

Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi

International Journal of Technological Sciences

Sahibi / Owner

Ali Kemal YAKUT

Yayın Yönetmeni / Publishing Manager

Reşat SELBAŞ

Editör / Editor in Chief

Nihat YILMAZ

Yardımcı Editörler / Vice Editors

Önder KIZILKAN
Ergün KORKMAZ

Alan Editörleri/Associate Editors

Abdullah ÖZSOY
Cengiz ÖZEL
Okan BİNGÖL
İsmail Serkan ÜNCÜ

Editör Kurulu / Editorial Board

Ali Kemal YAKUT
Reşat SELBAŞ
Arzu ŞENCAN ŞAHİN
Ahmet KABUL

Yayın Danışma Kurulu/Editorial Advisory Board

Hiroshi YAMAGUCHI, Doshisha University
İbrahim DİNÇER, Ontario Tech University
Mustafa ACAROĞLU, Konya Teknik Üniversitesi
Mustafa Reşit USAL, Süleyman Demirel Üniversitesi
Ramazan KÖSEOĞLU, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Refik KAYALI, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
Bekir YALÇIN, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Turkey
Özlem TERZİ, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Mustafa AY, Marmara Üniversitesi
Şemsettin KILINÇARSLAN, Süleyman Demirel Üniversitesi
Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE, Süleyman Demirel Üniversitesi
Ömer Necati CORA, Karadeniz Teknik Üniversitesi
Mehmet Akif EZAN, Dokuz Eylül Üniversitesi
Nabi İBADOV, Warsaw University of Technology, Poland
Murat Öztürk, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Turkey

Grafik Tasarım / Graphic Design
Sinan İLKAZ

Teknik Sorumlu / Technical Manager
Serap ERGÜN
Nejat TÜKENMEZ

Mizanpaj / Make-up
Serpil ÇELİK TOKER

Dergi Adresi / Journal Address

Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi Editörlüğü
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Teknoloji Fakültesi
32260, Batı Kampüsü, Isparta, Türkiye
Tel: +90 246 2111569
Fax : +90 246 2111984
E-posta/E-mail: utbd@isparta.edu.tr

Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi tarafından yılda 3 sayı elektronik olarak yayınlanmaktadır.
International Journal of Technological Sciences is published three times a year electronically by Isparta University of Applied Sciences.

Cilt / Volume: 13

Sayı/Number: 3

Aralık/December 2021

e - ISSN : 1309-1220



İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Sayfa No

Araştırma Makalesi

- Eşit güçteki iki farklı motorun yapay zeka tabanlı skaler kontrol ile performans analizi elektrikli araçlar için bir çalışma
Performance analysis of two different motors with equal power with artificial intelligence: a study for electric vehicles 90-102
Özcan Otkun, Faruk Demir
- Performance comparison of PCA and ICA algorithms-based face recognition system
PCA ve ICA algoritmaları tabanlı yüz tanıma sisteminin performans karşılaştırması 103-120
Israa ALSAADI
- Trombe duvarı etkisiyle çalışan, binaya entegre yarı saydam fotovoltaik sistemin akıllı uygulaması
Intelligent application of building integrated semi-transparent photovoltaic system working with Trombe wall effect 121-129
Melik Ziya YAKUT, Raif ESEN
- Kremayer dişli sistemi kullanılarak hız kesiciden DC elektrik enerjisinin üretimi
Generation of DC electric energy from speed breaker using gear system 130-135
İbrahim Bayram, Fahri Başsoy, Enes Kilic, Abdullah Genç

Orijinal Makale/Research Article

Eşit güçteki iki farklı motorun yapay zeka tabanlı skaler kontrol ile performans analizi: elektrikli araçlar için bir çalışma

Özcan Otkun¹, Faruk Demir²

¹Nokta Akademi, Elektrik-Elektronik Mühendisi, Trabzon, Türkiye

²Anadolu Lojistik, Bilgisayar Bilimleri Mühendisi, Bahkesir, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Elektrikli araçlar
Yapay zeka
Yapay sinir ağları
ASM
SMSM
Kontrol

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 05.06.2021

Kabul Tarihi: 03.12.2021

Öz: Otomobil üreticilerinin; yakıt tasarrufu, hava kirliliği, karbon emisyonu gibi pek çok problemin giderilmesi adına elektrikli araçlara yöneldiğini görmekteyiz. Ancak elektrikli araçların petrol yakıtlı araçlara göre menzil ve hız problemleri bulunmaktadır. Bu bakımdan kullanımı ve üretimi giderek artan bu araçların performansının artırılması büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada Asenkron Motor (ASM) ve Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorun (SMSM) farklı kontrol yöntemleriyle performansı incelenmiş ve böylece bir elektrikli araçların trafikteki performansının artırılması hedeflenmiştir. Bu bağlamda elektrikli araçların seyir halinde yolun durumuna bağlı olarak hız denetiminin sağlanması ve daha az güç harcayan motorun seçilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla çalışmada eşit güce sahip iki farklı motorun aynı kontrol yöntemleriyle performansı incelenerek değerlendirilmiştir. Elektrik motorlarının kontrolünde Skaler Kontrol (SK) temel alınmıştır. SK ile yapılan benzetim testlerinden elde edilen sonuçlara göre PI ve Yapay Zekâ (YZ) kontrol çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Burada SK ve PI kontrol yöntemleri karşılaştırma amaçlı olarak verilmiştir. Çalışmada motorlar; SK, PI + SK, YZ + SK yöntemleriyle test edilmiş ve elde edilen grafikler yardımıyla farklı yol koşullarında en iyi performansı gösteren motor, "hız, tork ve güç" parametrelerine göre belirlenmiştir.

Atıf için/To Cite:

Otkun Ö. Demir F. Eşit Güce Sahip İki Farklı Motorun Yapay Zekâ ile Performans Analizi: Elektrikli Araçlar için bir Çalışma. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 13(3), 90-102, 2021.

Performance analysis of two different motors with equal power with artificial intelligence: a study for electric vehicles

Keywords

Electric vehicles
Artificial intelligence
Artificial neural networks
ASM
PMSM
Control

Article history:

Received: 05.06.2021

Accepted: 03.12.2021

Abstract: Automobile manufacturers; We see that it is turning to electric vehicles in order to eliminate many problems such as fuel saving, air pollution and carbon emission. However, electric vehicles have range and speed problems compared to petroleum fuel vehicles. In this regard, it is of great importance to increase the performance of these vehicles, which are increasingly used and produced. In this study, the performance of the Asynchronous Motor (ASM) and the Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM) with different control methods were investigated, thereby increasing the performance of an electric vehicle in traffic. In this context, it is aimed to provide speed control of electric vehicles depending on the condition of the road while driving and to select the motor that uses less power. For this purpose, in the study, the performance of two different engines with equal power was examined by evaluating them with the same control methods. Scalar Control (SC) is based on the control of electric motors. According to the results obtained from simulation tests with SC, PI and Artificial Intelligence (AI) control studies were carried out. Here, SC and PI control methods are given for comparison purposes. Engines in the study; The engine, which has been tested with SC, PI + SC, AI + SC methods and with the help of the graphics obtained, has been determined according to the parameters of "speed, torque and power", which perform best in different road conditions.

1. Giriş

Petrol kaynaklı yakıtların kullanılması sonucunda meydana gelen emisyon ve sera gazlarının çevre üzerinde zararlı etkilerinin olduğu bilinmektedir [1], [2]. Araştırmacıların, artan araç sayısı, yakıt tüketimi ve hava kirliliği durumunu göz önünde bulundurarak çalışmalarını Elektrikli Araçlar (EA) üzerine arttırdıkları görülmektedir [3], [4] Diğer yandan, enerjiye olan talebi azaltma ve çevrenin korunmasına yönelik çalışmalar, EA'larla ilgili çalışmaların artmasına ve bu araçlarla ilgili gelişimin hızlanmasına sebep olmuştur [5]. Yapılan çalışmaları dünyada pek çok araştırmacının yanı sıra; üniversitelerin, özel sektörün ve/veya hükümetlerin desteklediği görülmekte, petrol kökenli motorlu taşıtlar yerine alternatif sistemler üzerine çalıştıkları anlaşılmaktadır [6].

Yapılan çalışmalarda EA'ların yaygın olarak kullanılmama sebepleri arasında menzillerinin düşük olmasını, batarya maliyetlerinin yüksek olmasını ve batarya kapasitelerinin düşük olması gösterilmektedir. Bu problemlerin EA'ların seri üretime geçmesi ve batarya teknolojisindeki teknolojik gelişmelere bağlı olarak aşılabileceği öngörülmektedir. Böylece yüksek maliyetler düşecek, menzil problemleri aşılmış olacak, bataryaların frenleme enerjisine bağlı olarak şarj kabiliyetleri geliştirilmiş olacaktır [7], [8].

Literatür çalışmalarına bakıldığında pek çok benzetim çalışmasında Matlab/Simulink programının kullanıldığı görülmektedir [9]. Matlab/Simulink programı içerisinde hazır modeller bulunmakta ve araştırmacılar yeni model üretme zorunluluğu olmadan benzetim, optimizasyon, yapay sinir ağları gibi uygulamaları kullanarak çalışmaktadırlar. Matlab programı kullanmak isteyenler kod yazma durumunda kalabilirler ancak Simulink, Matlab içerisinde çalışan kod yazmadan kullanılabilen programdır. Yapılan çalışmalara bakıldığında; elektrik motorlarının matematiksel modeli, transfer fonksiyonu ve uzay durum modeli gibi denklemlerle Matlab/Simulink programında benzetim gerçekleştirilmiştir [10], [11], [12] Yine farklı yüklerde çalışan PID denetleyici kullanılarak normal sürme devresi ve rejeneratif frenleme devresi benzetimi yapılmıştır [13]. Darbe genişlik modülasyonu ile kullanılan elektrik motor modellemesi ve denetimi yine Matlab/Simulink kullanılarak yapılmıştır [14]. Bu bakımdan EA'ların tahrik sistemi içerisinde bulunan elektrik motorları ve denetim sistemleri hakkında yapılacak tüm çalışmaların literatüre katkı sağlayacağı muhakkaktır [15]. Şimdiye kadar yapılmış olan çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Piyasada seri üretimde olan ve elektrik motoru kullanan hibrit ya da EA'ların hemen hemen hepsinde

gömülü SMSM kullanılmaktadır. Bunun nedenleri arasında bu motorun verimliliği ve güç yoğunluğunun diğer türlerine daha iyi olması ve çalışma aralığının geniş olması gösterilebilir [16], [17], [18]. EA teknolojileri çalışmalarında araç dinamiği ve ASM parametreleri incelenmiştir. Araç dinamiğinin üzerine yapılan çalışmalardan, binek tipi bir araç için motora ait performans gereklilikleri hesaplanmaktadır [19]. Asenkron motor performans karakteristiği ve tasarım parametreleri ele alınarak değerlendirilmiştir. Yapılan piyasa araştırması sonuçlarında, elektrik motoru kullanan seri üretimdeki EA'larda; 25 aracın %80'inde SMSM, %16'sında ASM ve %4'ünde ise bilezikli senkron motor kullanıldığı tespit edilmiştir [20].

Kaynak [21]'da Chan ve Lo, EA'ların hareket sistemleri üzerine yaptıkları çalışmada; sistemde ASM, PWM invertör, değiştirilebilir dişli kutusu ve denetim birimlerinden oluşan kısımları kullanmışlardır. Bu çalışmanın temel amacı EA'nın performansını en iyi hale getirmek için sürücü sistemi tartışılmıştır. Çalışma sonucunda sürücünün, EA'nın performansının artırılması için batarya enerjisi kullanımını iyileştirdiği tespit edilmiştir.

EA'larda kullanılan motorlardan ASM'nin patenti 1888 yılına aittir. Ancak 1891 yılında farklı elektrik motorları üzerine çalışmalar başlamıştır. ASM üzerine yapılan en kapsamlı çalışmalar Kalman Kando tarafından Budapeşte'de Ganz Fabrikasında yapılmıştır. Deneysel çalışmalar ise Kobanya, Fayton Fabrikası yakınlarında kurulan 800 metre uzunluğunda 1 metre çapında bir deneme pistinde başlamıştır. Bu pistte iki akslı bir aracı 9 kW, 500 V, 42 Hz'lik iki fazlı bir ASM tarafından sürülmüştür [22].

Yapılan farklı bir çalışmada tekerlek içi elektrik motoru kullanılmıştır. Bu çalışmada elektrikli araç yanında insan destekli benzetimi gerçekleştirilmiştir. Böylece araç parametreleri ile yapılan aracın tork kontrolü sayesinde aracın rotada kalması sağlanmıştır [23]. EA'larda kullanılan tekerlek içi elektrik motorunun PID, sinirsel PID, Bulanık Mantık, Bulanık Mantık PID, olasılık bulanık sinir ağı gibi denetleme sistemleri ile kontrol işlemi gerçekleştirilmiştir [24], [25], [26].

Başka bir çalışmada Chang, mevcut EA'larda kullanılan elektrik motorlarını karşılaştırmıştır. Elektrik motorlarının teknik verileri ile verimini, güç yoğunluğunu, moment dalgalanmasını, aşırı yüklenme kapasitesini, boyutlarını, maliyet ve maksimum hızlarını incelemiştir. Çalışma sonunda ASM'lerin, yukarıda belirtilen özellikler bakımından en pozitif sonuçları ürettiği görülmüştür [27].

Kaynak [28]'de Goss vd., Toyota Prius EA'da kullanılan 50kW güce sahip SMSM ile kendi tasarımları olan aynı

özelliklerdeki ASM'yi enerji ve performans bakımından karşılaştırmış ve SMSM'nin ASM'ye göre daha verimli olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca Gwoździewicz ve Antal ASM ve SMSM'nin özellikleri üzerine yaptıkları araştırmada SMSM'nin verim ve performans bakımından daha güçlü olduğunu belirtmişlerdir [29]. Yine literatürde benzer çalışmalara rastlamak mümkündür [30], [31].

EA'larda kullanılan elektrik motor türü aracın verimli çalışması bakımından çok önemlidir. Yapılan çalışmalarda kullanılan denetim yöntemlerine en hızlı tepki veren motorun belirlenmeye çalışıldığı ya da farklı yapıda motor seçenekleri düşünülerek en verimli olanının tespit edilmeye çalışıldığı görülmektedir [31], [32].

Bu çalışmanın amacı EA'larda kullanılan elektrik motorlarının önerilen YZ denetimle modellenmesi ve performanslarının araştırılmasıdır. EA'ların tahrik sistemi basamaklarından denetim sistemi ve kullanılan farklı iki tipte motor (SMSM ve ASM) performans açısından karşılaştırılacaktır. Aynı güce sahip her iki motorun kontrolü SK yöntemiyle gerçekleştirilecek olup, motorların hızlanma ve yavaşlama bakımından durumu frekansın artırılıp azaltılmasıyla gerçekleştirilecektir. Sürücünün frekansının değiştirilmesi motorun hızının değiştirilmesi demektir. Matlab/Simulink programı kullanılarak her iki motorun performans açısından yeterlilikleri analiz edilecektir. Motorların denetimi PI+SK ve YSA+SK yöntemleriyle gerçekleştirilecek ve motorlardan alınan hız, tork, çıkış gücü gibi değerler karşılaştırılacaktır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmanın benzetimi Matlab/Simulink programında gerçekleştirilmiştir. Yapılan tüm benzetim çalışmalarında kullanılan hız bilgileri 30-90 km/saat, yolun durumu (tork) bilgileri 1- 4 Nm olarak alınmıştır. Burada her iki motor için (ASM ve SMSM) elde edilen grafiklerin benzetim şeması 60 km/saat hız ve 0-2.5 Nm yol durumuna göre verilmiştir. Dolayısıyla tüm motor ve kontrol yöntemleri için motorların aynı değerler bakımından performansının izlenmesi amaçlanmıştır.

EA'nın 60 km/s sabit hızda gidebilmesi için yolun durumu ne olursa olsun elektrik motorundan beklenen devir hızı 530.5 devir/dk. (rpm)'dir. Çalışma üç ayrı aşamada gerçekleşecektir: SK ile Motorların Performansı, PI+SK ile Motorların Performansı, YZ+SK ile Motorların Performansı.

Çalışmada kullanılan referans araç hızı ve yol durumu grafiği Şekil 1'de verilmiştir. Ayrıca benzetimde kullanılan motorların parametreleri Şekil 2'de verilmiştir. Kullanılan ASM ve SMSM 1.5kW güçte ve maksimum 4 Nm yük ile kullanılabilir. Şekil 1 b'deki grafik referans alınan yol durumunu göstermektedir. Bu bağlamda yolun eğim durumunu ifade etmektedir.

2.1. Motorların Benzetimi

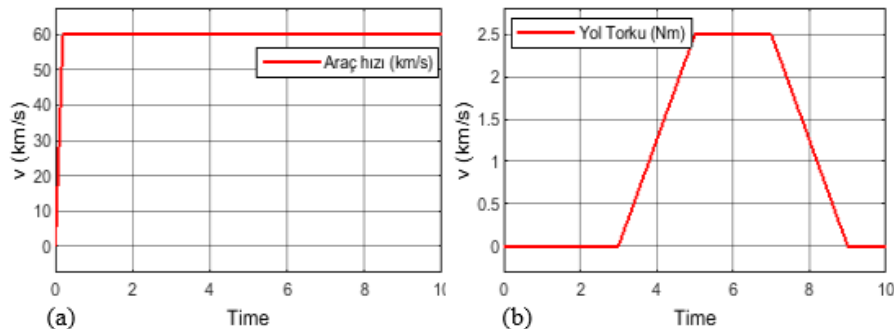
Motorların matematiksel modelleri oluşturulurken yüksek performanslı sürücülerin geliştirilebilmesi için faz düzlemleri arasında dönüşümler gerçekleştirilmektedir [33]. Diğer yandan literatür incelendiğinde motorların (ASM ve SMSM) benzer pek çok matematiksel ifadelerine rastlanmaktadır. Çalışmamızda bu denklemler yardımıyla benzetim çalışmaları yapılmıştır [34], [35].

2.2. Denetim Yöntemlerinin Benzetimi

SK benzetimi: SK yönteminin benzetiminde V/f oranının sabit tutulma işlemi göz önünde bulundurularak kullanılan sinüs üretici denklemi aşağıda verilmiştir [36].

$$\begin{aligned}v_a &= \sqrt{2}v_{etkin} \sin(\theta) \\v_b &= \sqrt{2}v_{etkin} \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\v_c &= \sqrt{2}v_{etkin} \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right)\end{aligned}\quad (1)$$

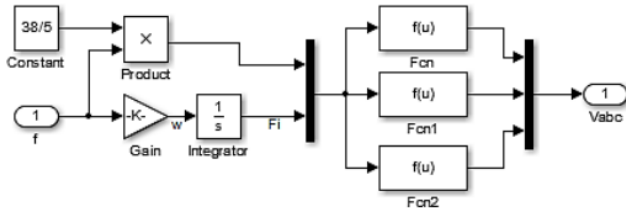
Bu denklem yardımıyla gerçekleştirilen benzetim şeması Şekil 3'de gösterilmiştir.



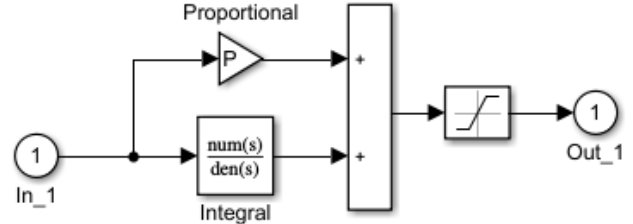
Şekil 1. Referans alınan grafikler (a) Hız grafiği, (b) Yol durumu grafiği

ASM (1.5 kW) (mask)	PMSM (1.5 kW) (mask)
Parameters	Parameters
Stator Resistance Rs [ohms] :	Stator Resistance R (ohm)
4.85	1.4
Stator Inductance Ls [Henry] :	Inductance Ld (H)
0.274	0.0066
Rotor Resistance Rr [ohms] :	Inductance Lq (H)
3.81	0.0058
Rotor Inductance Lr [Henry] :	PM Flux Mf (V/rad/s)
0.274	0.15
Mutual Inductance Lm [Henry] :	Moment of inertia J (kgm2)
0.258	0.00176
Rotor Inertia J [Kg-m2] :	Friction B (Nm/ rad/s)
0.031	0.0038
Number of Poles p :	Number of Poles P
6	6
Friction B (Nm/ rad/s)	
0.0038	

Şekil 2. Kullanılan motorların parametreleri



Şekil 3. SK benzetim şeması



Şekil 4. PI kontrolör benzetimi

PI benzetimi: Çalışmada karşılaştırma amaçlı olarak PI denetim kullanılmıştır. PI kontrolörün amacı oransal oranı bileşeninin etkisiyle sistemin başlangıcında, hızla referans değere yaklaşmak ve integral bileşeninin etkisiyle de kalıcı hal hatasını sıfırlamaktır. PI kontrolöre ait matematiksel denklem aşağıda verilmiştir [37].

PI kontrolörün katsayıları benzetim testlerinde deneme yöntemiyle bulunabildiği gibi literatürde kullanılan farklı yöntemlerle de elde edilebilir [37].

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) dt \quad (2)$$

Şekil 4'de PI kontrolörün benzetim şeması verilmiştir.

YZ benzetimi: Çalışmada YZ'nin alt dalı olan YSA kullanılmıştır. Çalışmalara başlamadan önce SK yöntemiyle ASM ve SMSM'nin benzetim testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testlerde Tablo 1 ve Tablo 2'de verilen eğitim verileri tespit edilmiştir.

YSA çalışmaları Matlab/Simulink programının "nntool" penceresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir [38]. Bu pencereye "Giriş" ve "Çıkış" verileri normalize edilerek girilmiştir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde; YSA kullandığı aktivasyon fonksiyonları nedeniyle ürettiği sonuçları 0, 1 ya da -1, +1 aralığında ürettiğinden girişlerinde bu aralıklarda olması daha iyi sonuçlar ürettiği görülmektedir. Normalizasyon denklemi olarak sıklıkla mühendislik çalışmalarında kullanılan "D_Min_Max" kullanılmıştır. Bu denklem aşağıdaki gibidir [39]:

$$x' = 0.8 \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} + 0.1 \quad (3)$$

Lineer olmayan problemlerin çözümünde çoğunlukla Sigmoid (Logsig) ve Tanjant Hiperbolik (Tansig) aktivasyon denklemlerinin sıklıkla kullanılmaktadır. Çalışmamızda her iki aktivasyon denklemini eğitim sırasında kullanılmış ve Tansig fonksiyonunun en iyi sonuçları ürettiği gözlenmiştir.

Bu testlerde motorlar farklı hız ve tork değerlerinde çalıştırılmış ve bu değerlerden elde edilen değerler ile

motordan beklenen değerlerin durumu karşılaştırılmıştır. Benzetim testlerinde motorlardan tork değerlerine karşılık elde edilen hız bilgileri ve hataları tespit edilmiştir. Motordan elde edilen hız hatası YSA eğitiminde kullanılan en temel esas olarak belirlenmiştir.

Tablo 1 ve 2'deki veriler YSA eğitim verisi olarak kullanılmıştır. Bu verilerin dışında daha pek çok veri bulunmaktadır. Tabloda yeşil renkte gösterilen satır veriler YSA'nın test verileri olarak kullanılmıştır. Rastgele belirlenmiştir. Tabloda kırmızı renkte gönderilen sütun veriler YSA'da kullanılan Normalizasyon verileridir.

Tablo 1. ASM'nin YZ+SK denetiminde kullanılan eğitim verileri

	Hız (km/s)	M. Hızı (rpm)	Hız Norm.	Yol tork (Nm)	Tork Norm.	YSA çıkış (rpm)	YSA Norm.
1	30.0000	265.3000	0.1000	0.0000	0.1000	265.3000	0.1000
2	30.0000	265.3000	0.1000	0.5000	0.2000	269.8000	0.1064
3	30.0000	265.3000	0.1000	1.0000	0.3000	274.4000	0.1130
4	30.0000	265.3000	0.1000	1.5000	0.4000	279.1000	0.1198
5	30.0000	265.3000	0.1000	2.0000	0.5000	284.1000	0.1269
6	30.0000	265.3000	0.1000	2.5000	0.6000	289.3000	0.1344
7	30.0000	265.3000	0.1000	3.0000	0.7000	294.6000	0.1420
8	30.0000	265.3000	0.1000	3.5000	0.8000	300.3000	0.1501
9	30.0000	265.3000	0.1000	4.0000	0.9000	306.0000	0.1583
10	40.0000	353.7000	0.2333	0.0000	0.1000	353.7000	0.2266
11	40.0000	353.7000	0.2333	0.5000	0.2000	357.5000	0.2321
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
60	90.0000	795.8000	0.9000	2.5000	0.6000	812.8000	0.8842
61	90.0000	795.8000	0.9000	3.0000	0.7000	816.4000	0.8894
62	90.0000	795.8000	0.9000	3.5000	0.8000	820.1000	0.8947
63	90.0000	795.8000	0.9000	4.0000	0.9000	823.8000	0.9000

Tablo 2. SMSM'nin YZ+SK denetiminde kullanılan eğitim verileri

	M. Hızı (rpm)	Çıkış Hızı (rpm)	YSA Çıkışı (rpm)	M. Hızı Norm.	Çıkış Hızı Norm.	YSA Çıkışı Norm.
1	265.30000	264.30000	266.30000	0.10000	0.10000	0.10300
2	265.30000	265.30000	265.30000	0.10000	0.10150	0.10150
3	265.30000	266.30000	264.30000	0.10000	0.10300	0.10000
4	309.50000	308.50000	310.50000	0.16665	0.16640	0.16941
5	309.50000	309.50000	309.50000	0.16665	0.16791	0.16791
6	309.50000	310.50000	308.50000	0.16665	0.16941	0.16640
7	353.70000	352.70000	354.70000	0.23331	0.23281	0.23581
8	353.70000	353.70000	353.70000	0.23331	0.23431	0.23431
9	353.70000	354.70000	352.70000	0.23331	0.23581	0.23281
10	397.90000	396.90000	398.90000	0.29996	0.29921	0.30222
11	397.90000	397.90000	397.90000	0.29996	0.30071	0.30071
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
35	751.60000	751.60000	751.60000	0.83335	0.83209	0.83209
36	751.60000	752.60000	750.60000	0.83335	0.83360	0.83059
37	795.80000	794.80000	796.80000	0.90000	0.89700	0.90000
38	795.80000	795.80000	795.80000	0.90000	0.89850	0.89850
39	795.80000	796.80000	794.80000	0.90000	0.90000	0.89700

YSA eğitiminde iki farklı yöntem kullanılmıştır:

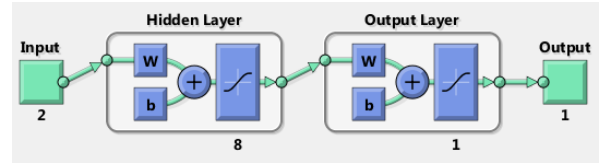
- Birincisi; YSA girişine “İstenen Referans Hız” ve “Elde Edilen Hız” bilgileri girilmiş ve YSA çıkışında olması gereken frekans değeri için gereken hız bilgisinin değeri hesaplanmıştır.
- İkincisi; YSA girişine “İstenen Referans Hız” ve “Elde Edilen Yol Torku” bilgileri girilmiş ve YSA çıkışında olması gereken frekans değeri için gereken hız bilgisinin değeri hesaplanmıştır.

