

1(1):2022



**Sivas Cumhuriyet University Journal  
of Science and Technology**

Published by  
Sivas Cumhuriyet University  
<http://dergipark.org.tr/tefpub/cujstec>

E-ISSN: .....

**Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**  
**Sivas Cumhuriyet University Journal of Science and Technology**

Year (Yıl): 2022, Volume (Cilt):1, Number (Sayı):1

**Dergi İmtiyaz Sahibi / Owner**

Prof. Dr. Turhan KURŞUN

**Editör / Editor in Chief**

Doç. Dr. Doğan Engin ALNAK

**Yardımcı Editörler / Associate Editors**

Prof. Dr. İbrahim CAN

Doç. Dr. Serdar MERCAN

**Teknik Editor / Technical Editor**

Dr. Öğr. Üyesi Ferhat KOCA



Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi  
Sivas Cumhuriyet University Journal of Science and Technology

**Advisory Board (Danışma Kurulu)**

|                              |                                  |
|------------------------------|----------------------------------|
| Prof. Dr. Adem KURT          | Gazi Üniversitesi                |
| Prof. Dr. Bilge Demir        | Karabük Üniversitesi             |
| Prof. Dr. Coşkun ÖZALP       | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi |
| Prof. Dr. Murat HOŞÖZ        | Kocaeli Üniversitesi             |
| Prof. Dr. Serdar OSMANYILMAZ | Namık Kemal Üniversitesi         |
| Prof. Dr. Yasin VAROL        | Fırat Üniversitesi               |



Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi  
Sivas Cumhuriyet University Journal of Science and Technology

**Subject Editors (Alan Editörleri)**

Prof.Dr. Tanju TEKER

Doç.Dr. İlker Temizer

Dr.Öğr. Üyesi Abdullah KAPICIOĞLU

Dr.Öğr. Üyesi Cem ERTEK

Dr.Öğr. Üyesi Emre ÜNSAL

Dr.Öğr. Üyesi Nazile YILANKIRKAN

Dr.Öğr. Üyesi Özlem POLAT

Dr.Öğr. Üyesi Rukiye KARAKIŞ

Dr.Öğr. Üyesi Sibel ARSLAN

Dr.Öğr. Üyesi Sinan AYDIN

Dr.Öğr. Üyesi Tahsin YÜKSEL

Dr.Öğr. Üyesi Yakup EMÜL

**Journal secretariat (Dergi Sekreteryası)**

Dr. Öğr. Üyesi Ferhat KOCA

Dr. Öğr. Üyesi Gizem BAKIR

Arş.Gör. Dr. Yeliz ALNAK

Arş.Gör. Fatih CİVELEK

Arş.Gör. Gökhan AZIZOĞLU

Arş.Gör. Kürşat TUNCER

Arş.Gör. Onur ÖRNEK



**Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi (CUJAST)** hakemli bir dergidir.

**Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi** yılda iki kez yayınlanmaktadır (Haziran ve Aralık).

**Sivas Cumhuriyet University Journal of Science and Technology (CUJAST)** is a peer-reviewed journal.).

**Sivas Cumhuriyet University Journal of Science and Technology** is published two times in a year (June and December).

Dergi İçin Yazışma Adresi / Correspondence Address

Doç. Dr. Doğan Engin ALNAK (Editor in Chief)

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

e-mail: [dealnak@cumhuriyet.edu.tr](mailto:dealnak@cumhuriyet.edu.tr)

[cujast@cumhuriyet.edu.tr](mailto:cujast@cumhuriyet.edu.tr)

Web link: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/cujast>



**Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**  
**Sivas Cumhuriyet University Journal of Science and Technology**

**Year (Yıl): 2022, Volume (Cilt):1, Number (Sayı):1**

**CONTENTS (İçindekiler)**

| RESEARCH ARTICLES ( ARAŞTIRMA MAKALELERİ)   | Sayfalar |
|---|----------|
| Doğan Engin Alnak, Koray Karabulut<br>Investigation of Heat Transfer Improvement in Combined Jet Flow Channels with Different Height and Fin<br>Farklı Yükseklikli ve Kanatçıklı Birleşik Jet Akışlı Kanallarda Isı Transferi İyileştirilmesinin İncelenmesi          | 1-8      |
| Serdar Asarkaya, Emre Ünsal<br>Recognition of Human Activities Using Machine Learning Methods on Smart Sensor Data<br>Akıllı Sensör Verileri Üzerinde Makine Öğrenmesi Yöntemleri Kullanılarak İnsan Aktivitelerinin Tanımlanması                                     | 9-14     |
| Yeliz Alnak, Bekir Gündar<br>Investigation of Occupational Health and Safety of a Building During Construction and Determination of Necessary Measures<br>Bir Binanın İnşaat Aşamasındaki İş Sağlığı ve Güvenliğinin İncelenmesi ve Gerekli Önlemlerinin Belirlenmesi | 15-23    |
| Hatice Genç Kavas<br>Forecasting Turkey Electricity Consumption with Deep Learning Bi-Lstm Model<br>Türkiye Elektrik Tüketiminin Deep Learning Bi-Lstm Metodu İle Tahmini   | 24-33    |
| İbrahim Can, İlyas Güldeş<br>Kinetic Energy Recovery from Vehicle Suspensions<br>Taşıt Süspansiyonlarından Kinetik Enerji Geri Kazanımı   | 34-38    |



## Investigation of Heat Transfer Improvement in Combined Jet Flow Channels with Different Height and Fin

Doğan Engin Alnak<sup>1,a,\*</sup>, Koray Karabulut<sup>2,b,\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Technology, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye.

<sup>2</sup> Department of Electricity and Energy, Sivas Vocational School of Technical Sciences, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye.

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 18/03/2022

Accepted: 25/04/2022

### ABSTRACT

The combined jet effect, which consists of the impinging jet and the cross flow, has an effect of increasing the heat transfer from the heated electronic elements. In this study, heat transfer from surfaces with a fixed 1000 W/m<sup>2</sup> heat flux pattern was numerically analyzed with a combined jet flow in a channel with different heights ( $H = 3D$  and  $4D$ ), without fin and 90° angled fin. The numerical study was carried out steady and in three dimensional by using the Ansys-Fluent program with  $k-\epsilon$  turbulence model. Considering the studies in the literature, three patterned surfaces were placed on the channels in accordance with the channel dimensions. The  $Re$  number range of the fluids used in the channel is 7000-11000. The accuracy and acceptability of the results obtained from the study has been proven by using the equation obtained as a result of experimental research. The results of the study were examined comparatively in the finless and finned cases as the average  $Nu$  number and surface temperature changes for each pattern in the channels. In addition, the velocity and temperature contour distributions of the combined jet flow were presented for different channel heights, taking into account the interactions between the jet and the pattern. At  $Re = 9000$ , the  $Nu_m$  value was 27.37% higher in  $H = 3D$  and for all three patterned surfaces compared to the finless channel in the finned channel, while this increase value was 11.42% in  $H = 4D$ .

**Keywords:** Combined jet flow with impinging jet-cross flow, Patterned surface, Numerical heat transfer

## Farklı Yükseklikli ve Kanatçıklı Birleşik Jet Akışlı Kanallarda Isı Transferi İyileştirilmesinin İncelenmesi

#### Süreç

Geliş: 18/03/2022

Kabul: 25/04/2022

### Öz

Çarpan jet-çapraz akıştan oluşan birleşik jet etkisi ısınmış elektronik elemanlardan olan ısı transferini artırıcı bir etkiye sahiptir. Bu çalışmada, sabit 1000 W/m<sup>2</sup> ısı akılı desenli yüzeylerden olan ısı transferi farklı yüksekli ( $H = 3D$  ve  $4D$ ), kanatçiksiz ve 90° açılı kanatçıklı kanalda birleşik jet akışı ile sayısal olarak analiz edilmiştir. Sayısal çalışma, sürekli ve üç boyutlu olarak  $k-\epsilon$  türbülans modeli Ansys-Fluent programının kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki çalışmalar da göz önüne alınarak kanal boyutlarına uygun olacak şekilde kanallara üçer adet desenli yüzey yerleştirilmiştir. Kanalda kullanılan akışkanların  $Re$  sayısı aralığı 7000-11000' dir. Çalışmadan elde edilen sonuçların doğruluğu ve kabul edilebilirliği deneysel araştırmalar sonucu elde edilen eşitlik kullanılarak kanıtlanmıştır. Çalışmanın sonuçları, kanallardaki her bir desen için ortalama  $Nu$  sayısı ve yüzey sıcaklığının değişimleri olarak kanatçiksiz ve kanatçıklı durumlarda karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca, birleşik jet akışının hız ve sıcaklık konturu dağılımları jet-desen arası etkileşimler de göz önüne alınarak farklı kanal yükseklikleri için sunulmuştur.  $Re = 9000$ ' de kanatçıklı kanalda kanatçiksiz kanala göre  $H = 3D$  ve her üç desenli yüzey için  $Nu_m$  değeri %27,37 daha fazla iken  $H = 4D$ ' de bu artış değerinin %11,42 olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çarpan jet-çapraz akışlı birleşik jet akış, Desenli yüzey, Sayısal ısı transferi

#### License



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

[dealnak@cumhuriyet.edu.tr](mailto:dealnak@cumhuriyet.edu.tr)

<https://orcid.org/0000-0003-0126-1483>

[kkarabulut@cumhuriyet.edu.tr](mailto:kkarabulut@cumhuriyet.edu.tr)

<https://orcid.org/0000-0001-5680-0988>

**How to Cite:** Alnak Engin D, Karabulut K. (2022) Investigation of Heat Transfer Improvement in Combined Jet Flow Channels with Different Height and Fin, Journal of Science and Technology, 1(1): 1-8.

## Giriş

Yüksek hıza sahip cihazlar elde edebilmek amacıyla yarı iletken levhalar üzerine çok sayıda yerleştirilen mikroçipler beraberinde çözülmesi gerekli önemli bir problem olan ısınma sorununu gündeme getirmektedir. Bununla birlikte, mikroçiplerin küçültülebilmeleri teknolojinin elverdiği ölçüde soğutulabilme kapasitelerindeki artışa bağlıdır. Bu nedenle, bu elemanların soğutulmasında çeşitli soğutma teknikleri uygulanmaktadır. Çapraz akış ile soğutma yöntemi, bu tekniklerden en yaygın olarak bilinendir. Bu yöntem, soğuk akışkanın bir fanla tüm bileşenler üzerine gönderilmesi ve bu sayede elektronik bileşenlerinin bütününe soğutulması esasına dayanmaktadır. Ancak, bu metot bütün devre elemanlarının soğutulması esasında olduğundan çok yüksek sıcaklıklardaki bileşenlerin soğutulmasında başarısız olabilir. Bir diğer soğutma yöntemi de çarpan jetle soğutmadır. Bu yöntemde, soğuk akışkan lüleyle sıcaklığı yüksek bir elemana yersel şekilde püskürtülür. Çarpan jet ile sıcaklığı yüksek bir devre bileşeninin soğutulması sağlanabilirken, devrenin bütününe soğutulmasında yetersiz kalabilmektedir. Bir elektronik devrede sıcaklıkları birbirlerinden oldukça farklı birden çok eleman bulunabilir. Bu sebeple, tek çeşit soğutma yöntemi ile bütün devreyi güvenli şekilde tutabilecek şartlara erişilmekte sıkıntı olabilir. Bu nedenle; çarpan jet ve çapraz soğutma yönteminin bir arada işleme alınması soğutma kapasitesi yüksek faydalı bir durum oluşturabilir. Çapraz akışla devre elemanları bir bütün olarak belirli bir aşamaya kadar soğutulabilirken, devrede sadece çok yüksek sıcaklıktaki elemanlar ise çarpan jet akışıyla noktasal olarak soğutulabilmektedir (Kılıç, 2018; Teamah ve ark., 2015).

Literatürde, yalnızca çapraz akış veya yalnızca jet akışın değerlendirildiği çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışma için incelenen model daha ziyade jet akışa benzediğinden, literatür incelemesinde daha çok jet akış üzerine odaklanılmıştır. Bununla birlikte, literatürde çarpan jetler hakkında birçok sayısal ve deneysel araştırma mevcuttur. Bu çalışmalarda ise temel olarak çarpan jetler için kullanılan akışkanın seçimi, akış alanına ait geometri, türbülanslı model, Reynolds sayısı, jet mesafesi ve ısı akısı gibi değişkenlerin devre bileşenlerinden olan ısı transferine etkileri üzerinde incelemelerde bulunulmuştur. Bunun yanı sıra, çapraz akış ve çarpan jet akışın birlikte kullanıldığı soğutma yöntemleriyle ilgili yapılan çalışmalar sınırlı olup, akışkanın kanal içerisindeki ısınmış yüzeylere yönlendirilmesine ilişkin bu çalışmada araştırıldığı gibi ayrıntılı kanal ve ısınmış yüzey tasarımlarının olduğu herhangi bir çalışmaya elde edilen literatürde rastlanamamıştır.

Hadipour ve Zargarabadi (2018) çarpan dairesel bir jet akışının sabit ısı akılı iç bükey bir yüzey üzerindeki akış ve ısı transferi özelliklerini, değişik jet-plaka arası oranlarında sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Farklı H/D (kanal yükseklik/jet giriş çapı) oranları, Re sayıları ve jet çapı değerlerinde araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Sabit Re sayısında jet çapı artışıyla ısı transferinin arttığını görmüşlerdir. Demircan (2019) elektronik devre elemanından olan ısı transferini çapraz akış-çarpan jetle sayısal olarak incelemiştir. Re sayısı, jet - kanal hız

oranlarının farklı değerlerinde araştırmalar yapmışlardır. Çalışmasında, Re sayısı ve hız oranlarının iyileşmesiyle ısı transferinin kayda değer oranda arttığı sonucuna ulaşmıştır. Mergen (2014), 3500 W/m<sup>2</sup> lik sabit ısı akısında elektronik bir elemandan çarpan jet-çapraz akışla olan ısı transferini incelemiştir. Çalışmasında jet Re sayısı/kanal Re sayısı (Re<sub>j</sub>/Re<sub>k</sub>) oranı azaldıkça ısı transferinin düştüğünü saptamıştır. Sabit ısı akısına sahip elektronik bir elemanın çarpan hava jeti ve çapraz akış kombinasyonu ile soğutulması sayısal olarak Öztürk ve Demircan, (2022) tarafından araştırılmıştır. Çalışmalarında farklı jet giriş hızının kanal giriş hızına göre oranları (0, 1, 2 ve 3) ve 0°, 22,5°, 45°, 67,5° ve 90° olmak üzere kanala yerleştirilen kanatçıkların farklı açıları için kanaldaki tek bir elemandan olan ısı transferi incelenmiştir. Kanal yüksekliğinin jet çapına oranı sabit ve 3 olarak alınırken, kanalda akışkan olarak hava kullanılmıştır. Elemandan olan en yüksek ısı transferinin, giriş hızının kanal giriş hızına oranının 3 ve kanatçık açısının 90° olduğu durumda erişildiği belirlenmiştir. Maghrabie ve ark., (2017) kanal boyunca sıralı yedi adet devre elemanından meydana gelen bir sistemin çarpan jet-çapraz akış kombinasyonu ile ısı transferini sayısal olarak değerlendirmişlerdir. Isı transferi üzerinde jet konumu değişikliğinin etkisini belirlemişlerdir.

Bu çalışmada, sabit ısı akılı bakır plakalı desenli yüzeylerden olan ısı transferi çarpan jet-çapraz akış tekniği ile farklı kanal yüksekliklerinde ve kanatçiksiz ve D jet giriş çapına eşit uzunluktaki 90° açılı kanatçıklı durumlara göre sayısal yöntem kullanılarak incelenmiştir. Sayısal araştırma, sürekli ve üç boyutlu k-ε türbülans modeli düşünülerek enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin Ansys-Fluent programı kullanılarak çözülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Akışkan olarak kanalda su kullanılmış olup, kanatçık ve kanalın alt ve üst yüzeyleri adyabatiktir. Desenli yüzeyler, 1000 W/m<sup>2</sup>lik sabit ısı akısına sahiptir. Jet - plaka arası mesafeler (H), 3D ve 4D olup, akışkan Reynolds sayısı aralığı 7000-11000'dir. Kanala referans alınan çalışmalar gözetilerek üç adet desenli yüzey yerleştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, literatürdeki deneysel çalışmanın sonuçlarıyla kıyaslanmış ve aralarında oldukça iyi bir uyum saptanmıştır. Sonuçlar, desenli yüzeylerin her bir desen sırası için Nu sayısının ve yüzey sıcaklığının ortalama değişimleri şeklinde verilmiştir. Re sayısının 11000 olduğu değerlerde kanatçiksiz ve kanatçıklı kanallar için H = 3D ve 4D kanal yüksekliklerinde kanal boyunca birleşik jet akışın hız ve sıcaklık konturları karşılaştırılmıştır.

### Sayısal Metot

Desenli yüzeylerdeki birleşik jet akışın zorlanmış taşınım ısı transferinin çözümünde Ansys-Fluent programı kullanılmıştır.

Akış ve ısı transferi, aşağıdaki gibi gövde kuvvetinin bulunmadığı sürekli, kanaldaki birleşik jet akış nedeniyle gerçekleşen türbülanslı akış için kütle, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerinden zaman ortalamalı olarak türetilen diferansiyel denklemlerin çözümleriyle yapılmıştır (Wang ve Mujumdar, 2015; Karabulut ve Alnak, 2021; Alnak ve ark., 2021).

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = 0 \quad [1]$$

Momentum denklemi

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_i \bar{u}_j) = \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] \quad [2]$$

Enerji denklemi

$$\rho c_p \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}_i \bar{T}) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ k \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} - \rho c_p \overline{T' u'_i} \right] \quad [3]$$

Türbülans kinetik enerji denklemi

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

Türbülans kinetik enerji yutulma terimi

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

Bu denklemlerde,  $\rho$  akışkanın yoğunluğunu,  $k$  türbülanslı akışın kinetik enerjisini belirtilirken,  $u_i$  x, y ve z yönlerindeki hız bileşenlerini,  $\mu$  akışkanın viskozitesini,  $\sigma_k$  ( $\sigma_k = 1$ ) türbülanslı kinetik enerji Pr sayısını göstermektedir. Türbülanslı kinetik enerji üretimi ( $G_k$ ) ve türbülanslı akışın viskozitesini ( $\mu_t$ ) gösteren eşitlikler aşağıdaki gibidir (Wang ve Mujumdar, 2015; Karabulut ve Alnak, 2021).

$$G_k = -\rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad [6]$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad [7]$$

Türbülans yutulma Pr sayısı  $\sigma_\varepsilon$  ile belirtilirken,  $C_{1\varepsilon} = 1.44$ ,  $C_{2\varepsilon} = 1.92$ ,  $C_\mu = 0.09$  ve  $\sigma_\varepsilon = 1.3$  değerlerine sahip olan eşitliklerdeki katsayılarıdır (Saleha, 2015).

Ortalama ısı taşınım transfer katsayısı h, Eş. 8 ve Nusselt sayısı (Nu) ise Eş. 9 ile hesaplanmaktadır (Incropera, 2007).

$$h = \frac{q''}{T_y - T_a} \quad [8]$$

Nu sayısı

$$-k_a \left( \frac{\partial T}{\partial n} \right)_y = h(T_a - T_y) \quad \text{ve} \quad Nu = \frac{h(3m)}{k_a} \quad [9]$$

Bu eşitliklerde,  $T_a$  ve  $T_y$  sırasıyla akışkanının ve desenli yüzeyin ortalama olarak yüzey sıcaklıklarını (K),  $k_a$  akışkanın ısı iletim katsayısını (W/m.K),  $3m$  akışkanın temas ettiği yüzeyin toplam yüzey uzunluğunu (m),  $h$  ve  $h_m$  ise sırasıyla desenli yüzeyin noktasal ve ortalama ısı taşınım katsayısını (W/m<sup>2</sup>.K),  $n$  ise yüzeye dik yön olup ortalama Nu sayısı ( $Nu_m$ ) aşağıda belirtilen eşitliklerden bulunmaktadır.

Desenli yüzeyin ortalama ısı taşınım katsayısı

$$h_m = \frac{1}{3m} \int_0^{3m} h dx \quad [10]$$

Desenli yüzeyin ortalama Nu sayısı

$$Nu_m = \frac{h_m(3m)}{k_a} \quad [11]$$

Kanalın hidrolik çapı

$$D_{kh} = \frac{4A_k}{P_k} = \frac{4(H.W)}{2(H+W)} \quad [12]$$

Bu eşitlikte,  $A_k$  ve  $P_k$  sırasıyla kanalın kesit alanı ve ıslak çevresini gösterirken, kanalın yükseklik ve genişliği ise H ve W ile temsil edilmektedir. Jet giriş çapı D, dairesel girişli jet hidrolik çapına  $D_{hjet}$  eşittir.

Kanalın ve Jetin Re sayıları ise sırasıyla Eş. (13) ve (14) kullanılarak belirlenmektedir.

$$Re_k = \frac{\rho_a V_k D_{hk}}{\mu_a} \quad [13]$$

$$Re_j = \frac{\rho_a V_j D}{\mu_a} \quad [14]$$

Bu eşitliklerde, akışkanın kanal ve jet akış hızları sırasıyla  $V_k$  ve  $V_j$  (m/s) ile gösterilmektedir.

### Desen Geometrileri

Çalışmadaki çarpan jet-çapraz akışlı kanal ve kanaldaki desenli yüzeylerin ölçüleri ve sınır şartları Şekil 1' de verilirken, kanalın boyutsal ölçüleri ise Tablo 1' de sunulmuştur. Bunun yanı sıra, bu çalışmadaki kabuller şu şekildedir: a) Sürekli, üç boyutlu ve türbülanslı akış hacmi kullanılmıştır, b) Sıkıştırılmaz akışkan olarak su, hem jet hem de çapraz akış akışkanı olarak kullanılmıştır, c) Akışkanının ısı özellikleri sabit olup, sıcaklıktan bağımsızdır, d) Kanalın ve kanatçığın yüzeyleri adyabatiktir, e) Akışkan olarak kullanılan su ve desenli yüzeylerde ısı kaynağı bulunmamaktadır. Ayrıca, birleşik jet akışlı kanalların sayısal hesaplamalarında kullanılan düzgün dörtyüzlü ağ yapısı Şekil 2' de gösterilmektedir.

### Bulgular ve Tartışma

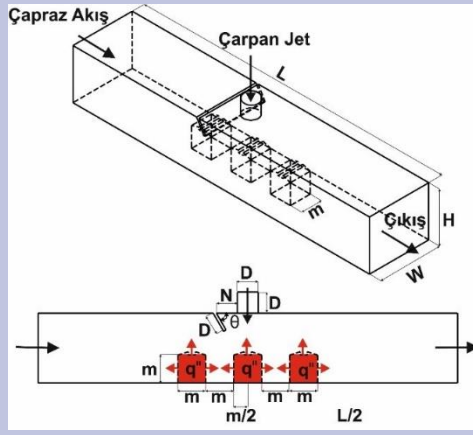
Çalışmada, Şekil 3' de gösterildiği gibi sadece jet akışın olduğu durumda farklı Reynolds sayılarında incelemelerde bulunularak ulaşılan sonuçlar ile Ma ve Bergles (1983)' in deneysel incelemeleri sonucunda ulaştıkları bağıntı kullanılarak ( $\overline{Nu} = 1.29 Re^{0.5} Pr^{0.4}$ ) edinilen sonuçlar kendi aralarında karşılaştırılmış ve Ma ve Bergles (1983)' in deneysel sonuçları ile sunulan çalışmanın sonuçlarının uyumlu oldukları belirlenmiştir.

