



# ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

## Mühendislik Bilimleri Dergisi

Journal of Engineering Science  
of Adiyaman University

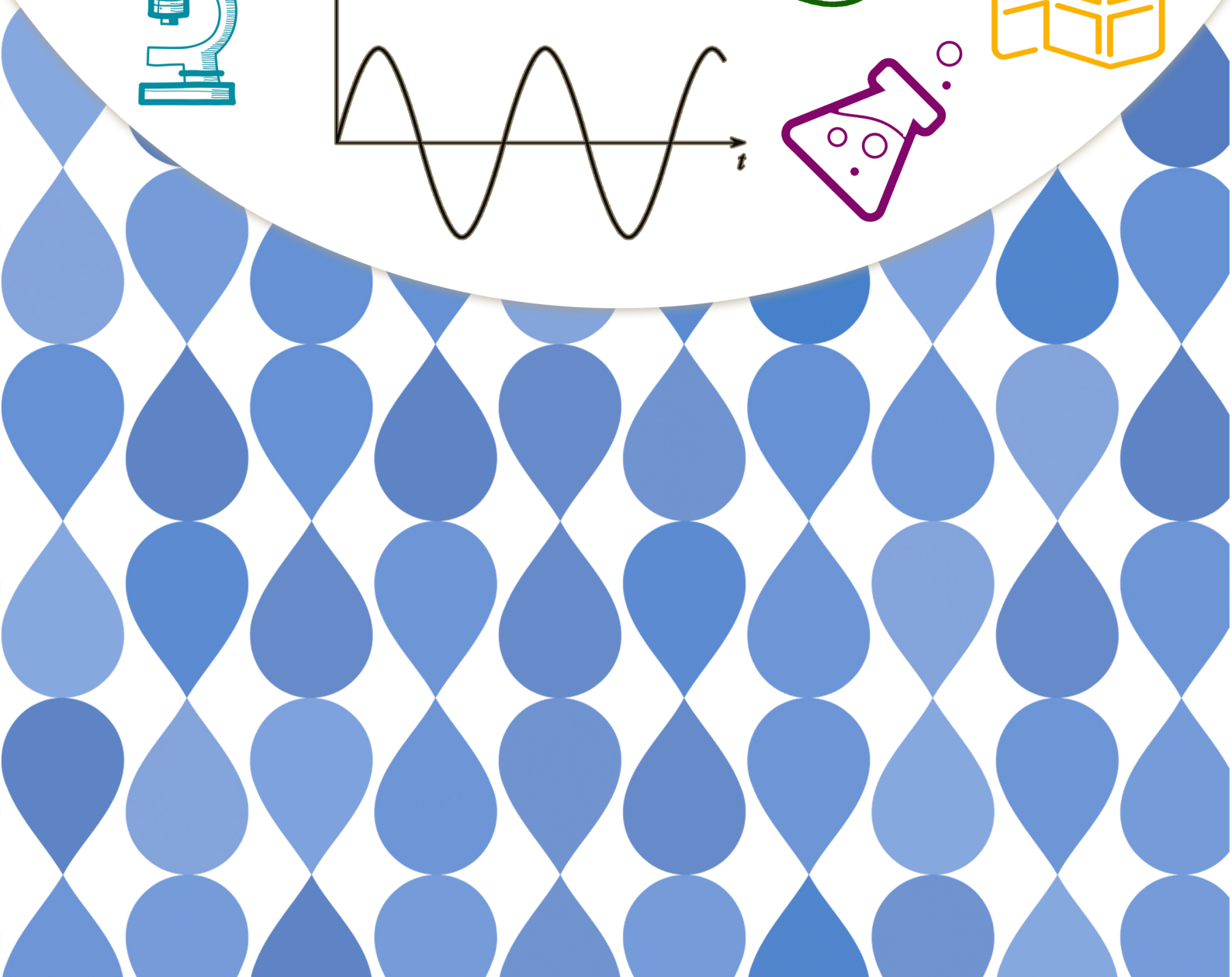
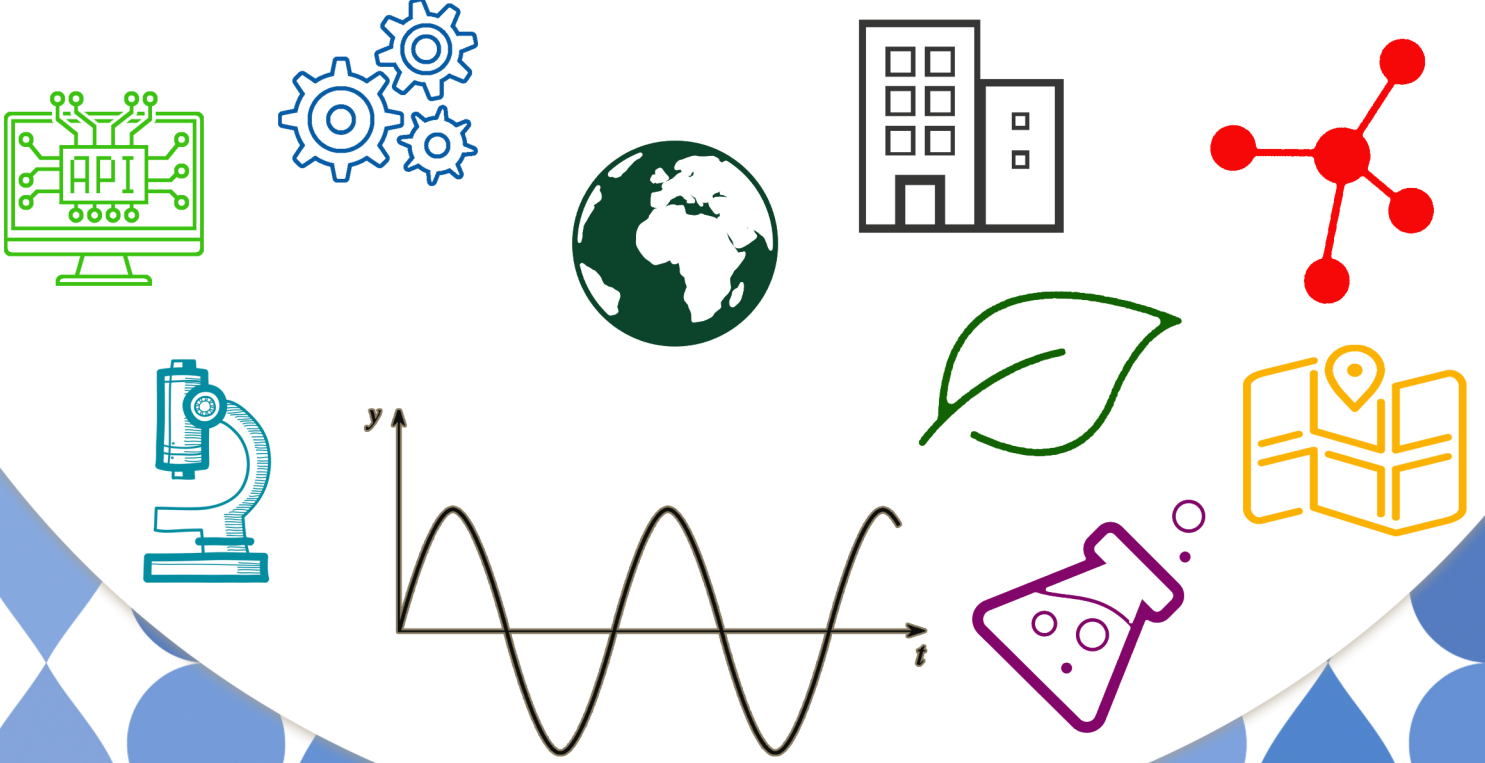
ISSN: 2149-0309

CİLT  
VOLUME 6

SAYI  
ISSUE 10

HAZİRAN  
JUNE

2019



# ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

## Mühendislik Bilimleri Dergisi

### *Journal of Engineering Science of Adiyaman University*

ISSN: 2149-0309

Cilt:6 Sayı:10

#### **Dergi Yöneticisi**

Prof. Dr. Murat PALA

#### **Baş Editör**

Prof. Dr. Murat PALA

#### **Editörler**

Doç. Dr. Tanju TEKER

Doç. Dr. Harun TÜRKMENLER

Dr. Öğr. Üyesi Şerif ÇİTİL

Dr. Öğr. Üyesi Miraç UÇKUN

Arş. Gör. Abuzer DOĞAN

#### **Yazışma Adresi / Correspondence**

Address Adiyaman Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi Dekanlığı

e-mail: mbd@adiyaman.edu.tr

Tel: 0 (416) 223 38 08

Fax: 0 (416) 223 38 09

## **YAYIN KURULU/ EDITORIAL BOARD**

- 1-Prof.Dr. Şemsettin TEMİZ.....(İnönü Üniversitesi)
- 2-Prof.Dr. Murat DEMİR AYDIN ..... (Erzurum Teknik Üniversitesi)
- 3-Prof.Dr. İbrahim TÜRKMEN ..... (İnönü Üniversitesi)
- 4-Prof.Dr. Naci ÇAĞLAR.....(Sakarya Üniversitesi)
- 5-Prof.Dr. Abdulkadir ÇEVİK .....(Gaziantep Üniversitesi)
- 6-Prof.Dr. Seyhan FIRAT ..... (Gazi Üniversitesi)
- 7-Prof.Dr. Hasan OKUYUCU.....(Yıldırım Beyazıt Üniversitesi)
- 8-Prof.Dr. Eyüp DEBİK..... (Yıldız Teknik Üniversitesi)
- 9-Prof.Dr. Yusuf TUNÇTÜRK..... (Yüzüncü Yıl Üniversitesi)
- 10-Prof.Dr. Nevzat ARTIK..... (Ankara Üniversitesi)
- 11-Doç.Dr. Hamit ADİN..... (Batman Üniversitesi)
- 12-Doç.Dr. Halef DİZLEK .....(Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi)
- 13-Dr. Öğr. Üyesi Yaşar AYZAZ ..... (İnönü Üniversitesi)
- 14-Dr. Öğr. Üyesi Aysun ŞENER.....(Adana Bilim Teknoloji Üniversitesi)

## **DANIŞMA KURULU/ ADVISORY BOARD**

- 1-Prof. Dr. Şemsettin TEMİZ.....(İnönü Üniversitesi)
- 2-Prof. Dr. Ergün ERÇELEBİ.....(Gaziantep Üniversitesi)
- 3-Prof. Dr. İbrahim TÜRKMEN .....(İnönü Üniversitesi)
- 4-Prof. Dr. Naci ÇAĞLAR .....(Sakarya Üniversitesi)
- 5-Prof. Dr. Abdulkadir ÇEVİK.....(Gaziantep Üniversitesi)
- 6- Prof. Dr. Eyüp DEBİK.....(Yıldız Teknik Üniversitesi)
- 7-Doç. Dr. Sema Koç KAYHAN.....(Gaziantep Üniversitesi)

# İÇİNDEKİLER- CONTENTS

Kömürçüoda Katı Atık Depolama Sahasında Depo Gazından Enerji Üretiminde Kullanılan Gaz Motorlarında Oluşan Depozitin Elementel Karakterizasyonu

*Elemental Characterization Of Deposits In Gas Engines Used In Energy Production From Landfill Gas In Kömürçüoda Landfill*

Orhan SEVİMOĞLU, Özge ÖSTÜRK..... 1-9

Kısa Devre Durumunda Güç Trafosunda Meydana Gelen Elektromanyetik Kuvvetlerin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi

*Analysis Of Electromagnetic Forces From Power Transformer In Short Circuit By Finite Element Method*

Yıldırım ÖZÜPAK, Mehmet SALİH MAMIŞ ..... 10-22

The Share Of Required Costs In Investment Amounts For Mining Operating Activities In Pasture Lands In Turkey

*Türkiye’de Mera Alanlarında Maden İşletme Faaliyetleri Yapılabilmesi İçin İstenen Bedellerin Yatırım Tutarları İçerisindeki Payı*

Taşkın DENİZ YILDIZ..... 23-31

An Analytical And Experimental Approach For Improved Stiffness Matrix Of Bars With Shear And Wide Support Effects

*Kayma Ve Geniş Mesnet Etkisindeki Çubukların Geliştirilmiş Rijitlik Matrisleri İçin Analitik Ve Deneysel Bir Yaklaşım*

Yaşar AYZA, Ahmet BUDAK ..... 32-46

Kat Seviyeleri Farklı Bitişik Nizam Yapılarda Kat Kütlesinin Çarpışma Kuvvetine Etkisi

*The Effect Of Floor Mass On The Collision Strength In Different Adjacent Structures With Different Storey Levels*

Murat PALA, Zeliha ŞAŞMAZ..... 47-63



## **KÖMÜRCÜODA KATI ATIK DEPOLAMA SAHASINDA DEPO GAZINDAN ENERJİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN GAZ MOTORLARINDA OLUŞAN DEPOZİTİN ELEMENTEL KARAKTERİZASYONU**

**Orhan SEVİMOĞLU<sup>1\*</sup>, Özge ÖSTÜRK<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Gebze Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Turkey

Geliş tarihi: 22.10.2018 Kabul tarihi: 04.04.2019

### **ÖZET**

Katı atık depo sahalarında oluşan depo gazı enerji üretim için gaz motorlarında yakılarak genellikle elektrik enerji üretilmekte, aynı zamanda CO<sub>2</sub>'den 25 kat daha fazla sera gazı etkisi olan CH<sub>4</sub>'nın CO<sub>2</sub> dönüştürülmesi ile sera gazı emisyon etkisi azaltılmaktadır. Depo gazı bünyesinde büyük oranda Metan ve Karbondioksit bulunmakta, eser miktarda da siloksanlar, hidrojen sülfür, merkaptanlar ve diğer organik bileşikler bulunmaktadır. Enerji üretimi sırasında depo gazında bulunan bu bileşiklerin yüksek sıcaklık ve basınç altında oksitlenmesi sonucu oluşan parçacıklar motorun yanma odasının ekipmanları yüzeyinde birikerek kompleks depozit oluşturmaktadır. Bu çalışmada, İstanbul Kömürcüoda Katı Atık Depolama Sahasındaki depo gazından enerji üretimi tesisinde kullanılan gaz motorlarının piston başlarında biriken kompleks depozitlerin elementel içerikleri incelenmiştir. Depo gazının yanması sırasında oluşan metaloksitler yüksek sıcaklık ve basıncın etkisiyle motor parçalarına çarparak tutunmakta ve motor yüzeyinde başlangıçta ince bir tabaka oluşturmaktadır. Yanma işlemi süresince oksitlenmeye devam eden elementler bu tabaka üzerinde birikerek kalınlığı yaklaşık 0,5-2 mm arasında değişen depozit formlarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu depozitleri oluşturan elementlerin kompozisyonunun belirlenmesi için piston başlarından alınan depozitler X-Işını Difraksiyonu (XRD) ve X-Işını Floresan (XRF) spektrometresi ile analiz edilmiştir. Analizler neticesinde, XRD analizi sonucu kristal formda CaSO<sub>4</sub> ve XRF analizi sonucu 16 element tespit edilmiştir. Alınan sonuçlara göre, oksijen toplam kütlede yaklaşık olarak yarısını oluşturmaktadır. Kalsiyum, sülfür ve silisyum oranları ise sırasıyla %16,6, %16,1 ve %14,6 olarak bulunmuştur. Ayrıca, depozitteki antimonun kütlece oranı %3,5 olup, toksik bir element olduğu dikkate alındığında bu oran diğer elementlere nazaran yüksektir. Bu elementlerin tespiti depo gazı arıtma sistemlerinde uygulanacak uzaklaştırma metotlarının seçimine yön verecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Depo gazı, depozit, elementel analiz, XRD, XRF.

## **ELEMENTAL CHARACTERIZATION OF DEPOSITS IN GAS ENGINES USED IN ENERGY PRODUCTION FROM LANDFILL GAS IN KÖMÜRCÜODA LANDFILL**

### **ABSTRACT**

The landfill gas is generally burned in gas engines for energy production, and electricity is generally produced, and in addition, the greenhouse gas emission effect is reduced by converting CH<sub>4</sub> into CO<sub>2</sub>, which is 25 times more greenhouse gas impact than CO<sub>2</sub>. The landfill gas contains in major CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> and the trace amounts of siloxanes, Hydrogen sulfide, mercaptans and other organic compounds. It is observed that the deposits are formed during the oxidation of these compounds in the landfill gas during the energy production under high temperature and pressure. In this study, elemental content of the complex deposits were investigated that accumulated on the piston heads of the gas engine used in the energy production facility of the landfill gas in Istanbul Kömürcüoda Municipal Landfill. The metal oxides formed during the combustion process hit the engine internal parts with the

\* e-posta: [sevimoglu@gtu.edu.tr](mailto:sevimoglu@gtu.edu.tr) ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-4861-5154>  
[osturk@gtu.edu.tr](mailto:osturk@gtu.edu.tr) ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-1082-7728>

effect of high temperature and pressure and form a thin layer on the engine surface. The metals that continue to oxidize during the combustion process accumulate on this layer and cause the formation of deposit forms whose thickness varies between 0.5-2 mm. The deposits taken from the piston heads to determine the composition of these deposits were analyzed by X-Ray Diffraction (XRD) and X-Ray Fluorescence (XRF) spectrometry. As a result of the analysis, the XRD analysis results in crystalline form of CaSO<sub>4</sub> and XRF analysis revealed 16 elements. According to the results, oxygen constitutes approximately a half of the total mass. The ratios of calcium, sulfur and silicon were 16.6%, 16.1% and 14.6%, respectively. In addition, the ratio of antimony in the deposit is about 3.5% and this rate is high as a toxic element considering to other elements. The detection of these elements will lead to the selection of removal methods to be applied in landfill gas treatment systems.

**Keywords:** Landfill gas, deposits, elemental analysis, XRD, XRF.

## 1. Giriş

Düzenli katı atık depolama alanında oluşan depo gazı kontrol altına alınmadığı takdirde yanıcı ve patlayıcı olduğu için yangına [1], sera gazı etkisi olduğundan dolayı çevreye ve küresel ısınmaya [2,3] ve toksik kimyasal içeriğinden dolayı da insan sağlığına olumsuz etkileri bulunmaktadır [4]. Bu sebeple, depolama sahalarında oluşan depo gazının kontrollü bir şekilde toplanarak bertaraf edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, stabilize olmuş bir çöp depolama sahasında oluşan ve yaklaşık %50'si metan (CH<sub>4</sub>) olan depo gazı değerli ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olduğu için elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır [5]. Ayrıca, karbondioksit (CO<sub>2</sub>) göre 25 kat daha fazla sera gazı etkisine sahip olan CH<sub>4</sub>'ün enerji dönüşümünde kullanılması sonucunda çöp sahalarından kaynaklı sera gazı etkisi azaltılmaktadır [6]. Bu bağlamda, katı atık depolama sahasından toplanan depo gazı, elektrik enerjisi üretmek amacıyla gaz motorlarında yakılmaktadır. Depo gazının içeriğinde, metan ve karbondioksit ek olarak hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S), halojenli hidrokarbonlar, merkaptanlar, siloksanlar [7,8] ve iz metaller (selenyum (Se), tellür (Te), civa (Hg), kurşun (Pb), arsenik (As), kalay (Sn), antimon (Sb), bismut (Bi), klor (Cl), kükürt (S), magnezyum (Mg), bakır (Cu) ve çinko (Zn)) [9-14] gibi eser miktarda bileşikler bulunmaktadır.

Depo gazı gaz motorlarında yakıldığında, gazın içerisinde bulunan bileşiklerin yapısındaki elementlerin oksitlenmesi sonucu oluşan metaloksitler gaz motorunun yanma odasının parçalarında birikerek depozit oluşturmaktadır [15,16]. Özellikle, siloksanlar yanma sonrasında silikatlara dönüşmekte (SiO<sub>2</sub> ya da SiO<sub>3</sub>) [17] ve oluşan depozitlerin önemli bir kaynağı olduğundan dolayı gaz motorlarını ve enerji üretimini olumsuz yönde etkilemektedir [18-23]. Ancak, motorun yanma odasında yüksek sıcaklık ve basınç altında oluşan bu depozitler, sadece depo gazında bulunan iz kimyasalların oksitlenmesinden kaynaklanmamakta, bunun yanı sıra gaz motorlarının çalışma prensibinden kaynaklı olarak motor yağının piston çeperlerinden yanma odasına az miktarda sızdırılması sonucunda depo gazı ile birlikte yakılmasıyla yağın içinde bulunan elementlerin de oksitlenmesi depozit oluşumuna katkı sağlamaktadır [24-26]. Kamyon motorlarının honlama kanallarında oluşan birikintilerdeki yüksek sülfür ve kalsiyum içeriğinin motor yağındaki bir katkı maddesine bağlı olabileceği vurgulanmıştır [27].

Depo gazından enerji üretim sistemleri birçok potansiyel probleme ve beraberinde işletme problemlerine sahiptir ve birtakım zorlukları da beraberinde getirmektedir. En büyük problemlerden biri olan motor içinde oluşan ve biriken depozitler, tesislerin başlangıçta planlamadıkları bir şekilde motorların performansını düşüren erken motor kirlenmesiyle karşı karşıya kalmalarına neden olmaktadır [28]. Bu durumun normal planlanan bakım zamanından önce olması, işletme ve bakım maliyetini artırdığından dolayı depozit oluşumunun nedenlerinin ve kaynaklarının araştırılması ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır [29].

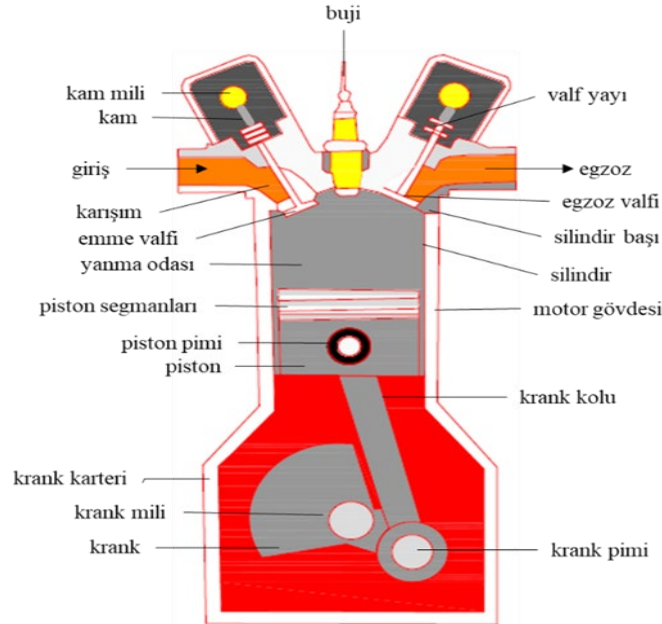
Bu çalışmanın ana amacı motor içerisinde yüksek miktarda meydana gelen madde birikintilerinin kütle yüzde dağılımının belirlenmesi ve bu birikintide rol alan metal elementlerin ve kristal formda bileşiklerin tespitinin yapılmasıdır. Bundan dolayı İstanbul Kömürçüoda Katı Atık Depolama Sahası'nda 2009 yılı itibariyle depo gazının elektrik enerjisi üretiminde kullanıldığı tesisteki gaz motorlarının piston başlarında oluşan depozitin kimyasal karakterizasyonu çoklu analiz yöntemleriyle

incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, X-Işını Difraksiyonu (XRD) ve X-Işını Floresan (XRF) spektrometresi gibi ileri analiz ekipmanları kullanılarak depozit kompozisyonunu oluşturan elementlerin nitel ve nicel analizi yapılarak kütle yüzde dağılımı oluşturulmuştur.