Bu iki farklı yol içerisinde ASM için YSA'nın en iyi eğitim verileri “İkinci” yöntem ile SMSM'nin en iyi YSA eğitim verileri “Birinci” yöntem ile elde edilmiştir. Bu sebeple sonuçlar kısmında bu yöntemlerde en iyi verilerin elde edildiği grafikler analiz için sunulmuştur. Çalışmada ağ yapısı oluşturulurken Tablo 3'deki parametreler kullanılmıştır. Bu parametreler ağı eğitimi sırasında en iyi sonuçları verdiği için tercih edilmiştir.

Tablo 3. Ağ yapısı parametreleri

Network Units	Methods
Network Type	Feed-forward backprop
Training Function	TRAINLM
Adaption learning Function	LEARNGDM
Performance Function	MSE
Number of Layers	2
Number of Neurons	8
Transfer Function	TANSIG

Çalışmadan elde edilen YSA yapısı Şekil 5'de verilmiştir. Bu ağ yapısı her iki motor için aynı şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. YSA yapısı

Burada bulunan 2 katmanlı YSA'yı örnek alacak olursak, bu durumda geri yayılım formülleri [40];

Çıkış katmanı;

$$O_k = f(net_k)$$

$$net_k = \sum_j w_{kj} O_j + \theta_k \quad (4)$$

Gizli Katman;

$$O_j = f(net_j)$$

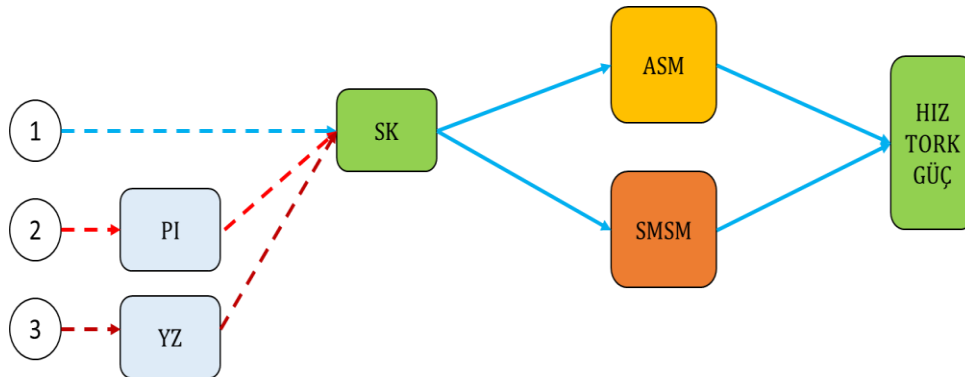
$$net_j = \sum_i w_{ji} O_i + \theta_j \quad (5)$$

YSA'da kullanılan aktivasyon fonksiyonunun Tansig olduğunu kabul ettiğimizde, bu fonksiyonun geri yayılımdaki türev ifadesi;

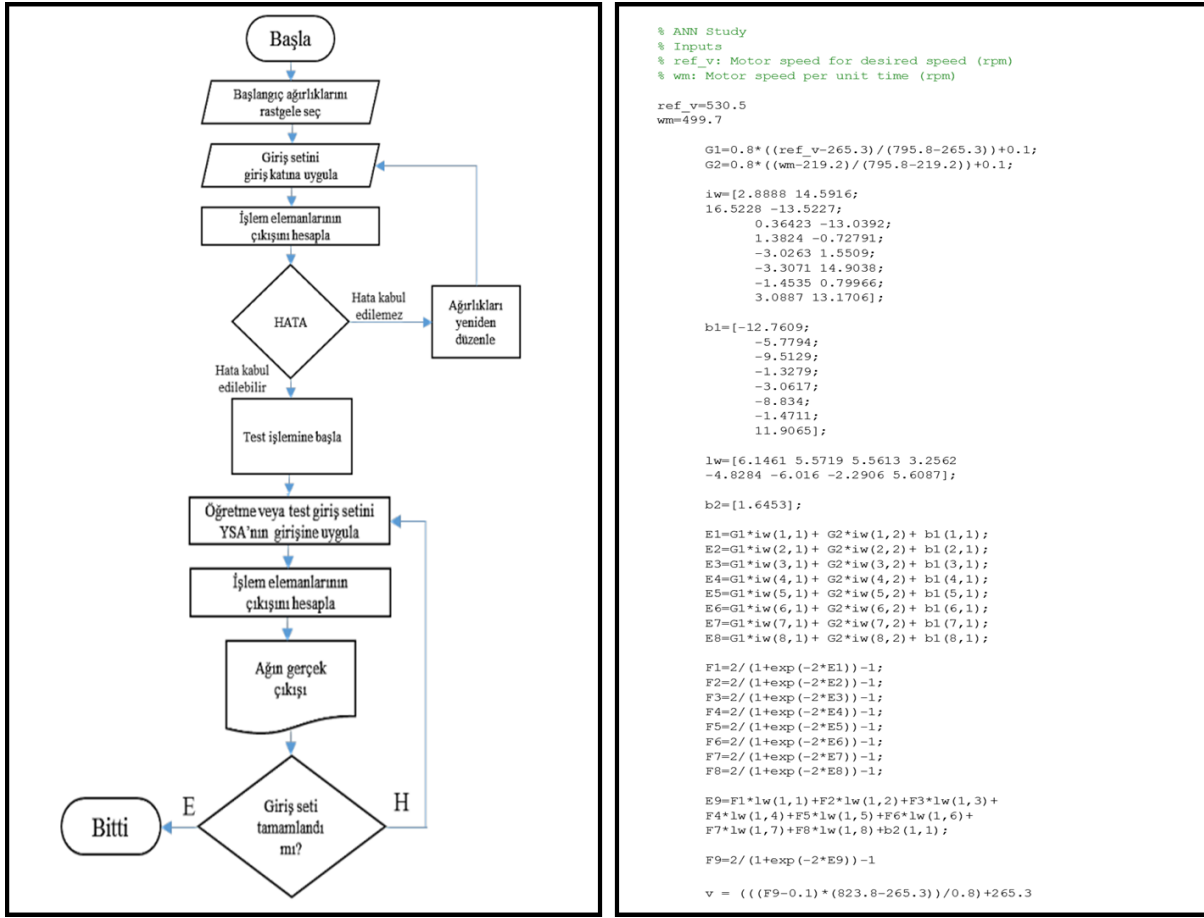
$$f'(net) = 2 / (1 + \exp(-2 * net)) - 1 \quad (6)$$

Çalışmanın blok şeması Şekil 6 da verilmiştir. Burada 1, 2 ve 3 girişleri yapılan çalışmaları göstermektedir.

Çalışmada YSA çıkışının hesaplandığı program ve algoritma Şekil 7 de verilmiştir.



Şekil 6. Çalışmanın blok şeması



Şekil 7. YSA'ya ait algoritma ve program

3. Bulgular

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen veriler grafiksel olarak ve her üç kontrol yöntemi için ayrı ayrı gösterilmiştir. Gösterilen grafiklerde yine ASM ve SMSM sonuçları yine ayrı ayrı verilmiştir.

Yapılan tüm benzetim çalışmalarının temelini SK yöntemi oluşturmaktadır. Diğer uygulanan yöntemlerin performansı bu yöntem baz alınarak gerçekleştirilmiştir.

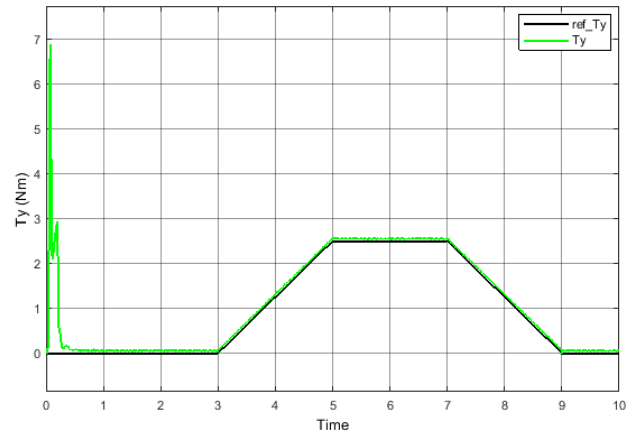
3.1. PI Kontrol

Bu bölümde PI+SK+ASM ve PI+SK+SMSM benzetiminden elde edilen akım, tork, hız ve harcanan güç grafikleri sırasıyla verilmiştir.

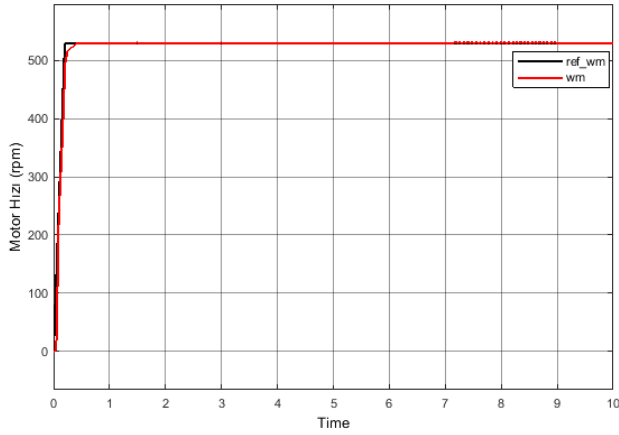
PI+SK+ASM benzetim testinden elde edilen sonuçlar Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekil 8, (a) Yol tork grafiğini, (b) Motordan elde edilen hızı, (c) Motordan elde edilen çıkış gücünü ya da harcanan gücü göstermektedir.

Şekil 8 (a) incelendiğinde, motorun kalkış sırasında ürettiği torkun 7 Nm'ye yaklaştığı görülmektedir.

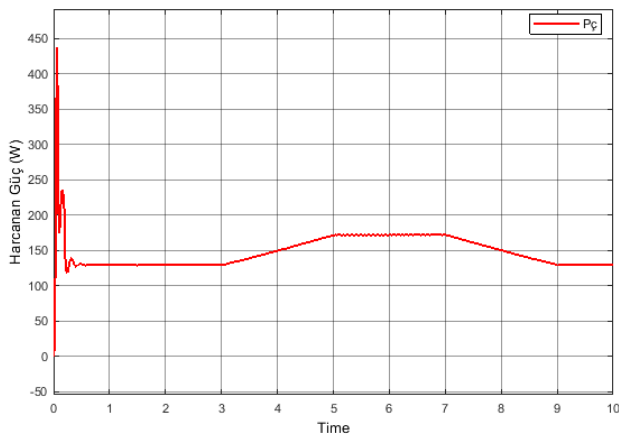
Ayrıca motora yolun durumuna göre uygulanan yol torku verileriyle motordan elde edilen tork verilerinin benzerlik gösterdiği görülmektedir. Şekil 8 (b) incelendiğinde, motorun kalkış sırasında az da olsa (ihmal edilebilir düzeyde) hız hatası yaptığı görülmektedir. Normal koşullarda ve değişen yol koşullarında beklenen hıza ulaştığı görülmektedir. Bu grafikte sadece zaman eksenindeki 7-9 aralığında hız kararlılığının az da olsa (ihmal edilebilir düzeyde) bozulduğu görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 8. PI+SK+ASM'den elde edilen sonuçlar

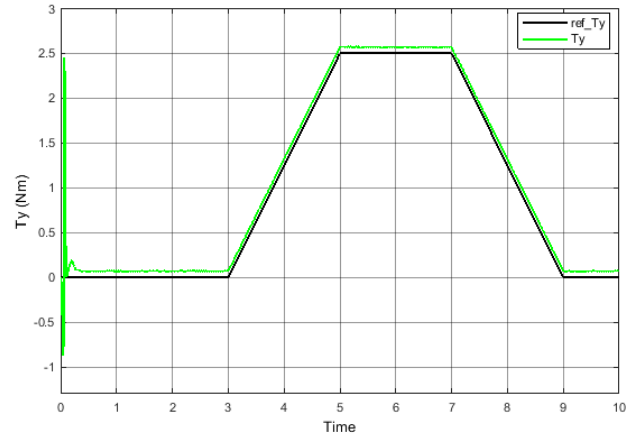
Şekil 8 (c) incelendiğinde, motorun kalkış sırasında sarf ettiği güç miktarının 450 W'a yaklaştığı tespit edilmiştir. Normal koşullarda çalışırken çıkış gücü yaklaşık 130 W'tır. Yol koşullarına göre güç sarfiyatının arttığı, referans alınan yol koşullarına göre maksimum çıkış gücünün yaklaşık 160 W olduğu görülmektedir.

PI+SK+SMSM benzetim testinden elde edilen sonuçlar 9'da gösterilmiştir. Şekil 9, (a) Yol tork grafiğini, (b) Motordan elde edilen hızı, (c) Motordan elde edilen çıkış gücünü ya da harcanan gücü göstermektedir.

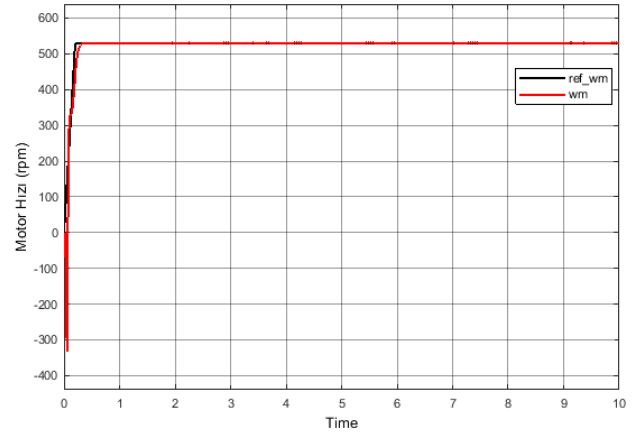
Şekil 9 (a) incelendiğinde, motorun kalkış sırasında ürettiği torkun 2.5 Nm'ye yaklaştığı görülmektedir. Ayrıca motora yolun durumuna göre uygulanan yol torku verileriyle motordan elde edilen tork verilerinin benzerlik gösterdiği hatta referans torka göre az da olsa üzerinde tork ürettiği görülmektedir.

Şekil 9 (b) incelendiğinde, motorun kalkış sırasında az da olsa (ihmal edilebilir düzeyde) hız hatası yaptığı görülmektedir. Normal koşullarda ve değişen yol koşullarına karşılık beklenen hıza ulaştığı görülmektedir.

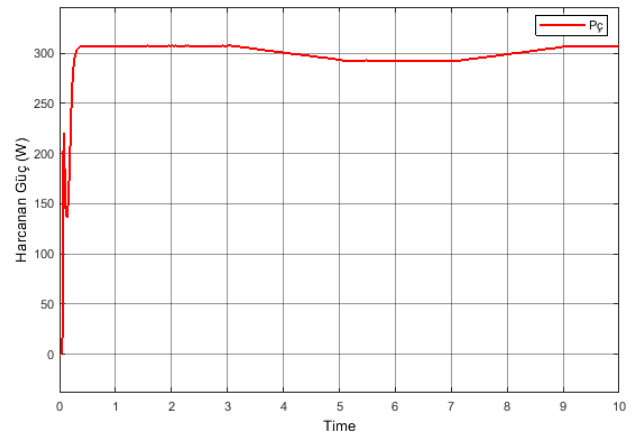
Şekil 9 (c) incelendiğinde, motorun kalkış sırasında sarf ettiği güç miktarı 310 W olarak tespit edilmiştir. Bu güç normal koşullarda aynı düzeyde kalırken yol koşullarına göre güç sarfiyatının azaldığı görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

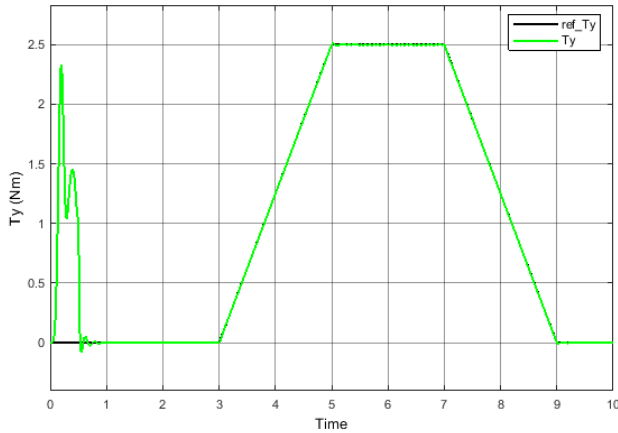
Şekil 9. PI+SK+SMSM'den elde edilen sonuçları

3.2. YZ Kontrol

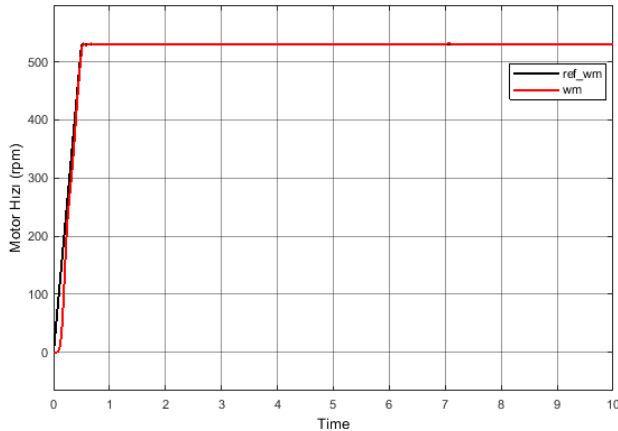
Bu bölümde YZ+SK+ASM ve YZ+SK+SMSM benzetiminden elde edilen akım, tork, hız ve harcanan güç grafikleri sırasıyla verilmiştir.

YZ+SK+ASM benzetim testinden elde edilen sonuçlar Şekil 10 da gösterilmiştir. Şekil 10 (a) Yol tork grafiğini, (b) Motordan elde edilen hızı, (c) Motordan elde edilen çıkış gücünü ya da harcanan gücü göstermektedir.

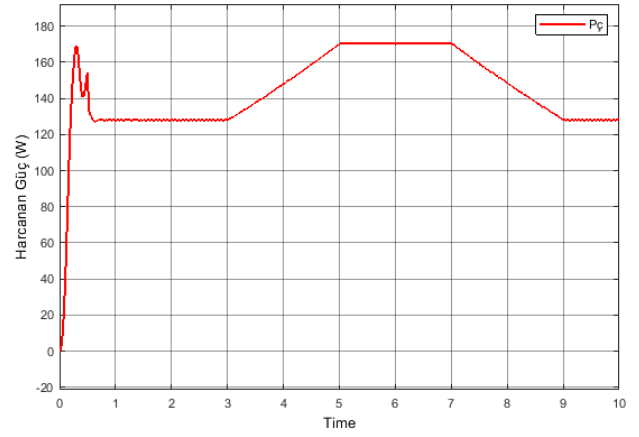
Şekil 10 (a) incelendiğinde, motorun kalkış sırasında ürettiği torkun 2.5 Nm'ye yaklaştığı görülmektedir. Ayrıca motora yolun durumuna göre uygulanan yol torku verileriyle motordan elde edilen tork verilerinin benzerlik gösterdiği görülmektedir. Şekil 10 (b) incelendiğinde, motorun kalkış sırasında az da olsa (ihmal edilebilir düzeyde) hız hatası yaptığı görülmektedir. Normal koşullarda ve değişen yol koşullarında beklenen hıza ulaştığı görülmektedir. Şekil 10 (c) incelendiğinde, motorun kalkış sırasında sarf ettiği güç miktarının 170 W'a yaklaştığı tespit edilmiştir. Normal koşullarda çalışırken çıkış gücü yaklaşık 130 W'tır. Yol koşullarına göre güç sarfiyatının arttığı, referans alınan yol koşullarına göre maksimum çıkış gücünün yaklaşık 170 W olduğu görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

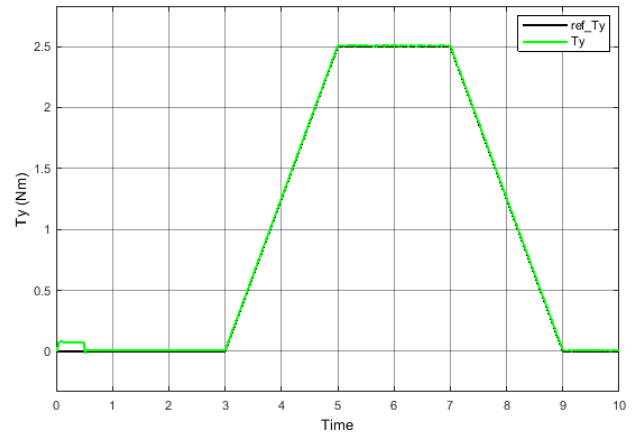
Şekil 10. YZ+SK+ASM'den elde edilen sonuçlar

YZ+SK+SMSM benzetim testinden elde edilen sonuçlar Şekil 11 de gösterilmiştir. Şekil 11 (a) Yol tork grafiğini, (b) Motordan elde edilen hızı, (c) Motordan elde edilen çıkış gücünü ya da harcanan gücü göstermektedir.

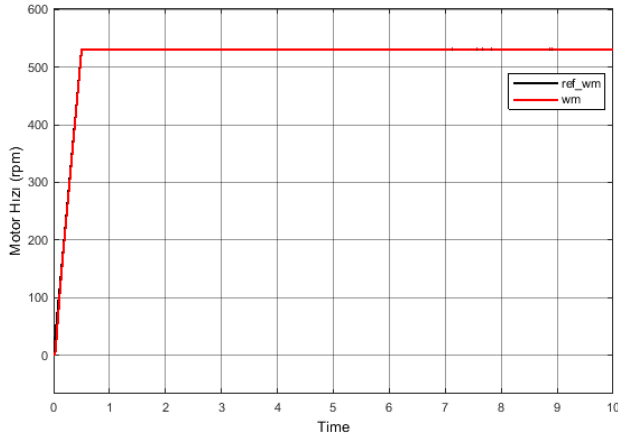
Şekil 11 (a) incelendiğinde, motorun kalkış sırasında ürettiği torkun 0.1 Nm olduğu görülmektedir. Ayrıca motora yolun durumuna göre uygulanan yol torku verileriyle motordan elde edilen tork verilerinin benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Şekil 11 (b) incelendiğinde, motorun kalkış sırasında, normal koşullarda ve değişen yol koşullarında beklenen hız değerine ulaştığı görülmektedir.

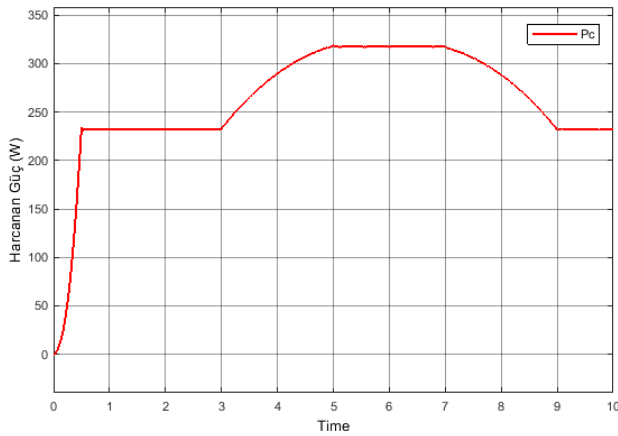
Şekil 11 (c) incelendiğinde, motorun kalkış sırasında sarf ettiği güç miktarı yaklaşık 230 W olarak tespit edilmiştir. Bu güç normal koşullarda aynı düzeyde kalırken yol koşullarına göre güç sarfiyatının arttığı, çalışmada referans alınan en yüksek tork verisine göre yaklaşık 320 W olduğu görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 11. YZ+SK+SMSM'den elde edilen sonuçlar

4. Değerlendirme

Bu çalışmada, EA'larda kullanılan ASM ve SMSM'ler performans yönüyle değerlendirilmiştir. Performans değerlendirmesi için üç yöntem ayrı ayrı motorlara uygulanmıştır. Bu yöntemler sırasıyla; SK ile kontrol, PI+SK ile kontrol, YZ+SK ile kontroldür.

Kullanılan kontrol yöntemlerinde SK ve SK'den elde edilen veriler referans alınarak diğer yöntemlerde performans değerlendirmesi yapmak için kullanılmıştır. Değerlendirmede her iki motor için üç kistas esas alınarak analiz gerçekleştirilmiştir. Bu kistaslar;

- Tork performans sonuçları (Yol durumu)
- Hız performans sonuçları
- Harcanan güç performans sonuçları

Belirtilen durumlara göre motorlardan elde edilen performans sonuçları aşağıda açıklanmıştır.

4.1. Tork Performans Sonuçları (Yol Durumu)

- SK ile kalkış sırasında ASM'den yaklaşık 6 Nm, SMSM'den yaklaşık 0.5 Nm elde edilmiştir.
- PI+SK ile kalkış sırasında ASM'den yaklaşık 7 Nm, SMSM'den yaklaşık 2.5 Nm elde edilmiştir.
- YZ+SK ile kalkış sırasında ASM'den yaklaşık 2.5 Nm, SMSM'den yaklaşık 0.1 Nm elde edilmiştir.

EA'larda kullanılan motorlarda kalkış sırasında yüksek tork özelliğinin bulunması gerektiği hatırlandığında [30], yaptığımız çalışmada kalkış sırasında en iyi performansı PI+SK ile ASM göstermiştir. Normal koşullar ve yol koşullarına göre motorlardan anlık torku karşılayabilme yetenekleri beklendiğinden [30], [31] yapılan çalışmada her iki motorun tüm kontrol yöntemleriyle beklenen değerleri ürettiği görülmüştür.