Tablo 1. Kanaldaki boyutsal ölçüler

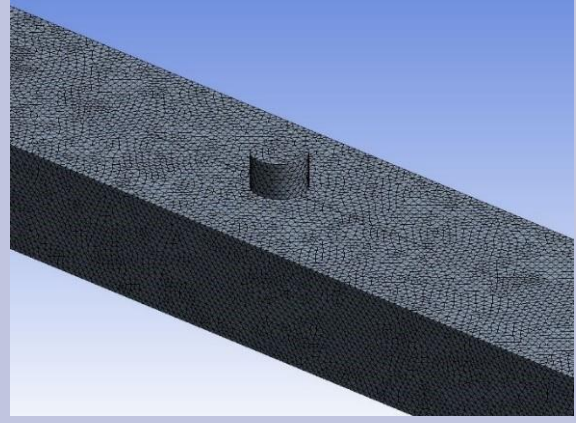
Table 1. Dimensional dimensions in the channel

| Kanalın Ölçülendirilmesi |        |
|--------------------------|--------|
| D                        | 15 mm  |
| L                        | 66D    |
| W                        | 4D     |
| H                        | 3D, 4D |
| m                        | 20 mm  |
| $\theta$                 | 90°    |
| N                        | D      |

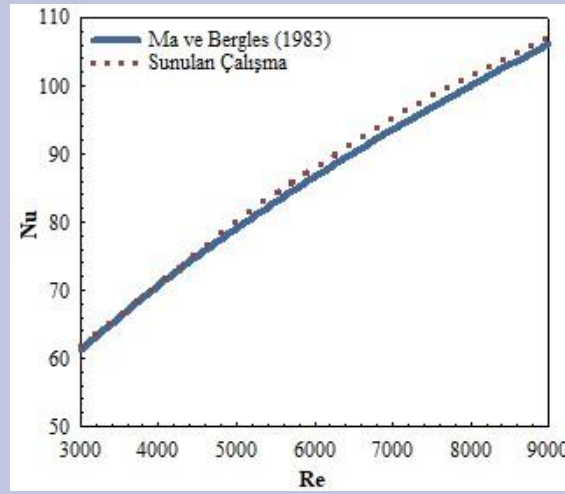




Şekil 1. Birleşik Jet Akışlı Desenli Yüzeylerin Olduğu Kanalların Görünüşleri  
Figure 1. Views of Channels with Combined Jet Flow Patterned Surfaces



Şekil 2. Kanalda kullanılan düzgün dörtyüzlü ağ yapısının gösterimi  
Figure 2. Display of tetrahedral mesh structure used in the channel



Şekil 3. Sunulan Çalışma ve Ma ve Bergles (1983)'in Sonuçlarının Kıyaslanması  
Figure 3. Comparison of the Presented Study and the Results of Ma and Bergles (1983)

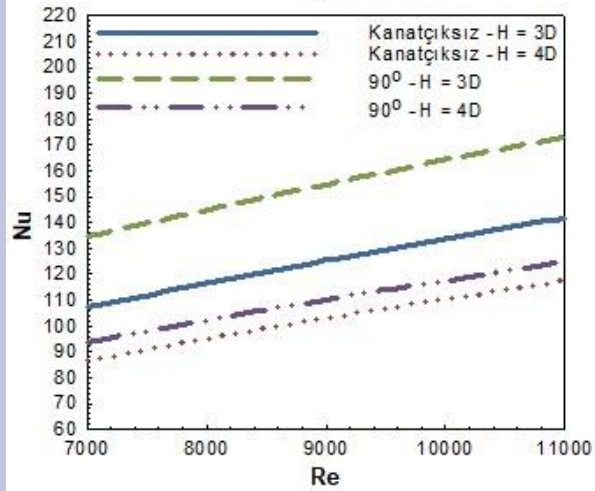
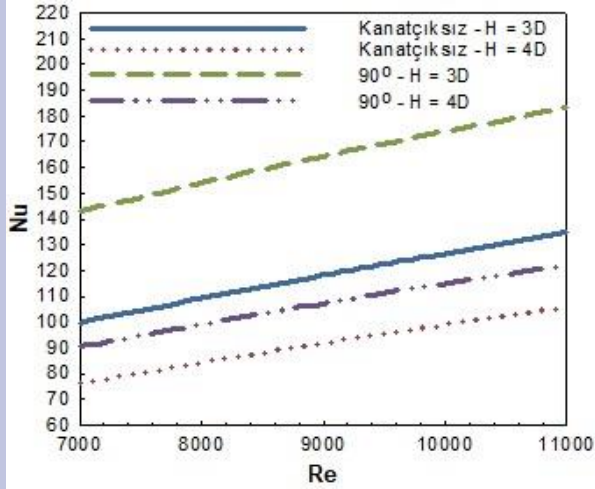
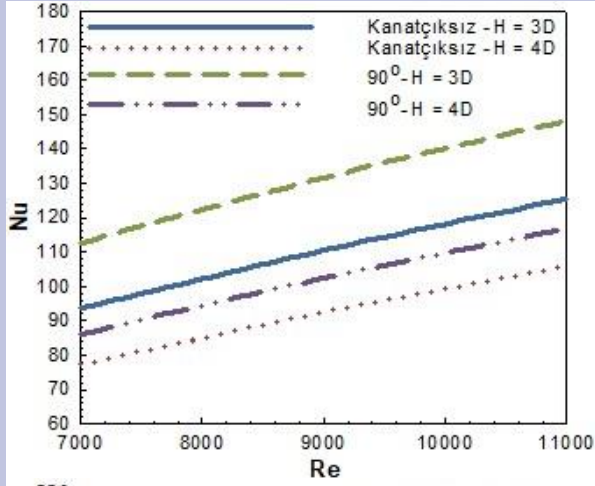
Tablo 2. Ağ Elemanı Sayısına Bağlı Olarak  $Nu_m$ ' nin Reynolds Sayısıyla Değişimi  
Table 2. Variation of  $Nu_m$  with Reynolds Number Depending on the Number of Mesh Elements

| Ağ elemanı sayısı | Re = 5000 | Re = 7000 | Re = 9000 |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|
|                   | $Nu_m$    | $Nu_m$    | $Nu_m$    |
| 1758412           | 86.48     | 108.84    | 127.40    |
| 2022840           | 86.52     | 108.88    | 127.43    |
| 2245786           | 86.52     | 108.87    | 127.42    |

Ağ sayısına bağlı  $Nu$  sayısının değişimini belirlemek kaydıyla kanaldaki en uygun sayıdaki ağ elemanı belirlenerek kanatçıksız birleşik jet akışlı kanaldaki ağ sayısının  $Nu_m$  üzerindeki etkisi farklı Reynolds sayılarında Tablo 2' de sunulmuştur. Buna göre kanatçıksız kanal için 2022840 adet ağ elemanının güvenilir ve doğru sonucu vereceği bulunmuştur.

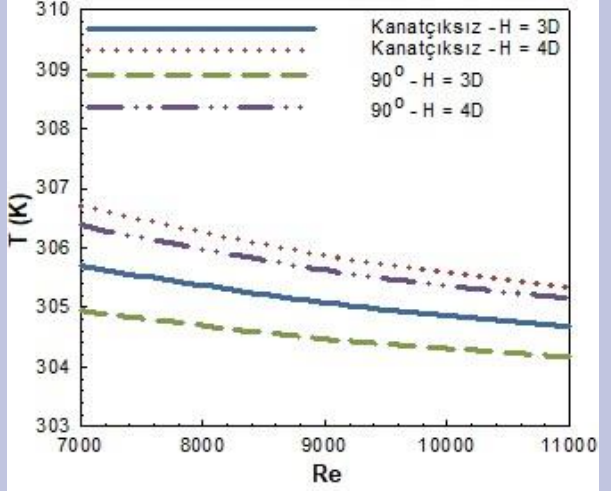
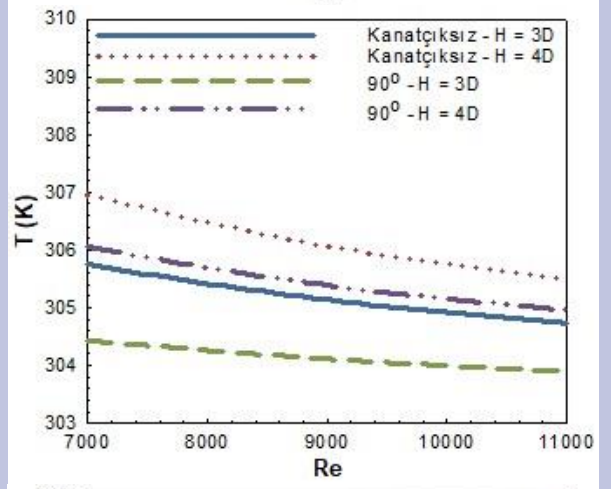
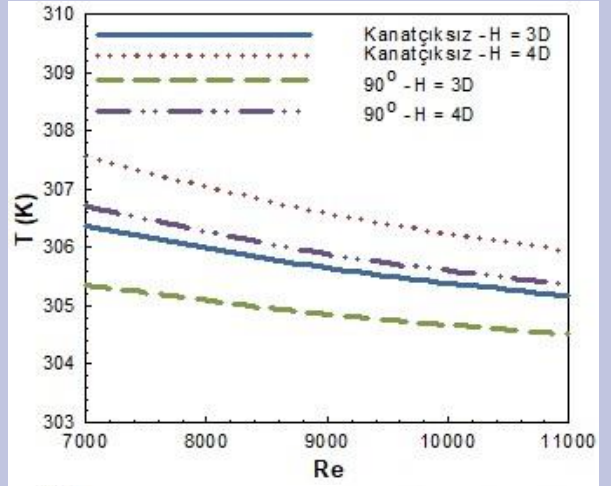
Şekil 4' de kanatçıksız ve  $90^\circ$  kanatçıklı kanallarda bulunan desenli yüzeylerin kanal girişinden başlamak üzere çarpın jet akış - çarpın jet akışlı birleşik jet akışı altında ortalama  $Nu$  sayılarının  $Re$  sayısı ile değişimleri kanal yüksekliğine ( $H$ ) bağlı olarak sunulmaktadır. Kanal

yüksekliğinin artışı kanallardaki birleşik jetin desenli yüzeyler üzerindeki etkisini azaltması nedeniyle desenlerden olan ısı transferi ve dolayısıyla  $Nu$  sayısı değerleri azalmaktadır. Bununla birlikte, kanala kanatçık eklenmesi birleşik jet akışı desenler üzerine daha iyi yönlendirerek jet akışkanı ve desenler arası ısı transferini artırdığından  $Nu$  sayısı değerleri artmaktadır. Buna bağlı olarak, tüm desen sıraları için en düşük  $Nu$  sayısı değerlerine kanatçıksız ve  $H = 4D$  kanal yüksekliği mesafesinde ulaşılrken, en yüksek  $Nu$  sayısı değerleri ise  $90^\circ$  kanatçıklı kanalda ve  $H = 3D$  mesafede elde edilmektedir.



Şekil 4. Her bir desenli yüzey sırası için ortalama Nu sayısının Re sayısı ile değişimi

Figure 4. Variation of mean Nu number with Re number for each patterned surface row



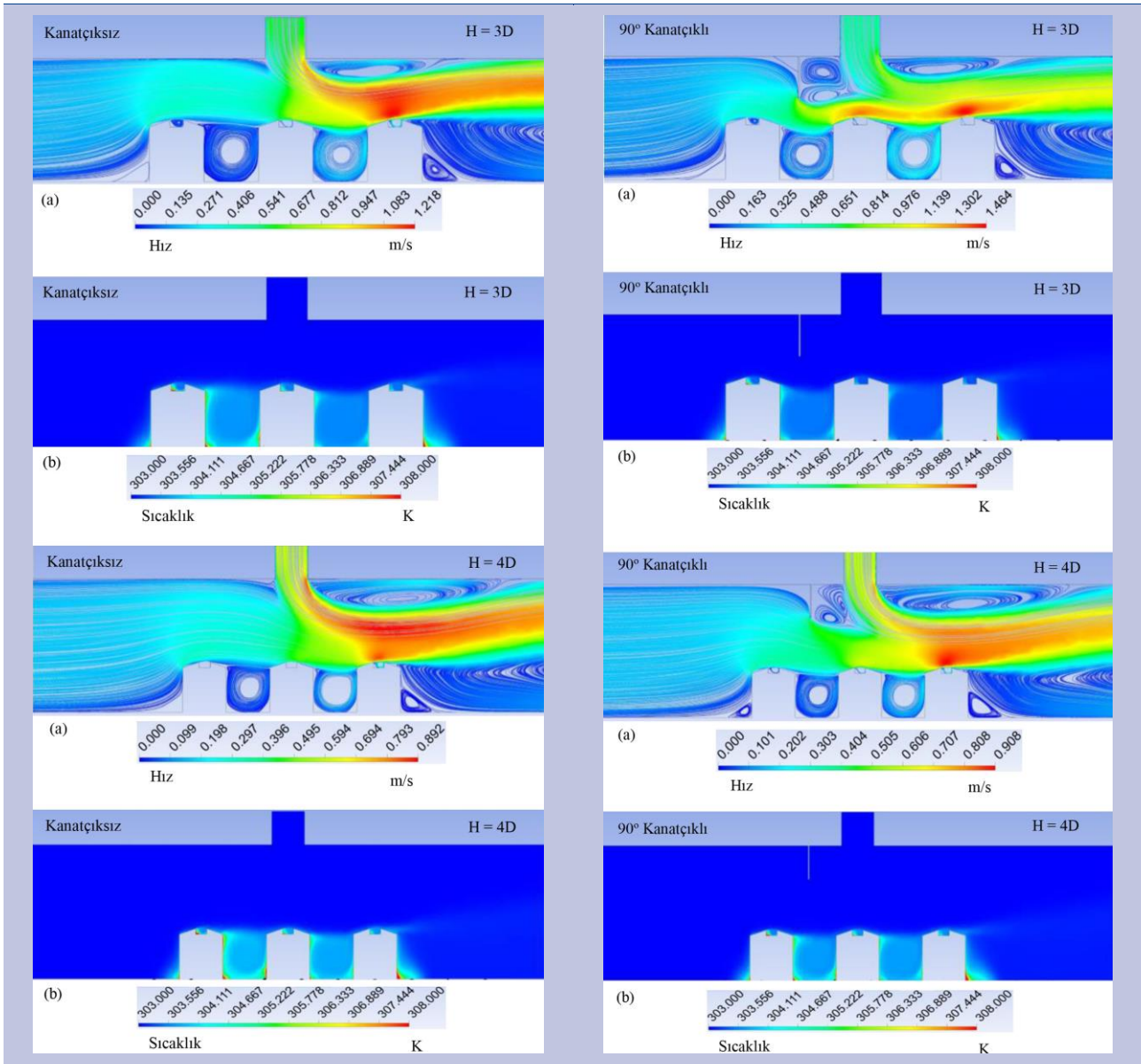
Şekil 5. Her bir desenli yüzey sırası için ortalama yüzey sıcaklığının Re sayısı ile değişimi

Figure 5. Variation of mean surface temperature with Re number for each patterned surface row

Tablo 3. Kanaldaki tüm desenli yüzeyler için ortalama Nu sayısı ( $Nu_m$ ) ve yüzey sıcaklığı ( $T_m$ ) değişimi

Table 3. Change of mean Nu number ( $Nu_m$ ) and surface temperature ( $T_m$ ) for all patterned surfaces in the channel

| Re = 9000               | $Nu_m$ | $T_m$ (K) |
|-------------------------|--------|-----------|
| Kanatçiksız – H = 3D    | 118,03 | 305,28    |
| Kanatçiksız – H = 4D    | 95,82  | 306,17    |
| 90° Kanatçıklı - H = 3D | 150,34 | 304,48    |
| 90° Kanatçıklı – H = 4D | 106,77 | 305,63    |



Şekil 6. Desenli yüzeyler için kanatçksız ve 90o kanatçıklı kanallarda H = 3D ve H = 4D kanal yüksekliklerinde (a) Hız (b) Sıcaklık konturu dağılımları

Figure 6. For patterned surfaces in channels without fin and with 90o fin H = 3D and H = 4D channel heights (a) Velocity (b) Temperature contour distributions

Desen 1 için Reynolds sayısının 9000 olduğu değerde kanatçksız durumda H = 3D mesafede H = 4D' lik mesafeye göre Nu sayısında %19,43 artış elde edilirken, aynı desen sırasında ve şartlarda kanatçıklı kanal için Nu sayısındaki bu artış değeri %28,39 olmaktadır. İkinci sıradaki Desen 2 incelendiğinde ise kanala eklenen kanatçık sayesinde doğrudan çarpan jetin etkisi altında olan bu desen sırasına ek olarak, kanal girişinden gelen çapraz akışın da katkısıyla oluşan birleşik jet akışının bu desen üzerindeki etkisiyle akışkanla desen arası ısı transferi arttığından Nu sayısı değeri de artmaktadır. Re = 7000' de H = 3D mesafede 90° kanatçıklı kanalda Desen 2' de Desen 1'e göre ortalama Nu sayısında %26,87' lik artış bulunmaktadır. Son sıradaki Desen 3' de ise H = 3D için kanatçıklı durumda Desen 2' ye göre azalan jet etkisi nedeniyle Nu sayısında azalma görülürken, hem kanatçksız hem de H = 4D kanal mesafesinde akışkanın kanal içerisindeki hareketi nedeniyle

Desen 2' ye göre daha fazla Nu sayısı değerleri elde edilmektedir. Desen 3' de ve Re = 9000' de kanatçıklı durumda H = 3D için Desen 2' ye göre %6,17' lik azalma görülürken aynı şartlarda kanatçksız durumda Desen 3 için Desen 2' ye göre %6,14' lük artış elde edilmektedir.

Desenlerin kanaldaki diziliş sıralarına göre ortalama yüzey sıcaklıklarının Re sayısına göre değişimleri farklı kanal yüksekliklerinde (H = 3D ve 4D) kanatçksız ve 90° kanatçıklı birleşik jet akışlı kanallar için Şekil 5' de gösterilmektedir. Re sayısının artışına bağlı olarak kanaldaki akışkanın karışması artmakta ve dolayısıyla desenlerden olan ısı transferi artarak desenlerin soğumaları iyileşmektedir. Bunun yanı sıra, en düşük yüzey sıcaklığı değerlerine tüm desen sıraları için kanatçıklı kanalda H = 3D kanal yüksekliği mesafesinde ulaşılmaktadır. Kanatçıklı kanal için en düşük yüzey sıcaklığı değerlerine H = 3D mesafede ve Desen 2 için ulaşılrken,

kanatçksız kanallarda ise aynı kanal mesafesinde ( $H = 3D$ ) Desen 3' de ulaşılmaktadır.

Tablo 3' de birleşik jet akışlı kanatçksız ve kanatçıklı ( $90^\circ$ ) kanallarda bulunan tüm desenli yüzeyler için ortalama  $Nu$  sayısı ( $Nu_m$ ) ve ortalama yüzey sıcaklığı ( $T_m$ ) değişimleri  $H = 3D$  ve  $H = 4D$  için  $Re = 9000$  değerinde verilmektedir. Kanatçıklı kanalda kanatçksız kanala göre  $H = 3D$ ' de  $Nu_m$  değeri %27,37 daha fazla iken  $H = 4D$ ' de bu artış değeri %11,42 olmaktadır. Buna bağlı olarak da  $T_m$  değerleri kanatçıklı kanallarda kanatçksız olanlara göre daha düşüktür. Bu da bize desenlerin soğumasının kanatçıklı kanallarda daha iyi olduğunu kanıtlayıcı bir etki sunmaktadır. Aynı zamanda,  $H'$  in artışının  $Nu_m$  değerini azalttığı ve  $T_m$  değerini artırdığı Tablo 3' den kolaylıkla görülebilmektedir.

Şekil 6' da desenli yüzeyler için Reynolds sayısının 11000 olduğu değerde  $H = 3D$  ve  $4D$  kanal mesafelerinde kanatçksız ve  $90^\circ$  kanatçıklı kanatçıklı birleşik jet akışlı kanallarda (a) hız ve (b) sıcaklık konturu dağılımları sunulmaktadır. Kanatçksız durumda her iki kanal yüksekliğinde de Desen 1 kanaldan gelen çapraz akışın baskın etkisi altında iken Desen 2 ve Desen 3 çapraz-çarpan birleşik jet akışı etkisi altında olduğu Şekil 5' deki hız konturu dağılımlarında bu desenler üzerindeki birleşik jet akışının hızının artışından görülebilmektedir. Bununla birlikte, desen aralarında oluşan yeniden dolaşım akışı bölgeleri nedeniyle bu bölgelerde akışkanda sıcaklık artışları görülmektedir ki bu durum desenlerin verimli bir şekilde soğumasını engellemektedir.  $H = 4D$  olduğunda ise desenler üzerinde azalan birleşik jet akışı nedeniyle hız konturu dağılımında görülebildiği gibi birleşik jetin hızı azalmaktadır. Bunun sonucunda desenlerde sıcaklık artışları olmaktadır. Kanala kanatçık eklendiğinde birleşik jet akışı desenler üzerine etkin bir şekilde yönlendirilebildiğinden Desen 1' den başlamak üzere Desen 3' e doğru desenler üzerinde birleşik jet akışı hızlanmakta ve böylece desenlerin soğuması iyileşmektedir. Sıcaklık konturu dağılımlarından da görülebildiği gibi kanatçıklı birlikte desen aralarındaki boşluklarda da akışkanda hız artışları elde edildiğinden akışkan ve dolayısıyla desenlerin sıcaklıkları azalmaktadır. Böylece, kanatçığın kullanıldığı kanallarda ısınmış elemanlar daha güvenli sıcaklık sınırları aralığında tutulabilmektedir.

## Genel Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu çalışmada, sabit ısı akısı uygulanan bakır plakalı desenli yüzeylerden olan ısı transferi, çarpan jet-çapraz akış tekniği ile farklı kanal yüksekliklerine göre sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal inceleme amacıyla Ansys-Fluent programı kullanılmıştır. Kanaldaki akışı sıcaklığı artmış desenli yüzeylere yönlendirmede kullanılan kanatçık açısı  $90^\circ$  olup, kanatçığın uzunluğu  $D$  jet girişi çapına eşittir. Kanalda akışkan olarak su kullanılmış olup, kanatçığın ve kanalın yüzeyleri adyabatiktir. Desenli yüzeyler,  $1000 \text{ W/m}^2$  lik sabit ısı akısına sahiptir. Jet-plaka arası mesafeler ( $H$ )  $3D$  ve  $4D$  olup, akışkanın  $Re$  sayısı aralığı  $7000-11000$ ' dir. Kanala referans çalışmalar gözetilerek üç adet desenli yüzey yerleştirilmiştir.

Bu çalışma neticesinde sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kanal yüksekliğinin artışı kanallardaki birleşik jetin desenli yüzeyler üzerindeki etkisini azaltması nedeniyle desenlerden olan ısı transferi ve dolayısıyla  $Nu$  sayısı değerleri azalmaktadır.
- Kanala kanatçık eklenmesi, birleşik jet akışı desenli yüzeyler üzerine daha iyi yönlendirerek jet akışkanı ve desenler arası ısı transferini artırdığından  $Nu$  sayısı değerleri artmaktadır.
- Tüm desen sıraları için en düşük  $Nu$  sayısı değerlerine kanatçksız ve  $H = 4D$  kanal yüksekliği mesafesinde ulaşıırken, en yüksek  $Nu$  sayısı değerleri ise  $90^\circ$  kanatçıklı kanalda ve  $H = 3D$  mesafede elde edilmektedir.
- Desen 1 için Reynolds sayısının 9000 olduğu değerde kanatçksız durumda  $H = 3D$  mesafede  $H = 4D$  lik mesafeye göre  $Nu$  sayısında %19,43 artış elde edilirken, aynı desen sırasında ve şartlarda kanatçıklı kanal için  $Nu$  sayısındaki bu artış değeri %28,39 olmaktadır.
- Desen 2 incelendiğinde birleşik jet akışının bu desen üzerindeki artan etkisiyle akışkanla desen arası ısı transferi arttığından  $Nu$  sayısı değeri de artmaktadır.
- $Re = 7000$ ' de  $H = 3D$  mesafede  $90^\circ$  kanatçıklı kanalda Desen 2' de Desen 1'e göre ortalama  $Nu$  sayısında %26,87' lik artış bulunmaktadır.
- Son sıradaki Desen 3' de ise  $H = 3D$  için kanatçıklı durumda Desen 2' ye göre azalan jet etkisi nedeniyle  $Nu$  sayısında azalma görülürken, hem kanatçksız hem de  $H = 4D$  kanal mesafesinde Desen 2' ye göre daha yüksek  $Nu$  sayısı değerleri elde edilmektedir.
- Desen 3' de ve  $Re = 9000$ ' de kanatçıklı durumda  $H = 3D$  için Desen 2' ye göre %6,17' lik azalma görülürken aynı şartlarda kanatçksız durumda Desen 3 için Desen 2' ye göre %6,14' lük artış elde edilmektedir.
- En düşük yüzey sıcaklığı değerlerine tüm desen sıraları için kanatçıklı kanalda  $H = 3D$  kanal yüksekliği mesafesinde ulaşılmaktadır.
- Kanatçıklı kanal için en düşük yüzey sıcaklığı değerlerine  $H = 3D$  mesafede ve Desen 2 için ulaşıırken, kanatçksız kanallarda ise aynı kanal mesafesinde ( $H = 3D$ ) Desen 3' de ulaşılmaktadır.
- Kanatçıklı kanalda kanatçksız kanala göre  $H = 3D$  de kanaldaki her üç desenli yüzey için elde edilen  $Nu_m$  değeri %27,37 daha fazla iken  $H = 4D$  de bu artış değeri %11,42 olmaktadır. Buna bağlı olarak da  $T_m$  değerleri kanatçıklı kanallarda kanatçksız olanlara göre daha düşüktür.
- Hız konturu dağılımlarında, kanatçksız durumda her iki kanal yüksekliğinde de Desen 1 kanaldan gelen çapraz akışın baskın etkisi altında iken Desen 2 ve Desen 3 çapraz-çarpan birleşik jet akışı etkisi altında olduğu bu desenler üzerindeki birleşik jet akışı hızının artışından görülebilmektedir.
- Desen aralarında oluşan yeniden dolaşım akışı bölgeleri nedeniyle bu bölgelerde akışkanda sıcaklık artışları görülmektedir ki bu durum desenlerin verimli bir şekilde soğumasını engellemektedir.

