \mu = 3$ için iki farklı ortalama SNR değerine göre verilmektedir. Ondalıklı kısım 16 hane olarak

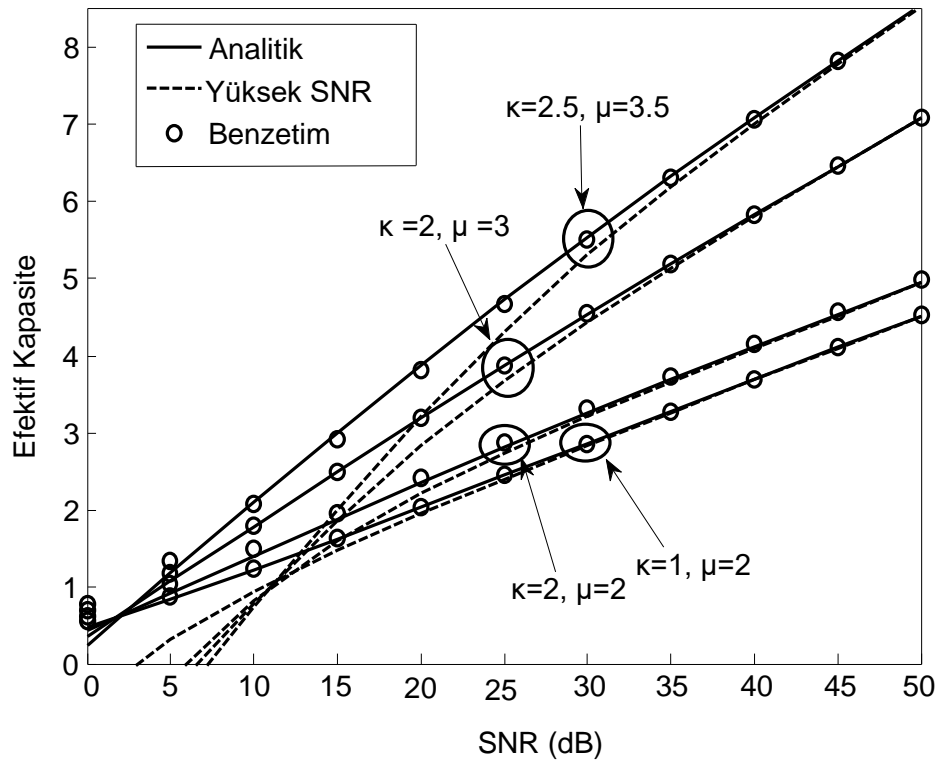
alınmıştır. Ortalama SNR 10 dB olduğunda efektif kapasite değeri $J=30$ 'dan sonra değişmez iken ortalama SNR 20 dB olduğunda ise $J=25$ 'ten sonra değişmediği görülmektedir. Buna göre türetilen ifadelerde sonsuz seri toplamın üst sınırının 30 alınmasının yeterli olduğu anlaşılmaktadır. Tablo 3'te bağıl kesme hatası (relative truncation error, RTE) sonuçları gösterilmektedir. Bu tablodan da görüleceği gibi RTE çok hızlı bir şekilde küçülmektedir. Örneğin 10 dB değerinde 20 terim için 3.2580×10^{-12} iken ortalama SNR yükseldikçe daha az terim alınarak çok küçük RTE değerleri elde edilmektedir.

Tablo 3. Eşitlik (9)'daki Sozsuz Seri Açılımının Belirli Bir Sayıda Terim İçin RTE Değerleri

J	$\alpha = 1, \kappa = 2, \mu = 3$	
	RTE ($\bar{\gamma} = 10$ dB)	RTE ($\bar{\gamma} = 20$ dB)
5	0.0051	7.6902×10^{-5}
10	9.5230×10^{-6}	3.2624×10^{-8}
15	2.2593×10^{-8}	6.2066×10^{-11}
20	3.2580×10^{-12}	8.9114×10^{-15}

Tablo 2 ve Tablo 3'ten anlaşılacağı gibi türetilen analitik ifadelerin bağıl kesme hatası, sonsuz seri açılımındaki üst sınırın küçük değerleri için hızlı biçimde azalmaktadır.

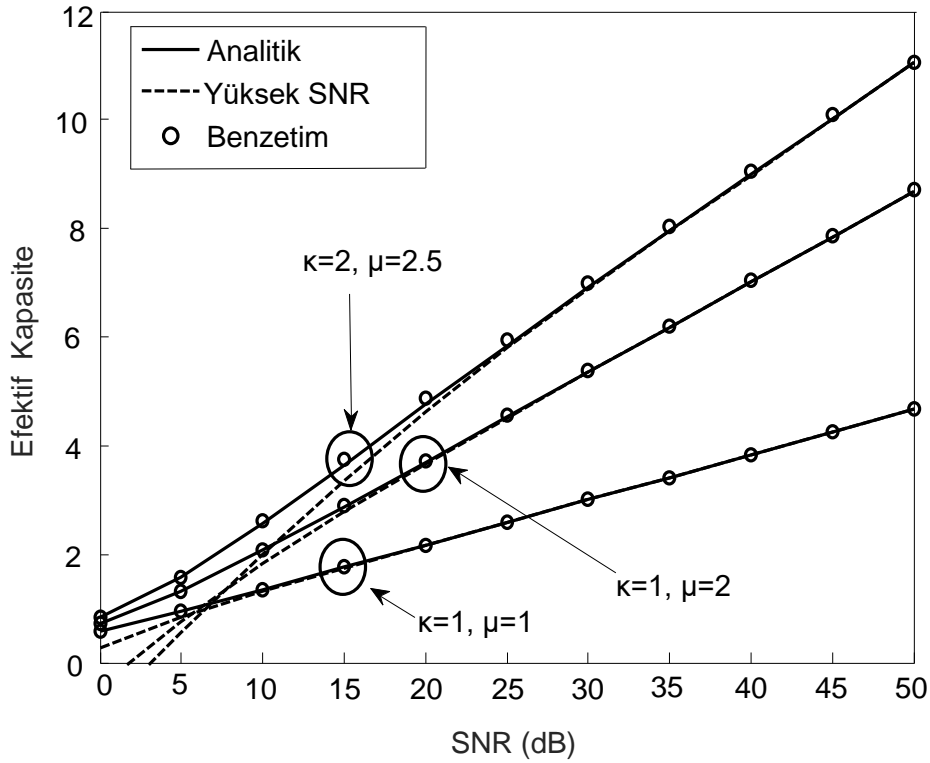
Şekil 1'de $\alpha=1$ iken farklı κ ve μ değerleri için efektif kapasite gösterilmektedir. Şekil 1'de eşitlik (9) ile elde edilen analitik sonuçların benzetim sonuçları ile tam uyum içinde olduğu görülmektedir. Aynı zamanda eşitlik (13) ile elde edilen asimptotik sonuçlar yüksek SNR bölgesinde hem analitik hem de benzetim sonuçları ile mükemmel uyum sağlamaktadır. Verilen sonuçlar incelendiğinde; $\kappa=1, \mu=2$ durumundan $\kappa=2, \mu=2$ durumuna geçişte elde edilen kapasite artışı ile $\kappa=2, \mu=2$ durumundan $\kappa=2, \mu=3$ durumuna geçişte sağlanan kapasite artışı kıyaslandığında μ parametresinin değerinin artırılmasının daha yüksek kapasite artışına neden olduğu görülmektedir.



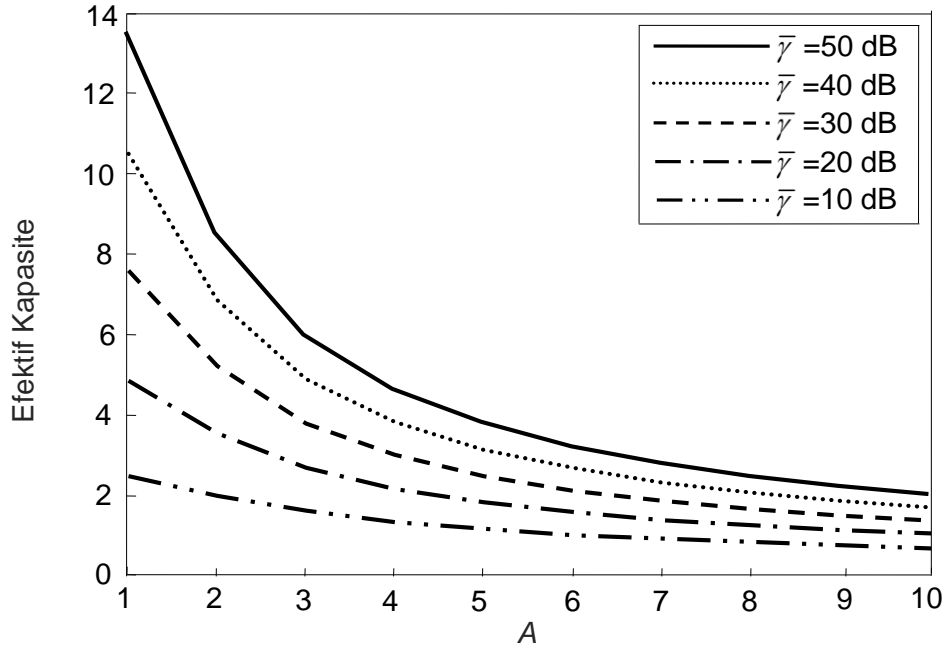
Şekil 1. $\alpha=1$ ve $A=4$ iken α - κ - μ sönümlü kanalların efektif kapasitesi

Şekil 2’de $\alpha=2$ olduğunda farklı κ ve μ değerleri için efektif kapasite sonuçları verilmektedir. Yine bu şekilden de görüleceği gibi elde edilen analitik sonuçlar, asimptotik sonuçlar ve benzetim sonuçları mükemmel bir uyum içindedir. Şekil 1 incelendiğinde $\alpha=1, \kappa=1, \mu=2$ durumunda efektif kapasite 50 dB’de yaklaşık 4.5 bit/s/Hz iken Şekil 2’ye bakılırsa aynı SNR değerinde $\alpha=2, \kappa=1, \mu=2$ iken efektif kapasite yaklaşık 8.6 bit/s/Hz olmaktadır. Bu sonuca göre κ ve μ değerleri sabit iken $\alpha=1$ ’den $\alpha=2$ ’ye geçişte efektif kapasitenin neredeyse 2 katına çıktığı görülmektedir. Aynı zamanda Şekil 1 ve Şekil 2 incelenirse sönümlenme parametresinin değerleri arttırıldığında beklenildiği gibi kanal şartlarının iyileşmesine paralel olarak efektif kapasitenin de arttığı sonucu gözlenmektedir.

Şekil 1 ve Şekil 2’deki bütün sonuçlar $A=4$ durumunda ortalama SNR değişimine göre gösterilmiştir. Şekil 3’te ise A parametresinin değişiminin efektif kapasiteye olan etkisi incelenmektedir. Bu şekilde $\alpha=2, \kappa=1, \mu=1$ alınarak farklı ortalama SNR değerlerine göre efektif kapasitenin A parametresine göre değişimi verilmektedir. Bu şekilden görüleceği üzere ortalama SNR değeri azaldıkça efektif kapasite de azalmaktadır. Aynı zamanda A parametresinin artışı da efektif kapasitenin azalmasına neden olmaktadır. Bunun nedeni, θ ile gösterilen gecikme kısıtının değerinin artmasıdır. $\theta \rightarrow 0$ olduğunda ise efektif kapasite Shannon kapasitesine yaklaşmaktadır.



Şekil 2. $\alpha=2$ ve $A=4$ iken α - κ - μ sönümlü kanalların efektif kapasitesi



Şekil 3. $\alpha=2, \kappa=1, \mu=1$ iken A parametresinin değişimine göre α - κ - μ sönümlü kanalların efektif kapasitesi

6.SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, α - κ - μ sönümlü kanallar için efektif kapasite analizi yapılmıştır. Efektif kapasite için analitik ve yüksek SNR ifadeleri türetilerek sönümlenme parametresinin ve A parametresinin farklı değerleri için başarımları incelenmiştir. Elde edilen analitik sonuçların benzetim sonuçları ile tam uyum içinde olmasıyla yapılan analizlerin doğruluğu gösterilmiştir. Buna ek olarak α - κ - μ dağılımı bazı popüler kanal modellerini özel durum olarak içerdiği için bu çalışmada türetilen analitik ifade aracılığıyla farklı kablosuz kanal ortamları için de efektif kapasite analizleri yapılması mümkündür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] G. Fraidenreich, M. D. Yacoub, The α - η - μ and α - κ - μ Fading Distributions, IEEE Ninth International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications, Manaus, (2006), 16-20.
- [2] A. K. Papazafeiropoulos, S. A. Kotsopoulos, The α - λ - μ and α - η - μ Small-Scale General Fading Distributions: A Unified Approach, Wireless Personal Communications, 5: 4 (2011) 735-751.
- [3] N. Kapucu, M. Bilim, I. Develi, Outage Performance of Cooperative DS-CDMA Systems With Best Path Selection Over α - η - μ Fading Channels, Electronics Letters, 53: 11 (2017) 752-754.
- [4] M. D. Yacoub, The α - μ Distribution: A Physical Fading Model For The Stacy Distribution, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 56: 1 (2007) 27-34.
- [5] M. D. Yacoub, The κ - μ Distribution and The η - μ Distribution, IEEE Antennas and Propagation Magazine, 49: 1 (2007) 68-81.

- [6] M. D. Yacoub, The α - η - κ - μ Fading Model, IEEE Antennas and Propagation Magazine, 64: 8 (2016) 3597-3610.
- [7] S. K. Yoo, S. L. Cotton, P. C. Sofotasios, M. Matthaiou, M. Valkama, G. K. Karagiannidis, The Fisher-Snedecor F Distribution: A Simple And Accurate Composite Fading Model, IEEE Communications Letters, 21: 7 (2017) 1661-1664.
- [8] M. Bilim, Karma Weibull/Log-Normal Sönümlenmeli Kanalin Hata Olasılığı Analizi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 7(1) (2019) 203-212.
- [9] X. Li, X. Chen, J. Zhang, Y. Liang, Y. Liu, Capacity Analysis of α - η - κ - μ Fading Channels, IEEE Communications Letters, 21: 6 (2017) 1449-1452.
- [10] A. Mathur, Y. Ai, M. R. Bhatnagar, M. Cheffena, T. Ohtsuki, On Physical Layer Security of α - η - κ - μ Fading Channels, IEEE Communications Letters, 22: 10 (2018) 2168-2171.
- [11] D. Dixit, P. R. Sahu, Performance of L -Branch MRC Receiver in η - μ and κ - μ Fading Channels for QAM Signals, IEEE Wireless Communications Letters, 1: 4 (2012) 316-319.
- [12] F. S. Almeahadi, O. S. Badarneh, On the Effective Capacity of Fisher-Snedecor F Fading Channels, Electronics Letters, 54: 18 (2018) 1068-1069.
- [13] S. Chen, J. Zhang, G. K. Karagiannidis, B. Ai, Effective Rate of MISO Systems over Fisher-Snedecor F Fading Channels, IEEE Communications Letters, 22: 12 (2018) 2619-2622.
- [14] O. S. Badarneh, M. S. Aloqlah, Performance Analysis of Digital Communication Systems over α - η - μ Fading Channels, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 65: 10 (2016) 7972-7981.
- [15] C. B. Issaid, M. -S. Alouini, R. Tempone, On the Fast and Precise Evaluation of the Outage Probability of Diversity Receivers over α - μ , κ - μ and η - μ Fading Channels, IEEE Transactions on Wireless Communications, 17: 2 (2018) 1255-1268.
- [16] N. Kapucu, M. Bilim, Analysis of Analytical Capacity for Fisher-Snedecor F Fading Channels with Different Transmission Schemes, Electronics Letters, 55: 5 (2019) 283-285.
- [17] J. M. Moualeu, D. B. da Costa, W. Hamouda, U. S. Dias, A. A. de Souza, Performance Analysis of Digital Communication Systems over α - κ - μ Fading Channels, IEEE Communications Letters, 23: 1 (2019) 192-195.
- [18] E. Salahat, A. Hakam, Performance analysis of α - η - μ and α - κ - μ generalized mobile fading channels, 20th European Wireless Conference, Barcelona, (2014) 1-6.
- [19] A. K. Papazafeiropoulos, S. A. Kotsopoulos, Second-order Statistics for the Envelope of α - κ - μ Fading Channels, IEEE Communications Letters, 14: 4 (2010) 291-293.
- [20] B. Samudhyatha, S. Gurugopinath, K. Saraswathi, Maximum eigenvalue-based spectrum sensing over α - κ - μ and α - η - μ fading channels, IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), Montreal, (2017) 1-5.
- [21] S. Gurugopinath, S. Shobitha, Energy-based Bayesian spectrum sensing over α - κ - μ fading channels, 9th International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS), Bangalore, (2017) 95-100.

- [22] F. P. Batista, R. A. A. de Souza, A. M. O. Ribeiro, Maximum likelihood estimator for the α - κ - μ fading environment, IEEE Wireless Communications And Networking Conference, Doha, (2016) 1-6.
- [23] Prudnikov, A. P., Brychkov, Y. A., Marichev, O. I., Integrals and series: more special functions (Vol. 3) , New York: Gordon Breach Sci. Publ., 1990.
- [24] Gradshteyn, I. S., Ryzhik, I. M., "Table of integrals, series and products", Academic Press, London, UK, 2007.

Investigation of the Effect of Chip Breaker Form on Surface Roughness and Cutting Forces in AISI 1040 Steel Milling

 İbrahim ÇAKMAK¹, Yakup TURGUT^{2*}
¹Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Eğitimi Anabilim Dalı, 06500, Yenimahalle/ANKARA

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 27/01/2019

Revision 15/05/2019

Accepted: 07/06/2019

Highlights

- The effects of chip breaker form
- Milling of AISI 1040 steel at CNC vertical machine center
- The best surface roughness and cutting forces values is determination

Keywords

 Chip breaker form
 Surface roughness
 Cutting force
 AISI 1040

In this study, the effects of chip breaker forms (E-PL, M-PL, M-PM, M-MM) on the surface roughness and cutting forces were investigated in milling of AISI 1040 steel at CNC vertical machining center. Experimental studies were performed at four cutting speeds (150, 225, 300, 375 m/min), three feed rates (0.05, 0.1, 0.15 mm/tooth) and 1 mm depth of cut in dry cutting conditions. As a result of the experiments, the best surface roughness values and the lowest cutting force values were obtained with cutting tools having chip breaker form E-PL. The best surface roughness values were determined as 0,134 μm , at the cutting speed of 375 m/min and at 0,05 mm / tooth feed with E-PL coded cutting tool.

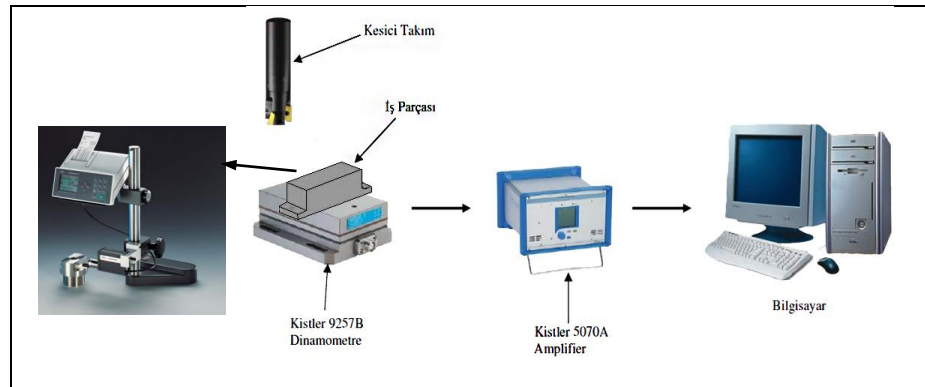


Figure A. Schematic of experimental setup

Purpose: In this study, the effects of chip breaker forms (E-PL, M-PL, M-PM, M-MM) on the surface roughness and cutting forces were investigated in milling of AISI 1040 steel at CNC vertical machining center.

Theory and Methods: Experimental studies were performed at four cutting speeds (150, 225, 300, 375 m/min), three feed rates (0.05, 0.1, 0.15 mm/tooth) and 1 mm depth of cut in dry cutting conditions in milling of AISI 1040 steel at CNC vertical machine center.

Results: As a result of the experiments, the best surface roughness values and the lowest cutting force values were obtained with cutting tools having chip breaker form E-PL. The best surface roughness values were determined as 0,134 μm , at the cutting speed of 375 m/min and at 0,05 mm / tooth feed with E-PL coded cutting tool.

Conclusion: Surface roughness was increased for all cutting tools with the increase in feed rate and decreased with increasing cutting speed. It was observed that cutting force increases with the increase in feed rate and decreases with the decrease in cutting speed.



AISI 1040 Çeliğinin Frezelenmesinde Talaş Kırıcı Formunun Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetlerine Etkisinin Araştırılması

İbrahim ÇAKMAK¹, Yakup TURGUT^{2*}

¹Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Eğitimi Anabilim Dalı, 06500, Yenimahalle/ANKARA

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Öz

Bu çalışmada, AISI 1040 çeliğinin CNC dik işleme merkezinde frezelenmesinde farklı talaş kırıcı formlarına sahip (E-PL, M-PL, M-PM, M-MM) kesici uçların, yüzey pürüzlülüğü ile kesme kuvvetlerine etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar, kuru kesme şartlarında dört kesme hızı (150, 225, 300, 375 m/dak), üç ilerleme miktarı (0.05, 0.1, 0.15 mm/diş) ve 1 mm kesme derinliğinde yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, en iyi yüzey pürüzlülük değerleri ve en düşük kesme kuvveti değerleri E-PL kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici takımlarla elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülükleri bütün kesiciler için genel olarak ilerlemenin artışı ile artmış, kesme hızının artışı ile azalmıştır. En iyi yüzey pürüzlülük değerleri, E-PL kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici ile 0,05 mm/diş ilerleme değerinde 375 m/dak kesme hızında 0,134 µm olarak belirlenmiştir. Kesme kuvvetleri ise ilerleme değerlerinin artmasıyla artmış, kesme hızlarının artmasıyla azalmıştır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 27/01/2019

Düzeltilme: 15/05/2019

Kabul: 07/06/2019

Anahtar Kelimeler

Talaş kırıcı formu

Yüzey pürüzlülüğü

Kesme kuvveti

AISI 1040

Keywords

Chip breaker form

Surface roughness

Cutting force

AISI 1040

Abstract

In this study, the effects of chip breaker forms (E-PL, M-PL, M-PM, M-MM) on the surface roughness and cutting forces were investigated in milling of AISI 1040 steel at CNC vertical machining center. Experimental studies were performed at four cutting speeds (150, 225, 300, 375 m/min), three feed rates (0.05, 0.1, 0.15 mm/tooth) and 1 mm depth of cut in dry cutting conditions. As a result of the experiments, the best surface roughness values and the lowest cutting force values were obtained with cutting tools having chip breaker form E-PL. Surface roughness was increased for all cutting tools with the increase in feed rate and decreased with increasing cutting speed. The best surface roughness values were determined as 0,134 µm, at the cutting speed of 375 m/min and at 0,05 mm / tooth feed with E-PL coded cutting tool. In addition, it was observed that cutting force increases with the increase in feed rate and decreases with the decrease in cutting speed.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Frezeleme işlemi makine imalat sektöründe, otomotiv (özellikle otomotiv yan sanayinde) ve uçak endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Frezeleme işlemi ile düzlem yüzeyler, eğik, dairesel ve çeşitli profildeki yüzeyler, vidalar, dişli çarklar ve kanallar, istenilen kalitede seri olarak işlenebilmektedir. Freze tezgâhlarında kullanılan birçok kesici takımında kesici ağız sayısı birden fazla olduğu için verimlilikleri yüksektir ve işlenen yüzeylerde istenilen kalite elde edilebilmektedir [1].