## 2. Yöntem ve Metotlar

### 2.1. Depo gazından enerji üretim tesisi

Kömürçüoda katı atık depolama sahasına, özellikle İstanbul Anadolu yakasının evsel katı atıkları 1995'ten günümüze kadar düzenli olarak depolanmaktadır. Tesisin gaz aldığı depolama alanı 40 hektardan fazla olup bu alana 1996-2012 yılları arasında yaklaşık olarak 25 milyon ton evsel atık depolanmıştır. Bu depolama sahasında oluşan depo gazı, 2009 yılında kurulan ve işletmeye alınan depo gazından enerji üretim tesisindeki yaklaşık 152 kuyudan takriben 40-50 mbar vakum uygulanarak toplanmakta ve enerji üretim tesisindeki gaz motorlarında yakılarak elektrik enerjisi üretilmektedir [30]. Depo gazının bileşimi yaklaşık olarak %45-50 CH<sub>4</sub>, %40-45 CO<sub>2</sub>, %0,5-2 oksijen (O<sub>2</sub>), %4-10 azot (N<sub>2</sub>) ve %1'den daha az miktarda eser gazlardan (H<sub>2</sub>S ve uçucu organik bileşikler gibi) oluşmaktadır. Depo gazı, sahadan toplandıktan sonra öncelikle gaz karışımını dengelemek ve homojen hale getirmek amacıyla gaz depolama balonuna gönderilmektedir. Sonra, depo gazında bulunan su buharının giderilmesi için depo gazı soğutuculardan geçirilmekte ve ardından nem giderme işlemi uygulanmaktadır. Bu aşamada, gaz sıcaklığı 35°C'dan 2°C'a düşmektedir. Sonrasında, gaz basıncının sıfırın altında 40-50 mbar'dan (vakum) 185 mbar'a (pozitif basınç) artırılması için depo gazı basınç yükselticiye gönderilmektedir. Bu aşamada, gaz sıcaklığı yaklaşık olarak 20°C'ye ulaşmaktadır. Bu işlemlerin ardından, depo gazı hava ile karıştırılarak gaz motoruna gönderilmekte ve piston çeperlerinden sızan eser miktarda yağ ile birlikte yanma işlemi gerçekleşmekte ve enerji üretimi sağlanmaktadır.



Şekil 1. Gaz motorunun şematik gösterimi.

### 2.2. Numunelerin Alınması

Gaz motorunun yanma odası Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir. Yanma işlemi esnasında bileşiklerdeki elementlerin oksitlenmesi sonucu oluşan metaloksitler piston başlarında birikmektedir.

Kömürcüoda Çöp Depolama Sahası'nda Kurulu olan elektrik üretim tesisindeki gaz motorunun piston başlarında biriken depozitler hafifçe kazımak suretiyle alınmıştır. Yaklaşık 100 gram seviyesinde alınan numune temiz plastik poşetin içine konarak analiz yapılacak laboratuvara nakledilmiştir. Motorun piston başlarından alınan depozit Şekil 2'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.** Piston başından alınan depozitlerin görünümü

### **2.3. Analizler**

#### *2.3.1. XRD analizi*

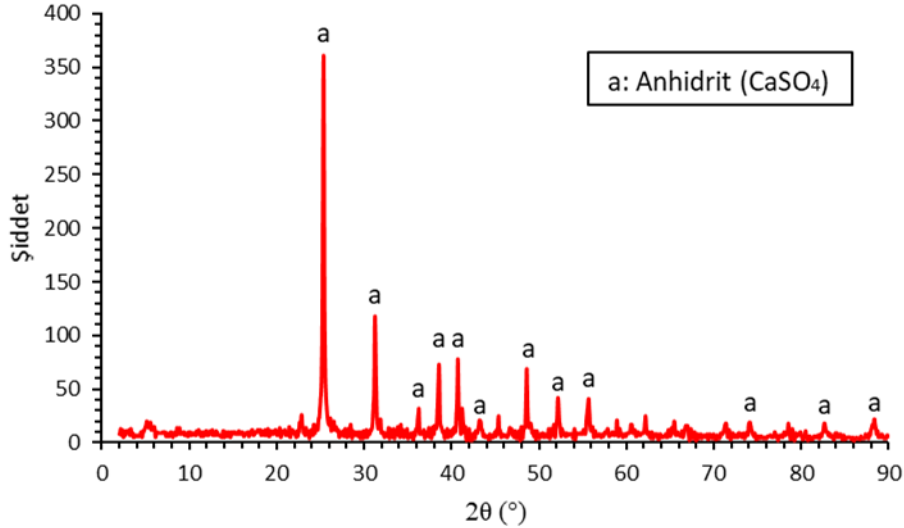
Yanma odasında oluşan depozitin içerisindeki kristal yapıları analiz etmek amacıyla XRD cihazı kullanılmaktadır. XRD ile analizi yapılan numunedeki her bir kristalin faz, x-ışınıyla karşılaştığında kendine özgü bir kırınım örgüsü oluşturmaktadır. Bu örgüler, malzemelerin kristal yapısı ve örgü parametreleri hakkında bilgi vermektedir. Bu çalışmada, depozitlerin XRD ile analizi, oda sıcaklığında çalıştırılan ve Cu-K $\alpha$  (40 kV ve 40 mA) ışınımı yapan Rigaku Dmax 2200 model XRD cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Tarama alanı, 0.02 adımlarla dakikada 3°'lik tarama hızıyla  $2^{\circ} \leq 2\theta \leq 90^{\circ}$  aralığında ölçüm alınmıştır. Elde edilen kırınım örgüsü veri tabanı ile karşılaştırmalı olarak analiz edilerek numunedeki kristalin türler kalitatif olarak belirlenmiştir. Piston başlarının farklı bölgelerinden toplanan depozitler önce toz haline getirilerek XRD'de daha homojen bir numunenin analizi yapılmıştır.

#### *2.3.2. XRF analizi*

Depozitin elementel içeriğinin belirlenmesi için Dalga Dağılımlı X-Işını Floresan (WDXRF) Spektrometresi kullanılmıştır. XRF ile inorganik ve organik katı malzemelerin (toz ve kütle) element içeriği (atom numarası oksijen ve uranyum arasında olan elementler) nitel olarak tanımlanmakta ve yarı nicel olarak element miktarları belirlenmektedir. Bu çalışmada, analizler rodyum X-ışını tüpü ve 3.6 kW jeneratörü (60 kV ve 125 mA) olan Philips PW-2404 model spektrometre ile gerçekleştirilmiştir. 150 mm, 550 mm ve 4000 mm'lik ışın yönlendiricilerin mevcut olduğu akış ve sintilasyon detektörleri kullanılmıştır. PW-2404 WDXRF sistemindeki yedi standart analiz kristali yardımıyla, oksijen ve uranyum arasındaki tüm elementlerin belirlenen spesifik dalga boyları sisteme bağlı Omnian programıyla karşılaştırılarak depozitteki elementler nitel olarak belirlenmiştir. Yarı nicel element analizi sonucunda, depozitteki elementlerin kütlece yüzde dağılımları elde edilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Motorun piston başlarından alınan depozitin XRD ile analizi neticesinde elde edilen kırınım deseni Şekil 3’de gösterildiği gibidir. Buradan görüldüğü üzere, motorun yanma odasında oksitlenen kalsiyum ve sülfür parçacıkları, Anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ ) kristali olarak motor yüzeyinde depozit oluşturmuştur. Kırınım deseni incelendiğinde, bazı X-ışını açılarında (özellikle  $56 \leq 2\theta \leq 72$  aralığında) kırınım şiddeti fazla olmayan piklerin olduğu görülmektedir. Bu piklerin Anhidrit kristalinin farklı fazlarına ait olduğu düşünülmektedir.  $\text{CaSO}_4$ ’daki sülfürün depo gazında bulunan  $\text{H}_2\text{S}$ ’den geldiği var sayıldığından, yüksek sıcaklık ve basınç altında kalsiyum ile uygun bağ yaptığı ve kristal formda depozit oluşturduğu söylenebilir.



Şekil 3. Depozitin XRD deseni.

Depozitin elementel içeriğinin belirlenmesi amacıyla kullanılan bir diğer yöntem XRF ile analiz yöntemidir. Tablo 1’de XRF sonuçları neticesinde nicel olarak bulunan depozitin elementel içeriğinin kütlece yüzde dağılımı sunulmuştur. Buradan, depozitin kütlece %48,5’inin oksijenden oluştuğu görülmektedir. Çünkü depozitteki her bir element oksijen ile okside olmuş durumdadır. Depozitin %51,5’ini ise kalsiyum (Ca), sülfür (S), silisyum (Si), Sb, alüminyum (Al), demir (Fe), sodyum (Na), Mg, fosfat (P), Zn, potasyum (K), krom (Cr), Cu, mangan (Mn) ve nikel (Ni) elementleri oluşturmaktadır.

Depozitteki Ca ve S miktarları yaklaşık olarak eşit olmak üzere kütlece oranları sırasıyla %16,6 ve %16,1 olarak belirlenmiştir. Bu iki elementin miktarı depozitteki toplam element miktarının yaklaşık %33’ünü oluşturmaktadır. Dolayısıyla XRD sonuçları da göz önüne alındığında  $\text{CaSO}_4$  kristali formunu meydana getiren Ca ve S elementleri, piston başlarında depozit oluşumuna katkı sağlayan en önemli bileşenlerdir. Bu elementlerin kaynağının bulunarak depo gazından uzaklaştırılması depozit oluşumunu önemli ölçüde azaltacaktır. Yapılan çalışmalarda, depozitte bulunan sülfürün, depo gazıyla beraber yanma odasına gelen  $\text{H}_2\text{S}$  gazının bileşiminde bulunan sülfürün yanma sırasında oksitlenmesi sonucu oluştuğu ifade edilmiştir [31, 32]. Ca’um ise motor yağında bulunan katkı maddelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir [33]. Bununla birlikte Fe, Ca ve Si bakımından zengin mineral birikintilerin gaz karışımını oluşturan bileşenlerden kaynaklanabileceği vurgulanmıştır [34].

Depozitteki Si miktarının oranı %14,6 olup Ca ve S’den sonra oranı en fazla olan element olduğu belirlenmiştir. Yapılan birçok deneysel çalışmada depozitleri oluşturan elementlerden silisyumun depo gazında ölçülebilir seviyede olan siloksanlardan geldiği belirtilmiştir [35-40]. Dolayısıyla bu çalışmada en fazla oranın Si olması beklenirken, Ca ve S oranının Si oranından daha yüksek olduğu tespit

edilmiştir. Bu sonuç neticesinde, gaz motorlarında meydana gelen depozitin içeriğinin ve miktarının katı atık sahalarında depolanan atığın özelliğine, organik bileşenlerine, çevresel faktörlere ve işletme koşullarına göre değişkenlik gösterebileceği ortaya çıkmaktadır.

Bu dört elementten sonra depozitin içerisinde kütlece en fazla oranda Sb bulunmaktadır. Depozitte tespit edilen antimonun depo gazından geldiği ifade edilmiştir [41]. Gerçekleştirilen bir çalışmada, depo gazında Pb, Sn, As ve Sb gibi toksik uçucu elementlerin bulunduğu belirtilerek depo gazının toplanması ve yakılması sonucunda bu elementlerin depozit olarak birikmesiyle beraber depolama sahasından atmosfere yayılımının engellendiği vurgulanmıştır. Ancak, uzun süre maruz kalındığı takdirde motorların bakımını yapan çalışanların sağlığını olumsuz yönde etkilediği ifade edilmiştir [10]. Depozitte bulunan diğer elementlerin kütlece yüzde dağılımları ise %1'in altındadır. Elementlerin kütlece yüzde oranları toplandığında %100'ün üzerinde bir değer hesaplanmıştır. Dolayısıyla analizlerin yapıldığı XRF cihazının belli bir hata payıyla çalıştığı ancak toplam hata payının %5'in altında olması nedeniyle veri sonuçlarının sağlıklı bir şekilde elde edildiği söylenebilir.

**Tablo 1.** Depozitin XRF ile belirlenen kütlece elementel içeriği.

<b>Element</b>	<b>Konsantrasyon (%w/w)</b>
O	48,505
Ca	16,568
S	16,069
Si	14,580
Sb	3,497
Al	0,237
Fe	0,136
Na	0,111
Mg	0,111
P	0,098
Zn	0,023
K	0,016
Cr	0,017
Cu	0,014
Mn	0,008
Ni	0,006
<b>Toplam</b>	<b>102,996</b>

Bu sonuçlardan, depozit içindeki kalsiyum, sülfür ve silisyum miktarlarının yüksek bir orana sahip oldukları görülmektedir. Bu elementleri içeren bileşikler kaynakta veya motor girişinde gazdan uzaklaştırıldığında, gaz motorunda oluşan birikme miktarı azalacak ve birikme süresi uzayacağı için motorun normal bakım periyodunda temizlenmesi ile depozit oluşumundan kaynaklanan motor bakım ve işletme sorunları da giderilmiş olacaktır.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, depo gazından enerji üretimi yapılan gaz motorlarının yanma odalarında meydana gelen parçacıklardan oluşan kompleks depozitlerin elementel kompozisyonu araştırılmıştır. Gazın

içerisinde bulunan uçucu organometalik bileşikler, H<sub>2</sub>S, merkaptanlar ve diğer bileşikler ile yağ motorunun eser miktarda yanması sonucu oluşan parçacıklar, yüksek basınç ve sıcaklık altında motor parçalarının yüzeyinde birikmektedir. Motor aksamlarında oluşan bu birikintinin motor sisteminin çalışma performansını etkilediği ve enerji üretimindeki sınırlamaların başlıca nedenleri arasında olduğu anlaşılmıştır. Bundan dolayı depozitlerin içeriği elementel olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan depozitler, Kömürcüoda Depo Gazından Enerji Üretim Tesisinden alınmıştır.

Yanma odasında oksitlenen parçacıkların bir kısmının kristal formda olduğu XRD analizi neticesinde belirlenmiştir. Piston başlarından alınan depozit CaSO<sub>4</sub> kristallerini içermektedir. Özellikle Ca ve S'ün oksitlenme sırasında kristal forma dönüşmesinde sıcaklığın ve basıncın etkisinin olduğu söylenebilir. Ayrıca, bu elementlerin diğer okside olmuş elementlerin depozit oluşturmasındaki etkisi de araştırılmalıdır.

XRD analizine ilaveten, depozitlerin elementel kompozisyonu XRF ile analiz edilmiştir. Depozitin içerisindeki metaller oksijen ile oksitlendikleri için depozitin neredeyse yarısını oksijen oluşturmaktadır. Oksijenden sonra en fazla oranda bulunan Ca, S ve Si elementlerinin kütle oranları sırasıyla %16,6, %16,1 ve %14,6 olarak bulunmuştur. Depozitte yüksek oranda bulunan Si'um ana kaynağının depo gazında bulunan siloksanlar olduğu ve depozitteki S'ün depo gazında eser miktarda bulunan H<sub>2</sub>S gazı olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, depozitteki Sb miktarı yaklaşık %3,5 olmasına rağmen Sb'nun toksik bir element olduğu göz önüne alındığında bu oran dikkate alınmalıdır. Sb kaynağının ve etkilerinin neler olabileceği ileri bir araştırma konusudur. Diğer okside olmuş elementler sırasıyla Al, Fe, Na, Mg, P, Zn, K, Cr, Cu, Mn, Ni depozit içindeki oranları %1'in altındadır. Bu elementlerin oranlarının düşük olması, yanma sırasında yanma bileşenleri olan depo gazı ve motor yağı içindeki miktarlarının siloksanlar ve H<sub>2</sub>S'e oranla düşük olduğunun bir göstergesidir.

Çalışan motorların zamanında bakıma alınabilmesi ve oluşan depozitlerin motor parçalarına zarar vermesinin önlenmesi için yanma odasında yüzde olarak yüksek olan elementlerin gazdan veya yanma prosesinden uzaklaştırılması depozit formasyonunun oluşumunu geciktirecektir. Bunun için her bir elementin kaynağına bağlı olarak yanma işleminden önce uzaklaştırma sistemleri ile giderimi sağlanmalıdır.

### **Teşekkür**

Bu çalışma Gebze Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Programı tarafından BAP 2017-A108-67 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Çalışmada kullanılan depozit numuneleri Ortadoğu Enerji AŞ'den temin edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları hiçbir birime sorumluluk yüklenmez.

**Kaynaklar**

- [1] Rollinson A.N., Fire, Explosion and chemical toxicity hazards of gasification energy from waste, *J. Loss Prev. Process Ind.*, 54, 273-280, 2018.
- [2] Gardner N., Manley B.J.W., Pearson J.M, Gas emissions from landfills and their contributions to global warming, *Appl. Energy*, 44(2), 165-174, 1993.
- [3] Tiana H., Gaoa J., Hao J., Lua L., Zhua C., Qiua P., Atmospheric pollution problems and control proposals associated with solid waste management in China: A review, *J. Hazard. Mater.*, 252, 142-154, 2013.
- [4] Ofungwu J., Eget S., Brownfields and Health Risks—Air Dispersion Modeling and Health Risk Assessment at Landfill Redevelopment Sites, *Integr. Environ. Assess. Manag.*, 2, Number 3, 253–261, 2006.
- [5] Bove, R., Lunghi, P., Electric power generation from landfill gas using traditional and innovative technologies, *Energy Conversion and Management*, 47 (11–12), 1391–1401, 2006.
- [6] Zuberi M.J.S., Ali S.F., Greenhouse effect reduction by recovering energy from waste landfills in Pakistan, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 117–131, 2015.
- [7] Eklund B., Anderson E.P., Walker B.L., Burrows D.B., Characterization of landfill gas composition at the fresh kills municipal solid-waste landfill, *Environ. Sci. Technology*, 32, 2233-2237, 1998.
- [8] Allen M.R., Braithwaite A., Hills C.C., Analysis of the trace volatile organic compounds in landfill gas using automated thermal desorption gas chromatography-mass spectrometry, *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 62, 43-52, (1996).
- [9] Suzuki K., Cox A.G., McLeod C.W., Stoddart J., Multi-element analysis of landfill gas by ICP emission and mass spectrometry, *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 82, 815-823, (2002).
- [10] Glindemann D., Morgenstern P., Wennrich R., Stottmeister U., Bergmann A., Toxic oxide deposits from the combustion of landfill gas and biogas, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 3, 75-77, (1996).
- [11] Feldmann J., Hirner A.V., Occurrence of volatile metal and metalloid species in landfill and sewage gases, *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 60, 339-359, (1995).
- [12] Thorburn S., Colenutt B.A., Douglas S.G., The sampling and gas chromatographic analysis of gases from landfill sites, *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 6, 245-254, (1979).
- [13] Badjagbo K., Héroux M., Alae M., Moore S., Sauvé S., Quantitative analysis of volatile methyl siloxanes in waste-to-energy landfill biogases using direct APCI-MS/MS, *Environ. Sci. Technol.*, 44, 600-605, (2010).
- [14] Sevimoğlu O., Tansel B., Composition and source identification of deposits forming in landfill gas (LFG) engines and effects of activated carbon treatment on deposit composition, *J. of Environ. Management*, 128, 300-305, (2013b).
- [15] Naja, G.M., Alary, R., Bajeat, P., Bellenfant, G., Godon, J.J., Jaeg, J.P., Keck, G., Lattes, A., Leroux, C., Modelon, H., Moletta-Denat, M., Ramalho, O., Rousselle, C., Wenisch, S., Zdanevitch, I., Assessment of biogas potential hazards, *Renew. Energ.*, 36, 3445-3451, (2011).
- [16] Demirbas, A., Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues, *Prog. Energ. Combust.*, 31, 171-192, (2005).
- [17] Devil R., Appels L., Baeyens J., Energy use of biogas hampered by the presence of siloxanes, *Energy Conversion and Management*, 47, 1711-1722, (2006).
- [18] Ohannessian, A., Desjardin, V., Chatain, V., Germain, P., Volatile organic silicon compounds: the most undesirable contaminants in biogases, *Water Sci. Technol.*, 58, 1775-1781, (2008).
- [19] Ajhar M., Travasset S., Yüce S., Melin T., Siloxane removal from landfill and digester gas-A technology overview. *Bioresource Technology*, 101, 2913-2923, (2010).
- [20] Appels L., Baeyens J., Degrève J., Dewil R., Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge, *Prog. Energ. Combust.*, 34, 755-781, (2008).
- [21] Gaur, A., Park, J.W., Maken, S., Song, H.J., Park, J.J., Landfill gas (LFG) processing via adsorption and alkanolamine absorption, *Fuel Process. Technol.* 91, 635-640, (2010).
- [22] Rasi S., Lantela J., Rintala J., Trace compounds affecting biogas energy utilization – A review, *Energy Conversion and Management*, 52, 3369-3375, (2011).



- [23] Sevimoğlu O., Tansel B., Effect of persistent trace compounds in landfill gas on engine performance during energy recovery: A case study, *Waste Management*, 33(1), 74-80, (2013a).
- [24] Diaby, M., Sablier, M., Le Negrate, A., El Fassi, M., Bocquet, J., Understanding carbonaceous deposit formation resulting from engine oil degradation, *Carbon*, 47, 355-366, (2009).
- [25] Maryutina, T.A., Soin, A.V., Novel approach to the elemental analysis of crude and diesel oil, *Anal. Chem.*, 81, 5896-5901, (2009).
- [26] Jorand, F., Brun, M., Blin-Simiand, N., Sahetchian, K., Formation of combustion chamber deposits during ignition delay, *Combust. Sci. Technol.*, 151, 189-203, (2000).
- [27] Dimkovski Z., Bååth L., Rosén S., Ohlsson R., Rosén B.-G., Interference measurements of deposits on cylinder liner surfaces, *Wear*, 270 (3-4), 247-251, (2011).
- [28] Sevimoğlu O., Assessment of limiting factors for potential energy production in waste to energy projects, *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(7), 2362-2373, 2015.
- [29] Östürk Ö., Sevimoğlu O., Çöp gazından gelen siloksanların enerji üretimindeki sınırlamaları ve gazdan uzaklaştırma metotları, 7, 42-53, 2017.
- [30] Ortadoğu Enerji Grubu, <https://ortadoguenerji.com.tr/projelerimiz-ve-santrallerimiz/proje-ve-lisans-haritasi/komurcuoda-santrali/>
- [31] Gong H., Chen Z., Zhang M., Wu W., Wang W., Study on the deactivation of the deoxygen catalyst during the landfill gas upgrading process, *Fuel*, 144, 43-49, 2015.
- [32] Piechota G., Igliński B., Buczkowski R., Development of measurement techniques for determination main and hazardous components in biogas utilized for energy purposes, *Energy Conversion and Management*, 68, 219-226, 2013.
- [33] Petroleum Quality Institute of America, <http://www.pqjamerica.com/calcium.htm>, 2010.
- [34] EA, Guidance on gas treatment technologies for landfill gas engines, Rio House, Almondsbury, Bristol, Environment Agency, 2010.
- [35] McBean E., Siloxanes in biogases from landfills and wastewater digesters, *Can. J. Civ. Eng.*, 35, 431-436, 2008.
- [36] Nair N., Zhang X., Gutierrez J., Chen J., Egolfopoulos F., Tsotsis T., Impact of Siloxane Impurities on the Performance of an Engine Operating on Renewable Natural Gas, *Ind. Eng. Chem. Res.* 51, 15786-15795, 2012.
- [37] Langford V.S., John J.D.G., Robert R.G.A.M., Murray J.M., Detection of Siloxanes in Landfill Gas and Biogas Using SIFT-MS, *Current Analytical Chemistry*, 9(4), 558-564, 2013.
- [38] Tansel B., Surita S.C., Oxidation of siloxanes during biogas combustion and nanotoxicity of Si-based particles released to the atmosphere, *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 37, 166-173, 2014.
- [39] Surita S.C., Tansel B., Preliminary investigation to characterize deposits forming during combustion of biogas from anaerobic digesters and landfills, *Renewable Energy* 80, 674-681, 2015.
- [40] Florez-Alvarez J., Egusquiza E., Analysis of damage caused by siloxanes in stationary reciprocating internal combustion engines operating with landfill gas, *Engineering Failure analysis*, 50, 29-38, 2015.
- [41] Junyapoon S., Bartle K., Ross A., Cooke M., Analysis of Malodorous Sulfur Gases and Volatile Organometalloid Compounds in Landfill Gas Emissions Using Capillary Gas Chromatography with Programmed Temperature Vaporization Injection and Atomic Emission Detection, *Intern. J. Environ. Anal. Chem.*, 82 (2), 47-59, 2001.