- H = 4D olduğunda ise desenler üzerinde azalan birleşik jet akışı nedeniyle hız konturu dağılımında görülebildiği gibi birleşik jetin hızı azalmakta ve desenli yüzeylerde sıcaklık artışları olmaktadır.
- Kanala kanatçık eklendiğinde birleşik jet akışı desenler üzerine etkin bir şekilde yönlendirilebildiğinden Desen 1' den başlamak üzere Desen 3' e doğru desenler üzerinde birleşik jet akışı hızlanmakta ve böylece desenlerin soğuması iyileşmektedir.
- Sıcaklık konturu dağılımlarından da görülebildiği kanatçıkla birlikte desen aralarındaki boşluklarda da akışkanda hız artışları elde edildiğinden akışkan ve dolayısıyla desenlerin sıcaklıkları azalmaktadır. Böylece, kanatçığın kullanıldığı kanallarda ısınmış elemanlar daha güvenli sıcaklık sınırları aralığında tutulabilmektedir.

### Teşekkür

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) birimi tarafından TEKNO-2021-031 proje numarası ile desteklenmiştir.

### Kaynaklar

- Alnak DE, Koca F, Alnak Y. A., 2021. Numerical investigation of heat transfer from heated surfaces of different shapes. *Journal of Engineering Thermophysics*, 30:494-507. doi.org/10.1134/S1810232821030127
- Demircan T. 2019. Numerical analysis of cooling an electronic circuit component with cross flow and jet combination. *Journal of Mechanics*, 35(3):395-404. doi.org/10.1017/jmech.2018.11
- Hadipour A, Zargarabadi MR. 2018. Heat transfer and flow characteristics of impinging jet on a concave surface at small nozzle to surface distances. *Applied Thermal Engineering*, 138:534-541. doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.04.086
- Incropera FP, Dewit DP, Bergman TL, Lavine AS. 2007. *Fundamentals of heat and mass transfer (Sixth Edition)*, John Wiley&Sons, Indiana, 447-487.

- Karabulut K, Alnak DE, 2021. Investigation of the Variation of Cooling Performance with the Channel Height in A Channel Having Impinging Jet-Cross Flow. *Proceedings of ISPEC 12<sup>th</sup> International Conference on Engineering & Natural Sciences*. 24-25 December, Bingöl, s. 273-290.
- Kılıç M. 2018. Elektronik sistemlerin soğutulmasında nanoakışkanlar ve çarpan jetlerin müşterek etkisinin incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(3):121-132. doi.org/10.21605/cukurovaummfd.500597
- Ma CF, Bergles AE, 1983. Boiling jet impingement cooling of simulated microelectronic chips. *Heat Transfer In Electronic Equipment HTD*, 28:5-12.
- Maghrabie HM, Attalla M, Fawaz HE, Khalil M. 2017. Numerical investigation of heat transfer and pressure drop of in-line array of heated obstacles cooled by jet impingement in cross-flow. *Alexandria Engineering Journal*, 56:285-296. doi.org/10.1016/j.aej.2016.12.022
- Mergen S, 2014. Kanal İçi Akış ve Çarpan Jet ile Birlikte Elektronik Eleman Soğutulmasının Sayısal Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Saleha N, Fadela N, Abbes A. 2015. Improving cooling effectiveness by use chamfers on the top of electronic components. *Microelectronics Reliability*, 55:1067-1076. doi.org/10.1016/j.microrel.2015.04.006
- Öztürk SM, Demircan T. 2022. Numerical analysis of the effects of fin angle on flow and heat transfer characteristics for cooling an electronic component with impinging jet and cross-flow combination. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37(1): 57-74. doi.org/10.17341/gazimmfd.799793
- Teamah MA, Dawood MM, Shehata A., 2015. Numerical and experimental investigation of flow structure and behavior of nanofluids flow impingement on horizontal flat plate. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 74:235-246. doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2015.12.012
- Wang SJ, Mujumdar AS, 2005. A comparative study of five low Reynolds number k-ε models for impingement heat transfer. *Applied Thermal Engineering*, 25:31-44. doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2004.06.001



## Recognition of Human Activities Using Machine Learning Methods on Smart Sensor Data

Serdar Asarkaya<sup>1,a</sup>, Emre Ünsal<sup>2,b\*</sup>

<sup>1</sup> Defence Technology Programme, Institute of Graduate Studies, Sivas University of Science and Technology, Sivas, Türkiye.

<sup>2</sup>Department of Software Engineering, Faculty of Technology, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye.

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 28/04/2022

Accepted: 24/05/2022

### ABSTRACT

As a result of the developments in smart sensor technologies and the decrease in price of wearable devices, internet-based studies for the recognition of daily human activities by using sensor data obtained from these devices is an important research topic today. The recognition of human activities can contribute to the solution of activity-related problems in areas such as health, patient follow-up and safety. This study aims to recognize human activities using machine learning methods on data obtained from smart sensors. In this study, models were created with Decision Tree, OneVsOne and Multilayer Perceptron classifiers, and training and testing stages were carried out with the data set containing the activities. When 75% and 90% of the data set were separated as training data, the results obtained in the applications were compared and it was seen that the best result was achieved with 90% training data using the Multi-Layer Perceptron model. With the Multilayer Perceptron Model, 100% classification success was achieved in walking, walking downstairs and laying activities, 95% in standing activity, 89% in walking upstairs activity and 83% in sitting activity.

Keywords:

**Keywords:** Internet of Things, Smart Sensors, Machine Learning, Artificial Intelligence

## Akıllı Sensör Verileri Üzerinde Makine Öğrenmesi Yöntemleri Kullanılarak İnsan Aktivitelerinin Tanımlanması

#### Süreç

Geliş: 28/04/2022

Kabul: 24/05/2022

### Öz

Akıllı sensör teknolojilerindeki gelişmeler ve giyilebilir cihazların maliyetlerinin düşmesi sonucunda bu cihazlardan elde edilen sensör verileri kullanarak günlük insan aktivitelerinin tanımlanmasına yönelik nesnelere interneti tabanlı çalışmalar günümüzde önemli bir araştırma konusudur. İnsan aktivitelerinin tanımlanması sağlık, hasta takibi ve güvenlik gibi alanlarda aktiviteye bağlı sorunların çözümüne katkı sağlayabilmektedir. Bu çalışma, akıllı sensörlerden elde edilen veriler üzerinde makine öğrenmesi yöntemlerini kullanarak insan aktivitelerinin tanımlanmasını amaçlamaktadır. Çalışmada Karar Ağacı, OneVsOne ve Çok Katmanlı Algılayıcı sınıflandırıcıları ile modeller oluşturulmuş ve aktiviteleri içeren veri seti ile eğitim ve test aşamaları gerçekleştirilmiştir. Veri setinin %75'i ve %90'ı eğitim verisi olarak ayrıldığında yapılan uygulamalarda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve en iyi sonuç Çok Katmanlı Algılayıcı modeli kullanılarak %90 eğitim verisiyle ulaşıldığı görülmüştür. Çok katmanlı algılayıcı modeliyle yürüme, inme, uzanma aktivitelerinde %100, bekleme aktivitesinde %95, tırmanma aktivitesinde %89 ve oturma aktivitesinde %83 sınıflandırma başarısı elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Nesnelere İnterneti, Akıllı Sensörler, Makine Öğrenmesi, Yapay Zeka

#### License



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

[190102028@sivas.edu.tr](mailto:190102028@sivas.edu.tr)

<https://orcid.org/0000-0002-4790-1709>

[eunsal@cumhuriyet.edu.tr](mailto:eunsal@cumhuriyet.edu.tr)

<https://orcid.org/0000-0001-6042-0742>

**How to Cite:** Asarkaya S, Ünsal E. (2022) Recognition of Human Activities Using Machine Learning Methods on Smart Sensor Data, Journal of Science and Technology, 1(1):9-14, 2022 .

## Giriş

Günümüzde nesnelere interneti (IoT), bilgi teknolojileri alanında çok geniş ve farklı alanlarda uygulamalar geliştirilebilmesinin yolunu açmıştır. Geçmişte yapılan çalışmalar incelendiğinde sağlık (Kaur, Kumar, & Kumar, 2019), çevre (Ma, ve diğerleri, 2020), güvenlik (Sakacı, 2018), akıllı şehirler (Abaklıoğlu, 2019) gibi birçok alanda IoT uygulamalarının yer aldığı görülmektedir.

IoT teknolojileri akıllı ortamlar yaratarak dünyamızı etkilemeye devam ederken, gücünü sensörlerden aldığı söylenebilir. (Sehrawat & Gill, 2019). Akıllı ve duyuşal sistemlerin geliştirilmesinde rol alan sensörlerle ve mobil cihazlarla büyük miktarlarda IoT verileri elde edilebilmektedir (Mourtzis, Vlachou, & Milas, 2016)

Mobil veya giyilebilir cihazlarda bulunan sensörlerin sağladığı verilerle, insan aktivitelerini tanıyan sistemler, yaşlı bakım desteği, fitness izleme ve bilişsel yardım gibi sağlık uygulamaları genişletilebilmektedir (Choudhury, ve diğerleri, 2008). İnsan motor aktivitelerinin izlenmesi, hastalık takibi, klinik teşhise yardımcı sistemler geliştirilirken ivmeölçer, jiroskop gibi mobil sistemler üzerinde bulunan sensörlerden yararlanılabilmektedir (Muscolo, Conforto, Schmid, Caselli, & D'Alessio, 2007). (Su & Ji, 2014)' e göre sensörler günlük yaşamın çeşitli yönlerini ölçmek için zengin bir veri kaynağı olduğundan, insan aktivitelerini tanıma işleminin bu uygulamaların arkasındaki temel yapı taşlarından biri olduğu söylenebilir.

Bir başka çalışmada (Ferrari, Micucci, Mobilio, & Napoletano, 2021), son yıllarda aktivite tanıma yönelik araştırmaların artmasının en önemli nedenlerinin, hareket algılayan sensörlerle donatılmış mobil cihazların yaygınlaşması ve daha düşük donanım maliyetleri olduğu belirtilerek, akıllı telefonların kullanılmasının gözetim, sağlık ve iletim gibi çeşitli uygulama bağlamlarında fırsatlar yarattığı vurgulanmıştır.

Bu çalışmada, makine öğrenmesi yöntemleri kullanarak akıllı telefon sensör verileri ile aktivite tanınması araştırılmıştır. Çalışmada iki farklı makine öğrenmesi sınıflandırma algoritması ve bir yapay sinir ağı modeli kullanılmıştır. Çalışmanın 2.bölümünde materyal ve metod, 3.bölümde ise bulgular ve tartışmaya yer verilmiştir.

## Materyal ve Metod

### Veri Seti

Çalışmada UCI Machine Learning Repository sayfasından indirilen Human Activity Recognition veri seti kullanılmıştır (Ortiz, Anguita, Ghio, Oneto, & Parra, 2012). Veri seti içerisinde yürüme, tırmanma, inme, oturma, bekleme ve uzanma aktivitelerine ait 7352 adet kayıt bulunmaktadır. Her bir aktivite bir sınıf olarak etiketlenmiştir. Sensör verileri belirli zaman dilimlerinde 50 Hz'lik sabit hızda yakalanmıştır. Verilerde gürültü gidermek amacıyla medyan filtre ve köşe frekansı 20 Hz olan 3.dereceden düşük geçişli Butterworth filtresi kullanılmıştır. Jiroskop ve ivmeölçer sensörlerinden gelen üç açılı sinyaller Tablo 1'de gösterilen fonksiyonlarla özelliklere dönüştürülmüştür. Sinyallerin ortalaması hesaplanarak elde edilen ek vektörler özelliklere eklenmiştir.

Tablo 1. Özellik çıkarmada kullanılan fonksiyonlar

Table 1. Functions used in feature extraction

| Mean     | Std      | Mad         | Max         |
|----------|----------|-------------|-------------|
| Min      | Sma      | Energy      | Iqr         |
| Entropy  | arCoeff  | Correlation | maxInds     |
| meanFreq | Skewness | Kurtosis    | bandsEnergy |
| Angle    |          |             |             |

Dosya.xlsx formatındadır ve sensör verilerinden oluşturulmuş, özellik olarak kullanılacak 561 sütun bulunmaktadır.

### Veri Ön İşleme

Veri seti içinde eksik değer bulunmamaktadır. Sınıflar 'Yürüme-1', 'Tırmanma-2', 'İnme-3', 'Oturma-4', 'Bekleme-5', 'Uzanma-6' olmak üzere etiketlenmiştir. Veri seti içinde özellik değerleri nümeriktir. Uygulamalar yapılırken özellik değerlerini [0,1] aralığına ölçeklendirmek için sklearn kütüphanesinde bulunan MinMaxScaler yönteminden yararlanılmıştır (sklearn, 2021). Ölçeklendirmenin amacı daha doğru sonuçları daha hızlı bir şekilde elde edebilmektir. Sonraki aşamada özellik seçim işlemi gerçekleştirilmiş ve özelliklerden sınıflandırma işleminde ağırlık değeri yüksek olanlar seçilmiştir. Özellik seçiminde eşik değeri 0,001 değeri seçilmiş ve bu değeri aşmayan özellikler eğitim ve test süreçlerinde kullanılmamıştır.

### Sınıflandırma

Bu bölümde yapılan uygulamalarda kullanılan OneVsOne, Karar Ağacı ve Çok Katmanlı Algılayıcı sınıflandırıcıları ile ilgili bilgiler verilmiştir.

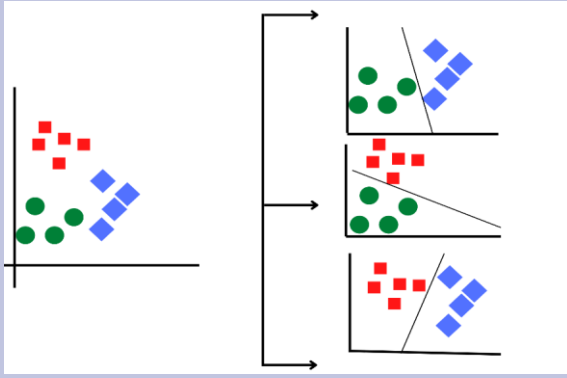
#### OneVsOne Sınıflandırıcı

Sınıf çifti başına bir sınıflandırıcı oluşturarak, tahmin zamanında en çok oyu alan sınıfı seçerek ikili sınıflandırıcılar tarafından hesaplanan ikili sınıflandırma güven düzeylerini toplama yoluyla en yüksek toplam sınıflandırma güvenine sahip sınıfı seçen bir algoritma olduğu söylenebilir (scikit-learn, 2020). Algoritmanın ikili sınıflandırıcıların çoklu sınıflandırıcılar olarak çalışmasını sağlayan bir yöntem olduğu belirtilmektedir (Verma, 2022). OneVsOne sınıflandırıcısının ikili sınıflandırma yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir.

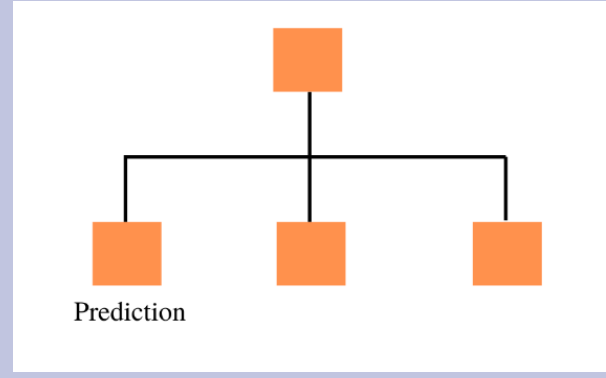
OneVsOne Sınıflandırıcısında karşılaşılan problemin, ikili sınıflandırıcıların optimal olmasına rağmen, elde edilen kombinasyonun global olarak optimum olmasının gerekmediği öne sürülmüştür (Galar, Barrenechea, Fernandez, & Herrera, 2014).

#### Karar Ağacı

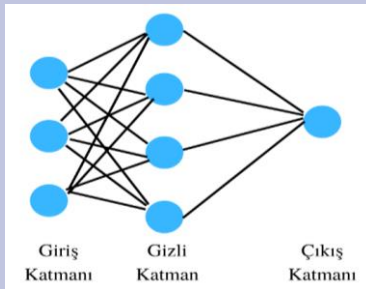
Ağaç tabanlı algoritmaların hem sınıflandırma hem de regresyon için ilgili parametrik olmayan ve denetimli yöntemlerin öne çıkan bir üyesi olduğu söylenebilir (Kurama, 2020). Bir karar ağacının, kök düğümünden başlayan herhangi bir yolun, yaprak düğümünde bir boolean sonuç elde edilene kadar bir veri ayırma dizisi ile tanımlandığı ağaç tabanlı bir teknik olduğu belirtilmiştir (Jijo & Abdulazeez, 2021). Verilerin kök düğümünden başlayarak yaprak düğümlerde ayrıştırılma süreci Şekil 2'de gösterilmiştir.



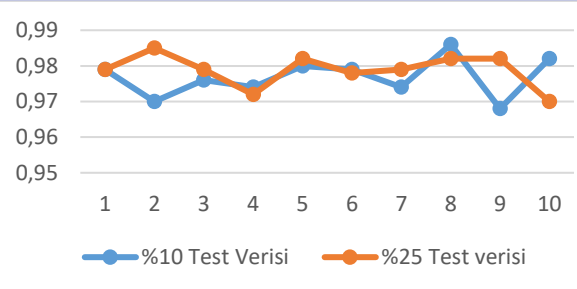
Şekil 1 OneVsOne sınıflandırıcı  
Figure 1. OneVsOne classifier



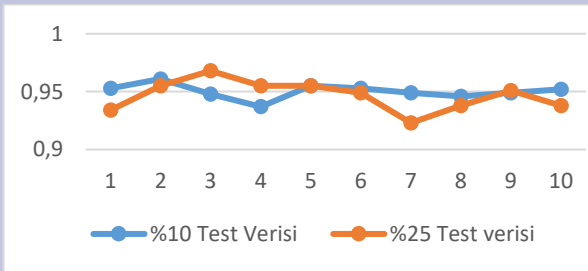
Şekil 2 Karar Ağacı  
Figure 2. Decision Tree



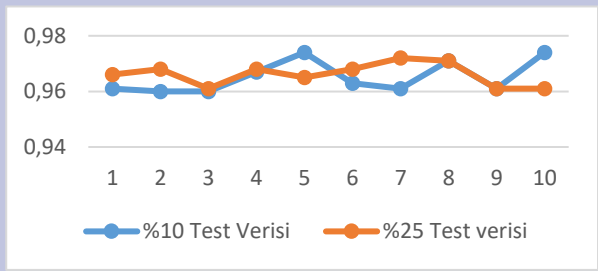
Şekil 3 Çok Katmanlı Algılayıcı  
Figure 3. Multi-layer Perceptron



Şekil 4 OneVsOne sınıflandırıcı çapraz doğrulama sonuçları  
Figure 4. OneVsOne classifier cross validation results



Şekil 5 Karar Ağacı sınıflandırıcı çapraz doğrulama sonuçları  
Figure 5. Decision Tree classifier cross validation results



Şekil 6 Çok katmanlı algılayıcı çapraz doğrulama sonuçları  
Figure 6. Multi-layer Perceptron cross validation results

Her yaprağın, en uygun hedef değeri temsil eden bir sınıfa atanabildiği ve alternatif olarak yaprağın, hedef özelliğın belirli bir değere sahip olma olasılığını gösteren bir olasılık vektörü tutabildiği vurgulanmıştır (Rokach & Maimon, 2005).

#### Çok Katmanlı Algılayıcı

(Noriega, 2005)' e göre çok katmanlı algılayıcı, örüntü tanıma ve enterpolasyon dahil olmak üzere bir dizi farklı sorunun çözümü için yaygın olarak kullanılan bir yapay sinir ağı örneği olarak kabul edilebilir. Çok katmanlı yapay sinir ağlarının, derin öğrenmenin ayrılmaz bir parçası olarak temellerini oluşturduğu öne sürülmektedir (Simplilearn, 2022). Şekil 3'te üç girişten oluşan giriş katmanı, dört nörondan oluşan bir gizli katman ve bir çıkıştan oluşan örnek çok katmanlı algılayıcı modeli gösterilmiştir.

Sınıflandırma problemlerinin çözümünde kullanılabilen çok katmanlı algılayıcılar, giriş ve çıkış katmanları ile birlikte istenilen sayıda nörondan oluşan birden çok gizli katmanları da içerebilmektedirler (Chai, ve diğerleri, 2021).

#### Bulgular ve Tartışma

Çalışmada aktivite tanınması amacıyla OneVsOne, karar ağacı ve çok katmanlı algılayıcı sınıflandırıcıları kullanılmıştır. Çok katmanlı algılayıcı modelinde iterasyon sayısı 1000, solver parametresi 'sgd' ve aktivasyon fonksiyonu 'relu' olarak seçilmiştir. Her sınıflandırıcı modeli için iki farklı uygulama yapılmış, ilk uygulamada veri setinin %90'ı model eğitimi %10'u test verisi, ikinci uygulamada ise %75'i model eğitimi %25'i test verisi olarak ayrılmıştır. Sınıflandırıcı modellerin performanslarının izlenmesi amacıyla çapraz doğrulama yöntemi uygulanarak veri seti



10 parçaya bölünmüş ve modellerden elde edilen doğrulama sonuçları izlenmiştir.

Tablo 2 OneVsOne sınıflandırıcı test sonuçları

Table 2. OneVsOne classifier test results

| %75 Eğitim %25 Test verisi<br>%75 Train %25 Test Data |      |       |       |      |      |       | %90 Eğitim %10 Test verisi<br>%90 Train %10 Test Data |       |       |       |       |      |     |
|---|------|-------|-------|------|------|-------|---|-------|-------|-------|-------|------|-----|
| 1   | 0,88 | 0,0   | 0,12  | 0,0  | 0,0  | 0,0   | 1   | 1,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0 |
| 2   | 0,15 | 0,51  | 0,31  | 0,0  | 0,0  | 0,034 | 2   | 0,13  | 0,83  | 0,032 | 0,0   | 0,0  | 0,0 |
| 3   | 0,0  | 0,0   | 1,0   | 0,0  | 0,0  | 0,0   | 3   | 0,0   | 0,0   | 1,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0 |
| 4   | 0,0  | 0,006 | 0,003 | 0,95 | 0,02 | 0,017 | 4   | 0,0   | 0,014 | 0,0   | 0,71  | 0,28 | 0,0 |
| 5   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,51 | 0,49 | 0,0   | 5   | 0,006 | 0,0   | 0,0   | 0,045 | 0,95 | 0,0 |
| 6   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0  | 1,0   | 6   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 1,0 |
|   | 1    | 2     | 3     | 4    | 5    | 6     |   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5    | 6   |

Tablo 3 Karar Ağacı sınıflandırıcı test sonuçları

Table 3. Decision Tree classifier test results

| %75 Eğitim %25 Test verisi<br>%75 Train %25 Test Data |       |       |      |      |      |     | %90 Eğitim %10 Test verisi<br>%90 Train %10 Test Data |       |      |       |      |      |     |
|---|-------|-------|------|------|------|-----|---|-------|------|-------|------|------|-----|
| 1   | 0,74  | 0,066 | 0,19 | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 1   | 0,54  | 0,41 | 0,048 | 0,0  | 0,0  | 0,0 |
| 2   | 0,14  | 0,52  | 0,34 | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 2   | 0,11  | 0,76 | 0,13  | 0,0  | 0,0  | 0,0 |
| 3   | 0,05  | 0,05  | 0,9  | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 3   | 0,069 | 0,2  | 0,74  | 0,0  | 0,0  | 0,0 |
| 4   | 0,003 | 0,003 | 0,0  | 0,85 | 0,14 | 0,0 | 4   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,66 | 0,34 | 0,0 |
| 5   | 0,003 | 0,0   | 0,0  | 0,71 | 0,28 | 0,0 | 5   | 0,007 | 0,0  | 0,0   | 0,35 | 0,64 | 0,0 |
| 6   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 1,0 | 6   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0  | 0,0  | 1,0 |
|   | 1     | 2     | 3    | 4    | 5    | 6   |   | 1     | 2    | 3     | 4    | 5    | 6   |

Tablo 4 Çok katmanlı algılayıcı sınıflandırıcı test sonuçları

Table 4. Multi-layer perceptron classifier test results

| %75 Eğitim %25 Test verisi<br>%75 Train %25 Test Data |      |       |       |      |      |      | %90 Eğitim %10 Test verisi<br>%90 Train %10 Test Data |      |      |     |       |      |     |
|---|------|-------|-------|------|------|------|---|------|------|-----|-------|------|-----|
| 1   | 0,9  | 0,0   | 0,097 | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 1   | 1,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0   | 0,0  | 0,0 |
| 2   | 0,03 | 0,83  | 0,14  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 2   | 0,11 | 0,89 | 0,0 | 0,0   | 0,0  | 0,0 |
| 3   | 0,0  | 0,0   | 1,0   | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 3   | 0,0  | 0,0  | 1,0 | 0,0   | 0,0  | 0,0 |
| 4   | 0,0  | 0,006 | 0,0   | 0,98 | 0,0  | 0,01 | 4   | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,83  | 0,17 | 0,0 |
| 5   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,79 | 0,21 | 0,0  | 5   | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,046 | 0,95 | 0,0 |
| 6   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0  | 1,0  | 6   | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0   | 0,0  | 1,0 |
|   | 1    | 2     | 3     | 4    | 5    | 6    |   | 1    | 2    | 3   | 4     | 5    | 6   |

Şekil 4'e göre OneVsOne sınıflandırıcısı ile yapılan uygulamada çapraz doğrulama ile en yüksek doğruluk oranı %10 test verisi ile %98,6 ile elde edilmiştir. Model eğitimi sırasında en düşük doğruluk oranı %96,8 ile %10 test verisiyle elde edilmiştir. Şekil 5'de karar ağacı sınıflandırıcısı ile elde edilen çapraz doğrulama sonuçlarına göre en yüksek doğruluk değeri %96,8 ile %25 test verisinde elde edilmiştir. Şekil 6'te çok katmanlı algılayıcı modeli ile çapraz doğrulama sonucu elde edilen doğruluk değerlerinde %10 test verisi ile en yüksek %97,4'lük doğruluk oranı ile görülmektedir.