Metal işleme esnasında, malzemenin fazla kısımları kesici takımlar sayesinde talaş şeklinde atılırlar. Bu talaşlar, kesme şartlarına bağlı olarak değişik şekillerde oluşurlar. Aynı zamanda, çeşitli formlardaki talaş oluşumu iş parçası ve takım malzemelerine ve kesici takım geometrisine de bağlıdır. [2]. Takım üreticilerine göre, kesici takımların imalat prosedürleri, özellikle mikro geometri hazırlama (kesici kenar gibi), takımların performansları ve tutarlılıkları üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Talaş oluşum mekanizmasını daha iyi anlamak ve kesme kuvvetleri, kesme sıcaklıkları, takım aşınması, yüzey kalitesi ve

işlenmiş yüzey bütünlüğü gibi işleme performanslarını doğru bir şekilde tahmin etmek için kesici takım kenarı etkisini dikkate almak önemlidir [3].

Talaşlı imalatta ideal işlenebilirlik parametrelerinin belirlenmesinde, işlenen malzemenin mekanik özellikleri, kesici takım sertliği, ilerleme miktarı, kesme derinliği, kesme hızı ve kesici takım geometrisi önemli bir rol oynamaktadır [4]. Kesici takım geometrisini oluşturan en önemli parametrelerden biri de talaş kırıcı formudur. Kesici takımlardaki talaş kırıcı formları, kesme direncini azaltır ve iş parçasında daha iyi bir yüzey kalitesini sağlamada yardımcı olur [5]. Kesici takım üzerindeki talaş kırıcılar, kesici takım ile talaş arasındaki temas alanını geleneksel kesicilere göre daha kısaltmaktadır. Bu sebeple talaş kırıcı formları kesici takım-talaş ara yüzeyindeki sıcaklığı ve güç tüketimini düşürerek işlenen parçalarda yüzey bütünlüğü açısından avantajlar sunmaktadır [6].

Yüzey pürüzlülüğü, işlenmiş parçalar üzerindeki yüzey kalitesinin esas göstergesidir. Yüzey pürüzlülüğü esas olarak, uç yarıçapı, kesme kenarı geometrisi, boşluk açısı gibi takım geometrisi ve ilerleme oranı, kesme hızı, kesme derinliği gibi işleme parametrelerine bağlıdır [7]. Üretilen parçaların yüzey kalitelerinin geliştirilmesi ve belirlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün rolü büyüktür. Bununla birlikte yüzey pürüzlülüğü, üretilen bir ürünün yorulma ve aşınma direncini, ısıl iletkenliğini, sürtünme ve yağlama gibi özelliklerini de etkilemektedir. Üretilen parçalarda yüzey yapısı (pürüzlülüğü) bu alanlarda değil aynı zamanda; hidrodinamik, sızdırmazlık, elektrik, ısı iletimi vb. alanlarda da dikkat edilmesi gereken önemli bir faktördür [8].

Mühendislik tasarımlarında, malzemelerin veya ürünlerin maruz kaldığı gerilmelerin ölçümü, basıncın veya yüklerin sebep olduğu kuvvetlerin ölçümü oldukça önemlidir. Bunun yanında, kesici takımlardaki aşınma ile kesme kuvvetleri arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilmek için kesme kuvvetlerini ölçmek gerekir. Özellikle de kesme parametrelerine bağlı kesme kuvvetlerinin durumları belirlenmek isteniyorsa kesme kuvvetlerinin iyi bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir [9].

Metal işlemede, işleme değişkenlerinden doğrudan etkilenen en önemli çıkış değişkenlerinden biri de kesme kuvvetleridir. Kesme kuvvetleri ise; ilerleme miktarı, kesme derinliği, kesme hızı, takım ve talaş geometrisi, işlenen malzeme, kesici takım - tezgâh çiftinin dinamik özellikleri, bağlama şekilleri, takım aşınması, sıcaklık, titreşim gibi faktörlerden etkilenir. Kesme kuvvetleri sayesinde kesici takım ile ilgili önemli bilgilere ulaşılırken bu bilgiler bize işlenebilirlik hakkında, takım kırılması veya aşınması hakkında, yüzey yapısı hakkında ön bilgiler sunmaktadır [10,11].

Bahsedilen bu konularla bağlantılı literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Altınkaya ve Güllü, paslanmaz çeliği (AISI 316) parmak freze ile işlerken, kesici uç talaş kırıcı formunun (ERGP, SRGC, ERGC) takım aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmışlardır. En düşük yüzey pürüzlülük değerini ERGC kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici uçla elde ettiklerini belirtmişlerdir [12]. Domaç frezeleme işleminde kesici uç yarıçapı ve uç geometrisinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin araştırmış ve en iyi sonucu pahlı kesme kenarına sahip kesici uçlarla elde ettiğini belirtmiştir [13]. Sarı ve arkadaşları AISI 1040 çeliği üzerinde yapmış oldukları frezeleme deneylerinde, takım geometrisi ve tirlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda en iyi yüzey pürüzlülüğünü 0° talaş açılı kesici ile 45° yaklaşma açısında ve 0,4-0,8 mm kesici uç yarıçapına sahip kesicilerle elde edildiğini ifade etmişlerdir [14]. Chang, 304 paslanmaz çeliğin yüzey frezelenmesinde pahlı esas kesme kenarının talaş yapısına ve talaş oluşum mekanizmasına etkisini araştırmıştır. Uygun kesme şartları diye belirttiği kesme şartlarında pahlı ana kesme kenarına sahip kesici takımlar kullanıldığında oluşan talaşın akışının daha kolay olduğunu belirtmiştir [15].

Gürbüz ve ark. AISI 1050 çeliğinin tornalamışlar ve işlenen parçalardaki yüzey pürüzlülüğüne talaş kırıcı formlarının ve kesme parametrelerinin etkilerini araştırmışlardır. Ayrıca yapay sinir ağları ile talaş kırıcı formlarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini modellemişlerdir. Sonuç olarak talaş kırıcı formların ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri tartışılmıştır [5]. Gürbüz ve ark. AISI 1050 çelik malzemeyi beş farklı talaş kırıcı formuna sahip kesici takımlar ile tornalayıp, sabit kesme hızında, üç farklı ilerleme ve iki farklı kesme derinliğinde talaş kırıcı formlarının esas kesme kuvveti üzerindeki etkilerini matematiksel olarak analiz etmişlerdir. Çalışma ile tüm talaş kırıcı formları için 10 farklı matematiksel model oluşturulmuş ve bu oluşturulan matematiksel modellerin genel olarak yüksek tutarlılık gösterdiği belirtilmiştir [16]. Gürbüz ve ark., AISI 316L çeliğin tornalanmasında kesici

takım kenar formu ve talaş kırıcı formlarının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır. Araştırmada MR, MM, QM talaş kırıcı formu kullanılmış ve en yüksek kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü MR talaş kırıcı formunda, en düşük kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ise QM talaş kırıcı formunda elde edildiği belirtilmiştir [17]. Yılmaz ve ark. inonel 718 malzemenin tornalanmasında harici bir talaş kırıcı tasarlamışlar ve talaş kırıcının performansını araştırmışlardır. Geliştirilen bu talaş kırıcı ile tüm kesme parametreleri ve talaş morfolojileri bakımından iyi talaş kırma özelliği elde edildiği vurgulanmıştır [18]. Nalbant ve ark. inonel 718 malzemenin tornalanmasında, kesici takım geometrisinin ve kesme hızının, kesme kuvvetleri üzerindeki etkisini araştırmışlar ve dört farklı geometrideki kesici takımda oluşan kesme kuvvetlerini karşılaştırmışlardır [19].

Bu çalışmalardan başka literatürde tornalama işleminde talaş kırıcı formu, kesici kenar formu ve talaş kırma ile ilgili birçok çalışmanın yapıldığı [20-26] ancak frezeleme işleminde bu tür çalışmaların sınırlı olduğu görülmüştür. Frezeleme işleminde farklı kesme kenar geometrileri, kesme parametreleri ve kesici uç sayılarının yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin araştırıldığı, talaş kırıcı geometrisi üzerine yapılan çalışmaların ise oldukça az olduğu görülmüştür. Yapılan bu çalışmada, farklı talaş kırıcı geometrilerine sahip kesici uçlarla AISI 1040 çeliğinin frezelenmesinde talaş kırıcı geometrilerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2. MALZEME VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Deney Malzemesi (Experiment Material)

Bu çalışmada, imalat sektöründe yaygın olarak kullanılan AISI 1040 çeliği kullanılmıştır. AISI 1040 çeliği makine sanayinde, otomotiv sektöründe ve imalat sanayinin yanı sıra özellikle cer kancaları, dişliler, kazıcılar, raylar vb. birçok alanda kullanılan bir malzemedir [27]. Deneylerde kullanılan malzemenin boyutları 100x50x12 mm olup, kimyasal kompozisyonu Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Deney malzemesinin kimyasal kompozisyonu (Ağırlık%)

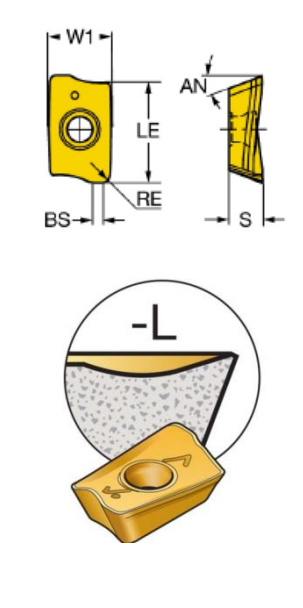
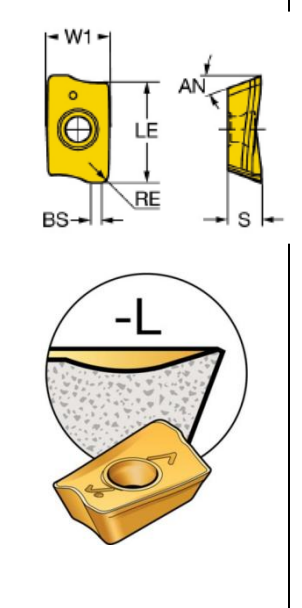
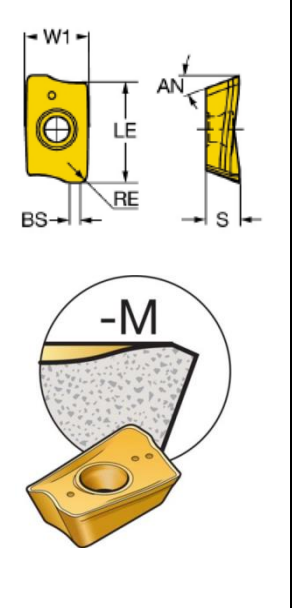
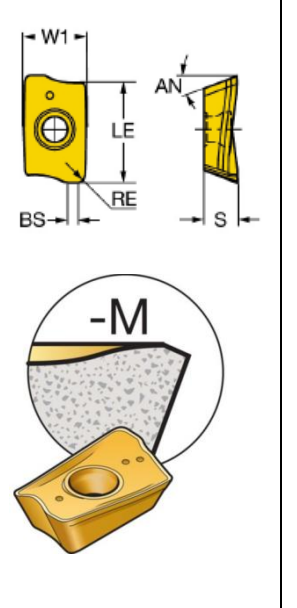
Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Fe
AISI 1040	0,15-0,24	0,1-0,3	0,3-0,6	0,04	0,05	Diğer

2.2. Deneylerde Kullanılan Takım Tezgâhı ve Kesici Takım (Machine and Cutting Tool Used in The Experiments)

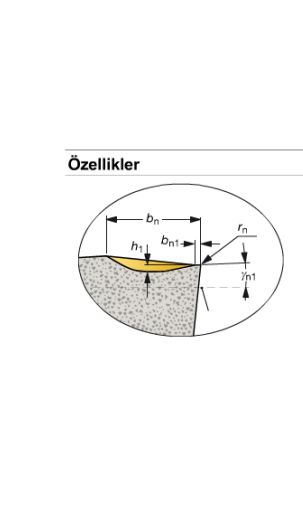
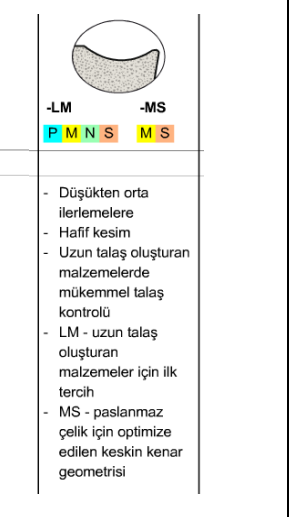
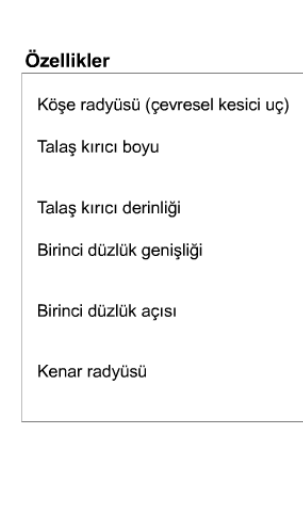

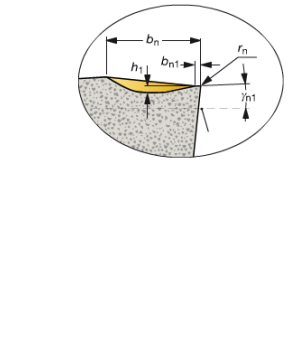
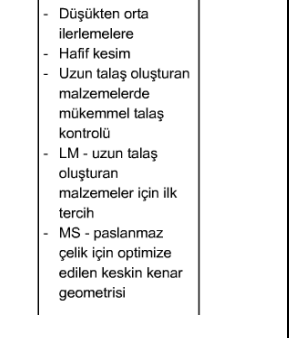
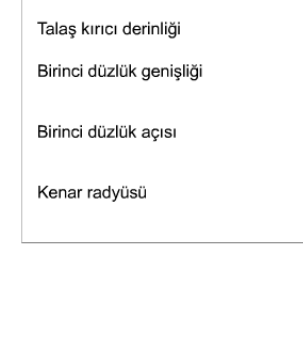

Deneyler, FANUC kontrol ünitesine sahip Johnford VMC-550 CNC dik işleme merkezinde kuru kesme şartlarında yapılmıştır. Deneylerde dört farklı talaş kırıcı geometrisine sahip; R390-11 T3 08 E-PL1030, R390-11 T3 08 M-PL1030, R390-11 T3 08 M-PM1030 ve R390-11 T3 08 M-MM2040 kodlu PVD kaplamalı karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Kesici takımları bağlamada 25A3R040A25SAD10 kodlu takım tutucu kullanılmıştır. Deneyler esnasında takım tutucuya bir adet kesici uç bağlanmıştır. Tablo 2’de deneylerde kullanılan kesici takımların boyutları, Şekil 1a’da geometrik bilgileri ile Şekil 1b’de talaş kırıcı formlarının özellikleri verilmiştir.

Tablo 2. Kesici takımların boyutları

Açıklama	Tolerans Sınıfı	Kesici Köşe Sayısı	Kesici Uç Genişliği (W1) mm	Kesici Kenar Uzunluğu (LE) mm	Köşe Radyüsü (RE) mm	Silici Uç Uzunluğu (BS) mm	Kesici Uç Kalınlığı (S) mm
R390-11 T3 08 <u>E-PL1030</u>	E	2	6.8	11	0.8	1.5	3.59
R390-11 T3 08 <u>M-PL1030</u>	M	2	6.8	11	0.8	1.2	3.59
R390-11 T3 08 <u>M-PM1030</u>	M	2	6.8	11	0.8	1.2	3.59
R390-11 T3 08 <u>M-MM2040</u>	M	2	6.8	11	0.8	1.2	3.59

			
R390-11 T3 08E-PL1030	R390-11 T3 08M-PL1030	R390-11 T3 08M-PM1030	R390-11 T3 08M-MM2040

Şekil 1a. Deneylerde kullanılan kesici uçların geometrisi

			
Özellikler	-LM -MS	P M N S M S	
			
Özellikler	-LM	-MS	
Köşe radyüsü (çevresel kesici uç)	r_e	Büyük	Büyük
Talaş kırıcı boyu	b_n	Uzun	Uzun
Talaş kırıcı derinliği	h_1	Derin	Derin
Birinci düzlük genişliği	b_{n1}	Uzun	Uzun
Birinci düzlük açısı	γ_{n1}	Pozitif	Pozitif
Kenar radyüsü	r_n	Orta	Küçük

Şekil 1b. Kullanılan uçların talaş kırıcı formlarının özellikleri

2.3. Kesme Parametreleri (Cutting Parameters)

Çalışmada, kesici takım firması tarafından önerilen kesme parametreleri göz önüne alınarak dört farklı kesme hızı; 150, 225, 300, 375 m/dak, üç farklı ilerleme; 0,05, 0,1, 0,15 mm/diş ve 1 mm sabit kesme derinliği kullanılmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri

Kesme şartı	Parametre/Özellik
Kesici Takımlar (Kaplama karbür)	R390-11 T3 08E-PL1030 R390-11 T3 08M-PL1030 R390-11 T3 08M-PM1030 R390-11 T3 08M-MM2040
Kesme Hızı (m/dak)	150 - 225 - 300 - 375
İlerleme Hızı (mm/diş)	0,05 - 0,1 - 0,15
Kesme Derinliği (mm)	1

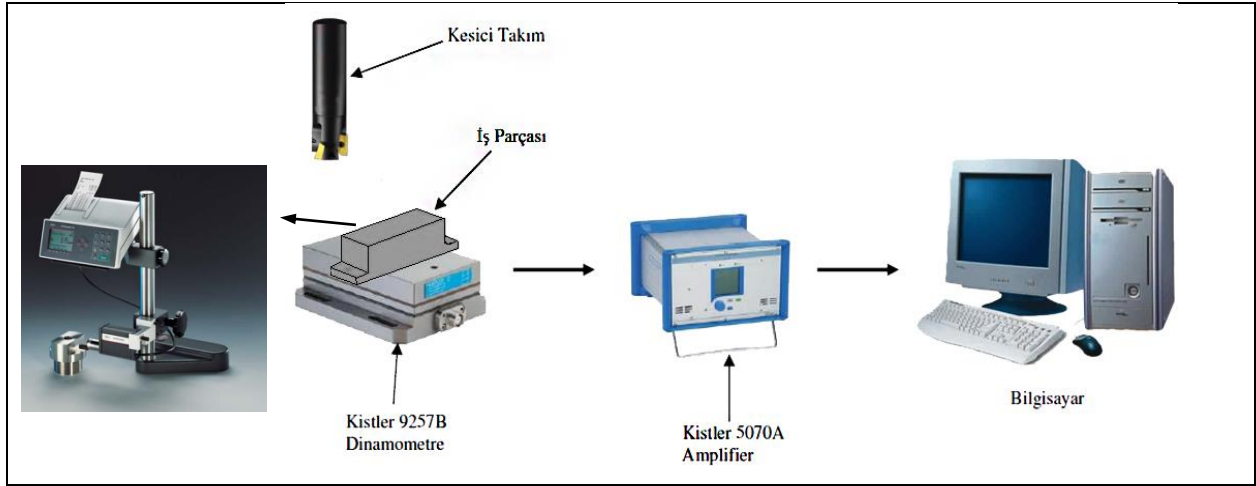
Tablo 3.(Devam)

Kesme Genişliği (mm)	12
Kesme Boyu (mm)	100
Kesici Ağız Sayısı (adet)	1
Takım Tutucu apı (mm)	20
Kesme Yöntemi	Simetrik alın frezeleme

2.4. Yüzey Pürüzlülük ve Kuvvet Ölçüm Cihazı (Surface Roughness and Force Measure Instrument)

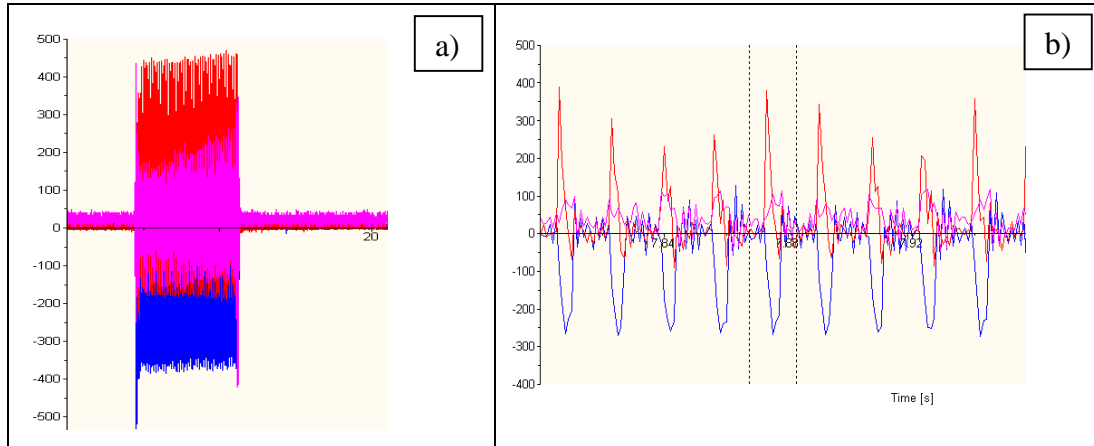
Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesinde ortalama yüzey pürüzlülük değeri olan Ra dikkate alınmıştır. Pürüzlülük ölçümlerinde, MAHR - Perthometer-M1 taşınabilir yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır (Şekil 2). Her bir deney sonrasında numune üzerinde üç farklı noktadan ölçüm alınarak bu değerlerin aritmetik ortalaması hesaplanmıştır.

Deneylerden elde edilen kesme kuvveti verileri, Şekil 2’de görülen deney düzeneğine bağlı dinamometre ve bu dinamometrenin üzerine bağlanan deney parçalarının işlenmesi esnasında alınmıştır.



Şekil 2. Deney düzeneği şematik gösterimi

Deneyler esnasında oluşan kesme kuvveti verileri Dinamometre yardımıyla ölçülmüş ve veri aktarma kablosu ile Amplifier'a (yükselteçe) aktarılmış oradan da veri okuma kartı ve program sayesinde bilgisayara aktarılmıştır. Daha sonra bu veriler ışığında DynoWare programı kullanılarak kesici uçta oluşan üç farklı yöndeki kuvvetin (F_x , F_y , F_z) değerlendirmesi yapılmıştır. Deęerlendirmede, kararlı kesme bölgesinde en az beş değeri alınmış ve bu değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır (Şekil 3). Son olarak da, elde edilen bu üç kuvvetin (F_x , F_y , F_z) bileşkesi alınarak bileşke kuvvet bulunmuştur.