4.2. Hız Performans Sonuçları

- SK ile kalkış sırasında hem ASM hem de SMSM'nin ihmal edilebilecek düzeyde hatalı hız verileri üretmektedir. Normal koşullar altında her iki motor türünün beklenen hız verilerine ulaştığı görülmüştür. Yol koşullarındaki değişimlere ASM'nin cevap veremediği, SMSM'nin ise beklenen hız verilerine ulaştığı görülmüştür.
- PI+SK ile kalkış sırasında yine her iki motorun ihmal edilebilir hatalarının olduğu, normal koşullarda ve yol koşul değişimlerine ise en iyi sonuçları SMSM'nin ürettiği anlaşılmıştır.
- YZ+SK ile kalkış sırasında ASM, ihmal edilebilir düzeyde hatalı sonuçlar ürettiği, SMSM'nin ise beklenen değerlere ulaştığı, normal koşullarda ve yol koşullarındaki değişimlere ise her iki motorun beklenen değerlere ulaştığı görülmüştür.

EA'larda kullanılan motorların her koşulda beklenen hıza ulaşması gerektiğinden [41], yapılan çalışmada en iyi sonucu YZ+SK ile SMSM'nin gösterdiği anlaşılmaktadır. Bunun yanı sıra YZ+SK ile ASM'de ihmal edilebilir hata düzeyinde en iyi sonuçları ürettiği anlaşılmıştır.

4.3. Harcanan Güç Performans Sonuçları

- SK ile ilk kalkış sırasında ASM'den yaklaşık 300 W, SMSM'den yaklaşık 310 W elde edilmiştir. Motor normal koşullarda çalışırken ASM yaklaşık 130 W, SMSM yaklaşık 310 W güç harcamaktadır. Yol koşullarının değişiminde; ASM'de yol torkunun arttığı durumlarda harcanan gücün arttığı, yol torkunun azaldığı durumlarda harcanan gücün azaldığı görülmüştür (Normal koşullara göre değerlendirilmiştir). Maksimum referans torka göre ASM yaklaşık 170 W güç harcamaktadır.

SMSM'den ise yol torkunun arttığı durumlarda harcanan gücün azaldığı, yol torkunun azaldığı durumlarda harcanan gücün arttığı görülmüştür (Normal koşullara göre değerlendirilmiştir). Maksimum referans torka göre SMSM yaklaşık 285 W güç harcamaktadır.

- PI+SK ile kalkış sırasında ASM'den yaklaşık 450 W, SMSM'den yaklaşık 310 W elde edilmiştir. Motor normal koşullarda çalışırken ASM yaklaşık 130 W, SMSM yaklaşık 310 W güç harcamaktadır. Yol koşullarının değişiminde; ASM'de yol torkunun arttığı durumlarda harcanan gücün arttığı, yol torkunun azaldığı durumlarda harcanan gücün azaldığı görülmüştür (Normal koşullara göre değerlendirilmiştir). Maksimum referans torka göre ASM yaklaşık 160 W güç harcamaktadır. SMSM'de ise yol torkunun arttığı durumlarda harcanan gücün azaldığı, yol torkunun azaldığı durumlarda harcanan gücün arttığı görülmüştür (Normal koşullara göre değerlendirilmiştir). Maksimum referans torka göre SMSM yaklaşık 285 W güç harcamaktadır.
- YZ+SK ile kalkış sırasında ASM'den yaklaşık 170 W, SMSM'den yaklaşık 280 W elde edilmiştir. Motor normal koşullarda çalışırken ASM yaklaşık 130 W, SMSM yaklaşık 280 W güç harcamaktadır. Yol koşullarının değişiminde; ASM'de yol torkunun arttığı durumlarda harcanan gücün arttığı, yol torkunun azaldığı durumlarda harcanan gücün azaldığı görülmüştür (Normal koşullara göre değerlendirilmiştir). Maksimum referans torka göre ASM yaklaşık 170 W güç harcamaktadır. SMSM'den ise yol torkunun arttığı durumlarda harcanan gücün arttığı, yol torkunun azaldığı durumlarda harcanan gücün azaldığı görülmüştür (Normal koşullara göre değerlendirilmiştir). Maksimum referans torka göre SMSM yaklaşık 320 W güç harcamaktadır.

Bu sonuçlar kalkış sırasındaki durum açısından değerlendirildiğinde belirlenen referans durumlara göre en iyi sonucu YZ+SK ile ASM'nin ürettiği anlaşılmaktadır.

5. Sonuçlar

Çalışmada motorlar; PI + SK, YZ + SK yöntemleriyle test edilmiş ve elde edilen grafikler yardımıyla farklı yol koşullarında en iyi performansı gösteren motor, "hız, tork ve güç" parametrelerine göre belirlenmiştir. Normal koşullarda tüm kontrol yöntemlerine göre yine en iyi sonucu ASM'nin ürettiği görülmüştür. Yol koşullarının değişiminde de yine tüm kontrol yöntemlerine göre en iyi sonucu ASM'nin ürettiği anlaşılmaktadır. Burada harcanan gücün azalması

motorun enerji kaynağından çektiği akımın azalması demektir. Bu bağlamda daha az güç harcanan motor kullanımı daha az batarya kullanımını ortaya çıkarmaktadır. Yapılan çalışmada harcanan güç performansında en iyi sonuçları ASM üretmiştir.

Yapılan çalışma genel olarak değerlendirildiğinde EA'larda kullanılan motorlarda YZ ile yapılan SK çalışmalarının olumlu sonuçlar ürettiği anlaşılmaktadır. Bu alandaki teknolojik gelişmeler düşünüldüğünde yapılan çalışmanın da literatüre katkı sağlayacağı muhakkaktır.

Yapılan çalışmaya Verimlilik, Kontrol edilebilirlik ve Maliyet açısından aşağıdaki önerilerde bulunulabilir.

- Verimlilik: Harcanan güç açısından bakıldığında ASM en iyi performansı gösterdiğinden, gücün önemli olduğu kullanım alanlarında YZ+SK+ASM modeli önerilebilir. Hız açısından bakıldığında en iyi performansı SMSM gösterdiğinden, hızın önemli olduğu kullanım alanlarında YZ+SK+SMSM modeli önerilebilir. Tork açısından değerlendirildiğinde ASM en iyi performansı gösterdiğinden, torkun önemli olduğu uygulamalarda YZ+SK+ASM modeli önerilebilir.
- Kontrol Edilebilirlik: Tüm çalışmaya hız kontrolü açısından bakıldığında SMSM en iyi sonucu gösterdiğinden, benzer kullanım alanlarında YZ+SK+SMSM modeli önerilebilir.
- Maliyet: Teknolojideki gelişmeler SMSM'de kullanılan mıknatısların maliyetini giderek düşürmektedir. Ancak bu tür motorlarda kullanılan her türlü aparat maliyeti arttırdığından ASM'nin maliyet bakımından en uygun motor türü olacağı söylenebilir.

Kaynaklar

- [1] Yoichi H, "Future Vehicle driven by Electricity and Control-Research on Four Wheel Motored "UOT Electric March II", " *IEEE transactions on industrial electronics*, vol. 51, pp. 954-962, 2004.
- [2] Rietmann N, Lieven T, "A comparison of policy measures promoting electric vehicles in 20 countries," in *The Governance of Smart Transportation Systems*, ed: Springer, 2019, pp. 125-145.
- [3] Sun X, Shi Z, Lei G, Guo Y, ve Zhu J, "Analysis and design optimization of a permanent magnet synchronous motor for a campus patrol electric vehicle," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, pp. 10535-10544, 2019.
- [4] Ohashi T, Saruwatari Y, ve Ozawa H, "Electric vehicle," ed: Google Patents, 2019.
- [5] Onat NC, Kucukvar M, ve Afshar S, "Eco-efficiency of electric vehicles in the United States: A life cycle

- assessment based principal component analysis," *Journal of Cleaner Production*, vol. 212, pp. 515-526, 2019.
- [6] Demirci Y, "Hibrit araçlarda elektrik motoru denetimi," Master Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2010.
- [7] Affanni A, Bellini A, Franceschini G, Guglielmi P, ve Tassoni C, "Battery choice and management for new-generation electric vehicles," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 52, pp. 1343-1349, 2005.
- [8] Harding G, "Electric vehicles in the next millennium," *Journal of power sources*, vol. 78, pp. 193-198, 1999.
- [9] Kaloko BS, Soebagio M, ve Purnomo MH, "Design and development of small electric vehicle using MATLAB/Simulink," *International Journal of Computer Applications*, vol. 24, pp. 19-23, 2011.
- [10] Gencer C, Gedikpinar M, "Modeling and simulation of bldcm using matlab/simulink," *Journal of Applied sciences*, vol. 6, pp. 688-691, 2006.
- [11] Patel VKS, Pandey A, "Modeling and performance analysis of PID controlled BLDC motor and different schemes of PWM controlled BLDC motor," *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 3, pp. 1-14, 2013.
- [12] Otkun O, Dogan RÖ, ve Akpinar AS, "Neural Network Based Scalar Speed Control of Linear Permanent Magnet Synchronous Motor," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 30, pp. 395-404, 2015.
- [13] Rao APC, Y. Obulesh, Babu CS, "Mathematical modeling of BLDC motor with closed loop speed control using PID controller under various loading conditions," *arpn journal of engineering and applied sciences*, vol. 7, pp. 1321-1328, 2012.
- [14] Patel VKS, "Modeling and simulation of brushless DC motor using PWM control technique," 2013.
- [15] Koca GÖ, ve Akpolat ZH, "Bulanık Mantık ve Erişim Kuralı Yaklaşımını Kullanarak Bir Elektrikli Aracın Dayanıklı Hız Denetimi," *Politeknik Dergisi*, vol. 9, pp. 93-103, 2006.
- [16] Mun J-M, Park G-J, Seo S, Kim Y-J, ve Jung S-Y, "Design characteristics of IPMSM with wide constant power speed range for EV traction," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 53, pp. 1-4, 2017.
- [17] Yang Y, Castano SM, Yang R, Kasprzak M, Bilgin B, Sathyan A, et al., "Design and comparison of interior permanent magnet motor topologies for traction applications," *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 3, pp. 86-97, 2017.
- [18] Jiang JW, Bilgin B, Sathyan A, Dadkhah H, ve Emadi A, "Noise and vibration reduction for IPMSM by using rotor circumferential slits," in *2017 IEEE International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC)*, 2017, pp. 1-8.
- [19] Demir U ve Aküner MC, "Elektrikli bir araç için tekerlek içi asenkron motorun tasarım ve optimizasyonu," *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 2018.
- [20] Sezenoğlu C, Aydoğan F, Kurnaz Araz H, Akgül L, ve Erçin ME, "Elektrikli ve Hibrit Elektrikli Araçlar için Makinası ve Sürücüsü," *Cadem A.Ş.*, 2017.
- [21] Chan C, ve Lo W, "Control strategy of PWM inverter drive system for electric vehicles," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, pp. 447-456, 1987.
- [22] De Santiago J, Bernhoff H, Ekergård B, Eriksson S, Ferhatovic S, Waters R, et al., "Electrical motor drivelines in commercial all-electric vehicles: A review," *IEEE Transactions on vehicular technology*, vol. 61, pp. 475-484, 2012.
- [23] Ko S-Y, Ko J-K, Lee S-M, Cheon J-S, ve H.-S. Kim H-S, "A study on in-wheel motor control to improve vehicle stability using human-in-the-loop simulation," *Journal of Power Electronics*, vol. 13, pp. 536-545, 2013.
- [24] Lin F-J, Hung Y-C, J.-C. Hwang J-C, Chang I-P, ve M.-T. Tsai, "Digital signal processor-based probabilistic fuzzy neural network control of in-wheel motor drive for light electric vehicle," *IET Electric Power Applications*, vol. 6, pp. 47-61, 2012.
- [25] Pei J, Zhao L-M, Wang DJ, ve Chu L, "Fuzzy PID control of traction system for vehicles," in *2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 2005, pp. 773-777.
- [26] Omatu S, Yoshioka M, Kosaka T, Yanagimoto H, ve Dargham JA, "Neuro-PID Control of Speed and Torque of Electric Vehicle," 2010.
- [27] Chang L, "Comparison of AC drives for electric vehicles-a report on experts' opinion survey," *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 9, pp. 7-11, 1994.
- [28] Goss J, Popescu M, ve Staton D, "A comparison of an interior permanent magnet and copper rotor induction motor in a hybrid electric vehicle application," in *2013 International Electric Machines & Drives Conference*, 2013, pp. 220-225.
- [29] Gwozdziwicz M, ve Antal L, "Investigation of line start permanent magnet synchronous motor and induction motor properties," *Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej*, pp. 13-20, 2010.
- [30] Zeraoulia M, Benbouzid MEH, ve Diallo D, "Electric motor drive selection issues for HEV propulsion systems: A comparative study," *IEEE Transactions on Vehicular technology*, vol. 55, pp. 1756-1764, 2006.
- [31] Xue X, Cheng K, ve Cheung N, "Selection of electric motor drives for electric vehicles," in *2008*

- Australasian Universities Power Engineering Conference*, 2008, pp. 1-6.
- [32] Grunditz E, ve Jansson E, *Modelling and Simulation of a Hybrid Electric Vehicle for Shell Eco-marathon and an Electric Go-kart*. Sweden: Chalmers University of Technology, 2009.
- [33] Instruments T, "Clarke & Park Transforms on the TMS320C2xx," *Application Report Literature Number: BPRA048*, 1996.
- [34] Başer E, "Elektrikli Araçlarda Yol Koşullarına Uygun Motor Seçimi Algoritması Geliştirme," Master Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, 2016.
- [35] Abu-Rub H, Iqbal A, ve Guzinski J, *High performance control of AC drives with MATLAB/Simulink models*: John Wiley & Sons, 2012.
- [36] Kavuran G, ve Orhan A, "Open-loop speed control of permanent magnet synchronous motor fed by matrix converter," in *National Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering*, 2010, pp. 334-338.
- [37] Åström KJ, Hägglund T, ve Astrom KJ, *Advanced PID control* vol. 461: ISA-The Instrumentation, Systems, and Automation Society Research Triangle ..., 2006.
- [38] MathWorks. (2019, 25/04/2019). *Matlab*. Available: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
- [39] Yavuz S, ve Deveci M, "İstatiksel Normalizasyon Tekniklerinin Yapay Sinir Ağına Performansına Etkisi," *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, pp. 167-187, 2012.
- [40] Otkun Ö, "Çift Yanlı Doğrusal Hareketli Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorun Tasarımı, Üretimi, ve Yapay Sinir Ağı Tabanlı Skaler Hız Denetimi " Doktor Doktora, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2015.
- [41] Ehsani M, Gao Y, Longo S, ve Ebrahimi K, *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles*: CRC press, 2018.

Research Article/Orijinal Makale

Performance comparison of PCA and ICA algorithms-based face recognition system

Israa ALSAADI^{ID}*

Department of Computer Science, University of Bedfordshire, Iraq, Baghdad

Keywords

Biometrics
Face Recognition System
User Authentication
PCA and ICA algorithms

Article history:

Received: 22.08.2021
Accepted: 23.12.2021

Abstract: Face recognition system has become a dominant research area in biometric studies due to its efficiency and accuracy. This technology has been broadly invested in various security applications for the automatic identification of humans. However, the complexity of human faces representation with the large variation in its characteristics and appearances. This complexity involves adopting powerful algorithms that can effectively learn and overcome such problems with less false results. Many algorithms are proposed for this purpose such as the Principal Component Analysis (PCA) and the Independent Components Analysis (ICA), etc. This work focuses on the implementation of a reliable face recognition system using PCA and ICA as recognition methods and the Euclidean Distance (ED) as a face classifier. A comparison is conducted upon the performances of the PCA and the ICA. These two methods are mainly used in this research for image projection and dimensionality reduction. The classification process is performed by using the distance measure scheme that is adopted by the ED classifier. The comparison is taken for the system robustness evaluation in terms of recognizing a given set of face images.

To Cite / Atıf için:

Alsaadi, I. Performance Comparison of PCA and ICA Algorithms Based Face Recognition System. International Journal of Technological Sciences, 13 (3), 103-120, 2021.

PCA ve ICA algoritmaları tabanlı yüz tanıma sisteminin performans karşılaştırması

Anahtar Kelimeler

Biyometri
Yüz tanıma sistemi
Kullanıcı doğrulama
PCA ve ICA algoritmaları

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 22.08.2021
Kabul Tarihi: 23.12.2021

Öz: Yüz tanıma sistemi, verimliliği ve doğruluğu nedeniyle biyometrik çalışmalarda baskın bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bu teknoloji, insanların otomatik olarak tanımlanması için çeşitli güvenlik uygulamalarına geniş ölçüde yatırım edilmiştir. Bununla birlikte, insanın karmaşıklığı, özellikleri ve görünümündeki büyük varyasyonla temsille karşı karşıyadır. Bu karmaşıklık, bu tür sorunları daha az yanlış sonuçlarla etkili bir şekilde öğrenebilen ve üstesinden gelebilen güçlü algoritmaları benimsemeyi içerir. Bu amaçla Temel Bileşen Analizi (PCA) ve Bağımsız Bileşen Analizi (ICA) vb. Bu çalışma, tanıma yöntemleri olarak PCA ve ICA kullanılarak güvenilir bir yüz tanıma sisteminin uygulanmasına odaklanır ve yüz sınıflandırıcı olarak Öklid Mesafesi (ED). PCA ve ICA'nın performansları üzerine bir karşılaştırma yapmıştır. Bu iki yöntem esas olarak bu çalışmada görüntü projeksiyonu ve boyutsallık azaltma için kullanılmaktadır. Sınıflandırma işlemi, ED sınıflandırıcısı tarafından benimsenen mesafe ölçü düzeni kullanılarak gerçekleştirilir. Karşılaştırma, belirli bir yüz görüntüsü kümesini tanıma açısından sistem sağlamlığı değerlendirmesi için alınır.

1. Introduction

In the recent years, biometric technologies have received great value of consideration and an increased demand in different security prospects. For instance, iris or retinal scan, fingerprint analysis, digital signature recognition and voice recognition, etc. These systems are the most common biometric applications in which a personal identification is required [1]. The

necessity of establishing a powerful technique for personal identification has risen day by day. Face recognition systems are one of the most popular applications in visual computing. Due to the growing scenario of the global security concerns in which various domains involve an automatic identification of individuals such as video surveillance, criminals' detection, financial systems and CCTV, etc [2]. This approach is considered as an emerging technology of

* İlgili yazar/Corresponding author: israamh_comp@csu.uobaghdad.edu.iq

biometric applications and a significant research area in the computer vision, pattern recognition and Human Computer Interaction (HCI) fields. Face recognition techniques are applied in a wide range of practical sectors such as personal authentication, access control, information security, images processing, etc [3,4,5]. Thousands of organizations and companies around the globe deploy biometric technologies as reliable systems which provide an acceptable level of protection for the monitoring purposes. Face recognition has its own characteristics in terms of the contribution with the participants since this system is a non-intrusive application and friendly system. It does not require a huge cooperation by its own users in order to accomplish the required tasks [3,4]. However, developing such a system for the automatic verification of a human identity is not a simple task. Human faces have dynamic features and characteristics which are subject to change during aging. These changeable characteristics impose difficulties on the automatic recognition systems.

Over the past few years, much research has concentrated on proposing several algorithms and frameworks of face recognition systems which are capable of dealing with such visual models. Not all the proposed methods of face recognition systems are 100% reliable and can efficiently recognize face images under different factors such as illuminations, light conditions, face poses and image quality. Some of these methods outperformed others in recognizing human faces with different rotation angles whereas other techniques performed effectively with various facial expressions [6]. Based on the input data, the face recognition system is categorized into two groups, still-based recognition and video-based recognition [7]. In the still-based face recognition system, a set of static face images is automatically recognized by the system. On the other hand, video-based recognition uses a stream of videos when a set of unknown faces in a real-time system is required to be identified. This paper conducts the still-based face recognition system in which a set of given face images is automatically matched with a pre-stored faces database. The face recognition system in this paper is implemented using two widespread face recognition algorithms, the PCA and the ICA for dimensionality reduction and the ED classifier for face classification. Then, a comparison is taken upon the performances of the PCA and the ICA methods versus a collection of face images.

2. Face Recognition System Concepts

Face recognition systems became a hot topic in the automatic identification systems of human biometrics [8]. FRS has a long history of research which started in the early 19th century. Face recognition in earlier

stages was mainly relying on human intervention in which a priori knowledge was essentially required by the designers. However, the vital improvement in the computer industry has resulted in the appearance of high-speed and high-performance computers which significantly made a breakthrough in the face recognition performance [9]. The first research in this topic was carried out on facial features by Bertillon, Allen and Parke that is highly related to face recognition. The first attempt of Bertillon was made on a database of face networking in which interesting recognition results were achieved. In Allen's research, an enhanced face recognition system was attained by adding effective features to the system. Parke introduced a high-quality face model which was carried out in a computer system [9]. Later on, a statistical method for facial features representation using ED classifier was adopted by Kaya and Kobayashi [9]. For a long time, human biometric identification applications became an interesting topic. In the early 80's, real development was carried out by many universities and research institutions on such automatic identification systems.

As known, human beings have unique facial characteristics which differentiate one another [10,11,12]. Many efforts by scientists and researchers from different fields have evolved in studying the characteristics of the human [12]. Earlier in the 1960s, several researches concluded that various developments were carried out on improving human biometric recognition systems [13]. Face recognition is a significant area in computer vision, pattern recognition, physiology and human computer interaction fields. The advantage of adopting a reliable and accurate face recognition system achieved interesting results to be applied in the personal identification and verification applications [14]. Many other biometric technologies such as fingerprint scanning, retinal or iris scanning and signature verification are widely used these days for biometric identification. Figure 1 shows the magnitude of adopting different biometric techniques in comparison with face recognition systems [4].

Generally, a typical face recognition system is divided into four main processes:

- Images acquisition or collecting
- Images pre-processing
- Facial features detection
- Face matching and recognition

As shown in Figure 2, the first process is image acquisition. In this process, a set of face images is taken from a face database and used in the experiments of the system [13]. In images pre-processing, this process does the face detection where the facial features regions

such as eyes, nose and mouth are located using different face detection methods. Therefore, a set of normalization processes is included in the images preprocessing stage. For example, images cropping and images resizing, etc. This stage has a significant impact on the overall face recognition performance especially when all the face images are normalized to have one size [15,16]. The third stage is extracting the facial traits, in this process the conducted face recognition techniques project the basis features (face spaces) which represent most of the variance in the facial features of the initial face images. In other words, each given face image is represented as a collection of points of those subspaces (principal components). In the final stage, an unknown face image will be matched with the extracted subspaces which lead to the recognition process of the input image.

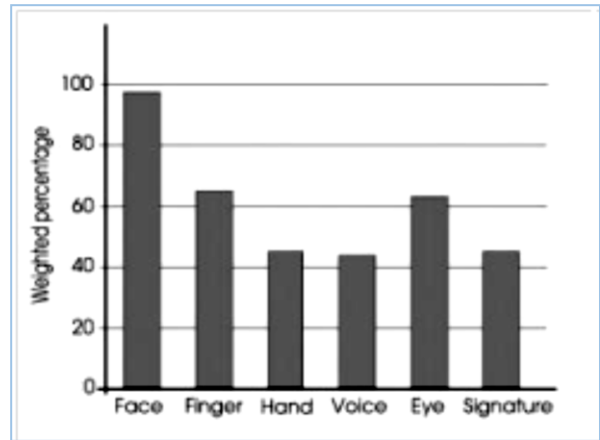


Figure 1. Magnitude of different biometrics technologies

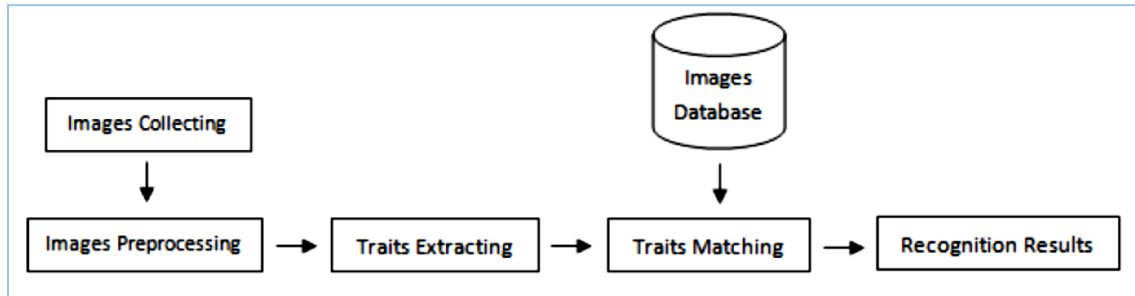


Figure 2. General processes of a typical face recognition system

In general, there are two approaches to face image representations in face recognition systems. First is the appearance-based approach and second is the feature-based approach [17]. The appearance-based approach is more popular than the feature-based approach. Many face recognition methods adopt the subspace scheme that is widely used in the appearance-based approach of image representation. In this approach, a face image is being matched with a set of subspaces (face spaces) which are decomposed from the initial face images. An image, in the context of computer vision, is made up of thousands of small pixels which together indicate the dimensionality of a particular image. However, when a given face image is being matched with the original face images, this leads to one of the most popular problems in image processing which is the image dimensionality. The high dimensionality of an image is a well-known obstacle in face recognition systems as this issue causes high computational complexity and it consumes most of the memory storage [17]. Therefore, adopting a dimensionality reduction method is quite important to avoiding the negative impact of such obstacles on the overall system performance. Many dimensionality reduction methods have been proposed for this purpose. Such methods are PCA, ICA and Linear Discriminant Analysis (LDA). All these algorithms are

based on the subspace scheme in the face recognition system.

3. Background and Related Work

FRS has a long history of research which started in the early 19th century. Face recognition in earlier stages was mainly relying on human intervention in which a priori knowledge was essentially required by the designers. However, the vital improvement in the computer industry has resulted in the appearance of high-speed and high-performance computers which significantly made a breakthrough in the face recognition performance [9]. The first research in this topic was carried out on facial features by Bertillon, Allen and Parke that is highly related to face recognition. The first attempt of Bertillon was made on a database of face networking in which interesting recognition results were achieved. In Allen’s research, an enhanced face recognition system was attained by adding effective features to the system. Parke introduced a high-quality face model which was carried out in a computer system [9].