Elde edilen doğrulama oranlarının birbirine yakın değerler olması, modeller ile elde edilen aktivite tanıma sonuçlarının tutarlı olduğunu göstermektedir.

Tablo 2' e göre en iyi sonuçların veri seti %90 eğitim %10 test olarak bölündüğünde elde edildiği görülmektedir. Bu durumda yürüme, inme ve uzanma aktivitelerinin tamamının model tarafından doğru tahmin edildiği görülmüştür. Tırmanma aktivitesinin %83'ü doğru tahmin edilirken aktivitenin %13'ü yürüme aktivitesi olarak sınıflandırılmıştır.

Tablo 3'de görüldüğü üzere karar ağacı ile oluşturulan modelde, veri setinin %75 ve %90 eğitim amaçlı bölünmesiyle ortaya çıkan sonuçlarda yalnızca uzanma

aktivitesinin tamamı doğru sınıflandırılmıştır. İki farklı uygulama yapılırken model her bir uygulamada farklı sınıflarda başarı sağlamıştır. Örneğin yapılan ilk uygulamada yürüme aktivitesini %74 doğru tahmin ederken ikinci uygulamada %54 doğruluk oranı elde edildiği görülmektedir. En düşük başarı oranının %75 eğitim verisi ile bekleme aktivitesinde elde edildiği, aktivitenin %71'inin oturma aktivitesi olarak tahmin edildiği görülmektedir. İki aktivitenin vücut pozisyonu değişmeksizin benzer şekilde hareketsizlik içermesi bu duruma neden olmuş olabilir.

Tablo 4'e göre çok katmanlı algılayıcı ile oluşturulan model, yapılan ikinci uygulamada veri setinin %90'ı ile eğitildiğinde aktivite tanımadada daha başarılı olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin modelin daha fazla örnekle eğitilmesi olduğu söylenebilir. Bu durumda model yürüme, inme, uzanma aktivitelerinin tamamını doğru tahmin etmiştir.

İki farklı makine öğrenmesi modeli ve bir derin öğrenme modeli ile yapılan uygulamalarda en iyi sonuçların çok katmanlı algılayıcı algoritması kullanılarak oluşturulan modelde %90 eğitim verisi ile elde edildiği görülmektedir. Yöntemlerin bir veri setiyle kullanılması çalışmanın sınırlılıklarındandır. (Anguita, Ghio, Oneto,

Parra, & Ortiz, 2012) aynı veri setini kullanarak yaptıkları aktivite tanıma yönelik çalışmada, Multi Class Support Vector Machine (MC-SVM) ve Multi Class Hardware Friendly Support Vector Machine (MC-HF-SVM) modellerini kullanarak, yalnızca uzanma aktivitesinde %100'lük başarı oranı elde ederken, en düşük başarı oranını tırmanma aktivitesinde %69,8 oranıyla elde etmişlerdir.

(Abidine & Fergani, 2021) akıllı telefon sensör verileri ile aktivite tanıma yönelik yaptıkları çalışmada yöntem önerisinde bulunmuşlar ve farklı veri setleri üzerinde test etmişlerdir. Aktivite tanıma en yüksek doğruluk oranını %99 ile uzanma aktivitesinde, en düşük doğruluk oranını %66,1 ile tırmanma aktivitesinde elde etmişlerdir.

## Sonuç

Akıllı cihazların günümüzde kolay ulaşılabilir olması ve taşıdıkları sensörlerden anlık veri akışının sağlanabilmesi aktivite tanıma çalışmalarına olanak sağlamaktadır. İnsan aktivitelerinin gerçek zamanlı olarak tanımlanması, aktiviteleri takip edilmesi gereken hastaların izlenmesi, güvenlik vb. alanlarda günlük problemlerin çözümüne katkı sağlayabilecektir.

Bu çalışmada akıllı telefon sensör verilerini kullanarak 6 farklı insan aktivitesinin sınıflandırılması konusunda, makine öğrenmesi yöntemlerini kullanarak farklı eğitim ve test veri oranlarıyla uygulamalar yaptık. En iyi çapraz doğruluk oranı %97,4 ile %90'luk eğitim %10'luk test verisi kullanılarak çok katmanlı algılayıcı modeliyle elde edilmiştir. Farklı katman ve nöron sayısına sahip geliştirilebilir derin öğrenme modelleri, daha fazla veriyle eğitildiğinde daha yüksek başarı oranlarının elde edilebileceği düşünülmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda hareket algılayan sensörlerin vücuttaki pozisyonları değiştirilerek daha fazla veriyle farklı makine öğrenmesi modelleriyle araştırma çalışmaları gerçekleştirilebilir.

## Kaynakça

- Abakloğlu, M. (2019). *The importance of internet (IOT) technology for smartcity and objects for the future cities*. İstanbul: Ulusal Tez Merkezi.
- Abidine, M. B., & Fergani, B. (2021). Activity Recognition From Smartphone Data Using WSVM-HMM Classification. *International Journal of E-Health and Medical Communications*, 20.
- Anguita, D., Ghio, A., Oneto, L., Parra, X., & Ortiz, J. (2012). Human Activity Recognition on Smartphones using a Multiclass Hardware-Friendly Support Vector Machine. *Ambient Assisted Living and Home Care*, 7657. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-642-35395-6\_30
- Chai, S. S., Cheah, L. W., Goh, K. L., Chang, Y. R., Sim, K. Y., & Chin, K. O. (2021). A Multilayer Perceptron Neural Network Model to Classify Hypertension in Adolescents Using Anthropometric Measurements: A Cross-Sectional Study in Sarawak. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 11. doi:10.1155/2021/2794888
- Choudhury, T., Consolvo, S., Harrison, B., Hightower, J., LaMarca, A., & LeGrand, L. (2008). The Mobile Sensing Platform: An

- Embedded Activity Recognition System. *IEEE Pervasive Computing*, 32-41. doi:10.1109/MPRV.2008.39
- Ferrari, A., Micucci, D., Mobilio, M., & Napolitano, P. (2021). Trends in human activity recognition using smartphones. *Journal of Reliable Intelligent Environments*, 189-213. doi:10.1007/s40860-021-00147-0
- Galar, M., Barrenechea, E., Fernandez, A., & Herrera, F. (2014). Enhancing difficult classes in one-vs-one classifier fusion strategy using restricted equivalence functions. *FUSION 2014 - 17th International Conference on Information Fusion*. . Salamanca: ResearchGate.
- Jijo, B. T., & Abdulazeez, A. M. (2021). Classification Based on Decision Tree Algorithm for Machine Learning. *Journal of Applied Science and Technology Trends*, 20-28. doi:10.38094/jastt20165
- Kaur, P., Kumar, R., & Kumar, M. (2019). A healthcare monitoring system using random forest and internet of things (IoT). *Multimedia Tools and Applications*, 19905-19916. doi:10.1007/s11042-019-7327-8
- Kurama, V. (2020, 1 1). *A Complete Guide to Decision Trees*. 4 18, 2022 tarihinde <https://blog.paperspace.com/>: <https://blog.paperspace.com/decision-trees/> adresinden alındı
- Ma, J., Cheng, J., Ding, Y., Lin, C., Jiang, F., Wang, M., & Zhai, C. (2020). Transfer learning for long-interval consecutive missing values imputation without external features in air pollution time series. *Advanced Engineering Informatics*, 101092. doi:10.1016/j.aei.2020.101092
- Mourtzis, D., Vlachou, E., & Milas, N. (2016). Industrial Big Data as a Result of IoT Adoption in Manufacturing. *Procedia CIRP*, 290-295. doi:10.1016/j.procir.2016.07.038
- Muscillo, R., Conforto, S., Schmid, M., Caselli, P., & D'Alessio, T. (2007). Classification of Motor Activities through Derivative Dynamic Time Warping applied on Accelerometer Data. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference* (s. 4930-3). PubMed. doi:10.1109/IEMBS.2007.4353446
- Noriega, L. (2005, 11 17). *Multilayer Perceptron Tutorial*. 4 19, 2022 tarihinde <http://citeseerx.ist.psu.edu/>: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.608.2530&rep=rep1&type=pdf> adresinden alındı
- Ortiz, J., Anguita, D., Ghio, A., Oneto, L., & Parra, X. (2012, 10 12). *Human Activity Recognition Using Smartphones Dataset*. 4 16, 2022 tarihinde UCI Machine Learning Repository: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/human+activity+recognition+using+smartphones> adresinden alındı
- Rokach, L., & Maimon, O. (2005, 1 1). *Decision Trees*. doi:10.1007/0-387-25465-X\_9
- Sakacı, B. (2018). *Askeri Personel İçin Akıllı Kıyafet Tasarımı*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.
- scikit-learn. (2020, 1 1). *Multiclass and multioutput algorithms*. 4 20, 2022 tarihinde [scikit-learn.org: https://scikit-learn.org/stable/modules/multiclass.html#multiclass-classification](https://scikit-learn.org/stable/modules/multiclass.html#multiclass-classification) adresinden alındı
- Sehrawat, D., & Gill, N. S. (2019). Smart Sensors: Analysis of Different Types of IoT Sensors. *3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)* (s. 523-528). Tirunelveli, India: IEEE. doi:10.1109/ICOEI.2019.8862778
- Simplilearn. (2022, 2 21). *An Overview on Multilayer Perceptron (MLP)*. 4 20, 2022 tarihinde <https://www.simplilearn.com/>: <https://www.simplilearn.com/tutorials/deep-learning-tutorial/multilayer-perceptron> adresinden alındı
- sklearn. (2021). *sklearn.preprocessing.MinMaxScaler*. 4 22, 2022 tarihinde [scikit-learn.org: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.preprocessing.MinMaxScaler.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.preprocessing.MinMaxScaler.html) adresinden alındı

- Su, X., & Ji, P. (2014). Activity Recognition with Smartphone Sensors. *TSINGHUA SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 235-349. doi:10.1109/TST.2014.6838194
- Verma, Y. (2022, 4 7). *One vs One, One vs Rest with SVM for multi-class classification*. 4 20, 2022 tarihinde analyticsindiamag.com: <https://analyticsindiamag.com/one-vs-one-one-vs-rest-with-svm-for-multi-class-classification/> adresinden alındı



## Investigation of Occupational Health and Safety of a Building During Construction and Determination of Necessary Measures

Yeliz Alnak<sup>1,a</sup>, Bekir Gündar<sup>2,b\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Technology, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye

<sup>2</sup>Institute of Science, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 08/04/2022

Accepted: 20/05/2022

### ABSTRACT

The construction industry is among the dangerous business lines. As in many countries in the world, occupational accidents in the construction sector pose great problems for our country. The priority of production over people is one of the main reasons for the increase in occupational accidents.

In the study, first of all, the employer, the site supervisors and the workers working in the building construction met and exchanged views on many issues such as what stages the building went through, what kind of tools and equipment are needed, what level of competence is required in the work done, and the problems encountered. What should be done and what should be done was consulted. At what times and in which age group occupational accidents occur, especially in which occupation the workers have more occupational accidents and the most common accident types are discussed. Occupational health and safety controls will be provided for the same level conditions of the newly constructed and under construction buildings, and comparisons will be made among themselves. Among these compared buildings; The detection of dangerous situations and behaviors in terms of occupational safety, the use of tools used in construction, the use of personal protective equipment during work, compliance with safety distances, whether necessary precautions are taken in the dangerous and risky areas of the building are controlled and reported.

The types of accidents that may occur during the construction of a building have been determined, ideas will be exchanged with people who do the same job in the construction of the building, and information is given about the occupational safety measures to be taken about possible accidents. As a result of these controls, risk analyzes were made and necessary measures were determined to prevent accidents.

**Keywords:** Risk analysis, hazard identification, construction accidents, Fine - Kinney

## Bir Binanın İnşaat Aşamasındaki İş Sağlığı ve Güvenliğinin İncelenmesi ve Gerekli Önlemlerinin Belirlenmesi

#### Süreç

Geliş: 08/04/2022

Kabul: 20/05/2022

### Öz

İnşaat sektörü, tehlikeli iş kolları arasında yer almaktadır. Dünyadaki birçok ülkede olduğu gibi inşaat sektöründeki iş kazaları ülkemiz için de büyük sorunlar teşkil etmektedir. İnsan yerine üretimin öncelikli olması, iş kazalarının artmasının temel nedenlerinden biridir.

Çalışmada, ilk olarak işveren, şantiye şefleri ve bina yapımında çalışan işçiler ile bir araya gelerek bina yapımının hangi aşamalardan geçtiği, hangi tür araç-gereç ve aletlere ihtiyaç duyulduğu, yapılan işte ne derecede yetkinlik gerektiği, karşılaşılan sorunların ne olduğu gibi birçok konuda görüş alış veriş yapıp olması gerekenler istişare edilmiştir. İş kazalarının hangi saatlerde ve daha çok hangi yaş grubunda olduğu, özellikle hangi mesleği yapan işçilerin daha fazla iş kazası geçirdiği ve en çok rastlanan kaza tipleri tartışılmıştır. Yeni yapılacak ve yapım aşamasında olan binaların aynı düzeydeki durumları için iş sağlığı ve güvenliği yönünden kontrolleri sağlanıp kendi aralarında karşılaştırılmaları yapılacaktır. Karşılaştırılan bu binalar arasında; iş güvenliği yönünden tehlikeli durumların ve davranışların tespiti, inşaatla kullanılan aletlerin kullanımı, çalışma esnasında kişisel koruyucu donanım kullanımı, emniyet mesafelerine uyum, binanın tehlike ve risk içeren bölgelerinde gerekli tedbirler alınıp alınmadığı kontrol edilerek raporlanmıştır.

Bir binanın yapım aşamasında meydana gelebilecek kaza tipleri tespit edilmiş, bina yapımında aynı mesleği yapan kişilerle fikir alışverişi yapılarak olası kazalar hakkında alınması gereken iş güvenliği önlemleri ile ilgili bilgilendirme yapılmıştır. Yapılan bu kontroller neticesinde risk analizleri yapılmış ve kazaların önlenmesi için gerekli olan tedbirler belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Risk analizi, tehlike tanımlama, inşaat kazaları, Fine - Kinney

#### License



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

[ytas@cumhuriyet.edu.tr](mailto:ytas@cumhuriyet.edu.tr)

<https://orcid.org/0000-0003-4383-3806>

[Bekir.gondar@hotmail.com](mailto:Bekir.gondar@hotmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-1342-8500>

**How to Cite:** Alnak Y, Gündar B. (2022) Investigation of Occupational Health and Safety of a Building During Construction and Determination of Necessary Measures, Journal of Science and Technology, 1(1): 15-23. .

## Giriş

İş Sağlığı ve Güvenliği, bir kuruluşun gerçekleştirdiği faaliyetlerden etkilenen tüm insanların (Çalışanların, geçici işçilerin, taşeron çalışanlarının, ziyaretçilerin, müşterilerin ve işyerindeki herhangi bir kişinin) sağlığına ve güvenliğine etki eden faktörler ve koşulların bütünüdür. İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi ise kuruluşlarda karşılaşılan en önemli insan kaynakları sorunlarından biri olup çalışanların emniyetli ve sağlıklı bir çalışma ortamına sahip olmalarını sağlamaya mecburdur. İşyerlerinde işin yürütümü esnasında çeşitli nedenlerden kaynaklanan sağlığa zarar verebilecek kaza ve diğer etkenlerden korunmak ve daha iyi çalışma ortamı sağlamak amacıyla sistemli ve bilimsel bir şekilde tehlikelerin ve risklerin belirlenmesi ve bu tehlikelere ve risklere yönelik önlemlerin alınması çalışmalarının gerçekleştirildiği bir yaklaşımdır. İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi, iş sağlığı ve güvenliği faaliyetlerinin, kuruluşların genel stratejileri ile uyumlu olacak biçimde sistematik bir şekilde ele alınarak sürekli iyileştirme yaklaşımı çerçevesinde çözümlenmesi için kullanılan bir araçtır (İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri, TİSK, 2011).

Çağımızda teknolojideki gelişmeler oldukça hızla gerçekleşse de, iş sağlığı ve güvenliği koşullarında bir gelişmeden çok, gerilemeden söz etmek daha anlamlıdır. Sürekli kutsanan teknolojik gelişme ve küreselleşme kavramlarının üretimin yegâne amacı olması gereken insan refahına hizmet etmediği, üretim sürecinde çalışanların çalışma koşullarında kimi gelişkin örnekler sayılmazsa genel bir kötüye gidiş olduğu söylenebilir (Müngen, 2011).

2000'li yıllarda, işe ve işin yürütüm koşullarına bağlı ölüm, yaralanma ve hastalık halinin yeterince kontrol edilemiyor ve büyük ölçüde önlenemiyor olması düşündürücüdür. Bu bakımdan iş sağlığı ve güvenliği kavramlarının, modern yönetimi kavramlarının yanı sıra başka ilkelere biri olması gerektiği vurgulanmalıdır. Bu 2 yaklaşım, yalnızca çalışanların sağlık koşulları açısından değil, uzun vadede verimliliği ve üretimi de arttıran bir faktör olarak görülmelidir. Bu hususlar göz önünde bulundurulduğunda, yöneticilerin çalışanlarını ve işi etkileyen sağlık ve güvenlik risklerini analiz etmek ve bu riskleri kontrol altına almak üzere sistematik, sürekliliği sağlanmış bir "yönetim programı" uygulaması gerekmektedir. 30.06.2012' de Resmî Gazete 'de yayımlanan '6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu' işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması ve mevcut sağlık ve güvenlik şartlarının iyileştirilmesi için işveren ve çalışanların görev, yetki, sorumluluk, hak ve yükümlülüklerini düzenlemek amacıyla işletmelere hem yasal bir zorunluluk getirmiş hem de OHSAS 18001 'den farklı olarak iş kazalarını ve meslek hastalıklarını en aza indirmek adına öncü bir yasa olarak karşımıza çıkmıştır.

Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) ile Dünya Sağlık Örgütü (WHO) İş Sağlığı ve Güvenliği Ortak Komisyonunda işçi sağlığının esasları şöyle belirlenmiştir:

- Bütün iş kollarında işçinin fiziksel, ruhsal ve sosyo-ekonomik bakımdan sağlığını en üst düzeye çıkarmak ve bunun devamını sağlamak.

- Çalışma şartları ve kullanılan zararlı maddeler nedeni ile işçi sağlığının bozulmasını engellemek.
- Her işçiyi kendi fiziksel ve ruhsal yapısına uygun işte çalıştırmak.
- Özet olarak işin, işçiye ve işçinin işe uyumunu sağlamaktır ( International labour organization, Convention 161, 1988).

Belirlenen amaçlara ulaşmak, dolayısıyla, iş kazalarını ve meslek hastalıklarını önlemek için İSGYS'ne üç temel görev düşmektedir. Bunlar:

- Tehlikeleri tanımlamak,
- Her tehlike için riskin boyutunu tahmin etmek ve saptamak
- Riskin kabul edilebilir olup olmadığına karar vermek ve riski kontrol altına almaktır.

Çalışma hayatını, üretkenliği ve bunlara bağlı olarak işletmelerin karlılıklarını etkileyen bu tip olaylara önlem almak için, öncelikle mevcut durumun analizi yapılarak risklerin tespit edildiği, bu riskleri yok etmek için yasal yönetmelik, mevzuat ve kanunlara entegre programların oluşturulduğu ve uygulandığı, bütün çalışmaların belli bir sistematik içerisinde doküman edildiği ve ilgilenenlere duyurulduğu, bu yürütülmekte olan çalışmaların izlenip denetlendiği bir takım yönetim sistemleri uygulanmaktadır. Bu sistemlere 'İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri' denir (Uluslararası Çalışma Örgütü Rehberi, AB çerçeve direktifi, 2011).

İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim sistemi ile ilgili dünyada uygulanan standartlar kanunlar ve dokümantasyonları hazırlayan organizasyonlardan bazıları şunlardır:

- American Petroleum Institute (API)
- National Fire Protection Association (ASME)
- Standarts New Zealand (SNZ)
- British Standarts Institute (BSI)
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA)
- Occupational Safety and Health Service
- NZ Chemical Industry Council • Standards Australia
- International Organization for Standardization (İSO)

Bu çalışmada, binaların yapım aşamalarında meydana gelebilecek iş kazalarını en aza indirmeyi hedeflemektedir. Bu süreçte gerek bina çevresinde gerekse bina içinde riskli hareketler önlenerek yapılan işlerde gerekli güvenlik önlemleri alınması sağlanarak süreklilik arz eden ve lokomotif bir sektör olan bina yapım işinde herhangi bir iş kesintisine meydan vermeden verimliliği artırmak, işçi ve işverenin ruh sağlığını ve psikolojisini olumlu yönde etkilemek, binanın yapımında kilit varlık olan işçinin kendisini güvende hissetmesini ve bilinçlenmesini sağlamak, meydana gelebilecek meslek hastalıklarının ve uzuv kayıplarının ya da ölümle sonuçlanabilecek iş kazalarının önüne geçerek kalifiye elemana zarar gelmesini önleyip bina yapımında herhangi bir kesintiye meydan vermeden sürekliliği sağlamak amaçlanmıştır.

İnşaat aşamasındaki iş sağlığı ve güvenliğinin incelenmesi ve gerekli önlemlerin belirlenmesi çalışması

29.12.2012 tarih, 28512 numaralı resmi gazetede yayınlanan 'İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu' ve 4857 nolu 'İş Kanunu' dikkate alınarak hazırlanmıştır. Bunun dışında çalışmalarda konu ile ilgili işveren <http://www.mevzuat.gov.tr> ve <http://www.csgb.gov.tr> internet sayfalarını sürekli olarak incelemeli ve takip etmelidir.

İnşaat aşamasındaki, iş sağlığı ve güvenliğinin incelenmesi ve gerekli önlemlerin belirlenmesi için yapılan çalışmalar Sivas merkezdeki birçok inşaatla yapılmış olup şantiyedeki kazı, olgu, kalıp, beton, makine, tesisat, montaj firma sorumluları, tüm çalışanları ve şantiye alanını kapsamaktadır (Altay, 2015).

İnşaat aşamasındaki iş sağlığı ve güvenliğinin incelenmesi ve gerekli önlemlerin belirlenmesi çalışmasında işveren; bütün sorumlulukları almak ve eğitim, bilgilendirme, kişisel koruyucu donanım gibi bütün donanımları sağlamakla yükümlüdür.