Şekil 3. Kesme kuvvetlerinin Dynoware programındaki grafik görüntüsü

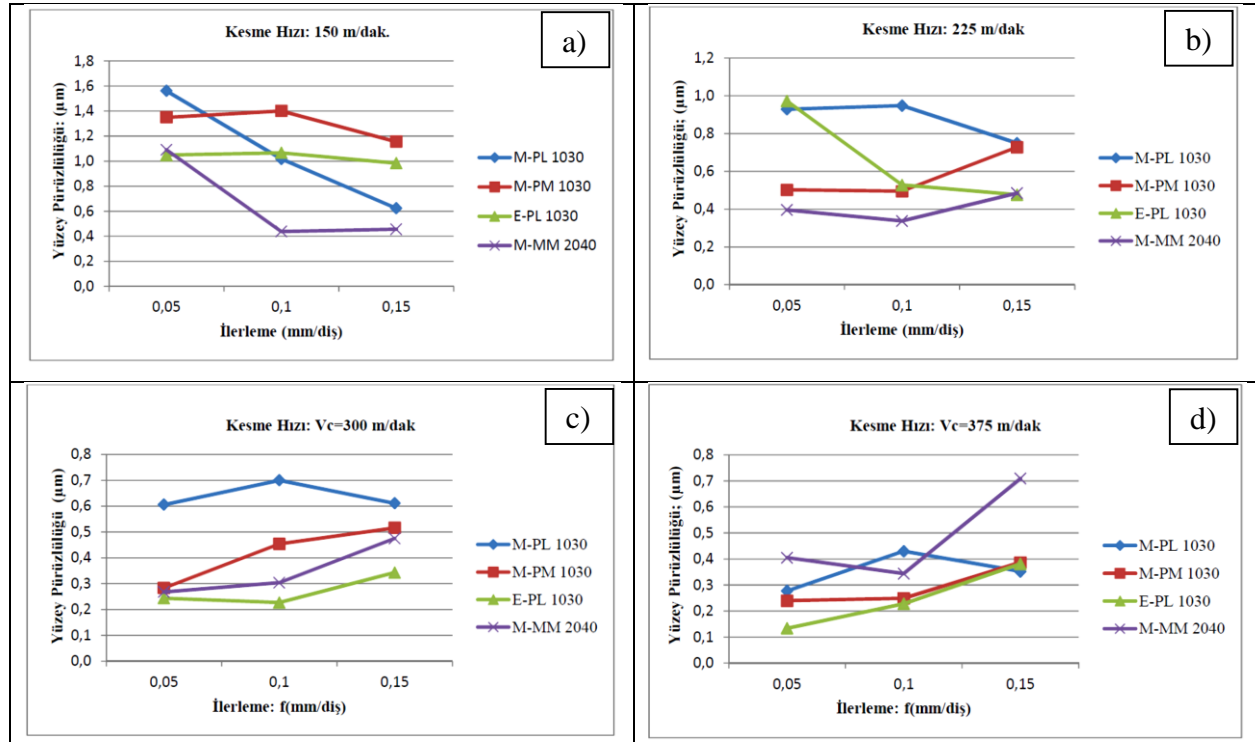
a) Deney esnasındaki kesme kuvvetlerinin tüm verisi

b) Grafiğin büyütülmüş hali

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. İlerleme Miktarının YüzeY Pürüzlülüğüne Etkisi (The Effect of Feed Rate On the Surface Roughness)

Her bir kesici için aynı kesme hızlarında, artan ilerleme değerlerinde yapılan deneyler neticesinde elde edilen ortalama yüzeY pürüzlülüğü (Ra) değerleri şekil 4' deki grafiklerde verilmiştir.



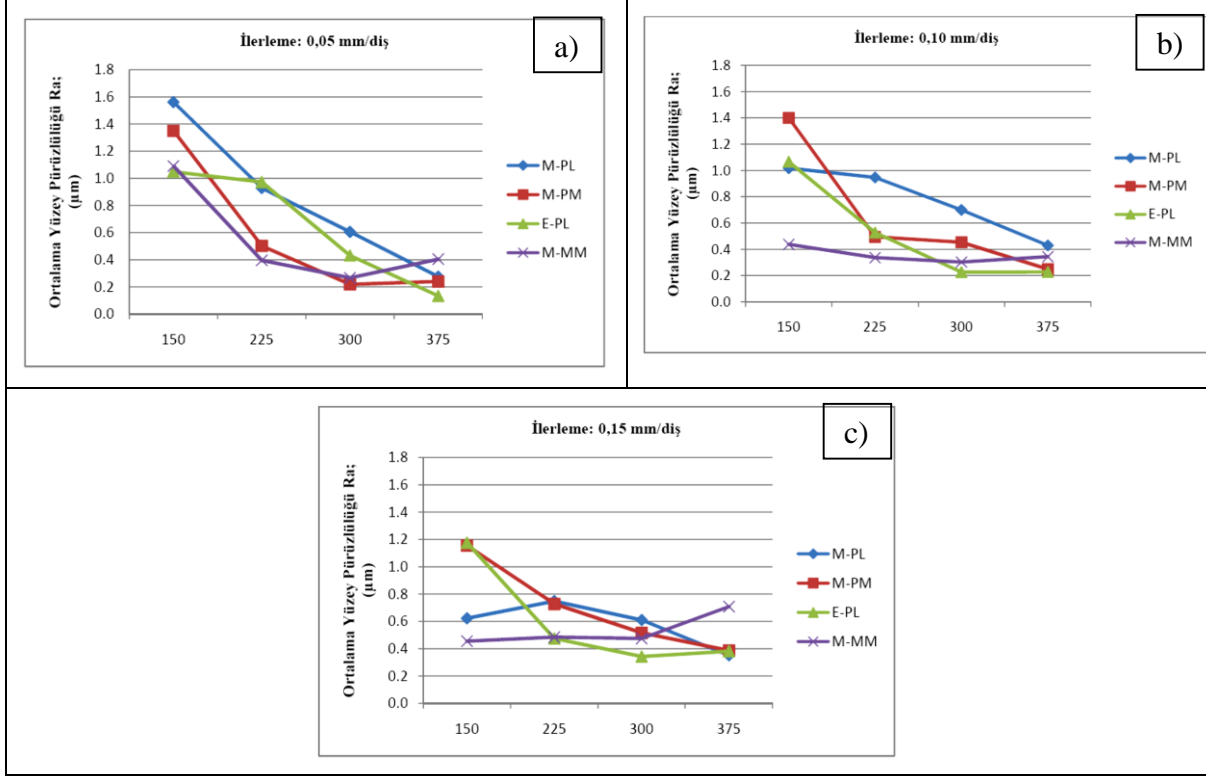
Şekil 4. Her bir kesici için ilerlemeye bağlı ortalama yüzeY pürüzlülükleri
a) V= 150 m/dak, b) V= 225 m/dak, c) V= 300 m/dak, d) V= 375 m/dak

Grafikler genel olarak değerlendirildiğinde düşük kesme hızında (150m/dak) bütün kesici uçlar için artan ilerleme oranına karşın yüzey pürüzlülük değerlerinde azalma görülmüştür. Frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli etken, kesici ucun kesme işleminden sonraki turda, arka kısımda iş parçasının işlenen yüzeyini çizmesidir. Bu sebeple 150 ve 225 m/dak kesme hızında 0,05 mm/diş ilerleme hızında, kesici takımın birim zamanda aldığı yol (ilerleme) az olduğundan, kesici uç kesme işleminden sonraki dönüşte iş parçasını daha sık çizerek ilerlediği ve böylece yüzey pürüzlülüğünün daha yüksek çıktığı düşünülmektedir. Artan ilerleme miktarlarında kesicinin birim zamanında aldığı yol (ilerleme) arttığından bu çizikler daha az oluştuğu için yüzey pürüzlülük değerleri azalmıştır. 225 m/dak kesme hızında M-PL ve E-PL kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici uçlar için artan ilerleme miktarına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinde azalma görülmüştür. M-PM ve M-MM kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici takımlar için ise artan ilerleme miktarına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinde artış görülmüştür.

Bütün kesici uçlar için orta ve yüksek kesme hızlarında (300-375 m/dak) artan ilerleme oranına karşın yüzey pürüzlülük değerlerinde artış görülmüştür. 250-300 m/dak kesme hızları tavsiye edilen ortalama kesme hızları olduğu için buradaki yüzey pürüzlülükleri normal beklenti olarak ilerlemenin artışıyla artış göstermiştir. Literatürde bu sonuçlara paralel sonuçlar tespit edilmiştir [15,28,29]. Düşük kesme hızlarında (150-225 m/dak) en düşük yüzey pürüzlülük değerleri M-MM kodlu kesici uçla, yüksek kesme hızlarında (300-375 m/dak) en düşük yüzey pürüzlülük değerleri ise E-PL kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici uçla elde edilmiştir.

3.2. Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi (The Effect of Cutting Speed on the Surface Roughness)

Her bir kesici için aynı ilerleme oranlarında, artan kesme hızlarında yapılan deneyler neticesinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri şekil 5'deki grafiklerde verilmiştir.



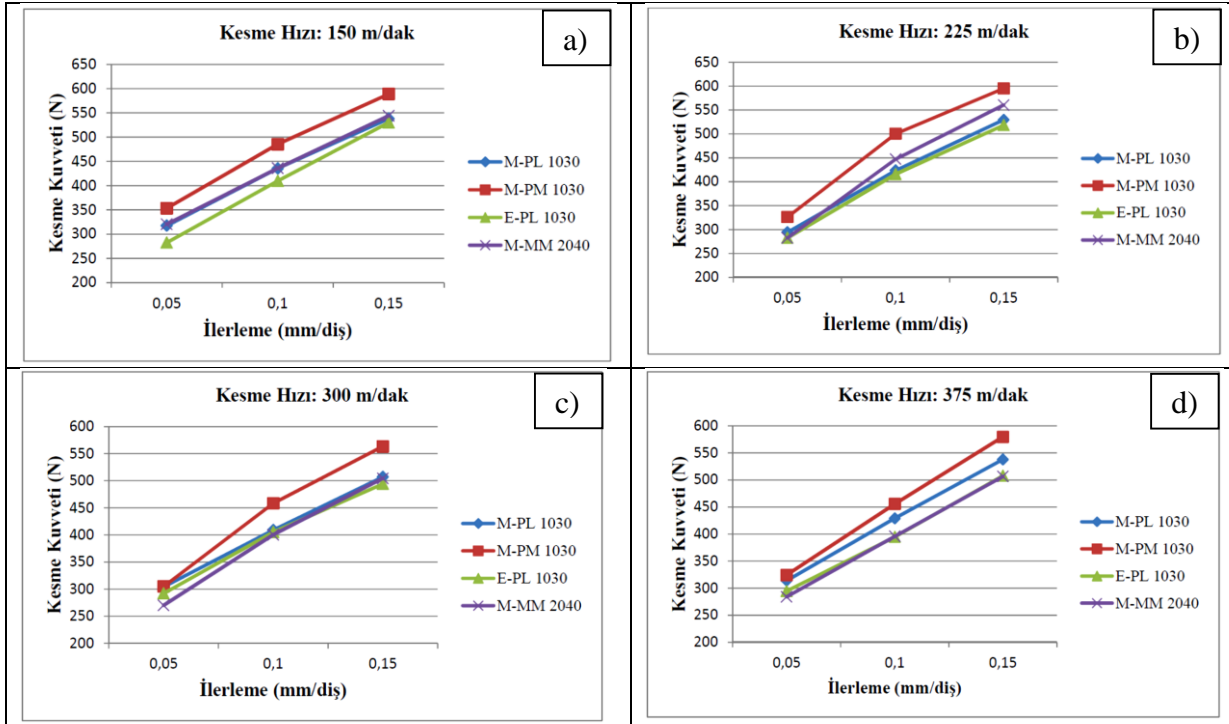
Şekil 5. Kesici uçların her bir ilerleme değeri için kesme hızına bağlı ortalama yüzey pürüzlülükleri
a) $F=0,05$ mm/diş, b) $F=0,10$ mm/diş, c) $F=0,15$ mm/diş

Bütün kesici uçlar için kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerleri azalmaktadır. Literatürde, artan kesme hızıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerinin azalmasını deformasyonların küçülmesine bağlanmıştır. Deformasyonların küçülmesini ise kesme hızlarındaki artış ile takım talaş temas uzunluğunun kısılmasına ve kesme kuvvetlerinin azalması ile açıklamışlardır [15,30-32].

Bütün kesici uçlar yüzey pürüzlülüğü açısından genel olarak değerlendirildiğinde, düşük ilerlemelerde (0,05 mm/diş) en iyi yüzey kalitesi M-PM 1030 ve M-MM 2040 kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici uçlarla elde edilirken orta ve yüksek ilerlemelerde (0,10-0,15 mm/diş) en düşük yüzey pürüzlülük değeri ise E-PL 1030 kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici uçla elde edilmiştir. M-PL 1030 kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici uç ile yapılan deneylerde ise bütün ilerleme hızlarında, en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri ortaya çıkmıştır.

3.3. İlerleme miktarının kesme kuvvetlerine etkisi (The Effect of Feed Rate on the Cutting Forces)

Her bir kesici için aynı kesme hızlarında, artan ilerleme değerlerinde yapılan deneyler neticesinde elde edilen kesme kuvveti (N) değerleri şekil 6'daki grafiklerde verilmiştir.



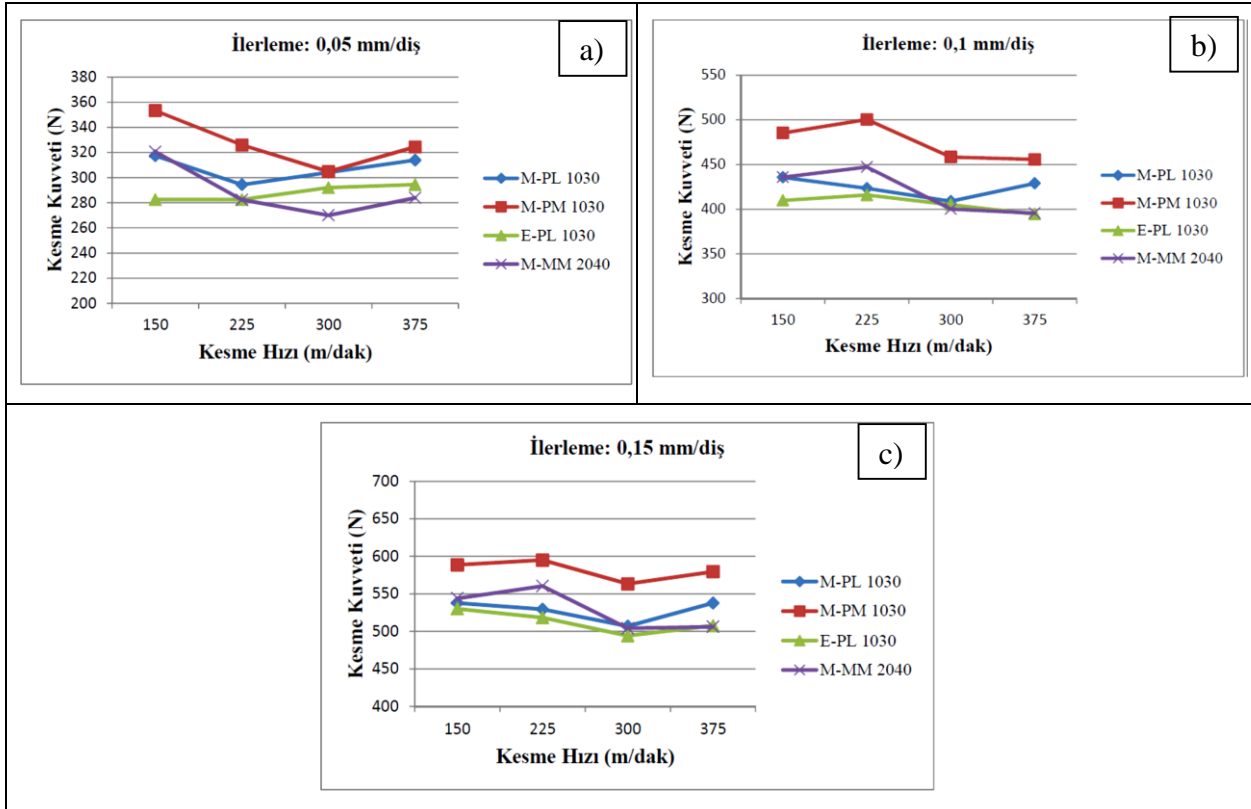
Şekil 6. Her bir kesici için ilerlemeye bağlı kesme kuvvetleri

a) $V = 150$ m/dak, b) $V = 225$ m/dak, c) $V = 300$ m/dak, d) $V = 375$ m/dak

Bütün kesme hızlarında ilerlemeye bağlı kesme kuvvetleri açısından en iyi sonuç genel olarak E-PL 1030 kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici uçla elde edilmiştir. Bunu, E-PL 1030 kodlu kesici takımında talaş kırıcı geometrisinin diğerlerine nazaran kesici kenarı daha sivri hale getirmesi ve malzemeye daha kolay batması ile açıklamak mümkündür. En yüksek kesme kuvvetleri ise, M-PM 1030 kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesicide oluşmuştur. En yüksek kesme kuvveti değerinin; 225 m/dak kesme hızında, 0,15 mm/diş ilerleme miktarında M-PM 1030 kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici uç ile yapılan deneyde kaydedildiği görülmüştür. En düşük kesme kuvvetinin ise 300 m/dak kesme hızında, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve M-MM 2040 kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici uç ile yapılan deneyde olduğu görülmektedir. Bütün kesme şartlarında kesme kuvvetleri, ilerlemenin artmasıyla artmıştır. Bu artışı, ilerlemenin artması ile kaldırılan talaş hacminin artmasına bağlamak mümkündür [15,33]. En düşük kesme kuvveti sonuçları E-PL 1030 ve M-MM 2040 kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici uçlarla elde edilmiştir.

3.4. Kesme hızının kesme kuvvetlerine etkisi (The effect of cutting speed on the cutting forces)

Her bir kesici için aynı kesme hızlarında, artan kesme hızlarında yapılan deneyler neticesinde elde edilen kesme kuvveti (N) değerleri Şekil 7'deki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 7. Her bir kesici için kesme hızına bağlı kesme kuvvetleri
a) $F = 0,05$ mm/diş, b) $F = 0,1$ mm/diş, c) $F = 0,15$ mm/diş

Kesme kuvvetleri bütün kesici uçlar için orta kesme hızlarına kadar azalmış, daha sonra kesme hızlarının artışı ile artmıştır. Bunun sebebini belli bir kesme hızına kadar kesme bölgesinde açığa çıkan enerji (ısı), deformasyonu ve talaş akışını kolaylaştırmasına bağlamak mümkündür [34]. Düşük ilerleme oranında (0,05 mm/diş) kesme hızına bağlı kesme kuvvetleri açısından en iyi sonuç M-MM 2040 kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici uçla elde edilmiştir. Orta ve yüksek ilerlemelerde (0,1-0,15 m/diş) ise en iyi sonuç E-PL 1030 kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici uçla elde edilmiştir. En yüksek kesme kuvvetinin 225 m/dak kesme hızında 0,15 mm/diş ilerleme oranında ve M-PM 1030 kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici uçla meydana geldiği görülmüştür. En düşük kesme kuvvetinin ise; 300 m/dak kesme hızında 0,05 mm/diş ilerleme oranında ve M-MM 2040 kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici uçla meydana geldiği görülmüştür. Kesme kuvvetleri açısından, AISI 1040 çeliğinde bu kesicilerle yapılan işlenebilirlik deneyleri sonucunda optimum kesme hızı tüm kesiciler için 300 m/dak olduğu söylenebilir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Frezeleme işleminde farklı talaş kırıcı geometrilerine sahip kesici takımlar ile AISI 1040 imalat çeliği üzerinde yapılan deneylerde talaş kırıcı geometrilerinin yüzey pürüzlülüğüne ve kesme kuvvetlerine etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- En iyi yüzey pürüzlülük değerleri, E-PL kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici ile 0,05 mm/diş ilerleme değerinde 375 m/dak kesme hızında 0,134 μm olarak belirlenmiştir.
- En kötü yüzey pürüzlülük değerleri, E-PL kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesici ile düşük ilerleme değerleri (0,05 mm/diş) ve düşük kesme hızı değerlerinde (150 m/dak) 1,561 μm çıkmıştır.
- Yüzey pürüzlülük değerleri, bütün kesiciler için artan kesme hızlarına karşı sürekli azalma göstermiştir.
- Kesme kuvvetlerinde, 300 m/dak kesme hızına kadar azalma, 300 m/dak kesme hızından sonra artış tespit edilmiştir.
- Kesme kuvvetleri açısından en iyi sonuç, E-PL kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesicide oluşurken en yüksek kesme kuvveti değerleri ise M-PM kodlu talaş kırıcı formuna sahip kesicide oluşmuştur.

- Yüzey pürüzlülükleri bütün kesiciler için genel olarak ilerlemenin artışı ile artmış, kesme hızının artışı ile azalmıştır.
- Kesme kuvvetleri, bütün kesiciler için, ilerlemenin artışı ile artmış, kesme hızının artışı ile azalmıştır.
- Yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti birlikte ele alındığında kullanılan kesme parametreleri içinde en ideal olanları 300 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/diş ilerleme değerleri olduğu tespit edilmiştir.
- Bütün kesici uçlar, yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirildiğinde, en iyiden kötüye doğru yüzey kalitesi sırasıyla E-PL; M-MM; M-PM; M-PL kodlu kesici uçlarla elde edilmiştir.
- Bütün kesici uçlar kesme kuvvetleri açısından değerlendirildiğinde, en düşükten büyüğe doğru kesme kuvvetleri sırasıyla, E-PL; M-MM; M-PL; M-PM kodlu kesici uçlarla elde edilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] N. İpekçioğlu, Frezecilik, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 3-5, 1984.
- [2] R.M.D. Mesquita, M.J.M. Barata Marques, Effect of chip-breaker geometries on cutting forces. Journal Of Materials Processing Technology, 31:1-2 (1992) 317-325.
- [3] M. Dogra, V.S. Sharma, J. Dureja, Effect of tool geometry variation on finish turning-A Review. Journal of Engineering Science and Technology Review 4:1 (2011) 1-13.
- [4] A. Altın, H. Gokkaya, M. Nalbant, The effect of cutting speed and cutting tool geometry on machinability properties of nickelbase Inconel 718 superalloys. Materials and Design, 28:4 (2007) 1334-1338.
- [5] H. Gürbüz, A. Sözen, U. Şeker, Modelling of Effects of Various Chip Breaker Forms on Surface Roughness in Turning Operations by Utilizing Artificial Neural Networks. Politeknik Dergisi, 19:1 (2016) 71-83.
- [6] I.S. Jawahir, P.L.B. Oxley, The Tool Restricted Contact Effect as a Major Influencing Factor in Chip Breaking: an Experimental Analysis. CIRP Annals, 37:1 (1988) 121-126.
- [7] T. Özel, Y. Karpat, Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural networks. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 45 (2005) 467-479.
- [8] H. Demir, H.B. Ulaş, M. Zeyveli, Stavax ESR Çeliğinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetleri Açısından Değerlendirilmesi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, (2009).
- [9] İ. Korkut, M.A. Dönertaş, Kesme Parametrelerinin Frezelemede Oluşan Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkileri. Politeknik Dergisi, 6:1, (2003), 385-389.
- [10] H. Sağlam, Frezelemede Kesme Parametreleri İle Kesme Kuvvetlerinin Değişimi ve Bunların Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi. Selçuk-Teknik Online Dergisi 1:3 (2001).
- [11] M. Akkurt, Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1992.
- [12] E. Altınkaya, A. Güllü, AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çeliğin İşlenmesinde Talaş Kırıcı Formunun Takım Aşınmasına ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi. Politeknik Dergisi, 11:1 (2008) 13-17.
- [13] H. Domaç, Frezeleme İşleminde Kesici Uç Yarıçapı ve Uç Geometrisinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2011) 82.
- [14] H. Sarı, S. Yıldız, Ş. Yazman, B. Bakırcıoğlu, Frezelemede Takım Geometrisi ve Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri. 4. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, (2013) 203-211.