## **KISA DEVRE DURUMUNDA GÜÇ TRAFOSUNDA MEYDANA GELEN ELEKTROMANYETİK KUVVETLERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

**Yıldırım ÖZÜPAK<sup>1\*</sup>, Mehmet Salih MAMIŞ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Dicle Üniversitesi, Silvan Meslek Yüksekokulu, Diyarbakır, Turkey

<sup>2</sup> İnönü Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Malatya, Turkey

Geliş tarihi: 10.01.2019 Kabul tarihi: 02.04.2019

### **ÖZET**

Geçici elektromanyetik kuvvetler, transformatörlerin parametreleri üzerinde mekanik baskıya neden olurlar. Bu çalışmada, bir güç transformatörünün kısa devre durumunda sargılarında meydana gelen elektromanyetik kuvvetler incelenmiştir. Bu kuvvetleri hesaplamak için transformatör ANSYS@Maxwell ortamında 3D olarak modellenmiştir. Güç transformatörüne uygulanan kısa devre geçici akımlarına bağlı olarak manyetik vektör potansiyeli, elektromanyetik akı yoğunluğu ve elektromanyetik kuvvetlerin analizi Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar analitik sonuçlarla karşılaştırılmış ve tasarlanan modelin gerçek modelle iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür. Bu çalışmada ele alınan sayısal modelleme tekniğinin güç transformatörünün ve diğer transformatör modellerinin tasarımında faydalı olması beklenmektedir.

*Anahtar Kelimeler: Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY), Elektromanyetik Kuvvet, Transformatör, Kısa Devre Akımı*

## **ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC FORCES FROM POWER TRANSFORMER IN SHORT CIRCUIT BY FINITE ELEMENT METHOD**

### **ABSTRACT**

Transient electromagnetic forces cause mechanical stress on transformer parameters. In this study, the electromagnetic forces occurring in the windings of a power transformer are examined. To calculate these forces, the transformer is modeled in 3D in the ANSYS @ Maxwell environment. The magnetic vector potential, electromagnetic flux density and the analysis of electromagnetic forces are performed by the Finite Element Method (FEM). The results were compared with the analytical results and the model was in good agreement with the real model. The numerical modeling technique discussed in this study is expected to be useful in the design of power transformer and other transformer models.

*Keywords: Finite Element Method (FEM), Electromagnetic Force, Transformer, Short Circuit Current*

### **1. Giriş**

Bir transformatörün kısa devre testi gerçekleştirildiğinde transformatörde meydana gelen elektromanyetik kuvvetler transformatörün sargılarına uygulanır. Bu kuvvetler, tahribatlara ciddi mekanik hasarlara ve transformatörün patlamasına neden olabilirler. Bu nedenle, transformatörün kısa

\* e-posta: [yildirimozapak@gmail.com](mailto:yildirimozapak@gmail.com) ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-8461-8702>

[mehmet.mamis@inonu.edu.tr](mailto:mehmet.mamis@inonu.edu.tr) ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-6562-0839>

devre durumlarındaki dayanıklılığı güç transformatörlerinin temel özelliklerinden biri olarak kabul edilmektedir [1]. Bir elektrik dağıtım tesisine güç trafosu kurmadan önce, kısa devre akımlarından kaynaklanan elektromanyetik kuvvetlerin tahmin edilmesi, güvenli çalışma şartları ve trafonun ömrü için tasarım aşamasında bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Transformatörün kısa devre testi için, testleri gerçekleştirmek için özel tesisler, özel cihazlar ve bu testleri gerçekleştirebilecek uzmanlar gerekmektedir. Transformatörün nominal güç değeri arttıkça kısa devre testini gerçekleştirmek daha zorlaşmaktadır. Bu nedenle, güç transformatörünün kısa devre durumlarında meydana gelen geçici elektromanyetik kuvvetleri tahmin edebilmek için sayısal bir model gereklidir [2].

Bu çalışmada, Sonlu Elemanlar Yöntemi, bir transformatörün sargılarını etkileyen geçici elektromanyetik kuvvetleri tahmin etmek için kullanılmıştır. Bunun için bir transformatör terminaline uygulanan tek faz-toprak kısa devre koşulu göz önünde bulundurulmuştur. Transformatörün geçici elektromanyetik kuvvetlerini hesaplamak için ANSYS@Maxwell ortamında tasarlanan transformatörün 3-D modeli kullanılmıştır. Güç transformatörüne uygulanan kısa devre geçici akımlarından kaynaklanan manyetik vektör potansiyeli, elektromanyetik akı yoğunluğu ve elektromanyetik kuvvetler Sonlu Elemanlar Yöntemi ile analiz edilmiştir. Transformatör modelinin elektromanyetik kuvvetleri hesaplanmış ve sonuçlar analitik sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

## 2. Elektromekanik Alan Analizi

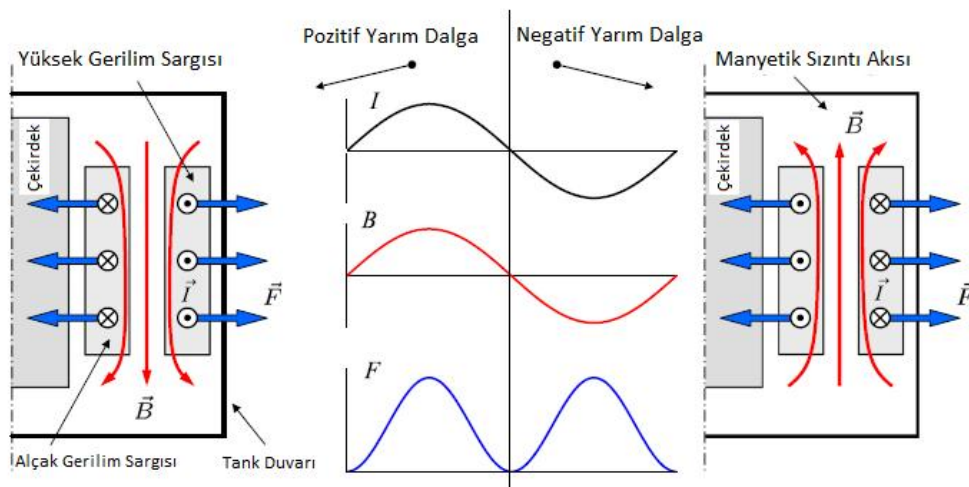
Güç trafosundaki elektromanyetik kuvvetler, yerel manyetik akı yoğunluğundan hesaplanmaktadır. Trafonun sargılarından akım geçtiğinde manyetik alanın temel denklemi aşağıdaki gibi olmaktadır [3]:

$$\nabla \times \frac{1}{\mu} (\nabla \times \vec{A}) = \vec{J}_s - \sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad (1)$$

Burada,  $\mu$  manyetik geçirgenlik,  $\vec{A}$  manyetik vektör potansiyeli,  $\vec{J}_s$  akım yoğunluğu ve  $\sigma$  iletkenliktir. Sargılardaki kaçak akıyı hesaplamak için 3-D Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılmıştır. Transformatörün sargılardan akan geçici kısa devre akımları elektromanyetik kuvvetlerin hesaplanmasında önemli bir parametredir. Kısa devre durumu, sistemden çok büyük akımların aktığı arıza durumlarıdır. Kısa devre durumunda sistemden akan akım nominal akımın yaklaşık 20 katı kadar olabilmektedir. Kısa devre geçici akımları yaklaşık olarak aşağıda verilen denklemdeki gibi hesaplanmaktadır [4]:

$$I_{sc}(t) = I_0 e^{-\frac{R}{L}t} + \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + X^2}} \sin(\omega t - \theta) \quad (2)$$

burada  $I_0$  nominal akım,  $R$ ,  $L$  ve  $X$  direnç ve  $V_m$  maksimum gerilimdir.



**Şekil 1.** Bir güç transformatörünün eş merkezli sargısındaki elektromanyetik kuvvet ve kaçak akı dağılım yoğunluğu [5]

Bu çalışmada, güç trafosunun sargılarında meydana gelen geçici elektromanyetik kuvvetler, kısa devre akımı ve manyetik akı yoğunluğu parametreleri ile tahmin edilmiştir. Transformatörün sargılarındaki elektromanyetik kuvvetler, geçici akımlar ve sargılardaki kaçak akı arasında kalan bölgedeki kombinasyonun bir sonucu olarak meydana gelir [6]. Bu nedenle, güç trafosundaki elektromanyetik kuvvet, Lorentz kuvveti olarak ifade edilir.

$$d\vec{F} = id\vec{l} \times \vec{B} \quad (3)$$

Burada,  $F$  kuvvet ve  $B$  akı yoğunluğudur.

Daha önce belirtildiği gibi elektromanyetik kuvvetlerin değerlendirilmesinde önemli bir parametre olan manyetik vektör potansiyeli, manyetik alan analizinden hesaplanmaktadır. Manyetik akı yoğunluğunun radyal ve eksenel bileşenleri aşağıdaki denklemlerde ifade edilmiştir [7].

$$B_r = -\frac{\partial A_\phi}{\partial z} \quad (4)$$

$$B_\phi = 0 \quad (5)$$

$$B_z = \frac{1}{r} \frac{\partial r A_\phi}{\partial r} \quad (6)$$

$B_r$ ,  $B_\phi$  ve  $B_z$ , silindirik koordinattaki akı yoğunluğunun bileşenleridir.

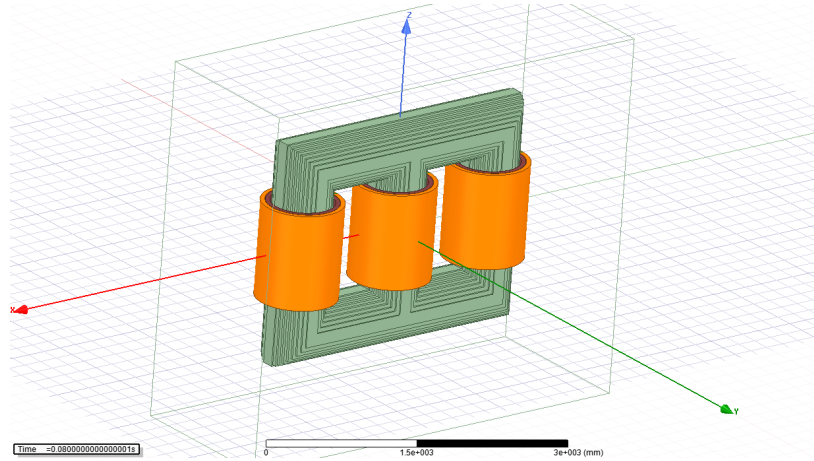
Manyetik akı yoğunluğu radyal ve eksenel bileşenlerine ayrıştırıldığında, elektromanyetik kuvvetlerin radyal ve eksenel bileşenleri birleştirilebilir.

$$\vec{F} = \int_v J_\phi \hat{\phi} \times (B_r \hat{r} + B_z \hat{z}) dv = F_r \hat{r} + F_z \hat{z} \quad (7)$$

$J_\phi$ ,  $\phi$  yönlü kısa devre akım yoğunluğu,  $\hat{r}$ ,  $\hat{\phi}$  ve  $\hat{z}$  ise silindirik koordinattaki birim vektörler,  $dv$  element hacminin türevidir. (5) 'de görüldüğü üzere, radyal kuvvet manyetik akı yoğunluğunun eksenel bileşenine bağlıken, eksenel kuvvetler manyetik akı yoğunluğunun radyal bileşenine bağlıdır [6]. Güç transformatörünün sargı modeli aşağıda Şekil 1'de sunulmuştur. Bu sargı konfigürasyonunda, sargının iç yüzeyine uygulanan radyal kuvvetler, nüve yönündeki baskı kuvveti olarak kabul edilir. Sargının dışındaki radyal kuvvetler, trafo tankının yönüne doğru çekme kuvveti görevi görür. Ayrıca, elektromanyetik kuvvetlerin radyal bileşeni, trafodaki sıcaklığın yükselmesine ve nüve ile sargı arasındaki veya sargı katmanları arasındaki yalıtkan materyalinin tahrip olmasına neden olabilir [7]. Öte yandan, sargılardaki iç ve dış eksenel kuvvetler merkez tarafın eksenel yönde sıkıştırmaya neden olmaktadır. Elektromanyetik kuvvetlerin eksenel bileşeni, sargı yapısının bükülmesine neden olabilir [8].

### 3. Transformatörün Modellenmesi

Gerçek trafo boyutlarına ve geometrisine dayanan SEY modelleri, düşük frekanslı geçici elektromanyetik alanın 3-D simülasyonu için oluşturulmuştur. Transient simülasyonun temel süreci, fiziksel denklemlerin mekansal ve zamansal ayrılmasını içermektedir. Sonlu Elemanlar Yöntemi, mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem ile karmaşık, homojen olmayan ve anizotropik materyaller modellenilebilmekte ve düzensiz ağlar (mesh) kullanılarak karmaşık geometriler analiz edilebilmektedir. Aşağıda Şekil 2'de SEY'e dayanan ANSYS@Maxwell ortamında tasarlanan trafo modeli sunulmuştur.



Şekil 2. Transformörün 3D Modeli

SEY, verilen bir uyarma ve frekans değerine bağlı olarak Maxwell denklemlerini çözmektedir. Geçici simülasyon, tüm zaman aşamalarını eşzamanlı olarak çözmek için zaman eksenini boyunca alan ayrıştırması yapılarak gerçekleştirilir. Transformör modelinde, sınır koşulları, dış geometri ve tüm materyallerin özellikleri üzerinde tanımlanmaktadır. Tasarlanan transformöre ait elektriksel ve mekaniksel veriler aşağıda Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Üç Fazlı 15 MVA Transformör Tasarım Öncesi Bilgileri

Parametre	Değer
Görünür Güç	15 MVA
Yüksek Gerilim (YG)	33.000 V
Alçak Gerilim (AG)	11.000 V
Nüve Kaybı	12.500 W
Bakır Kaybı	97.000 W
Frekans	50 Hz
Nüve Materyali	M125-027S
YG Sargı Direnci	1.7 $\Omega$
AG Sargı Direnci	40 m $\Omega$
YG Bağlantı	Delta
AG Bağlantı	Yıldız
YG Spir Sayısı	135
AG Spir Sayısı	665
YG Faz Akımı	784 A
AG Faz Akımı	156 A
Akım Yoğunluğu	1.8 A/m <sup>2</sup>

Kısa devre testi için geçici rejim çözücüne bağlı simülasyonda önceden tanımlanmış zaman aralığı ve zaman adımı için analiz gerçekleştirilmiştir. Trafonun 3-D modelinin simülasyonundan manyetik akı yoğunluğu, manyetik alan şiddeti ve elektromanyetik kuvvetler elde edilmiştir. Analizler, 0.08-0.1 s zaman aralığında 0.005 s adımlarla gerçekleştirilmiştir.

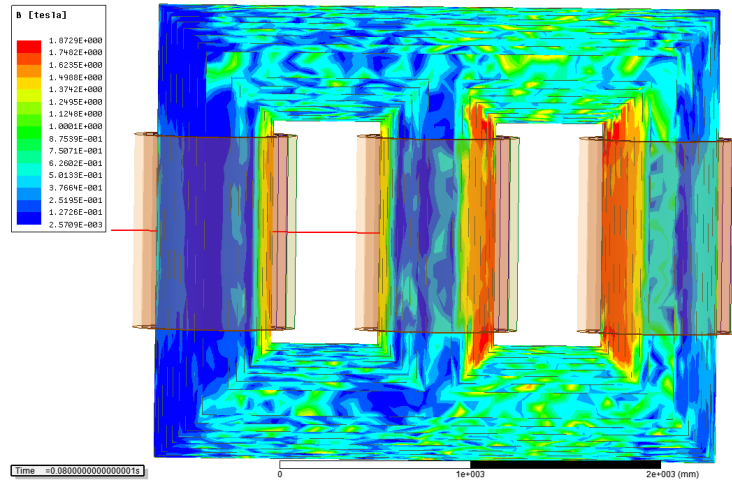
## 4. Modelin Simülasyonu ve Sonuçları

### 4.1. Kısa Devre Testinin Uygulanması

Kısa devre akımı, transformatörlerde ciddi hasarlar meydana getirebilir. Elektromanyetik analiz için, yüksek gerilim tarafına gerilim uygulanarak alçak gerilim tarafı kısa devre edilerek kısa devre testi gerçekleştirilmiştir. Kısa devre testinin süresi 0.08 ile 0.1 s arasında değişmektedir.

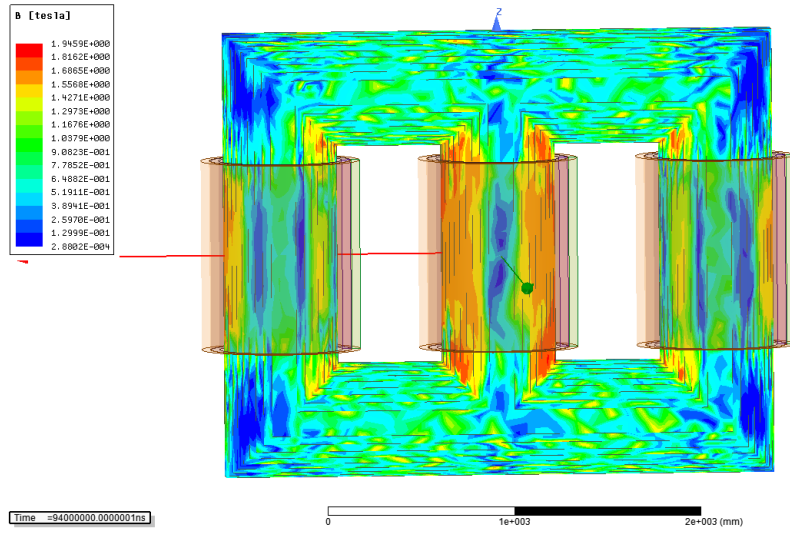
### 4.2. Kaçak Akı Yoğunluğu

Alan analizinden elde edilen manyetik vektör potansiyeli, sargı bölgesindeki manyetik akı yoğunluğunun ve elektromanyetik kuvvetlerin hesaplanmasında kullanılmıştır. Manyetik akı yoğunluğunun normal şartlardaki dağılımı, Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Normal durumda manyetik akı yoğunluğu dağılımı.

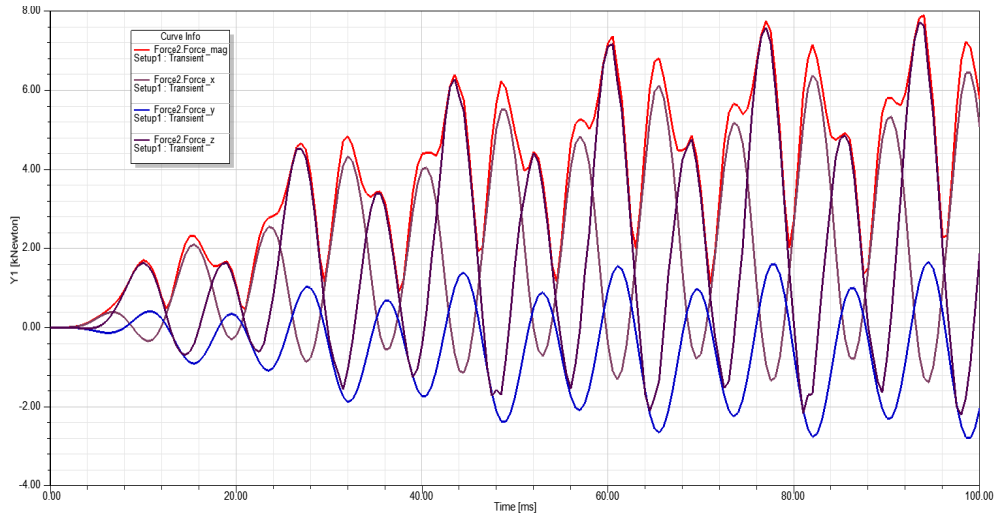
Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi, manyetik akı yoğunluğu nüve üzerinde düzgün bir şekilde dağılmıştır. Aşağıda Şekil 4'te geçici durumda hesaplanan manyetik akı dağılımı sunulmuştur. Sargı etrafındaki kaçak akı gösterilmiş ve nüvedeki manyetik akı yoğunluğunun bazı bölgelerde doyum noktasına ulaştığı görülmüştür. Bu kaçak akı, geçici elektromanyetik kuvvetin yanı sıra trafoda sıcaklık artışına da neden olmaktadır.



Şekil 4. Geçici bir durumda manyetik akı yoğunluğu dağılımı.

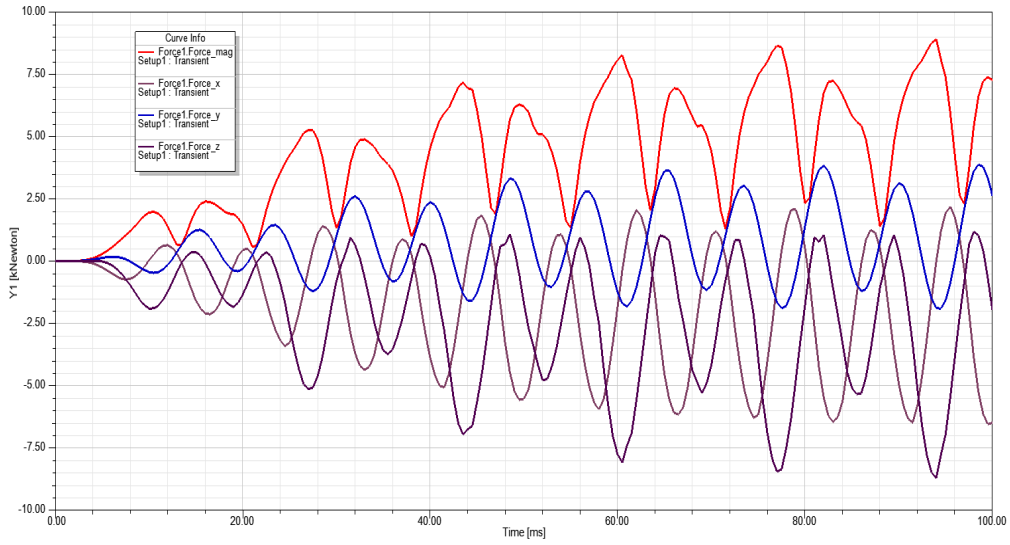
### 4.3. Elektromanyetik Kuvvet

Transformatörün sargılarında meydana gelen elektromanyetik kuvvetler, kaçak akı ve geçici akımlarla hesaplanmaktadır. Alçak gerilim (AG) ve yüksek gerilim (YG) sargı bölgelerinde her iletken hücrenin radyal kuvvetleri aşağıda Şekil 5 ve 6'da sunulmuştur. Radyal kuvvetler, her iletken hücrenin kaçak akısının aksel bileşeni kullanılarak hesaplanmaktadır. YG sargısındaki her bir iletken hücrenin radyal kuvvetleri Şekil 10'da verilmiştir; kuvvetler, radyal pozitif bir yönü göstermektedir. Sargının dışındaki elektromanyetik kuvvetler, transformatör tankına doğru etki göstermektedir. Öte yandan, AG sargısındaki iç radyal kuvvetler, Şekil 9'da gösterildiği gibi radyal doğrultuda nüveye doğru bir yöne sahiptir. AG sargısındaki radyal kuvvetler ise nüvenin yan tarafına doğru yönelmiştir.



Şekil 5. YG sargısında radyal kuvvetler.





Şekil 6. AG sargısında radyal kuvvetler.

Kısa devre durumunda yüksek gerilim (YG) sargısında meydana gelen eksenel elektromanyetik kuvvetlerin farklı zaman aralıklarındaki değerleri aşağıda Çizelge 2’de sunulmuştur. YG sargısında meydana gelen elektromanyetik kuvvetin radyal değerleri 6432.1 N ve 7877.3 N arasında değişmiştir.