Later on, a statistical method for facial features representation using the ED classifier was adopted by

Kaya and Kobayashi [9]. For a long time, human biometric identification applications became an interesting topic. In the early 80's, real development was carried out by many universities and research institutions on such automatic identification systems. As known, human beings have unique facial characteristics which differentiate one another [11,12]. Many efforts by scientists and researchers from different fields have evolved in studying the characteristics of the human [12]. Earlier in the 1960s, several researches concluded that various developments were carried out on improving human biometric recognition systems [4,13]. Face recognition is a significant area in computer vision, pattern recognition, physiology and human computer interaction fields. The advantage of adopting a reliable and accurate face recognition system achieved interesting results to be applied in the personal identification and verification applications [14]. Many other biometric technologies such as fingerprint scanning, retinal or iris scanning and signature verification are widely used these days for biometric identification. Figure 2.1 shows the magnitude of adopting different biometric techniques in comparison with face recognition systems [4].

The other traditional security applications of personal identity verification such as Personal Identification Number (PIN) and Identity Document (ID) card have been considered as insecure methods especially when these techniques are easy to be stolen and used by unauthorized users. Thus, with the continuous growth of security issues like surveillance and access control, the need to develop a stable face recognition system that can accurately verify a person's identity has obviously increased [11]. Face recognition systems are one of the most deployed applications of human biometrics verification systems that cannot be easily stolen, lost, or personated by unauthorized or fraudulent persons [14]. However, designing robust face recognition is not an easy task [3].

Key advantages of a face recognition system are non-intrusive applications and it requires fewer efforts by its own users to accomplish the identification task. Despite the features of the face recognition system, it has a complexity which impacts the overall system performance [3]. In general, human faces have a wide range of variations in their facial features such as eyes, noses, mouths and chin, etc [2]. A number of factors is often mentioned by many researchers in which face recognition system performance is directly affected. For instance, illumination or lighting conditions, face viewing conditions, face poses, aging changes and facial expressions [2, 3, 4,18]. Therefore, several algorithms are designed to overcome the difficulty that is imposed

by these conditions. Examples of those face recognition algorithms are PCA, ICA and LDA.

These methods are dominant in image representation and commonly used as face recognition algorithms. In general, the accuracy of a typical face recognition system in essence depends on two significant processes, (1) face detection and (2) facial features recognition [3,4,5]. Firstly, detecting facial features such as eyes, nose and mouth can be located and extracted by using different techniques. Then, a dimensionality reduction process is required in order to enhance the overall system performance. This task is accomplished by using the PCA and the ICA as dimensionality reduction techniques which will reconstruct the basis features vectors that are obtained for image projection in order to be used in the classification process.

4. Machine-based Face Recognition System Applications

Over the past 30 years, considerable efforts have been exerted by many psychophysicists and engineers' communities on the analysis of face recognition disciplines [19]. Although the human brain intelligently recognizes different objects based on their visible features and makes a decision in which category each object belongs to. But the human brain cannot recognize thousands of faces through aging changes. Machine-based face recognition systems have been competing for the last few years. This trend has brought a new research area in the fields of computer vision, images analysis and pattern recognition [7]. In addition, there are two significant factors in which face recognition systems have been widely employed as an active machine-based application.

First, the spanned applications of face recognition in both commercial and law enforcement domains. Second, the wealth of feasible technologies that are available and deployed for a long time. Table 1 lists some of the common applications of face recognition systems [7].

Generally, these various applications of machine-based face recognition systems have been categorized into two main types: static matching and real-time matching [7,19]. The static matching conducts a static image format such as driving license, credit card, mug shots and passports. On the other hand, real-time matching uses video-based recognition like surveillance videos processing, CCTV and other technologies. However, machine-based face recognition outperforms compared to human brain recognition.

Due to its maturity of the learning within heterogeneous environments under different

constraints and requirements [7,19]. Even though the existing machine-based face recognition systems have attained impressive achievements in different research disciplines, these systems have some drawbacks in which the performance is imposed by different obstacles. An essential problem of machine-based face recognition application is stated when the system operates in a changeable environment such as an outdoor area where many illuminations and light conditions impact negatively on the overall system outcomes. Thus, images processing engineers have been exerting considerable research on the literature analysis of such machine-based face recognition systems [7].

Table 1. Face recognition system applications

Areas	Specific Applications
Entertainments	Video game, virtual reality, training programs
	Human-robot-interaction, human-computer-interaction
Smart Cards	Drivers" licenses, entitlement programs
	Immigration, national ID, passport, voter registration
	Welfare fraud
Information Security	TV Parental control, personal device logon, desktop logon
	Application security, database security, file encryption
	Intranet security, internet access, medical record
	Secure trading terminals
Law Enforcement and Surveillance	Advanced video surveillance, CCTV control
	Portal control, post event analysis

5. Face Detection

Face detection is a significant process in a typical face recognition system which is considered as an extensive research field in images processing for the last few years [20,21]. In order to obtain an accurate performance of a face recognition system, a framework of face detection has to be not only efficient but also carry out the process of facial features detection effectively [22]. As well known, the human brain detects and recognizes various objects based on the known characteristics of those objects. The main purpose of face detection is to find out the location of facial features such as eyes, nose and mouth in a given face image [21]. However, face detection became challenging due to the high range of variability in the human faces' characteristics and their appearances such as eyes shapes, noses and mouths [21,23]. Therefore, various techniques of face detection are proposed which refer the accuracy of any face analysis application to the efficiency of face recognition and detection processes.

Although many face detection algorithms exist to accomplish this essential process, some of them have their own strengths and weaknesses. Examples of these algorithms are HAAR classifier, AdaBoost, Local Binary Pattern (LBP), Support Vector Machine (SVM) and Histogram of Oriented Gradients (HOG) [8,23].

The computational complexity and the lack of the proper accuracy are the most common problems of the face detection algorithms. In this research, an automatic detection of facial features is employed using a well-known algorithm (Viola-Jones) face detection [24]. This method locates facial features regions in an image which contains eyes, nose and mouth based on a rectangular box that extracts these features. This algorithm is implemented based on MATLAB toolboxes which have built-in classes and functions to implement Viola-Jones face detection algorithm. The MATLAB Computer Vision System Toolbox provides a well implementation of this algorithm by using a built-in function called (*vision.CascadeObjectDetector*) which controls the detection of different objects based on the above mentioned algorithm. For example, in order to detect eye area in a given face image, a particular detector (*EyeDetect*) is passed to (*vision.CascadeObjectDetector*) function. In this paper, a default detector for the face area (*FDetect*) is passed to the main function (*vision.CascadeObjectDetector*) in order to extract the region of the facial features (eyes, nose and mouth) in a single rectangle. Figure 5 shows multiple rectangles are used to detect different facial features in a given face image. Figure 6 shows a sample of successful face detection in a single rectangle based on the Viola-Jones algorithm.

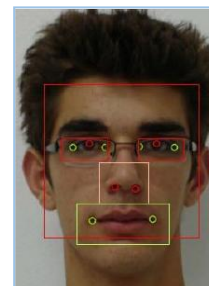


Figure 5. Face detection of a face image with spectacles with multiple rectangles

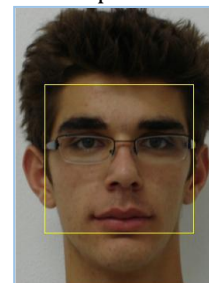


Figure 6. Face detection of a face image with spectacles with single rectangle

6. Face Recognition System Algorithms

In this section, a critical analysis is discussed for two of the most common face recognition methods the PCA and the ICA. The background and related work on these two algorithms are presented as well.

6.1 Principal Components Analysis (PCA)

The continuous increase of data complexity and its enormous generated information has made data analysis a more difficult challenge for analysts [25,26]. In general, the human face from the computer vision point of view is considered as a complex and multidimensional visual object [18]. These real-world data sets (e.g. human faces) have complicated data structures. However, developing a computational technique to deal with the complexity of such high-level problems, face recognition, is a difficult task [25,27]. In face images representation, there are two main categories of face representation: appearance-based approach and features-based approach in which appearance-based is being widely used [17]. A face image in the appearance-based approach is represented by a point in a space of features which is spanned by a number of decomposed face images (low-dimensional) from the original face database [17,28].

As a face recognition concept, a given face image is matched with a set of pre-stored face images (high-dimensional). This leads to an inefficient recognition system due to the large computations generated from the huge amount of data and the consumption of the memory storage [17]. Therefore, a mechanism for dimensionality reduction must be conducted to solve such problems. The successful scheme, subspace also known as face space, was firstly proposed by Kirby and Sirovich in 1987 to represent a sequence of face images [18,11,29]. This approach reconstructs a set of signal data with a high dimension based on linear or non-linear transformation into a low-dimensional subspace. The subspace framework has its advantages among other image representation schemes in terms of learning capacity, computational speed and simplicity.

In 1991, Turk and Pentland introduced a theoretical approach for face recognition based on the subspace scheme. This approach seeks for the most significant facial features among a set of face images and projects them into the principal components of the original given face images [18]. The proposed theory by Turk and Pentland is called Eigenfaces which is one of the most successful applications of the PCA algorithm. Eigenfaces are a set of basis face images which are the decomposed features of the initial set of face images. PCA is one of the most common subspace methods which was first used for dimensionality reduction in

face recognition systems. Later on, a development was carried out by Turk and Pentland in 1991 for the use of the PCA algorithm for facial features analysis [30,31]. PCA also known as Karhunen-Loeve Transform (KLT) is an unsupervised computational approach which has been widely deployed as a powerful technique for facial representation based on linear direction [27, 31,32,33,34]. The linear projection of PCA conducts second-order statistical relationships (orthogonal) among the image pixels in a vector. When a large number of high-dimensional face images with minor features are discarded, other small numbers of those variables (images dimensions) which have significant features, i.e. most variance, are retained with low dimension based on linear direction. Those latent features with the greatest variability are known as eigenfaces or eigenvectors [26].

By using linear distribution of the input data, it transfers a set of correlated face images into a set of uncorrelated variables based on an orthogonal direction in the mean square sense with maximizing the variance between the data. Therefore, the PCA obviously reduces the dimensionality while mapping the data based on the linear transformation of a set of face images into small face spaces with low dimensions. This loss of facial information is less when the variance (features variability) in images spaces is trivial. These face spaces are also known as eigenspaces [35]. The experimental results of Turk and Pentland research were performed using the PCA method based on the subspace scheme with different face views which attained 96% of accurate classification results. There are two reasons for using the PCA. First, the data interpretation and secondly is the dimensionality reduction. In data interpretation, the PCA tends to project the most important features of a set of large data when the features variance is discovered. The key advantages of the PCA method are reducing the high dimensionality of a large data set, decreasing the computational efforts, and effectiveness to perform in a real-time system [14,36]. The PCA has been widely applied as a powerful statistical method in different fields such as data analysis, images compression and pattern recognition.

$$y = f(x) \tag{1}$$

6.2 Independent Components Analysis

Numerous methods for dimensionality reduction in face images representation have been studied for a long time such as the ICA [37,38, 39, 40, 41,42, 43, 44]. In the last twenty years, the ICA has been investigated and proposed in different applications especially in pattern recognition fields like the face recognition system. The

ICA is a generalization method of PCA algorithm which means that the PCA is considered as the baseline of evaluating the ICA performance [43,44, 45]. So, ICA is a statistical method that concerns on both second-order and high-order dependencies among the coefficients of the observed data sets (face variables) [39, 43,44, 46]. On the other hand, the PCA conducts only the second-order statistics while undertaking the computations of the eigenfaces (principal components) of the covariance matrix. This leads to the fact that the ICA captures basis vectors of the decoded face images which have more localized features in the projection distribution since the ICA can project these basis features beyond the second-order relationships (non-orthogonal) between their pixels [47].

The complexity of face data structure in which a large amount of important information seems difficult to be captured by only second order statistics (linear-non) [26]. The ICA tries to capture the most significant information among a set of face images and to store them in the high-order relationships [47]. The main idea behind this method is to find out the best decomposition of a given set of signal observations and convert them into statistical components which are independent from one another [38,43,46]. A successful application of the ICA is the separation of mixed signals like the blind source separation method or what is known as Blind Signal Separation (BSS). ICA was first applied in face representation and recognition by Bartlett and Sejnowski in 1997 in which two of ICA architectures were suggested (Architecture I and Architecture II). In their research, Infomax algorithm was used to implement both of ICA architectures when both architecture performances were evaluated on a subset of the FERET face database. The obtained results by Bartlett and Sejnowski reported that both of ICA architectures I and II performed effectively in face recognition [43]. While another algorithm, the fixed-point algorithm was adopted by Yuen and Lai in 2000 to implement the ICA scheme in calculating the independent components. In [43] the researchers have used two versions of PCA algorithms as baseline methods to evaluate ICA performance in face recognition. Three different face databases FERET, AR and AT&T were used, they found that PCA version I that is involved in ICA Architecture I has a vertical centralizing process on the basis features vectors. Also, in ICA Architecture II which includes PCA version II, there was a whitening horizontal centralizing process performed while calculating the independent components.

As a conclusion of the experiments in [43], they found that there is no obvious difference in the performance between the ICA Architecture I and II and it's related the PCA versions. In the other hand, some experimental

results reported that both of the whitening and centering processes in the PCA have significant effects on the ICA performance in face recognition [43]. In [48] authors have conducted a comparative study on both PCA and ICA methods performances when their experimental results showed that the ICA Architecture II outperformed PCA. Similarly, to the work of [48], the obtained consistent results of [35] have concluded that the PCA outperformed the ICA Architecture I. In contrast to Moghaddam and Jin study, when they argued about the results of [48], they reported that the PCA and the ICA methods have no different performances that should be mentioned [43]. In this work, the ICA method is implemented using fixed-point algorithm which involves PCA whitening process while generating the principal components. Therefore, the ICA performed effectively in some experiments while in some other experiments the ICA could not generate the best basis features (i.e., ICs) which negatively affected the overall performance.

7. Face Classification Methods

Images classification in both computer vision and images recognition fields has been considered as a significant approach. Due to the high complexity in recognizing different images categories, face classification topic plays a vital role in the face recognition system. However, facial images classification has a vital impact on face recognition performance. A key problem in most of the classification algorithms is how to classify the numerical image features and make a decision with which class belongs to which category [2, 49,50,51]. In general, the classification schemes conduct a wide range of image classification decision theories [49,52]. Several studies and researches have been carried out on developing reasonable classification algorithms which are capable of attaining impressive results in solving classification problems [49,50,51]. The majority of the classification theories are based on an assumption that a given face image has one or more properties (features) in which each feature belongs to one of multiple distinct classes [49]. One of the most common image recognition classifiers is the linear classifier [52]. This classifier has received considerable attention by many pattern recognition researchers due to its efficiency and accuracy in classifying numerical images. This classifier is based on the distance measurement of the classified images as the main images classification criteria [52]. Variety of distance classification approaches are investigated and studied such as the ED classifier, Cosine Distance (CD) and the Mahalanobis Distance (MHD) methods [49]. This work uses one of the most common image classifiers, the ED classifiers based on the distance measure [50]. Due to the feasibility and simplicity of the ED, the classification of

face recognition systems is done by using this classifier. More details about this classifier and its procedure in the face recognition system are described in the following section.

7.1 Euclidean Distance Classifier

In the past few years, considerable research has been done on pattern recognition approaches. Image classification in both image processing and pattern recognition is considered as a complicated task, due to the complexity and the multidimensionality problems of image features [52]. However, face recognition accuracy depends highly on the efficiency of classification performance. The ED classifier has been widely deployed in image recognition as a linear classifier. It conducts the minimum distance measurement approach in classifying images features. The ED also known as Euclidean Metric is an ordinary distance measure technique that measures the distance among two points and uses the Pythagorean formula [2]. Measuring the distance between two given images is a difficult task from a computer vision point of view [50]. In comparison with those more complicated classification methods like Support Vector Machine (SVM) and Neural Network (NN), distance measuring methods suffer from the complexity of measuring computations as well as the difficulty to be embedded with other powerful face classification techniques [50]. Therefore, in face recognition applications, the ED classifier recognizes an image by taking the distance of unknown image data and measures it with the next closest one (the smallest distance) of the known features templates (face spaces) as the basis of classification task [2,50]. In other words, the classification template in which the unknown image data category is classified based on the smallest

distance matching with the one which has the maximum similarity among the known features of pre-stored classes [2,50]. However, the ED with its simplicity is still sensitive to any deformation [50]. A general research analysis was done on the most popular face databases.

This analysis is discussed and some face databases are tabulated in the face databases analysis section. Image pre-processing steps are illustrated in the images pre-processing section with their obvious effects on the used face images. Then a general discussion about the structure of the face images database is described in the face database structure section.

8. Face Databases Analysis

Human face in computer vision is a multidimensional and complex object. There are many parameters which make a face subject to change [28, 53]. Such parameters are aging, pose orientation, head size and face obscuring (eyeglass effects) [53]. Many human face databases are designed and have been introduced to evaluate face detection and recognition algorithms. For instance, ORL, MIT, Cambridge, Bern, YALE B database, FERET, AR, AT&T and FEI face databases are the most widely used face databases [28,53]. These face databases are used in face recognition experiments under various conditions such as different facial expressions, illumination conditions, face poses, images backgrounds, etc. All these face databases are freely available for academic research purposes and can be downloaded from the official source link of face recognition [54]. Some of these face databases are analyzed and listed in Table 2 as below.

Table 2. Face databases analysis

Database Name	Total Images	No. of Individuals	Images Size	No. of samples per subject	No. of Females	No. of Males	Images Format	Images Type	Facial Expressions
FEI Face Database	2800	200	640x480 pixels	14	100	100	JPG	RGB	two expressions neutral and smiling
ORL Face Database	400	40	92x112 pixels	10	4	36	PGM	256 Grey	different lighting, facial expressions (open / closed eyes, smiling / not smiling) and facial details (glasses / no glasses)
Yale Face Database	165	15	80x80 pixels	11	1	14	GIF	256 Grey	smile, surprised, neutral, annoyed, open eyes and closed eyes, glasses/without and different light conditions
Indian Face Database	440	40	640x480 pixels	11	20	20	JPG	256 Grey	four expressions neutral, smile, laughter, sad/disgust

8.1 FEI Face Database

The FEI face database based frontal face view is mainly used in this project for testing and evaluating the

conducted face recognition system in this project. This face database is a Brazilian face database which contains a large set of face images. The face images in this database were taken between June 2005 and March

2006 at the Artificial Intelligence Laboratory in Sao Paulo University in Brazil. This database contains face images of different members of the university staff and students. In general, this face database is used for research purposes due to its large number of face images and variety of illumination conditions and face rotation with up to 180 degrees. Figure7 shows some samples of FEI face images [54].

The FEI face database has 2800 face images. The images resolution is arranged at 640 by 480 pixels. The total

number of individuals or distinct subjects is 200 subjects in which each subject has 14 samples with different face rotation angles. Mainly, there are two facial expressions that are considered in this database: neutral and smiling expressions [24]. The number of males and females in this face database are equal (100 males and 100 females).

A subset of the FEI face database is taken to carry out the experiments for testing and evaluating the face recognition system performance of this research.

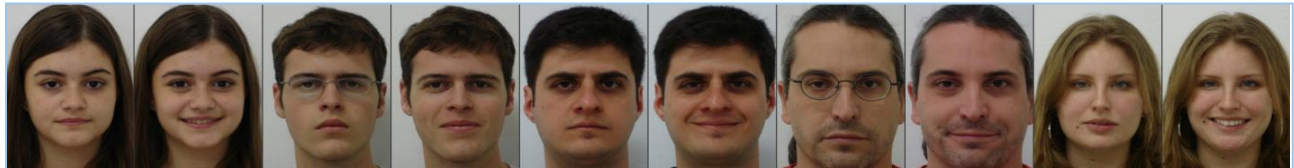


Figure 7. Samples of FEI face database images

8.2 Face Database Structure

Face images are the main input data to any face recognition system. In this work, a subset of face images is taken from FEI, the Brazilian face database and used to test and train the face recognition system the methods PCA and ICA. This subset of the FEI face database is divided into two main datasets, testing and training datasets.

In this project, the structure of the selected face database is described as follows:

In the training dataset, a total 160 images are used in which 80 individual subjects of 40 males and 40 females are selected. For each of these 80 classes (subjects) there are two samples provided with two main facial expressions: neutral and smiling. The images labeling of the training dataset is designed to make each two sequence numbers belong to one particular individual.

For example, a face image with the sequence 1 and a face image with the sequence 2 belong to a particular class. Successively, a face image with the sequence 3 and a face image with the sequence 4 belong to another subject and so on.

Figure 8 shows samples of training images with their labeling scheme. On the other hand, the test dataset has a total of 40 images of 40 individual subjects which consist of 20 males and 20 females in which each subject has one sample image. Figure 9 shows samples of test dataset images with the same images labeling scheme of their classes in the training dataset. All the face images are converted from RGB colored images into grayscale (black and white) in order to increase the speed of the mathematical calculations and reduce the time consuming and memory usage. Then, the size of the face images is changed from 640 by 480 pixels into 64 by 64 pixels which results in reducing the dimension of the face images.



Figure 8. Samples of training images with labeling



Figure 9. Samples of test images with labeling

9. Images Pre-processing

The major objective of face recognition systems is to achieve a high level of accuracy in recognizing given a set of face images [55]. Generally, in computer vision any given image is made of a contribution of a huge number of small units called pixels. The quality of image pixels has a vital impact on the pattern classification process of the face recognition system. In order to enhance the efficiency and reduce the computational complexity of face recognition algorithms, image pre-processing is a fundamental and important process which must be applied on the input images to the face recognition system. Pre-processing of face images is a vital and significant step in any face recognition system due to its direct effects on the system performance [13]. Therefore, many factors can decrease the system accuracy if the input images will not be pre-processed. Such factors are the quality of face images and the size of the images, etc. Hence, these factors affect facial features detection and classification efficiency. Therefore, various image pre-processing techniques exist and are widely proposed for this purpose. Such techniques are normalization, scaling, cropping, resizing and image resolution, etc. The block diagram of the adopted images pre-processing steps is described in Figure 10 below [13].

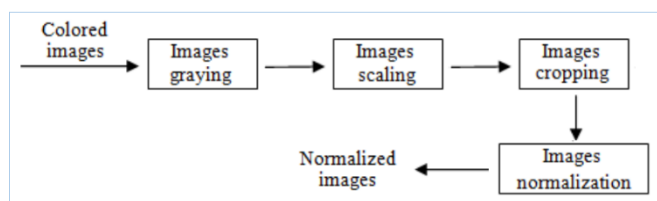


Figure 10. Images pre-processing steps

After detecting the facial features regions in the input face images, some pre-processing steps were conducted. As shown in Figure 10, the first step is collecting a group of color face images from the FEI face database. Then, converting these images into grayscale in which black and white images are obtained which greatly reduces the large amount of data size. Then, scaling the face images was done so the final images all have one size (64 x 64) pixels whereas the original face images have large size with (640 x 480) pixels. In images cropping, the most important features were captured and the rest areas were discarded in order to increase the system recognition efficiency. Figure 13 shows a sample of pre-processed face images which is taken from the FEI face database. The data density of the pre-processed face image is plotted as image histogram in Figure 14.



Figure 11. Sample of face image without images pre-processing

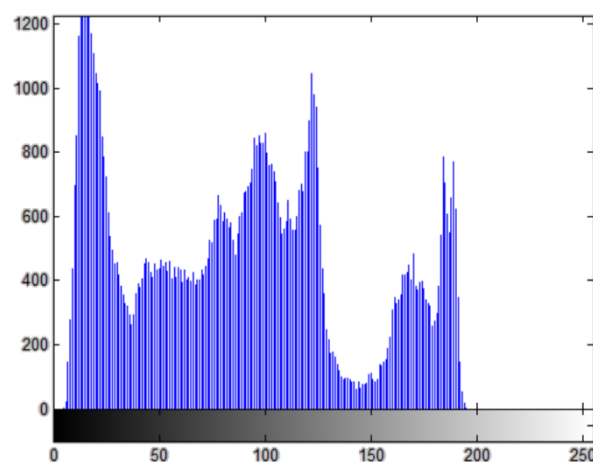


Figure 12. Histogram of face image without image pre-processing



Figure 13. Sample of a face Image with images pre-processing

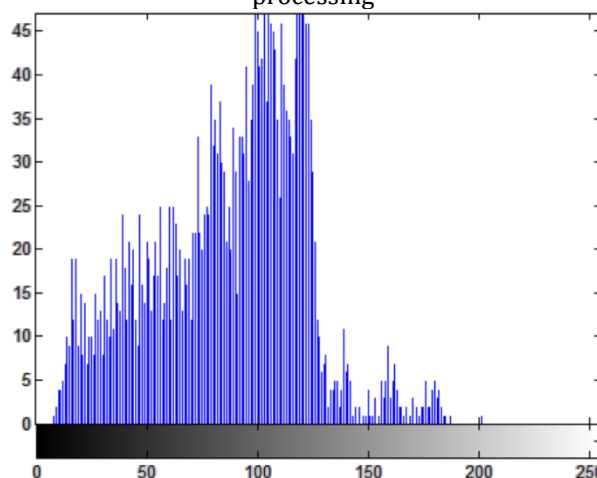


Figure 14. Histogram of a face image with images pre-processing

10. Introduction to PCA and ICA Mathematical Theories

This section discussed in details the mathematical theories of the PCA and ICA along with their arithmetic formulas.

10. 1 Introduction to PCA Mathematical Theory

The PCA method is one of the most successful applications of the subspace scheme that is discussed in an earlier section of this paper. The general procedure of the PCA method in the face recognition system based on the subspace scheme is to seek for the most variance in the facial features of a set of face images. Then, PCA reconstructs these images into the principal

components which represent the basis features of the original face images [18]. In other words, the PCA tries to project features vectors which reveal the most important information given a set of face images [17]. These projected vectors are called Eigenfaces. Eigenfaces are the principal components of a group of face images. The PCA introduces the basis components of each face image as a low dimension face space based on the corresponding eigenvectors to the high eigenvalues of the covariance matrix [16,32]. This means that each face image is represented as a combination of the feature spaces which are spanned by a number of eigenfaces [28]. The block diagram of the PCA method based on the subspace approach is illustrated in Figure 15 [17].