- [15] C-S. Chang, Prediction of Cutting Forces in Milling Stainless Steels Using Chamfered Main Cutting Edge Tool, *Journal of Mechanics*, 21:3 (2005), 145-155.
- [16] H. Gürbüz, F. Sönmez, Ş. Baday, U. Şeker, Farklı Talaş Kırıcı Formlarının Esas Kesme Kuvvetlerine Etkisinin Matematiksel Modellenmesi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 8: 2/2 (2018) 13-21.
- [17] H. Gürbüz, F. Kafkas, U. Şeker, AISI 316L Çeliğinin İşlenmesinde Kesici Takım Kesici Kenar Formu ve Talaş Kırıcı Formlarının Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 1.2 (2012) 173-184.
- [18] B. Yılmaz, Ş. Karabulut A. Güllü, Performance analysis of new external chipbreaker for efficient machining of Inconel 718 and optimization of the cutting parameters. *Journal of Manufacturing Processes*, 32 (2018) 553-563.
- [19] M. Nalbant, A. Altın, H. Gökkaya The effect of cutting speed and cutting tool geometry on machinability properties of nickel-base Inconel 718 super alloys. *Materials and Design*, 28 (2007) 1334-1338.
- [20] A. Güllü, Ş. Karabulut, A. Güldaş, Inconel 718 Süper Alaşımların İşlenmesinde Talaş Kırılma Problemleri ve Talaş Kırıcı Tasarımı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23:1, (2008), 157-164.
- [21] A.M. Pinar, K. Fırat, AISI 4140 Çeliğin Çok Yönlü Takımla Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülük Performansının Optimizasyonu. *Politeknik Dergisi*, 19:4 (2016), 491-498.
- [22] S. Çakmak, S. Sarıdemir, AISI 4140 Çeliğinin İşlenmesinde Kesici Uç Geometrisinin Talaş Kırmaya ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4:2 (2016) 765-771.
- [23] M. Sekmen, A. Kurt, U. Şeker, Talaş kırıcı formu ve talaş kırıcı açısının kesme kuvvetleri ve gerilmeler üzerine etkisi, 4. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, (2013) 441-456.
- [24] İ. Tekaüt, M. Günay, U. Şeker, Tornalama İşlemlerinde Talaş Kırıcı Formunun ve Kesme Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu, 6. Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, (2011) 127-131.
- [25] A. Mavi, G. Uzun, Dupleks 1.4462 Paslanmaz Çeliğin Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin İşlenebilirlik Üzerine Etkisi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi PART C: Tasarım ve Teknoloji*, 5:3 (2017) 177-184.
- [26] F.H. Çakır, O.N. Çelik, Değişken İlerleme Hızları Kullanılarak Tornalama İşleminde Talaş Kırma Uygulaması ile İlgili Yeni Bir Yaklaşım. *Cumhuriyet Science Journal*, 38:4 (2017) 206-214.
- [27] E. Bağcı, B. Özçelik, Finite element and experimental investigation of temperature changes on a twist drill in sequential dry drilling. *Int J. Adv. Manufacturing Technology*, 28 (2006) 680-687.
- [28] H. Dilipak, A. Gezgin, AISI D3 Çeliğinin Frezelenmesinde, Kesici Uç Sayısı, Kesme Hızı ve İlerleme Miktarının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 13:1, (2010) 29-32.
- [29] Ü. Yalçın, İ. Korkut, A. Kuş, Inconel 718 Süper Alaşımının CVD Kaplamalı Kesici Takım ile Yüzey Frezelemesinde, Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi. *Int.J.Eng.Research& Development*, 1:2 (2009) 67-70.
- [30] M. Günay, U. Şeker, Kesici Takım Talaş Açısının İlerleme Kuvveti Üzerindeki Etkisinin Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 8:4, (2005) 323-328

- [31] İ. Çiftçi, The Influence of Cutting Tool Coating and Cutting Speed on Cutting Forces and Surface Roughness in Machining of Austenitic Stainless Steel. *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, 20:2 (2005) 205-209.
- [32] E. Kılıçkap, Y.H. Çelik, Cam Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitlerin Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi. 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, (2012) 99-103.
- [33] İ. Korkut, M.A. Dönertaş, The influence of feed rate and cutting speed on the cutting forces, surface roughness and tool-chip contact length during face milling. *Materials & Design*, 28:1 (2007) 308-312.
- [34] A. Duran, Y. Turgut, M. Günay, Tornalamada Oluşan Takım-Talaş Ara Yüzey Sıcaklığının Pirometre ile Deneysel Olarak Ölçülmesi. *Politeknik Dergisi*, 14:4 (2011) 297-301.

Detection of Islamophobic Tweets on Twitter Using Sentiment Analysis

 Buğra AYAN^{1,*} Birol KUYUMCU² Bünyamin CİYLAN³
¹Turkish Presidency Bestepe / Ankara

²SefaMerve R&D Center , 34854, Maltepe / İstanbul

³Gazi University Faculty of Technology, Department of Computer Engineering, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

 Received:
 8/05/2019
 Revision
 13/06/2019
 Accepted:
 17/06/2019

Highlights

- Machine Learning on Twitter
- Islamophobia on Twitter

Keywords

 Sentiment analysis,
 Islamophobia,
 Twitter, Machine Learning

In this study, Tweets on Twitter are sought to be found out whether they are Islamophobic or not by using emotion analysis. Estimations are made using precision, recall and F1 measures via models trained with linear ridge model. In the end, accurate results, in the range of 96.3 per cent to 96.5 per cent on average, are obtained for positive tweets.

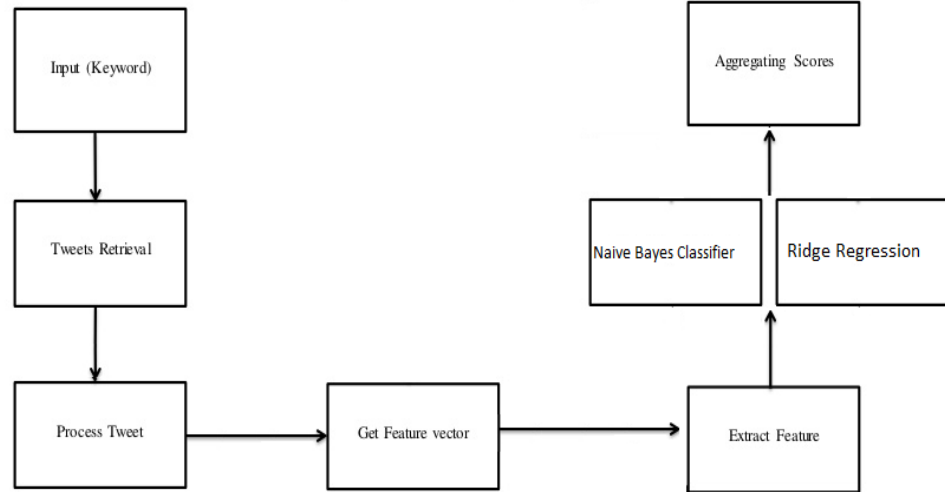


Figure A. Block schema of the system

Purpose: Although there are many studies on machine learning in social networks, a study based on Islamophobia, especially a study that brings a machine learning approach to the problems about this subject, has not been done scientific research. In this thesis, it is aimed to carry out a study on the detection of hate speech on Twitter on Islamophobia with different machine learning algorithms.

Theory and Methods: Twitter has been marked firstly in our study. Then, preprocessing studies have been performed and trained with two different algorithms.

Results: The system has been trained using 80% of the data set consisting of 162,000 tweets and tests have been performed using 20%. In this way, the accuracy rate of the system has been determined. After the application of word-based TF-IDF weighting on the data set, Ridge Regression and Naive Bayes model has been applied. For these models, the rates obtained in Tweet classification study were 96.9% in Ridge Regression in F1 criterion while this value has been decreased to 95.4% in the Naive Bayes. In addition, Ridge Period was shorter than Naive Bayes Classifier as training time.

Conclusion: Suggestions that can be put forward as a result of this study are that; researches should be done with similar national language for different languages, too and tweets should be researched and got more detailed results based on location and date based. In addition, by providing Tweets specific to the location, the "Islamophobia Score" can be calculated for different locations and countries, and the Global Islamophobia Index which includes the countries can be calculated.



Twitter Üzerindeki İslamofobik Twitlerin Duygu Analizi ile Tespiti

Buğra AYAN^{1,*} Birol KUYUMCU² Bünyamin CİYLAN³

¹Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Beştepe / Ankara

²SefaMerve Ar-Ge , 34854, Maltepe / İstanbul

³Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Öz

İnternet kullanımının artmasıyla daha çok erişilebilir hale gelen sosyal ağlar insanların çeşitli konular hakkındaki duygu ve görüşlerini paylaştığı mecralar haline gelmiştir. Dijital ortamda var olan verinin yüzde 90'ı geçen 2 yılda oluşturulmuştur. Fakat bu veriler üzerinde geleneksel yollarla analizler yapmak günler hatta aylar sürebilmektedir. Bu sebeple makine öğrenmesi yöntemleriyle sosyal ağlar üzerinden duygu analizleri yapılması tercih edilmektedir. Bu çalışmada Twitter üzerindeki tweetlerin İslamofobik olup olmadığı duygu analizi ile öğrenilmeye çalışılmıştır. Çalışmada Lineer ridge regresyonu ve Naive Bayes Sınıflandırıcı ile eğitilen modeller üzerinden precision, Recall, F1 ölçütlerinde hesaplamalarda bulunulmuştur. Sonuç olarak pozitif Tweetler için Ridge modelinde Naive Bayes sınıflandırıcıya göre daha iyi sonuçlar alınmış ve Ridge Regresyonunda %96,3 , Naive Bayes Sınıflandırıcıda %95.3 oranında doğru sonuca ulaşılmıştır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 8/05/2019

Düzeltilme: 13/06/2019

Kabul: 17/06/2019

Anahtar Kelimeler

Duygu Analizi, İslamofobi,
Twitter, Makine Öğrenmesi

Keywords

Sentiment analysis,
Islamophobia, Twitter,
Machine Learning

Detection of Islamophobic Tweets on Twitter Using Sentiment Analysis

Abstract

Social networks, becoming more accessible as the Internet usage increases, have turned into platforms where people share their feelings and opinions on various subjects. The 90 per cent of the data we have today has been generated over the past two years. Yet, carrying out traditional analyses through this data might take days, if not months. Therefore, emotional analyses are preferred to be made via social networks by means of machine learning. Tweets on Twitter are sought to be found out whether they are Islamophobic or not by using emotion analysis. Estimations are made using precision, recall and F1 measures via models trained with linear ridge model. In the end, accurate results, in the range of 96.3 per cent to 96.5 per cent on average, are obtained for positive tweets.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnternetin web 2.0 evresiyle sosyal ağlar popüler hale gelmiş ve insanlar vakitlerinin büyük bölümünü bu sosyal ağlarda geçirmeye başlamıştır [1-2]. Teknolojinin birçok alanında olduğu gibi sosyal ağ teknolojileri de çeşitli risk ve fırsatı aynı anda firmaların ve bireysel kullanıcıların karşısına çıkartmıştır. Güncel rakamlara göre internette her saniyede 8.000'in üzerinde Tweet paylaşılmaktadır [3]. Bu tweetlerden elde edilen bilgilerle gerek ekonomik gerek toplumsal analizler yapılabilir. Bu analizler ile bireylerin ileriye yönelik tercihleri üzerine de çıkarımlarda bulunulabilmektedir [4]. Twitter'ın kendine has bir dili olması, hatalı yazılan kelimeler gibi sebeplerle sahip olduğu verinin insan algısıyla anlaşılması güçtür. Bu sebeple doğal dil işleme ve veri madenciliği ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmakta ve sektörel ürünler yine bu yöntemlerle endüstriye kazandırılmaktadır.

1.1.Literatür Özeti

Makine öğrenmesi çalışmaları; altyapı çalışmalarıyla internet hızlarının artması ve mobil kullanım ile internet kullanım sürelerinin uzamasıyla beraber cazip hale gelmiştir. Bu çalışmalar kapsamında makine öğrenmesi yöntemleriyle akademik başarının tahmin edilmesinden [5], müşteri kaybı analizine kadar [6]

geniş bir yelpazede akademik çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı da sahip olduğu veri hacminin yüksek olmasından ötürü Twitter üzerinde yoğunlaşmıştır.

Andranik Tumasjan ve arkadaşları tarafından ABD seçim sürecinde atılan Tweetler gerçek zamanlı olarak incelenerek sınıflandırma algoritmalarıyla duygu analizi yapıldığı çalışmada 100.000'in üzerindeki Tweet'in incelemesi sonucu %1.65 hata ile siyasal yönelimler tahmin edilmiştir. [7]

Xing Fang ve Justin Zhan tarafından yapılan çalışmada ürünlere yapılan yorumlar üzerinde duygu analizi yapılmıştır. Naive Bayes, Rassal Orman ve Destek Vektör Makinesi algoritmalarındaki sonuçların karşılaştırıldığı çalışmada. True Positive için en yüksek başarıma %98 ile Rassal Orman ulaşırken F1-Score'da ise Naive Bayes yüzde 82 doğruluğa ulaşmıştır.[8]

Adam Sadilek, Henry Kautz ve Vincent Silenzio tarafından yapılan çalışmada Twitter üzerinden tahmin edilen ruh halleri ile borsa hareketleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Toplam 15,9 milyon Tweetin kullanıldığı verisetinde destek vektör makinesi algoritması kullanılmış ve precision göstergesine göre %98 recall göstergesine göre ise %97 doğruluğa erişilmiştir. [9]

Rohan Kshirsagar ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Twitter üzerindeki nefret konuşmaları makine öğrenmesi yaklaşımıyla tahmin edilmeye çalışılmıştır. Altmışbine yakın Tweet'in kullanıldığı çalışmada cinsiyetçi söylem için %76, ırkçı söylem için %78 ve diğer nefret söylemlerinin dahil olduğu ana küme için %86 oranıyla F1 skoru bulunmuştur. [10]

Hajime Watanabe ve arkadaşları tarafından yapılan araştırmada 2010 Tweetten oluşan verisetinden bir çalışma yapılmış ve %78 doğruluk oranıyla bir Tweet'in nefret dolu mu, saldırgan mı yoksa normal tonda yazılmış bir Tweet mi olduğu tahmin edilebilmiştir. [11]

Bu çalışmaların yanında Twitter üzerindeki nefret içeren konuşmaların makine öğrenmesi yöntemleriyle tespit edilmesi üzerine de çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Fakat bu çalışmalarda İslamofobi gibi özel bir nefret teması seçilmemiş, genel olarak nefret üzerine çalışma yapılmıştır.

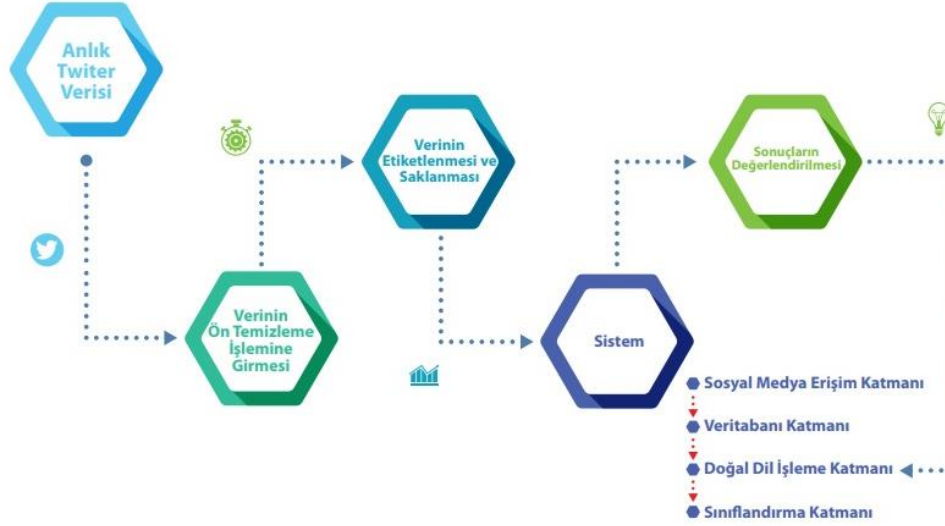
1.2.İslamofobi Seçimi

İslam Korkusu anlamına gelen İslamofobi son yıllarda Müslümanlara ve İslam dinine karşı yapılan saldırıların artmasıyla gün geçtikçe daha da büyük bir sorun haline gelmektedir.[12] İslamofobik vakalar Belçika [13], İsviçre [14], Avusturya [15], Almanya [16] gibi birçok ülkede incelenerek bu konuda çeşitli raporlar yayınlanmıştır. Fakat bu raporlar ağırlıklı olarak basına yansımış büyük şiddet olaylarına yer verilirken, internet üzerindeki daha adi denilebilecek suçlar kayıt altına alınamamaktadır. Bunun sebebi internet verisinin çok fazla olması ve bu alanda çalışan kişilerin geleneksel yöntemlerle bu verileri taramasının zor olmasıdır. Bu çalışmada ise, büyük veriyi işlemenin zorluklarından dolayı dağıtık hesaplama altyapısı kullanılmıştır. Bu yolla elde edilecek sonuçlarla İslamofobi'nin yöntemiyle incelenmesi farklı bir bakış açısı sunabilmektedir. Çalışmanın neticelerinin ilgili kurumlar ile paylaşılmasıyla bu nefret yöneliminin daha önceden tespit edilmesi ve önleyici adımlar atılması sağlanabilecektir.

1.3.Twitter Seçimi

Sosyal ağlar, geliştiriciler için API isminde ara yüzler sunmaktadır. Bu arayüz üzerinden verilen geliştiriciye özel verilen Access Token ve Access Token Secret değerleri ile belirli limitler dahilinde sosyal ağdaki verinin izin verilen kısmı kullanılabilir. [17] Bu çalışmada gerek sunduğu API'nin verilere erişim noktasındaki kolaylığı, gerek üretilen içeriğin yazı odaklı ve kısa olması nedeniyle Twitter platformu tercih edilmiştir.

Çalışma ile ilgili akış diyagramı Şekil 1 de verilmiştir.



Şekil 1. Sistemin Akış Diyagramı

2. TWITTER VERİLERİNİN TOPLANMASI (DATA COLLECTION FROM TWITTER)

Twitter, kullanıcılarının “twit” olarak adlandırdığı en fazla 280 karakterden oluşan mesajlar göndermesine olanak tanıyan, zamanla görsel ve video içerikler paylaşmayı da destekleyen ABD merkezli sosyal ağ ve mikroblog sitesidir. Mobil uygulamasına haber kategorisinde yer vermeyi tercih eden platform önemli bir haber kaynağı da olma yolunda ilerlemektedir. Twitter dünyanın en çok ziyaret edilen internet siteleri arasında yer almaktadır [18]. Platform ilk kuruluşunda sadece yazı bazlı paylaşımlara izin verirken, ilerleyen yıllarda resim, video, canlı yayın gibi farklı içerik türlerini de desteklemeye başlamıştır. Fakat ana odak noktası metin olduğu için ağırlıklı kullanım metin içerikli Tweetler’de gerçekleşmektedir.

Twitter kullanıcıları gerek teknik sınırlamalar gerekse iletişimi daha efektif hale getirmek amacıyla kendine has çeşitli konuşma biçimleri kullanmaktadır. Bunlardan ilki “hashtag” olarak adlandırılan ve diyez(#) karakteriyle belli bir konuya atıfta bulunulmasıdır. Bir başkası @ işaretiyle başka bir kullanıcının mesajdan haberdar edilmesidir. Yine bunların yanında Twitter bazı özel günler için özel simgeler barındıran konseptler geliştirmektedir. Örneğin dünya kupasında belirli bir başlığa gönderilen mesajların yanında futbol topu simgesi çıkmıştır [19].

Bu çalışma kapsamında geliştirilen sosyal medya arama katmanı yardımıyla Twitter API’ sine erişilmiş ve belirlenen anahtar sözcükler için 01.08-2018-05.09-2018 tarihleri arasında sorgulama yapılarak İngilizce dilinde Tweetler toplanmıştır.

2.1. Verilerin Saklanması ve Etiketlenmesi

Çalışmada elde edilen verilerin saklanabilmesi için MYSQL veritabanı kullanılmıştır. Bu sayede yüksek erişilebilirlik sağlanmıştır. Okuma ve yazma performansları güçlü olmuştur. İngilizce dilinde anahtar kelimelere göre çekilen 162.000 farklı tweetin tamamı 5 gönüllü kişi tarafından işaretlenmiş ve salt çoğunluğun görüşüne göre pozitif veya negatif olarak değerlendirilmiştir. Çekilen Tweetler’de harici internet sitesi bağlantıları silinmiş, bu silinme işleminin ardından da benzer olan Tweetler elenmiş, küçük harfe dönüştürülmüş ve işaretleme işlemine geçilmiştir. Bu işaretlemede Tweetlerin İslamofobik içerik barındırıp barındırmadığı belirlenmiştir. İşaretleme sonucu veri setindeki Tweetlerde olumlu ve olumsuz yüzdeleri %51-%49 oranında olmuştur. Buradaki pozitif (olumlu) tanımlaması İslamofobi içeren, negatif (olumsuz) tanımlaması ise İslamofobi içermeyen Tweetler için kullanılmıştır.

3.GELİŞTİRİLEN SİSTEM (SYSTEM)

Çalışmada dört uygulama katmanı kullanılmıştır. Bunlar sosyal medya erişim katmanı, veritabanı yönetim katmanı, doğal dil işleme modülü ve sınıflandırma modülüdür.

3.1.Sosyal Medya Erişim Katmanı

Sosyal medya platformlarında geliştiriciler için API ismi verilen özel araçlar kullanılmaktadır. Bu yolla sosyal medya platformları geliştiricilerin hangi verileri kullandığını görebilmekte ve veri aktarımına çeşitli sınırlamalar getirerek kullanıcılara verilen hizmetin aksamasının önüne geçebilmektedir. Bu çalışma esnasında da yukarıda değinildiği gibi Twitter API'si kullanılmıştır. Oluşturulan uygulamada Twitter içeriklerini okuma izni alınmıştır. Bu izin içeriği herkese açık hesapları kapsamaktadır. Kilitli profillerin içeriklerine ulaşılamamaktadır. API izinleri alındıktan sonra, PHP tabanlı olarak geliştirilen yazılım yardımıyla belirlenen anahtar sözcüklere göre Twitter verileri toplanmıştır. Bu toplama işleminde PHP Cron Job kullanılarak zamanlayıcı uygulama ile periyodik olarak yazılım arama yapmakta ve gelen sonuçlar veritabanına yazılmaktadır. Kullanım sırasında Twitter'ın verdiği limitler doğrultusunda işlem yapılabilmektedir.

3.2.Veritabanı Katmanı

Veritabanı yönetim katmanı MYSQL üzerine iki farklı tablo üzerine veriler eklenmiştir. Mysql seçilirken PHP ile sorunsuz çalışması göz önünde bulundurulmuştur[20]. İlk olarak anahtar kelime yapısına göre İslamofobik olma ihtimali yüksek Tweetler bir tabloya, İslamofobik olmama ihtimali yüksek Tweetler ise başka bir tabloya eklenmiştir. Buradaki tablo seçimi esnasında “muzrad” gibi Müslümanlara hakaret etmek için kullanılan kelimeleri içeren Tweetler İslamofobik olma ihtimali yüksek tabloya eklenirken, “mashallah” benzeri Müslüman jargonundaki sözcükler İslamofobik olma ihtimali düşük tabloya eklenmiştir. Bu şekilde işaretleme sırasında 5 gönüllü kişinin işlemleri daha pratik bir şekilde yapılabilmesi sağlanmıştır.

3.3 Doğal Dil İşleme Modülü

Doğal dil işleme modülünde Python dili kullanılmıştır. Python modülünün Mysql ile bağlantısı web servis kullanarak sağlanmıştır. İlk olarak metin ve etiket olarak veriler birleştirilmiştir. Ardından metni sayıya dönüştürmek için 'kelime' bazlı ve hesaplamak için Scikit-learn kütüphanesinin içerisinde bulunan TfIdfVectorizer metodu kullanılmıştır. Scikit-learn yapay zeka alanında en yaygın olarak kullanılan ve bir çok regresyon ile sınıflandırma yöntemini içeren bir kütüphanedir [21]. Bu aşamada eğitim kümesinde geçen kelimeler TfIdfVectorizer metodu ile terim frekansı (tf) , ters belge sıklığı (idf) özellik matrisine dönüştürülmüştür

3.4 Sınıflandırma Modülü

Metod seçimi ardından %80-%20 oranıyla veri eğitim ve test olarak ikiye ayrılmıştır ve gözetimli öğrenme kullanılarak eğitilmiştir. %80-%20 seçiminde Scikit-learn tarafından önerilen bölme oranları esas alınmıştır[22]. Bu işlemin ardından eğitim seti 'Negatif' ve 'Pozitif' durumları için küçük varyanslı tahminler için öncelikle uygun olan iki ayrı lineer Ridge Modeli eğitilmiştir. Eğitilen bu modeller 'Negatif.pkl' ve 'Pozitif.pkl' isimleri ile kaydedilmiştir. Ridge Regresyonu veya bir diğer ismiyle Tikhonov normalizasyonu regresyon katsayılarının tahmininde, bağımsız değişkenlerin birbirleri üzerindeki etkilerini minimum yapmayı hedefleyen ve kararlı katsayı tahminleri elde edebilmeyi sağlayan bir yöntemdir [23]. Ridge regresyonunun ardından aynı eğitim ve test seti Naive Bayes Sınıflandırıcıyla eğitilmiştir. Naive Bayes sınıflandırıcı Twitter üzerindeki duygu analizlerinde çeşitli araştırmalarda kullanılan olasılıkçı bir yaklaşımdır [24].