Çizelge 2. YG sarılarının eksenel elektromanyetik kuvvetleri

Zaman (ms)	F <sub>YG(mag)</sub>	F(x)	F(y)	F(z)	Zaman (ms)	F <sub>YG(mag)</sub>	F(x)	F(y)	F(z)
1	1.714.992	1.479.716	-0.598390	-0.627351	45	5.730.014	-1.140.037	1.390.012	5.440.703
2	2.100.946	1.826.487	-0.771649	-0.694606	46	4.534.528	-0.799541	1.232.314	4.289.997
2	2.309.140	2.043.041	-0.882171	-0.616352	47	3.185.323	-0.081083	0.851808	3.068.246
4	2.320.933	2.095.993	-0.912844	-0.400326	48	1.925.323	0.895045	0.294374	1.679.020
5	2.169.435	1.992.757	-0.857214	-0.023519	49	2.011.147	1.956.683	-0.368167	0.283823
6	3.154.150	1.744.026	-0.506855	2.578.786	50	3.344.945	3.011.920	-1.048.367	-1.008.921
7	3.577.727	1.057.274	-0.132494	3.415.369	51	4.734.053	4.082.606	-1.656.577	-1.731.860
8	4.092.071	0.348095	0.261250	4.068.861	52	5.672.425	5.022.451	-2.118.405	-1.569.636
9	4.559.481	-0.254400	0.619509	4.510.029	53	6.221.204	5.490.992	-2.370.652	-1.712.424
10	4.650.891	-0.672217	0.890659	4.515.046	54	6.043.047	5.493.334	-2.384.989	-0.808408
11	4.483.328	-0.869768	1.029.304	4.276.010	55	5.517.781	5.065.937	-2.164.151	0.314072
12	3.872.726	-0.781129	1.007.003	3.657.019	56	4.932.831	4.324.674	-1.745.512	1.607.235
13	2.906.125	-0.393509	0.815715	2.761.399	57	4.429.192	3.354.427	-1.188.257	2.636.969
15	1.162.956	1.008.758	0.012732	0.578544	59	5.880.270	1.815.813	-0.308524	5.584.372
16	1.922.009	1.828.704	-0.502613	-0.311991	60	6.672.217	0.564841	0.358278	6.638.605
17	2.955.470	2.651.459	-1.010.048	-0.827268	61	7.172.845	-0.422727	0.943371	7.097.962
19	4.711.313	4.085.093	-1.743.603	-1.571.093	63	6.534.343	-1.318.600	1.551.958	6.208.893
20	4.830.024	4.322.195	-1.877.147	-1.060.228	64	5.420.524	4.811.360	-2.094.347	-1.358.902
21	4.599.712	4.206.875	-1.824.381	-0.362201	65	6.695.164	1.064.466	0.113565	6.609.027



22	4.138.057	3.781.459	-1.595.502	0.527692	66	7.394.235	-0.088674	0.775253	7.352.948
23	3.661.361	3.135.918	-1.224.825	1.439.231	67	6.761.949	6.020.683	-2.560.786	-1.708.130
24	3.385.885	2.307.467	-0.764697	2.356.916	68	7.147.165	6.374.521	-2.764.113	-1.675.450
26	3.407.435	0.428314	0.165090	3.376.375	70	6.127.948	5.581.326	-2.349.641	0.937946
27	3.435.457	-0.224238	0.500648	3.391.376	71	5.800.084	5.319.185	-2.285.976	0.348652
29	2.549.353	-0.533107	0.675933	2.399.607	73	5.606.199	4.258.341	-1.530.545	3.309.597
31	0.896622	0.402239	0.141495	0.788742	75	6.559.308	1.581.240	-0.144533	6.364.221
32	1.194.716	1.153.383	-0.308233	-0.045229	76	7.320.075	0.286612	0.563923	7.292.691
33	2.309.004	2.017.386	-0.792529	-0.795958	77	7.826.730	-0.703211	1.154.838	7.709.056
34	3.413.099	2.924.618	-1.235.876	-1.252.382	78	7.877.318	-1.281.225	1.540.402	7.618.251
35	4.081.798	3.620.019	-1.572.128	-1.041.611	79	6.755.152	-1.387.889	1.658.979	6.399.503
36	4.381.818	3.995.571	-1.743.452	-0.442850	80	5.634.190	-0.986165	1.487.054	5.344.178
37	4.412.658	4.039.078	-1.719.511	0.447968	81	3.833.613	-0.169153	1.042.643	3.685.223
40	4.604.446	2.208.979	-0.582839	3.997.704	90	3.781.140	3.499.990	-1.207.061	-0.768178
41	5.366.148	1.112.460	-0.002993	5.249.568	91	5.521.143	4.775.548	-1.927.959	-1.990.007
42	6.092.662	0.105885	0.555801	6.066.334	95	6.733.557	5.859.644	-2.473.713	-2.210.453
43	6.067.494	-1.096.600	1.311.049	5.821.778	99	7.225.935	6.432.110	-2.775.486	-1.771.658
44	6.470.549	5.937.938	-2.530.539	0.453071	100	7.065.793	6.428.908	-2.791.266	-0.896327

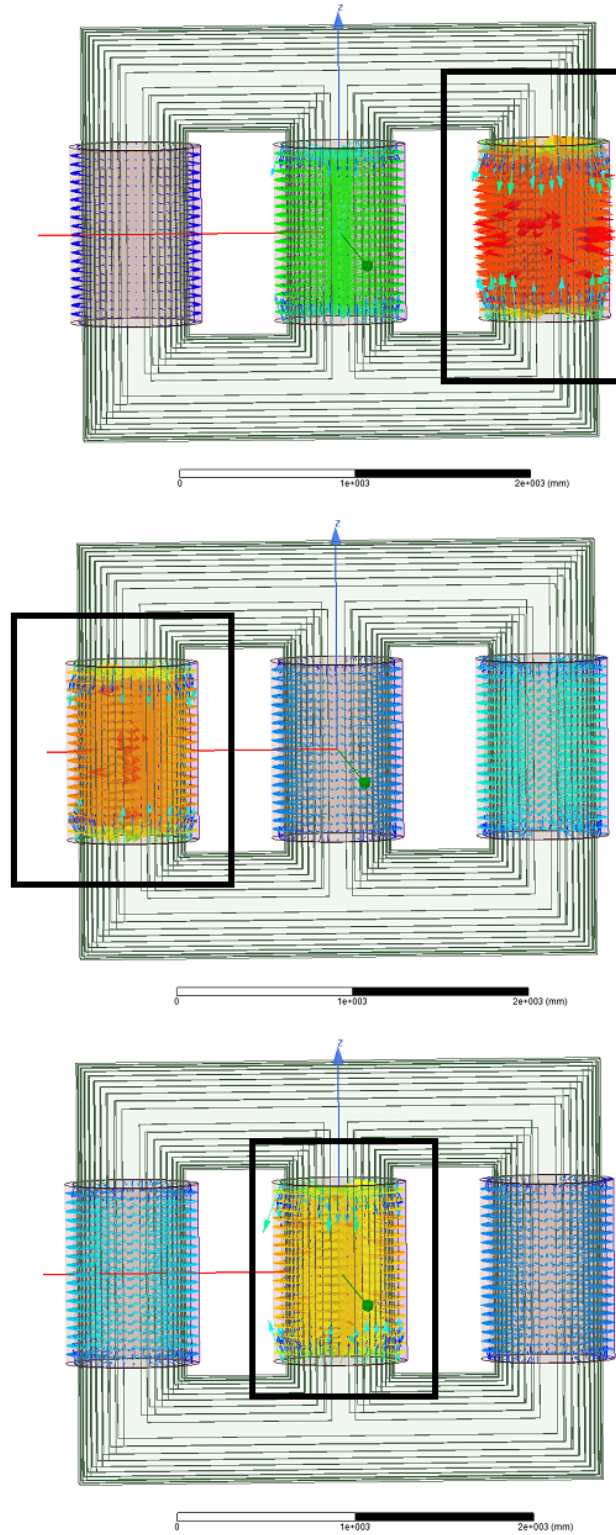
Kısa devre durumunda alçak gerilim sargısında meydana gelen eksenel elektromanyetik kuvvetlerin zamana bağlı olarak değişen değerleri aşağıda Çizelge 3'te verilmiştir. Ayrıca, AG sargılarında meydana gelen radyal kuvvetler  $-9186.9$  N ile  $-8609.6$  N aralığında değişmiştir.

**Çizelge 3.** AG sarılarının eksenel elektromanyetik kuvvetleri

Zaman (ms)	$F_{AG}(mag)$	F(x)	F(y)	F(z)	Zaman (ms)	$F_{AG}(mag)$	F(x)	F(y)	F(z)
1	2.035.578	-1.572.832	1.243.088	0.352864	51	8.262.592	-0.364638	-1.691.810	-8.079.309
2	2.288.505	-1.903.513	1.250.005	0.226673	52	7.672.049	0.828215	-1.818.692	-7.407.210
3	2.389.350	-2.096.008	1.144.715	-0.073275	53	7.258.539	1.635.494	-1.603.235	-6.887.756
4	2.369.033	-2.129.783	0.938355	-0.442528	54	6.067.681	2.045.479	-1.062.333	-5.612.862
5	2.286.022	-2.022.667	0.657608	-0.838013	55	4.541.222	1.820.935	-0.263818	-4.151.782
6	2.152.870	-1.739.603	0.340486	-1.221.761	56	6.176.455	-5.021.796	1.014.499	-3.449.776
7	2.001.961	-1.269.761	0.032685	-1.547.413	57	5.766.061	-3.697.767	0.149035	-4.421.738
9	3.543.138	-3.176.815	1.307.483	-0.867275	59	6.590.866	-5.868.277	2.820.768	-1.022.796
10	3.921.058	-3.404.212	1.012.201	-1.661.770	60	7.010.656	-6.279.132	2.302.599	-2.102.343
11	4.245.275	-3.265.636	0.593140	-2.646.916	62	7.467.307	-6.170.569	1.543.616	-3.911.777
14	5.146.772	-1.201.057	-0.812657	-4.938.250	69	8.392.649	-2.521.942	-1.065.918	-7.933.486
15	5.253.119	-0.334396	-1.104.168	-5.124.866	71	8.648.437	-0.936824	-1.639.146	-8.439.848
16	5.237.799	0.489897	-1.210.825	-5.072.321	72	8.570.312	0.430168	-1.897.945	-8.346.437
17	4.874.802	1.102.137	-1.104.997	-4.618.222	73	7.840.305	1.456.096	-1.798.704	-7.490.983

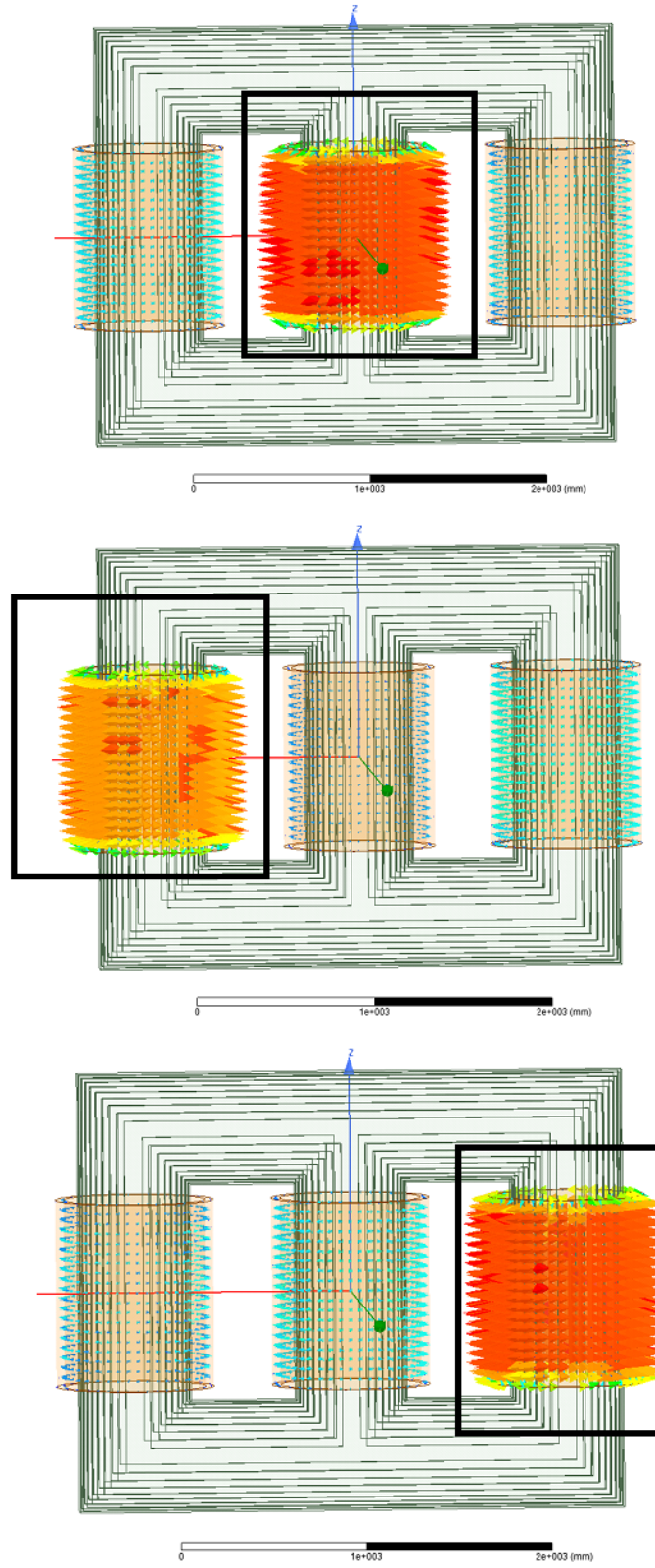
18	4.172.129	1.398.845	-0.786958	-3.851.051	75	6.807.449	2.050.677	-1.344.699	-6.350.423
19	3.129.593	1.320.981	-0.286734	-2.822.614	76	5.280.893	2.073.093	-0.590541	-4.820.931
22	5.935.057	-5.068.224	1.351.378	-2.777.009	77	6.760.958	-5.477.690	3.821.501	1.049.572
23	6.149.922	-4.517.978	0.651024	-4.121.358	78	7.191.222	-6.218.160	3.612.022	0.038071
26	7.167.711	-1.104.933	-1.303.047	-6.961.126	81	6.655.813	-5.621.519	1.370.315	-3.289.470
27	6.933.608	0.130950	-1.589.126	-6.747.774	82	6.234.055	-4.346.964	0.442072	-4.446.562
30	4.973.175	1.833.928	-0.707049	-4.568.288	83	5.445.204	-0.105482	-1.202.567	-5.309.704
31	6.161.473	-5.225.308	3.238.327	0.416106	84	4.869.398	0.858310	-1.125.669	-4.659.099
32	6.276.904	-5.562.852	2.861.509	-0.515721	85	6.564.857	-5.800.165	3.023.279	-0.561437
33	6.197.291	-5.523.565	2.241.969	-1.694.174	86	7.104.581	-6.328.782	2.592.505	-1.923.669
34	5.980.089	-5.132.497	1.467.650	-2.695.357	87	7.545.359	-6.476.795	1.886.948	-3.379.791
40	5.027.420	-4.155.504	2.780.324	0.525869	89	7.808.896	-5.777.751	0.999229	-5.157.324
42	5.789.538	-5.072.092	2.783.570	-0.210662	90	8.066.410	-4.583.719	0.053141	-6.637.293
45	6.374.199	-5.679.412	2.480.670	-1.490.291	93	8.427.500	-3.112.117	-0.820393	-7.788.738
46	6.723.564	-5.956.406	1.907.448	-2.467.628	94	8.748.529	-1.507.959	-1.499.463	-8.486.132
47	7.092.444	-5.560.314	1.137.396	-4.253.469	95	8.892.242	-0.019407	-1.882.757	-8.690.617
48	7.393.545	-4.581.488	0.275043	-5.796.449	98	8.084.080	1.204.793	-1.908.398	-7.762.656
49	7.778.001	-3.260.708	-0.558967	-7.039.364	99	7.379.695	1.928.043	-1.565.392	-6.949.252
50	8.063.567	-1.839.751	-1.248.320	-7.751.008	100	6.602.012	-5.242.820	3.876.349	1.036.010

YG ve AG sargılarının her bir iletkeninin üzerindeki aksel kuvvetler yukarıda Çizelge'2 ve Çizelge 3'te verilmiştir. Aksel elektromanyetik kuvvetlerin her bir sargı üzerindeki etkisi ayrı ayrı aşağıda Şekil 7'de sunulmuştur. YG sargısının üst ve alt bölgelerindeki aksel kuvvetler sırasıyla  $z = 0$  eksenine doğru gitmektedir. AG sargısının üst yarı kısmındaki aksel kuvvet (+z) yönlüdür ve alt yarı kısmındaki aksel kuvvet (-z) yönlüdür. Net kuvvetin dikey olarak çekme kuvveti gibi davrandığı düşünülmektedir.



**Şekil 7.** YG sargısındaki eksenel elektromanyetik kuvvetler.

AG sargısının üst ve alt kısımlarının kuvvet yönleri YG sargılarının tam tersidir. Sargısının üst kısmındaki eksenel kuvvet (+ z) yönlüdür ve alt kısmındaki eksenel kuvvet (-z) yönlüdür.



Şekil 8. AG sargılarında meydana gelen aksenal elektromanyetik kuvvetlerin zamana bağlı olarak değişimi.

Her iletken hücrenin eksenel kuvvetleri, kaçak akı nedeniyle sargının alt kısmında daha fazla olmuştur. Eksenel kuvvetler, YG sargısının orta bölgesinde ve AG sargısının uç noktalarında en yüksek değere ulaşmıştır. Ayrıca, sargılara etki eden eksenel kuvvetlerin, radyal kuvvetlere oranla daha fazla olduğu görülmüştür. Güç transformatörü modelindeki elektromanyetik kuvvetler, Çizelge 4'te gösterildiği gibi analitik değerlerle karşılaştırılmıştır.

**Çizelge 4.** Transformatörün Kısa Devre Durumundaki Toplam Radyal Elektromanyetik Kuvvetlerin Analitik sonuçlarla Karşılaştırılması

Parametreler	Nümerik Sonuçlar	Analitik Sonuçlar
YG Sargısı $F_{YG}$ (N)	7877.3	7834.6
AG Sargısı $F_{AG}$ (N)	-9186.9	-9158.7

## 5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, bir transformatörün sargılarına kısa devre durumunda etki eden geçici elektromanyetik kuvvetlerin tahmini için Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılmıştır. Geçici elektromanyetik kuvvetleri hesaplamak için transformatörün ANSYS@Maxwell 3-D ortamında tasarlanan model kullanılmıştır. Güç transformatörüne uygulanan kısa devre geçici akımlarından kaynaklanan manyetik vektör potansiyeli, manyetik akı yoğunluğu ve elektromanyetik kuvvetler Sonlu Elemanlar Yöntemi ile analiz edilmiştir. Transformator modelinin eksenel ve radyal elektromanyetik kuvvetleri hesaplanmış ve analitik değerlerle karşılaştırılmıştır. Geçici durumda, YG sargısındaki radyal ve eksenel kuvvetlerin sırasıyla 5568 N ve 2851 N olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, AG sargısı için bu değerler sırasıyla 11698 N ve 2597 N olmuştur. Bu sonuçlar analitik değerlerle iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür. Bu çalışma ile kullanılan nümerik modelleme tekniğinin transformatörlerin tasarım aşamasında kolaylık sağlaması amaçlanmıştır.

## Teşekkür

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: FBA-2017-639. Katkılarından dolayı teşekkürler.

**Kaynaklar**

- [1] Hyun-Mo Ahn, Ji-Yeon Lee, Joong-Kyoung Kim, Yeon-Ho Oh, Sang-Yong Jung, Sung-Chin Hahn, “Finite element analysis of short circuit electromagnetic force in power transformer,” in *Proc. ICEMS*, Tokyo, Japan, 2009, pp. 1–4.
- [2] S. Jamali, M. Ardebili, and K. Abbaszadh, “Calculation of short circuit reactance and electromagnetic force in three phase transformer by finite element method,” in *Proc. Int. Conf. Elect. Mach. Syst.*, 2005, vol. 3, pp. 1725–1730.
- [3] S. J. Salon, *Finite Element Analysis of Electrical Machines*. Troy, New York: Rensselaer Polytech. Inst., 1995.
- [4] S. V. Kulkarni and S. A. Khaparde, *Transformer Engineering*. New York: Marcel Dekker, 2004.
- [5] Erdi doğan, Bedri Kekezođlu “Güç Transformatörlerinde Gürültü Seviyesinin Analizi”, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016
- [6] G. Bertagnolli, *Short-Circuit Duty of Power Transformer*. Zurich, Switzerland: ABB Ltd., 2007.
- [7] Yugendrao K. N., *Structural Modeling of a Three Phase Core Type Transformer using ANSYS Maxwell 3D*, International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering Vol. 4, Issue 4, April 2016, pp. 17-20.
- [8] S. Vasilija, *FEM 2D and 3D design of transformer for core losses computation*, Scientific Proceedings XIV International Congress "Machines. Technologies. Materials." 2017–Summer Session Volume V, 345-348.
- [9] G. B. Kumbhar and S. V. Kulkarni, “Analysis of short-circuit performance of split-winding transformer using coupled field-circuit approach,” *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 22, no. 2, pp. 936–943, Apr. 2007.

## THE SHARE OF REQUIRED COSTS IN INVESTMENT AMOUNTS FOR MINING OPERATING ACTIVITIES IN PASTURE LANDS IN TURKEY

**Taşkın Deniz YILDIZ<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Department of Mining and Mineral Processing Engineering, Adana, 01250 Türkiye

Geliş tarihi: 17.04.2019 Kabul tarihi: 27.05.2019

### ABSTRACT

To realize mining operations in pasture lands in Turkey, once within the total life of mine operations, some cost items, such as land and grass loss expenses, are requested from mining investors. To determine the share of these costs within the mining investment amounts, surveys were carried out through the "Survey Monkey" survey program for mining enterprises. In the answers to these questions, the cost of the pasture lands is calculated as the ratio of each mining enterprise to its investment amounts. The average of all fees paid by the mining enterprises for the pasture lands to a total of pre-2018 and new mining investment amounts after 2018 is 0.44% for all mineral groups. These numbers show that pasture costs taken once from mining enterprises in Turkey have a significant share in total investment amounts.

*Anahtar Kelimeler:* Cost, Expenditure, Investment, Mining, Operation.

## TÜRKİYE'DE MERA ALANLARINDA MADEN İŞLETME FAALİYETLERİ YAPILABİLMESİ İÇİN İSTENEN BEDELLERİN YATIRIM TUTARLARI İÇERİSİNDEKİ PAYI

### ÖZET

Türkiye'de mera alanlarında maden işletme faaliyetleri gerçekleştirebilmek için maden yatırımcılarından, maden işletme ömrü içerisinde bir defa olmak üzere, arazi ve ot kaybı gideri gibi birtakım bedeller istenmektedir. Bu bedellerin maden işletmelerinin yatırım tutarları içerisinde ne kadarlık bir pay aldığını tespit edebilmek amacıyla "Anket Maymun" programı kullanılarak maden işletmelerine anket gerçekleştirilmiştir. Bu sorulara verilen cevaplarda mera bedelleri, her maden işletmesinin kendi yatırım tutarlarına oranlanmıştır. Anket sorusuna cevap veren tüm maden işletmelerinin mera alanları için ödedikleri tüm bedellerin 2018 yılı öncesi mevcut ve 2018 yılı sonrası hedeflenen yeni madencilik yatırım tutarları toplamına oranı tüm maden grupları için ortalama % 0,44'dür. Bu rakamlar dahi Türkiye'de maden işletmelerinden bir kez alınan mera bedellerinin, mevcut ve hedeflenen toplam yatırım tutarları içerisinde hiç de küçümsenmeyecek bir paya sahip olduğunu göstermektedir.

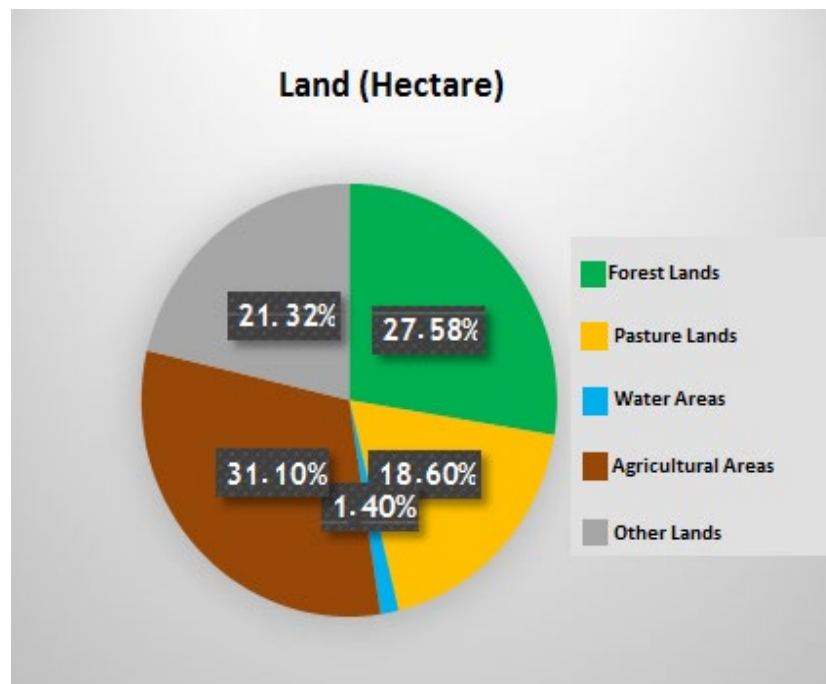
*Keywords:* Maliyet, Gider, Yatırım, Madencilik, İşletme.