### Fine - Kinney Risk Analizi Yöntemi

Bir inşaat projesinin uygulanmasında iş güvenliğini sağlamak için öncelikle yapılması gereken hiç şüphesiz konuyla ilgili yasa, tüzük ve yönetmelik maddelerini izlemek ve eksiksiz olarak uygulamaktır. Ancak başarılı olmayı sağlayacak ek bilgilerin ve deneyimlerin de büyük önemi vardır. Ülkemizin ve inşaat sektörümüzün çalışma koşullarına dayalı bulgularının bu bağlamda katkısı büyüktür. Örneğin; inşaat sektörümüzdeki iş kazaları hangi çalışma saatlerinde, haftanın hangi günlerinde, yılın hangi aylarında yoğunlaşmaktadır. Hangi tür ve hangi büyüklükteki şantiyelerde daha çok iş kazasına rastlanmaktadır. Hangi nitelikteki elemanlar, hangi yaş grupları, hangi işlerde çalışanlar daha çok iş kazasına uğramaktadır. En çok rastlanan kaza tipleri nelerdir? Bunların alt gruplarının ayrımı nasıldır. Şantiye türlerine ve iş kalemlerine göre hangi kaza tipleri ön plana çıkmaktadır. Bu tür bulgular iş güvenliğini sağlamaya yönelik önlemlerin daha etkin bir biçimde alınmasını sağlayacaktır.

İş kazası sonucu her yıl çok sayıda inşaat işçisi yaşamını yitirmekte veya sakat kalmakta olup sosyal ve ekonomik açıdan önemli sorunlar ve kayıplar gündeme gelmektedir. İşveren işçiyi meydana gelebilecek tehlike ve risklerden koruyarak herhangi bir kaza olmasını önleyip üretimin devamını sağlamalıdır. Oluşabilecek herhangi bir kazayı önlemek içinde söz konusu iş yerinde risklerin ve tehlikeli davranışların belirlenip değerlendirilmesine gerek duyulmaktadır.

29.12.2012 Tarih, 28512 nolu resmi gazetede yayınlanan 'İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği' dikkate alınarak uygulamalar gerçekleştirilir. Şantiye alanında meydana gelen tehlikeler Fine-Kinney risk değerlendirme yöntemine göre değerlendirilir. Aşağıda verilen tablodaki risklerin puanlamasında olasılık, şiddet, frekans değerleri kullanılarak yapılmıştır.

İhtimal(Olasılık): Zarar ya da hasarın zaman içerisinde gerçekleşme olasılığıdır. (0,2 ile 10 arasındadır)

Tablo 1. Olasılık Değerleri

Table 1. Probability Values

| Değer | Kategori               |
|-------|------------------------|
| 0,2   | Pratik olarak imkânsız |
| 0,5   | Zayıf ihtimal          |
| 1     | Oldukça düşük ihtimal  |
| 3     | Nadir fakat olabilir   |
| 6     | Kuvvetle muhtemel      |
| 10    | Çok kuvvetli ihtimal   |

Şiddet (S): Tehlikenin insan veya çevre üzerinde yaratacağı tahmini zarardır.

Tablo 2. Şiddet Değerleri

Table 2. Violence Values

| Değer | Açıklama           | Kategori   |
|-------|--------------------|--|
| 1     | Dikkate alınmalı   | Ucuz atlatma   |
| 3     | Önemli             | Küçük hasar, iş kaybı, ilk yardım                        |
| 7     | Ciddi önemli zarar | Dış tedavi, iş günü kaybı                                |
| 15    | Çok ciddi          | Sakatlık, uzuv kaybı, çevresel etki                      |
| 40    | Çok kötü           | Ölüm, tam maluliyet, ağır çevre etkisi, meslek hastalığı |
| 100   | Felaket            | Toplu ölüm, önemli çevre felaketi                        |

Frekans(F): Zaman içerisinde tehlikeye maruz kalma tekrarıdır. (0,5 ile 10 arasındadır)

Tablo 2. Frekans Değerleri

Table 2. Violence Values

| Değer | Açıklama           | Kategori   |
|-------|--------------------|--|
| 1     | Dikkate alınmalı   | Ucuz atlatma   |
| 3     | Önemli             | Küçük hasar, iş kaybı, ilk yardım                        |
| 7     | Ciddi önemli zarar | Dış tedavi, iş günü kaybı                                |
| 15    | Çok ciddi          | Sakatlık, uzuv kaybı, çevresel etki                      |
| 40    | Çok kötü           | Ölüm, tam maluliyet, ağır çevre etkisi, meslek hastalığı |
| 100   | Felaket            | Toplu ölüm, önemli çevre felaketi                        |

### Risk Değerlendirme Puanı Hesaplama:

Risk değerlendirme puanı olasılık, şiddet, frekans puanlarının matematiksel olarak çarpılması ile hesaplanır. Mevcut tehlikeleri barındıran unsurlar içinse risk puanı hesaplanmış bulunan bu değerler her tehlikenin risk puanına eklenerek hesaplanır. Fine Kinney metodunda risk düzeyi, aşağıda gösterilmiş olan formülle hesaplanmıştır.

$$\text{RİSK DÜZEYİ} = \text{OLASILIK} \times \text{ŞİDDET} \times \text{FREKANS}$$

$$(R = O \times S \times F)$$

### Bulgular ve Tartışma

İnşaat sektöründeki 'iş' fiili olarak çok ağır şartlarda gerçekleştirilmektedir. Zaman zaman çok yüksekte zaman zaman çok havasız yerlerde, karanlık yerlerde, soğuk ortamlarda, sıcak ortamlarda iklim koşullarından doğrudan etkilenilen ortamlarda çalışılmaktadır. Bu şartlar, el emeği ile çalışılan bu ortamda çalışanları daha da güçsüz kılmaktadır. Ülkemizin ekonomik şartlarının da etkisi ile, sürekli çok ağır tempoda çalışmak zorunda kalan işçiler, genel olarak iş esnasında iş güvenliği önlemlerini alamamaktadırlar. Yeterli

önlem alınamaması ve çalışanların da kendini yeterince korumaması sebeplerinden dolayı inşaat sektörü hem ülkemizde hem de dünyada madencilik sektörü ile birlikte en çok iş kazasının ve en çok ölümlü iş kazasının olduğu sektördür (Hürgüner, 2013).

Sektör kazalarının en başında tüm dünya verilerine göre yüksekten düşmeler gelmektedir. Yüksekten düşmelerden sonra malzeme düşmesi veya bir parça çarpması gibi kazalar, elektrik çarpması, aynı seviyeden düşme, sıkışma gibi kazalar olmaktadır. Her bir kaza tipinin kendi içinde birçok çeşidi vardır. Örneğin yüksekten düşmeler, çatıdan düşme, merdivenden düşme, boşluktan düşme, döşemeden düşme vb. birçok değişik çalışma kaleminden dolayı meydana gelebilir. Bütün iş kalemleri için ayrı ayrı önlem alınması gerekmektedir. Şantiye ortamları iş kazalarının gerçekleşmesi için uygun ortamlardır. Sadece çalışanın emniyetli çalışması ve kendi kendini emniyete alması mümkün değildir. Çalışanlar, diğer çalışanların yaptıkları işlerden etkilenmektedir. Bunun için bir plan dahilinde iş güvenliği çalışmaları şantiyelerde yönetilmeli,

yapılan risk analizleri çerçevesinde bütün çalışanların korunacağı bir çalışma yapılmalıdır. İnşaat sektöründe meydana gelen iş kazalarının bir önemli özelliği de ölümlü sonuçlanan kaza sayısının çokluğudur. Türkiye'de tüm iş kazalarının %17,2' si sürekli iş görmezlikle sonuçlanmıştır. İnşaat sektöründe sürekli iş görmezlikle sonuçlanan kazalar %18,3 iken ölümlü sonuçlanan iş kazalarında bu oran %38,7'ye çıkmıştır (Aslan, 2008). Türkiye'deki tüm iş kazalarının %0,7' si ölümlü sonuçlanırken, inşaat sektöründeki iş kazalarının %1,5'i ölümlü sonuçlanmaktadır. İnşaat sektöründe yaşanan iş kazalarının sonuçlarının diğer meslek kollarına oranla daha büyük kayıplara sebep olduğu yapılan araştırmalarca gözlemlenmektedir. Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (ILO) verilerine göre, gelişmiş ülkelerde inşaat sektöründe iş görenlerin diğer sektörlerle oranla 3-4 kat daha fazla kaza riskine maruz kaldıkları görülmektedir. Bu oran gelişmekte olan ülkelerde 6 katına çıkmaktadır (Tüzel, 2012). Bu sebeple şantiyelerde oluşan iş kazalarının tipleri ve alt grupları belirlenerek önlemler almak daha kolay olacaktır.



Şekil 1. İskeleden Düşme  
Figure 1. Falling from Pier



Şekil 2. Beton Kalıbından Düşme  
Figure 2. Falling from Concrete Mold



Şekil 3. Çatı ve Oluk Montajı sırasında Düşme  
Figure 3. Falling During Roof and Gutter Installation



Şekil 4. Beton Kalıbında Demir Bağlama Esnasında Kalıp İçerisine Düşme, Uzun Sıkışması ve Demir Batması  
Figure 4. Falling into the Mold, Limb Impingement, and Iron Insertion During Rebar Bonding in Concrete Mold



Şekil 5. Şantiyedeki Makinelerin Yetkisiz Kişiler Tarafından Bakım ve Onarım Yapılması  
Figure 5. Maintenance and Repair of Machinery on the Site by Unauthorized Persons





Şekil 6. Şantiye Panosuna veya Panoya Bağlı Cihazlara Yüksek Akım Gelmesi Sonucu Cihazlarda Patlama veya Yanma  
Figure 6. Explosion or Burning of Devices Due to High Current Coming to Construction Site Panel or Devices Connected to the Panel

Yapılan araştırma sonuçları incelendiğinde şantiyelerde en çok iş kazası tipi %37,4 oranla insan düşmesi sonucu yaşandığı gözlemlenmektedir ve bu kaza tipinde ölüm oranı %42,9 olarak bulunmuştur. Diğer taraftan insan düşmesinden sonra %11,5 oranla uzuv kaptırma tipindeki kazaların yaşandığı tespit edilmiştir. Uzuv kaptırmalarında yaşanan iş kazası sonucu ölüm sayıları az iken yaralanma oranı %21,3 olarak bulunmuştur. Bu tür yaralanmalar sonucu vücut bütünlüğü bozulabileceği için geçici veya sürekli iş göremezlik oluşarak işgücü kaybı yaşanmaktadır. Elektrik çarpması şantiyelerdeki en büyük tehlikelerden biridir, tabloda da görüldüğü üzere elektrik çarpması sayısı diğer kaza tiplerinden az olmasına karşın yaşandığında iş kazasının ölümle sonuçlanma yüksektir ve bu oranı %12,2 olarak tespit edilmiştir.

TS EN 12810 ve TS EN 12811 standartlarına uygun olmayan iskele kullanılmıştır. Uyarı levhaları ve iskelede gerekli koruma korkulukları bulunmamaktadır. İnşaat alanına güvenlik şeridi çekilmemiştir. İşçiler KKD kullanmamışlardır (Şekil 1).

Alınması Gereken Önlemler:

- İskelede çalışan kişi dikkatli olmalıdır.
- Emniyet kemeri kullanılması zorunludur.
- Kullanılan iskelenin sağlamlık kontrolü yapılmalıdır. Taşıma kapasitesi levha ile asılmalıdır.
- İskele, yasa ve yönetmeliğe uygun seçilip kaliteli malzemeden yapılmış olanı tercih edilmelidir.
- İnşaatın durumuna göre asansörlü iskele seçilmelidir.
- K.K.D eşyaları eksiksiz kullanılmalıdır.

Gerekli KKD' ler kullanılmamıştır. Etrafta düşmeye sebep olacak gereksiz malzemeler bulunmaktadır (Şekil 2).

Alınması Gereken Önlemler:

- Etrafta düşmeye sebep olabilecek gereksiz malzemeler kaldırılmalıdır.

- K.K.D. eşyaları herhangi yaralanmaya(kesme, batma v.b) meydan vermemek için kullanılmalıdır.
- Kalıbın uç noktalarında çalışma esnasında emniyet kemeri kullanılmalıdır.
- Kalıp malzemesi kaliteli olmalı ve TS EN 197-1, TS EN 934 standartlarına uygun seçilmelidir (Hergüner, 2013).

Malzemeler vinç yardımıyla çatıya çıkarılmıştır. Rüzgârlı havada çalışma yapılmaktadır. Emniyet kemeriyle birlikte diğer KKD' ler kullanılmamıştır (Şekil 3).

Alınması Gereken Önlemler:

- Rüzgârlı ve yağmurlu havalarda çatıda çalışma yapılmamalıdır.
- Öncelikli olarak emniyet kemeri takılmalı ve beraberinde diğer KKD gereçleri kullanılmalıdır.
- Çatıya malzeme, varsa eğer asansörlü iskele ya da vinç yardımı ile çıkarılmalıdır.

Eldivenler yapılan işe uygun olmayıp kalıp üzerinde yürürken geniş tabanlı iş ayakkabıları tercih edilmemiştir (Şekil 4).

Alınması Gereken Önlemler:

- KKD eşyalarını öncelikli olarak eldiven, ayakkabı vb. tam teşekküllü kullanılmalıdır.
- Gereksiz demir parçaları çalışma alanı dışına çıkarılmalıdır.

Makine bakımları inşaat işçileri tarafından hiçbir KKD kullanılmadan yapılmaktadır (Şekil 5). Yetki belgeli ve alanında uzman kişiler tarafında makinelerin bakım ve onarımı yapılmalıdır.

Ölçülen akım değeri iş makinesinin plaka değerindeki akım değeriyle yaklaşık aynı olup normal düzeydedir. Pano etrafı dağınık bırakılmıştır (Şekil 6).

## Genel Sonuçlar ve Değerlendirme

Ekonomi içindeki etkisi, istihdam olanakları ile her dönemde yoğun olarak faaliyet gösteren inşaat sektörü büyük bir hızla varlığını sürdürmekte ve gelişmektedir. Ülkemizde inşaat sektörü birçok dünya ülkesinin ilerisinde, gerçekleştirilen ve taahhüt altına alınan projeler dünya ölçeğindedir. Yurtdışı müteahhitlik hizmetleri ölçeğine bakıldığında ülkemiz inşaat sektöründe dünyanın en ileri ülkelerinden biridir (Özen, 2016).

Sektörün yapım tekniklerinin gelişmesi, beraberinde gelişen hukuki gereklilikler ve artan devlet otoritesi, sektörün içindeki iş güvenliği çalışmalarını geliştirmeye zorlamaktadır.

İnşaat sektörü içindeki iş kazalarının incelendiği bu çalışmada, kazaların inşaat sektörüne özel sebepleri araştırılmış ve kazaların kök-neden ilişkisine ulaşılmaya çalışılmıştır.

Basit bir kazadan yola çıkarak, inşaat sektöründe iş kazaları ve iş güvenliği önlemleri ile ilgili en önemli iki sebebin 'Güvensiz Hareketleri' oluşturan çalışan kesimin eğitim eksikliği ve 'Güvensiz Durumları' oluşturan işveren kesiminin maliyet sorunudur. Kazaları incelendiği zaman yüksekten düşme kazalarının sayıca fazlalığı hem araştırmada hem de tüm ulusal ve uluslararası çalışmalarda görülmektedir. Özellikle inşaat sektöründe çok yoğun olarak çalışılan kalıp montajı, çelik imalatlar, bina cephe çalışmaları, mekanik imalatlar vb. birçok imalatda düşme riski bulunmaktadır (Pehlivan, 2016).

Düşme riski bulunan yerlerde yapılan çalışmalarda öncelikle düşme durdurma sistemleri kurulmalı ve bu sistemlerin kullanılması zorunlu hale getirilmelidir. Düşme durdurma sistemleri basit emniyet kemerleri dışında işçinin kolayca çalışmasını sağlayacak, güvenlik halatı, kilit sistemi gibi sistemlerden oluşmalıdır. Kurulan sistemde mühendisler de düşünülmeli tasarlanmalıdır. Yüksekteki çalışmalarda kafa koruyucu ekipman olarak kullandıkları baretlerin mutlaka çene bağı olmalıdır. Araştırmada incelenen yüksekten düşme kazalarındaki kafa yaralanmalarında düşme esnasında kafadan çıkan baretler olduğu görülmüştür. Düşme sonucu çarpma anında veya düşme esnasında kafanın olası darbelerden minimum seviyede etkilenmesi için kullanılan baretin mutlaka çene bağı ya da benzeri sistemi olması gerekmektedir.

Malzeme düşmesi ve çarpması kazalarına karşı alınması gereken önlemlerin başında eğitim gelmektedir. Ne yazık ki inşaat şantiyelerinde iş bitiminde moloz atımının önüne geçilmemektedir. İşçilerin malzemelerin taşınmasından doğan iş kaybını ve zamanı yemek için tamamen bilinçsizce aşağıya malzeme ve atık atmalarından dolayı sıklıkla kazalar olmaktadır. Modern iş güvenliği bilimi içinde malzeme atımı için özel şut sistemleri, malzeme düşmesini önlemek için ağ sistemleri, asansör sistemleri, kontrollü alan uygulamaları gibi birçok

örnek mevcuttur. Bu sistemler işveren için maliyet oluşturduğundan dolayı genellikle tercih edilmemektedir. Bu tür sistemlerin kurulmadığı şantiyelerde genel de malzeme ve atık binalardan aşağıya atılmamalı taşınarak indirilmelidir.

Şantiyelerde sayıca çok olan ancak kayıt altına alınması nispeten zor olan kesilme, batma, sıçrama gibi kazalar neticesinde meydana gelen küçük seviyeli yaralanmalar için şantiyelerde yeterli sayıda ilkyardım malzemesi olmalı ve şantiyede sürekli bir sağlık personeli bulundurulmalıdır. Yasal olarak da işyeri hekimi ve sağlık memurunun 50 kişiyi geçen ve endüstriden sayılan işyerlerinde zorunlu olarak bulundurulması gerekmektedir. Koşulların bulunduğu ve işçilerin ikamet ettiği şantiyelerde sağlık memurunun 24 saat bulundurulması ve bu tür küçük kazalarda müdahale etmesi çok önemlidir.

Malzeme sıçramalarından dolayı yüzün ve özellikle gözün korunması inşaat sektöründe genellikle ikinci planda kalmış bir korunma ihtiyacıdır. Yapılan birçok imalat çeşidinde, beton dökümünde, bir malzeme kesiminde, tuğla örülmesinde, alçı boya yapımında, zımpara yapılmasında, kalıba çivi çakılırken, betona çivi çakılırken göz korunması mutlaka sağlanmalıdır. Göze çapak kaçması ve buna benzer küçük malzeme kaçması kazaları sayıca çok fazla olmaktadır (Sofuoğlu, 2012).

Kişisel koruyucu malzeme kullanımı ve bu malzemelerin verimi ile ilgili netice alınabilmesi için malzemelerin belli standartların üzerinde alınması gerekmektedir. Ne yazık ki ülkemizde halen satışı kanunen yasak olmasına rağmen CE işareti taşımayan ürünler, kullanılması sakıncalı olan bel tipi emniyet kemerleri gibi malzemeler satılmaktadır. İş güvenliği konusunda çok detaylı bilgiye sahip olmayan herhangi bir işveren bu malzemeleri ucuz maliyet ile temin etmekte ve çalışanına vermektedir. Kalitesi düşük iş güvenliği malzemelerinin işçi tarafından kullanılması çok zordur. Ayağını sıkın veya yara yapan bir ayakkabının giyilmesi, bağlandığı zaman hareket imkânını kısıtlayan bir emniyet kemeri kullanımı, takıldığı zaman terleten ya da buğu yapan bir gözlük ve buna benzer örnekler kişisel koruyucu donanımlı kullanımını imkânsız hale getirmektedir. Kişisel koruyucular mutlaka belli kalitelerin üzerinde seçilmeli ve işçinin konforu mutlaka düşünülmelidir. Ancak bu durum işverenler açısından maliyet sorununu tekrar ortaya çıkarmaktadır.

## Bilgilendirme

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünün 'Bir Binanın İnşaat Aşamasındaki İş Sağlığı ve Güvenliğinin İncelenmesi ve Gerekli Önlemlerinin Belirlenmesi' başlıklı tezinden ortaya çıkmıştır.

## EK- 1

**RİSK DEĞERLENDİRME FORMU ÖRNEĞİ** ('Bir Binanın İnşaat Aşamasındaki İş Sağlığı ve Güvenliğinin İncelenmesi ve Gerekli Önlemlerin Belirlenmesi' İsimli tezde devamına ulaşılabilir.)

| NO | FAALİYET                | TEHLİKE   | RİSK  | RİSK DEĞERLENDİRME |    |     | RİSK DEĞ. SKORU | RİSK DEĞ. SONUCU | ÖNLEM  |
|----|-------------------------|---|---|--------------------|----|-----|-----------------|------------------|--|
|    |                         |   |   | O                  | Ş  | F   |                 |                  |  |
| 1  | Şantiye Depoları        | Yanıcı/Parlayıcı malzemelerin depolanması                     | Yangın, patlama                                   | 3                  | 40 | 5   | 120             | Önemli Risk      | i) Malzeme Güvenlik Bilgi Formları doğrultusunda uygun depolama koşullarının belirlenmesi<br>ii) Ateşten uzak tutulması, uyarı işaret levhalarının asılması        |
| 2  | Şantiye Depoları        | Kimyasal malzemelerin depolanması                             | Kimyasallara maruz kalma                          | 3                  | 15 | 1   | 45              | Olası Risk       | i) Malzeme güvenlik bilgi formlarının ilgililere duyurulması<br>ii) Formların çalışma alanında bulundurulması<br>iii) Çalışanlara konu ile ilgili eğitim verilmesi |
| 3  | Şantiye Depoları        | Ağır malzemelerin istiflenmesi                                | Malzemelerin devrilmesi                           | 3                  | 40 | 2   | 240             | Esaslı Risk      | i) İstiflemelerin 2 metreyi geçmemesi<br>ii) İstifleme yaparken piramit şeklinde kademe arttıkça içe doğru girilmesi   |
| 4  | Şantiye Depoları        | Ağır yuvarlanabilir malzemeler                                | Malzemelerin insanlar üzerine yuvarlanması        | 3                  | 15 | 2   | 90              | Önemli Risk      | Takozlar ile desteklenmesi   |
| 5  | Şantiye Depoları        | Depo içinde spiral kullanılması                               | Yanıcı gaz veya sıvıların alev alması             | 3                  | 15 | 2   | 90              | Önemli Risk      | i) Yanıcı malzemelerin, el aletlerinin kullanıldığı alandan uzakta depolanması<br>ii) Gaz birikiminin engellenmesi için yeterli havalandırmanın sağlanması         |
| 6  | Şantiye Depoları        | Yanıcı malzemeler   | Yangın çıkması                                    | 3                  | 40 | 2   | 240             | Esaslı Risk      | Yeterli sayıda yangın söndürme tüpünün, görünür ve kolay erişilebilir bir noktaya konulması  |
| 7  | Şantiye Depoları        | Malzemelerin düzensiz istiflenmesi                            | İnsanların üzerine yıkılması                      | 6                  | 15 | 2   | 180             | Önemli Risk      | Depo yerleşim planı yapılarak yerleşimin sağlanması  |
| 8  | Şantiye Alanı Güvenliği | Üçüncü şahısların sahaya izinsiz girişi                       | İş kazalarına maruz kalınması                     | 3                  | 40 | 3   | 360             | Esaslı Risk      | i) Nizamiye ve ziyaretçi prosedürünün uygulanması<br>ii) Ziyaretçilere baret verilmesi ve nezaretçi sağlanması   |
| 9  | Şantiye Alanı Güvenliği | Üçüncü şahısların sahaya izinsiz girişi                       | Kişisel koruyucuların bulunmaması                 | 3                  | 15 | 3   | 135             | Önemli Risk      | Güvenlik birimi tarafından güvenlik önlemlerini almamış kişilerin uyarılması ve dışarı çıkartılması  |
| 10 | Şantiye Alanı Güvenliği | Gece yaşanabilecek olaylar                                    | Şantiyeye sabotaj yapılması                       | 1                  | 15 | 1   | 15              | Önemsiz Risk     | i) Bekçi/güvenlik personeli istihdam edilmesi<br>ii) Gece devriye atılması   |
| 11 | Şantiye Alanı Güvenliği | Yangına hızlı müdahale edememe                                | Yangının yayılması                                | 3                  | 40 | 1   | 120             | Önemli Risk      | i) Güvenlik biriminin acil durumu ekipleri içerisine alınması<br>ii) Yangın kurtarma eğitimlerinin verilmesi   |
| 12 | Şantiye Alanı Güvenliği | Kaza geçiren kişiye kısa süre içerisinde müdahale edilememesi | İş kazalarının etkilerinin artması                | 4                  | 15 | 2   | 120             | Önemli Risk      | Acil durum telefon listelerinin hazırlanıp gerekli yerlere asılması  |
| 13 | Şantiye Alanı Güvenliği | Şantiye içinde haberleşme eksikliği                           | Şantiyedeki olaylara kısa sürede müdahale edememe | 3                  | 15 | 1   | 45              | Olası Risk       | Güvenlik birimi çalışanlarına telsiz verilerek konu hakkında eğitilmesi, tatbikat yapılması  |
| 14 | Yıkma İşlemleri         | Yıkım sırasında parçaların etrafa fırlaması                   | Fırlayan parçaların insanlara çarpması            | 3                  | 15 | 1   | 45              | Olası Risk       | i) Yıkım alanında, en az yıkılan yapı yüksekliğinin iki katına eşdeğer güvenlik alanı oluşturulması<br>ii) alanın etrafının kapatılması                            |
| 15 | Kazı çalışmaları        | Ortamdaki kablo ve malzemeler                                 | Elektrik çarpması, malzemelere zarar              | 3                  | 40 | 1   | 120             | Önemli Risk      | Kazı işlerinin yapılacağı noktalardaki elektrik kabloları ve diğer malzemelerin uzaklaştırılması   |
| 16 | Kazı çalışmaları        | Toprak kayması  | İnsanların üzerine gelmesi                        | 3                  | 40 | 1   | 120             | Önemli Risk      | Uygun şev verilerek kazı yapılması, uyarı ve işaret levhaları kullanılması   |
| 17 | Kazı çalışmaları        | Kazı bölgesinin girişe kapatılmaması                          | İstenmeyen girişler                               | 3                  | 15 | 0,5 | 22,5            | Olası Risk       | i) Kazı bölgesinin sınırlandırılarak istenmeyen girişlerin engellenmesi<br>ii) Uyarı ve işaret levhaları kullanılması  |

O: Olasılık, Ş: Şiddet, F: Frekans

## Kaynaklar

- İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, Resmi Gazete No:28512, 29.12.2012.
- 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, Resmi Gazete No:28339, 30.06.2012.
- International labour organization, Convention 161, 1988.
- Uluslararası Çalışma Örgütü Rehberi, AB çerçeve direktifi, 2011.
- International Organization for Standardization (ISO).
- Altay, S. (2015), Türkiye’de İş Sağlığı ve Güvenliği: İş Sağlığı ve Güvenliğinin İş Tatmini Üzerine Etkisi, Çimento Sektöründe Bir Uygulama, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Aslan, A. (2008), Bir İnşaat Şirketinde Meydana Gelen İş Kazalarının Değerlendirilmesi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Hergüner, M. A. (2013), İnşaat Sektöründe Yüksekten Düşmeden Kaynaklanan İş Kazalarının Azaltılmasına Yönelik Öneri Geliştirilmesi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Müngen, M. U. (2011), İnşaat Sektörümüzdeki Başlıca İş Kazası Tipleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Özen, İ. (2016), İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları Üzerine Bir Alan Araştırması, Üsküdar Üniversitesi, İstanbul.
- Pehlivan, İ. (2016), İnşaat Sektöründe Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Bilincinin İstatistiksel Olarak İncelenmesi, Gedik Üniversitesi, İstanbul.
- Sofuoğlu, T. (2012), İnşaat Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.