Sınıflandırma modülünde eğitilen modeller ile test verisi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Tahmin sonuçları ile gerçek sonuçların karşılaştırma matrisi hesaplanmış ve çeşitli ölçütlerle karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu ölçütler precision, recall, f1-score türleridir. Precision ölçütü Pozitif olarak tahmin edilen bir durumdaki başarıyı gösterir. Recall pozitif durumların ne kadar başarılı tahmin edildiğini gösterirken, F1 ölçütü ise Recall ve Precision ölçütlerinin harmonik ortalamasıdır [25].

4.SONUÇ VE ÖNERİLER (RESULT AND SUGGESTIONS)

162.000 tweetten oluşan veri setinin %80'i kullanılarak sistem eğitilmiş ve %20'si kullanılarak testler yapılmıştır. Bu yolla sistemin doğruluk oranı tespit edilmiştir.

Veri kümesi üzerinde kelime bazlı TF-IDF ağırlıklandırma işleminin uygulanmasının ardından, ayrı ayrı Ridge Regresyonu ve Naive Bayes Sınıflandırıcı modeli uygulanmıştır. Bu modeller için Tweet sınıflandırma çalışmasında elde edilen oranlar F1 ölçütünde Ridge Regresyonu'nda %96.9 olurken Naive Bayes Sınıflandırıcıda bu değer %95.4'e düşmüştür. Ayrıca eğitim süresi olarak Ridge Regresyonu Naive Bayes Sınıflandırıcıya göre daha kısa sürmüştür.

F1 Score	Pozitif Tweet	Negatif Tweet	Ortalama
Ridge	%97.5	%96.3	%96.9
Naive Bayes	%94.5	%95.9	%95.4
Precision	Pozitif Tweet	Negatif Tweet	Ortalama
Ridge	%96.9	%97.2	%97.0
Naive Bayes	%89.9	%99.5	%95.7
Recall	Pozitif Tweet	Negatif Tweet	Ortalama
Ridge	%98.1	%95.5	%97.0
Naive Bayes	%99.5	%92.7	%95.3

Tablo 1. Tahmin Sonuçlar

Ölçütlerine Göre

Bu sonuçlara göre her üç ölçüt sonuçlarının ortalamalarının birbirine yakın olduğu görülmekte, fakat negatif tweetlerde Precision ölçütü, pozitif tweetlerde ise Recall ölçütünün daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca ölçütlerin her birinde Ridge Regresyonu Naive Bayes Sınıflandırıcıya göre daha yüksek doğruluk oranına ulaşmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilecek veriler ile sosyal medya üzerinden yapılabilecek sosyal mühendislik çalışmalarına karşı erken uyarı sistemi kurulabilir, bölgesel veriler incelenerek karşı enformasyon çalışmaları yapılabileceği öngörülmüştür.

Bu çalışma sonucunda ortaya konulabilecek öneriler, farklı diller için de benzer doğal dil işleme çalışmalarıyla araştırmalar yapılması, lokasyon ve tarih bazlı olarak tweetlerin incelenerek daha detaylı sonuçlar alınabilmesidir.

Öneri olarak derin öğrenme kullanan bir metod denenebilir ve veri setinin genişletilmesi üzerine çalışmalar yapılabilir. Ayrıca görüntü işleme kütüphaneleri kullanılarak görsel ve video içeren Tweetler üzerine çalışmalar yapılabilir. Fakat bu kısımda veri boyutunun artması nedeniyle daha yüksek işlemciye gücüne ihtiyaç duyulacaktır.

Bunların yanında konuma özel olarak Tweetlerin temin edilmesiyle farklı konular, ülkeler için "İslamofobi Skoru" hesaplanabilir, bu skorlar üzerinden ülkelerin yer aldığı Küresel İslamofobi indeksi çıkarılabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Çalışmaya katkıda bulunan Salih Çağlar, Berk Çelebi, Şebnem Ayan'a teşekkür ederim.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Buzzi, M. C., Buzzi, M., & Leporini, B. Web 2.0: Twitter and the blind. In Proceedings of the 9th ACM SIGCHI Italian Chapter International Conference on Computer-Human Interaction: Facing Complexity (pp. 151-156), ACM. (2011, September).
- [2] Pak, A., & Paroubek, P. Twitter as a corpus for sentiment analysis and opinion mining. In LREc (Vol. 10, No. 2010, pp. 1320-1326), (2010, May).
- [3] Murthy, D. (2018). Twitter. Cambridge, UK: Polity Press, 24,25.
- [4] Bermingham, A., & Smeaton, A. On using Twitter to monitor political sentiment and predict election results. In Proceedings of the Workshop on Sentiment Analysis where AI meets Psychology (SAAIP 2011) (pp. 2-10), (2011).
- [5] GÖK, M . "MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİ İLE AKADEMİK BAŞARININ TAHMİN EDİLMESİ". Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji 5 (2017): 139-148
- [6] KAYNAR, O , TUNA, M , GÖRMEZ, Y , DEVECİ, M . "Makine öğrenmesi yöntemleriyle müşteri kaybı analizi". Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi 18 (2017): 1-14
- [7] Tumasjan, A., Sprenger, T. O., Sandner, P. G., & Welpe, I. M. Predicting elections with twitter: What 140 characters reveal about political sentiment. Icwsm, 10(1), (178-185.), (2010).
- [8] Fang, X., & Zhan, J. Sentiment analysis using product review data. Journal of Big Data, 2(1), 5, (2015).
- [9] Sadilek, A., Kautz, H. A., & Silenzio, V. Modeling Spread of Disease from Social Interactions. In ICWSM (pp. 322-329), (2012, June).
- [10] Kshirsagar, R., Cukovac, T., McKeown, K., & McGregor, S. Predictive Embeddings for Hate Speech Detection on Twitter. arXiv preprint arXiv:1809.10644, (2018).

- [11] Watanabe, H., Bouazizi, M., & Ohtsuki, T. Hate speech on twitter: A pragmatic approach to collect hateful and offensive expressions and perform hate speech detection. *IEEE Access*, 6, 13825-13835, (2018).
- [12] Er, T., & Ataman, K. İslamofobi ve Avrupa'da birlikte yaşama tecrübesi üzerine. *Uludağ Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi*, 17(2), (2008).
- [13] AYDIN, M. Z. Belçika'da İslamofobi ve Müslümanlara Yönelik Ayrımcılık. *Cumhuriyet Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi*, 12(1), 7-32, (2008).
- [14] Çebi, M. S. İsviçre'deki Minare Karşısı Referandum Afişlerinde İslamofobi'nin Söylemsel İnşası. *Bilig/Türk Dünyası Sosyal Bilimler Dergisi*, (73), 99-140, (2015).
- [15] HAFEZ, F. Avusturya Özgürlük Partisi FPÖ'nün Sağcı Popülizminin Bir Aracı Olarak İslamofobi. Şu kitapta: Haz. Kadir CANATAN ve Özcan HIDİR. *Batı Dünyasında İslamofobi ve Anti-İslamizm*. Ankara: Eski Yeni Yayınları, 355-372, (2007).
- [16] Yavuzcan, İ. H. Almanya'da İslamofobi. *Batı Dünyasında İslamofobi ve Anti-İslamizm içinde*, ed. Canatan, Kadir-Hıdır, Özcan, Eskiyei Yayınları, Ankara, (2007).
- [17] Kwak, H., Lee, C., Park, H., & Moon, S. What is Twitter, a social network or a news media?. In *Proceedings of the 19th international conference on World wide web* (pp. 591-600). AcM., (2010, April).
- [18] Resce, G., & Maynard, D. What matters most to people around the world? Retrieving Better Life Index priorities on Twitter. *Technological Forecasting and Social Change*, 137, 61-75. (2018).
- [19] Fan, M., Billings, A., Zhu, X., & Yu, P. (2019). Twitter-Based BIRGing: Big Data Analysis of English National Team Fans During the 2018 FIFA World Cup. *Communication & Sport*, 2167479519834348.
- [20] Kofler, M. What Is MySQL?. In *MySQL* (pp. 3-19), (2001). Apress, Berkeley, CA.
- [21] Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., ... & Vanderplas, J. Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of machine learning research*, 12(Oct), 2825-2830, (2011).
- [22] Saseendran, A. T., Setia, L., Chhabria, V., Chakraborty, D., & Roy, A. B. (2019). Impact of Data Pruning on Machine Learning Algorithm Performance. *arXiv preprint arXiv:1901.10539*.
- [23] Saleh, A. M. E., Arashi, M., & Kibria, B. G. (2019). *Theory of Ridge Regression Estimation with Applications* (Vol. 285). John Wiley & Sons.
- [24] Go, A., Huang, L., & Bhayani, R. Twitter sentiment analysis. *Entropy*, 17, 252, (2009).
- [25] Powers, D. M. Evaluation: from precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation, (2011).



A Survey of Hyper-parameter Optimization Methods in Convolutional Neural Networks

Ayla GÜLCÜ^{1,*}, Zeki KUŞ²

¹Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 59300, Haliç/İSTANBUL

²Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, 59300, Haliç/İSTANBUL

Graphical/Tabular Abstract

In this study, we provide a review on the meta-heuristic methods like Genetic Algorithms, Particle Swarm Optimization, Differential Evolution and Bayes Optimization that have been used extensively to optimize hyper-parameters in Convolutional Neural Networks (CNN). We highlight the hyper-parameters that have been selected to be optimized in those studies along with the value domains of those parameters. These studies reveal that the number of layers, number of kernels and size of those kernels at each layer, learning rate and the batch size are among the hyper-parameters that affect the performance of the CNNs the most.

Article Info:

Received: 18/01/2019

Revision: 10/06/2019

Accepted: 17/06/2019

Highlights

- CNN hyper-parameter optimization.
- Importance of meta-heuristic methods.
- Image classification in deep learning networks

Keywords

Deep Learning, Convolutional Neural Networks, Heuristic Algorithms, Hyper-parameter optimization

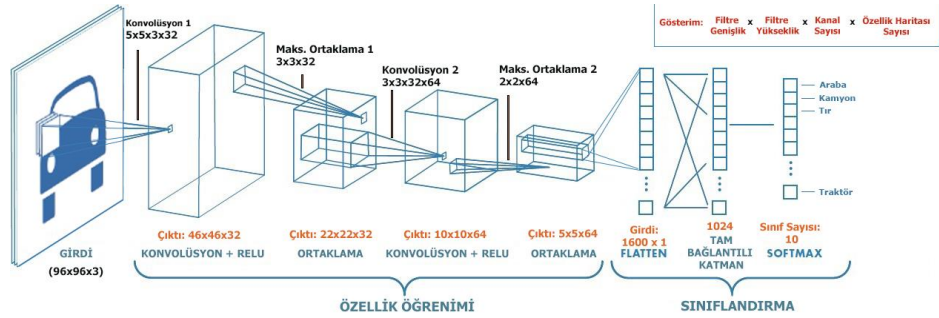


Figure A. structure of convolutional neural networks

Purpose: In this study, meta-heuristic methods that have been used to optimize convolutional neural networks are investigated. A performance comparison of these methods on different image datasets has been presented. The advantages and disadvantages of the optimization approaches have been presented with the aim of providing the user important points that should be considered during hyper-parameter selection process.

Results: The definition of “the best” set of hyper-parameters in convolutional neural networks depends on the problem or in this case, on the dataset. But it is clear from the studies that the selection of some parameters directly affect the performance of the networks. Number of layers, number of filters in each layer and size of each filter, regularization method, learning rate and batch size are among the most important parameters. It is easy to conclude that Genetic Algorithms (GA) are the most widely studied techniques used in hyper-parameter optimization. This is due to the fact that they yield successful results in most of the studies. While selecting the optimization method, one should consider the size of the problem, available computational budget and time. In addition, accuracy expectations should also be taken into account. For the problems with small hyper-parameter search space, methods like Grid Search would be sufficient, but for the problems with large search space, meta-heuristic methods would be more convenient.

Conclusion: In this study, the effect of hyper-parameter optimization methods on classification performance is investigated. GA and Particle Swarm Optimization (PSO) methods are the two most-widely used meta-heuristics for hyper-parameter optimization. The computational burden of these methods can be justified with the accuracy improvement achieved with them. If the computational resources are limited, and it is desired to obtain good results in reasonable amount of time, then other methods like TPE and SMAC would be good choices.



Konvolüsyonel Sinir Ağlarında Hiper-Parametre Optimizasyonu Yöntemlerinin İncelenmesi

Ayla GÜLCÜ^{1,*}, Zeki KUŞ²

¹Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 59300, Haliç/İSTANBUL

²Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, 59300, Haliç/İSTANBUL

Öz

Konvolüsyonel Sinir Ağları (KSA), katmanlarının en az bir tanesinde matris çarpımı yerine konvolüsyon işleminin kullanıldığı çok katmanlı yapay sinir ağlarının bir türüdür. Özellikle bilgisayarlı görü çalışmalarında çok başarılı sonuçlar elde edilse de KSA hala birçok zorluk içermektedir. Daha başarılı sonuçlar elde etmek için geliştirilen mimarilerin giderek daha derinleşmesi ve kullanılan görüntülerin giderek daha yüksek kalitede olmasıyla daha fazla hesaplama maliyetleri ortaya çıkmaktadır. Hem bu hesaplama maliyetlerinin düşürülmesi, hem de başarılı sonuçlar elde edilebilmesi, güçlü donanımların kullanılmasına ve kurulan ağına hiper-parametrelerin optimize edilmesine bağlıdır. Bu çalışmada, *Genetik Algoritma*, *Parçacık Sürü Optimizasyonu*, *Diferansiyel Evrim* ve *Bayes Optimizasyonu* gibi yöntemler ile KSA optimizasyonu gerçekleştirilen çalışmalar incelendi. Bu çalışmalarda optimize edilen hiper-parametreler, tanımlanan değer aralıkları ve elde edilen sonuçlar incelendi. Buna göre, KSA'nın performansında en etkili hiper-parametrelerin filtre sayısı, filtre boyutu, katman sayısı, seyreltme oranı, öğrenme oranı ve yığın boyutu olduğu görülmüştür. Aynı veri kümelerinin kullanıldığı çalışmalar, elde edilen doğruluk değerleri açısından karşılaştırıldığında çoğu veri kümesi için en iyi doğruluk oranlarının popülasyon tabanlı yöntemlerden Genetik Algoritma ve Parçacık Sürü Optimizasyonu kullanılan çalışmalarda elde edildiği görülmüştür. Bu üst-sezgiseller ile elde edilen modellerin performanslarının "state of the art" modellerle yarışabilir durumda hatta bazen daha iyi oldukları görülmüştür. Yine üst-sezgisel kullanılan bazı çalışmalarda üretilen modellerin aşırı büyümesi engellenmiş; basit ve kolay eğitilebilir modeller üretilmiştir. Hesaplama maliyeti açısından çok avantajlı bu basit modeller ile literatürdeki karmaşık modellere çok yakın sonuçlar elde edilebilmiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 18/01/2019
 Düzeltme: 10/06/2019
 Kabul: 17/06/2019

Anahtar Kelimeler

Derin Öğrenme,
 Konvolüsyonel Sinir
 Ağları, Sezgisel
 Algoritmalar, Hiper-
 Parametre Optimizasyonu

Keywords

Deep Learning,
 Convolutional Neural
 Networks, Heuristic
 Algorithms, Hyper-
 parameter optimization

A Survey of Hyper-parameter Optimization Methods in Convolutional Neural Networks

Abstract

Convolutional neural networks (CNN) are special types of multi-layer artificial neural networks in which convolution method is used instead of matrix multiplication in at least one of its layers. Although satisfactory results have been achieved by CNN especially in computer vision studies, they still have some difficulties. As the proposed network architectures become deeper with the aim of much better accuracy and the resolution of the input images increases, this results in a need for more computational power. Reducing the computational cost while at the same time still having high accuracy rates depend on the use of powerful equipments and the selection of hyper-parameter values in CNN. In this study, we examined methods like Genetic Algorithms, Particle Swarm Optimization, Differential Evolution and Bayes Optimization that has been used extensively to optimize CNN hyper-parameters, and also listed the hyper-parameters selected to be optimized in those studies, ranges of those parameter values and the results obtained by each of those studies. These studies reveal that the number of layers, number and size of the kernels at each layer, learning rate and the batch size parameters are among the hyper-parameters that affect the performance of the CNNs the most. When the studies that use the same datasets are compared in terms of accuracy, Genetic Algorithms and Particle Swarm Optimization which are both population-based methods achieve the best results for the majority of the datasets. It is also shown that the performance of the models found in these studies are competitive or sometimes better than those of the "state of the art" models. In addition, the CNNs produced in these studies are prevented from being overgrown by imposing limits on the hyper-parameter values. Thus simpler and easier to train models have been obtained. These computationally advantageous simpler models were able to achieve competitive results compared to complicated models.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Konvolüsyonel sinir ağları (Convolutional Neural Networks - KSA), katmanlarının en az bir tanesinde matris çarpımı işlemi yerine konvolüsyon (filtrelerin girdi üzerinde özellik çıkarımı için dolaşması) işlemi kullanan, yapay sinir ağlarının özelleşmiş bir türüdür [1]. Klasik yapay sinir ağlarından farklı olarak konvolüsyonel sinir ağlarında belirlenen kare boyutta bir matris (filtre/kernel), girdiler üzerinde dolaşarak verilerin işlenmesini, özellik çıkarımını gerçekleştirir. Yapay sinir ağlarında sistem öncelikle örnekler ile eğitilir, ardından test edilerek sistemin hata değeri belirlenir. Öğrenme işlemi, sistemin hata değerinin azaltılması için sistemdeki her bir özellik için kullanılan ağırlıklara verilen değerlerin güncellenmesidir [2].

Yapay sinir ağlarında ilk hesaplama modeli W.S. McCulloch ve W.A. Pitts'in [3], 1943 yılında yayınladığı makale ile ortaya çıkmıştır. Bu çalışmaları takiben 1954 yılında B.G. Farley ve W.A. Clark [4] tarafından uyarılara tepki verebilen bir model oluşturulmuştur. 1970 yılına kadar XOR probleminin sinir ağları ile çözülememesi nedeniyle yavaşlayan çalışmalar bu problemin çözümüyle tekrar hız kazanmış ancak yapay sinir ağları asıl ivmelenmeyi son 10 yıl içerisinde gelişen bilgisayar teknolojisi ve donanımlar ile elde etmiştir.

Günümüzde yapay sinir ağları sınıflandırma, tahmin, örüntü tanıma vb. gibi birçok uygulamada başarılı olarak kullanılmaktadır. Problem tipleri farklılık gösterdiğinden dolayı ortak bir yapay sinir ağı modeli bulunmamaktadır. Problemin girdileri, girdilerin tipleri (tam sayı, metin, reel sayı vb.), beklenen çıktılar, çıktıların şekli (kategorik, ikili) gibi özellikler problemin zorluğunu ve aynı zamanda yapay sinir ağı modelinin yapısını değiştirmektedir. Yapay sinir ağlarında karşılaşılan zorluklardan biri de problem için en başarılı ağı modelinin seçilmesidir. Özellikle konvolüsyonel sinir ağlarında başarılı sonuçlar elde edilebilmesi kullanılacak hiper-parametrelerin doğru seçilmesine bağlıdır. Ancak hiper-parametrelerin optimizasyonu yüksek işlem gücü gerektirdiğinden yapılacak deneylerde hiper-parametre değerleri için belirtilen olası tüm ihtimallerin değerlendirilmesi (grid search) pratik açıdan çok zordur. Bu nedenle hiper-parametre optimizasyonu için üst-sezgisel yöntemler (meta-heuristics) tercih edilmektedir. Bu çalışmada KSA hiper-parametre optimizasyonu çalışmaları incelenmiştir. Araştırma 2012 ve 2019 yılları arasında yapılan çalışmalarla sınırlandırılmıştır. Kullanılan anahtar kelimeler ve operatörler şunlardır: "Deep Learning" OR "Convolutional Neural Networks" AND "Hyper-Parameter Tuning" OR "Parameter Tuning" OR "Parameter Optimization" OR "Hyper-Parameter Optimization". Ardından kullanılan üst-sezgisellerin anahtar kelime olarak tanımlandığı makalelere de ulaşabilmek için "Deep Learning" OR "Convolutional Neural Networks" arama anahtarına teker teker "Meta-Heuristics", "Automatic Configuration", "Evolutionary Algorithms", "Genetic Algorithms" "Particle Swarm Optimization", "Differential Evolution", "Harmony Search" ve "Simulated Annealing" anahtarları da eklenmiştir.

Makalenin ana hatları şu şekildedir: ikinci bölümünde yapay sinir ağlarının yapısı, üçüncü bölümde ise KSA yapısı anlatılmaktadır. Dördüncü bölümde KSA hiper-parametre optimizasyonu çalışmalarında kullanılan yöntemler, veri setleri ve bu çalışmaların performansları sunulmaktadır. Beşinci bölümde ise bu çalışmalarla ilgili değerlendirmeler gösterilmektedir.

2. YAPAY SİNİR AĞLARI YAPISI

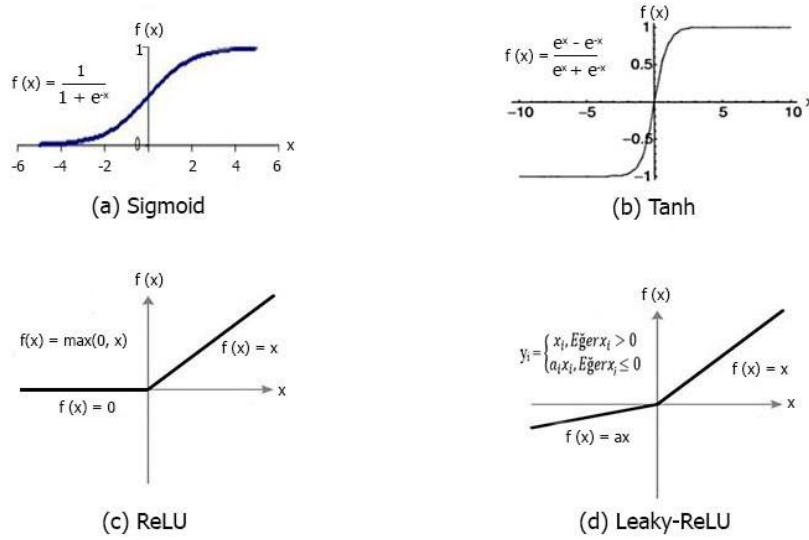
Yapay sinir ağları, beyindeki nöronlardan esinlenilerek oluşturulmuş bir yapıdır. Biyolojik sinir sisteminde bulunan soma, yapay sinir ağlarında nörona, dendrit girdiye, akson çıktıya ve sinaps ağırlıklara karşılık gelmektedir. Nöronlar, sinyalleri bir nörondan diğer nörona doğru geçiren ağırlıklandırılmış bağlantılar ile birbirine bağlıdır. Sinir hücreleri arasındaki iletişim sinapslar yardımıyla gerçekleşir. Yapay sinir ağı, sinir hücrelerine gelen bilgileri toplayıp, belirlenen aktivasyon fonksiyonundan geçirerek çıktıyı üretir. Nöron yapısına bakıldığında girdilerin tutulduğu düğümler, bu girdilere ait ağırlıklar, bütün girdi ve ağırlıkların çarpılıp toplanmasıyla elde edilen toplama fonksiyonu, toplama fonksiyonundan gelen değerleri kullanarak sonuç üreten bir aktivasyon fonksiyonundan ve çıktıdan oluşur.