\* e-mail: [tdyildiz@atu.edu.tr](mailto:tdyildiz@atu.edu.tr) ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-4043-2257>

## 1. Introduction

It is an indisputable fact that the development of the national industries should be accelerated by developing mining, by using the resources available in the best way that they are not left idle and by the production of resources through identifying unknown resources to ensure the development of countries in the world.

There is no chance to choose a place in mining because the mines must be produced where they are located. The fact that the mines have to be produced where they are located brings along other benefits and field usage conflicts. Indeed, one of the most common ones is *pasture lands*. *Pasture lands* constitute 18.6% of the 78,534,470 million hectares, which are the total surface of Turkey (Figure 1).



**Figure 1.** The proportion of land use classes to the total surface of Turkey

The immovable properties in Turkey can be divided into two main categories: Immovable property subject to private ownership and immovable properties under the public ownership of the state [1]. In administrative law, the state-owned immovable properties are classified into three groups: ownerless properties (including *pasture lands*), common properties and service properties<sup>†</sup>.

The allocation of service properties to mining is almost impossible. However, the state-owned immovable properties in terms of mining law are common properties such as wastelands and *pastures* [1]. In Turkey, it is possible to allocate the qualified common property among the immovable property necessary for the operation of natural resources and energy investments if required by the licensee [2].

<sup>†</sup> • Ownerless Properties": These are the properties suitable for establishing ownership. However, the ownership has not been established on them so far. Examples of such properties that are not under private ownership include rocks, mountains, hills, coasts, and forests.

• It is stated that the properties, which are called "common properties" in Turkish law, consist of goods which are allocated to the direct use of the people. Examples of such properties include roads, bridges, squares, marketplaces, highlands, and *pasture lands*.

• "Service properties" are the properties of public legal entities and allocated to public service. They are reserved for indirect use of the public. Examples of such properties include ports, military facilities, railways, hospitals, universities, mosques, and courthouses [1].



*Pasture lands* are the places where animals are assigned to the village or town residents to take advantage of grazing their animals and using the land's grass. These lands have been used with this orientation since the past. Essentially, for the acceptance of a place as *pasture*, it must be entered in the register of common properties, which is a separate register from the land registry.

In other words, unless the nature of the pasture changes, it cannot be subject to private ownership, and due to the timeout, ownership cannot be acquired [3]. Also, *pastures*, highlands and winter quarters have the same legal value as the registered *pasture* for non-agricultural use and these areas refer to the lands used for grazing. In Article 4 of the Pasture Law No. 4342, it is envisaged that the provisions of the Pasture Law will be applied to these.

According to the Pasture Law, mining activities in pasture lands are subject to many conditions. According to Article 14 of this Law amended by Law No. 4368, in *pasture lands*, mining exploration activities, and efficient mining operation activities can be performed [4]. To register the area whose allocation purpose was changed in the name of the state treasury, the licensee is required to give the Environmental Impact Assessment Positive document before starting the operation. Hence, it is mandatory that the damaged lands due to mining operation activities should be harmonized with the environment when the activity is finished. In this respect, necessary arrangements were made in the Mining Law. The duration of a mining operation is limited to the period envisaged in the Mining Law No. 3213. It should be noted that where the purpose of *pasture* allocation is changed, vegetation generally shows a weak feature. For example, in a gypsum field, it is clear that when gypsum is removed and replaced with fertile ground cover, the *pasture* will be much more useful than its former condition. In the Regulation on Pasture – similar to mining legislation- for harmonization with the environment, it is envisaged that the licensee will make a down payment to be determined by the commission in order to make the areas damaged by them unchanged. Otherwise, the commission will use this payment to fulfill this task and all costs incurred together with the loss of the value of the grass is regulated in Article 8<sup>th</sup> of Regulation on Pasture [5] and [6].

There may be adverse decisions regarding the change of the *pasture* allocation and the decisions taken to prevent mining operations. In some regions where these decisions are made, when we look at the operating project incomes of the mines to be produced, it is seen that the livestock activities that will benefit from the *pasture* have a value above the contribution to the country's economy. In such cases, it is not understood that the change in allocation purpose is not appropriate. Once an unfavorable decision is made on the allocation of *pastures*, then similar decisions are made in this regard, and the *pasture areas* are closed to mining. This time, it is ignored that the purpose of allocation of the *pasture* is to be done temporarily and these lands remain as *pastures*. In other words, it is not possible to shrink the *pasture lands* as a result of mining activities [6]. As shown above, *pasture lands* constitute 18.6% of the total surface of Turkey, which means that these lands also have alternative areas. However, it is necessary to give importance to scientific criteria in determining which is a superior public interest compared to the mines which are limited and which are mandatory on-site production and this should be determined by legislation.

A brief review of mining operation activities in *pasture lands* has been made, especially in terms of competent authorities and legislation. To perform mining operation activities in *pasture lands*, mining investors pay some costs such as land and grass loss expenses for once only. In this respect, a survey was carried out through the "Survey Monkey" Survey Program for mining enterprises in May, June and July 2018 to determine the amount of these costs in the investment amounts of mining enterprises<sup>‡</sup>.

In this study, based on the answers that the mining enterprises gave, the change of the costs required to perform mining operation activities in *pasture lands* in Turkey according to the different mineral groups was examined. At the same time, the ratio of these costs to the investment of mining enterprises were analyzed in terms of their differences according to the mineral groups.

<sup>‡</sup>. The survey questions were answered by the relevant departments of the mining companies. The answers were transferred collectively to the survey program, regardless of which companies answered the survey and what responses were given to the questions.

## 2. Costs Paid By Mining Enterprises for Pasture Lands & Their Share in Investment Amounts

In the world, past mining experiences highlighted the interdependent relationship between commercial and economic benefits and the legal change in environmental impact. When determining where to put the right balance, attention should be paid to the negative consequences of the environment on the environment, to ensure the sustainable management of natural resources by creating an optimum balance [7].

Investors in mining face both technical and non-technical risks. Risks in the non-technical category are land access laws, land claims, bureaucracy, environmental risks, social risks, and infrastructure risk. Such risks cannot be separated entirely from the technical risks in any comprehensive risk classification system applied to the mining sector; they inevitably overlap. Environmental risks, for example, include technical aspects of the design and engineering of the mine, infrastructure, and waste facilities, as well as non-technical risks related to government regulations and permits [8].

Governments can improve the prospect of investment in the mining sector by establishing regulatory structures that guarantee "investment and license security" by taking necessary steps to meet investors' decision-making criteria [9]. If the state cannot direct sufficient capital and technology for mining activities, then it is essential to apply market-friendly policies to attract private investors and firms that can provide them [10].

On the other hand, the limited availability of resources in a country requires that these should be used in an efficient and maximum way without wastefulness. Because investment projects (such as raw materials, capital, labor etc.) are the plans for the optimum utilization of limited economic resources in a way to maximize their benefits. Investment is a strategic decision that is of utmost importance for the companies. The investment project, which is one of the most important means of economic development, to reach the projected targets (minimum time, minimum cost, minimum capacity) in the project [11], should not be out of expectations due to the legislation.

Thus, in terms of expenditures and risks, the most crucial activity group related to mining in pre-production activities [12]. These activities include mining operations permit process.

Considering this explanation in case of overlapping of mining activities with *pastures* in Turkey, it is useful to determine how much the related permitting process costs have taken in mining investments. In this respect, first of all, the pasture costs should be shown according to different mineral groups.

### 2.1 Paid Costs for Pasture Lands

The mining enterprises were asked: "*How much is the amount (TL<sup>§</sup>) you pay (if paid) for the pasture lands (land and grass loss expenses etc.)?*" Forty-two mining enterprises answered to this question. The ratio of these answers according to different mineral groups\*\* is shown below (Figure 2).

§ 1 USD Dollar = 4.84 Turkish Lira (16<sup>th</sup> July 2018) [13]

\*\* According to the Mining Law number 3213, minerals shall be licensed in accordance with the group listed below:

I<sup>st</sup> Group Minerals

a) Sand and Gravel which are used in construction and road building and that are naturally present in nature.

b) Brick-Tile clay, Cement clay, Marn, Pozzolanitic rock (Trass) and the rocks that are used in cement and ceramics industries and not include in other groups.

II<sup>nd</sup> Group Minerals

a) The rocks such as Calcite, Dolomite, Limestone, Granite, Andesite, Basalt used for constructing Aggregate, Ready-mixed concrete and asphalt.

b) Rocks produced as a block such as Marble, Travertine, Granite, Andesite, Basalt and natural rocks used for decorative purposes.

c) The rocks such as Calcite, Dolomite, Limestone, Granite, Andesite, Basalt used at grinding facility of concrete, lime, and calcite.

III<sup>rd</sup> Group Minerals

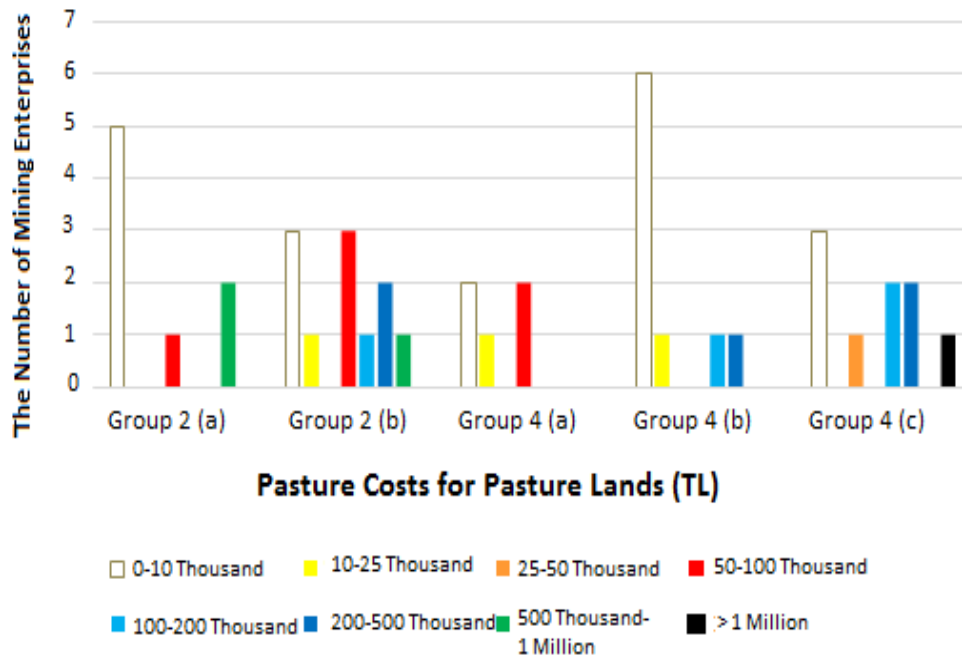


Figure 2. All costs paid for pasture lands<sup>††</sup>

The change in these costs between the mineral groups can be examined on average as follows (Figure 3).

Salts being in the form of a solution and which will be obtained from sea, lake and spring water, Carbon Dioxide Gas (CO<sub>2</sub>) (except geothermal, natural gas and petroleum areas). Hydrogen Sulfide (in case of remaining conserved the provisions of Petroleum Code Numbered 6326 and date 07<sup>th</sup> March 1954).

#### IV<sup>th</sup> Group Minerals

a) Kaolin, Dickite, Nacrite, Halloysite, Endellite, Anauxite, Bentonite, Montmorillonite, Baydilite, Nontronite, Saponite, Hectorite, Illite, Vermiculite, Allofanoid, Imalogite, Chlorite, Sepiolite, Palygorskite (Attapulgit), Loglinite and clays that are a mixture of those, Refractory clays, Gypsum, Anhydride, Alunite (Alum Stone), Halide, Sodium, Potassium, Lithium, Calcium, Magnesium, Chlorine, Nitrate, Iodine, Fluor, Bromine and other salts, Boron salts (Colemanite, Ulexite, Boracite, Tincal, Pandermite or at least other boron minerals containing 10% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Stroncium salts (Celestite, Stronthianite), Barite, Vollastone, Talc, Steattite, Pyrophyllite, Diatomite, Olivine, Dunite, Silimanite, Andalusite, Dumortierite, Disten (Kyanite), Phosphate, Apatite, Asbestos (Mineral Wool), Magnesite, Huntit, Natural Sodium Minerals (Trona, Nacolate, Dawsonite), Zeolite, Pumice, Pitchstone, Perlite, Obsidian, Graphite, Sulphur, Fluorite, Cryolite, Emery stone, Corundum, Diasporite, Quartz, Quartzite, A sand containing quartzite and at least 80% SiO<sub>2</sub> in its composition, Feldspar (Feldspar and Feldspathoid group minerals), Mica (Biotite, Muscovite, Sericite, Lepidolite, Flogopite), Cyanite with Nepheline, Chalcedony (Silix, Chert)

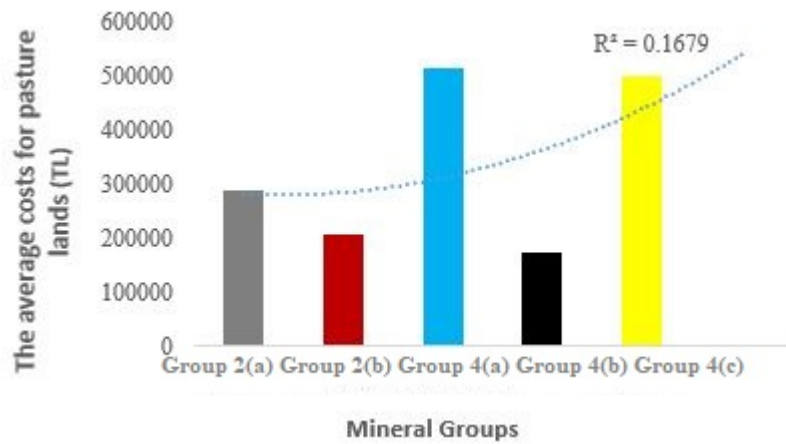
b) Peat, Lignite, Hard Coal, Anthracite, Asphaltite, Bituminous Schist, Bituminous Shale, Coccolith and Sapropel (provided that the provisions of Petroleum Law remain reserved.)

c) Gold, Silver, Platinum, Copper, Lead, Zinc, Iron, Pyrite, Manganese, Chromium, Mercury, Antimony, Tin, Vanadium, Arsenic, Molybdenum, Tungsten (Wolframite, Scheelite), Cobalt, Nickel, Cadmium, Bismuth, Titanium (Ilmenite, Rutile), Aluminum (Bauxite, Gypsite, Böhmite), rare earth elements (Cerium Group, Yttrium Group) and rare earth minerals (Bastnaesite, Monazite, Xenotime, Serit, Oxsenite, Samarskite, Fergusonite), Cesium, Rubidium, Beryllium, Indium, Gallium, Thallium, Zirconium, Hafnium, Germanium, Niobium, Tantalum, Selenium, Tellurium, Rhenium.

#### V<sup>th</sup> Group Minerals

Diamond, Sapphire, Ruby, Beryllium, Emerald, Morganite, Aquamarine, Heliodor, Alexandrite, Agate, Onyx, Sardonyx, Jade, Carnotite, Heliotrope, Bloodstone, Chrysoprase, Opal (Irize Opal, Fire Opal, Black Opal, Wood Opal), Quartz crystals (Amethyst, Citrine, Rock crystal (Mountain crystal), Misty Quartz, Tiger's Eye, Aventurine, Venus Stone, Rose Quartz), Tourmaline (Rubellite, Vardelite, Indigolite), Topaz, Moonstone, Turquoise, Spodumene, Amber, Lazurite (Lazuli), Jet, Diopside, Amozonite, Meerschaum, Labradorite, Epidote (Zoisite, Tanzanite), Spinel, Jadeite, Jade or Jad, Rhodonite, Rhodochrosite, Garnet Minerals (Spessartite, Grosullar Hessonite, Dermontoite, Uvarovite, Pyrope, Almandine), Diaspore Crystals, Kemererite.

†† ">1 Million": was accepted as 1-2 million TL, namely 1.5 million TL on average.



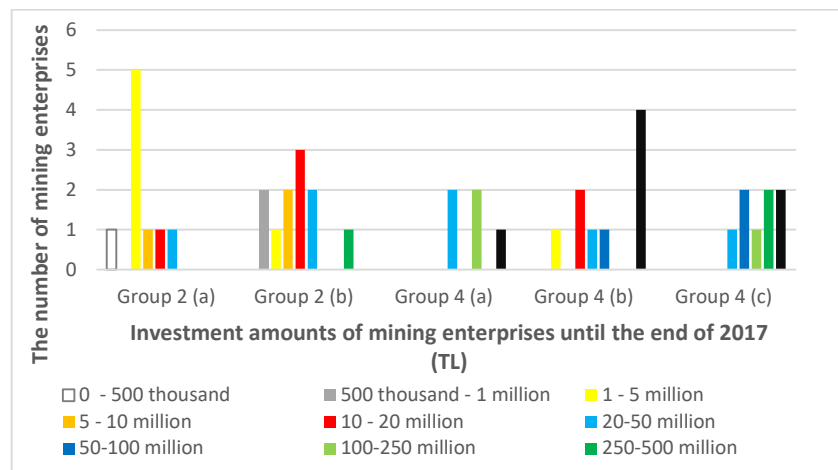
**Figure 3.** Change between the pasture costs and mineral groups

As can be seen from the figure above, any change relationship and the degree of significance among the average values of the *pasture costs* for different mineral groups cannot be mentioned. The correlation coefficient is  $R^2 = 0.17$ . It should be noted that other factors are affecting the increase in *pasture costs*. The reason why the correlation coefficient is too low in this increase is that the amount of *pasture land* that overlaps with the mining areas is variable for different mineral groups (In fact, it is not known how many hectares of *pasture lands* overlap with the mining enterprises that respond to the survey).

Thus, it is useful to determine how much these *pasture land* using costs are paid by each enterprise in their mine investment amounts and average annual operating costs to perform mining activities.

**2.2. The ratio of the pasture costs to the total investment amounts**

For calculating the rate of pasture costs to mining investment amounts, the mining enterprises were asked: “How much is the investment amount (TL) of your mining enterprises (by the end of 2017)?” All mining enterprises are shown in Figure 2, 42 mining enterprises, answered to this question. These answers, according to different mineral groups, as shown below (Figure 4).



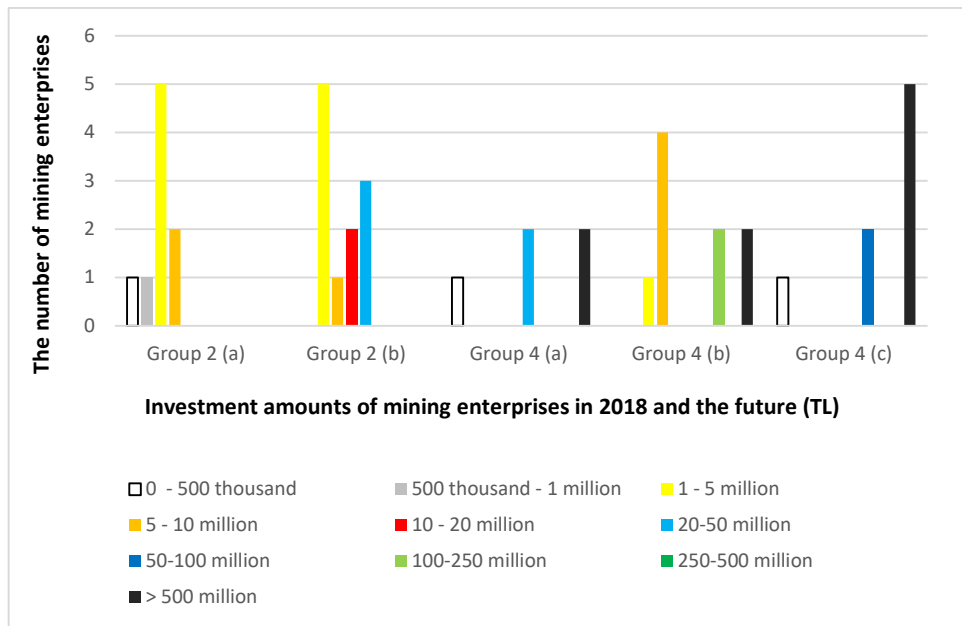
**Figure 4.** The investment amounts of mining enterprises until the end of 2017<sup>##</sup>

<sup>##</sup> “>500 Million TL”: was accepted as 500 million- 1 billion, namely 750 million TL on average.

The ratio of these investment amounts shows that the mining enterprises in Turkey are mostly in the small and medium-sized business group. This indicates that the *pasture costs* required from the mining enterprises will have a more significant impact on those enterprises.

For perform mining activities in *pasture lands*, all costs to be paid (land and grass loss expenses) are given only once at the start of the mining operation. Thus, considering this situation, the amounts paid for the *pasture lands* by each mining enterprise that is individually responding to the survey were proportioned to the total investment amounts before 2018.

However, these mining enterprises are planning to make new investments in 2018 and the following years. In this respect, mining enterprises were asked: "How much (TL) is the new investment amount aimed in your mining enterprises in 2018 and the following years?" The answers of 42 mining enterprises are shown below according to different mineral groups (Figure 5).



**Figure 5.** New investment amounts aimed by mine enterprises in 2018 and the following years

The total investment amounts paid by mining enterprises are obtained through the collection of the investment amounts in 2018 and the following years (aimed) and before 2018 (current). The ratio of the *pasture costs* paid by the mining enterprises to the total investment amounts paid by those enterprises during their entire lifetime is shown below (on a weighted average) (Table 1).

**Table 1.** The ratio of pasture costs to the sum of current and future investment amounts.

Mineral groups	The number of mining enterprises	Total investment amounts (TL)	Average of pasture costs (TL)	The ratio of the pasture costs to the total investment amounts (%)
Group 2 (a)	2	21250000	287500	1.42
Group 2 (b)	9	73277778	205278	0.56

Group 4 (a)	2	892500000	512500	0.06
Group 4 (b)	3	43666667	172500	0.36
Group 4 (c)	5	1175000000	500000	0.05
For all mineral groups	21	404428571	307857	0.44

Table 1 – Continue

As it is seen in the table, the average rate of *pasture costs* to the total investment amounts is 0.44% for 21<sup>§§</sup> mining enterprises. This percentage shows that the *pasture costs* required from the mining enterprises have a significant share in the current and aimed investment amounts by itself. The ratio of the *pasture costs* to the total investment amounts and mineral groups are shown below (Figure 6).

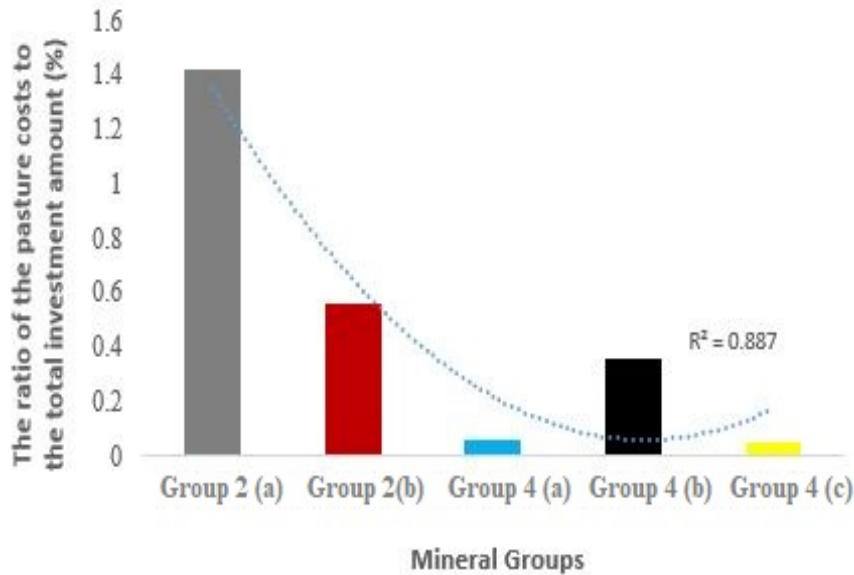


Figure 6. Mineral groups &amp; the ratio of the pasture costs and to the total investment amounts

As it is seen in the figure, the relationship between these proportions shows a polynomial change as the correlation coefficient. Then the correlation coefficient is  $R^2 = 0.887$ . Based on this data, there is a reasonable degree of significance between this variable relationship.