## FORECASTING TURKEY ELECTRICITY CONSUMPTION WITH DEEP LEARNING BI-LSTM MODEL

Hatice Genç Kavas<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Department of Health Tourism Management, Institute of Social Sciences, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye.

\*Corresponding author

Research Article

History

Received: 27/09/2022

Accepted: 10/11/2022

### ABSTRACT

The energy consumption of Turkey, which is among the developing countries, is constantly increasing. Despite this increasing energy need, it is an insufficient country in terms of energy production. Turkey, which is a foreign-dependent country in energy use, has problems with sustainable energy supply. Especially recently, Russia's restrictions on energy exports to European countries have caused an energy crisis all over the world. For this reason, energy supply security has a vital role for Turkey as well as for the rest of the world. In this context, the estimation of energy consumption for future periods is a strategic issue that should be emphasized. In the study, monthly energy consumption amounts of Turkey between January 2005 and November 2018 were taken and a five-year estimate of the ever-increasing electricity consumption in the range of 2019-2023 was made using bi-directional LSTM (Long Short Term Memory) models (ADAM, RmsProp, SGDM). The highest performance in the models was obtained with RMSprop optimization. The monthly electrical energy consumption data between 2019-2020 and the estimated data of monthly electricity consumption for the same period obtained by RMSprop optimization were compared. According to the optimization result, Turkey's electricity consumption will continue to increase. Turkey should put into effect the necessary plans quickly in the face of this increasing need. Incorporating the education of households into plans for energy conservation may be a viable solution.

**Key Words:** Bi-LSTM, Deep Learning, Electricity Consumption Forecast, Energy Economics, Energy Demand

## TÜRKİYE ELEKTRİK TÜKETİMİNİN DEEP LEARNING BI-LSTM METODU İLE TAHMİNİ

Süreç

Geliş: 27/09/2022

Kabul: 10/11/2022

### ÖZ

Gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan Türkiye'nin enerji tüketimi sürekli artış göstermektedir. Artan bu enerji ihtiyacına rağmen enerji üretme konusunda ise yetersiz bir ülkedir. Enerji kullanımında dışa bağımlı bir ülke konumunda olan Türkiye, sürdürülebilir enerji arzında problemler yaşamaktadır. Özellikle son dönemde Rusya'nın Avrupa ülkelerine enerji ihracatında kısıtlamalara gitmesi tüm dünyada enerji krizine neden olmaktadır. Bu nedenle tüm dünyada olduğu gibi Türkiye için de enerji arz güvenliği hayati bir role sahiptir. Bu bağlamda gelecek dönemlere ait enerji tüketim tahmini, üzerinde durulması gereken stratejik bir konudur. Çalışmada Türkiye'nin 2005 Ocak-2018 Kasım yılları arasındaki aylık enerji tüketim miktarları alınmış ve sürekli artan bir grafik seyreden elektrik tüketiminin bi-directional LSTM modelleri (ADAM, RmsProp, SGDM) ile 2019-2023 aralığında 5 yıllık tahmini yapılmıştır. Modellerde en yüksek performans RMSprop optimizasyonu ile elde edilmiştir. 2019-2020 yılları arasında aylık gerçekleşen elektrik enerjisi tüketimi verileri ile RMSprop optimizasyonu ile elde edilen aynı dönem için aylık elektrik tüketiminin tahmini verileri karşılaştırılmıştır. Optimizasyon sonucuna göre Türkiye elektrik tüketimi artmaya devam edecektir. Türkiye artacak bu ihtiyacı karşısında gerekli planlamaları hızlı bir şekilde yürürlüğe koymalıdır. Enerji tasarrufu için hane halklarının eğitiminin planlara dahil edilmesi uygun bir çözüm olabilir.

\* Genişletilmiş olarak "Turkish energy sector strategic position and neural network prediction of energy consumption models with" başlıklı tezden türetilmiştir.

License



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

**Anahtar Kelimeler:** Bi-LSTM, Deep Learning, Elektrik Tüketim Tahmini, Enerji Ekonomisi, Enerji Talebi

[hkavas@cumhuriyet.edu.tr](mailto:hkavas@cumhuriyet.edu.tr)

<https://orcid.org/0000-0002-6813-529X>

**How to Cite:** Hatice Genç Kavas (2022) Forecasting Turkey Electricity Consumption With Deep Learning BI-LSTM Model, Journal of Science and Technology, 1(1): 24-33.

## Introduction

With the loss of clarity of the borders between countries and the rapid increase in industrialization, an increase is observed in global energy consumption. In recent years, there has been a rapid increase in energy consumption worldwide, with a strong boom from 8,588.9 million tons of oil equivalent (Mtoe) in 1995 to 14,201.1 Mtoe in 2021 (Dong et al., 2020; Total Energy Consumption... <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>) As in hydrocarbon-based energy, electricity consumption, which is a secondary energy source, shows an increasing trend in the same parallel.

The fact that the energy reserves are not evenly distributed in the world may cause conflicts as well as cooperation between countries. As the main issue, energy is a reason for both international war and indirect sanctions on other countries. The recent Russia-Ukraine war is the most up-to-date example of this issue. The tension between Europe and Russia has caused Russia to restrict its energy exports to Europe. This brought about an energy crisis in Europe. Such a conjuncture is also an indication of the increasing importance of energy.

In addition to the increasing demand, problems arise from the storage of electrical energy and it can be difficult to control the energy demand. For this reason, the production, transmission, and consumption of electricity, which is constantly needed, is a key role in terms of management. To determine the most appropriate strategies for the current situation, being able to accurately predict how the consumption values will occur in the future is an issue that needs to be addressed. In this context, in addition to the views of the actors in the sector, the methods to be developed for consumption forecasting play a vital role in both macro and micro scales.

## Literature

The need for accurate forecasts is clear given that energy distribution infrastructure is improving capabilities, undergoing rapid transformation, and predicting faster response times regarding energy resource allocation flexibility. This can bring many benefits, such as increases in production costs, and realistic energy price estimations (Koukaras., 2021). Increased forecast accuracy facilitates the elimination of energy imbalances between production and consumption. For this reason, it is important from a managerial point of view to use the highest performance forecasting models.

In the literature, There are many studies on the prediction of energy consumption (Ahmad et al., 2020; Anand and Suganthi, 2020; Li et al., 2011) and production (Fara et al., 2021; Gandelli et al., 2014; Pazikadin et al., 2021; Zhang et al., 2021). It can be seen in studies that ANN models perform higher than other models. In this context, to achieve high performance, the monthly electrical energy consumption of Turkey has been tried to be estimated with artificial neural network models.

Considering the past periods of Turkey, it can be seen in Figure 1 that electrical energy consumption has been increasing rapidly every year.

The net consumption value, which was 59237 GWh in 1993, increased to 262702.1 GWh in 2020. Consumption has increased by approximately 345 percent in 19 years (Figure 1).

As can be seen in Table 1, licensed and unlicensed total installed capacity in Turkey was 99 820 MWe as of 2021 and increased by 4.1 percent compared to 2020. The increase in the production value is 9.4 per thousand as of the same year. The number of electrical energy users increased by 2.68 percent and reached 47 3011 976. Actual consumption increased by 8.13 percent and reached 329 634 GWh. Imported electricity increased by 23.34 percent (2329 GWh), while 4 187 GWh was exported with an increase of 68.56 percent. While Turkey imported electrical energy from Bulgaria (1689,5 GWh), Georgia (169.9 GWh), and Greece (30.1 GWh) in 2020; exported to Greece (1841.1 GWh), Bulgaria (326 GWh), Georgia (315 GWh), and Syria (1.6 GWh) (TEİAŞ, 2022).

Electricity imports, which increased rapidly between 2010 and 2014, started to decrease after 2014 (Figure 2). In this process, electricity exports followed a fluctuating graphic and increased by 1.7 times in 2021 compared to the previous year.

The total installed capacity in Turkey increased by 12.8 percent in 2021 compared to 2018 (Table 2). The largest part of the total installed capacity in 2021 is hydraulic energy (31.5%). The second largest share belongs to natural gas (26%). The highest increase compared to 2018 based on resources is biomass (145.4%). Solar (53.3%) and wind (51.7%) are also the highest increase. The capacity decrease in the installed capacity is seen only in Fuel-Oil (-64.5%)

In Turkey, electricity production increased by 9 percent in 2021 compared to 2018 (Table 3). The highest increase in parallel to the installed capacity is seen in biomass electricity generation with 121 percent. There is also an increase in production caused by solar (61.2%), and wind (56.2%). The highest decrease in production is seen in diesel (-64.4%), while other electricity production resources have imported coal (-12.9%), lignite (-3.7%), and hydraulic (-7,1) decreases.

In Figure 3, the production rates of Turkey's electrical energy from imported and domestic sources can be seen. Until 2018, the share of imported resources is over 50 percent. However, the rate of electricity production from domestic sources increased to 61.2% in 2019, thus the share of imported sources decreased rapidly. The rate of electrical energy produced from imported sources in 2020 is 43.6%.

## Artificial Neural Networks

Artificial neural networks (ANN), in which nerve cells or neurons are the basic processing element of the central nervous system, it is aimed to understand the human brain

and imitate its power (Fauset, 1994.). Artificial neural networks, which are frequently encountered in the literature, can perform a surprising number of tasks very efficiently. Thanks to this feature, artificial neural networks developed by imitating the information-processing process of the brain become a powerful computing device, that can learn from examples and generalize to examples that have never been seen before (Zhang et al, 1998.). A neural network consists of simple processing units and tends to accumulate and memorize the information that the network experiences. It acts as an intensely parallel distributed processor to ensure that the data it learns is used. Artificial neural networks are similar to the brain in two aspects. The first of these; obtains information through learning, while the other neurons (nerve cells) are used to store information (Haykin: 1998).

Although the neural network is very simple, it gives the ability to solve many more problems than can be solved by a network with only one input and output unit, together with a non-linear activation function of a hidden unit. Another advantage is that they can be preferred in time series estimation problems due to their flexible modeling capability. Since a certain linear or curvilinear model pattern does not need preconditions such as normal distribution and stationarity, ANN can be applied to any time series. On the other hand, training a network with hidden units can be difficult due to problems such as finding the most appropriate values for the weights (Fauset, 1994; Erilli et al., 2010.). In artificial neural networks, which consist of connecting cells to each other in various ways, cell outputs can be connected to other cells or themselves as inputs via weights. Various ANN models have been developed according to the connection types of cells, learning styles, and activation functions used. The first ANN architectures are single-layer (Figure 4) and multi-layer (Figure 5) models. In the simplest form, a layered network has a structure in which signals flow directly from the input layer to the output layer. This flow cannot be in the opposite direction. In other words, this network is strictly forward-looking. (Haykin, 1998.).

A recurrent neural network distinguishes itself from a forward neural network by having at least one feedback loop. For example, a recurrent network may consist of a single layer of neurons feeding each neuron's output signal back to the inputs of all other neurons. There is no self-feedback loop in the network, and self-feedback is when the output of a neuron is fed back to its input (Figure 6) (Haykin, 1998.).

Other recurrent network models (RNN) that do not get hit by the optimization barriers that exist in simple recurrent networks (SRNs) and are used to develop cutting-edge technology in many difficult problems are "Long-Short-Term Memory (LSTM)" and LSTM's b3idirectional (forward and backward) extension is "bidirectional-LSTM" architectures (Figure 7) (Gref vd., 2017).

SGDM (Stochastic Gradient Descent with Momentum): The stochastic gradient descent algorithm can oscillate along the path of the steepest descent towards the optimum. Adding a momentum term to the parameter

update is one way to reduce this oscillation (Murphy, 2012). The stochastic gradient descent with momentum (SGDM) update is;

$$\theta_{\ell+1} = \theta_{\ell} - \alpha \nabla E(\theta_{\ell}) + \gamma(\theta_{\ell} - \theta_{\ell-1})$$

Where  $\gamma$  determines the contribution of the previous gradient step to the current iteration. To train a neural network using the stochastic gradient descent with momentum algorithm, specify Training Algorithm as SGDM. To specify the initial value of the learning rate  $\alpha$ , use the 'Initial Learn Rate'.

RMSprop (Root Mean Square Error Probability): RMSprop is an adaptive learning method proposed by Geoff Hinton. RMSprop divides the learning rate by the mean of the exponentially decreasing square gradients. The operation function is as follows (Ruder, 2017);

$$E[g^2]_t = 0.9E[g^2]_{t-1} + 0.1g_t^2$$

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \frac{\eta}{\sqrt{E[g^2]_t + \epsilon}} g_t$$

Hinton recommends taking  $\gamma$  as 0.9, and  $\eta$  taking 0.001 for the learning rate.

ADAM (Adaptive Momentum Estimation): The optimization calculates individual adaptive learning rates for different parameters by estimating primary and secondary gradients. In the rescaling of the gradient, the invariance of the size of the parameters, the limitation of the step sizes, the fact that it does not require a stationary purpose, and that it can work with intermittent gradients are among the advantages of ADAM (Kingma & Ba, 2015). The performance function is as follows (Yazan & Talu 2017);

$$m_t = \beta_1 m_{t-1} + (1 - \beta_1) g_t$$

$$v_t = \beta_2 v_{t-1} + (1 - \beta_2) g_t^2$$

$$\hat{m}_t = \frac{m_t}{1 - \beta_1^t}$$

$$\hat{v}_t = \frac{v_t}{1 - \beta_2^t}$$

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \frac{\alpha}{\sqrt{\hat{v}_t + \epsilon}} \cdot \hat{m}_t$$

Optimization takes advantage of RMSprop, but while RMSprop performs a momentum as a parameter update on the scaled gradient, in ADAM, parameter updates are performed using the average of the first and second moments of the gradient (Kingma, Ba 2015).

## Methodology

In the study, a bi-LSTM RNN time series model was created by using 167-month electricity consumption data for the periods between January 2005 and November 2018 provided by The Turkish Electricity Transmission Corporation. Since time series analysis is preferred with the single input method, monthly electricity consumption values are taken into the system as input. According to the models created, the monthly estimated values, and the

actual values between 2019-2021 were compared. In the created bi-LSTM architecture, "ADAM", "SGDM" and "RMSProp" optimization algorithms are used to achieve the highest performance. For each optimization type, the number of layers and units were tried separately, normalization and standardization were used separately, and 75% and 80% of training were carried out for each layer and unit separately as validation. To avoid the overfitting problem, a dropout layer is used in the architecture. Matlab 2019a program was used in the study.

## Findings

A total of 886 trainings were tried and the best values were obtained in the "RMSProp" optimization as seen in Table 4. The best preprocess inputs for all optimizations are 80% validation and a standardized normalization method. In the RMSProp optimization model, where the highest performance is obtained, Corr= 98.633%, R2= 96.66% and MSE=0.029407. In a single-layer architecture, the unit value is 100. The training results of the obtained model can be seen in Figure 8 and Figure 9.

In figure 8, the y-axis shows the electricity consumption values and the x-axis shows the months. Targets (blue line) show actual values while outputs (orange line) show estimated values. With 80% validation, the left side of the dashed line is the training zone and the right side is the testing zone. In the training part, a 96.58% similarity was achieved. In the testing part, this rate is slightly reduced (R2 =73,4%) (Figure 9). Increasing the length of the dataset may give better results for testing.

As a result of the standardized RMSprop optimization model, the estimated electricity consumption values for the next 60 months and the actual electricity consumption values in 2018 can be seen in Table 5.

It is known from the values realized in 2005-2018 that electricity consumption reached the highest consumption value in the summer months. Although the model can predict the consumption periods for about 30 months well, it is observed that the high values shift to the spring months in the 3rd year. For this reason, it can be seen that the model weakens in predicting the distant future. Since it shows a non-linear trend, this difference is felt more dominantly.

The chart of the 2005 and 2023 electricity consumption values of the RMSprop optimization model created can be seen in Figure 10.

In Figure 11, there are monthly consumption forecast data for the years 2019-2020 obtained by RMSprop optimization using monthly electricity consumption values between 2005-2018. In addition, the electricity consumption values realized in Turkey for this period are also included in the chart.

## Result And Discussion

Among the models obtained for electricity consumption estimation, the RMSprop optimization model, which was applied standardization preprocess and

operated with an 80% training rate, showed the highest performance. The electricity consumption, which reached the maximum values in the summer months, showed a high consistency for about 30 months in the RMSprop projection and showed the maximum value in the summer months, while it shifted for the next and showed the maximum value in the spring months. It can be said that the prediction model shows weakness as it moves away from real-time. This is a problem that can be encountered frequently in projections. For this reason, it is necessary to keep the data set longer as input to maximize the periodic consistency. If the data set cannot be kept long, it can be stated that the future forecast values of 24-30 months for a 167-month data set will be correct in terms of developing managerial strategies. According to the model obtained, it can be observed that electricity consumption will increase over the years. Constantly increasing electricity consumption is an expected situation for Turkey, which is a developing country. However, Turkey, which is poor in energy production, should manage this situation in the best way. Because electricity, which is a secondary energy source, directly affects primary energy sources and is affected by them. The values estimated by the RMSprop optimization between 2019 and 2020 and the electricity consumption values realized in Turkey can be seen in Figure 11. Electricity consumption, which followed a different trend in the March-July 2020 range, is linked to Covid-19. With the onset of the epidemic, the disruption of working life in public and private institutions in March 2020 caused a rapid decrease in electricity consumption. As of June 2020, with the introduction of flexible working hours and the start of the summer period, a rapid increase in consumption can be seen again. In August 2020, the highest value (292968.4 GWh) was reached for the 2-year pre- and post-pandemic period. If the pandemic does not occur, we predict that the values we predict with artificial neural networks will form a trend closer to the actual values. Turkey has recently made a breakthrough in expanding its renewable energy resources capacity (Table 2). Turning to their resources in energy production is among the most important strategies to be developed for countries. The energy crisis caused by the war between Russia and Ukraine has a great impact that can affect all sectors of the world. The biggest source of electricity production in Turkey is natural gas (32.7% share of natural gas in 2021 - Table 3). With the decrease in the amount of precipitation brought by global warming, the share of hydraulic production has been decreasing over the years. Considering the magnitude of the impact of natural gas, the Russia-Ukraine crisis, and global warming, it is important to increase solar, wind, and biomass capacity. Considering the size of energy imports, electricity produced from renewable energy sources is a method that will relieve Turkey in terms of sustainable energy. However, the fact that the nuclear energy source has come to the fore in the country is an important development in this respect. Nuclear energy, which is preferred by the most important electricity exporters, emerges as a method that should be used for Turkey. The



fact that renewable energy is not a guaranteed source periodically can also show that nuclear energy is a preferred method. Considering the importance of the natural gas resource, the Levant basin of the Eastern Mediterranean is in a very important position indirectly in terms of electricity consumption. The management of the hydrocarbon reserves estimated to exist in the Levant basin by Turkey is of vital importance and the region can

be the most important source of electricity consumption, which is expected to increase continuously. In addition, raising awareness of the people of Turkey not only on electricity consumption but also on the use of other energy sources that have a share in electricity generation and preventing the illegal use of electricity would be right strategies.

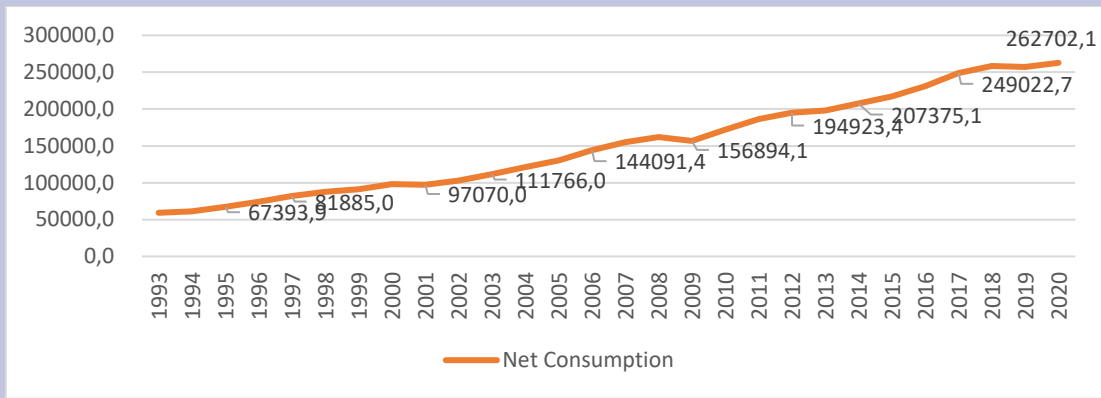


Figure 1. Turkey's Net Electricity Energy Consumption (GWh) Resource: TEİAŞ, 2022.

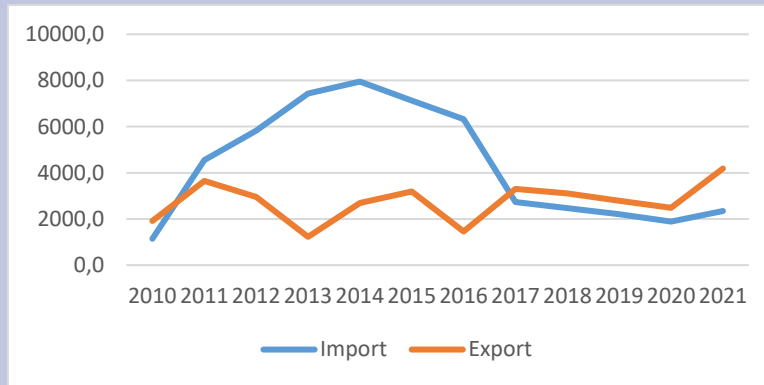


Figure 2. Import and Export of Electricity in Turkey (2010-2021) Resource: TEİAŞ, 2022.