2.1 Aktivasyon Fonksiyonları

Yapay sinir ağlarında gerçekleşen matris işlemleri sonucunda ağı ve ağıın elemanları doğrusal yapıdadır [5]. Oluşan doğrusal yapı, aktivasyon fonksiyonları ile doğrusal olmayan bir yapıya dönüştürülür. Bu durum ağıın elemanlarının kolay türevlenebilir olmasına katkı sağlar. Ağıın hesaplama hızını arttırmak amacıyla kolay

türevlenebilir aktivasyon fonksiyonlarını seçmek çok önemlidir. Sıklıkla kullanılan aktivasyon fonksiyonları Şekil 1’ de gösterilmiştir.

- **Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu:** Yapay sinir ağlarında sınıflandırma problemlerinde sıklıkla kullanılan aktivasyon fonksiyonu olan *sigmoid*, gelen girdileri Şekil 1(a)’da görüldüğü gibi 0 ile 1 arasında çıktılarına dönüştürür. Bu fonksiyonun en büyük dezavantajı çok fazla katmandan oluşan derin ağlarda belirli bir noktadan sonra türevlenen elemanların sıfıra doğru yaklaşmasıdır [6]; *kaybolan eğim* (*vanishing gradient*) problemi denen bu durum öğrenme işlemini zorlaştırmaktadır.
- **Tanjant Hiperbolik Aktivasyon Fonksiyonu:** *Tanjant hiperbolik* aktivasyon fonksiyonu gelen girdileri -1 ile 1 arasında çıktılarına dönüştürür. Şekil 1(b)’de görüldüğü gibi, [-1, 1] aralığında değer alan çıktılar sıfır merkezlidir ve optimizasyonu kolaylaştırıcı etkisi olan bu durum nedeniyle bu fonksiyon *sigmoid* aktivasyon fonksiyonuna göre daha sık tercih edilmektedir. Fakat bu aktivasyon fonksiyonunda da *kaybolan eğim* problemi devam etmektedir.



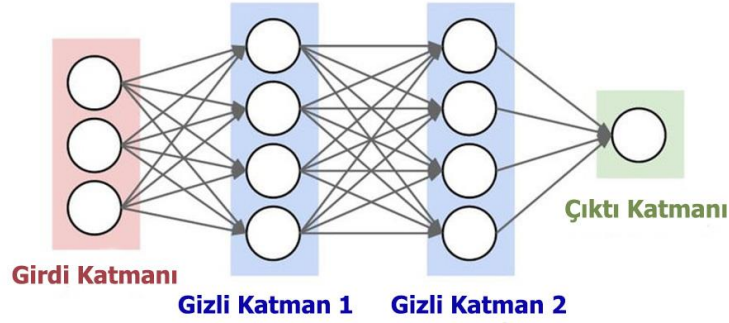
Şekil 1. Aktivasyon Fonksiyonları [7].

- **Doğrultulmuş Linear Ünite (Rectified Linear Unit – ReLU):** *ReLU* aktivasyon fonksiyonu, gelen girdileri Şekil 1(c)’de görüldüğü gibi sıfır ile sonsuz arasındaki çıktılarına dönüştürür. Bu nedenle *ReLU* doyumuna ulaşmayan bir fonksiyon olarak adlandırılır. Bu fonksiyonun en büyük avantajı çok hızlı hesaplanabilmesi ve aynı zamanda *kaybolan eğim* problemine karşı dayanıklı olmasıdır.
- **Sızdırılmış Doğrultulmuş Linear Ünite (Leaky Rectified Linear Unit - Leaky ReLU):** *ReLU* negatif değerleri direkt olarak sıfıra eşitlediği için ölü *ReLU* olarak adlandırılmaktadır. Bu durum negatif değerlerin fazla olduğu durumlarda katmanlardaki birimlerin aktif hale gelmemesine neden olmaktadır. Bu durumun önüne geçmek amacıyla *Leaky-ReLU* aktivasyon fonksiyonu önerilmiştir. Şekil 1(d)’ de görüldüğü gibi negatif değerlerde fonksiyona eğim eklemek amacıyla küçük, sabit bir parametre (a_i) seçilir. Eğer, a_i parametresi 0.01 gibi küçük, sabit bir değer alır ise yöntem *Leaky-ReLU* olarak adlandırılmaktadır. Ancak a_i diğer sinir ağı parametreleri ile beraber adaptif bir şekilde öğreniliyorsa yöntem *PreLU* (*Parametric ReLU*) olarak adlandırılır [8].

2.2 Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları

Çok katmanlı yapay sinir ağları, girdilerin temsil edildiği *girdi katmanı* (*input layer*), girdi katmanından gelen bilgilerin işlenerek bir çıktıya dönüştürüldüğü *gizli katmanlar* (*hidden layers*) ve en son gizli katmandan gelen sonuçların çıktı değerlerine dönüştürüldüğü *çıkı katmanından* (*output layer*) oluşmaktadır [9]. Şekil 2’de gösterildiği gibi, girdiler gizli katmandaki düğümler ile ağırlıklar aracılığı ile bağlıdır. Gizli katman sayısı ve her bir gizli katmandaki nöron sayısı problemin zorluğuna göre belirlenmektedir. Her bir nöronda girdiler ile

ağırlıkların işlenmesiyle oluşan çıktılar çıktı katmanına gönderilir. Çıktı katmanından hesaplanan çıktı değeri ile beklenen çıktı değeri belirlenen hata hesaplama fonksiyonuna göre hesaplanır. Hesaplanan hata değeri beklenen sonuçtan ne kadar uzak olduğumuzu belirler. Hesaplanan bu değere göre seçilen optimizasyon fonksiyonu ile ağırlıklar güncellenir; yani yapay sinir ağı öğrenmeye başlar.



Şekil 2. Çok katmanlı YSA yapısı

2.3 Hata Hesaplama

Yapay sinir ağlarında elde edilen çıktılar, istenilen çıktılara ne kadar yakın olduğunu belirleyebilmek çok önemlidir. Beklenen ve hesaplanan değerler arasındaki fark sinir ağı'nın doğru sınıflandırmalar yapmaya ne kadar uzak olduğunu belirler. Yapay sinir ağlarında hataların hesaplanmasına geçilmeden önce çıktı katmanında elde edilen sonuçların normalizasyonu gerçekleştirilir. Daha sonra bu değerler seçilen hata hesaplama fonksiyonuna verilir. Genel olarak ikili sınıflandırmaların olduğu çalışmalarda *sigmoid* fonksiyonu, daha fazla sınıfa sahip çalışmalarda ise *softmax* fonksiyonu kullanılır. Maliyet fonksiyonu olarak *Ortalama Kareli Hata (Mean Squared Error)*, *Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error)* ve *Çapraz Entropi (Cross-Entropy)* yöntemlerinden biri kullanılır.

Softmax yönteminde sınıf sayısı kadar düğüm oluşturulur ve oluşturulan düğümler için olasılık değerleri üretilir [10]. Örneğin: a_i aktivasyon değerlerine sahip düğüm için p_i olasılık değeri denklem 1'de gösterildiği gibi o düğüm için bulunan değer tüm düğümler için hesaplanan toplam değere bölünmesiyle elde edilir ve en yüksek değere sahip düğümün temsil ettiği sınıf tahmin edilen sınıf olarak belirlenir. Ardından *çapraz entropi* yöntemi ile her bir girdi için hata hesaplanması denklem 2'ye göre gerçekleştirilir (\hat{y} : hesaplanan değer, y : gerçek değer) [11]; toplam hata (maliyet) ise denklem 3'e göre hesaplanır (m : örnek sayısı).

$$p_i = \exp(a_i) / \sum_j \exp(a_j) \quad 1$$

$$L(\hat{y}, y) = -y^{(i)} \log(\hat{y}^{(i)}) - (1 - y^{(i)}) \log(1 - \hat{y}^{(i)}) \quad 2$$

$$J(W, b) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m L(\hat{y}^{(i)}, y^{(i)}) \quad 3$$

Yapay sinir ağlarında *aşırı öğrenmeyi (overfitting)* engellemek amacıyla en yaygın olarak kullanılan *düzenleştirme (regularization)* yöntemleri şunlardır:

- **L2 ve L1 Düzenleştirme:** Toplam hata fonksiyonunun sonuna eklenen terimler ile düzenleştirme yapılır. L2 düzenleştirme yönteminde her bir ağırlığın karelerinin toplamı eklenirken L1 düzenleştirme yönteminde ise ağırlıkların mutlak değerlerinin toplamı eklenir. Hesaplanan bu toplamlar, bir düzenleştirme katsayısı (λ), ile çarpıldıktan sonra toplam hata fonksiyonuna eklenir. Bu λ değeri çok büyük seçilirse *eksik öğrenmeye (underfitting)*; çok küçük seçilirse *aşırı öğrenmeye (overfitting)* neden olabilir.
- **Seyreltme (Dropout) Yöntemi:** En sık kullanılan yöntem olan seyreltme yönteminde amaç, belirlenen bir seyreltme oranına göre gizli katmanda rastgele seçilen bazı düğümlerin hata optimizasyonuna katılmasını engellemektir [12]. Aşırı öğrenmenin engellenmesi için işleme dahil edilmeyen nöronlar, hesaplanan toplam hatanın geriye yayılması sırasında da işleme dahil edilmezler.

2.4 Optimizasyon Metotları

Yapay sinir ağlarında, ağırlıkların doğru bir şekilde güncellenmesi öğrenme işlemi için çok önemlidir. Hata hesaplandıktan sonra elde edilen hataya göre ağırlıklar güncellenir. Ağırlıkların güncellenmesi için *Geri Yayılım Algoritması* (Back-Propagation) kullanılır [5]. *Geri yayılım algoritması* ile sinir ağındaki her bir ağırlığın, hesaplanan hataya olan etkisini hesaplamak için gradyan tabanlı *Stokastik Gradyan Azaltma* [13], *RMS-Prop*, *Adam* [14] ve *Adadelta* [15] metotları sıklıkla kullanılmaktadır.

- **Gradyan Azaltma (Gradient Descent):** *Gradyan azaltma algoritması (Batch Gradient Descent)*, tüm veri kümesinde gradyan hesabını gerçekleştirir. Bu durum bir iterasyonun çok uzun sürmesine neden olmakta ve erken yakınsama ile yerel optimumlara yakalanma riskini arttırmaktadır. Bu gibi problemlerden dolayı *mini-batch gradient descent* yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemde eğitim veri seti belirlenen sabit değerde yığınlar (*batch*) bölünmüştür ve bölünen her bir yığın için toplam hata hesaplanır ve ağırlıklar güncellenir. Eğer mini-batch değeri “1” olacak şekilde seçilirse *stokastik gradyan azaltma* algoritması uygulanmış olur; bu durumda her defasında bir örnek için hata hesaplanır ve ağırlıklar güncellenir, dolayısıyla vektörizasyonun getirmiş olduğu hız kaybedilir.
- **Momentumlu Gradyan Azaltma (Gradient Descent with Momentum):** Gradyan azaltma yöntemlerinde öğrenme adımlarının en iyi sonuca doğru daha hızlı hareket etmesi ve daha az sapmaların olması istenir. Atılan öğrenme adımları bazen çok fazla olabilir ve atılan bu yanlış adımlar en iyi sonuca ulaşma süresini doğrudan etkileyebilir. Bu problemleri iyileştirmek amacıyla *momentumlu gradyan azaltma* [16, 17] yöntemi önerilmiştir. Geçmişteki öğrenme adımlarının ortalama hızı bir sonraki öğrenme adımının hızını sınırlamak için kullanılabilir. Bu yöntem ile üstel olarak azalan geçmişteki gradyanların dinamik ortalaması tutulur ve bu dinamik ortalamalar hesaba katılarak o yönde bir ilerleme sağlanır [1]. Bu sayede öğrenme adımları en iyi sonuca doğru daha hızlı hareket eder ve daha az sapma olur.
- **RMS-Prop (Root Mean Square Propagation):** *RMS-Prop* yöntemi, Geoffrey Hinton'ın Coursera'da verdiği derste önerdiği bir optimizasyon yöntemidir [16]. Bu yöntem uyarlanabilir öğrenme oranı kullanan algoritmalar alt kümesine girmektedir. Yani öğrenme adımları boyunca her bir parametre için ayrı bir öğrenme oranı kullanılır ve bu öğrenme oranları elde edilen sonuçlara göre uyarlanabilir, güncellenebilir. Bu yöntem üstel olarak azalış gösteren ortalama yaklaşımını kullanarak, uzak geçmişteki noktaları dikkate almaz. Bu sayede yakınsamayı hızlandırabilir [1]. *Adadelta* optimizasyon yönteminde, parametrelerin kendi öğrenme hızları vardır. Bu öğrenme hızları giderek azalmaktadır ve sistem belirli bir noktadan sonra öğrenme işlemini gerçekleştiremez. *RMS-Prop* yöntemi bu sorunu çözmek amacıyla önerilmiştir.
- **Adam (Adaptive Moment Estimation):** Adam, klasik *stokastik gradyan azaltma* yöntemi yerine kullanılabilir daha verimli, adaptif bir optimizasyon algoritmasıdır. Yani her bir parametre için dinamik bir şekilde öğrenme oranını (learning rate) günceller [14,16]. Hesaplama yükü olarak verimlidir ve düşük bellek gereksinimlerine ihtiyaç duyar. *Adam*, *RMS-Prop* ve *Momentum* ile birlikte gradyan düşürme yöntemlerine benzer bir parametre güncelleme metodu kullanılmaktadır.

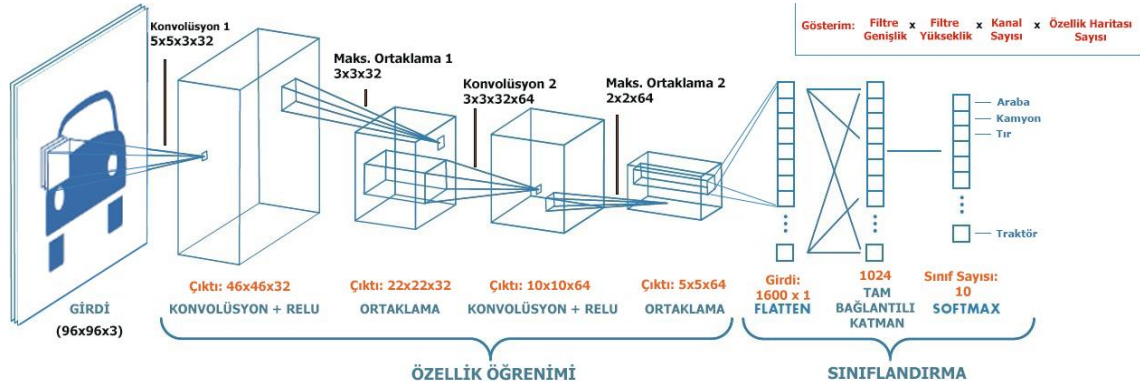
3. KONVOLÜSYONEL SİNİR AĞLARI

Konvolüsyonel sinir ağları (KSA) bilgisayarlı görüntü tanıma çalışmalarında sıklıkla kullanılan ve çok başarılı sonuçlar veren bir derin öğrenme yöntemidir. Çok katmanlı YSA'dan farklı olarak KSA'da, katmanlarının en az bir tanesinde matris çarpımı yerine konvolüsyon (filtrelerin girdi üzerinde özellik çıkarımı için dolaşması) işlemi kullanılmaktadır [1,18,19]. İlk katmanlarda verilen girdi üzerinde, filtreler yoluyla özellik çıkarımı gerçekleştirilir. Aynı zamanda bir yandan hesaplama maliyetini düşürmek amacıyla diğer yandan ise girdiden öğrenilen özelliklerin özet bilgisini diğer katmanlara aktarmak amacıyla boyut düşürme fonksiyonları kullanılır. Daha sonra girdiden elde edilen bu özellikler tek boyutlu bir vektör haline getirilir ve tam bağlantılı katman veya katmanlara girdi olarak verilip, sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir. Şekil 3'te gösterildiği gibi

96*96*3 boyutlu (3:kanal) bir resim girdisi, 5*5*3 boyutlu 32 adet filtreden geçirildikten sonra 46*46*32 boyutuna indirilmiştir, ancak 32 filtre ile 32 ayrı özellik çıkarılmıştır.

3.1 Konvolüsyonel Sinir Ağları Yapısı

Girdi Katmanı: Resim sayısal ifadelerden oluşan matrise dönüştürüldükten sonra girdi katmanına verilebilir. Resmin özelliklerine göre matris boyutları değişebilmektedir. Örneğin, 28x28 gri tonlamalı bir resim 28x28x1 boyutunda matrisle gösterilebilirken; aynı boyutlardaki renkli resim için RGB (Red, Green, Blue) kanallarından dolayı 28x28x3 boyutunda bir matris gereklidir (Şekil 4).



Şekil 3. Konvolüsyonel Sinir Ağlarının Yapısı

Konvolüsyon Katmanı: Bu katmanda önceki katmandan gelen girdiler üzerinde belirlenen filtreler uygulanarak yeni özellik setleri çıkarılmaya çalışılır. Uygulanan her bir filtre belirtilen boyutta matrisler ile temsil edilir. Girdi üzerine uygulanan her filtre farklı bir özelliği ortaya çıkarmaya çalışır. Filtrelerin boyutlarının seçimi çok önemlidir. Zira çok büyük boyutlardaki filtreler girdi üzerinde bazı özelliklerin kaçırılmasına neden olabilir. Filtrelerin katsayıları, yapay sinir ağlarında bulunan ağırlıkları temsil eder ve her bir adımda hata değerine göre bu filtre katsayıları güncellenerek yeni filtreler elde edilir.



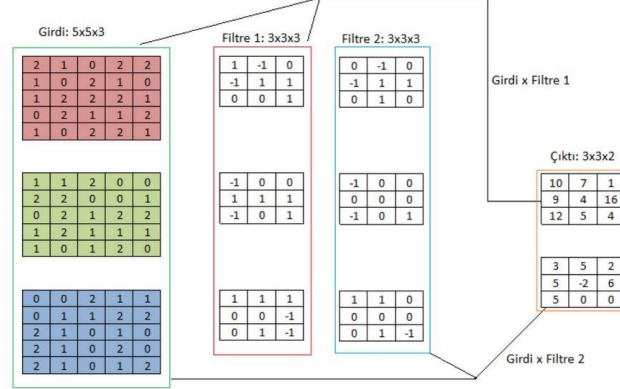
Şekil 4. Renkli (3 kanallı) Resmin Gösterimi

Girdi üzerinde her bir filtre sıra ile tüm pikselleri dolaşır. Girdi katsayıları ile filtre katsayıları noktasal çarpılır ve bu işlem girdinin her bir kanalı için gerçekleştirilir (Şekil 5). Denklem 4' te gösterildiği gibi girdi matrisi ve ağırlık matrislerinin çarpılmasıyla özellik haritaları oluşmaktadır. $W^{[i-1]}$, $i-1$. katmanda uygulanan her bir filtrenin değerlerinin tutulduğu matrisi; $Z^{[i]}$ ise ağırlık ve girdi matrislerinin işleme sokulması sonucunda oluşan yeni özellik haritalarının tutulduğu matrisi göstermektedir.

$$Z^{[i]} = X^{[i]}W^{[i-1]} + b^{[i-1]} \quad 4$$

Ortaklama Katmanı: Ortaklama (pooling) işlemi özellik boyutunu düşürmek için kullanılır. Yükseklik ve genişlik değerlerinin düşürülmesi özellik kaybına neden olsa da sinir ağının eğitilmesini hızlandırır. Ortaklama işleminde öğrenilecek parametre yoktur; sabit ortaklama boyutu ve aralık (stride) hiper-parametreleri vardır. Ortaklama işlemi için yaygın olarak maksimum ortaklama (max pooling) ve ortalama ortaklama (average pooling) yöntemleri kullanılmaktadır. Maksimum ortaklama yönteminde, belirli bir aralık değerine (stride) göre ortaklama filtresi girdi üzerinde dolaşır ve girdi üzerinde filtrenin bulunduğu alana karşılık gelen kısım içerisindeki maksimum değer, çıktıda karşılık gelen alana yerleştirilir.

Tam Bağlantılı Katman: Konvolüsyonel sinir ağlarının son katmanlarını oluşturur. Tam bağlantılı katmana gelene kadar olan katmanlarda girdiler için özellik çıkarımı, boyut düşürme ve normalizasyon işlemleri gerçekleştirilmiş olur. Elde edilen çıktıya göre hata hesaplanır. Hesaplanan hata değerine göre ağırlıklar tekrar güncellenir ve bu çevrim istenen yakınsama değeri elde edilene ya da belirli bir adım sayısı tamamlanana kadar devam eder.



Şekil 5. Konvolüsyon İşlemin Uygulanması ve Çıktılar (Aralık = 1, Dolgu = 0) [WK3]

4. KONVOLÜSYONEL SİNİR AĞLARINDA HİPER-PARAMETRE OPTİMİZASYONU

Konvolüsyon katmanı sayısı, her bir katmanda kullanılan filtre sayısı, filtre boyutu, aralık ve dolgu değeri, tam bağlantılı katman sayısı ve her katmandaki nöron sayısı gibi hiper-parametreler KSA'ların başarısını doğrudan etkilemektedirler. Ancak optimize edilmek istenen hiper-parametreler için tanımlanan değerlerden oluşan arama uzayı çok geniş olabileceğinden bütün seçenekleri denemek, hesaplama zamanı açısından mümkün olmamaktadır. Bu nedenle genellikle genetik algoritma, parçacık sürü optimizasyonu ve diferansiyel gelişim algoritmaları gibi üst-sezgisel yöntemlerden yararlanılır.

Literatürde, KSA'nın eğitilmesi ve test edilmesi için kullanılan, boyut, örnek sayısı ve sınıf sayısı açısından farklı zorluklarda veri kümeleri bulunmaktadır. Bu veri kümeleri ve özellikleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Veri kümeleri ve özellikleri

Veri Seti	Örnek Sayısı	Sınıf Sayısı	Görüntü Boyutları
Caltech-101 [20, 21]	9,146	101	300x200
Cancer Genome Atlas – miRNASeq [22]	8,129	29	-
CIFAR10 [23]	60,000	10	32x32
CIFAR100 [23]	60,000	100	32x32
Convex Set [24]	13,000	2	28x28
EMNIST Balanced [25]	131,600	47	28x28
EMNIST Digits [25]	280,000	10	28x28
EMNIST Letters [25]	145,600	26	28x28
Fashion-MNIST [26]	70,000	10	28x28
Human Sketches Dataset [27]	20,000	250	90x250
LIDC-IDRI [28]	1018	2	-
MNIST [29]	70,000	10	28x28
MNIST Random Background (MRB) [24]	17,000	10	28x28
MNIST Rotated Digits (MRD) [24]	17,000	10	28x28
MNIST with Background Images (MBI) [24]	17,000	10	28x28
MNIST RD plus Background Images (MRDBI) [24]	17,000	10	28x28
STL-10 [30]	13,000	10	96x96
UCF-50 [31]	-	50	-

KSA parametreleri, konvolüsyon katmanı parametreleri, ortaklama katmanı parametreleri, tam bağlantılı katman parametreleri ve ortak parametreler olarak gruplandırılabilir. Konvolüsyon katmanında filtre sayısı ve boyutu, dolgu boyutu gibi parametreler; ortaklama katmanında filtre boyutu, aralık değeri ve ortaklama algoritması gibi parametreler; tam bağlantılı katmanda nöron sayısı ve katman sayısı gibi parametreler bulunmaktadır. Öğrenme oranı, optimizasyon yöntemi, ağırlık düşürücü, ağırlık başlatıcı ve seyrekleştirme oranı gibi parametreler ortak parametreler arasındadır. Derin öğrenme literatüründe çoğunlukla konvolüsyon katmanı ile ortaklama katmanı tek bir konvolüsyon katmanı olarak kabul edilmektedir. Ancak her bir katmanda optimize edilebilecek parametreleri açıkça belirtebilmek açısından ortaklama katmanı Tablo 2’de ayrı bir kolonda gösterilmektedir.