It is remarkable that the share of the *pasture costs* in the total mining investment amounts is quite high in the 2<sup>nd</sup> Mineral Group compared to other groups. This situation shows that the mining enterprises in the 2<sup>nd</sup> Mineral Group will have great difficulty in paying the *pasture costs* since their investment amounts are low compared to other enterprises in the 4<sup>th</sup> Mineral Group.

<sup>§§</sup> Of the 42 mining enterprises that gave information about the amounts of the mining investment and the pasture costs they paid, 21 of the mining enterprises which stated that they paid the pasture price between “0-10000 TL” were excluded from this calculation. In particular, this situation was preferred by considering that the mining enterprises may not have paid the pasture cost, but could have mistakenly selected the “0-10000 TL” pasture cost option in the survey question. Thus, as the average of mineral groups, it is aimed to calculate the share of pasture costs more consistently within the investment amounts of mining enterprises.

### 3. Conclusion and Suggestions

The delays in the *pasture land* using permits to be taken to perform mining activities in case of overlapping with *pasture lands* are reflected the mining enterprises in our country as a cost. Also, the required costs are added for the *pasture lands*.

The ratio of these investment amounts shows that the mining enterprises in Turkey are mostly in the small and medium-sized business group. This indicates that the *pasture costs* required from the mining enterprises will have a more significant impact on those enterprises.

As discussed, the results show that *pasture costs* have a significant share. Notably, the mentioned *pasture costs* are quite compeller cost item for the mining enterprises in 2<sup>nd</sup> Mineral Group economically since their investments are lower than the other enterprises. Thus, lowering the *pasture costs* to a more reasonable level with legislation will be a positive development for the mining sector.

*Pasture lands* constitute 18.6% of the total surface of Turkey, which means that these lands also have alternative areas. However, it is necessary to give importance to scientific criteria in determining which is a superior public interest compared to the mines which are limited and which are mandatory on-site production and this should be determined by legislation.

### References

- [1] Topaloğlu M. Legal Disputes Between Mining License Owners and Immovable Owners. Turkey Miners Association (TMA), Sector News Bulletin 2016; 62, 66-74.
- [2] Konukman A, Kayadelen M, and Türkyılmaz O. Benefit of Society in Energy. TMMOB 10<sup>th</sup> Energy Symposium (3-5 December 2015), “Benefit of Society and Publicity in Energy” Proceedings Book 2016; 57-95.
- [3] Kavcı A. Cadastral Information System on Mining. Turkey Mining Journal 2014; 37, 62-64.
- [4] Topaloğlu M. Mining Activities in Pasture Areas. TMA, Sector News Bulletin 2014; 50, 66-69.
- [5] Yeşilyurt C. The Proses of the Pasture Allocation I. Turkey Mining Journal 2011; 19, 80-82.
- [6] Yeşilyurt C. The Proses of the Pasture Allocation II. Turkey Mining Journal 2012; 20, 80-83.
- [7] Elvan OD. The Legal Environmental Risk Analysis (LERA) Sample of Mining and The Environment in Turkish Legislation. Resources Policy 2013; 38, 252–257.
- [8] Trench A, Packey D, and Sykes JP. Non-Technical Risks and Their Impact on the Mining Industry, Mineral Resource, and Ore Reserve Estimation 2014; 605-618.
- [9] Otto J. The Competitive Position of Countries Seeking Exploration and Development Investment. Society of Economic Geologists, Special Publication 2006; 12, 109-125.
- [10] Yuldashev F, and Şahin B. The Political Economy of Mineral Resource Use: The Case of Kyrgyzstan, Resources Policy 2016; 49, 266–272.
- [11] Köse H, and Kahraman B. Mining Business Economics. Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering Publication No: 223, 3<sup>rd</sup> Publication, 2009; 339 p.
- [12] Yolcu M, and Sağlam N. Financial Reporting and Comprehensive Application Examples by TMS / TFRS. 1<sup>st</sup> Publication, 2014; 472 p.
- [13] [https://www.tcmb.gov.tr/kurlar/kurlar\\_tr.html](https://www.tcmb.gov.tr/kurlar/kurlar_tr.html) (Accessed date: 16<sup>th</sup> July 2018)

## AN ANALYTICAL AND EXPERIMENTAL APPROACH FOR IMPROVED STIFFNESS MATRIX OF BARS WITH SHEAR AND WIDE SUPPORT EFFECTS

**Yaşar AYZAZ<sup>1\*</sup>, Ahmet BUDAK<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Inonu University, 44280 Malatya, Turkey

<sup>2</sup> Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Atatürk University, 25240 Erzurum Turkey

Geliş tarihi: 22.04.2019 Kabul tarihi: 16.05.2019

### ABSTRACT

In this study, frames including both the shear and the wide support effect were examined analytically, numerically and experimentally. Stiffness method was used for analytical solution and finite element method was used for numerical solution. Explicit expressions for the stiffness matrix that includes both the shear effect and the wide support effect are presented. A model frame was tested experimentally, and a maximum deflection result was obtained. The same frame was modeled and solved with the finite element method and with the proposed method. The results of three methods were compared. The proposed method was verified successfully. The proposed method, which includes both the shear and wide support effects, produced results that were shown to be closer to the experimental results and the results than were the results of the other models that were investigated.

*Keywords: Shear effect, wide support effect, rigid end zone, stiffness matrix, finite element*

## KAYMA VE GENİŞ MESNET ETKİSİNDEKİ ÇUBUKLARIN GELİŞTİRİLMİŞ RİJİTLİK MATRİSLERİ İÇİN ANALİTİK VE DENEYSEL BİR YAKLAŞIM

### ÖZET

Bu çalışmada, aynı anda hem kayma ve hem geniş mesnet etkisindeki çerçeveler analitik, nümerik ve deneysel olarak incelenmiştir. Analitik çözüm için matris deplasman yöntemi, sayısal çözüm için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Hem kayma etkisi hem de geniş mesnet etkisini içeren rijitlik matrisi için açık denklemler ortaya konmuştur. Bunun için bir model çerçeve deneysel olarak test edildi ve maksimum çökme değeri elde edildi. Aynı çerçeve sonlu elemanlar yöntemi ile modellenerek ve ayrıca önerilen yöntem ile de çözüldü. Üç yöntemin sonuçları karşılaştırıldı. Önerilen yöntem başarıyla doğrulandı. Hem kayma hem de geniş destek etkilerini içeren önerilen yöntem sonuçlarının, deneysel sonuçlara ve sonlu elemanlar yöntemi sonuçlarına daha yakın olduğu görülmüştür.

*Anahtar Kelimeler: Kayma etkisi, geniş destek etkisi, rijit uç bölge, rijitlik matrisi, sonlu elemanlar*

---

\* e-posta: [yasar.ayaz@inonu.edu.tr](mailto:yasar.ayaz@inonu.edu.tr)



## 1. Introduction

Many studies analyze frames with the matrix method [1-12]. After the use of computers become common, matrix methods became more popular. The addition of the shear effect to the matrix method is also very common and is well established [7,12]. Despite its large effect, the wide support effect is generally neglected. In the solution of bar elements, the bar length is considered to be the length between nodes. This length does not represent the bar length exactly in frames. The intersection of the column and the beam is different from both the column and the beam. This part is called the wide support or the rigid end zone. In frames, the bar length does not start from the node points. A bar length started from the node points causes inaccuracy in the results. Increasing the bar height increases the common component, and this causes unacceptable errors in the results.

In the stiffness method main problem is to obtain stiffness matrix. After the construction of the stiffness matrix the problem is solved systematically. In previous studies only one effect is handled in the stiffness matrix. In this study, the stiffness matrix including both the shear and wide support effects was developed and explicit formulations for stiffness members are given. By using this formulation, it is possible to obtain stiffness matrix for normal solution, shear effect, wide support effect and their combinations (bare solution, only shear effect, only wide support effect and both shear and wide support effects). The results obtained from proposed method were also verified experimentally. For this purpose, a frame was solved for with the proposed method. For experimental verification, the same frame was tested, and the maximum deflection value was obtained. A finite element method (FEM) model for this frame was created. The results of three methods are compared. Two different frames were solved for with the proposed methods, and the results are compared with the FEM results. The results of the proposed method were consistent with the FEM results. In the case of the cantilever beam, where only the shear effect is present, the proposed method also has been proven theoretically. In the frame example, the results of the proposed method and FEM results and experimental results were consistent.

## 2. Theoretical

### 2.1. Shear effect in uniform members

The stiffness matrix in local coordinates for plane frame members can be expressed as follows:

$$[k] = \begin{bmatrix} D & C_i & -D & C_j \\ C_i & A_i & -C_i & B \\ -D & -C_i & D & -C_j \\ C_j & B & C_j & A_j \end{bmatrix} \quad (1)$$

where  $A_i$ ,  $A_j$  and  $B$  are stiffness members and are defined as

$$A_i = a_i \frac{EI}{L}, \quad A_j = a_j \frac{EI}{L}, \quad B = b_{ij} \frac{EI}{L}. \quad (2)$$

The other stiffness matrix members are defined as follows:

$$C_i = \frac{A_i + B}{L}, \quad C_j = \frac{A_j + B}{L}, \quad D = \frac{C_i + C_j}{L}. \quad (3)$$

For uniform cross-section members without shear effect, the stiffness coefficients are  $a_i=a_j=4$  and  $b_{ij}=2$  [5,7].

The shear effect is neglected in most mechanical problems because of its small value. Generally, the decision to neglect the shear effect is made according to the length / height ratio (L/h) of the members. Shear effect increases with increases in the height and decreases in the L/h ratio. The shear effect should be considered if the L/h ratio is less than 10 [7,13].

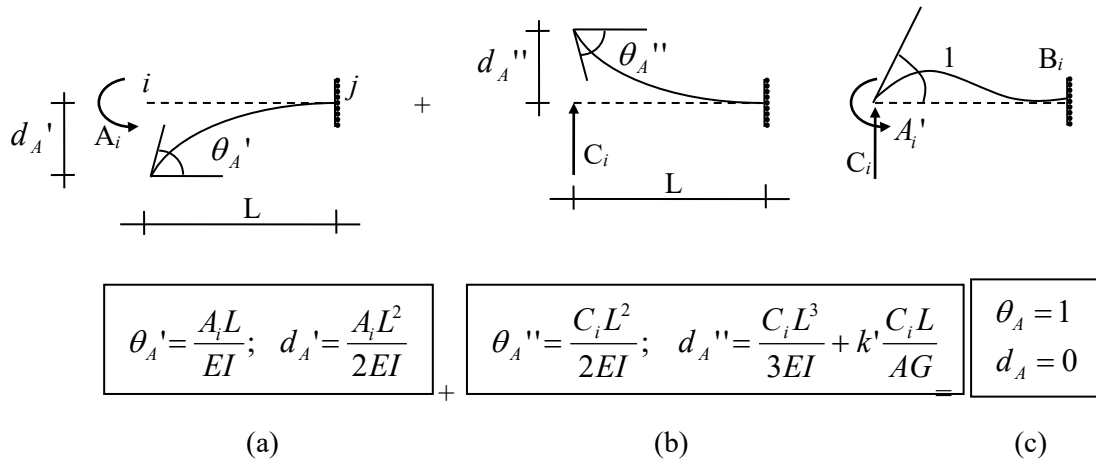


Figure 1. Consideration of the shear effect [7].

To include the shear effect in the stiffness members, moment  $A_i$  and vertical force  $C_i$  are applied to the beam in Fig. 1. The coefficients of the moments that cause unit rotation in node i produce the  $A_i$  and  $B_{ij}$  stiffness coefficients.  $\theta_A'$  and  $\theta_A''$  represent the absolute value of rotation, and  $d_A'$  and  $d_A''$  represent the absolute value of displacement caused by the  $A_i$  moment and the  $C_i$  vertical force applied to node i and  $\theta_A$  and  $d_A$  represent rotation and deflection at point A respectively. Considering unit rotation at node i,

$$\theta_A' - \theta_A'' = 1 \tag{4}$$

from which

$$\frac{A_i L}{EI} - \frac{C_i L^2}{2EI} = 1 \tag{5}$$

Considering zero rotation,

$$-d_A' + d_A'' = 0 \tag{6}$$

from which

$$-\frac{A_i L^2}{2EI} + \left( \frac{C_i L^3}{3EI} + k' \frac{C_i L}{AG} \right) = 0. \tag{7}$$

From the equilibrium between nodes i and j,  $C_i$  can be calculated as

$$C_i = \frac{A_i + B_{ij}}{L}. \tag{8}$$

By solving equations 5 and 7,

$$A_i = 4 \frac{EI}{L} \lambda_i \quad (9)$$

$$B_{ij} = 2 \frac{EI}{L} \lambda_{ij} \quad (10)$$

are obtained. Because of symmetricity,  $A_i=A_j$ . The correction factors for the shear effect in the stiffness matrix are

$$\lambda_i = \lambda_j = 0.75\varepsilon + 0.25 \quad (11)$$

$$\lambda_{ij} = 1.5\varepsilon - 0.5 \quad (12)$$

where

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + 24k' \frac{(1+\mu)}{\left(\frac{L}{r}\right)^2}} = \frac{1}{1 + \frac{12k'EI}{GAL^2}} = \frac{1}{1 + \frac{2k'(1+\mu)}{\left(\frac{L}{h}\right)^2}} \quad (13)$$

For a rectangular shape,  $k'$  is the shape factor (and is equal to 1.2) and  $\mu$  is the Poisson ratio. Consequently, we obtain

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + \frac{2.76}{\left(\frac{L}{h}\right)^2}} \quad (14)$$

By using the  $\lambda_i$  and  $\lambda_j$  coefficients, the shear effect is included in the stiffness matrix [7].

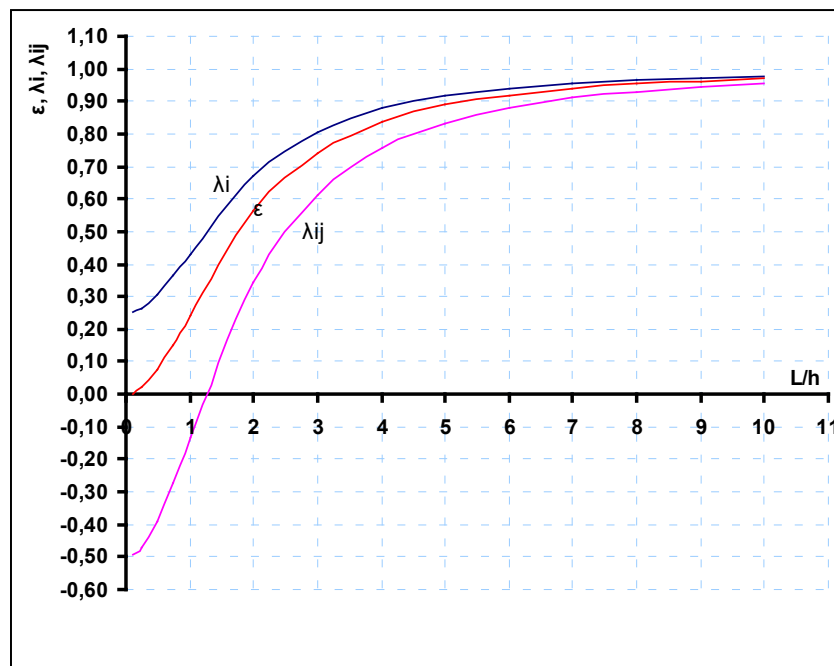


Figure 2.  $\lambda_i$ ,  $\lambda_j$  and  $\varepsilon$  values as a function of the  $L/h$  ratio for  $\mu=0.3$  and  $k'=1.2$ [7]

The values of the correction factors  $\lambda_i$ ,  $\lambda_j$  and  $\varepsilon$  as a function of the  $L/h$  ratio for  $\mu=0.3$  and  $k'=1.2$  are plotted in Fig. 2. As can be seen in Fig. 2, the values of  $\lambda_i$ ,  $\lambda_j$  and  $\varepsilon$  approach 1 as the  $L/h$  ratio increases to 10.

## 2.2. Wide Support Condition

The wide support effect has a greater effect than the shear effect in most conditions. On the contrary, however, in most studies the shear effect is considered while the wide support effect is neglected. In classical beam theory when a frame member is solved in one dimension, such as is done for a bar element, the member length is selected between two nodes. In fact, the intersection of the column and beam is different from the column and the beam. This segment cannot be considered in the beam or the column length. To consider the intersection of the column and the beam as part of the column or as part of the beam introduces a large error into the solution. The size of this common segment grows as the member height increases, and this increases the error in the result. This segment that must be treated differently from the beam and the column is called the wide support or the rigid end zone. For a wide support, the stiffness matrix and the fixed end forces change and have to be regenerated. Tezcan solved this problem with rigid rotation of this part[7].

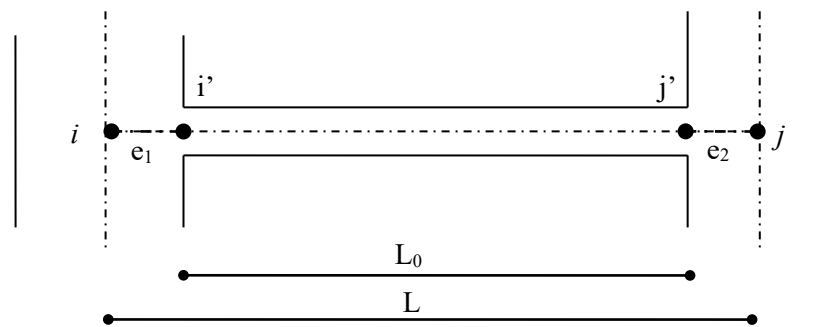
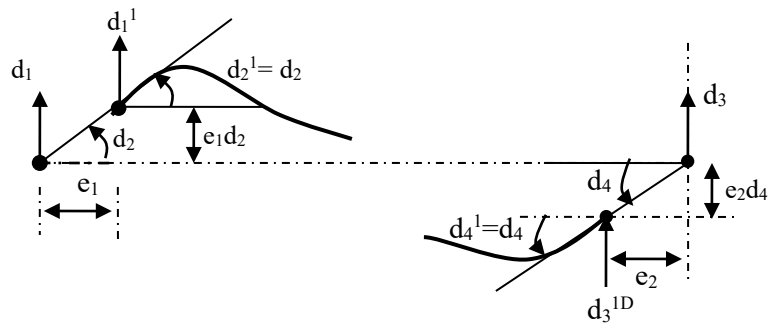


Figure 3. Wide support in a frame.

As seen in Fig. 3, first, the common segment in the beam-column is assumed to be totally rigid. By adding additional deformation caused by rigid rotation of this block, the stiffness members for the wide support condition are calculated.  $e_1$  and  $e_2$  represent the half-length of nodes  $i$  and  $j$ , respectively. The  $\{d'\}$  deformation on the nodes of the free beam length ( $i'-j'$ ) can be written with the help of the  $\{d\}$  deformation on nodes of theoretical length [7],

$$\{d'\} = [T]\{d\}. \quad (15)$$

By means of rigid rotation of the column-beam intersection segment, the deformation relations between the real length and the theoretical length of the beam can be derived.



**Figure 4.** Deformation relation in wide support members[7].

[T] = transformation matrix for displacement

$e_1$  = support half length at node i

$e_2$  = support half length at node j

From Fig. 4, the relation between  $d$  and  $d'$  can be written as

$$\begin{aligned} d_1' &= d_1 + e_1 d_2 \\ d_2' &= d_2 \\ d_3' &= d_3 - e_2 d_4 \\ d_4' &= d_4 \end{aligned} \quad (16)$$

In matrix form,

$$\{d'\} = \begin{Bmatrix} d_1' \\ d_2' \\ d_3' \\ d_4' \end{Bmatrix} \quad (17)$$

$$\{d\} = \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{Bmatrix} \quad (18)$$

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & e_1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -e_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$\{d'\} = \begin{bmatrix} 1 & e_1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -e_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{Bmatrix} \quad (20)$$

When the transformation matrix [T] and the stiffness matrix [k'] as a function of the free length of the beam are known, the stiffness matrix as a function of the theoretical nodes [k] can be calculated as follows:

$$[k] = [T]^T [k'] [T]. \quad (21)$$

Because the common deformations of the system are on nodes i and j, the stiffness matrix used to find the system stiffness matrix is [k]. The stiffness matrix [k'] of the free length between i' and j' can be written as follows:

$$[k'] = \begin{bmatrix} D' & C_i' & -D' & C_j' \\ C_i' & A_i' & -C_i' & B' \\ -D' & -C_i' & D' & -C_j' \\ C_j' & B' & -C_j' & A_j' \end{bmatrix} \quad (22)$$

where  $L_0$  is the free length of the member or the beam and

$$A_i' = a_i \frac{EI}{L_0}, \quad A_j' = a_j \frac{EI}{L_0}, \quad B' = b_{ij} \frac{EI}{L_0} \quad (23)$$

and

$$C_i' = \frac{A_i' + B'}{L_0}, \quad C_j' = \frac{A_j' + B'}{L_0}, \quad D' = \frac{C_i' + C_j'}{L_0} \quad (24)$$

From equation (21), the stiffness matrix transformed to theoretical nodes is

$$[k] = \begin{bmatrix} D' & e_1 D' + C_i' & -D' & e_2 D' + C_j' \\ C_i' + e_1 D' & e_1^2 D' + 2e_1 C_i' + A_i' & -e_1 D' - C_i' & B' + e_1 C_j' + e_2 C_i' + e_1 e_2 D' \\ -D' & -e_1 D' - C_i' & D' & -e_2 D' - C_j' \\ C_j' + e_2 D' & B' + e_1 C_j' + e_2 C_i' + e_1 e_2 D' & -e_2 D' - C_j' & A_j' + 2e_2 C_j' + e_2^2 D' \end{bmatrix} \quad (25)$$

The [k] stiffness matrix then becomes

$$[k] = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI(2e_1 + L)}{L^3} & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI(2e_2 + L)}{L^3} \\ \frac{6EI(2e_1 + L)}{L^3} & \frac{4EI(3e_1^2 + 3e_1L + L^2)}{L^3} & -\frac{6EI(2e_1 + L)}{L^3} & \frac{2EI(6e_1e_2 + 3(e_1 + e_2)L + L^2)}{L^3} \\ -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI(2e_1 + L)}{L^3} & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI(2e_2 + L)}{L^3} \\ \frac{6EI(2e_2 + L)}{L^3} & \frac{2EI(6e_1e_2 + 3(e_1 + e_2)L + L^2)}{L^3} & -\frac{6EI(2e_2 + L)}{L^3} & \frac{4EI(3e_2^2 + 3e_2L + L^2)}{L^3} \end{bmatrix} \quad (26)$$

Rigid rotation of the common segment affects the fixed end forces in the wide support condition. The relation between the forces is seen in Fig. 5 and is derived as

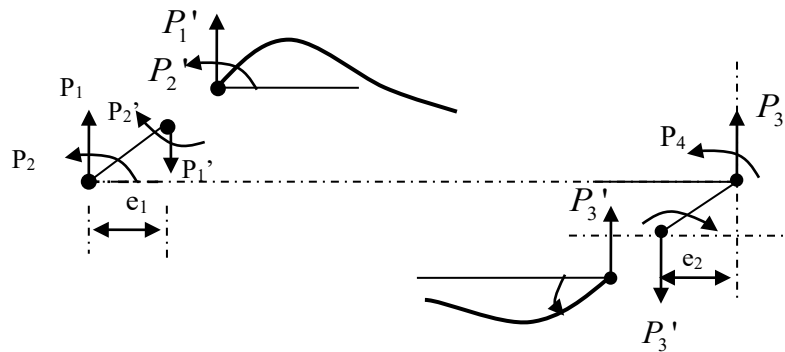


Figure 5. Force relations for the wide support condition[7].

$$\begin{aligned} p_1' &= p_1 \\ p_2' &= p_2 - e_1 p_1 \\ p_3' &= p_3 \\ p_4' &= p_4 + e_2 p_3 \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} p_1 &= p_1' \\ p_2 &= p_2' + e_1 p_1 \\ p_3 &= p_3' \\ p_4 &= p_4' - e_2 p_3 \end{aligned} \quad (28)$$

The fixed end forces and the node forces on the free length i'-j' nodes are transformed to theoretical length i-j nodes by using the following equations [7]:

$$\{f\} = [T]^T \{f'\} \quad (29)$$

and

$$\{p\} = [T]^T \{p'\}. \quad (30)$$

### 2.3. Shear effect on wide support conditions

In the previous sections, the shear effect and the wide support effect are investigated individually. When the height of the member increases, both the wide support and the shear effects increase. Therefore, both effects must be considered simultaneously. A stiffness matrix needs to be developed to consider both effects.