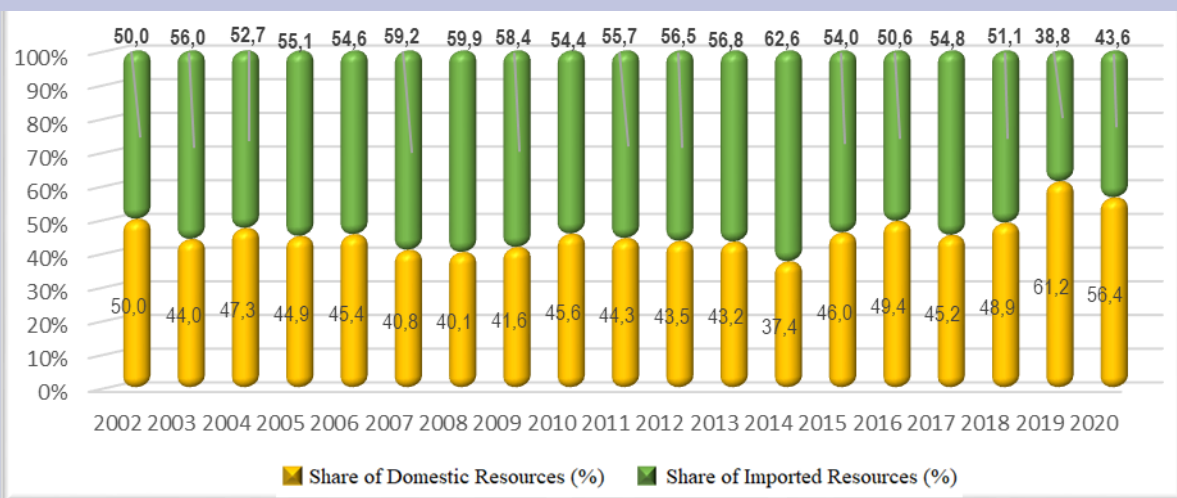


Figure 3. The Share of Domestic and Imported Electrical Energy Production in Turkey Total Production (2002-2020) Resource: TEİAŞ, 2022.

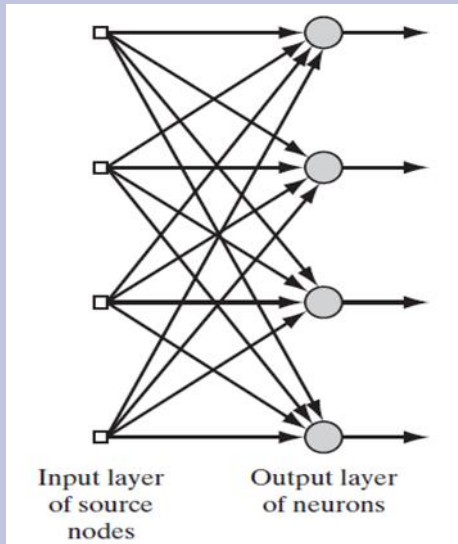


Figure 4. Single-Layer ANN

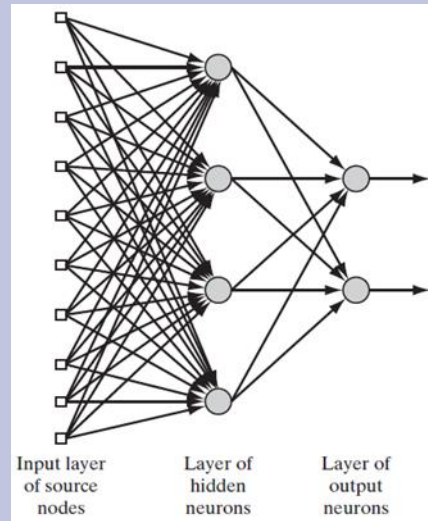


Figure 5. Multi-Layer ANN

Resource: Simon Haykin, 1998

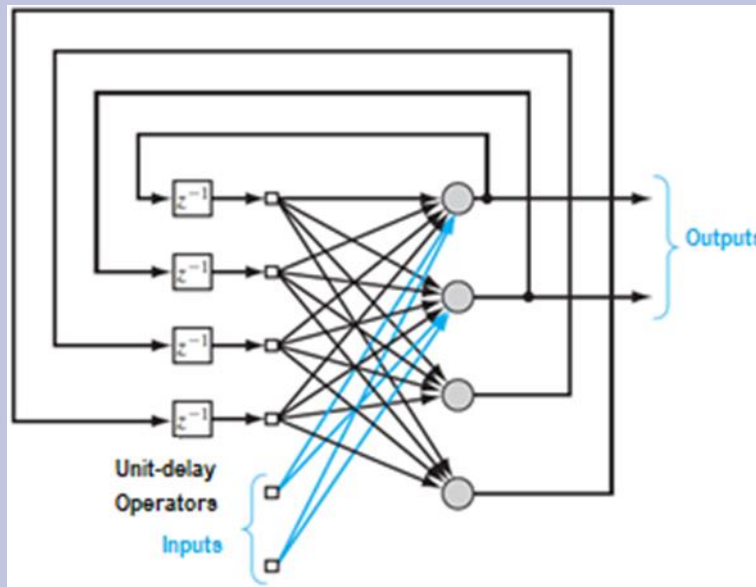


Figure 6. Recurrent Network with Hidden Neurons

Resource: Simon Haykin, 1998

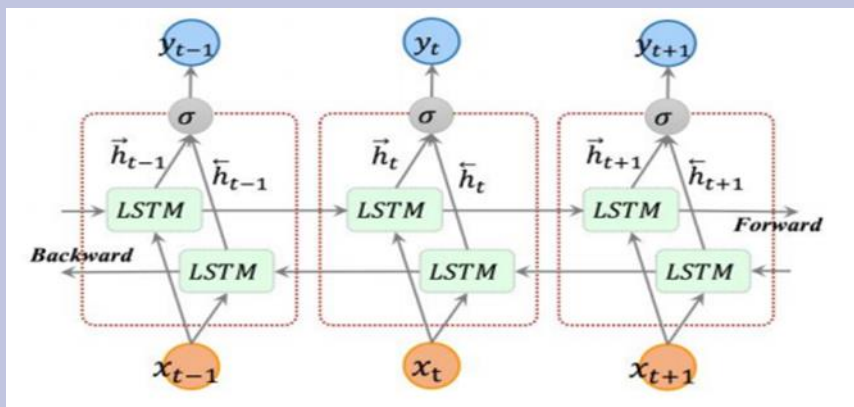


Figure 7. Unfolded Architecture of Bidirectional LSTM with Three Consecutive Step

Resource: Chui vd., 2017.

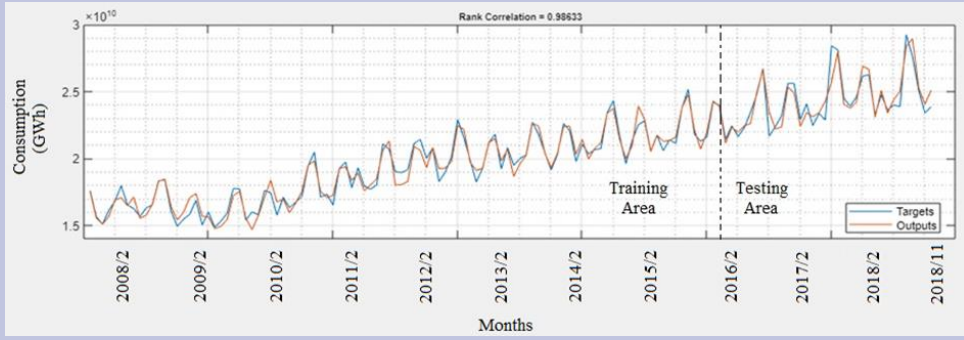


Figure 8. Graph of actual electricity consumption and estimated values obtained by RMSprop optimization

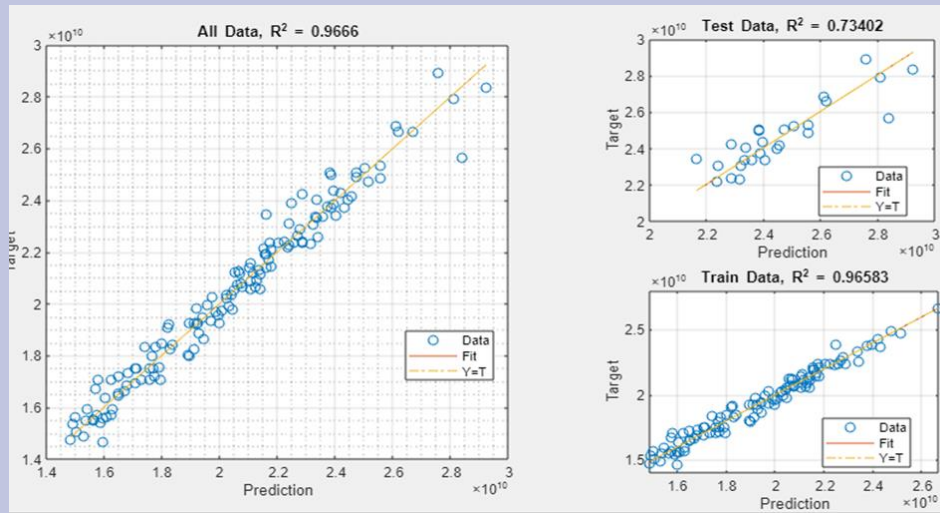


Figure 9. Training and testing chart obtained by RMSprop

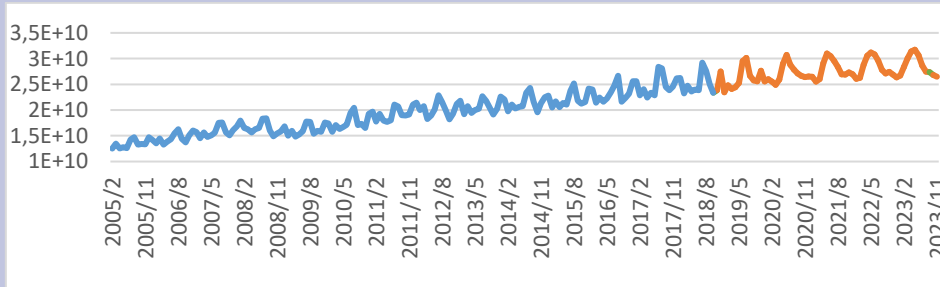


Figure 10. Electricity consumption chart obtained by RMSprop Prediction (2005-2023)

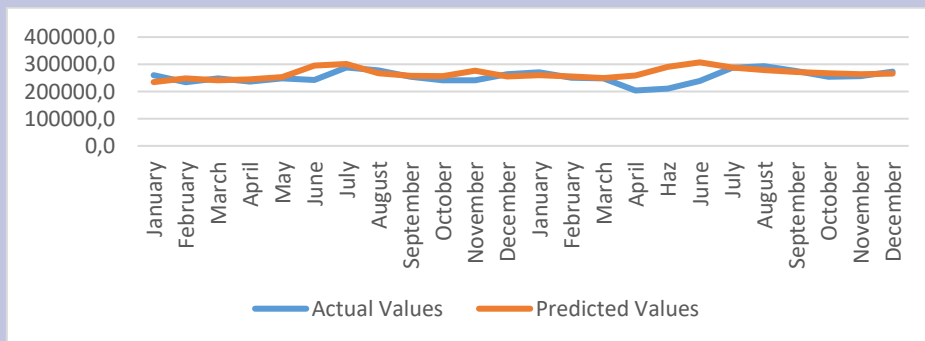


Figure 11. Actual and estimated (by RMSprop) electricity consumption values (2019-2020)

**Table 1** Turkey Electricity Market Overview (2019-2021)

| Parameters          | Unit   | 2019       | 2020       | 2021       | Change* |
|---------------------|--------|------------|------------|------------|---------|
| Installed Capacity  | MWe    | 91.269     | 95.890     | 99.820     | 4,1     |
| Generation          | GWh    | 76.962,338 | 73.776,311 | 74.475,520 | 0,94    |
| Actual Consumption  | GWh    | 301.983    | 304.836    | 329.634    | 8,13    |
| Number of Consumers | Number | 44.958.924 | 46.077.742 | 47.311.976 | 2,68    |
| Import              | GWh    | 2.212      | 1.888      | 2.329      | 23,34   |
| Export              | GWh    | 2.789      | 2.484      | 4.187      | 68,56   |

\* Shows the percentage change between 2020 and 2021. **Resource:** EPDK, 2021

**Table 2** Total Installed Capacity by Resources in Turkey (2018-2021)

| Resource Type | 2018 Installed Capacity (MW) | 2019 Installed Capacity (MW) | 2020 Installed Capacity (MW) | 2021 Installed Capacity (MW) | Share (%-2021) | Change (2018-2021) |
|---------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------|--------------------|
| Natural Gas   | 25885,0                      | 26264,1                      | 26041,9                      | 25964,6                      | 26,0           | 0,3                |
| Hydraulic     | 28292,6                      | 28503,0                      | 30983,9                      | 31492,6                      | 31,5           | 11,3               |
| Lignite       | 9597,1                       | 10101,0                      | 10119,9                      | 10119,9                      | 10,1           | 5,4                |
| Import Coal   | 8938,9                       | 8966,9                       | 8986,9                       | 8993,8                       | 9,0            | 0,6                |
| Wind          | 6994,2                       | 7591,2                       | 8832,4                       | 10607,0                      | 10,6           | 51,7               |
| Geothermal    | 1282,5                       | 1514,7                       | 1613,2                       | 1676,2                       | 1,7            | 30,7               |
| Hard Coal     | 616,2                        | 810,8                        | 810,8                        | 840,8                        | 0,8            | 36,5               |
| Biomass       | 670,1                        | 801,6                        | 1115,6                       | 1644,5                       | 1,6            | 145,4              |
| Asphaltite    | 405,0                        | 405,0                        | 405,0                        | 405,0                        | 0,4            | 0,0                |
| Fuel-oil      | 709,2                        | 305,9                        | 305,9                        | 251,9                        | 0,3            | -64,5              |
| Solar         | 5098,7                       | 5995,2                       | 6667,4                       | 7815,6                       | 7,8            | 53,3               |
| Naphta        | 4,7                          | 4,7                          | 4,7                          | 4,7                          | 0,0            | 0,0                |
| LNG           | 2,0                          | 2,0                          | 2,0                          | 2,0                          | 0,0            | 0,0                |
| Diesel        | 1,0                          | 1,0                          | 1,0                          | 1,0                          | 0,0            | 0,0                |
| Total         | 88497,1                      | 91267,0                      | 95890,6                      | 99819,6                      | 100,0          | 12,8               |

**Resource:** EPDK, 2019; 2020;2021

**Table 3** Total Electricity Production by Resources in Turkey (2018-2021)

| Resource Type | 2018 Total Production (GWh) | 2019 Total Production (GWh) | 2020 Total Production (GWh) | 2021 Total Production (GWh) | Share (%-2021) | Change 2018-2021 |
|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|------------------|
| Natural Gas   | 91639,1                     | 56522,7                     | 69277,5                     | 108438,7                    | 32,7           | 18,3             |
| Hydraulic     | 59936,8                     | 88884,6                     | 78115,0                     | 55695,2                     | 16,8           | -7,1             |
| Lignite       | 45087,0                     | 46893,7                     | 38163,9                     | 43400,4                     | 13,1           | -3,7             |
| Import Coal   | 62988,5                     | 60381,3                     | 62466,5                     | 54888,8                     | 16,6           | -12,9            |
| Wind          | 19938,5                     | 21749,8                     | 24680,8                     | 31137,4                     | 9,4            | 56,2             |
| Geothermal    | 7431,0                      | 8929,7                      | 9929,4                      | 10770,9                     | 3,2            | 44,9             |
| Hard Coal     | 2844,6                      | 3518,9                      | 3415,8                      | 3539,8                      | 1,1            | 24,4             |
| Biomass       | 3446,9                      | 4521,8                      | 5501,9                      | 7616,6                      | 2,3            | 121,0            |
| Asphaltite    | 2328,5                      | 2324,0                      | 2222,9                      | 2373,0                      | 0,7            | 1,9              |
| Fuel-oil      | 328,9                       | 732,9                       | 313,0                       | 336,6                       | 0,1            | 2,4              |
| Solar         | 8246,4                      | 9620,3                      | 11242,5                     | 13294,3                     | 4,0            | 61,2             |
| Naphta        | 0,0                         | 0,0                         | 0,0                         | 0,0                         | 0,0            | 0,0              |
| LNG           | 0,0                         | 0,0                         | 0,0                         | 0,0                         | 0,0            | 0,0              |
| Diesel        | 0,2                         | 1,0                         | 1,0                         | 0,1                         | 0,0            | -64,4            |
| Total         | 304216,5                    | 304080,8                    | 305330,2                    | 331491,9                    | 100,0          | 9,0              |

**Resource:** EPDK, 2019; 2020; 2021.

**Table 4** Parameters with the Highest Performance for Each Optimization

| Parameters     | ADAM     | RMSprop  | SGDM     |
|----------------|----------|----------|----------|
| Correlation    | 0.98443  | 0.98633  | 0.97234  |
| Nmse           | 0.030426 | 0.029407 | 0.043488 |
| R <sup>2</sup> | 0.96324  | 0.9666   | 0.91315  |
| Layer          | 1        | 1        | 1        |
| Unit           | 75       | 100      | 75       |
| Preprocessing  | Stand    | Stand    | Stand    |
| Validation     | 75       | 80       | 80       |

**Table 5** Future estimated values of electricity consumption (GWh)

| MONTH     | 2018     | 2019     | 2020     | 2021     | 2022     | 2023     |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| JANUARY   | 262117,3 | 234575,8 | 259939,6 | 264663,6 | 260754,1 | 267072,3 |
| FEBRUARY  | 232308,7 | 248074,2 | 255260,4 | 255344,8 | 262640,9 | 283686,5 |
| MARCH     | 247291,3 | 241094,0 | 249035,6 | 260098,5 | 287945,6 | 300574,6 |
| APRİL     | 235865,4 | 244254,4 | 259225,5 | 290760,3 | 305581,0 | 313956,2 |
| MAY       | 239646,8 | 252760,0 | 289976,8 | 309910,6 | 311889,6 | 317265,9 |
| JUNE      | 238556,6 | 295104,2 | 307135,2 | 304731,0 | 308130,8 | 306321,9 |
| JULY      | 292156,7 | 301368,6 | 287985,5 | 295086,4 | 295866,9 | 286438,4 |
| AUGUST    | 275712,8 | 266619,8 | 278598,9 | 283517,5 | 278107,2 | 274777,9 |
| SEPTEMBER | 250519,6 | 257680,4 | 271182,8 | 269444,2 | 271201,3 | 273662,6 |
| OCTOBER   | 233758,0 | 255886,2 | 266519,1 | 269005,1 | 274222,8 | 268257,9 |
| NOVEMBER  | 238487,0 | 276435,4 | 264057,8 | 273133,8 | 268971,3 | 264875,2 |
| DECEMBER  | 274914,1 | 255650,3 | 265267,1 | 269585,4 | 263575,4 |          |

## Reference

- Ahmad AS, Hassan MY, Abdullah MP, Rahman HA, Hussin F, Abdullah H, Saidur R. 2014. A review on applications of ANN and SVM for building electrical energy consumption forecasting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33:102-109. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.069>
- Anand A, Suganthi L. 2017. Forecasting of electricity demand by hybrid ANN-PSO models. *International Journal of Energy Optimization and Engineering*, 6(4):66-80. doi:10.4018/IJEOE.2017100105
- EPDK. 2021. Electricity Market Sector Report. Ankara.
- EPDK. 2020. Electricity Market Sector Report. Ankara.
- EPDK, 2019. Electricity Market Sector Report, Ankara.
- Fara L, Diaconu A, Craciunescu D, Fara S. 2021. Forecasting of energy production for photovoltaic systems based on ARIMA and ANN advanced models. *International Journal of Photoenergy*, 2021: e:6777488. <https://doi.org/10.1155/2021/6777488>
- Cui Z, Ke R, Wang Y. 2017. Deep Stacked Bidirectional and Unidirectional LSTM Recurrent Neural Network for Network-wide Traffic Speed Prediction. Available from: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1801/1801.02143.pdf>
- Dong K, Dong X, Jiang Q. 2020. How renewable energy consumption lower global CO2 emissions? Evidence from countries with different income levels. *The World Economy*, 43:1665-1698. doi: 10.1111/twec.12898
- Enerdata. 2022. <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>
- Erilli NA, Eğrioğlu E, Yolcu U, Aladağ HÇ, Uslu VR. 2010. Türkiye'de Enflasyonun İleri ve Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağlarının Melez Yaklaşımı ile Öngörüsü. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 11(1):42-55. Available from: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/doujournal/issue/66662/1042993>
- Fauset L. 1994. *Fundamentals of Neural Network*. Prentice Hall International, London.
- Gandelli A, Grimaccia F, Leva S, Mussetta M, Ogliari E. 2014. Hybrid model analysis and validation for PV energy production forecasting. 2014 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), July 6-11, China. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6889786>
- Gref K, Srivastava RK, Koutnik J, Steunebrink BR, Schminhuber J. 2017. LSTM-A Search Space Odyssey. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 28(10):2222-2232. doi: 10.1109/TNNLS.2016.2582924
- Haykin S. 1998. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Second Ed., Prentice hall, New Jersey.
- Kingma DP, Ba J. 2015. Adam: A Method for Stochastic Optimization, ICLR. 1-15. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1412.6980>
- Koukaras P, Bezas N, Gkaidatzis P, Ionnidis D, Tzovaras D, Tjortjis C. 2021. Introducing a novel approach in one-step ahead energy load forecasting. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 32:100616. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2021.100616>
- Li K, Su H, Chu J. 2011. Forecasting building energy consumption using neural networks and hybrid neuro-fuzzy system: A comparative study. *Energy and Buildings*, 43:2893-2899. doi:10.1016/j.enbuild.2011.07.010
- Murphy KP. 2012. *Machine Learning: A Probabilistic Perspective*. MIT Press. London.
- Pazikadin RA, Rifai D, Ali K, Malik MZ, Abdalla A N, Faraj MA. 2020. Solar irradiance measurement instrumentation and power solar generation forecasting based on Artificial Neural Networks (ANN): A review of five years research trend. *Science of the Total Environment*, 715:e:136848. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136848>
- Ruder, S. 2017. An Overview of Gradient Descent Optimization Algorithms. <https://arxiv.org/pdf/1609.04747.pdf>
- TEİAŞ. 2022. Available from: <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>
- Yazan E. Talu FM. 2017. Stokastik Dereceli Alçalma Yöntemi Temelli Optimizasyon Tekniklerinin Karşılaştırılması. 2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium. Turkey.

Zhang G, Patuwo BE, Hu MY. 1998. Forecasting with Artificial Neural Networks: The State of The Art. *International Journal of Forecasting*, 14:35–62. [https://doi.org/10.1016/S0169-2070\(97\)00044-7](https://doi.org/10.1016/S0169-2070(97)00044-7)

Zhang W, Chen Q, Yan J, Zhang S, Xu J. 2021. A novel asynchronous deep reinforcement learning model with

adaptive early forecasting method and reward incentive mechanism for short-term load forecasting. *Energy*, 236:e:121492.

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121492>



## KINETIC ENERGY RECOVERY FROM VEHICLE SUSPENSIONS

İbrahim Can<sup>1,a</sup>, İlyas Güldeş<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup> Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Technology, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye.

<sup>2</sup> Graduate School of Natural and Applied Sciences, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye.

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 12/11/2022

Accepted: 12/11/2022

### ABSTRACT

Vibrations caused by roughness on the road in road vehicles are damped by shock absorbers. Conventional shock absorbers convert the vertical kinetic energy of the vehicle into heat energy and give it to the atmosphere. When the literature is examined, it is observed that there is an increasing interest in suspension-based kinetic energy recovery systems to recover the energy thrown into the atmosphere in traditional systems. In traditional systems, it is difficult to store this energy because the vertically generated kinetic energy is converted into heat energy. For this reason, the energy to be obtained should be easily stored and used in the vehicle when needed. For this purpose, the pressurized gas obtained by using a double-acting pneumatic shock absorber for vertical kinetic energy absorption was transferred to a turbine generator pair, converted into electrical energy and stored in the vehicle's battery. Thus, it is planned to increase the overall efficiency of the vehicle. As a result of the study, positive results were obtained and discussed.