Tablo 2. KSA’da optimize edilebilecek hiper-parametreler

Konvolüsyon	Ortaklama	Tam Bağlantılı	Ortak
Filtre boyutu - k	Filtre boyutu - k	Nöron sayısı - n	Optimizasyon metodu - o^{**}
Filtre sayısı - c	Aralık (stride) - s	Katman sayısı - l_i	Batch boyutu - ba
Aralık (stride) - s	Ortaklama alg. - pa	Başlangıç katman sayısı - l_i	Öğrenme oranı - a
Dolgu (padding) - p	Katman sayısı - l_o		Başlangıç öğrenme oranı - a_i
Aktivasyon fonksiyonu - a^*			Seyreltme oranı (dropout) - d
Katman sayısı - l_k			Seyreltme aktif - de
Başlangıç katman sayısı - l_{ki}			Düzenleştirme metodu - r
			L2, L1 düzenleştirme katsayısı - $\lambda_{L2}, \lambda_{L1}$
			Ağırlık başlatıcı (weight initializer) - wi
			Ağırlık düşürücü - wd
			Ağırlık çarpanı - wm
			Ağırlık normalizasyonu - wn
			Ağırlık ceza değeri - wp
			İterasyon sayısı - it
			Momentum - m
			Yanlılık aktif (bias) - b
			Yanlılık başlangıç - b_i
			Yanlılık başlangıç katsayısı - b_{ic}
			Gauss katsayısı - gc

* a_i : A₁: Trelu, A₂: Elu, A₃: Prelu, A₄: Leaky-relu, A₅: Relu, A₆: Softmax, A₇: Sigmoid, A₈: Lineer, A₉: tanh, A₁₀: selu

** o : O₁: Sgd, O₂: Nesterov, O₃: Momentum, O₄: Adamax, O₅: Adagrad, O₆: Adam, O₇: Adadelta, O₈: Rms-prop

4.1 Hiper-parametre Optimizasyonu için Kullanılan Üst-sezgiseller

KSA hiper-parametre optimizasyonu çalışmalarında en çok kullanılan üst-sezgiseller, *Genetik Algoritma* (Genetic Algorithm–GA), *Parçacık Sürü Optimizasyonu* (Particle Swarm Optimization – PSO), *Diferansiyel Gelişim* (Differential Evolution – DE) ve *Harmonik Arama*’dır (Harmonic Search – HA). Bu bölümde, bu üst-sezgisel metodların kullanıldığı çalışmalarda optimize edilen hiper-parametreler ve bu hiper-parametreler için tanımlanmış değer aralıkları bilgileri sunulmaktadır. İncelenen çalışmaların bütünü görüntü sınıflandırma problemi için gerçekleştirilen çalışmalardır.

4.1.1 Genetik Algoritmalar

John Holland’ın temellerini geliştirdiği ve “Adaptation in Natural and Artificial Systems” kitabında anlattığı [32] *genetik algoritmalar* (GA) kısaca, en iyinin hayatta kalması ilkesine dayanarak çözüm uzayında en iyi çözümü bulmaya çalışan arama yöntemidir [33, 34]. İlk olarak her biri bir çözümü temsil eden rastgele oluşturulan bireylerden meydana gelen bir başlangıç popülasyonu ile çalışmaya başlanır; her bir iterasyonda mevcut jenerasyondan seçilen bireylerin çaprazlanmasıyla ve mutasyona uğratılmasıyla yeni bir popülasyon elde edilir ve bu yeni jenerasyon öncekinin yerini alır. Her yeni jenerasyonda daha iyi genetik özelliklere sahip bireylerden oluşan bir popülasyonun oluşması umut edilir. Çaprazlama ve mutasyon işlemleri bir çaprazlama ve mutasyon olasılığına göre yapılır (P_{cx} ve P_m). Ayrıca, popülasyon büyüklüğü, çözüm gösterim yöntemi ve iterasyon sayısı gibi parametrelerin doğru seçilmesi önemlidir.

GA ile yapılan hiper-parametre optimizasyonu çalışmalarından bazılarında sabit bir KSA mimarisi kabul edilirken bazı çalışmalarda dinamik olarak genişleyebilen bir mimari kabul edilmiştir. Tablo 3’te optimize

edilen hiper-parametreler ve parametre değer aralıkları gösterilmektedir; Tablo 4' te ise GA parametrelerinin belirtildiği çalışmalar için seçilen parametre değerleri gösterilmektedir.

Tablo 3. GA çalışmalarında optimize edilen hiper-parametreler ve değer aralıkları

Referans	Konvolüsyon	Ortaklama	Tam Bağlantılı	Ortak
Dufourq (2017) [38]	k : [1, 6] c : [10, 100] a : A ₈ , A ₄ , A ₃ , A ₅	k : [1, 6]	n : [10, 100] a : [A ₈ , A ₇ , A ₆ , A ₅]	d : 0, 1
Bochinski (2017) [40]	lk : [0, 6] k : [1, 8] c : [1, 128] lki : [2, 4]	-	l : [0, 4] n : [16, 2048] li : [1, 2]	-
Fujino (2017) [41]	k : 3, 5, 7, 9, 11 c : 16, 32, 64	k : 3, 5, 7	n_1 : 2 ⁹ , 2 ¹⁰ , 2 ¹¹ , 2 ¹² n_2 : 2 ⁷ , 2 ⁸ , 2 ⁹ , 2 ¹⁰	ba : 10, 20, 30 a : relu, no relu
Rincon (2018) [37]	k : [4, 64] c : [2, 256]	k : [4, 64]	-	-
Ma (2018) [43]	k : 3, 5, 7 c : [16, 512]	pa : yok, max, avg	n : [16, 512]	a : A ₁ ,...,A ₆ d : [0, 0.5] o : O ₁ , O ₄ , O ₅ ,...,O ₈
Assunção (2018) [44]	b : true, false k : 1, 3, 5 c : [32, 256] p : same, valid s : [1, 3]	k : [1, 5] pa : max, avg s : [1, 3]	b : true, false n : [128, 2048]	a : A ₅ , A ₇ , A ₈ a : [10 ⁻⁴ , 10 ⁻¹]
Baldominos (2018) [45]	a : A ₅ , A ₈ k : [2, 9] c : 8, 16, 32, 64, 128, 256 lk : [1, 4]	k : [2, 6]	a : A ₅ , A ₈ d : 0, 0.5 l : 1, 2 n : 2 ⁵ , 2 ⁶ , 2 ⁷ , 2 ⁸ , 2 ⁹ , 2 ¹⁰ r : null, L1, L2	ba : 25, 50, 100 a : 5E-1, 1E-1, 5E-2, 1E-2, 5E-3, 1E-3 o : O ₁ ,...,O ₈

- : Katman için hiper-parametre optimizasyonu gerçekleştirilmemiş

Sabit bir KSA topolojisinin kabul edildiği çalışmalarda başlangıç ağırlıkları, her bir katmandaki filtre boyutu ve filtre sayısı gibi parametreler optimize edilmeye çalışılmıştır. İjjina ve arkadaşları [35] tam bağlantılı katmanda başlangıç ağırlıklarının oluşturulacağı "seed" değerini ve konvolüsyon katmanı ağırlıklarının başlangıç değerlerini GA ile optimize etmeye çalışmışlardır. Kromozomlar reel sayı tipinde toplam 64 gen ile temsil edilmiştir; 63 gen konvolüsyon katmanındaki ağırlıkları, 1 gen ise seed değerini temsil etmek için kullanılmıştır. Ağırlıklarının GA ile başlatılarak eğitilen modelin diğer modellerden daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir. Silva ve arkadaşlarının [36] akciğer nodüllerini sınıflandırmak amacıyla yaptıkları çalışmada sabit topolojili bir KSA kullanılarak her katmandaki filtre sayısı ve nöron sayısı parametreleri GA ile optimize edilmiştir. Tam sayı tipinde 3 gen ile gösterilen kromozomlarda her bir gen sırasıyla ilk konvolüsyon katmanı filtre sayısını, ikinci konvolüsyon katmanı filtre sayısını ve gizli katman nöron sayısını temsil etmek için kullanılmıştır. Önerilen modelin diğer çalışmalardan daha iyi duyarlılık değeri verdiği gösterilmiştir. Rincon ve arkadaşları [37] tarafından önerilen çalışmada gene sabit bir KSA mimarisi için filtrelerin boyut ve sayıları optimize edilmeye çalışılmıştır. Medikal veri setleri üzerinde test edilen metot ile diğer makine öğrenmesi algoritmalarından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Dinamik olarak genişleyebilen bir KSA mimarisinin kabul edildiği çalışmalarda kromozomlar da değişken boyutlarda seçilmektedir. Bu çalışmalarda ağırlık kontrolsüzce büyümesini engellemek amacıyla katman sayısı değeri kısıtlı bir aralıktan seçilmektedir (Tablo 3). Dufourq ve arkadaşları [38] her bir konvolüsyon katmanındaki filtre boyutu ve sayısı ile aktivasyon fonksiyonunun yanında konvolüsyon katmanı sayısını da optimize etmeye çalışmışlardır. Elde edilen sonuçlar bazı veri kümeleri için literatürdeki diğer KSA ile benzer olsa da bazı veri kümeleri için daha kötü sonuçlar elde edilmiştir. Ancak üretilen modeller literatürde temel alınan modellere göre daha basit olduğundan çok daha makul bir hesaplama gücü ve süresi içinde eğitilebilmişlerdir. Sun ve arkadaşları [39] GA kullanarak elde ettikleri basit modeller ile karmaşık mimarilere karşı rekabetçi sonuçlar elde etmişlerdir. Bochinski ve arkadaşlarının [40] önerdikleri çalışmada gene sabit olmayan bir topoloji kullanılmıştır. Kullanılan evrimsel algoritma tabanlı yaklaşımda her bir KSA'nın uygunluk değeri o bireyin doğruluk değerinin bir KSA komitesindeki bireylerin değerleriyle kıyaslanmasıyla bulunmaktadır. Bu yaklaşımın çok başarılı sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Fujino ve arkadaşlarının [41] el

çizimlerin sınıflandırılması çalışmalarında, *AlexNet* mimarisi [42] temel alınarak GA ile optimize edilen bir KSA önerilmiştir. Ma ve arkadaşları [43] tarafından önerilen çalışma bilinen resim tanıma problemleri ile test edildiğinde “state-of-the-art” mimarilere karşı başarılı sonuçlar vermiştir. Assunção ve arkadaşları da [44] evrimsel algoritmalar ile otomatik olarak oluşturdukları KSA ile bilinen mimarilerle yarışabilir sonuçlar elde etmişlerdir. Baldominos ve arkadaşlarının [45] önerdiği evrimsel algoritma yönteminde ise üretilen her bireye daha önceki bireylere benzeme derecesine göre bir ceza puanı verilerek sürekli aynı bireylerin elde edilmesi engellenerek genetik çeşitlilik oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu yöntemin genetik algoritmanın başarısını artırdığını ortaya koymuşlardır.

Tablo 4. GA ile KSA optimizasyonu çalışmalarında GA için sabit seçilen parametreler

Referans	Popülasyon Boyutu	P_{cx}	P_m	Jenerasyon Sayısı
Ijjina (2016) [35]	20	0.8	0.01	5
Silva (2017) (2017) [36]	6	0.7	0.3	100
Dufourq (2017) [38]	100	-	-	10
Sun (2017) [39]	100	0.9	0.1	100
Bochinski (2017) [40]	5	-	0.3	50
Fujino (2017) [41]	20	1.0	-	20
Rincon (2018) [37]	50	-	0.1	-
Ma (2018) [43]	-	-	-	10
Assunção (2018) [44]	100	0.7	0.3	100
Baldominos (2018) [45]	50	0.7	0.015	100

- : Parametrenin aldığı değer belirtilmemiş

4.1.2 Parçacık Sürü Optimizasyonu

Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization - PSO), 1995 yılında Dr. Eberhart ve Dr. Kennedy tarafından ortaya atılmış, kuş veya balık sürülerinin sosyal davranışlarına dayanarak geliştirilmiş olan bir optimizasyon yöntemidir [46, 47]. PSO temel olarak, bireylerin en uzun süre hayatta kalması için yaptıkları davranışları taklit eder. Her bir birey birer parçacık olarak düşünülürse, her parçacık kendisinin daha önce verdiği karar ve grubun kararları doğrultusunda hareket eder. Kararının sonucunda oluşan durumlara göre performansını değerlendirir ve bir önceki adımıyla kıyaslayarak kendisi için en iyi kararı seçmeye çalışır. PSO ile KSA optimizasyonu yapan çalışmalarda optimize edilen hiper-parametreler ve tanımlanan değer aralıkları Tablo 5’te özet olarak verilmiştir.

Yamasaki ve arkadaşları [48] sabit *AlexNet* mimarisi üzerinde filtre sayısı, boyutu, ortaklama tipi gibi parametreleri optimize etmeye çalışmışlardır. Elde edilen en iyi sonuçlar CIFAR10, CIFAR100, Subset10, Subset30, Subset50 veri setleri için sırasıyla karşılaştırıldığında önerilen yöntem, orijinal *AlexNet* mimarisinden +2.40%, +3.41%, +2.20%, +5.74% ve +0.72% daha iyi doğruluk değerleri elde etmiştir. Ancak önerilen yöntem, orijinal *AlexNet* mimarisinden 2% - 4% daha fazla hesaplama maliyetine neden olmuştur. Silva ve arkadaşları da [49] sabit mimarili bir KSA’yı PSO tabanlı bir yöntem ile optimize etmeye çalışmışlardır. Elde edilen ağ, tıbbi bir veri seti (LIDC-IDRI) üzerinde test edilmiştir.

Dinamik ağ modelinin kabul edildiği PSO ile KSA hiper-parametre optimizasyonu çalışmalarından, Lorenzo ve arkadaşları [50] tarafından önerilen yöntem SimpleNet-1, SimpleNet-2 ve LeNet-4 topolojisinin optimize edilmesi için kullanılmıştır. PSO algoritmasının diğer hiper-parametre seçim algoritmalarından 0.0026 daha kötü doğruluk değeri vermesine rağmen 94 kat daha hızlı olduğu öne sürülmüştür. Lorenzo ve arkadaşları daha sonra [51] PSO’ nun KSA hiper-parametre optimizasyonu problemi için hem teorik hem pratik açıdan yakınsama analizini sunmuşlardır. Sun ve arkadaşlarının [52] önerdikleri dinamik KSA mimarisinde elde edilen ağlar CIFAR10, MNIST, STL-10 ve Caltech-101 veri setleri için değerlendirilmiş ve “state of the art” sonuçlara eş değerler elde edilmiştir. Wang ve arkadaşlarının [53] önerdikleri çalışmada yeni bir çözüm gösterim şekli sunulmuştur; bu yeni gösterimin PSO’nun performansını artırdığı gösterilmiştir.

4.1.3 Diferansiyel Gelişim

Popülasyon tabanlı bir optimizasyon yöntemi olan *diferansiyel gelişim* (DE) algoritması, 1995 yılında Price ve Storn [54] tarafından önerilmiştir. GA ile benzerlik gösteren bu yöntemde rastgele seçilen 3 bireyin çaprazlanması ve mutasyona uğratılmasıyla elde edilen yeni birey hedef birey ile karşılaştırılır. Daha iyi değere sahip birey bir sonraki jenerasyona aktarılır [55].

Tablo 5. PSO, DE ve diğer yaklaşımlarda optimize edilen hiper-parametreler ve değer aralıkları

	Referans	Konvolüsyon	Ortaklama	Tam Bağlantılı	Ortak
PSO	Yamasaki (2017) [48]	k : [2, 7] c : [50, 180] p : [0, 7]	k : [2, 7] p : max, avg	-	-
	Lorenzo (2017) [50]	k : [2, -] c : [2, -]	k : [2, -] s : [2, -]	-	-
	Sun (2017) [52]	k : [2, 5] c : [20, 100] $\lambda L2$: [10^{-4} , 10^{-2}]	k : [2, 5] pa : max, avg	-	-
	Silva (2018) [49]	k : 3, 5, 7 c : [4, 100]	pa : max, avg	l : [4, 100]	ba : [10, 100] d : [0.1, 0.99]
	Lorenzo (2018) [51]	k : [2, -] c : [1, -]	k : [2, -] s : [2, -]	-	-
	Wang (2018) [53]	k : [1, 8] c : [1, 128] s : [1, 4]	k : [1, 4] pa : max, avg s : [1, 4]	n : [1, 2048]	-
DE	Wang (2018) [56]	k : [1, 8] c : [1, 128] s : [1, 4]	k : [1, 4] pa : max, avg s : [1, 4]	n : [1, 2048]	-
Diğer Yaklaşımlar	Bengio (2012) [61] (Random Search vs Deep Belief Network)	-	-	n : [128, 4000]	wi : uniform, normal it : [1, 10^4] ai : [10^{-4} , 1] $\lambda L2$: [10^{-7} , 10^{-4}]
	Domhan (2015)[62]	wm : [0.1, 10] gc : [10^{-6} , 10^{-1}] c : [16-64, 64-192]	l : 2, 3	wd : [0.9, 1] b : 0, sabit bic : [0, 1] n : [128, 6144] d : [0.05, 0.95] gc : [10^{-6} , 10^{-1}] de : true, false wi : gauss, xavier	l : [1, 6] ai : [10-7, 0.5] n : [0, 0.99] wd : [5×10^{-7} , 0.05] ba : [10, 1000] de : true, false d : [0.05, 0.8]
	Neary (2018)[64]	lk : 2 k : 2, 3 c : [32, 72]	-	l : [2, 4] n : [512, 1280]	-
	van Stein (2018)[65]	k : [1, 8] c : [1, 512] s : [1, 5]	-	-	l : [1, 6] d : [10^{-5} , 0.8] $\lambda L2$: [10^{-5} , 10^{-2}] a : [10^{-5} , 1] a : $A_2, A_5, A_7, A_9, A_{10}$

- : Katman için hiper-parametre optimizasyonu gerçekleştirilmemiş

DE kullanılarak KSA optimizasyonu yapılan çalışmaların sayısı oldukça kısıtlıdır. Literatürde bulabildiğimiz kadarıyla sadece Wang ve arkadaşları [56] tarafından sunulan çalışmada, DE kullanılarak dinamik olarak oluşturulan bir KSA için hiper-parametre optimizasyonu gerçekleştirilmiştir (Tablo 5). Bu çalışmada PSO ve DE yöntemleri karşılaştırılmıştır; DE tabanlı yöntemin daha iyi sonuçlar ürettiği gösterilmiştir.

4.1.4 Harmonik Arama

Harmonik arama, caz müzisyenlerinin doğaçlamalarından ilham alınarak geliştirilen, daha az adımda daha iyi sonuçlar elde etmeyi amaçlayan optimizasyon algoritmasıdır. Her müzisyen, çözüm uzayındaki herhangi bir çözümün bir özelliğine karşılık gelir ve her bir cihazın perde aralığı, karar değişkenindeki sınırlara karşılık gelir. Müzisyenler arasındaki uyum, belirli bir zamanda bir aday çözüm olarak alınır. Amaç fonksiyonu değeri

ise seyircilerin değerlendirdiği estetik uyumdur. Müzisyenler, zaman içinde küçük değişiklikler ve doğaçlamalarla daha iyi estetik uyumu aramaktadırlar. [57].

Lee ve arkadaşlarının [58] çalışmalarında veri kümelerine göre farklı boyutlarda KSA seçilmiş ve konvolüsyon katmanında filtre boyutu, filtre sayısı ve aralık değeri; ortaklama katmanında filtre boyutu ve aralık değeri optimize edilmiştir.

4.1.5 Benzetimli Tavlama

Temeli termodinamiğe dayanan *benzetimli tavlama* yönteminde metalin soğutulması sırasında yaşanan enerji dalgalanmaları örnek alınmıştır. Sistemin çok hızlı bir şekilde soğutulmasında veya ısıtılmasında ortaya çıkan yerel enerji minimumuna takılma riski başlangıçta enerji dalgalanmalarına izin verilerek en aza indirilmeye çalışılmaktadır [59].

Rasdi ve arkadaşlarının [60] KSA hiper-parametrelerinin optimizasyonu için önerdikleri çalışmada SA, HA ve DE üst-sezgiselleri karşılaştırılmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak ağırlıklar ve yanlılık değerleri de hiper-parametre optimizasyonu için seçilmiştir. Önerilen çalışmada *LeNet-5* mimarisinin farklı değerlerden oluşan varyasyonları kullanılmıştır ve çalışma MNIST ve CIFAR-10 veri setlerinde test edilmiştir.

4.2 Diğer Yaklaşımlar

KSA hiper-parametrelerinin optimize edilmesi için üst-sezgisel algoritmalar dışında *Izgara Arama (Grid Search)*, *Rastgele Arama* ve *Bayes Optimizasyonu* gibi yöntemler de kullanılmaktadır.

Bengio ve arkadaşlarının *Sıralı Manuel Optimizasyon (Sequential Manual Optimization)*, *Izgara Arama* ve *Rastgele Arama* yöntemlerinin karşılaştırıldığı çalışmalarında, oluşturulan KSA topolojileri Mnist, Mnist Background Images, Mnist Background Random, Mnist Rotated, Mnist Rotated Background Images, Convex, Rectangles ve Rectangle Images veri kümeleri üzerinde test edilmiştir. Buna göre, 7 hiper-parametrenin optimize edildiği durumda *rastgele arama* yöntemi *izgara arama* metodundan daha az deneme sonucunda daha iyi doğruluk değerleri vermiştir. 32 hiper-parametrenin optimize edildiği durumda *rastgele arama* yöntemi, *Derin İnanç Ağı (Deep Belief Network)* yöntemiyle benzer sonuçlar vermiştir [61]. Domhan ve arkadaşlarının [62] önerdikleri çalışmada *Sequential Model-based Algorithm Configuration (SMAC)*, *Tree Parzen Estimator (TPE)* ve *Rastgele Arama* yöntemleri, bütün hiper-parametrelerin optimize edildiği büyük bir KSA ve daha küçük bir KSA için karşılaştırılmıştır (Tablo 7). Saranyaraj ve arkadaşlarının [63] önerdikleri çalışmada sabit mimarili bir KSA kabul edilmiş; diğer çalışmalardan farklı olarak girdi katmanında kullanılan girdi boyutları da optimizasyona dahil edilmiştir. Girdi boyutu ilk olarak 200'den 100'e düşürülmüştür ve seçilen veri seti için 90.27% doğruluk oranı elde edilmiştir. Bir sonraki adımda girdi boyutu 200'den 300'e çıkarılmıştır ve 92.45% doğruluk oranı elde edilmiştir (Tablo 6). Oluşturulan topolojilerin test edilmesi için göğüs kanserine ait görüntüleri içeren "*Digital Database for Screening Mammography*" veri seti kullanılmıştır. Bu çalışmalarda optimize edilmek için seçilen hiper-parametreler ve değer aralıkları Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 6. Çalışmada kullanılan hiper-parametreler ve değer aralıkları (Saranyaraj (2018) [63])

KSA Blok	Hiper-Parametre	Değer Aralığı	Doğruluk Oranı
Konvolüsyon Katmanı	c_1	128 -> 64	94.34%
	c_1 ve c_2	128 -> 64	88.68%
	k_1 ve k_2	5 -> 3	88.68%
	k_1 ve k_2	5 -> 7	92.45%
Tam Bağlantılı Katman	n	256 -> 128	90.57%

Neary ve arkadaşlarının [64] *Pekiştirmeli Öğrenme (Reinforcement Learning – RL)* yöntemi kullandıkları çalışmada belirli bir problem için, en uygun ağ konfigürasyonu otomatik olarak oluşturulmaya çalışılmıştır. Van Stein ve arkadaşlarının [65] çalışmalarında *Verimli Global Optimizasyon (Efficient Global Optimization - EGO)* yöntemi kullanılmıştır. Her bir iterasyonda sadece tek bir aday konfigürasyonun değerlendirildiği bir yaklaşım olan standart EGO algoritması, yapılan çalışmada her bir iterasyonda paralel olarak birden fazla

konfigürasyonun değerlendirilebildiği şekilde uyarlanmıştır. Hinz ve arkadaşlarının [66] çalışmalarında *Sequential Model-based Algorithm Configuration (SMAC)*, *Tree Parzen Estimator (TPE)*, *Rastgele Arama* ve *GA* yöntemleri karşılaştırılmış; oluşturulan topolojiler Cohn-Kanade, STL-10 ve Flowers-102 veri kümeleri üzerinde test edilmiştir. Buna göre, hızlı hesaplama süreleri için TPE ve SMAC yöntemlerinin; daha iyi doğruluk değerleri için ise *GA* ve *rastgele arama* yöntemlerinin daha uygun olacağı öne sürülmüştür.