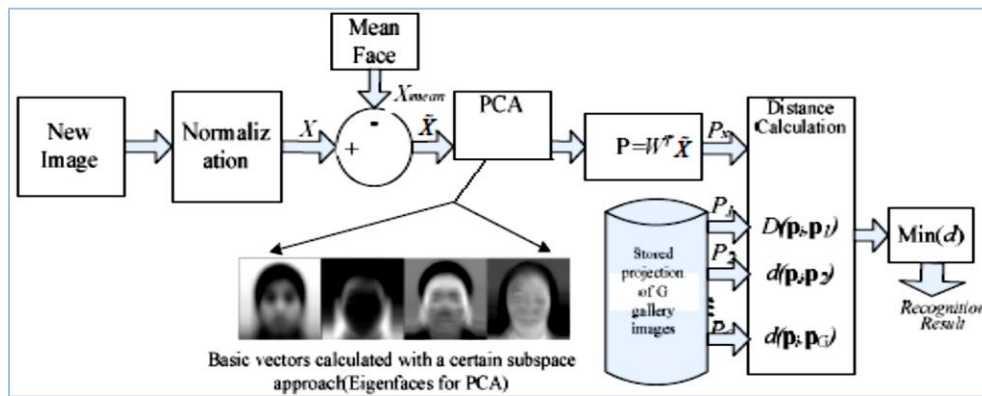


Figure 15. Block diagram of PCA method based the subspace scheme

The following steps illustrate the processes of the PCA method in face recognition system:

(1) By considering a set of training face images are stored in a data matrix of size $m \times n$, m represents the number of face images in which each column of the matrix represents one image in the dataset [11]. In this project, the total number of training face images are 160 which means that the data matrix has $m = 160$ columns. The dimension of each image is 64×64 pixels, so $n = 4096$ which represents the number of the features in each image.

$$I = I_1, I_2, \dots, I_m \tag{2}$$

(2) The second step is calculating the mean face (the average face) of the original training face dataset (m). Figure 16 shows the mean face that is generated by PCA method. This mean face is calculated as written in the equation below:

$$\bar{I} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m I_i \tag{3}$$

(3) In order to calculate the mean adjusted images, first the mean face that is obtained from formula 2 (Equation 3) is subtracted from the whole face images of training dataset using the equation below:

$$\varphi = I_i - \bar{I} \tag{4}$$

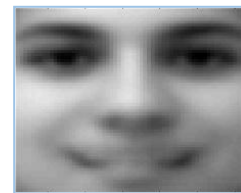


Figure 16. Sample of mean face calculated by the PCA method

Calculating the covariance matrix C by using the formula below:

$$C = \varphi - \varphi^t \tag{5}$$

where $\varphi_i = \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m$.

(4) By creating the covariance matrix (C) in the previous step using (Equation 5) eigenvectors and their correspondent eigenvalues can be obtained as follows:

$$CV = \lambda V \tag{6}$$

where V represents a set of eigenvectors with their associated eigenvalues λ . By the selection of

eigenvectors based on their corresponding eigenvalues and sorting the eigenvectors $V_i \in V$ according to their associated eigenvalues $\lambda_i \in \lambda$ from high to low where $V_i = V_1, V_2, \dots, V_m$ [11]. Therefore, these mean adjusted images (φ) that are calculated in (3) will be projected into the eigenfaces. In the classification process, each new test image should be mean centralized by subtracting the mean face. This means, each test image after subtracting the mean face it will be projected into the eigenfaces. The classification process compares each projected test image with those eigenfaces (principal components) that are decomposed from the training images [11]. Figure 17 shows samples of the eigenfaces which are generated by PCA method in this work.



Figure 17. Samples of eigenfaces generated by the PCA method

The PCA method has been widely deployed as an effective computational technique in the face recognition system for dimensionality reduction. In addition, PCA is an efficient statistical method for face representation due to its simplicity, the fast computations and the learning capacity. In spite of these advantages of PCA, however, it has some disadvantages. Examples of such drawbacks of PCA are

the extensive computations and the complexity in dealing with large data size of face images (3D face images). Due to the large dimension of such data and its huge covariance matrix, the computations of eigenvectors are time-consuming [16,31,32].

10.2 Introduction to ICA Mathematical Implementation

Many algorithms are introduced to implement ICA techniques in the face recognition system. For example, Infomax algorithm and Fast fixed-point type (FastICA) algorithm are the common functions of this method. In this work, the FastICA algorithm is used to implement the ICA method for the estimation of the independent components. The ICA in face recognition system performs under one of two distinct architectures, Architecture I and Architecture II [35,40,43]. The whitening step is involved in the FastICA algorithm during the estimation process of ICs by ICA technique. Figure 18 illustrates the main processes of ICA technique in this project. More details about the whitening process can be found in [56]. Firstly, PCA treatment based on the subspace scheme is applied to constructing the eigenfaces. Then, the approximate Newton iterative is applied in the FastICA algorithm, a mixed matrix is generated and finally independent components of ICA are obtained [40]. The theoretical analysis of ICA processes and its baseline mathematics is illustrated as follows [43]:

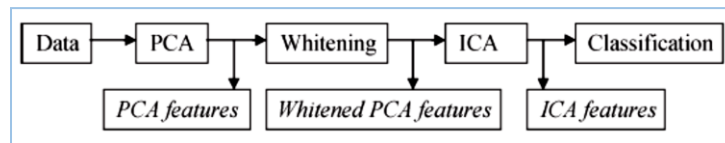


Figure 18. Block diagram of ICA method in face recognition system

Suppose that given n linear random observed variables $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, these n mixture variables are the ICs [39,40,46]. As written in the equation below:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \tag{7}$$

The n independent components are obtained from the n independent non-Gaussian variables as $S = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ [39,40,46]. So, the observed data vector X_i which is based on linear combination of the original variables S_n can be calculated as written in the equation below:

$$X_i = a_{i1}S_1 + a_{i2}S_2 + \dots + a_{in}S_n \tag{8}$$

Where $i = 1, 2, \dots, n$, a_i are the random coefficients or independent components. The above formula can be also derived from the below equation:

$$X = AS \tag{9}$$

By considering the linear combination of X_i as an estimating for one of the independent components as $y = b^T X$, where b is the uncertain vector [39,40]. Therefore, the relation $y = b^T X$ can be derived in another way using the equation 9 when an assumption of $q = b^T A$, then:

$$Y = b^T X = q^T S \tag{10}$$

In Figure 19 shows samples of the independent components that are generated by ICA.



Figure 19. Samples of independent components generated by ICA method

However, in the face identification system each image is represented as a column of feature vectors. By giving n training set and n observation vector, X can be derived

[40]. So, in order to obtain m basis images based on ICA method as written in the equation below, where W is the mixed matrix:

$$U = WX \tag{11}$$

In order to calculate the face feature vector of given a test image, y is being bleached and centered, then the test image y will be projected into the basis images m [40].

$$Z = Uy \tag{12}$$



Figure 20. Sample of mean face calculated by ICA method

Figure 19 shows a plot of the mean face that is obtained by ICA method in this research. Also, Figures 21, 22 and 23 illustrate the data variance and the intensity of the mean face, the mean adjusted images and the covariance matrix that are generated by ICA technique in the proposed face recognition system of this project consecutively.

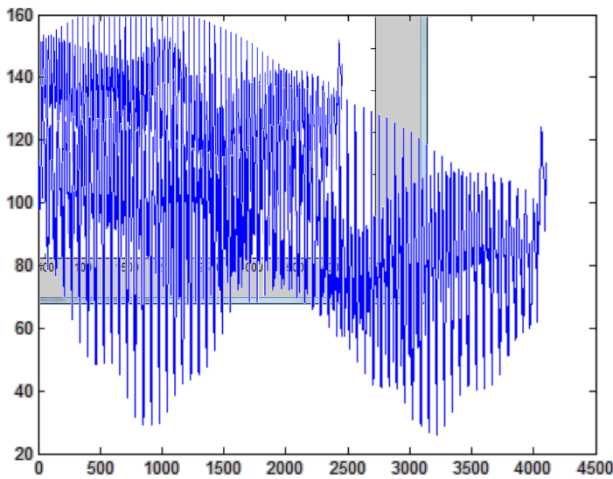


Figure 21. Data variance of the mean face calculated by the ICA method

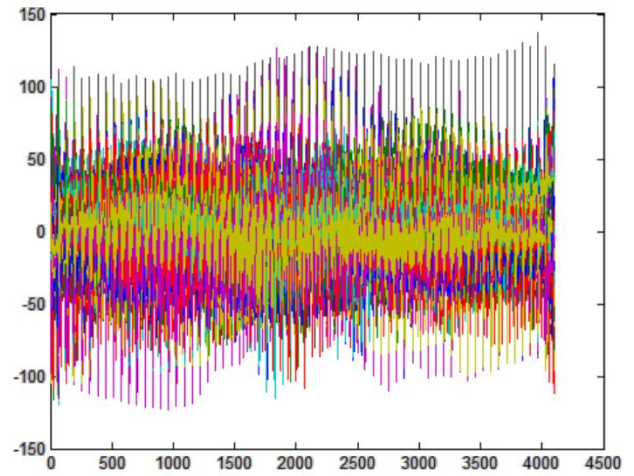


Figure 22. Data intensity of the mean adjusted images of the ICA method

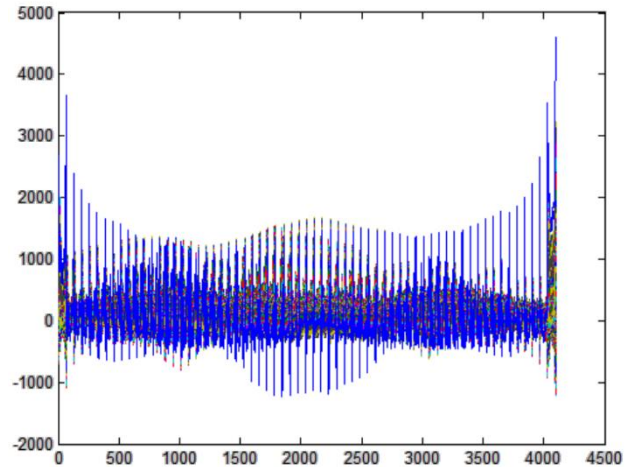


Figure 23. Data intensity of the covariance matrix of the ICA method

11.3 Introduction to Euclidean Distance Mathematical Implementation

ED classifier from the images classification point of view is considered as a popular technique for the images distance measure due to its simplicity in terms of the classification of different patterns. In this project, ED is used for the identity classification of a set of unknown face images. The general theory of ED classifier in the face classification is explained as follows:

By assuming that x, y are two M by N images. When $x = (x^1, x^2, \dots, x^{MN})$ and $y = (y^1, y^2, \dots, y^{MN})$, where x^{KN+1}, y^{KN+1} are gray level points at the location $(K, 1)$ [50]. Then, the Euclidean Distance $dE(x, y)$ can be calculated by the following formula:

$$d_E^2(x, y) = \sum_{k=1}^{MN} (x^k - y^k)^2 \tag{13}$$

In order to implement ED classifier based the MATLAB libraries, the following scenario was applied as explained below:

Firstly, a set of input test images in both the PCA and the ICA methods are read and stored in the MATLAB matrix. Then, the mean face that is calculated by PCA will be subtracted from the test images matrix in order to generate the feature vector. The projected features that are generated by the PCA and the ICA will be used in the classification task. Hence, the ED classifier will measure the distance with the highest similarity between each input test image with the projected feature vectors of the input training images. Distance measurement of the ED is implemented using a function called (*arrayfun*) when the feature vector of each test image will be matched with those feature vectors of training face images.

12. Results Discussion

Set of experiments are carried out to study the robustness of the two subspace methods the PCA and the ICA against a variation in noise conditions. In this chapter, the experimental results are discussed. The face recognition system is implemented using two dimensionality reduction techniques are the PCA and the ICA and one classifier is the ED for the face classification process. All the experiments are performed for the performance comparison of the PCA and the ICA using ED as an implementation of the face recognition system. Different noise levels are applied on the input test images of the FEI face database. The quality of the test images was amended as an evaluation of the system robustness against a set of face images with low resolution. Both of the testing and training images datasets were pre-processed in order to increase the computational speed of the PCA and the ICA methods and to improve the accuracy of the classification performance.

The pre-processing steps have included reducing the size of the training and testing face images from 640 by 480 pixels into 64 by 64 pixels. Also, the located face area was cropped and converted from RGB images (Red, Green, and Blue) into grayscale images (black and white) in order to reduce the computations that are generated from the large dimensions of the data. The Euclidean distance classifier was used to classify the test images. In each experiment there was an increment on the number of the principal components that are generated by the PCA and the ICA.

The number of projected images was gradually increased in each experiment starting from 20, 30, and 40 till 50. This increment in the number of PCs has improved the performance of the PCA method in all the

experiments. On the other hand, the ICA method showed a decreased performance while increasing the number of the ICs. In general, the ICA was highly affected by the noise effects when the number of the independent components was more than 30. In all the experiments, a very small deviation is recorded of the PCA performance against all the applied noise conditions whereas FastICA showed a very large deviation in the test cases. When the number of the projected images is 20, the PCA showed its lowest performance in Experiment 5 in which 82% accuracy rate was achieved. In contrast with the experiments 1, 3, 6 and 9, the PCA achieved the highest level of accuracy with 100% successful recognition when the number of the PCs was 20.

When a slight increment was added while generating the PCs to 30 basis images, PCA obtained better results with 90% success rate in comparison to its achievements when the number of PCs was 20. PCA performance was obviously improved in which 92 % accurate results were recorded when the number of the projected images was increased to 40 and 50. The PCA performed 100% success rate which is the highest level of performance when 40 and 50 PCs were efficiently projected from the initial face images. In this research, the PCA as a dimensionality reduction method has efficiently performed in most of the experiments.

An average of the recognition performance is taken for the best three achievements of the PCA and the ED classifier. In the experiments number 1, 2 and 9, 98.6 % accuracy rate was attained by the PCA technique in comparison with the ICA performance. According to the ICA performance in this project, an obvious deviation was recorded of this method due to ICA being highly affected by the applied noise levels in which the ICA could not generate better basis images. The minimum performance of the ICA method was recorded in experiment 8 when the number of the independent components was 20 due to the noise effect that was applied on the test classes. There are two main reasons behind this decreased performance of the ICA method. First, the FastICA library, with its whitening process that is involved in the implementation of the ICA method, has affected the projection of the independent components by the ICA [43].

The second reason in which the ICA showed marked decrement in the performance is that the increments on the number of projected images have raised the loss of the most significant information in the facial features. In other words, the ICA generated the ICs with insignificant facial features information. Therefore, the ICA performed lower than PCA in some of the test cases especially in experiment number 3, 5, 6 and 8 while increasing the number of the projected images. The best

three achievements of the ICA were recorded in the experiments number 1, 2 and 9. Therefore, an average performance of the ICA was recorded with 87.0% recognition rate. However, extensive experiments have reported that the PCA outperformed the ICA in some cases while other studies concluded that the ICA outperformed the PCA based on the above scenario [43].

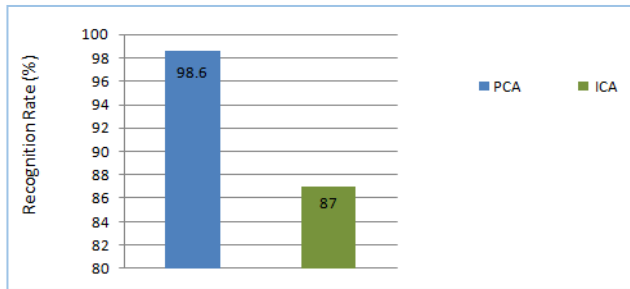


Figure 24. Experimental results comparison of PCA and ICA using ED classifier

In addition, PCA performed with less computational cost than the ICA. Due to the large number of iterations and the whitening process that are applied while generating the basic features of the ICA method. The time consumed by ICA processes was more than in the PCA method. Therefore, the PCA generated the principal components faster than ICA. The proposed work in [58] introduced an efficient approach of face recognition using the PCA for features extraction and the Minimum Distance Classifier (MDC) for face classification. The research in [58], a number of experiments were carried out on a subset of face images that are selected from AT&T face database for evaluating the introduced system performance. They provided many samples with different facial expressions for each individual class or subject in the training dataset. Their proposed method achieved a 96.7% success rate. An optimal fusion of different subspace methods such as PCA, LDA, LPP and ICA1 (Architecture I) was suggested by the researchers in [59].

The performed experiments in their research were carried out on different face databases such as ORL and YALE databases with different test conditions. They obtained results which showed that PCA achieved a 90% successful recognition rate whereas ICA1 performed 88.12% accuracy rate. An evaluation is conducted by the authors of [60] on the performance of PCA-based face recognition systems in which their research has attained interesting results. In their paper, different experiments with different numbers of subjects were performed using PCA for features extraction and the Nearest Neighbor (NN) approach for classification on the MUCT face database. The obtained results exceeded 97% recognition rate. In Table 3,

different results are tabulated of different face recognition systems that are proposed by several researchers as a comparison with the obtained results of this work.

Table 3. Experimental results comparison of different proposed systems

Authors	Methods	Face Database	Recognition Rate (%)
[58]	PCA and MDC	AT&T	96.7
[59]	PCA	ORL	90
[59]	ICA1	ORL	88.12
[60]	PCA and NN	MUCT	97
Proposed system	PCA and ED	FEI	98.6
Proposed system	ICA and ED	FEI	87

As shown below in Figure 25 and Figure 26 the performance comparison between the results of the adopted face recognition system in this work and other systems performances that are proposed by other researchers.

In Figure 25, the PCA performance is compared with three experimental results in which the PCA performance in this research achieved a 98.6 % accurate recognition rate even though the 40 test classes which are chosen as test images have just two samples for each individual class in the training dataset. Other researchers have provided more training samples for each individual subject in order to improve the system performance. In addition, the test images had decreased resolution when different noise levels were applied in order to evaluate the system robustness with low resolution. In regards to the ICA performance, Figure 26 shows experimental results of other researchers that are compared with the ICA results of this research. It illustrates that the ICA has slightly lower performance in comparison with the proposed system performance in which the ICA obtained 87% accuracy rate. Different experiments were carried out in this work with different noise as system robustness evaluation. From the experimental results, an average performance with 98.6% recognition rate was obtained by the PCA and Euclidean distance classifier. On the other hand, the ICA with the ED classifier achieved 87% recognition rate. Table obviously shows that the PCA outperformed the ICA whereas the ICA was more sensitive to the noise conditions than the PCA in which the PCA method was less affected and showed a better capability to perform effectively. This concludes that the system performance highly depends on face image quality. The future progress is suggested to extend the efficiency of the proposed face recognition system. Extensive research will be conducted on increasing the system capability in terms of performing in an uncontrolled environment especially when the face images are taken under

different light conditions and illuminations. In addition, other prospective aspects can be approached to maximize the system accuracy. For instance, the nonlinear combination of different face recognition algorithms such as PCA, ICA and LDA. Such a combination of the multi methods in face recognition systems can be considered as challenging. Also, a comprehensive investigation will be exerted on the face classification methods in which more powerful and complex techniques will be studied for the maximum efficiency of the system performance. For example, SVM, Artificial Neural Network (ANN) and Multiclass Neural Network (MNN) can be applied to increase the classification accuracy when an efficient pattern recognition method will be applied.

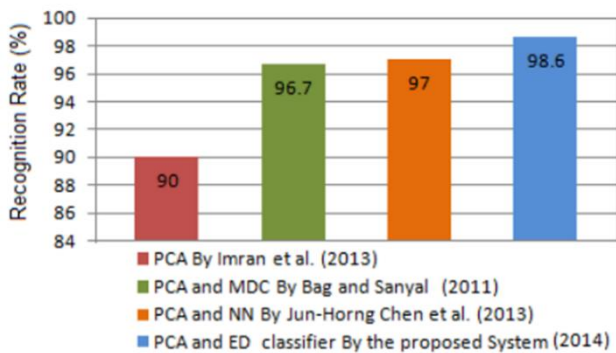


Figure 25. Experimental results comparison of PCA in different proposed systems

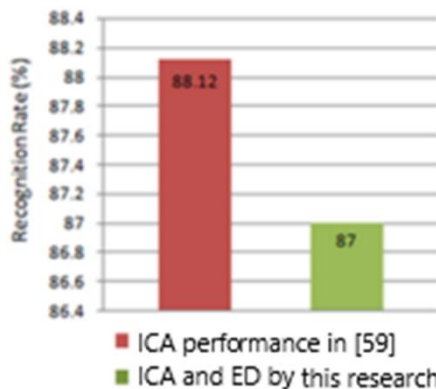


Figure 26. Experimental results comparison of the ICA in different proposed systems

Acknowledgements

The author thanks Dr. Marc Conrad for his supervision and all anonymous researchers and reviewers for their valuable comments on this work.

References

[1] B. Rios-Sanchez, M. Viana-Matesanz, and C. Sanchez-Avila, "A comparative study of palmprint feature extraction methods for contact-less biometrics under different environmental conditions," 2017

International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST), Oct. 2017.

[2] G. Ragul, C. MageshKumar, R. Thiagarajan, and R. Mohan, "Comparative study of statistical models and classifiers in face recognition," 2013 International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES), Feb. 2013.

[3] M. M. Sani, K. A. Ishak, and S. A. Samad, "Evaluation of face recognition system using Support Vector Machine," 2009 IEEE Student Conference on Research and Development (SCOREd), 2009.

[4] X. Li and G. Chen, "Face Recognition Based on PCA and SVM," 2012 Symposium on Photonics and Optoelectronics, May. 2012.

[5] Y. Wu, Q. Nian, and S. Gu, "An improved Learning Evaluation system based on SVM for E-learning," 2012 IEEE Fifth International Conference on Advanced Computational Intelligence (ICACI), Oct. 2012.

[6] T. Kaleekal and J. Singh, "Facial Expression recognition using higher order moments on facial patches," 2019 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT), Jul. 2019.

[7] W. Zhao, R. Chellappa, P.J. Philips, A. Rosenfeld, "Face recognition: A literature survey," 2003Acm Computing Surveys (CSUR), Dec. 2003.

[8] F. Ahmad, A. Najam, and Z. Ahmed, "Image-based Face Detection and Recognition : "State of the Art "," Int. J. Comput. Sci. Issues, pp. 3–6, 2012.

[9] Chenggang Zhen and Yingmei Su, "Research about human face recognition technology," 2009 International Conference on Test and Measurement, Dec. 2009.

[10] M. Nie, Y. Li, J. Zhang, and S. Wang, "The facial features analysis method based on human star-structured model," 2019 2nd International Conference on Information Systems and Computer Aided Education (ICISCAE), Sep. 2019.

[11] E. Naz, U. Farooq, and T. Naz, "Analysis of Principal Component Analysis-Based and Fisher Discriminant Analysis-Based Face Recognition Algorithms," 2006 International Conference on Emerging Technologies, 2006.

[12] M. A. Lone, S. M. Zakariya, and R. Ali, "Automatic Face Recognition System by Combining Four Individual Algorithms," 2011 International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks, Oct. 2011.

[13] H. Chen and J. Lu, "The image process technologies in face recognition," The 2nd International Conference on Information Science and Engineering, Dec. 2010.

[14] S. Kar, S. Hiremath, D. G. Joshi, V. K. Chadda, and A. Bajpai, "A Multi-Algorithmic Face Recognition System," 2006 International Conference on Advanced Computing and Communications, Dec. 2006.