The stiffness members for the shear effect in uniform cross-section members are

$$\begin{aligned}
 A_i &= 4 \frac{EI}{L} \lambda_i \\
 A_j &= 4 \frac{EI}{L} \lambda_j \\
 B_{ij} &= 2 \frac{EI}{L} \lambda_{ij} \\
 C_i &= \frac{A_i + B}{L}, C_j = \frac{A_j + B}{L}, D = \frac{C_i + C_j}{L}.
 \end{aligned} \tag{31}$$

Taking both the shear and wide support effects of equation (31) into account, the free length  $L_0$  is used to obtain the stiffness matrix. Therefore, the stiffness members are obtained as follows:

$$\begin{aligned}
 A_i' &= 4 \frac{EI}{L_0} \lambda_i \\
 A_j' &= 4 \frac{EI}{L_0} \lambda_j \\
 B_{ij}' &= 2 \frac{EI}{L_0} \lambda_{ij} \\
 C_i' &= \frac{A_i' + B'}{L_0}, C_j' = \frac{A_j' + B'}{L_0} \text{ and } rD' = \frac{C_i' + C_j'}{L_0}
 \end{aligned} \tag{32}$$

The stiffness matrix  $[k']$  for the free length is given in equation (22), and the transformation matrix  $[T]$  for displacement in the wide support condition is given in equation (19). The stiffness matrix for theoretical nodes  $[k]$  is given in equation (21) and is  $[k] = [T]^T [k'] [T]$ . The products of the right-hand side are re-written as follows:

$$[k] = \begin{bmatrix} D' & C_i' + e_1 D' & -D' & C_j' + e_2 D' \\ C_i' + e_1 D' & A_i' + 2e_1 C_i' + e_1^2 D' & -C_i' - e_1 D' & B' + e_1 C_j' + e_2 C_i' + e_1 e_2 D' \\ -D' & -C_i' - e_1 D' & D' & -C_j' - e_2 D' \\ C_j' + e_2 D' & B' + e_1 C_j' + e_2 C_i' + e_1 e_2 D' & -C_j' - e_2 D' & A_j' + 2e_2 C_j' + e_2^2 D' \end{bmatrix} \tag{33}$$

This stiffness matrix includes both the shear and wide support effects for uniform cross-section members. The stiffness members are generally shown by  $k_{ij}$ , where  $i$  and  $j$  represent the row and the



column number, respectively. The stiffness members for both the shear and wide support effects are given in Table 1.

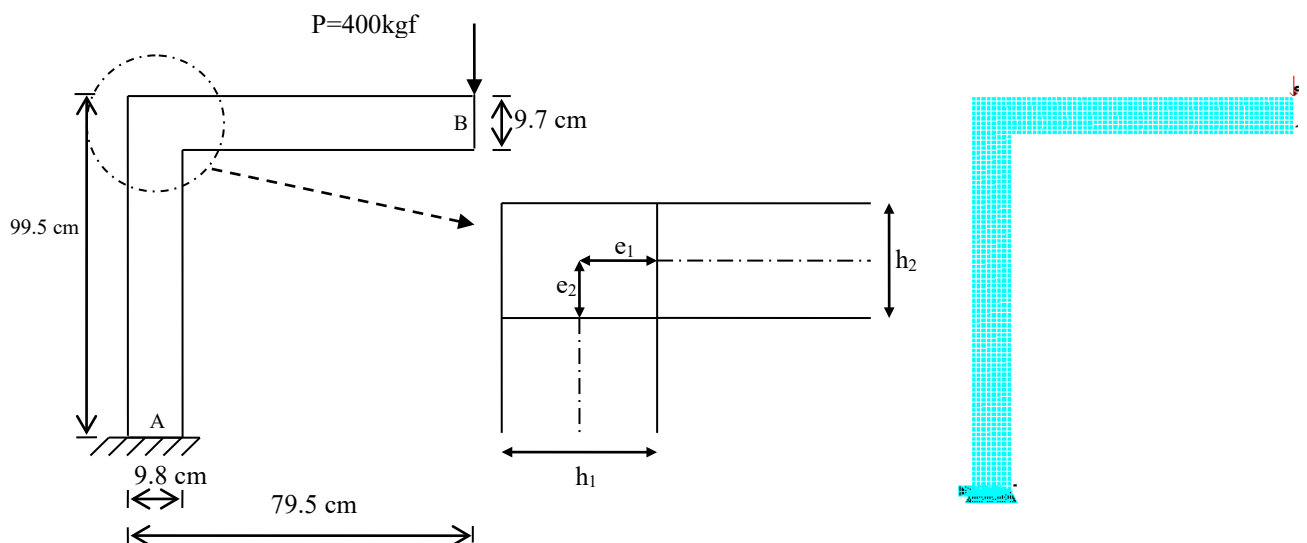
**Table 1.** Stiffness members for both the shear and wide support effects

$k_{11} = \frac{4EI(\lambda_i + \lambda_{ij} + \lambda_j)}{L^3}$		$k_{12} = \frac{2EI(L(2\lambda_i + \lambda_{ij})2e_1 + (\lambda_i + \lambda_{ij} + \lambda_j))}{L^3}$		
$k_{13} = -\frac{4EI(\lambda_i + \lambda_{ij} + \lambda_j)}{L^3}$		$k_{14} = \frac{2EI(2e_2(\lambda_i + \lambda_{ij} + \lambda_j) + L(\lambda_{ij} + 2\lambda_j))}{L^3}$		
$k_{22} = \frac{4EI((e_1 + L)(L\lambda_i + e_1(\lambda_i + \lambda_{ij})) + e_1^2\lambda_j)}{L^3}$		$k_{23} = -\frac{2EI(L(2\lambda_i + \lambda_{ij}) + 2e_1(\lambda_i + \lambda_{ij} + \lambda_j))}{L^3}$		
$k_{24} = -\frac{2EI(2e_2L\lambda_i + L(e_2 + L)\lambda_{ij} + e_1(2e_2(\lambda_i + \lambda_{ij} + \lambda_j) + L(\lambda_{ij} + 2\lambda_j)))}{L^3}$				
$k_{33} = \frac{4EI(\lambda_i + \lambda_{ij} + \lambda_j)}{L^3}$		$k_{34} = -\frac{2EI(2e_2(\lambda_i + \lambda_{ij} + \lambda_j) + L(\lambda_{ij} + 2\lambda_j))}{L^3}$		
$k_{43} = -\frac{2EI(2e_2(\lambda_i + \lambda_{ij} + \lambda_j) + L(\lambda_{ij} + 2\lambda_j))}{L^3}$		$k_{44} = -\frac{4EI(e_2(L\lambda_{ij} + e_2(\lambda_i + \lambda_{ij})) + (e_2 + L)^2\lambda_j)}{L^3}$		
$k_{21}=k_{12}$	$k_{31}=k_{13}$	$k_{32}=k_{23}$	$k_{41}=k_{14}$	$k_{42}=k_{24}$

### 3. Experimental

To verify the results provided by the proposed method and by FEM and to observe the exact behavior of the models, experimental test was carried out. An experimental model frame was produced from S220 steel. Specimens were produced from used material, and the modulus of elasticity was determined. The modulus of elasticity (E) for model 1 was calculated, with the help of the tensile test, to be 202,016.99 MPa. The Poisson ratio was taken as 0.3.

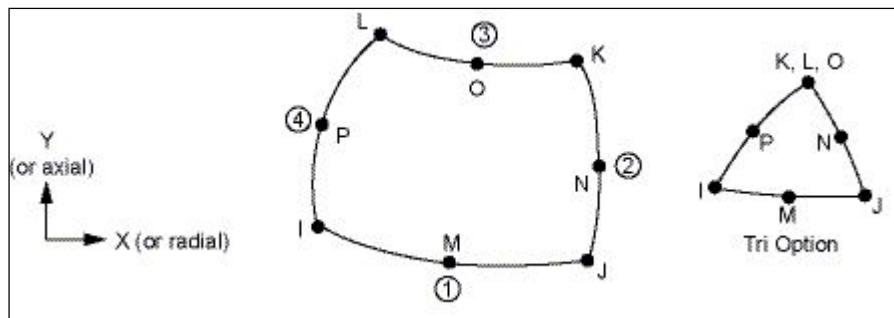
The experimental model was fabricated to give measurable results and to have a wide support effect (Fig. 6). A dial gauge was used to observe movement and rotation on the support. The loads were selected as the maximum of the elastic limit and the buckling load. The tests were repeated 10 times for model 1 and the averages of the results were used.



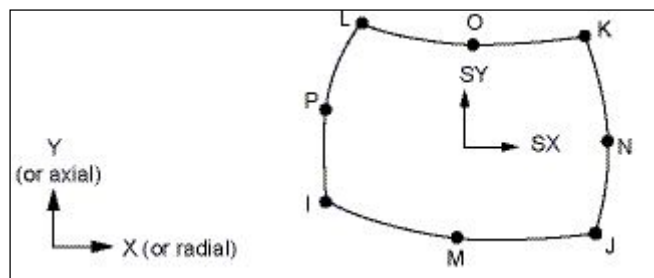
**Figure 6.** Model 1 with concentrated loading (left),  $e_1$  and  $e_2$  on a wide support (middle) and the mesh system in the FEM model (right).

#### 4. Finite Element Modeling

In this study, a 2-D, eight-node element PLANE82, which provides more accurate results and can tolerate irregular shapes, is used. The PLANE82 geometry and stress output are shown in Figs. 7 and 8.



**Figure 7.** PLANE82 geometry (2-D, eight-node structural solid)[14].



**Figure 8.** PLANE82 stress output[14].

PLANE82 is a higher-order version of the 2-D, four-node element PLANE42. The eight-node elements have compatible displacement shapes and are well suited to model curved boundaries. The eight-node element is defined by eight nodes having two degrees of freedom at each node: translations in the nodal  $x$  and  $y$  directions. The element may be used as a plane element or as an axisymmetric element. The element has plasticity, creep, swelling, stress stiffening, large deflection and large strain capabilities [14].

## 5. Results

### 5.1. Analytical method verification

A simple beam is solved by proposed method and accuracy of method is checked.

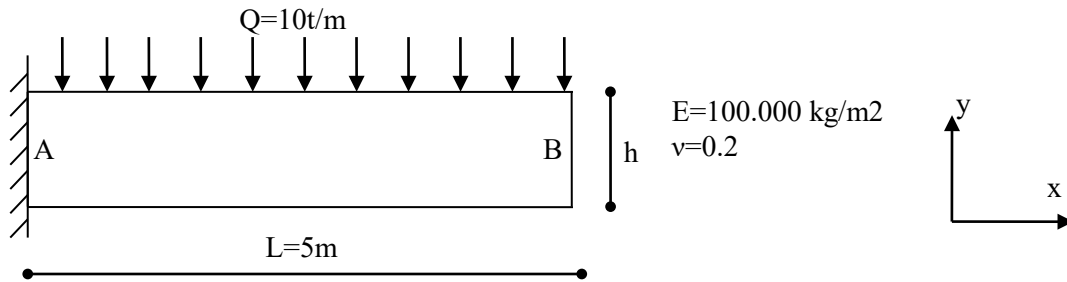


Figure 9. Uniform cantilever member

Table 2. Comparison of proposed method and FEM solution.

Example	H[m]	L[m]	L/h	Deflection at B (mm)			FEM-BAR (%)	BAR-BAR+S (%)	FEM-BAR+S (%)
				FEM	BAR	BAR+S			
1	0.5	5	10	-755.09	-750	-757.12	0.67	0.95	0.27
2	1	5	5	-97.10	-93.75	-97.30	3.45	3.79	0.2
3	2	5	2,5	-13.51	-11.72	-13.49	13.26	15.1	0.16
4	3	5	1,7	-4.67	-3.47	-4.66	25.75	34.29	0.29

Deflection at B, for example 2 in Table 2, is  $y_B = \frac{wL^2}{8EI}$ , with shear effect deflection is  $y_B = \frac{wL^2}{8EI} + k \frac{wL^2}{2GA}$ . And it is calculated as  $y_B = 93,75 + 3,549 = 97,299$  mm. The proposed method gives nearly same result of bar solution as  $y_B = 93,75 + 3,55 = 97,30$  mm. So that proposed method is verified. Bar solution and FEM solution give nearly same result if shear effect is considered in bar solution. Even in example 4 where L/h is very small as 1.7, BAR solution give good result if shear effect is considered.

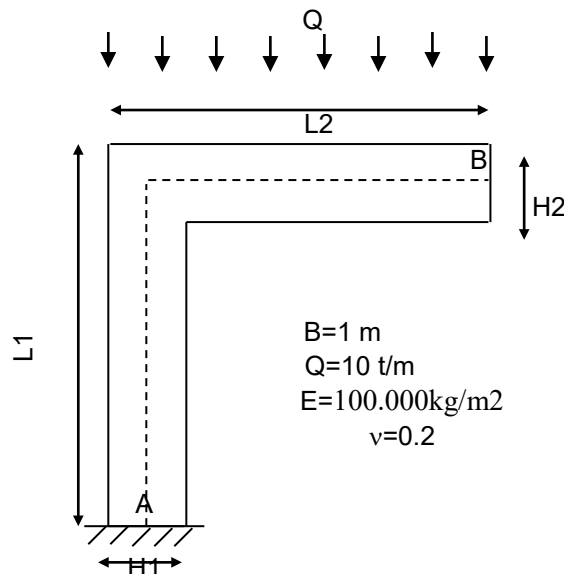


Figure 10. Frame with uniform members.

**Table 3.** Shear effect in frame with different L/h value.

Example	Element dimensions(m)				L/h	Deflection at B (mm)			Difference (%)	
	H1	H2	L1	L2		BAR	BAR+S	FEM	FEM-BAR	FEM-BAR+S
1	0.2	0.2	5.5	5.5	27.5	-79726.1	-79749.2	-78678	1.33	1.36
2	0.5	0.5	5.5	5.5	11	-4563.7	-4571.03	-4451	2.53	2.7
3	1	1	5.5	5.5	5.5	-471.25	-474.8	-445.08	5.88	6.68
4	1.5	1.5	5.5	5.5	3.67	-114.63	-116.77	-105.29	8.87	10.9
5	2	2	5.5	5.5	2.75	-39.46	-40.89	-35.031	12.64	16.73

In contrast to examples of Table 2, in frames as seen in table 3 addition of shear effect deviate BAR results from FEM results. In example 5 differences in between FEM and BAR results is 12.64% without shear effect in bar solution. But addition of shear effect increase difference to 16.73%. Therefore, in frames wide support effect should be considered to eliminate this difference.

## 5.2. Experimental Results

The experimental deflection of point B (EXP) of Model 1, shown in Fig. 6, is given in Table 4 and compared with the deflection of point B obtained with the normal bar solution (BAR), the bar solution including only the shear effect (BAR+S), the bar solution including only the wide support effect (BAR+W), the bar solution including both the shear and wide support effects (BAR+S+W) and the finite element method (FEM) solution.

It can be seen from Table 4 that the experimental result is within 1% of the proposed method solution (BAR+S+W), which includes both the shear and wide support effects.

**Table 4.** Experimental result of Model 1 and comparison to FEM and the proposed method results.

Column no	1	2	3	4	5	6
TEST 1 (E=202016.99MPa)	BAR	BAR+S	BAR+W ( e = h/2 )	BAR+S+W ( e =h/2 )	FEM	EXPERIMENT
Deflection at B (mm)	16.4909	16.5347	15.1790	15.2178	15.3290	15.3010
Ratio to experimental result	1.078	1.081	0.992	0.995	1.002	1.000

**Table 5.** Comparison of bar solution to other results (%).

Column no / column no	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6
Compared to BAR, %	0	0.27	7.96	7.72	7.04	7.21

**Table 6.** Comparison of experiment results to other results (%).

Column no / column no	6/1	6/2	6/3	6/4	6/5	6/6
Compared to EXPERIMENT, %	7.78	8.06	<b>0.78</b>	0.54	0.18	0

As seen in Table 4 and Table 6 for this example; FEM, experimental and the proposed method (BAR+S+W) results are nearly same. The proposed method gives good result.

Shear has 0.27% effect and wide support effect has 7.96% effect in theoretical solution. Wide support effect is bigger than shear effect (Table 5).

It is known that to get more accurate result shear effect should be considered. But as seen in Table 4 and Table 6 shear effect has adverse effect in frames if frame members are solved as bar. Without shear effect BAR result is 7.78% different than EXPERIMENT result. Adding shear effect increase difference to 8.06%.

When the results given in the tables are examined, it can be seen that the proposed method results are closer to the FEM results than are the other methods.

## 6. Conclusions

Frame models were tested experimentally, and the proposed method, which includes both the shear and wide support effects, was verified successfully. The wide support was observed to have a more substantial effect than the shear effect. Addition of shear effect is known to lead a more accurate solution. In contrast to frames, this result is correct if only one member is handled. Results of FEM solution and bar solution with shear effect overlapped for one member structures such as cantilever beam. In frames, the model results are closer to the FEM and experimental results when the shear effect is neglected. The shear effect caused the model results to deviate from the experimental and FEM results. The results of the proposed method, in which both the shear and wide support effects are included, were shown to be closer to the experimental and FEM results than the other methods were.

In practice, the wide support rigid length  $e$  was observed to change from  $h/2$  to  $h/4$  in most problems. Accordingly  $e$  can be selected between the  $h/2$  and  $h/4$  intervals.

**References**

- [1] Dym, C.L., Structural Modeling and Analysis. Cambridge University Press,1997.
- [2] Megson, T.H.G., Structural and Stress Analysis. Butterworth-Heineman, 2000.
- [3] Liew, J.Y. R., Shanmugam, N.E. Theory and Analysis of Structures. In: Chen W. F., Liew J. Y. R., editors. The Civil Engineering Handbook, Second Edition, CRC Press, 2003.
- [4] Hibeler, R. C., Structural Analysis. Prentice Hall, 2005.
- [5] Kassimali, A., Structural Analysis. Thomson, 2005.
- [6] Bhatt, P. and Marshall, W.T., Structures, A Revision of Structures by P. Bhatt and H.M. Nelson. Longman, 1999.
- [7] Tezcan, S., Çubuk Sistemlerin Elektronik Hesap Makineleri ile Çözümü. ITU Library, 1970.
- [8] Manolis Papadrakakis, Evangelos J. Sapountzakis, "Modified Stiffness Matrix Method Matrix Methods for Advanced Structural Analysis", 2018; 281-298.
- [9] E. Marotta, P. Salvini, "Analytical Stiffness Matrix for Curved Metal Wires", Procedia Structural Integrity, Volume 8, 2018; 43-55.
- [10] J.R. Banerjee, A. Ananthapuvirajah "An exact dynamic stiffness matrix for a beam incorporating Rayleigh–Love and Timoshenko theories", International Journal of Mechanical Sciences, Volume 150, January 2019; 337-34.
- [11] H. Wimmer, K. Nachbagauer "Exact transfer- and stiffness matrix for the composite beam-column with Refined Zigzag kinematics" Composite Structures, Volume 189, 1 April 2018; 700-706.
- [12] Chugh, A. K., Stiffness matrix for a beam element including transverse shear and axial force effects. Int. J. Numer. Meth. Eng. 1977;11: 1681-1697.
- [13] Beer, F.P., Johnston, E. R., Mechanics of Materials. McGraw Hill, 1992.
- [14] ANSYS Release 12.0 Documentation.

## KAT SEVİYELERİ FARKLI BİTİŞİK NİZAM YAPILARDA KAT KÜTLESİNİN ÇARPIŞMA KUVVETİNE ETKİSİ

Murat PALA<sup>1\*</sup>, Zeliha ŞAŞMAZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adiyaman, Turkey

Geliş tarihi: 10.05.2019 Kabul tarihi: 14.05.2019

### ÖZET

Ülkemizde her geçen gün nüfusun artmasıyla konut ihtiyacı da artmaktadır. Bu sebeple yapılar, özellikle nüfusun yoğun olduğu kentlerde alandan tasarruf etmek için bitişik nizamda ve çok katlı inşa edilmektedir. Fakat bitişik ya da yan yana yapılmış bu yapıların, deprem sırasında birbirlerine çarpması sonucu yapılarda ağır hasarlar meydana gelmektedir. Bu durum bitişik nizam yapılarla ilgili yapılan çalışmaları önemli kılmaktadır. Bu çalışmada, kat seviyeleri farklı olan bitişik nizam yapıların deprem etkisi altında çarpışma analizi yapılarak, kat kütlelerinin yapıların çarpışma kuvvetine etkisini incelemek ve ileride bu bağlamda yapılacak olan çalışmalara ışık tutmak amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda kat seviyeleri farklı iki betonarme bina modellenmiştir. Bu binalar, aralarında farklı mesafeler bırakılarak ve farklı kalınlıktaki döşemelerle SAP2000 paket programında modellenmiş ve 1940 El Centro deprem kaydı kullanılarak deprem etkisi altında dinamik analizi yapılmıştır. Analizler sonucunda katlardaki çarpışma kuvvetleri grafik haline getirilip incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bitişik Nizam Yapılar, Çarpışma Kuvveti, Kat Kütleleri, Derz Boşluğu

## THE EFFECT OF FLOOR MASS ON THE COLLISION STRENGTH IN DIFFERENT ADJACENT STRUCTURES WITH DIFFERENT STOREY LEVELS

### ABSTRACT

Housing needs are increasing day by day with the increase in population in our country. For this reason, buildings are built in adjacent buildings and multi-storey buildings. These adjacent or side-by-side structures collide with each other during the earthquake, causing serious damage to structures. This demonstrates the importance of studies on adjacent structures. In this study, the collision analysis of the adjacent buildings with different storey levels was investigated and the effect of the floor masses on the collision strength of the buildings was investigated. For this purpose, two reinforced concrete buildings with different floor levels were modeled. These buildings were modeled in SAP2000 package program in different thicknesses and with different spaces between them, and dynamic analysis was performed under the effect of earthquake using the 1940 El Centro earthquake record. As a result of the analyzes, the collision forces on the floors were examined by drawing a graph.

**Keywords:** Adjacent Structures, Collision Force, Floor Mass, Gap

### 1. Giriş

Dünya ve ülkemizin nüfusunun her geçen gün artmasıyla yeni yaşam alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum ise özellikle nüfusun çok yoğun olduğu bölgelerde artan şehirleşmeyle alan sıkıntısı sorununu oluşturmaktadır. Bu sebeple mevcut araziyi en verimli şekilde değerlendirmek ve

\* e-posta: [mpala@adiyaman.edu.tr](mailto:mpala@adiyaman.edu.tr) ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-3684-9976>

[sasmaz.zeliha.06@gmail.com](mailto:sasmaz.zeliha.06@gmail.com) ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-0009-3118>

alandan kazanmak için yapılar yan yana veya bitişik nizamda inşa edilmektedir. Ancak binalar her ne kadar depreme karşı yüksek dayanımda inşa edilse dahi bitişik nizamda yapıldığında aralarındaki boşluğun yeterli olmamasından dolayı deprem sırasında çarpışmalar meydana gelir ve etkilenen binalarda ağır hasarlar oluşur. Ülkemizde çok fazla bitişik nizamlı yapının olması ve sık sık yaşanan depremlerin bu yapılarda fazlaca hasara sebep olması bu konuda çalışmayı önemli kılmıştır.