**Key Words:** Kinetic energy, Vehicle suspensions, Pneumatic cylinder

## TAŞIT SÜSPANSİYONLARINDAN KİNETİK ENERJİ GERİ KAZANIMI

#### Süreç

Geliş: 12/11/2022

Kabul: 15/12/2022

### ÖZ

Seyir halinde olan karayolu taşıtlarında yoldaki pürüzlerin sebep olduğu titreşimler amortisörler tarafından sönmölenmektedir. Geleneksel amortisörler taşıtın dikey yönde meydana gelen kinetik enerjisini ısı enerjisine dönüştürerek atmosfere verir. Literatür incelendiğinde geleneksel sistemlerde atmosfere atılan enerjinin geri kazanılması için süspansiyon tabanlı kinetik enerji kazanım sistemlerine ilginin arttığı gözlenmektedir. Geleneksel sistemlerde dikey yönlü oluşan kinetik enerji ısı enerjisine dönüştüğü için bu enerjiyi depolamak güçtür. Bu sebeple elde edilecek enerjinin kolay depolanabilir ve ihtiyaç halinde taşıtta kullanılabilir olması gerekmektedir. Bu amaçla çalışmada dikey yönlü kinetik enerji sönmölemesi için çift tesirli pnömomatik bir amortisör kullanılarak elde edilen basınçlı gaz bir türbin jeneratör ikilisine aktarılarak elektrik enerjisine dönüştürülerek ve taşıtın bataryasında depolanmıştır. Böylece taşıtın toplam verimliliği artırılması planlanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda olumlu sonuçlar elde edilerek tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kinetik enerji, Araç süspansiyonu, Pnömomatik silindir

#### License



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

[23.ibrahim@googlemail.com.edu.tr](mailto:23.ibrahim@googlemail.com.edu.tr)

<https://orcid.org/0000-0003-4774-3744>

[ilyasguldes@hotmail.com](mailto:ilyasguldes@hotmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-2662-3209>

**How to Cite:** Can I, Guldes I. (2022) Kinetic Energy Recovery from Vehicle Suspensions, Journal of Science and Technology, 1(1): 34-39.

## Giriş

Otomobil imalatçıları ve kullanıcılarının bir otomobilden beklentileri listelendiğinde güvenlik, konfor ve performans listenin üst sıralarında yer almaktadır. Taşıtlarda konforu sağlamak için geliştirilen süspansiyon sistemlerinden beklenti, yoldan gelen darbeleri taşıt gövdesine iletmeden üzerine alan ve süspansiyon sistemi üzerinde biriken enerjiyi taşıt gövdesini sarsmadan sönmüleyen bir süspansiyon düzeneği oluşturmaktır. Son yıllarda yol şartlarına ve sürüş özelliklerine göre kendini ayarlayabilen aktif (Elektronik) kontrollü süspansiyon sistemlerine odaklanılmaktadır. Konfor ve güvenlik sistemlerinin yanı sıra taşıt üreticileri ve araştırmacıları, günümüzde çevre bilincinin artması, fosil yakıt kaynaklı atmosfere salınan kirletici emisyonlara getirilen sınırlandırmalar ve bu yakıtlara ulaşmanın gittikçe zorlaşmasından dolayı elektrikle çalışan taşıtlar yapmaya yönelmişlerdir. Ancak elektrikli taşıtların yaygınlaşması ile ilgili pek çok problem vardır. Elektrikli taşıtların yaygınlaşmasının önündeki en büyük engellerin başında yeterli elektrik enerjisinin depolanamaması ve şarj süresi yer almaktadır. Karşılaşılan problemlerin çözümü için literatürde taşıtların yavaşlaması veya durması sırasında açığa çıkan frenleme enerjisi, otomobilin ataletinden kaynaklı kinetik enerji ve süspansiyon sisteminde oluşan kinetik enerji gibi atıl enerji çeşitlerinin geri kazanılması ve faydalı enerjiye dönüştürülmesi gibi çalışmalar oldukça fazladır.

Kara taşıtlardaki kütleler, süspansiyonlu kütleler (tahrik sistemi, yürür aksam ile üst yapı elemanları) ve süspansiyonsuz kütleler (fren sistemi, tekerlekler ile aks milleri) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır[1]. Düzgün olmayan yollarda, taşıtlar hareket halindeyken; üst yapı elemanları hız, yük ve yol koşullarına bağlı olarak ve yerçekimi kuvvetlerinin de etkisiyle, aracın ağırlık merkezine göre ön ve arkası aşağı/yukarı (sarsıntı) ve aracın gövdesi tümüyle aşağı/yukarı (zıplama) hareket etmektedir. Ancak bu hareketler, taşıtın güvenliğini ve konforunu olumsuz etkilemekte ve taşıt yapı elemanlarının aşırı zorlanmasına neden olmaktadır. Bu sebeple taşıtlarda süspansiyon ve titreşim sönmüleme sistemleri kullanılmaktadır. Süspansiyon ve titreşim sönmüleme sistemleri düşey doğrultuda var olan kinetik enerjiyi ortadan kaldırarak aracın hareketlerini sabitleştirir[2]. Son dönemlerde taşıtlardan konfor ve güvenlik beklentileri yükselince süspansiyon sistemleri konusunda çok sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Bu çalışmalar teorik, deneysel ve bilgisayar benzeştirmeleri şeklinde sınıflandırılabilir. Ancak bu çalışmalar incelendiğinde anlaşıldığı üzere, günümüze kadar süspansiyon sistemlerinin konfor ve güvenlik açısından geliştirilmesi için çaba sarf edilmiştir. Süspansiyon ve titreşim sönmüleyici sistemlerden enerji geri kazanımı konusunu inceleyen çok az sayıda çalışmaya rastlanılmıştır.

B. Huang ve arkadaşları, enerji elde edebilme yeteneğine sahip DC motor jeneratörlü bir süspansiyon sistemi geliştirmiş ve geliştirdikleri modeli çeyrek araba modelinde deneyerek sistemin optimum tasarımı için bir analitik yöntem önermiştir. Test sonuçlarının sistem performansının optimalitesinin belirlenmesinde güvenilir olduğunu göstermiştir [3]. D. Shi ve arkadaşları, hibrit

elektrikli taşıtlarda yakıt ekonomisi ve enerji geri kazanımı ile aktif süspansiyonun etkilerini araştırdıkları çalışmalarında süspansiyon sisteminden elde edilen enerji geri kazanımının, hibrit taşıtlarda enerji tasarrufu sağlamak için yeni yöntemlerden biri olduğunu belirtmiştir [4]. K.V. Reddy ve arkadaşları, çift salıncaklı Mac Pherson süspansiyon sistemlerinin kapsamlı kinematik analizini yaptıkları çalışmalarında yol düzensizliğinden tekerlek ve süspansiyon sistemine gelen hareketlere karşı süspansiyon mekanizmasının kinematik tepkisini formüle ederek hesaplamışlardır [5]. M. Montazeri ve M. Mahmoodi, hibrit taşıtlar ve yeni bir güç yönetimi stratejisi üzerine yaptıkları araştırmada, sera gazı emisyonu ve yakıt tüketimini azaltmak için geliştirilen hibrit taşıtlarda enerji yönetim sistemi ve kontrol stratejilerinin performans üzerine etkilerini belirlemişlerdir [6].

Literatür incelendiğinde bu konuda farklı bakış açısı ve yeniliğin ortaya konulduğu görülmektedir. Bu çalışmada, pnömatik silindir, valf akışı, akışkanın hacimsel değişimi, akümülatör düzleştirilmesi, türbin-jeneratör ikilisinin özelliklerinin etkilerini tam olarak dikkate alan kapsamlı ve doğru bir rejeneratif pnömatik amortisör sistemi modeli önerilmiştir. Sistemin parametre tanımlamaları, sistemin doğru bir şekilde modellenmesi için kullanılır, önerilen model daha sonra farklı uyarımlar ve yük dirençleri altında da doğrulanabilir. Daha sonra sistem kapasitesinin etkileri, tüm sistemin titreşimi açısından değerlendirilir ve son olarak, taşıt yükü ve sistem kapasitesi geleneksel bir hidrolik amortisör için asimetrik sönmüleme özellikleri elde edilir.

## Deneysel Çalışma

Yapılan bu çalışmada hareket halindeki taşıtların süspansiyon sisteminden kinetik enerji geri kazanımının deneysel olarak incelenmesi yapılmıştır. Bugüne kadar yapılan araştırmaların çoğunda taşıt, simetrik düşünülüp dörtte bir modellenmiştir. Elde edilen model çeyrek taşıt modeli olarak ele alınır. Bu model çok basit olması ve taşıt titreşimleri konusunda yeterli bilgi vermesi açısından taşıt titreşimlerinin incelenmesinde önemli bir yere sahiptir [7]. Deney setinde aracın yaklaşık dörtte bir ağırlığını taşıyacak bir sistem tasarlanmıştır. Deney setinde pürüzlü yol modeli oluşturulmuş ve tekerleğin zamana bağlı düşey hareketlerinin değişimi grafik üzerine aktarılarak taşıtta kullanılan geleneksel amortisörün titreşimleri ve enerjiyi sönmüleme grafikleri elde edilmiştir. Daha sonra süspansiyon sisteminde kullanılan amortisörün yerine pnömatik silindir bağlanarak yol yüzeyinden gelen etkilerle tekerleğin düşey eksenindeki salınım hareketinden basınçlı hava elde edilmiştir. Elde edilen basınçlı hava bir türbin kanatlarına çarptırılarak türbin milini harekete geçirmektedir. Türbin miline bağlı olan jeneratör ile elektrik enerjisi elde edilmiştir. Pnömatik silindirlerin amortisör etkisi ve tekerleğin düşey eksenindeki hareketlerinin zamana bağlı değişimleri ölçülerek pnömatik silindir titreşimleri sönmüleme kabiliyetinin amortisörle kıyaslanması yapılmıştır. Yapılan bu ölçme işlemi Ø 50 mm lik pnömatik silindir için farklı tekerlek hızlarında tekrarlanarak kıyaslama işlemleri yapılmıştır.



Çalışma da hareket halindeki taşıtların yol koşullarından kaynaklanan ve dikey yönde süspansiyon sisteminde açığa çıkan kinetik enerjinin; Şekil 1'de gösterilen yeni tasarlanmış kinetik enerji geri kazanım sistemi ile farklı taşıt hızlarında (40 ve 50, km/h) meydana gelen kayıp enerjilerin faydalı hale dönüştürülmesini amaçlamaktadır.

Şekil 2'de görüldüğü gibi deneysel çalışmanın temelini oluşturan deney seti oluşturularak amortisör yerine kullanılacak pnömatik silindir, türbin jeneratörün deney düzeneğine bağlanabilmesi için uygun aparatların imalatı yapıp montajı tamamlanmıştır.

Pnömatik silindirden elde edilen basınçlı havanın hareket enerjisine dönüştürülmesi için Şekil 2 b'de görüldüğü gibi çift tesirli pnömatik silindirler çek valf, hız ayar valfi, bağlantı rekorları ve hortumları ile bir türbin kullanılmıştır.


## Bulgular


Yapılan deneyler de tekerlek hızı 40 km/h 50 km/h olarak seçilmiştir ve amortisör 50 mm çapında pnömatik silindir için ayrı ayrı tekrarlanmıştır.


Deneylerin her birinin yapılmasında tekerlek hızı, motor sürücüsünün frekans değeri değiştirilerek ayarlanmış ve hız stabil hale geldiğinde tekerlek kasile karşılaştırılarak süspansiyon sisteminin çalışması sağlanmıştır. Bu çalışma esnasında osiloskopa tekerleğin salınım hareketi grafiğe dönüştürülmüş ve aynı zamanda elde edilen elektriksel değerler ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Bunların yanı sıra vibro metre ile sistemin kararlı çalışması esnasında deney setinin şasisinde meydana gelen sarsıntılar yer değiştirme miktarı tespit edilerek kayıt altına alınmıştır. Pnömatik silindirlerin ürettiği havanın hızı ve ısı ile ortam ısı anemo metre ile ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

Deneylerin her biri yapılırken kasili yol modeli başlangıç noktasına getirilerek, mesafe ölçüm sensörünün aynı konumdan ölçüm yapmaya başlaması sağlanmıştır.

Ölçüm sonuçlarının grafiğe aktarılmasında:

Tekerleğin yaptığı salınım grafiği sarı (  ) renkle,

Elde edilen enerji mavi (  ) renkle,

Süspansiyon sisteminin taşıt gövdesine olan etkisi ise kırmızı (  ) renkle ifade edilmiştir.

Deney setinde tekerlek kasise çıkmaya başladığı nokta ile kasisten inip düz zemine bastığı nokta arasında 62,6 cm yol almaktadır. Amortisör salınım deneyinde 40 km/h hızla tekerlek kasisten indikten sonra tekerlek 132,15 cm yol kat edene kadar şekil 6'da görüldüğü gibi amortisör salınım yapmış ve bu mesafe sonunda amortisör normal boyutuna dönmüştür. Aynı şekilde amortisör; 50 km/h hızla tekerlek kasisten indikten sonraki salınımını 109,55 cm sonra

tamamlayıp normal boyutuna dönmüştür. 50 mm çapındaki pnömatik silindiri sistemlerde ise 40 km/h hızla tekerlek kasisten indikten sonra 66,38 cm salınım hareketi yapıp sistem düzgün hareketine devam etmiştir ve 50 km/h hızla tekerlek kasisten indikten sonra 141,38 cm salınım hareketi yapıp sistem düzgün hareketine devam etmiştir.

Tablo 1 incelendiğinde taşıt hızlarına bağlı olarak hem amortisörde hemde pnömatik sistemlerde zıplama miktarının arttığı gözlenmiştir. Bu da taşıt dinamiği açısından olağan bir durumdur. Ancak pnömatik silindirler ile amortisörlerin zıplama miktarları karşılaştırıldığında pnömatik silindirlerde %12'lik bir artış olduğu tespit edilmiştir. Bu fark çek valfler ile giderilebileceği gibi literatürle karşılaştırıldığında konfor parametreleri için çok anlamlı değildir.

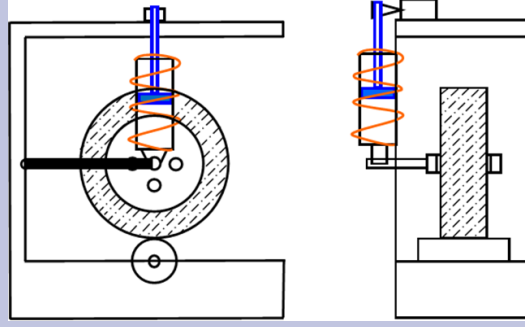
Tablo 2'de hızlara göre elde edilen hava miktarı ve buna bağlı olarak geri kazanılan enerji miktarı verilmiştir. Tabloya göre 50 km/h hızda enerji geri kazanım miktarı daha fazla olmuştur. Bu durum taşıt hızı ile yoldaki pürüzlülüğün taşıt dinamiğine etkisinin doğru orantılı olduğu bilindiğinden dikey yöndeki kinetik enerji artışına bağlı olarak enerji geri kazanımının fazla olması olarak izah edilebilir.

## Sonuç

Tablo 2'de yapılan deneyler ve ölçümler 40 ve 50 km/h hızlarda hareket eden taşıt için testler yapılmıştır. Her iki hızda da orijinal amortisör ile 50 mm'lik pnömatik silindir kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar taşıt kararlılığı göz önünde bulundurularak hem konfor hem de enerji geri kazanımı açısından tartışılmıştır. Bulgular bölümündeki şekiller incelendiğinden de taşıt gövdesinin zıplama hareketi amortisör ve pnömatik silindir için her iki hızda da kabul edilebilir çıktığı tespit edilmiş hatta pnömatik silindir kullanımında elektro kontrollü valfler kullanılması durumunda konfor parametresi yol ve hız durumuna bağlı olarak dinamik kontrol edilerek sürekli stabilizasyon sağlanabilecektir. Enerji geri kazanımı konusunda ise hız arttıkça elde edilen enerji miktarının arttığı tespit edilmiştir. Sistem üzerine iyileştirmeler yapılarak elektrikli ve hibrit araçlar için süspansiyon aracılığı ile taşıtın dikey kinetik enerji geri kazanımının menzil artışından söz etmek mümkündür.

## Destekleyen Kuruluş

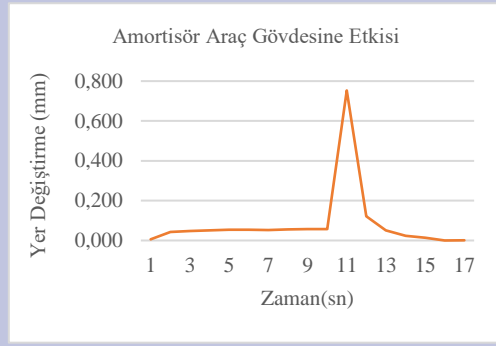
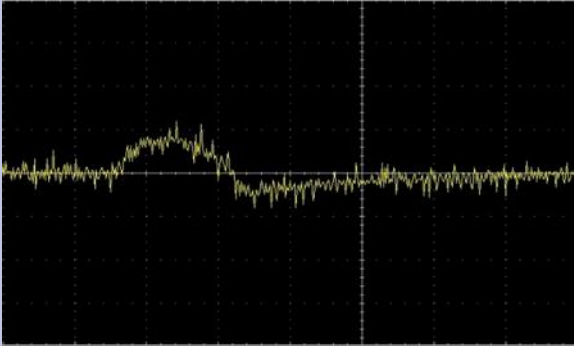
Bu Çalışma Sivas Cumhuriyet Üniversitesi BAP tarafından tekno-013 proje numarası ile desteklenmiştir.



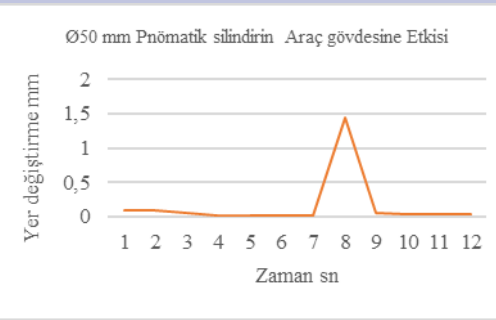
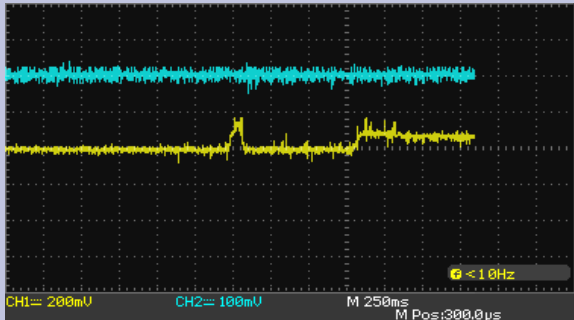
Şekil 1. Yeni tasarlanan KERS deney düzeneği görünüşü  
Figure 1. Newly designed KERS experimental rig view



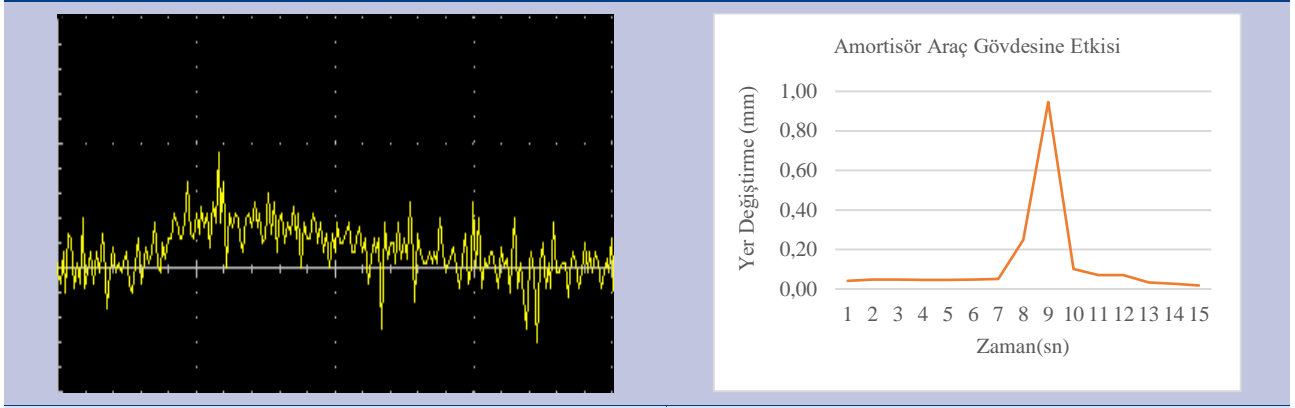
Şekil 2. Deney setinin görünümü  
Figure 2. Appearance of the experimental set



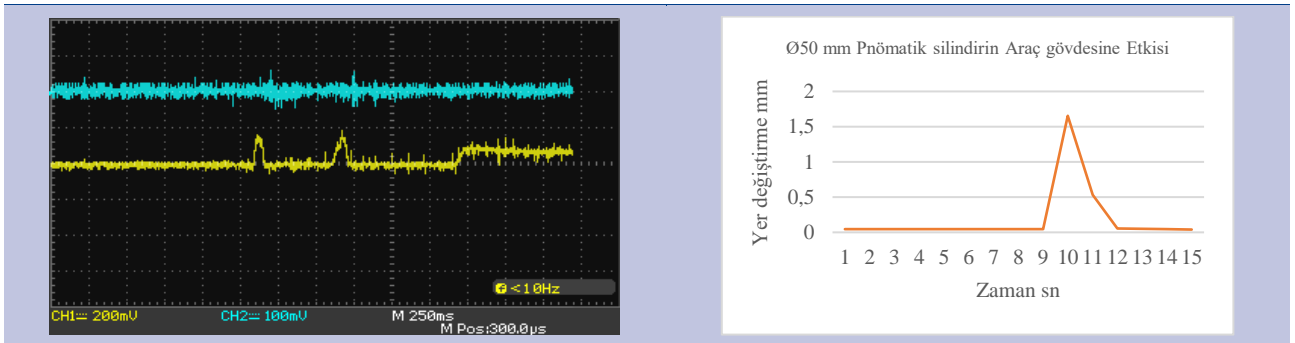
Şekil 3. Ø50 mm Amortisörün sistem 40 km/h hızda elektrik kazanımı, tekerlek salınımı ve taşıt gövdesine etkisi  
Figure 3.



Şekil 4. Ø50 mm Pnömatik silindirli sistem 40 km/h hızda elektrik kazanımı, tekerlek salınımı ve taşıt gövdesine etkisi  
Figure 4. The effect of Ø50 mm Shock Absorber on the system 40 km/h speed, electric gain, wheel oscillation and vehicle body



Şekil 5. Ø50 mm pnömatik silindirli sistem 40 km/h hızda elektrik kazanımı, tekerlek salınımı ve taşıt gövdesine etkisi  
Figure 5. System with Ø50 mm pneumatic cylinder Electricity gain at 40 km/h, wheel oscillation and its effect on the vehicle body



Şekil 6. Ø50 mm pnömatik silindirli sistem 50 km/h hızda elektrik kazanımı, tekerlek salınımı ve taşıt gövdesine etkisi  
Figure 6. Ø50 mm pneumatic cylinder system. Electricity gain at 50 km/h, wheel oscillation and its effect on the vehicle body.

**Tablo 1.** Taşıt gövdesinin düşey eksenindeki zıplama miktarı

| Hız km/h | Kullanılan sistem | Zıplama Miktarı (mm) |
|----------|-------------------|----------------------|
| 40       | Amortisör         | 0,953                |
|          | Pnömatik Silindir | 1,137                |
| 50       | Amortisör         | 0,996                |
|          | Pnömatik Silindir | 1,154                |

**Tablo 2.** Hıza ve silindir çapına bağlı elde edilen elektrik enerjisinin özellikleri

| Silindir Çapı mm | Tekerlek Hızı (km/h) | Hava Hızı (m/sn) | Elde edilen gerilim (mV) | Elde edilen gerilim V | Elde edilen güç mW |
|------------------|----------------------|------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|
| 50               | 40                   | 2,58             | 80                       | 0,08                  | 0,016              |
| 50               | 50                   | 4,17             | 120                      | 0,12                  | 0,037              |

## Kaynaklar

- [1] Url-1 "http://www.audi.com.tr/tr/brand/tr/Efficiency/efficiency\_technologies\_recuperation.html", alındığı tarih: 29.06.2017.
- [2] Url-2 "http://www.skf.com/group/investors/press-releases/skf-cooperates-volvo-evaluate-industrialization-flywheel-systems", alındığı tarih: 30.06.2017.
- [3] Huang, B., Hsieh, C. Y., Golnaraghi, F., & Moallem, M. (2015). Development and optimization of an energy-regenerative suspension system under stochastic road excitation. Journal of Sound and Vibration, 357, 16-34.
- [4] Shi, D., Pisu, P., Chen, L., Wang, S., & Wang, R. (2016). Control design and fuel economy investigation of power split HEV with energy regeneration of suspension. Applied Energy, 182, 576-589.
- [5] Reddy, K. V., Kodati, M., Chatra, K., & Bandyopadhyay, S. (2016). A comprehensive kinematic analysis of the double wishbone and MacPherson strut suspension systems. Mechanism and Machine Theory, 105, 441-470.
- [6] Montazeri-Gh, M., & Mahmoodi-k, M. (2015). Development a new power management strategy for power split hybrid electric vehicles. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 37, 79-96.

[7] Uri-3

"<https://www.audi.com.tr/tr/web/tr/modeller/layer/teknoloji/enerji-geri-kazanimi.html>" alındığı tarih:  
29.06.2017