- [15] I. M. Al-Bahri, S. O. Fageeri, A. M. Said, and G. M. A. Sagayee, "A Comparative Study Between PCA and Sift Algorithm for Static Face Recognition," 2020 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE), Feb. 2021.
- [16] S. K. Dandpat and S. Meher, "Performance improvement for face recognition using PCA and two-dimensional PCA," 2013 International Conference on Computer Communication and Informatics, Jan. 2013.
- [17] L. Zunxiong, Z. Lihui, and Z. Heng, "Appearance-Based Subspace Projection Techniques for Face Recognition," 2009 International Asia Symposium on Intelligent Interaction and Affective Computing, Dec. 2009.
- [18] M. A. Turk and A. P. Pentland, "Face recognition using eigenfaces," Proceedings. 1991 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
- [19] R. Chellappa, C. L. Wilson, and S. Sirohey, "Human and machine recognition of faces: a survey," Proceedings of the IEEE, vol. 83, no. 5, pp. 705–741, May 1995.
- [20] S. Gushanskiy and V. Potapov, "Investigation of Quantum Algorithms for Face Detection and Recognition Using a Quantum Neural Network," 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), May 2021.
- [21] W. Chen, T. Sun, X. Yang, and L. Wang, "Face detection based on half face-template," 2009 9th International Conference on Electronic Measurement & Instruments, Aug. 2009.
- [22] S. K. Pakazad, F. Hajati, and S. D. Farahani, "A Face Detection Framework based on Selected Face Components," Journal of Applied Sciences, vol. 11, no. 2, pp. 247–256, Jan. 2011.
- [23] M. A. A. Akash, M. A. H. Akhand, and N. Siddique, "Robust Face Detection Using Hybrid Skin Color Matching under Different Illuminations," 2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE), Feb. 2019.
- [24] A. Majumder, L. Behera, and V. K. Subramanian, "Automatic and Robust Detection of Facial Features in Frontal Face Images," 2011 Uksim 13th International Conference on Computer Modelling and Simulation, Mar. 2011.
- [25] A. A. Khair, Z. Zainuddin, A. Achmad, and A. A. Ilham, "Face Recognition in Kindergarten Students using the Principal Component Analysis Algorithm," 2019 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture and Industrial Automation (ICAMIMIA), Oct. 2019.
- [26] Weilin Huang and H. Yin, "Linear and nonlinear dimensionality reduction for face recognition," 2009 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Nov. 2009.
- [27] Shi-Fei Ding, Zhong-Zhi Shi, Yong Liang, and Feng-Xiang Jin, "Information feature analysis and improved algorithm of PCA," 2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 2005.
- [28] S. Z. Li and Juwei Lu, "Generalizing capacity of face database for face recognition," Proceedings Third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 1998.
- [29] L. Sirovich and M. Kirby, "Low-dimensional procedure for the characterization of human faces," Journal of the Optical Society of America A, vol. 4, no. 3, p. 519, Mar. 1987.
- [30] A. Anand, M. A. Haque, J. S. R. Alex, and N. Venkatesan, "Evaluation of Machine learning and Deep learning algorithms combined with dimensionality reduction techniques for classification of Parkinson's Disease," 2018 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT), Dec. 2018.
- [31] Neerja and E. Walia, "Face Recognition Using Improved Fast PCA Algorithm," 2008 Congress on Image and Signal Processing, 2008.
- [32] S. Nedevschi, I. R. Peter, and A. Mandrut, "PCA type algorithm applied in face recognition," 2012 IEEE 8th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing, Aug. 2012.
- [33] Lin Luo, M. N. S. Swamy, and E. I. Plotkin, "A modified PCA algorithm for face recognition," CCECE 2003- Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. Toward a Caring and Humane Technology (Cat. No.03CH37436).
- [34] C. Tosik, A. Eleyan, and M. S. Salman, "Illumination invariant face recognition system," 2013 21st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Apr. 2013.
- [35] M. S. Bartlett, J. R. Movellan, and T. J. Sejnowski, "Face recognition by independent component analysis," IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 13, no. 6, pp. 1450–1464, Nov. 2002.
- [36] A. J. Goldstein, L. D. Harmon, and A. B. Lesk, "Identification of human faces," Proceedings of the IEEE, vol. 59, no. 5, pp. 748–760, 1971.
- [37] H. Deng, Z. Feng, Y. Liu, D. Luo, X. Yang, and H. Li, "Face Recognition Algorithm Based on Weighted Intensity PCNN," 2020 Eighth International Conference on Advanced Cloud and Big Data (CBD), Dec. 2020.
- [38] I. Buciu, C. kotropoulos, and I. Pitas, "ICA and Gabor representation for facial expression recognition," Proceedings 2003 International Conference on Image Processing (Cat. No.03CH37429).
- [39] M. Srinivasan and V. Aravamudhan, "Independent Component Analysis of Edge Information for Face

- Recognition under Variation of Pose and Illumination,” 2012 Fourth International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation, Sep. 2012.
- [40] Y. Zhou, S. Cao, D. Wen, H. Zhang, and L. Zhao, “The study of face recognition based on hybrid principal components analysis and independent component analysis,” 2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC), Sep. 2011.
- [41] Y. Wang, H. Li, and Y. Guo, “Face recognition based on ICA and SPSO-ELM,” 2017 IEEE 2nd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC), Dec. 2017.
- [42] JingHua Cao, YanZhong Ran, and ZhiJun Xu, “A new Kernel function based face recognition algorithm,” 2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering, Aug. 2010.
- [43] Jian Yang, D. Zhang, and Jing-Yu Yang, “Constructing PCA Baseline Algorithms to Re-evaluate ICA-Based Face-Recognition Performance,” IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B (Cybernetics), vol. 37, no. 4, pp. 1015–1021, Aug. 2007.
- [44] J. Yang, X. Gao, D. Zhang, and J. Yang, “Kernel ICA: An alternative formulation and its application to face recognition,” Pattern Recognition, vol. 38, no. 10, pp. 1784–1787, Oct. 2005.
- [45] N. T. N. Babu, A. A. Fathima, and V. Vaidehi, “An Efficient Face Recognition System Using DWT-ICA Features,” 2011 International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications, Dec. 2011.
- [46] M. Luo, L. Song, and S. Li, “An Improved Face Recognition Based on ICA and WT,” 2012 IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference, Dec. 2012.
- [47] Y. Huang, M. Li, C. Lin, and L. Tian, “Gabor-Based Kernel Independent Component Analysis for Face Recognition,” 2010 Sixth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Oct. 2010.
- [48] B. A. Draper, K. Baek, M. S. Bartlett, and J. R. Beveridge, “Recognizing faces with PCA and ICA,” Computer Vision and Image Understanding, vol. 91, no. 1–2, pp. 115–137, Jul. 2003.
- [49] R. Thiyagarajan, S. Arulselvi, and G. Sainarayanan, “Gabor feature based classification using statistical models for face recognition,” Procedia Computer Science, vol. 2, pp. 83–93, 2010.
- [50] Liwei Wang, Yan Zhang, and Jufu Feng, “On the Euclidean distance of images,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 27, no. 8, pp. 1334–1339, Aug. 2005.
- [51] G. Thilagavathi and M. Suriakala, “Survey on face recognition,” 2021 2nd International Conference on Intelligent Engineering and Management (ICIEM), Apr. 2021.
- [52] C. Chen and J. Tang, “Simulation study on the performance of several classifiers in face recognition,” 2012 9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, May 2012.
- [53] D. Jelsovka, R. Hudec, and M. Breznan, “Face recognition on FERET face database using LDA and CCA methods,” 2011 34th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), Aug. 2011.
- [54] M. Grgic, K. Delac, 2013. Face Recognition Homepage.[Online]. [Accessed 17 May 2021]. Available from: <http://www.face-rec.org/databases/>
- [55] W. A. Barrett, “A survey of face recognition algorithms and testing results,” Conference Record of the Thirty-First Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers (Cat. No.97CB36136).
- [56] Z. Lihong, W. Ye, and T. Hongfeng, “Face recognition based on independent component analysis,” 2011 Chinese Control and Decision Conference (CCDC), May 2011.
- [57] Aalto University, Finland, Department of Information and Computer Science, 2013. Independent Component Analysis (ICA) and Blind Source Separation (BSS). [Online].[Accessed 20 November 2013]. Available from: <http://research.ics.aalto.fi/ica/fastica/>
- [58] S. Bag and G. Sanyal, “An efficient face recognition approach using PCA and minimum distance classifier,” 2011 International Conference on Image Information Processing, Nov. 2011.
- [59] M. Imran, S. Nousath, A. Abdesselam, K. Jetly, and K. Karthikeyan, “Efficient multi-algorithmic approaches for face recognition using subspace methods,” 2013 1st International Conference on Communications, Signal Processing, and their Applications (ICCSPA), Feb. 2013.
- [60] J.-H. Chen, C.-L. Lai, C.-H. Chu, and J.-Y. Hsu, “Improving accuracy of facial recognition systems for distant targets,” 2013 IEEE 2nd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), Oct. 2013.

Orijinal Makale/Research Article

Trombe duvarı etkisiyle çalışan, binaya entegre yarı saydam fotovoltaiik sistemin akıllı uygulaması

Melik Ziya YAKUT¹, Raif ESEN²

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Güneş Enerjisi,
Aktif güneş enerjisi
Pasif güneş enerjisi
Trombe Duvarı
Yarı saydam güneş paneli
Akıllı sistem

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 25.08.2021
Kabul Tarihi: 27.12.2021

Öz: Gelişen teknolojiler ve artan nüfusla birlikte hem elektrik, hem de ısıtma amaçlı kullanılan fosil yakıtlar küresel ısınmada en büyük faktör olan karbondioksit (CO₂) salınımı miktarlarını arttırmaktadır. Bazı binaların ısı yalıtımının iyi olmaması, elektrik iletim ve dağıtımdan kaynaklı kayıpların fazla olması konutlarda harcanan elektrik oranının yüksek kalmasını sağlamaktadır. Bu çalışma ile model odada Trombe duvarı etkisiyle çalışan yarı saydam-binaya entegre fotovoltaiik sistemin akıllı uygulaması ile, güneş enerjisini hem aktif hem de pasif olarak aynı anda kullanarak güneşten maksimum verim elde edilmesini sağlamaktadır. Bunun sonucunda binalarda hem ısı yalıtımını sağlarken hem de elektrik üretilmektedir. Yapılmış olan iki model odada Trombe duvarı etkisiyle çalışan yarı saydam fotovoltaiik sistemin 0.4°C hassasiyetli sıcaklık ölçerler ile Arduino mega 2560 kullanılarak veri toplayan kart imal edilerek hesaplanmıştır. Şubat-Mayıs ayı gibi güç bir dönemde yapılan ilk deneysel çalışmada güneş panelinin açısının dik olması ve yarı şeffaf hücre yapısının veriminin muadillerine göre daha düşük olmasıyla da ancak 14.93 kWh enerji üretilebilmiştir. Şubat ayında 100 kJ, Mart ayında 77,85 kJ, Nisan ayında 97.66 kJ, 1-10 Mayıs tarihleri arasında 49.93 kJ ve toplam 92 günde 325.44 kJ enerji tasarrufu sağlanmıştır. Böylece odalardan ayrı ayrı veriler toplanarak detaylı olarak farkları incelenmiş ve alternatif modelin neler sunabildiği görülmüştür.

Atıf için/To Cite:

Yakut, M.Z. Trombe duvarı etkisiyle çalışan, binaya entegre yarı saydam fotovoltaiik sistemin akıllı uygulaması. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 13(3), 121-129, 2021.

Intelligent application of building integrated semi-transparent photovoltaic system working with Trombe wall effect

Keywords

Solar Energy
Active solar energy
Passive solar energy
Trombe Wall
Semi transparent solar panel
Intelligent system

Article history:

Received: 25.08.2021
Accepted: 27.12.2021

Abstract: The emission of carbon dioxide (CO₂), which is the biggest factor in global warming, increases the use of both electricity production and heating with the developing technological innovations and increasing population. The poor thermal insulation of some buildings and the high losses due to electricity transmission and distribution ensure that the rate of electricity consumed in residences remains high. In this study, with the smart application of the translucent-building-integrated photovoltaic system working with the effect of the Trombe wall in the model rooms, it provides maximum efficiency from the sun by using the solar energy both actively and passively at the same time. As a result, it provides both thermal insulation and electricity generation in buildings. Two model rooms are prepared and the 0.4°C accuracy temperature sensor of the semi-transparent photovoltaic system working with the effect of the Trombe wall is prepared and the data collecting card is produced using Arduino mega 2560 and calculated. In the first experimental study carried out in a difficult period such as February to May, only 14.93 kWh of energy could be produced due to the steep angle of the solar panel and the lower efficiency of the semi-transparent cell structure than its counterparts. Data are collected separately from the two model rooms, and their differences are examined in detail and it is seen what alternative models could offer. Energy savings of 100 kJ in February, 77.85 kJ in March, 97.66 kJ in April and 49.93 kJ between 1-10 May and 325.44 kJ in total 92 days are

achieved. Thus, separate data are collected from the two model rooms and their differences are examined in detail and it is seen what alternative model could offer.

1. Giriş

Günümüzde, dünya enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü karşılayan fosil yakıtlar, tüketimi hızla artmaktadır. Özellikle de gelişmiş ülkelerin fosil yakıt taleplerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Buna karşın bu rezervler aynı ölçüde artmamaktadır. Enerjiye yönelik talep artmadan sabit kalsa bile, bu yakıt rezervlerinin sınırlı olması nedeniyle, çok da uzak olmayan bir gelecekte tükeneceği tahmin edilmektedir. Enerji ihtiyacının sürekli arttığı, ancak rezervlerin giderek azaldığı bir ortamda enerji kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılması önem kazanmaktadır.

Geleneksel bir Trombe duvarı, güney cepheye bakan bir beton yüzeyli bir duvardır. Basit konfigürasyon, yüksek verimlilik, sıfır işletme maliyeti ve benzeri avantajlar nedeniyle son yıllarda yaygın olarak kullanılmış ve çok gelişmiştir. Bununla birlikte yaygınlaşmasını ve uygulamasını sınırlayan önemli etkenlerden biri de kararmış masif duvarın yarattığı estetik olmayan özelliğidir. Birçok teorik ve deneysel araştırma, Trombe duvarının ısı transferi, dinamiği ve performans analizine odaklanmıştır [1].

Bina sektörünün küresel enerji tüketimi, toplam CO₂ emisyonlarının yaklaşık %40'ından sorumlu olan yaklaşık %36'dır. Binalar ayrıca her yıl %2,5 büyüyen küresel elektriğin %55'inden fazlasını tüketiyor. Binalarda enerji tüketimi, enerji yönetimi şemaları kullanılarak azaltılabilir. Buna paralel olarak, enerji üretimindeki hızlı artış, kar örtülerinin erimesi, küresel ısınma, stratosferik ozon incelmeye, kuraklık ve çölleşme, kasırgalar ve tsunamiler vb. gibi olağanüstü iklim değişikliklerini tetikleyen kritik çevresel sorunlarla sonuçlanmıştır [2][10].

Pencere/cephe gibi binaya entegre yarı saydam fotovoltaik (STPV) sistem günümüzde giderek daha çekici hale gelmiştir. Bunun en önemli nedeni yarı saydamlığın getireceği aydınlık hissiyle, elde edilebilen elektrik enerjisi kazanımı ürünü çekici kılmasıdır. Ancak, pencerelerden kaynaklanan ısı kazancı veya ısı kaybı, binanın enerji tüketimini artıran zayıf ısı yalıtımı nedeniyle büyüktür. Bu sorunu çözmek için çeşitli gelişmiş enerji tasarruflu pencereler geliştirilmiştir. Gelişmiş pencerelerin bir türü olan PV pencereler, yarı saydam PV camları sıradan pencerelerle birleştiren hibrit sistemlerdir. PV camın yarı saydamlığı nedeniyle, pencereler ve iç duvarlar arasındaki parlaklık kontrastı küçüktür, bu da yumuşak ışık sağlayabilir ve parlama riskini azaltabilir. PV camın gölgeleme özelliklerinden dolayı güneş ısı kazancı da azalır. Bu nedenle, PV

pencereler sadece elektrik enerjisi üretmekle kalmaz, aynı zamanda görsel konforu artırır. STPV entegre pencere sistemi, doğrudan güneşin ısı veren dalga boylarını kullanır. Bu da ısı kazanımını ve kaybını doğrudan etkiler. Ayrıca STPV pencere sistemi için yüzey sıcaklığının en önemli faktörlerden biri olduğunu gözlemlemişlerdir. Yüzey sıcaklığı, bina sakinlerinin termal konforunu ve STPV modülünün enerji üretimini doğrudan etkiler. Ayrıca, STPV modülleri bir binada dış zarf olarak kullanıldığında, sistemin aşırı ısınma olasılığı yüksektir. Bu nedenle, STPV penceresinin tasarımında, pencerenin aşırı ısınmasını önleyen ve pencereden kritik ısı kaybı/kazanımını önlemeye yardımcı olan bazı stratejiler gereklidir [3][10].

L. Xu ve ark. (2021) çift hava kanalı ve faz değişim malzemesi ile entegre bir hibrit PV termal duvar sistemi tanıtmıştır [4]. Maghrabie ve ark. (2021), Wang ve ark. (2021) çalışmalarında binaya entegre fotovoltaik sistemin (BIPVT) ısıtma fonksiyonlusıyla çalışmışlardır. BIPVT sistemi, net sıfır emisyonlu binalar elde etmek için yenilikçi, pratik ve umut verici bir uygulama olarak önemlidir [2][13]. Kundakci Koyunbaba ve Yılmaz (2012) Trombe duvarında çift katmanlı cam panel ile akşamları daha iyi yalıtım sağlanarak çalıştırılmıştır. Ancak gündüzleri tek katmanlı cama göre daha az güneş radyasyonu elde edebileceği belirtilip ve gece boyunca tek katmanlı camın panjurlu kullanılmasını önermişlerdir [5]. Stazi ve ark. (2012) ise Trombe duvarı üzerinde kapsamlı bir çalışma yürüterek, çift katmanlı cam panelin, tek katmanlı bir cam panele kıyasla Trombe duvarında ısıtma performansı açısından önemli ölçüde iyileştirebilme sonucu göstermiştir [6]. Jie ve ark. (2007) DC fan destekli PV-Trombe duvarı (PV-TW) çalışmasını incelemişlerdir. Orijinal PV-TW modeline dayanarak hazırlanan tasarımla, DC fanlı ve fansız olarak PV-TW için teorik simülasyonlar yapılarak incelenmiştir. Aynı zamanda, modeli doğrulamak için bu iki vaka için saha testleri yapılmış ve daha sonra simüle edilmiştir. Sonuç olarak ısı artmasına katkı sunmuştur [7]. Ma ve ark. (2019) güneş sistemlerinin bina kabuğuna entegrasyonu, enerji verimliliğini arttırmaya katkıda bulunabilir. Ancak, bu sistemlerin ısı performansı için hesaplama metodolojilerinin olmaması, binalarda kullanımını etkilemektedir. Bir ofis binası için kompozit Trombe duvarının ısıtma potansiyeli, dinamik termal yük hesaplama yazılımı THERB for HAM kullanılarak tahmin edilmiştir [8]. Yine geliştirilmiş Trombe duvarının ısıtma özelliklerinin araştırılması üzerine sayısal bir çalışma yapılarak ve ticari bir yazılım ile CFD tarafından oluşturulan geliştirilmiştir. Trombe duvarının üç boyutlu modeline

dayalı olarak geliştirilmiş Trombe duvarı ile geleneksel bir Trombe duvarı arasındaki ısıtma özellikleri karşılaştırılmıştır Zhang ve ark. (2021) tarafından [9]. Başka bir çalışmada ise bu sefer fotovoltaik hücreler, CdTe hücreleri ile entegre edilmiş çift cidarlı havalandırılmalı bir pencere tasarlanmış ve test teçhizatı kırsal bir binada inşa edilmiştir. Önerilen pencerenin matematiksel modeli geliştirilmiş ve deneysel verilere göre doğrulanmıştır Wang ve ark. (2021) tarafından [10]. Isıtma uygulamalarında PV-Trombe duvarlı binalarda sağlanacak aylık enerjiyi belirlemek için SLR yöntemi kalibre edilerek aynı bina üzerine kurulmuş ancak farklı lokasyonlarda bulunan PV-Trombe duvarlarının gerçek koşullarındaki enerji performanslarının elde edilmesini sağlayan TRNSYS simülasyon programı kullanılmıştır Wang ve ark. (2022) tarafından [11]. Yine bir başka çalışmada Zhang ve ark. (2022) ısı üreten binaya entegre fotovoltaik pillerle çalışacak sistemin BIPV/T ve Yapay Zeka Ağı(ANN) kullanılarak ideal değerleri bulmaya çalışmışlardır [12].

Bu çalışma ile literatürde sıklıkla çalışan farklı farklı sistemlerin bir değişik korelasyonu sağlanarak daha idealleştirilmiş bir model ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu tasarlanan sistemle birlikte özgün bir tasarımla yeni sistemin daha verimli çalışan bir model olması amaçlanmıştır. Bu amaçla Trombe duvarı etkisiyle yarı saydam güneş paneli ve bir kontrol mekanizması ile pek çok faydayı bir araya getirerek sürdürülebilir bir model sağlanmaya çalışılmıştır. Bu çalışma kapsamında güneş enerjisinden aktif ve pasif anlamda yararlanmanın incelenmesi amacı ile 2 farklı deney düzeneği kurulmuştur. Bu deney düzeneklerinden 6 Şubat 2021- 10 Mayıs 2021 tarihleri arasında veriler alınarak incelenmiştir.

2. Materyal Metod

Yapılmış olan deney düzeneği ile güneşten ise aktif ve pasif anlamda yararlanılmıştır. Bu çalışmada model bir odada Trombe etkili saydam güneş panelinin akıllı uygulaması incelenmiş olup bu doğrultuda analizleri yapılmıştır.

- Deney düzeneğinde eşit hacimlerde iki adet oda hazırlanmıştır.
- Oda içine güney cepheye bakan taraflarına bir adet (4+12+4) mm konfor ısı camlarla kaplı PVC pencere yerleştirilmiştir.
- PVC pencerenin ön kısmına boşluk bırakılarak yarı saydam güneş paneli yerleştirilmiştir.
- PVC pencerenin yan bölümünde 300 mm tuğla kalacak bir şekilde alçı levha ile etrafı kapatılmıştır.
- Yapılan çalışmada odalara eşit yükseklikte güneş görmeyen kısımlara ve dış hava

sıcaklığını ölçmek üzere sıcaklık sensörü koyulmuştur.

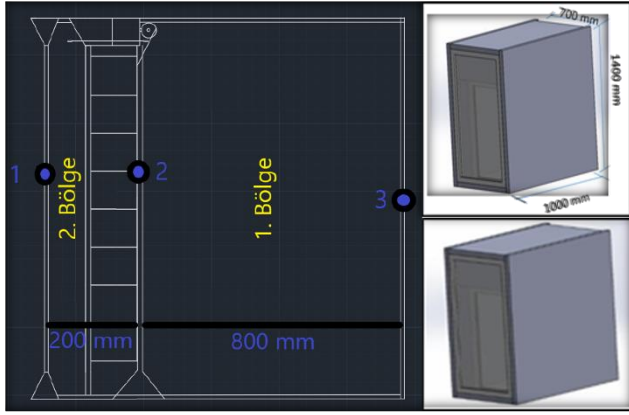
- Sıcaklığa bağlı deney düzeneği pencerenin açılıp kapanmasını sağlamaktadır.
 - Pencere sistemine eklenen aparat ile soğuk zamanlarda sistem içerisinde ısı kaybının engellenmesi, ısının ortamda tutulması ve tutulan ısının sıcaklık değişimi sonucu pencerenin otomatik olarak açılması ile ortama iletilmesi sağlanmıştır. Böylece odadaki ısı konforun korunması, yarı saydam güneş panelinin uygun çalışma sıcaklığında tutulması ile enerjinin daha verimli kullanılması sağlanmıştır.
- Sensör ile ilişki kurulması ve 1. odada daha önceden koyduğumuz step motorunu tetiklenmesi ve pencerenin açılıp kapanmasını sağlanması için Arduino mega 2560 kullanılmış ve yazılımı yapılmıştır.
 - Sıcaklık verilerin alınıp kaydedilmesi için Arduino mega 2560 ile uyumlu sd kart modülü kullanılmıştır.

Yarı saydam güneş panelinden günlük olarak üretilen elektrik aküde depolanması sağlanıp akım-gerilim ölçer sistemi ile üretilen enerjinin tespiti ve kayıtları tutulmuştur.

2.1. Deney Düzeneği Tanımlamaları

Eşit hacimlerdeki ve aynı konumdaki, deney düzenekleri güneş görmeyen uygun noktalara sıcaklık sensörleri bırakılmış olup, SD kart modülü ile anlık sistem içerisindeki sıcaklık verilerinin kaydı alınmıştır. Çalışma da Isparta ilinde 2021 yılında şubat, mart, nisan ve mayıs aylarının sıcaklık verilerini incelenmiş ve proje düzeneğinin bu aylardaki farklılık gösterilen grafikler araştırma ve bulgularda belirtilmiştir.

Şekil 1'de 1.odanın yarı saydam güneş panelinin arkasında kalan hacim, 1.oda 2. bölge olarak adlandırılmış ve Trombe etkisinin oluşumu izlenmiştir. 1.Odanın içerisi ise 1.bölge olarak adlandırılmıştır.



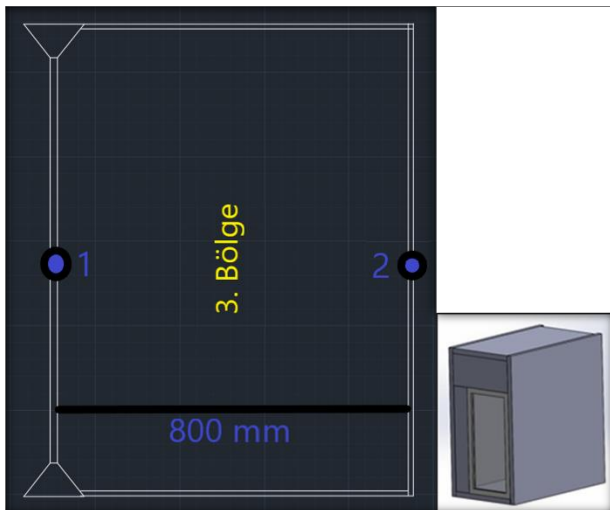
Şekil 1. 1.Odanın boyutları ve bölgeleri

Kullanılan yarı saydam güneş panelinin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yarı saydam güneş pilinin özellikleri

Modül Tipi			ST1-72
Güç Çıkışı	$P_{çıkış}$	W	72
Voltaj= P_{mask}	V_{mask}	V	87
Akım= P_{mask}	I_{mask}	A	0,82
Açık devre voltajı	V_{OC}	V	116
Kısa devre akımı	I_{SC}	A	0,88
Panelin eni	1200 mm	Panelin boyu	600 mm
Panelin kalınlığı	6,8 mm	Panelin ağırlığı	11,8 Kg
Sıcaklık Katsayıları I_{sc}	$\alpha=0.060\%/^{\circ}C$	Hücre tipi	Cadmium Telluride(CdTe)
Sıcaklık Katsayıları V_{oc}	$\beta=-0.321\%/^{\circ}C$	Arka Cam	Temperli/Renkli/UV koorumalı/32 mm
Sıcaklık Katsayıları P_m	$\gamma=-0.214\%/^{\circ}C$	Kablo(uzunluk/kesit alanı)	700 mm /25 mm

2.Odada sadece PVC pencere ile oluştuğu için oluşan tek hacme 3.bölge adı konmuştur Şekil 2'deki gibi. Şekil 1 ve 2'deki numaralandırmalar tarif etme kolaylığı sağlanması için konulmuştur.



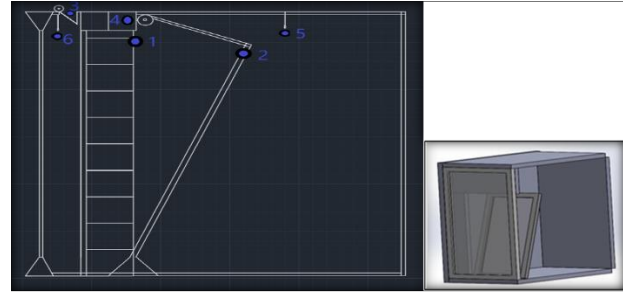
Şekil 2. 2.Odanın boyutları ve bölgesi

1.odadaki yarı saydam panelin hemen arka bölümünde tuğla ve PVC pencere bulunmaktadır. Buradaki tuğla ile ısı depolaması yapılabilmesi sağlanmaktadır Tablo 2'deki özelliklerde.

Tablo 2. Yatay delikli tuğlanın özellikleri

Boyut	19*19*13,5 cm	Isı iletkenlik değeri	0,32W/mK
Duvar Kalınlığı	19-13,5 cm	Basınç dayanımı	2 N/mm ²
Ağırlık	3 kg	Hacim Ağırlığı	600 kg/m ³

Şekil 3'te soğuk aylarda deney düzeneğinin 1.oda pencere açık pozisyonu gösterilmiştir.