4.3 Performans Değerlendirmesi

KSA hiper-parametre optimizasyonu için kullanılan yöntemler arasında performans kıyaslaması yapabilmek amacıyla aynı veri seti kullanılarak yapılan tüm çalışmaların doğruluk oranları Tablo 7’de gösterilmiştir.

Literatürde üzerinde en çok çalışılmış veri kümeleri CIFAR-10, CIFAR-100 ve MNIST veri kümeleridir. CIFAR-10 için en yüksek doğruluğu % 93.37 ile *GA* vermiş; *PSO* ile elde edilen en iyi değer % 83.5’ te kalmıştır. CIFAR-100 veri seti için en yüksek değeri % 78.75 ile *GA* verirken diğer yöntemler % 58’ in üzerine çıkamamışlardır. MNIST veri kümesi için ise *GA*, *PSO* ve *EGO* yöntemlerinin her biriyle % 99.39’ un üzerinde doğruluk değerleri elde edilmiştir. Her ikisi de popülasyon temelli yöntemlerden olan *GA* ve *PSO* en başarılı sonuçlar veren üst-sezgisellerdendir. Bununla birlikte *GA* % 99.76 ile bir adım önde görülmektedir. Hiper-parametre optimizasyonu yapılan bu çalışmalarda elde edilen doğruluk değerleri, AlexNet, VGGNet ve ResNet gibi “*state-of-the-art*” mimarilerle [42, 67, 68, 69, 70] elde edilen değerler ile karşılaştırıldığında Tablo 7’ de görüldüğü gibi bir iyileştirme olduğu görülmektedir. Tablo 7’ de diğer veri kümeleri için elde edilen sonuçlar da gösterilmektedir.

Tablo 7. Kullanılan veri kümeleri ve elde edilen doğruluk oranları

Veri Seti	Referans	Kullanılan Metot	Doğruluk Oranı (%)
CIFAR-10	Domhan (2015) [62]	Küçük KSA + TPE	81.88
		Küçük KSA + SMAC	82.53
		Büyük KSA+ SMAC	91.19
	Dufourq (2017) [38]	GA	75.5
	Yamasaki (2017) [48]	PSO	80.15
	Lorenzo (2017) [50]	PSO	59.59
	Sun (2017) [52]	PSO	83.5
	Ma (2018) [43]	GA	89.23
	Assunção (2018) [44]	GA	93.37*
	Lorenzo (2018) [51]	PSO	58.47
	Lee (2018) [58]	HA	74.76
	Van Stein (2018) [65]	EGO	86.46
	Lee (2018) [58]	CifarNet	73.32
	Ma (2018) [43]	AlexNet	82.53
	Ma (2018) [43]	VGGNet	84.62
Ma (2018) [43]	ResNet	90.61**	
CIFAR-100	Domhan (2015) [62]	Küçük KSA + SMAC	57.79
	Yamasaki (2017) [48]	PSO	53.28
	Ma (2018) [43]	GA	66.77
	Assunção (2018) [44]	GA	78.75*
	Ma (2018) [43]	AlexNet	60.53
	Ma (2018) [43]	VGGNet	64.37
	Ma (2018) [43]	ResNet	67.61**
Convex Set	Sun (2017) [39]	GA	94.62*
	Wang (2018) [53]	PSO	87.94
Fashion-MNIST	Dufourq (2017) [38]	GA	90.6
	Sun (2017) [39]	GA	92.72
	Ma (2018) [43]	GA	94.59
	Assunção (2018) [44]	GA	95.26*
	Assunção (2018) [44]	AlexNet	89.90
	Assunção (2018) [44]	VGGNet	93.50
	Assunção (2018) [44]	ResNet	94.90**
LIDC-IDRI	Silva (2017) [36]	GA	94.78
	Silva (2018) [49]	PSO	97.62*
MNIST	Sun (2017) [39]	GA	98.72

	Bochinski (2017) [40]	GA	99.76*
	Lorenzo (2017) [50]	PSO	99.45
	Sun (2017) [52]	PSO	99.34
	Ma (2018) [43]	GA	99.64
	Assunçao (2018) [44]	GA	99.70
	Baldominos (2018) [45]	GA	99.63
	Lorenzo (2018) [51]	PSO	98.82
	Wang (2018) [53]	PSO	98.79
	Wang (2018) [56]	DG	98.24
	Lee (2018) [58]	HA	99.25
	Neary (2018) [64]	RL	95.8
	Van Stein (2018) [65]	EGO	99.39
	Lee (2018) [58]	LeNet-5	98.94
	Ma (2018) [43]	AlexNet	98.81
	Ma (2018) [43]	VGGNet	99.32
	Ma (2018) [43]	ResNet	99.37**
MNIST with Background Images	Sun (2017) [39]	GA	95.38*
	Wang (2018) [56]	DG	91.31
MNIST Random Background	Sun (2017) [39]	GA	96.41*
	Wang (2018) [56]	DG	94.44
MNIST RD Plus Background Images	Sun (2017) [39]	GA	62.62
	Wang (2018) [53]	PSO	67*
	Wang (2018) [56]	DG	62.45
MNIST Rotated Digits	Sun (2017) [39]	GA	94.54*
	Wang (2018) [56]	PSO	94.47

* : İlgili veri seti için en iyi doğruluk oranını veren çalışma

** : İlgili veri seti için en iyi doğruluk oranını veren "state of the art" model

Hiper-parametre optimizasyonu ile doğruluk değeri açısından iyi sonuçlar veren çalışmalarda elde edilen KSA'ların hiper-parametrelerine bakıldığında ve aynı zamanda "state-of-the-art" mimariler incelendiğinde aşağıdaki yorumlar yapılabilir:

1. Filtre boyutu: KSA'nın derinliği arttıkça girdi boyutlarının küçültüldüğü ve özellik haritası sayılarının arttırıldığı görülmektedir. Bunun için başlangıçta büyük filtre boyutları seçilirken, sonraki katmanlarda küçük filtre boyutları seçilmektedir.
2. Seyreltme oranı: Tam bağlantılı katmanlarda kullanılan seyreltme değerleri katmanlardaki nöron sayıları ile doğru orantılı olarak seçilmelidir. Çok fazla nöron sayısına sahip olan katmanlarda daha yüksek seyreltme değerleri belirlenirken, daha düşük nöron sayısına sahip katmanlarda düşük seyreltme değerleri seçilmelidir.
3. Öğrenme oranı: Adaptif yöntemler kullanılmadığı durumda, öğrenme oranı için başlangıçta daha büyük değerler, sonlara doğru ise daha küçük değerler seçilmektedir. Başlangıçta büyük öğrenme oranlarının seçilmesi eğitim adımlarını hızlandırırken, hedefe doğru yaklaştıkça öğrenme oranının küçültülmesi sınıflandırma başarısını arttıracaktır.
4. Yığın boyutu: Bu değer için çok büyük seçilmesi (1024, 2048 vb.) sınıflandırma başarısını düşürürken, çok küçük seçilmesi de eğitim adımlarını çok yavaşlatacaktır. Bu yüzden kullanılan veri setinin büyüklüğü ve elde edilen başarı oranları göz önüne alınarak 32, 64, 128, 256 gibi orta değerler seçilmelidir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

KSA ile bilgisayarlı görü çalışmalarında çok başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Ancak kurulacak ağdaki katman sayısı, her bir katmandaki filtre boyutu ve sayısı, ortaklama katmanı türü, seyreltme oranı, öğrenme oranı ve optimizasyon metodu gibi hiper-parametrelerinin doğru seçilmesi ağın performansı açısından çok

önemlidir. Ancak bu hiper-parametrelerin optimizasyonu yüksek hesaplama zamanı gerektirdiğinden yapılacak deneylerde parametre değerleri için belirtilen olası tüm ihtimallerin değerlendirilmesi, *ızgara arama* gibi yöntemlerin kullanılması, pratik açıdan mümkün değildir. Bu nedenle hiper-parametre optimizasyonu için *üst-sezgisel yöntemler* yaygın olarak kullanılmaktadır. Hiper-parametre optimizasyonu için en çok kullanılan *üst-sezgisel yöntemler* GA ve PSO' dur. Kullanılan veri setlerine göre değişken doğruluk oranları elde edilse de genel olarak GA ve PSO bu alanda en iyi sonuç veren *üst-sezgisel* yöntemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmalarda optimize edilmeye çalışılan hiper-parametrelere bakıldığında bir bütünlük görülmemekte; bir çalışmadan diğerine geçildiğinde farklı hiper-parametrelerin optimize edilmeye çalışıldığı görülmektedir. Aynı zamanda, bazı çalışmalarda sabit bir KSA mimarisi kabul edilirken bazı çalışmalarda dinamik olarak genişleyen bir mimari kullanılmıştır. Bunun yanında, seçilen hiper-parametreler için belirlenen değer aralıkları da bir çalışmadan diğerine değişmektedir.

KSA hiper-parametrelerinin optimize edilmesi için bir yöntem seçilmek istenildiğinde optimize edilmek istenen hiper-parametre sayısı yanında bu parametreler için belirlenen değer aralıkları da dikkate alınmalıdır. Seçilen hiper-parametre alt kümesi ve değer aralıkları küçük bir arama uzayı oluşturuyorsa başarılı sonuçlar elde etmek için *ızgara arama* yöntemi kullanılabilir; arama uzayının genişlemeye başladığı durumlarda ise *rastgele arama* yöntemi, *üst-sezgisel algoritmalar* ya da *pekiştirmeli öğrenme* algoritmaları tercih edilebilir. Hızlı hesaplama süreleri için TPE ve SMAC yöntemlerinin, daha iyi doğruluk değerleri için ise *genetik algoritmalar*, *parçacık sürü optimizasyonu* ve *rastgele arama* gibi yöntemlerin seçilmesinin daha uygun olduğu görülmektedir. *Üst-sezgisel* algoritmalarda daha az parametrelili *üst-sezgiseller*, daha çok parametrelili *üst-sezgisellere* göre daha avantajlıdır. Bunun yanında implementasyon kolaylığı ve gerektireceği hesaplama maliyeti de *üst-sezgisel* seçiminde dikkate alınmalıdır.

KSA'daki ağırlıkların sayısı, varsa yanlılık değerleriyle birlikte o ağırlık parametre sayısını, başka bir ifadeyle büyüklüğünü belirtir. Düşük parametre sayısına sahip küçük ağlar büyük ağlara göre daha kısa sürede öğrenir. Bazı çalışmalarda KSA'nın aşırı büyümesi engellenmiş; böylece basit ve kolay eğitilebilir modeller üretilmiştir. Hesaplama maliyeti açısından çok avantajlı bu basit modeller ile literatürdeki karmaşık modellere çok yakın sonuçlar elde edilebilmiştir. Çok uzun sürede eğitilip çok iyi doğruluk oranı veren ağlar yerine kabul edilebilir seviyede doğruluk oranı veren ancak çok daha hızlı eğitilen ağların tercih edilebileceği durumlar için KSA hiper-parametre optimizasyonu problemi çok amaçlı optimizasyon problemi olarak ele alınmaktadır. Yeni çalışılmaya başlanan bu alanda daha çok sayıda araştırmanın yapılacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville and Y. Bengio (2016), Deep learning (Vol. 1). Cambridge: MIT press
- [2] E. Öztemel (2003), Yapay Sinir Ağları. İstanbul: Papatya Yayıncılık.
- [3] S. McCulloch Warren, W. Pitts, A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. The bulletin of mathematical biophysics, 5:4 (1943) 115-133.
- [4] B. W. A. C. Farley, W. Clark, Simulation of self-organizing systems by digital computer. Transactions of the IRE Professional Group on Information Theory, 4:4 (1954) 76-84.
- [5] E. Ülker, Derin Öğrenme ve Görüntü Analizinde Kullanılan Derin Öğrenme Modelleri. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 6.3 (2017) 85-104.
- [6] X. Glorot, B. Yoshua, Understanding the difficulty of training deep feedforward neural networks. Proceedings of the thirteenth international conference on artificial intelligence and statistics, (2010).
- [7] B. Karlik, A. V. Olgac, Performance analysis of various activation functions in generalized MLP architectures of neural networks. International Journal of Artificial Intelligence and Expert Systems, 1:4 (2011) 111-122.

- [8] K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun, Delving deep into rectifiers: Surpassing human-level performance on imagenet classification. Proceedings of the IEEE international conference on computer vision, (2015).
- [9] M. Sinecen, B. Kaya, Ö. Yıldız, Artificial Neural Network Based Early Warning System For Aydin Province Towards Air Factors Which Primarily Affect Human Health. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 5:4 (2017) 121-131.
- [10] T. Yichuan, Deep learning using linear support vector machines. arXiv preprint arXiv:1306.0239, (2013).
- [11] E. Alpaydin (2009). Introduction to machine learning. MIT press.
- [12] N. Srivastava, G. Hinton, A. Krizhevsky, I. Sutskever, R. Salakhutdinov, Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting. The Journal of Machine Learning Research, 15:1 (2014).
- [13] L. Bottou, Large-scale machine learning with stochastic gradient descent. Proceedings of COMPSTAT'2010, Physica-Verlag HD, (2010) 177-186.
- [14] D. P. Kingma, J. L. Ba, Adam: A method for stochastic optimization. Proc. 3rd Int. Conf. Learn. Representations, (2014).
- [15] M. D. Zeiler, ADADELTA: an adaptive learning rate method. arXiv preprint arXiv:1212.5701, (2012).
- [16] S. Ruder, An overview of gradient descent optimization algorithms. arXiv preprint arXiv:1609.04747, (2016).
- [17] N. Qian, On the momentum term in gradient descent learning algorithms. *Neural networks*, 12 (1999), 145-151.
- [18] Y. LeCun, B. E. Boser, J. S. Denker, D. Henderson, R. E. Howard, W. E. Hubbard, L. D. Jackel, Handwritten digit recognition with a back-propagation network. Advances in neural information processing systems, (1990).
- [19] Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, P. Haffner, Gradient-based learning applied to document recognition. Proceedings of the IEEE, 86:11 (1998) 2278-2324
- [20] L. Fei-Fei, R. Fergus, P. Perona, Learning generative visual models from few training examples: An incremental bayesian approach tested on 101 object categories. Computer vision and Image understanding, 106:1 (2007) 59-70.
- [21] "Caltech-101", son güncelleme 5 Nisan, 2006, <http://www.vision.caltech.edu/>.
- [22] Cancer Genome Atlas - miRNASeq son güncelleme 20 Kasım, 2018, <http://cancergenome.nih.gov/>.
- [23] A. Krizhevsky, G. Hinton, Learning multiple layers of features from tiny images. Technical report, University of Toronto, (2009).
- [24] H. Larochelle, D. Erhan, A. Courville, J. Bergstra, Y. Bengio, An empirical evaluation of deep architectures on problems with many factors of variation. Proceedings of the 24th international conference on Machine learning, (2007) 473-480.
- [25] G. Cohen, S. Afshar, J. Tapson, A. van Schaik, EMNIST: an extension of MNIST to handwritten letters. arXiv preprint arXiv:1702.05373, (2017).
- [26] H. Xiao, R. Kashif, V. Roland, Fashion-mnist: a novel image dataset for benchmarking machine learning algorithms. arXiv preprint arXiv:1708.07747, (2017).

- [27] Eitz M., Hays J., Alexa M., How do humans sketch objects?. *ACM Trans. Graph*, 31:4 (2012) 44-1.
- [28] Armato III, G. Samuel, et al, The lung image database consortium (LIDC) and image database resource initiative (IDRI): a completed reference database of lung nodules on CT scans. *Medical physics*, 38:2 (2011) 915-931.
- [29] Y. LeCun, C. Cortes, C. J. Burges, MNIST handwritten digit database. AT&T Labs [Online], Available: <http://yann.lecun.com/exdb/mnist>, (2010).
- [30] A. Coates, A. Ng, H. Lee, An analysis of single-layer networks in unsupervised feature learning. *Proceedings of the fourteenth international conference on artificial intelligence and statistics*, (2011).
- [31] K. K. Reddy, M. Shah, Recognizing 50 human action categories of web videos. *Machine Vision and Applications*, 24:5 (2013) 971-981.
- [32] J. H. Holland (1992), *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control and artificial intelligence*. MIT press.
- [33] J. H. Holland, Genetic algorithms. *Scientific american*, 267 (1992) 66-73.
- [34] D. E. Goldberg, J. H. Holland, Genetic algorithms and machine learning. *Machine learning*, 3:2 (1988) 95-99.
- [35] E. P. Ijjina, M. C. Krishna, Human action recognition using genetic algorithms and convolutional neural networks. *Pattern recognition*, 59 (2016) 199-212.
- [36] G. L. da Silva, O. P. da Silva Neto, A. C. Silva, A. C. de Paiva, M. Gattass, Lung nodules diagnosis based on evolutionary convolutional neural network. *Multimedia Tools and Applications*, 76:18 (2017) 19039-19055.
- [37] A. Lopez-Rincon, A. Tonda, M. Elati, O. Schwander, B. Piwowarski, P. Gallinari, Evolutionary optimization of convolutional neural networks for cancer miRNA biomarkers classification. *Applied Soft Computing*, 65 (2018) 91-100.
- [38] E. Dufourq, A. B. Bruce, EDEN: Evolutionary deep networks for efficient machine learning. *Pattern Recognition Association of South Africa and Robotics and Mechatronics (PRASA-RobMech)*, IEEE, (2017).
- [39] Y. Sun, X. Bing, M. Zhang, Evolving deep convolutional neural networks for image classification. *arXiv preprint arXiv: 1710.10741*, (2017).
- [40] E. Bochinski, S. Tobias, T. Sikora, Hyper-parameter optimization for convolutional neural network committees based on evolutionary algorithms. *Image Processing (ICIP), 2017 IEEE International Conference on*. IEEE, (2017).
- [41] S. Fujino, M. Naoki, K. Matsumoto, Deep convolutional networks for human sketches by means of the evolutionary deep learning. *Fuzzy Systems Association and 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (IFSA-SCIS), 2017 Joint 17th World Congress of International*. IEEE, (2017).
- [42] A. Krizhevsky, S. Ilya, G. E. Hinton, Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in neural information processing systems*, (2012).
- [43] B. Ma, Y. Xia, Autonomous Deep Learning: A Genetic DCNN Designer for Image Classification. *arXiv preprint arXiv:1807.00284*, (2018).
- [44] F. Assunção, N. Lourenço, P. Machado, B. Ribeiro, DENSER: Deep Evolutionary Network Structured Representation. *Genetic Programming and Evolvable Machines*, (2018) 1-31.
- [45] A. Baldominos, S. Yago, P. Isasi, Evolutionary convolutional neural networks: An application to handwriting recognition. *Neurocomputing*, 283 (2018) 38-52.

- [46] R. Eberhart, J. Kennedy, A new optimizer using particle swarm theory. In *Micro Machine and Human Science, Proceedings of the Sixth International Symposium*, (1995, October) 39-43
- [47] J. Kennedy (2011), *Particle swarm optimization*. In *Encyclopedia of machine learning*, Boston: Springer, 760-766.
- [48] T. Yamasaki, H. Takuto, A. Kiyoharu, Efficient Optimization of Convolutional Neural Networks Using Particle Swarm Optimization. *Multimedia Big Data (BigMM)*, 2017 IEEE Third International Conference on IEEE, (2017).
- [49] G. L. F. da Silva, T. L. A. Valente, A. C. Silva, A. C. de Paiva, M. Gattass, Convolutional neural network-based PSO for lung nodule false positive reduction on CT images. *Computer methods and programs in biomedicine*, 162 (2018) 109-118.
- [50] P. R. Lorenzo, J. Nalepa, M. Kawulok, L. S. Ramos, J. R. Pastor, Particle swarm optimization for hyper-parameter selection in deep neural networks. *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, ACM*, (2017).
- [51] J. Nalepa, P. R. Lorenzo, Convergence Analysis of PSO for Hyper-Parameter Selection in Deep Neural Networks. *International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing*, (2018).
- [52] Y. Sun, B. Xue, M. Zhang, A Particle Swarm Optimization-based Flexible Convolutional Auto-Encoder for Image Classification. *arXiv preprint arXiv:1712.05042*, (2017).
- [53] B. Wang, Y. Sun, B. Xue, M. Zhang, Evolving Deep Convolutional Neural Networks by Variable-length Particle Swarm Optimization for Image Classification. *arXiv preprint arXiv:1803.06492*, (2018).
- [54] R. Storn, K. Price, Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of global optimization*, 11 (1997) 341-359.
- [55] T. Keskinürk, Diferansiyel gelişim algoritması. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5 (2006) 85-99.
- [56] B. Wang, Y. Sun, B. Xue, M. Zhang, A Hybrid Differential Evolution Approach to Designing Deep Convolutional Neural Networks for Image Classification, (2018).
- [57] Z. W. Geem, J. H. Kim, G. V. Loganathan, A new heuristic optimization algorithm: harmony search. *simulation*, 76 (2001) 60-68.
- [58] W. Y. Lee, S. M. Park, K. B. Sim, Optimal hyperparameter tuning of convolutional neural networks based on the parameter-setting-free harmony search algorithm. *Optik*, 172 (2018) 359-367.
- [59] Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. P. Optimization by simulated annealing. *science*, 220 (1983) , 671-680.
- [60] L. M. Rere, M. I. Fanany, A. M. Arymurthy, Metaheuristic algorithms for convolution neural network. *Computational intelligence and neuroscience*, (2016).
- [61] J. Bergstra, Y. Bengio, Random search for hyper-parameter optimization. *Journal of Machine Learning Research*, 13.Feb (2012), (281-305).
- [62] T. Domhan, J. T. Springenberg, F. Hutter, Speeding Up Automatic Hyperparameter Optimization of Deep Neural Networks by Extrapolation of Learning Curves. *IJCAI*, 15 (2015).
- [63] D. Saranyaraj, M. Manikandan, S. Maheswari, A deep convolutional neural network for the early detection of breast carcinoma with respect to hyper-parameter tuning. *Multimedia Tools and Applications*, (2018) 1-26.

- [64] P. Neary, Automatic Hyperparameter Tuning in Deep Convolutional Neural Networks Using Asynchronous Reinforcement Learning. 2018 IEEE International Conference on Cognitive Computing (ICCC), IEEE, (2018).
- [65] B. van Stein, H. Wang, T. Bäck, Automatic Configuration of Deep Neural Networks with EGO. arXiv preprint arXiv:1810.05526, (2018).
- [66] T. Hinz, N. Navarro-Guerrero, S. Magg, S. Wermter, Speeding up the Hyperparameter Optimization of Deep Convolutional Neural Networks. International Journal of Computational Intelligence and Applications, (2018)
- [67] K. Simonyan, A. Zisserman, Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556* (2014).
- [68] C. Szegedy, W. Liu, Y. Jia, P. Sermanet, S. Reed, D. Anguelov, A. Rabinovich, Going deeper with convolutions. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (2015) 1-9.
- [69] K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun, Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (2016) 770-778.
- [70] G. Huang, Z. Liu, L. Van Der Maaten, K. Q. Weinberger, Densely connected convolutional networks. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (2017) 4700-4708.