Şekil 3. Soğuk günlerde 1.odanın penceresinin açılması

Şekil 3'teki PVC pencere, üst konumdan açılarak 1 numara ile gösterilen konumdan 2 numara ile gösterilen konuma açılabilir özelliktedir. Konfor sıcaklığı olarak 22°C kabul edilmiş [14] ve kullanılan akıllı sistem 1. bölge sıcaklığının 22 °C düzeyinden daha düşük olduğu durumlarda 1. bölge ve 2. bölge sıcaklıklarını ölçerek 2. bölge sıcaklığının 1. bölge sıcaklığından 6 °C daha yüksek olduğu anda PVC pencerenin açılmasını, 2. bölgede bulunan hacimden 1. bölgede bulunan hacme ısı transferi gerçekleşmesiyle birlikte aradaki sıcaklık farkı 2 °C düzeyine indiğinde pencerenin kapanmasını sağlayacak şekilde programlanmıştır. Sistemin bu şekilde programlanmasının sebebi soğuk zamanlarda pencerenin kapalı kalmasını sağlayarak panel ve pencere arasında kalan alanın bir yalıtım bölgesi oluşturmasını ve taşınım kaynaklı ısı kayıplarının minimize edilmesini sağlamaktır. 1. bölge sıcaklığının 22 °C düzeyinden daha yüksek olduğu durumlarda Şekil 3'te, 3 numara ile gösterilen konumda bulunan kapaklar açılarak ısı birikiminin ve panel sıcaklığının daha fazla yükselmesini önlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca kullanılan yarı saydam güneş paneli sayesinde pencere soğuk hava akımı ile teması ilk aşamada engellenmiş olup, daha ılık bir hava akımı ile teması sağlanmıştır.

Sıcaklık ölçer olarak LM35DZ modeli sensör kullanılmıştır. Sensörün özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. LM35DZ sıcaklık sensörünün özellikleri

Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
-40°C / 110°C	0.4°C

1. bölgenin sıcaklığını ölçen sıcaklık sensörü Şekil 3'te 5 numara, 2. bölgenin sıcaklığını ölçen sıcaklık sensörü ise Şekil 3'teki 6 numara ile gösterilen kısımda konumlandırılmışlardır.

Model odalardan belirlenen periyotlarda sıcaklık ve elektrik üretimi değerlerinin ölçülüp kaydedilebilmesi için bir veri ölçüm sistemi tasarlanmıştır. Bunun yanında, ölçülen sıcaklık verilerine göre çalışan bir akıllı sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sistemi ve akıllı sistem tek bir kart üzerinden tek bir Arduino yazılım ile kontrol edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Ölçümleri toplayıp, değerlendiren Arduino devresi

Sistemde PVC pencerenin açılmasını sağlamak amacıyla özellikleri Tablo 4'te verilen servo motor kullanılmıştır. Servo motor Şekil 3'te 4 numara ile gösterilen kısımda konumlandırılmıştır.

Tablo 4. Servo motor özellikleri

Bipolar (Seri)	4.94 VDC 2.12A
Bipolar (Paralel)	2.94 VDC 3.24A
Tutma Torku	3.2 Nm
Flanş Ölçüsü	60x60 mm
Nema	24
Boy	86 mm

2.2. Deney Düzenekinin Matematiksel Modeli

Kurulan sistemde ısı transferi geçişleri olup 1.Odada 2.bölgenin 0.20 m'lik derinliği olan ara boşluğunda ısınan hava, oda içerisine 0.98 m² alana sahip 1.bölgeye penceredeki mekanizma sayesinde gerektiğinde alınmakta ortamın ısısı artırılmaktadır. Sistemin enerji analizi açısından performansı belirleyecek hesaplama kriterleri ve modelleri aşağıdaki adımlar izlenerek bulunmuştur. Bu modeller oluşturulurken problem, düzensiz koşullar altında zamana bağlı olarak dikkate alınmıştır. Sistemin enerji analizi için aşağıdaki ifadelerden yararlanılmıştır [17]:

PV panelin enerji dengesi için önerilen denklem, PV hücrelerin ısı kapasitesi ihmal edildiğinde aşağıdaki gibidir.

$$\rho_G c_G \frac{\partial T_{pv}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial X} \left(\lambda_G \frac{\partial T_{pv}}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial X} \left(\lambda_G \frac{\partial T_{pv}}{\partial Y} \right) + b \quad (1)$$

$$b = (S_C + S_P T_P) / D_G \quad (2)$$

$$S_C = [\alpha \tau + (1 - \tau)] I - E + h_{co} T_{dis} + \xi_1 h_{ro} T_{dis} + h_{ci} T_{ara} + \xi_2 h_{ri} T_{do} \quad (3)$$

$$S_P = -(h_{co} \xi_1 h_{ro} + h_{ci} + \xi_2 h_{ri}) \quad (4)$$

Pencere açık olduğunda hava kanalındaki enerji dengesi:

$$\begin{aligned} p D_a C_{hava} \frac{dT_{ara}}{dt} = & h_{ci} (T_{pv} - T_{ara}) \\ & + h_{do} (T_{do} - T_{ara}) \\ & - p V_a D_a C_{hava} \frac{dT_{ara}}{dX} \end{aligned} \quad (5)$$

Hava kanalındaki doğal taşınım olması durumundaki hava hareketi hızı aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır;

$$V_{ara} = \sqrt{\frac{0.5 g \beta (T_{alt} - T_{üst}) L}{C_f \left(\frac{L}{d} \right) + \left(\frac{C_{in} A_S^2}{A_{alt}^2} \right) + \left(\frac{C_{out} A_S^2}{A_{üst}^2} \right)}} \quad (6)$$

$$\beta = \frac{2}{T_{alt} + T_{üst}} \quad (7)$$

$$A_S = w x D_{ara} \quad (8)$$

$$C_f = 0.3 x 1.368 Gr_x^{0.084} \quad (9)$$

İç hacimdeki ısı transferi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} \rho C_{hava} L_{oda} \left(\frac{dT_{oda}}{dt} \right) = & \frac{A_j}{D_{oda} L} U_j (T_j - T_{oda}) \\ & + h_{di} (T_{di} - T_r) - \frac{\dot{m} C_{hava} dT_r}{D_{oda} dX} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\dot{m} = p B_{ara} D_{ara} V_a \quad (11)$$

$$A_j = 2 B_{oda} L_{oda} + 2 L_{oda} L + 2 B_{oda} L \quad (12)$$

Güneş pilinin verimi aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır [15]:

$$\eta = \eta_r x [1 - 0.002 x (T_{PV} - T_r)] \quad (13)$$

Burada TPV güneş pillerinin ortalama sıcaklığı, T_r referans sıcaklığı (25°C), η_r modülün referans verimini ifade etmektedir. Güneş pilinin referans verimi ise aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$n_r = \frac{V_{mpp} \times I_{mpp}}{A \times I} \quad (14)$$

PV/T sistemin günlük termal verimi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir [16]:

$$n_{th} = \frac{\sum m_{hava} \times C_{hava} \times (T_{üst} - T_{alt})}{A \times \sum I \times 3600} \quad (15)$$

PV/T sistemin ortalama termal verimi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir [16].

$$n_{oth} = \frac{n}{0,38} + n_{th} \quad (16)$$

Duvardan iç ortama konveksiyonla gerçekleşen saatlik ısı kazanç ve kayıpları aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$Q_{konveksiyon} = h_{di} \times A_{duvar} \times (T_{di} - T_i) \quad (17)$$

Duvardan iç ortama ısı ışınımla gerçekleşen saatlik ısı kazanç ve kayıpları aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$Q_{ışınım} = \varepsilon \times A_{duvar} \times \sigma \times T_{di}^4 - T_i^4 \quad (18)$$

Duvar ve iç ortam arasında gerçekleşen saatlik toplam ısı kazanç ve kayıpları aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$Q_{toplam} = Q_{konveksiyon} + Q_{ışınım} \quad (19)$$

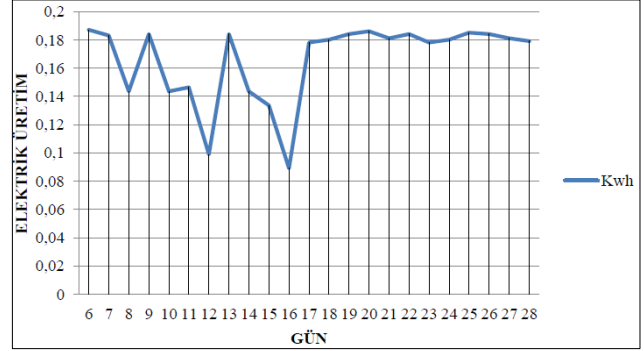
3. Bulgular

1.oda olarak tanımlanan model odada, Trombe duvarı etkisiyle çalışan yarı saydam- binaya entegre fotovoltaik sistemin akıllı uygulaması ile 2. oda olarak tanımladığımız PVC pencere sisteminin, Isparta ilinde 8 Şubat ve 10 Mayıs ayları arasında 2021 yılında hava şartlarına bağlı olarak sistem performansları izlemiştir.

Belirlenen tarihlerde saydam güneş panelinden 14.93 kWh enerji elde edilmiştir. Saydam güneş panelini 90° açı ile kullanılması ve hava şartları sebebi ile %9.9 olan verimi yaklaşık %4 de kadar düştüğü görülmüştür. Bu tarihler aralığında kurulmuş olan model odada Trombe

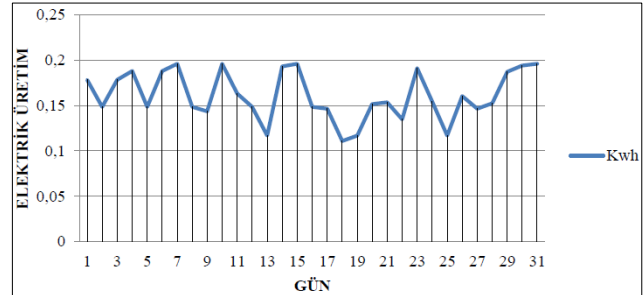
duvarı etkisiyle çalışan yarı saydam-binaya entegre fotovoltaik sistemin akıllı uygulaması ile 325.44 kJ değerinde enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Şekil 5'te Şubat ayında deney sisteminde bulunan yarı saydam güneş panelinin günlük üretim değerleri verilmiştir. Bu verilere göre aylık toplam 3.81 kWh üretim olmuştur.



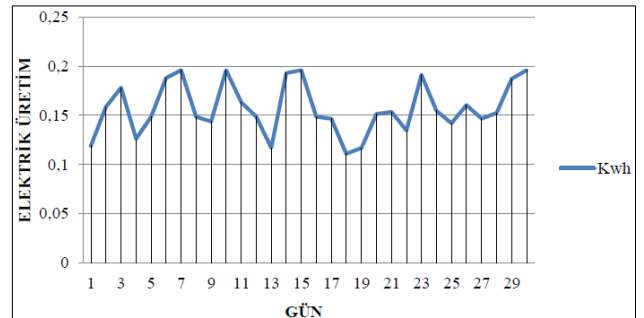
Şekil 5. Şubat ayında deney sisteminde bulunan yarı saydam güneş panelinin günlük üretim değerleri

Şekil 6'da Mart ayında deney sisteminde bulunan yarı saydam güneş panelinin günlük üretim değerleri verilmiştir. Bu verilere göre aylık toplam 4.99 kWh üretim olmuştur.



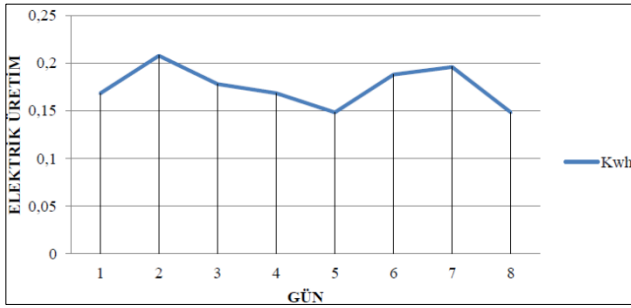
Şekil 6. Mart ayında deney sisteminde bulunan yarı saydam güneş panelinin günlük üretim değerleri

Şekil 7'de Nisan ayında deney sisteminde bulunan yarı saydam güneş panelinin günlük üretim değerleri verilmiştir



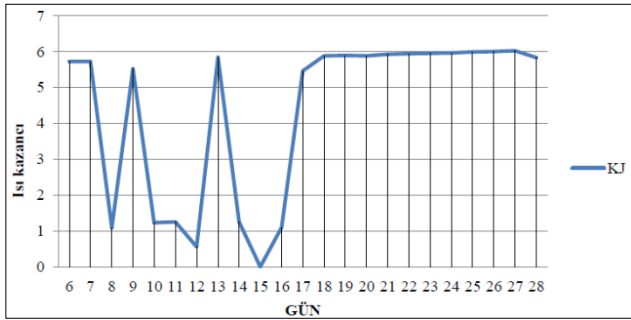
Şekil 7. Nisan ayında deney sisteminde bulunan yarı saydam güneş panelinin günlük üretim değerleri

Şekil 8’de Mayıs ayında deney sisteminde bulunan yarı saydam güneş panelinin günlük üretim değerleri verilmiştir. Bu verilere göre aylık toplam 1.4 kWh üretim olmuştur.



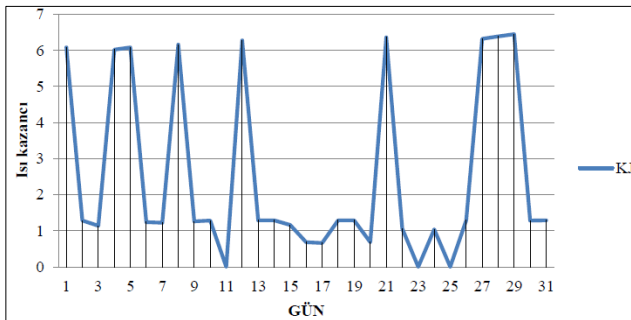
Şekil 8. Mayıs ayında deney sisteminde bulunan yarı saydam güneş panelinin günlük üretim değerleri

Şekil 9’da Şubat ayında deney sisteminde bulunan yarı saydam güneş panelinin günlük enerji kazanımları verilmiştir. Bu verilere göre aylık toplam 100 kJ enerji kazanımı olmuştur.



Şekil 9. Şubat ayında deney sisteminde bulunan yarı saydam güneş panelinin günlük tasarruf değerleri

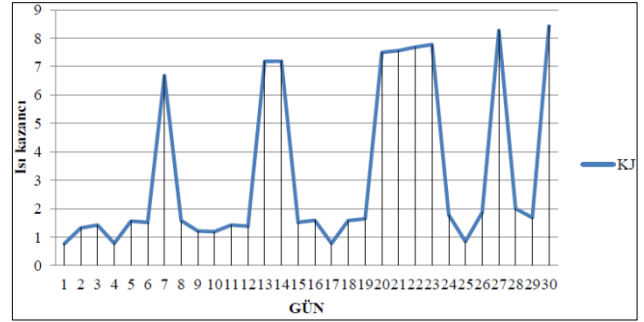
Şekil 10’da Mart ayında deney sisteminde bulunan yarı saydam güneş panelinin günlük enerji kazanımları verilmiştir. Bu verilere göre aylık toplam 77.85 kJ enerji kazanımı olmuştur.



Şekil 10. Mart ayında deney sisteminde bulunan yarı saydam güneş panelinin günlük tasarruf değerleri

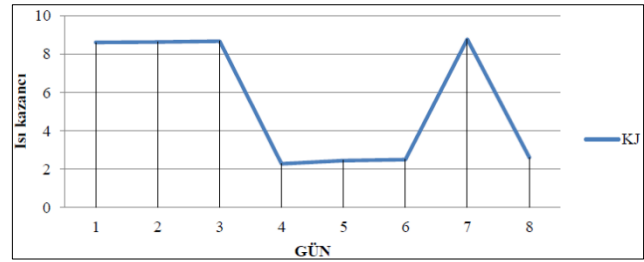
Şekil 11’de Nisan ayında deney sisteminde bulunan yarı saydam güneş panelinin günlük enerji kazanımları

verilmiştir. Bu verilere göre aylık toplam 97.66 kJ enerji kazanımı olmuştur.



Şekil 11. Nisan ayında deney sisteminde bulunan yarı saydam güneş panelinin günlük tasarruf değerleri

Şekil 12’de Mayıs ayında deney sisteminde bulunan yarı saydam güneş panelinin günlük enerji kazanımları verilmiştir. Bu verilere göre aylık toplam 49.93 kJ enerji kazanımı olmuştur.



Şekil 12. Mayıs ayında deney sisteminde bulunan yarı saydam güneş panelinin günlük tasarruf değerleri

4. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada öncelikli olarak sistem içerisindeki odanın sıcaklık performansları incelenmiş sabit hacim ve yalıtımda olan odalardaki pencereli sistem ve yarı saydam güneş pilli Trombe duvarının bulunduğu aynı pencereli sistem bulunan iki oda ile karşılaştırılmıştır.

Yapılmış olan model odada Trombe duvarı etkisiyle çalışan yarı saydam fotovoltaik sistemin:

- Şubat ayında toplam 100 kJ,
 - Şubat ayında havanın açık olması diğer aylara göre Mart ve Nisan aylarına göre daha çok enerji tasarrufu sağlanmıştır.
- Mart ayında toplam 77,85 kJ,
- Nisan ayında toplam 97.66 kJ,
- 1-10 Mayıs tarihleri arasında 49.93 kJ
- Toplam 92 günde 325.44 kJ enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Trombe duvar sistemlerinde ısı enerjisinin depolanması için Trombe duvarın güneş enerjisine maruz bırakılması gerekmektedir.

- Trombe duvar sisteminin, güneş battıktan sonra iç ortamın sıcaklığının daha geç düşmesini sağladığı yani depoladığı ısı enerjisi iç ortama aktardığı tespit edilmiştir.
- 3 farklı aydan havanın açık olduğu 3 farklı gün seçilerek 6 Mart, 6 Nisan ve 6 Mayıs tarihlerinde sistemlerden alınan veriler incelendiğinde, güneş battıktan sonra:
 - 6 Mart tarihinde 6.03 kJ enerji,
 - 6 Nisan tarihinde 7.24 kJ enerji,
 - 6 Mayıs tarihinde 8.65 kJ enerji,Trombe duvardan iç ortama aktardığı hesaplanmıştır.

Depolama değerleri arasında oluşan bu farkın güneşin geliş açısı sebebiyle ortaya çıktığı anlaşılmaktadır.

- Bu sebeple 3 aylık ölçüm periyodunda üretmiş olduğu enerji 14.93 kWh değerinde kalmıştır.

Sistem içerisinde öğlen saatlerinde Nisan ve Mayıs aylarında yarı saydam güneş panelinin sıcaklık değeri oldukça yüksek olması sebebiyle sıcak zamanlara göre ayarlanacak şekilde sistem çalıştırılmalıdır. Böylece yarı saydam güneş panelinden elde edilecek olan elektriksel verim daha fazla olacaktır. Bu nedenle ilerideki çalışmalarda bu konuya dikkat ederek sistem içerisindeki verimi artırmak yönünde hem elektriksel verim hem de sıcaklık anlamında en uygun ayarlaması yapılmalıdır.

Yarı saydam güneş paneli ve pencere arasındaki kalan 2.bölgenin genişliği ayrıca incelenmelidir. Yarı saydam güneş pilinin verimin artması için arka yüzeyinde oluşan sıcaklığın ve ısı kaybını kontrol edilmesi gereklidir. Bunun için hava akış hızı, ara boşluk mesafesi sonucu değiştirecektir. Bu sayede sistemden daha fazla verim elde edilebilir.

Farklı yalıtım ve boyutlardaki odalarda sistem performansına bakılmasıyla sistem performansı açısından daha verimli bir hale getirilebilir.

İklimlendirme koşullarına bakıldığında 22°C sıcaklığın konfor şartları için optimum sıcaklık olduğu belirlenmiştir. Bu şartlara bakıldığında 1. Oda 2.Bölge sıcaklığı 22°C'yi belirtilen tarihlerde zaman zaman aşmaktadır. Bu durum yeni nesil kendi enerjisini kendisi üreten akıllı ev sistemleri düşünülerek entegre bir akıllı iklimlendirme sistemi kullanılması gerekmektedir.

Kaynaklar

[1] J. Jie, Y. Hua, H. Wei, P. Gang, L. Jianping, and J. Bin, "Modeling of a novel Trombe wall with PV cells," *Build. Environ.*, vol. 42, no. 3, pp. 1544–1552, Mar. 2007, doi: 10.1016/j.buildenv.2006.01.005.

- [2] H. M. Maghrabie, K. Elsaid, E. T. Sayed, M. A. Abdelkareem, T. Wilberforce, and A. G. Olabi, "Building-integrated photovoltaic/thermal (BIPVT) systems: Applications and challenges," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 45, p. 101151, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.seta.2021.101151.
- [3] S. Barman, A. Chowdhury, S. Mathur, and J. Mathur, "Energy performance of window integrated photovoltaic system in actual operating condition," *Sol. Energy*, vol. 224, pp. 480–490, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.solener.2021.06.014.
- [4] L. Xu *et al.*, "A hybrid PV thermal (water or air) wall system integrated with double air channel and phase change material: A continuous full-day seasonal experimental research," *Renew. Energy*, vol. 173, pp. 596–613, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.renene.2021.04.008.
- [5] B. Kundakci Koyunbaba and Z. Yilmaz, "The comparison of Trombe wall systems with single glass, double glass and PV panels," *Renew. Energy*, vol. 45, pp. 111–118, Sep. 2012, doi: 10.1016/J.RENENE.2012.02.026.
- [6] F. Stazi, A. Mastrucci, and C. Di Perna, "The behaviour of solar walls in residential buildings with different insulation levels: An experimental and numerical study," *Energy Build.*, vol. 47, pp. 217–229, Apr. 2012, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2011.11.039.
- [7] J. Jie, Y. Hua, P. Gang, J. Bin, and H. Wei, "Study of PV-Trombe wall assisted with DC fan," *Build. Environ.*, vol. 42, no. 10, pp. 3529–3539, Oct. 2007, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2006.10.038.
- [8] Q. Ma, H. Fukuda, X. Wei, and A. Hariyadi, "Optimizing energy performance of a ventilated composite Trombe wall in an office building," *Renew. Energy*, vol. 134, pp. 1285–1294, Apr. 2019, doi: 10.1016/J.RENENE.2018.09.059.
- [9] L. Zhang, J. Dong, S. Sun, and Z. Chen, "Numerical simulation and sensitivity analysis on an improved Trombe wall," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 43, p. 100941, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.seta.2020.100941.
- [10] C. Wang, J. Ji, M. M. Uddin, B. Yu, and Z. Song, "The study of a double-skin ventilated window integrated with CdTe cells in a rural building," *Energy*, vol. 215, p. 119043, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.energy.2020.119043.
- [11] C. Wang, J. Ji, B. Yu, L. Xu, Q. Wang, and X. Tian, "Investigation on the operation strategy of a hybrid BIPV/T façade in plateau areas: An adaptive regulation method based on artificial neural network," *Energy*, vol. 239, p. 122055, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.energy.2021.122055.
- [12] C. Zhang, J. Ji, C. Wang, W. Ke, H. Xie, and B. Yu, "Experimental and numerical studies on the thermal and electrical performance of a CdTe ventilated window integrated with vacuum glazing," *Energy*, vol. 244, p. 123128, Apr. 2022, doi:

- 10.1016/j.energy.2022.123128.
- [13] C. Wang, J. Ji, C. Zhang, W. Ke, Y. Tang, and X. Tian, "Experimental and numerical investigation of a multi-functional photovoltaic/thermal wall: A practical application in the civil building," *Energy*, vol. 241, p. 122896, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.122896.
- [14] İnceten - Binalarda Isı Kayıplarının Dağılımı. <http://www.inceten.com/dokumanlar/binalarda-isi-kayıplarınındagilimi> (Erişim tarihi: 20.03.2019).
- [15] Skoplaki, E. & Palyvos, J.A. On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: a review of efficiency/power correlation. *Solar Energy Yayınları*, 2009.
- [16] Tiwari, A., Dubey, S., Sandhu, G.S., Sodha, M.S. & Anwar, S.I. Exergy analysis of integrated photovoltaic thermal solar Waterheaterunde constant flow rate and constant collection temperature modes. *Applied Energy*, 2009.
- [17] Ji Jie, Yi Hua, He Wei, Pei Gang, Lu Jianping, Jiang Bin, Modeling of a novel Trombe wall with PV cells, *Building and Environment*, 42(3), 1544-1552, 2007.

- A_j : Odanın güney cephesi hariç diğer cepheleri toplam alanı (m^2)
- U_j : Odanın güney cephesi hariç diğer cepheleri toplam alanlarındaki ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
- η_r : PV modülünün referans verimini ifade etmektedir.
- P_{mpp} : Nominal güç
- V_{mpp} : Maksimum güç noktasındaki gerilim
- I_{mpp} : Maksimum güç noktasındaki akım
- A : Pilin yüzey alanı (m^2)

Ekler

Ek A. Kısaltmalar Dizini

- ρ_G : Panelin özgül ağırlığı (kg/m^3)
- c_G : Panelin özgül ısısı (kJ/kgK)
- T_{pv} : Panelin sıcaklığı
- λ_G : Isı iletkenlik katsayısı
- E : PV'nin ürettiği elektriksel güç oranı
- ξ : Yayma katsayısı
- α : PV yutuculuk katsayısı
- τ : Geçirgenlik katsayısı
- h_{co} : PV dış yüzeyindeki ışıma katsayısı (W/m^2K)
- h_{ro} : PV dış yüzeyindeki ısı taşınım katsayısı (W/m^2K)
- h_{ci} : PV iç yüzeyindeki ısı taşınım katsayısı (W/m^2K)
- h_{ri} : PV iç yüzeyindeki ışıma katsayısı
- T_{do} : Duvarın ara boşluğa bakan yüzeyinin sıcaklığı
- T_{ara} : Ara boşluk sıcaklığı
- T_{pv} : PV sıcaklığı
- V_a : Boşluktaki havanın hareket hızı
- D_a : Alt boşluk kalınlığı
- C_{hava} : Havanın özgül ısısı
- A_s : Hava kanalında havanın akışı yönüne dik doğrultudaki kesit alanı (m^2)
- C_{out} : Üst menfezdeki kayıp katsayısı (1)
- A_{alt} : Alt menfez açıklığının alanı (m^2)
- C_{in} : Alt menfezdeki kayıp katsayısı (1.5)
- A_{ust} : Üst menfez açıklığının alanı (m^2)
- G_{rx} : Grashof sayısı
- C_f : hava kanalındaki sürtünme faktörü
- \dot{m} : kütleli debi (kg/s)
- L_{oda} : Odanın derinliği (m)
- B_{oda} : Odanın genişliği (m)

Orijinal Makale/Research Article

Kremayer dişli sistemi kullanılarak hız kesiciden DC elektrik enerjisinin üretimi

İbrahim Bayram¹, Fahri Başsoy¹, Enes Kılıç¹, Abdullah Genç^{1*}¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 32200, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Hız kesici
DC elektrik enerjisi
Kremayer dişli sistemi
Alternatif enerji

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 06.12.2021
Kabul Tarihi: 30.12.2021

Öz: Dünyada nüfus artışına bağlı olarak enerji tüketimi de artmaktadır. Ülkemiz enerji talebi artışında Çin'den sonra ikinci sırada yer almaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın amacı, kremayer dişli sistemi kullanılarak hız kesiciden DC elektrik enerjisi üreten bir prototip tasarlanıp gerçekleştirmektir. Sistemin çalışma prensibi şu şekilde gerçekleşir: Platform üstünden geçen araçların ağırlıklarından kaynaklı kuvvet yaylara aktarılır ve bu kuvvet kremayer dişlinin öteleme hareketi yapmasını sağlar. Sistemde yayların kullanılma amacı mekanizmanın uzun vadede zarar görmesini engellemektir. Bir diğer amacı ise çok yüksek kuvvet oluşturabilecek (tır, kamyon, iş makinesi vb.) araçların sisteme ani yüklenmeler yaparak mekanizmadaki parçaların kırılmasını engellemektir. Kremayer dişli, düz dişli mekanizmasını harekete geçirir ve öteleme hareketi dönme hareketine dönüşür. Kremayerin bağlı olduğu dişli ise dişli kutusuna bağlıdır. Dişliler döndükçe dişli mekanizma çalışır ve milin dönme hızı artar. Dişli kutusunun iletim oranı 6'dır. Son olarak çıkış mili DC dinamo motoruna bağlanır ve mekanik enerji, DC elektrik enerjisine dönüştürülür. Örneğin bir otomobilin hız kesiciden geçmesiyle 18-20 W, otobüsün geçmesiyle 28-30 W, tırın geçmesi ile 55-60 W güç elde edilir. Dinamo çıkış gerilimi 24 V'dur. Üretilen DC enerji trafik lambalarında, aydınlatma sistemlerinde, şarj istasyonlarında vb. kullanılmak üzere depolanır. Sistem yaygın olarak kullanıldıkça üretilen enerji miktarı artacak ve Türkiye'nin enerji talebine katkı sunulacaktır.

Atıf için/To Cite:

Bayram İ. Başsoy F. Kılıç E. Genç A. Kremayer Dişli Sistemi Kullanılarak Hız Kesiciden DC Elektrik Enerjisinin Üretimi. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 13(3), 130-135, 2021.

Generation of DC electric energy from speed breaker using gear system

Keywords

Speed bump
DC electric power
Rack gear system
Alternative energy

Article history:

Received: 06.12.2021
Accepted: 30.12.2021

Abstract: In the world, energy consumption is increasing due to the increase in population. Our country ranks second after China in the increase in energy demand. In this direction, the aim of the study is to design and realize a prototype that generates DC electrical energy from the speed breaker using the rack gear system. The working principle of the system is as follows: The force originating from the weight of the vehicles passing over the platform is transferred to the springs, and this force enables the rack gear system to make a translational motion. The purpose of using springs in the system is to prevent the mechanism from being damaged in the long run. Another purpose is to prevent the parts in the mechanism from breaking by making sudden loads on the system of vehicles (trailer, truck, construction equipment, etc.) that can generate very high forces. The rack gear drives the spur gear mechanism and the translational motion turns into rotational motion. The gear is connected to the gearbox. As the gears rotate, the gear mechanism works, and the rotational speed of the shaft increases. The transmission ratio of the gearbox is 6. Finally, the output shaft is connected to the DC dynamo motor and the mechanical energy is converted into DC electrical energy. For example, 18-20 W power is obtained when a car passes the speed limiter, 28-30 W is obtained when a bus passes, and 55-60 W is obtained when a truck passes. The dynamo output voltage is 24 V. The DC energy produced is used in traffic lights, lighting systems, charging stations, etc. stored for use. As the system is widely used, the amount of energy produced will increase and contribute to Turkey's energy demand.

* İlgili yazar/Corresponding author: abduhahgenc@isparta.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde sürekli artan dünya nüfusu ve bilinçsiz tüketime bağlı olarak enerji kaynakları, gittikçe azalmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılamak için alternatif enerji üretim yöntemleri mevcuttur. Bu alternatif yöntemlerden biri de, araçların hareket enerjisini ve ağırlığını kullanarak DC elektrik enerjisi üretmektir. Çünkü günümüzde yaygın olarak kullanılan araçların (otomobil, otobüs, kamyonet, motosiklet vb.) sayısı gün geçtikçe artmaktadır [1]. Literatür incelendiğinde bu alanda çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmalar neticesinde, Demircan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, araç hızını yavaşlatmak için kullanılan hız kesiciden (kasis) yararlanan bir alternatif enerji kaynağı tasarlanmıştır. Özel hız kesici tasarımı ile hidrolik sistem birleştirilmiş ve mekanik enerji üretilmiştir. Mekanik enerji, dinamo motoruna (DM) kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülmüştür [2]. Bir diğer çalışmada ise araçların geçiş anında zincir dişli sistemi sayesinde kinetik enerji, elektrik enerjisine dönüştürülmüştür. Dönüştürülen DC elektrik enerjisi akümülatör ile depolanmıştır [3]. Ramadan ve arkadaşları çalışmalarında, araç sisteme basınç uyguladığında makara mekanizması, krank mili mekanizması, kremayer ve pinyon mekanizmalarından oluşan sisteme farklı ağırlıklarda yükler uygulanmıştır. Böylece, hız kesici güç jeneratöründe, araçların kinetik enerjisini kullanabilen ve onları elektrik enerjisine dönüştüren bir prototip oluşturulmuştur [4]. Son olarak, Ennawaoui ve arkadaşları çalışmalarında, yaylar ve piezoelektrik malzeme kullanılarak mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren hibrit bir sistem önermişlerdir [5].

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde çeşitli yöntemlerle hız kesicilerden elektrik üretildiği görülmektedir. Bu makalelerden farklı olarak önerilen bu çalışmada, kremayer dişli sistemi kullanılarak hız kesiciden DC elektrik enerjisi üreten bir prototip tasarlanıp gerçekleştirilmiştir. Prototipin toplam yüksekliği 50 cm olup araç geçişi sırasındaki yükseklik ise 12 cm'dir. Prototip üzerinden bir otomobil geçtiğinde 18-20 watt elektrik enerjisi Li-ion batarya ile depolanmaktadır. Depolanan elektrik enerjisi şehir ve yol aydınlatmalarında, trafik lambalarında, elektrikli araç şarj istasyonlarında kullanılabilir. Bu makale şu şekilde organize edilmiştir: Bölüm 1'de giriş içermektedir. Bölüm 2'de hız kesicinin tasarım ve imalat aşamaları bulunmaktadır. Bölüm 3'te elde edilen bulgular ve tartışma içermektedir. Bölüm 4'de ise sonuç bölümü verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu bölüm; sistem mimarisi, prototipin boyutlandırılması ve benzetimi, prototipin üretimi olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır.

2.1. Sistem mimarisi

Sistem mimarisi; sistemin yapısını, çalışmasını ve davranışını tanımlamak için kullanılmaktadır. Prototipin sistem mimarisi Şekil 1'de verilmiştir. Buna göre, hız kesici amacıyla kullanılan bu prototip üzerinde bir platform bulunmaktadır. Sistemin çalışma prensibi şu şekilde gerçekleşir: Platform üstünden geçen araçların ağırlıklarından kaynaklı kuvvet yaylara aktarılır ve bu kuvvet kremayer dişlinin öteleme hareketi yapmasını sağlar. Sistemde yayların kullanılma amaçlarından birisi araçlar geçerken yayların altında kalan mekanizmanın uzun vadede zarar görmesini engellemektir. Bir diğer amacı ise çok yüksek kuvvet oluşturabilecek (tır, kamyon, iş makinesi vb.) araçların sisteme ani yüklenmeler yaparak mekanizmadaki parçaların kırılmasını engellemektir. Kremayer dişli, düz dişli mekanizmasını harekete geçirir ve öteleme hareketi dönme hareketine dönüşür. Kremayerin bağlı olduğu dişli ise dişli kutusuna bağlıdır. Dişliler döndükçe dişli mekanizma çalışır ve milin dönme hızı artar. Dişli kutusunun iletim oranı 6'dır ve bu sayede çıkış mil, giriş milinden 6 kat daha hızlı döner. Son olarak çıkış mili DC DM bağlanır. DM, mekanik enerjiyi DC elektrik enerjisine dönüştürür. Üretilen DC enerji trafik lambalarında, aydınlatma sistemlerinde, şarj istasyonlarında vb. kullanılmak üzere depolanır.



2.2. Prototipin boyutlandırılması ve benzetimi

Prototipin boyutlandırması, tek bir aracın tekerlek mesafesi dikkate alınarak tüm hesaplamalar yapılmıştır. Karayollarında standart olarak kullanılan hız kesici boyutlarının 1:10 oranında küçültülmesi ile önerilen prototip tasarlanmıştır. Bu oranla hem maliyet azaltılmış hem de tasarımda maksimum performans sağlanması amaçlanmaktadır. Hız kesicide bulunan platform aşağı yönde maksimum 50 mm hareket mesafesi belirlenmiştir. Bu hareket mesafesinde DC DM en yüksek iletim oranını sağlamak için Tablo 1’de verilen formüller kullanılmıştır.

Tablo 1. Dişli formülleri

Parametreler	Formüller
Dişli modülü	$M = \frac{D}{Z}$
Dişli çaplarının bir adımı	$P_d = \frac{Z}{D}$
Çevresel adım	$P = \frac{\pi \cdot D}{Z}$

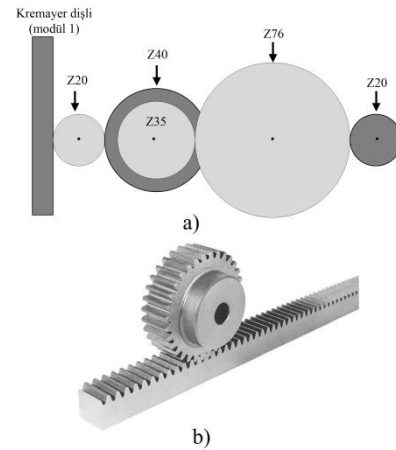
Dişlilerin evolvent hesaplaması (diş yüksekliği)	$h = \frac{2.157}{P_d}$
Çalışma yüksekliği	$h_w = 2 \cdot M$
İletim Oranı	$i = \frac{N_1}{N_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$
Eksenler arası mesafe	$C = \frac{Z_p + Z_g}{2 \cdot P_d}$

Burada, D bölüm dairesi çapı, Z diş sayısı, N devir, Z_p pinyon dişli diş sayısı ve Z_g ise ana dişli diş sayısıdır.

Hesaplamalar sonunda prototipte kullanılacak kremayer dişli ve düz dişliler Tablo 2’de verilmiştir. Ayrıca, kremayer dişli ve düz dişlilerden oluşan tasarlanan dişli sistemi Şekil 2’de gösterilmiştir.

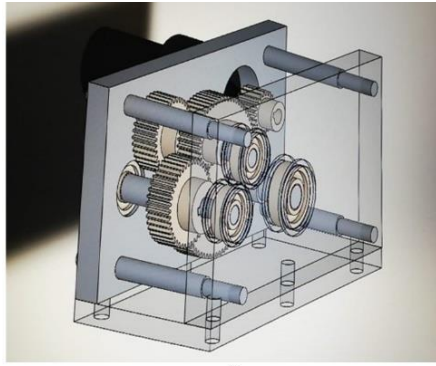
Tablo 2. Kullanılan dişlilerin modül ve diş sayıları

Kullanılan dişliler	Modül türü	Diş sayısı (Z)
Kremayer dişli	M1	32
1. düz dişli	M1	20
2. düz dişli	M1	40
3. düz dişli	M1	35
4. düz dişli	M1	76
5. düz dişli	M1	20

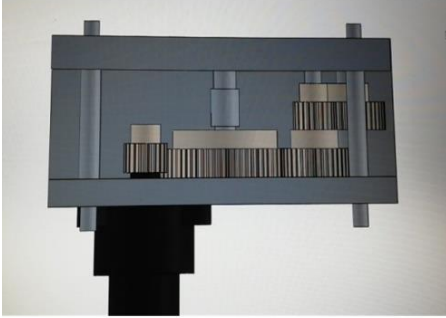


Şekil 2. a) Dişli sistem tasarımı b) kremayer ve dişli

Farklı boyutlarda beş farklı dişli kullanarak şanzıman tasarımı, Solidworks® programında tasarlanmıştır. Dişlilerin güç iletimini DC DM aktarımını sağlamak için şanzımana ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan benzetim imalat öncesinde kullanılacak malzemeler ve parçaların birlikte uyum içinde çalıştığını göstermektedir. Dişli sisteminin iç ve dış görünüşleri Şekil 3’de verilmiştir.



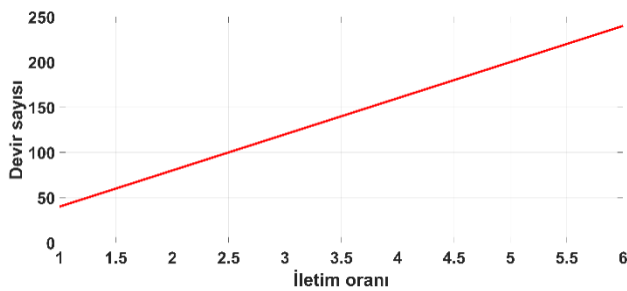
a)



b)

Şekil 3. Dişli sisteminin a) iç ve b) dış görünüşleri

Benzetimde sistemin iletim oranını test etmek için kremayer dişlinin bağlı olduğu pinyon dişliye Solidworks® programındaki "hareket etüdü" bölümünden sanal bir motor bağlanmıştır. DC DM milinden alınan iletim oranı değerleri Şekil 4'de verilmiştir. Ters orantılı olan hız ve tork büyüklükleri optimum seviyede olması için dişli iletim oranı 6 olarak belirlenmiştir. Seçilen DC DM'nin maksimum güçte çalışabilmesi için gerekli olan devir sayısı sağlanmıştır.



Şekil 4. İletim oranı değerleri

2.3. Prototipin üretimi

Prototipin tasarım ve benzetim aşamaları tamamlandıktan sonra üretim aşamasına geçilmiştir. Üretimi aşaması, şanzıman ve kafes profil imalatı olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Şanzıman elemanlarının teknik çizimleri Solidworks® programından iki boyutlu olarak alınmıştır. Bu iki boyutlu teknik çizimler doğrultusunda şanzıman

imalatında kullanılacak olan dişli milleri ve yan kapaklar talaşlı imalat yöntemleri (torna ve freze) kullanılarak imal edilmiştir. Dişlilerin birbiriyle eş zamanlı çalışmasını sağlayan dişli millerinin rulman yatakları ve segman kanalları, talaşlı imalat yöntemi olan tornalama işlemiyle yapılmıştır. İmalatı tamamlanan yan kapaklar ve dişli milleri, segmanlar ve rulmanlarla birleştirilerek şanzıman kutusunun montajı tamamlanmıştır. Şanzıman kutusuna DC DM bağlanmıştır. Şanzımanın üst ve sol yan görünüşleri Şekil 5'de gösterilmiştir.



a)



b)

Şekil 5. Şanzımanın a) üst ve b) sol yan görünüşleri

Daha önce belirtildiği gibi hız kesicide kullanılan şanzıman kutusundaki çıkış dişlisinin bir devirlik hareketi DC DM 6 devir olarak aktarmaktadır. DC DM parametreleri Tablo 3'de görülmektedir.

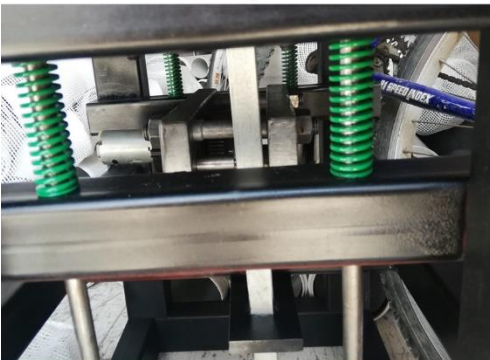
Tablo 3. DC dinamo motorunun parametreleri

Parametreler	Değerleri
Motor tipi	DC dinamo motoru
Motor çıkış voltajı	5-24 V
Maksimum çıkış akımı	1,5 A
Anma akım değeri	0,83 A
Maksimum yüklenme gücü	20 W
Çalışma ortamı	5-48 °C
Şaft uzunluğu	25 mm
Şaft çapı	12 mm

Kafes profil olarak adlandırılan parçanın asıl kullanım amacı platform üzerinden geçecek aracın ağırlığından dolayı oluşan dikey kuvveti sönmüleyerek sistemi korumasıdır. Ayrıca şanzıman kutusunun kafes profile montaj edilmesi ile kremayer dişlinin hareket alanı artırılmıştır. Kafes profilin teknik çizimleri iki boyutlu olarak kullanılmıştır. Uygun boyutlardaki profiller kullanılarak gaz altı kaynak yöntemi ile gövde imalatı gerçekleştirilmiştir. Gövde, sistemde bulunan diğer elemanların eş zamanlı çalışmasını sağlamaktadır ve üst kısmında bulunan platforma kremayer dişlinin montajı için gerekli bağlantılar yapılmıştır. Araç geçişinde oluşan ani potansiyel enerjinin sisteme zarar vermemesi için platformun altına dört adet yay ve içine miller yerleştirilmiştir. Kafes profil içine kremayer dişli ile birlikte çalışacak olan şanzıman kutusu bağlantısı yapılmıştır. Kafes profil kaynak işlemi ve yan görünümü Şekil 6'da verilmiştir.



a)



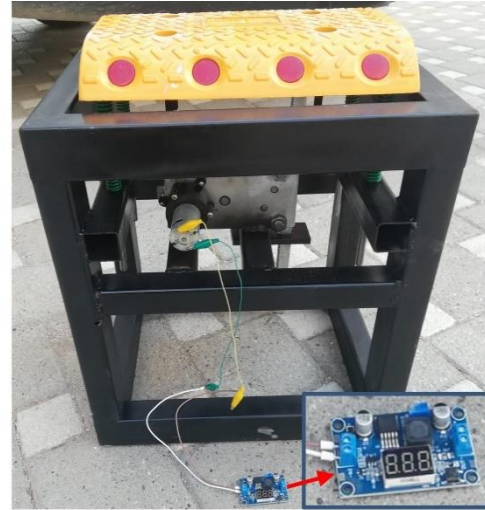
b)

Şekil 6. a) Kafes profil kaynak işlemi ve b) yan görünümü

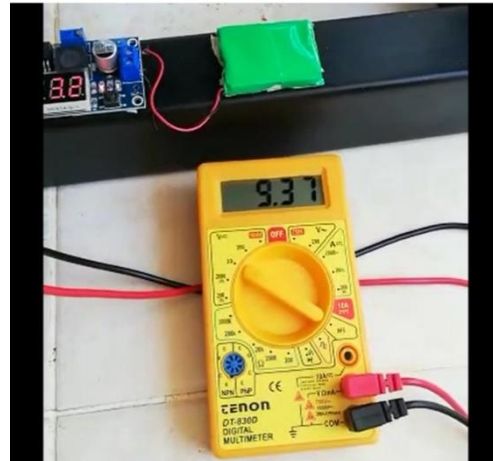
3. Bulgular

Prototip, katı model tasarımı ve gövde montajı yapılarak son testleri tamamlanmıştır. Voltaj regülatörü devre kartı, DC DM çıkış uçlarına bağlanarak prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. Prototipin genel

görüntüsü ve multimetre kullanılarak test ölçümü Şekil 7'de verilmiştir.



a)



b)

Şekil 7. a) Prototipin genel görüntüsü b) test ölçümü

Hız kesici olarak da kullanılan prototipi yerleştirmek için $36 \times 36 \times 50 \text{ cm}^3$ boyutlarında zemine çukur kazılmıştır. Hız kesici üzerinden araç geçi sağlanarak DC DM üretmiş olduğu güç miktarı, ölçülen akım ve gerilim değerleri çarpılarak ($P=V.I$) bulunur. Bir araçtan üretilen toplam güç miktarı ise tek tekerlek için ölçülen güç değerinin tekerlek sayısı ile çarpılarak hesaplanır. Araçların ağırlık ve tekerlek sayıları farklı olduğu için güç değerleri, araç tiplerine göre farklılık gösterir. Araçların tekerlek sayısı hız kesici üzerinden geçiş sayısını etkilemektedir. Araçların ağırlıkları ise yayların üzerinde oluşan kuvveti değiştirmektedir. Tekerlek başına düşen ağırlık miktarı arttıkça motorun dönme hızı da artmaktadır. Değişen bu dönme hızı, üretilen güç miktarını belli oranda etkilemektedir. Bu yüzden, toplam güç miktarları belli bir aralıkta verilmiştir. Araç türleri için prototipten üretilen toplam güç miktarları Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Araç türleri için prototipten üretilen toplam güç miktarları

Araç türü	Tahmini ağırlık (Ton)	Tekerlek sayısı	Üretilen gerilim miktarı (V)	Üretilen toplam güç miktarı (W)
Motosiklet	0.1-0.25	2	24	12-13
Otomobil	1-2	4	24	18-20
Otobüs	7.5-10	6	24	28-30
Kamyon	12-20	8	24	37-40
Tır	20-30	12	24	55-60

4. Sonuç

Günümüzde ulaşım, tıp, tarım, iletişim, sanayi gibi birçok alanda kullanılan elektrik enerjisi, hayatımızı kolaylaştıran ve hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline almıştır. Elektrik enerjisinin çoğu sınırlı olan doğal kaynaklardan elde edildiği için hem enerji tasarruflu tüketilmeli hem de alternatif üretim yöntemleri geliştirilmelidir. Bu amaç doğrultusunda bu çalışmada, ülkemizde ve dünyada çok sayıda kullanılan hız kesicilerden DC elektrik enerjisi üreten bir prototip geliştirilmiştir. Literatürdeki diğer çalışmalarda hidrolik, pnömatik, dönel silindir ve kayış-kasnak sistemi kullanılırken, önerilen bu sistemde ise kremayer dişli sistemi kullanılmıştır. Kullanılan farklı sistemler enerji üretim değerleri Tablo5'te verilmiştir.

Tablo 5. Literatür karşılaştırması

Kullanılan sistem	Ağırlık (Kg)	Üretilen elektriksel güç (W)	Referans numarası
Hidrolik	1000	3	[2]
Şanzıman	800	45	[4]
Piezoelektrik	100	3	[5]
Dönel silindir	605	7	[14]
Kremayer dişli (Şanzıman)	1000	18	Bu çalışma

Üretilen elektrik enerjisi depolanmaktadır. İlerleyen çalışmalarda önerilen prototip geliştirilerek, karayollarında kullanılması hedeflenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, 1919B012003819 nolu 2209-A projesi altında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Bu çalışmanın ortaya çıkmasında verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

[1] Kum H. Yenilenebilir Enerji Kaynakları: Dünya Piyasalarındaki Son Gelişmeler Ve Politikalar.

Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, (33), 207-223, 2009.

- [2] Demircan A, Demetgül M, Yenitepe R. Hız Kesiciden Elektrik Enerjisi Üretimi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(2), 655-662, 2015.
- [3] Aqeel H, Abdulsada S. Electric power generation device through bumps industrial. *Academic Research International*, 4(4), 48, 2013.
- [4] Ramadan M, Khaled M, El Hage H. Using speed bump for power generation. *Experimental study. Energy Procedia*, 75, 867-872, 2015.
- [5] Ennawaoui C, Lifi H, Hajjaji A, Elballouti A, Laasri S, Azim A. Mathematical Modeling of Mass Spring's System: Hybrid Speed Bumps Application for Mechanical Energy Harvesting. *Engineering Solid Mechanics*, 7, 47-58, 2019.
- [6] Syam B, Muttaqin B, Hastrino D, Sebayang A, Basuki S, Sabri M, Abda S. *10th International Conference Numerical Analysis in Engineering*, Indonesia, 2018.
- [7] Tabak A, Özkaymak M. Elektrik Motorlarında Uygulanan Bakım Yöntemlerinin İncelenmesi, Karşılaştırılması ve Uzaktan Erişimin Kestirimci Bakıma Etkisi. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (4), 889-905, 2018.
- [8] Ayyıldız M, Çiçek A, Kara F. Bilgisayar Destekli Tasarımda Parametrik Dişli Çark Uygulamaları. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(3), 643-651, 2010.
- [9] Çavdar K, Yılmaz T. G. Kalıp Yayları İçin Yorulma Test Cihazı Tasarımı Ve Analizi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 22(3), 163-178, 2017.
- [10] Ören, C. B. *Galvanizli çelik sacların ark kaynaklı bağlantılarının mekanik ve korozyon davranışlarının incelenmesi*. (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü), İstanbul Technical University, Institute of Science and Technology, İstanbul, Turkey, 1999.
- [11] Özdemir, Ö. *Güç sistemlerinde dinamik voltaj regülatörlerin kullanılması*. (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü), Denizli, Turkey, 2020.
- [12] Özdamar, A. Dalga Enerjisinden Elektrik Enerjisi Eldesi Üzerine Bir Araştırma: Çeşme Örneği. *Su Ürünleri Dergisi*, 17(1-2), 201-213, 2000.
- [13] Kaygısız Ö. *Trafiği Sakinleştirmeye Yönelik Önlemler, Karayolu Trafik Güvenliği Sempozyumu Kitabı*, Ankara, Türkiye, Polis Akademisi Yayınları, 2010.
- [14] Laksimi A., Darhmaou, H. (2019). Speed Bump Generating Electrical Power.