Bitişik nizam yapıların birçok araştırmacı tarafından çarpışma analizi yapılmış ve yapıda sebep olduğu hasarlar incelenmiştir. Coşkun ve Yılmaz[1], deprem etkisi altında olan bitişik yapılar için çarpışma kuvveti spektrumu modeli geliştirmişlerdir. Çarpışma modelini doğrusal olmayan viskoelastik model seçerek tek serbestlik dereceli sistem şeklinde bitişik yapıları tasarlamışlardır. Zemin sınıflarının çarpışma kuvvetine etkisini incelemek için çarpışma kuvveti spektrumlarını farklı zemin sınıfları için ayrı ayrı çizerek sonuçları karşılaştırmışlardır.

İnel vd.[2], yaptıkları çalışmada farklı boşluk oranlarına sahip 4 katlı ve 7 katlı binaları ikili ve üçlü gruplar halinde modellemişlerdir. Çarpışma modeli olarak doğrusal olan ve elastik olmayan yay modelini kullanmışlar ve zaman tanım alanında dinamik analizlerini gerçekleştirerek binaların birbirine yapmış oldukları çekiçleme etkisini incelemişlerdir.

Akköse ve Sunca[3], çalışmalarında dinamik karakteristikleri birbirinden farklı aynı yükseklikte olan binalar modellemişlerdir. Binaları modellerken aralarında, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)'de belirtilen miktarlarda deprem derzleri bırakmışlardır. Yakındaki ve uzaktaki fayların hareketlerinden yola çıkarak SAP2000 paket programında binaların analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

Tekin[4], aralarında yeterli derz bırakılmayan düşey düzensizliğe sahip yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarını incelemiştir. Çalışmada, modelleri SAP 2000 paket programıyla oluşturmuş ve 1940 El Centro deprem kaydını kullanarak analizlerini yapmıştır. B1, B2 ve B3 düzensizliğine sahip bitişik nizam yapıları herhangi bir düzensizliğin bulunmadığı durumdaki davranışları ile karşılaştırmıştır. Çalışmanın sonucunda çarpışma kuvvetinin B3 düzensizliğinin olduğu durumda, düzensizliğin olmadığı durumdan genellikle daha yüksek çıktığı sonucuna varmıştır.

Köksal ve Karaca[5], yan yana bulunan iki katlı iki binanın patlatma kaynaklı yer hareketi ile oluşacak çarpışma olayını sonlu elemanlar yöntemini esas alan ANSYS yazılımı ile modellemişlerdir. Patlatma kaynaklı yer hareketinin üretilmesinde BlastGM yazılımını kullanmışlardır. Analizler sonucu, patlayıcı miktarının fazla olması durumunda çarpışma etkilerinin artış gösterdiğini görmüşler ve depremin yanı sıra patlatma gibi dinamik etkilere karşı da bitişik nizamlı yapılar arasına hesap edilerek uygun bir derz boşluğu bırakılması gerektiğini ortaya koymuşlardır.

Sak ve Beyen[6], yaptıkları çalışmada ayrı ve bitişik nizam olarak farklı yüksekliklerde yapılar modellemişler ve doğrusal olmayan yöntemlerle zaman tanım alanında analizlerini yapmışlardır. Çalışmalarında Hilbert ve dalgacık dönüşümlerini kullanmışlardır. Çarpışma durumundaki performanslarını inceleyerek deprem derzlerinin yönetmelikte öngörülen miktarda bırakılmasının binaların deprem sırasındaki davranışını büyük ölçüde etkilediğini ortaya koymuşlardır.

Karabulut vd.[7], dört ve altı katlı olarak SAP2000 programında modelledikleri iki tane betonarme bina için nümerik analizleri lineer olarak yapmışlardır. İzmit depremi ivme verilerini kullanarak yaptıkları çalışmada, derz mesafelerine göre yapıların deprem altında salınımlarını irdeleyerek zamanla meydana gelen yer değiştirmeleri elde etmişlerdir.

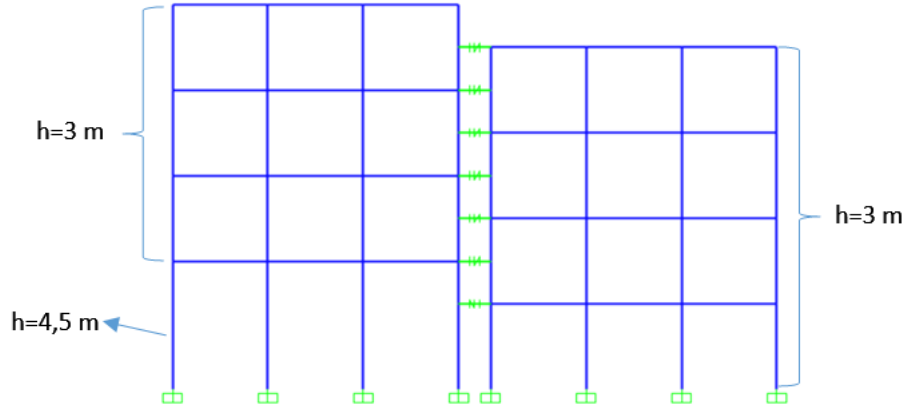
## 2. Materyal ve Metod

Çalışmada, SAP2000 paket programında kat seviyeleri farklı iki tane 4 katlı betonarme bina modellenmiştir. İlk binanın 1. katının yüksekliği 4,5 m diğer kat yükseklikleri 3 m ve döşeme kalınlığı 14 cm alınmıştır. Diğer binanın kat yükseklikleri 3 m, döşeme kalınlığı 10, 12, 14, 16,



18, 20, 22 cm alınarak binalar arası mesafeler de 0, 1, 2 ve 3 cm olacak şekilde toplamda 28 model oluşturulmuştur. Binaların kolon boyutları 40 x 40 cm<sup>2</sup>, kiriş boyutları ise 35 x 50 cm<sup>2</sup>'dir. Beton sınıfı C25/30, poisson oranı  $\nu=0,2$  alınmıştır.

Çalışmada, çarpışma modeli olarak lineer olmayan elastik yay modeli (Hertz) kullanılmıştır. Yapılara kat seviyelerinde ve her bir katta 4 tane olmak üzere 28 adet yay elemanı yerleştirilmiştir. Elastik yay sabiti değeri olarak Jankowski [8]'de çalışmalar sonucu elde edilen  $kh=1,13 \times 10^9$  N/m değeri kullanılmıştır. Dinamik analizler, Zaman Tanım Alanında Mod Süperpozisyon yöntemiyle, 1940 El Centro deprem verileri kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 1. Binaların modeli

Soldaki binanın doğal periyodu (T) 0,401'dir. Sağdaki binanın ise döşeme kalınlıkları değiştiğçe periyotları da değişmektedir. Döşeme kalınlıklarına göre periyotları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 1. Sağdaki binanın döşeme kalınlıklarına göre periyotları

Döşeme Kalınlığı (cm)	10	12	14	16	18	20	22
Periyot (T)	0,287	0,294	0,301	0,305	0,309	0,313	0,316

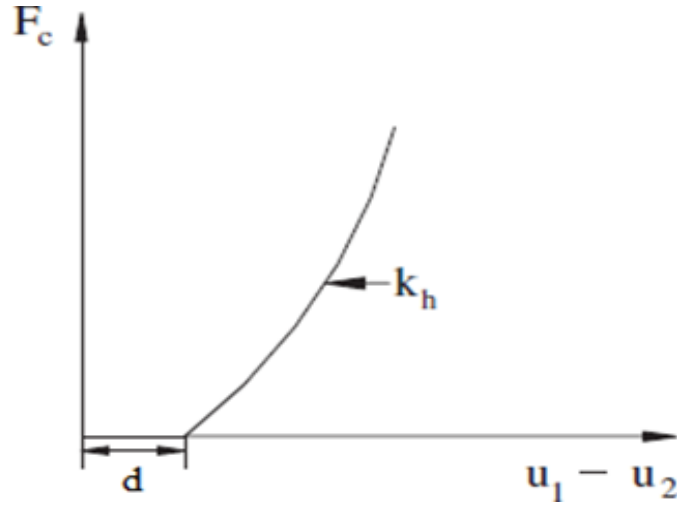
### 2.1. Çarpışma Modeli

Hertz modelinde binalar arasındaki kuvvet aktarımı, doğrusal olmayan elastik yay ile sağlanmaktadır. Binaların salınımı sırasında aralarındaki derz mesafesinin (d) kapanması ile yay devreye girerek binalardan birbirlerine kuvvet aktarmaktadır. Çarpışma kuvvetinin hesabı aşağıda gösterilmiştir;

$$F_c = k_h (u_1 - u_2 - d)^{3/2} \quad u_1 - u_2 - d > 0 \text{ (çarpışmanın olduğu durum)}$$

$$F_c = 0 \quad u_1 - u_2 - d \leq 0 \text{ (çarpışmanın olmadığı durum)}$$

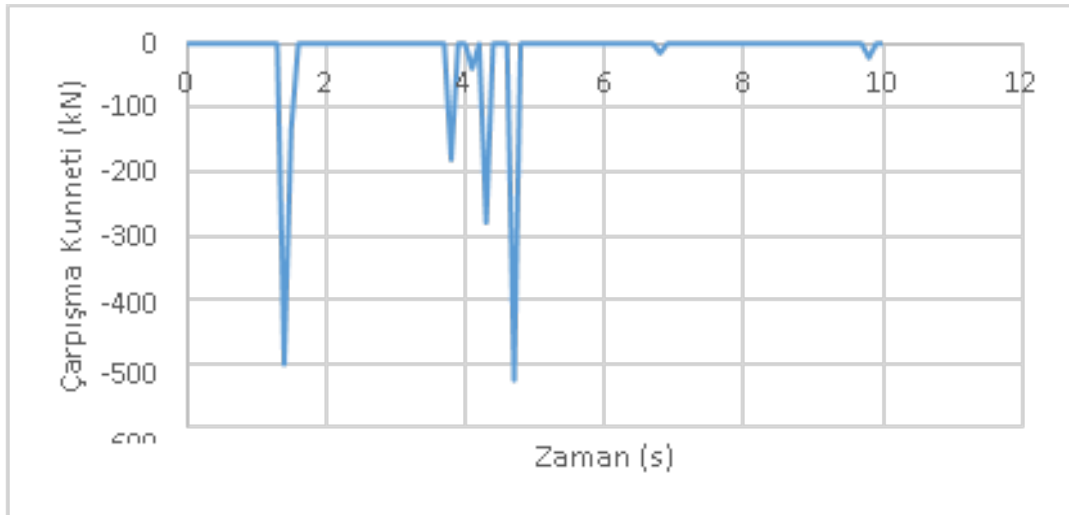
Yukarıdaki;  $F_c$  çarpışma kuvvetini,  $k_h$  yay sabitini,  $d$  binalar arasında bırakılan derz miktarını,  $u_1$  ve  $u_2$  ise yan yana olan binaların aynı doğrultudaki yer değiştirmelerini ifade etmektedir. Şekil 2'de çarpışma kuvveti ve yay modeli arasındaki ilişki verilmiştir.



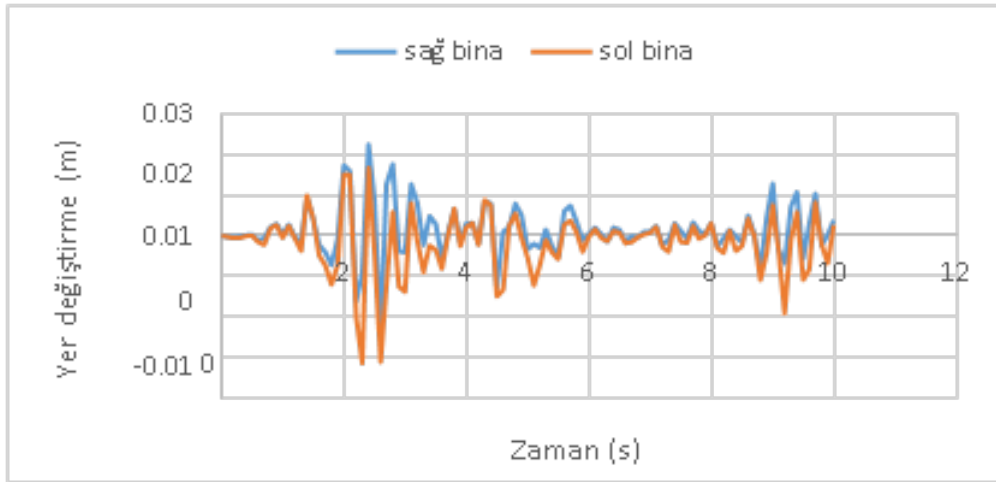
Şekil 2. Lineer olmayan elastik yay modelinde çarpışma kuvveti ile yer değiştirme arasındaki ilişki [9]

## 2.2. Bulgular

Binaların çarpışması sonucunda çarpışma kuvvetleri açığa çıkmaktadır. Bu çarpışma kuvvetleri ve binaların yaptığı yer değiştirmeler, binaların arasındaki mesafeye ve kat kütlelerine bağlı olarak farklılıklar gösterir. Binalar arasındaki mesafe 0 cm iken yani binalar tamamen bitişik durumda ve sağdaki binanın döşeme kalınlığı 10 cm olduğu durumda en büyük çarpışma kuvveti binaların 12 m seviyesinde meydana gelmiştir. Bu çarpışma kuvvetinin değeri 525,4 kN'dur (Şekil 3). En büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme (Şekil 4)'te gösterilmiştir ve en büyük yer değiştirme değeri 3,152 cm'dir.

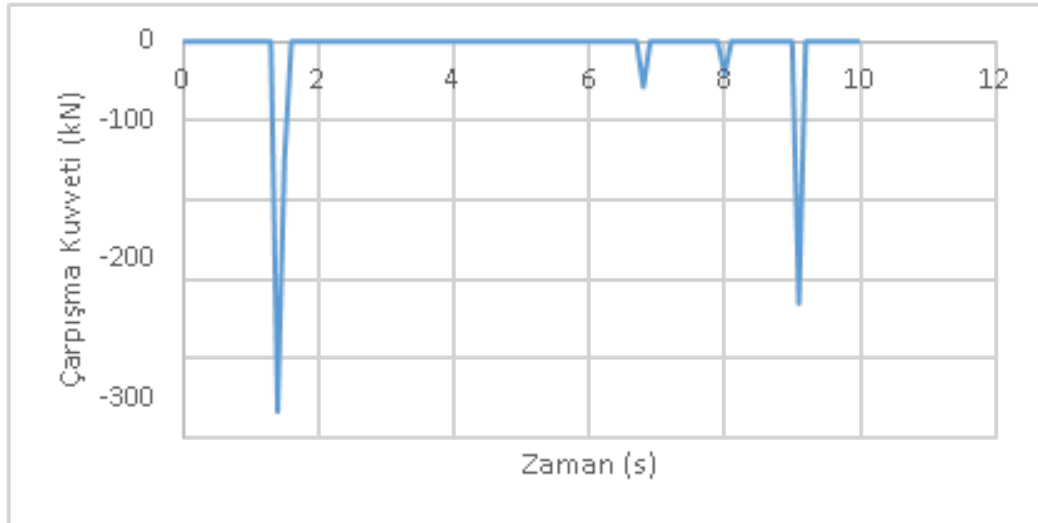


Şekil 3. Binalar arası mesafe 0 cm ve döşeme kalınlığı 10 cm iken ortaya çıkan en büyük çarpışma kuvveti



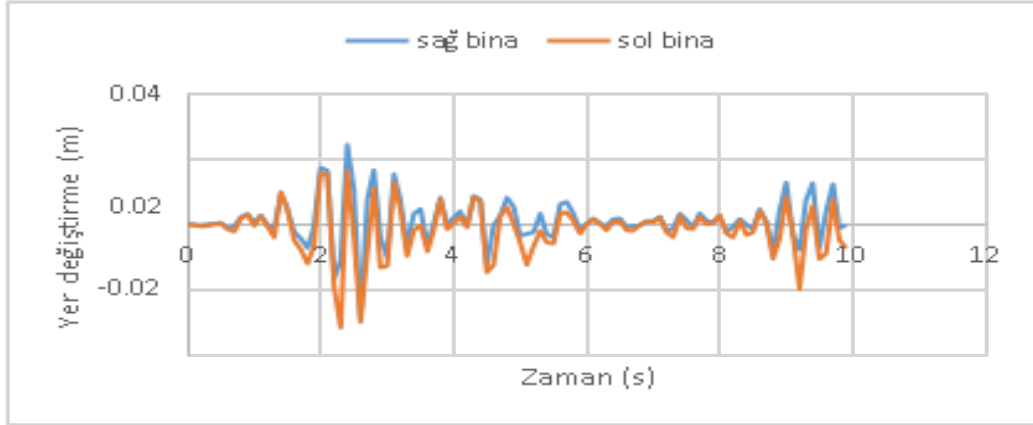
**Şekil 4.** Binalar arası mesafe 0 cm ve döşeme kalınlığı 10 cm iken en büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme

Binalar arasındaki mesafe 0 cm iken yani binalar tamamen bitişik durumda ve sağdaki binanın döşeme kalınlığı 12 cm olduğu durumda en büyük çarpışma kuvveti binaların 12 m seviyesinde meydana gelmiştir. Bu çarpışma kuvvetinin değeri 467,1 kN'dur(Şekil 5). En büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme (Şekil 6)'da gösterilmiştir ve en büyük yer değiştirme değeri 3,170 cm'dir.

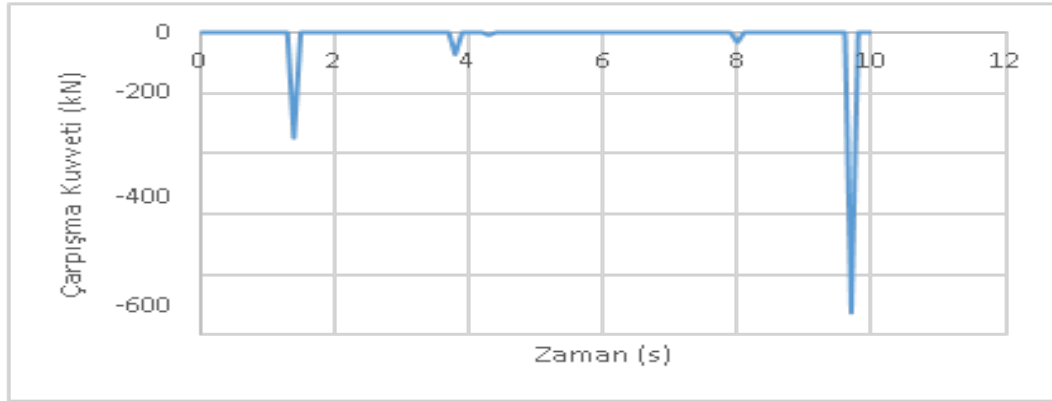


**Şekil 5.** Binalar arası mesafe 0 cm ve döşeme kalınlığı 12 cm iken ortaya çıkan en büyük çarpışma kuvveti

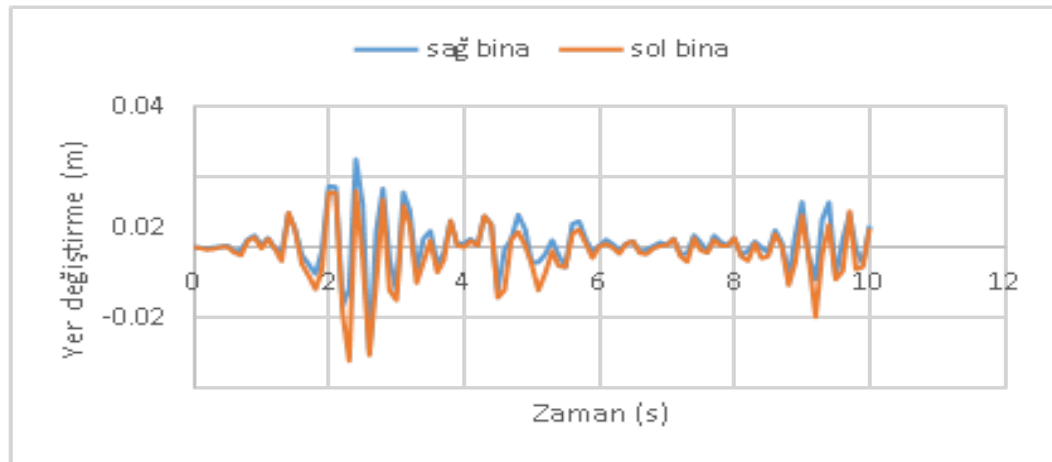
Binalar arasındaki mesafe 0 cm iken yani binalar tamamen bitişik durumda ve sağdaki binanın döşeme kalınlığı 14 cm olduğu durumda en büyük çarpışma kuvveti binaların 12 m seviyesinde meydana gelmiştir. Bu çarpışma kuvvetinin değeri 927,1 kN'dur(Şekil 7). En büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme (Şekil 8)'de gösterilmiştir ve en büyük yer değiştirme değeri 3,238 cm'dir.



**Şekil 6.** Binalar arası mesafe 0 cm ve döşeme kalınlığı 12 cm iken en büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme

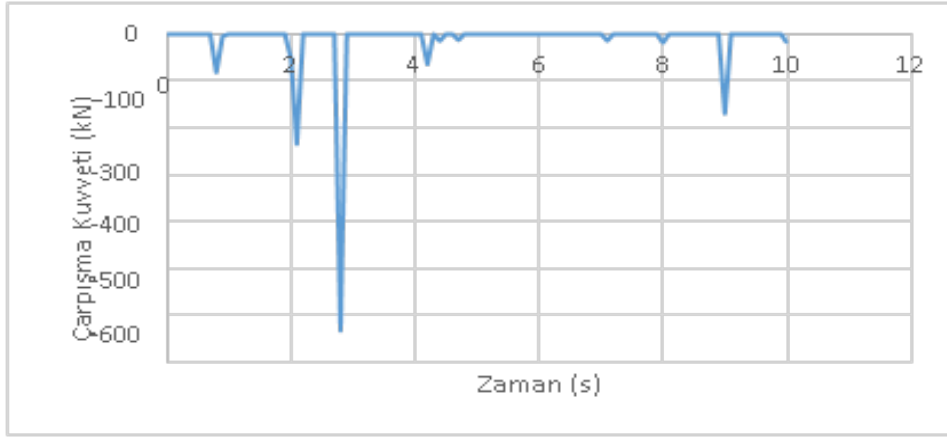


**Şekil 7.** Binalar arası mesafe 0 cm ve döşeme kalınlığı 14 cm iken ortaya çıkan en büyük çarpışma kuvveti

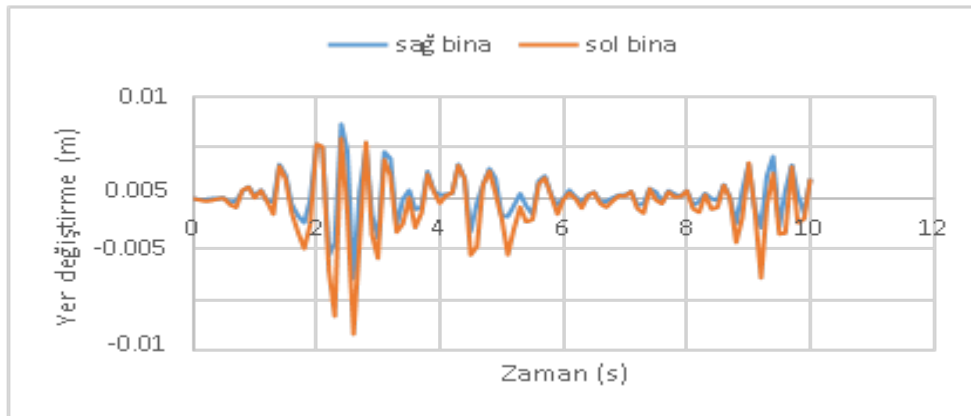


**Şekil 8.** Binalar arası mesafe 0 cm ve döşeme kalınlığı 14 cm iken en büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme

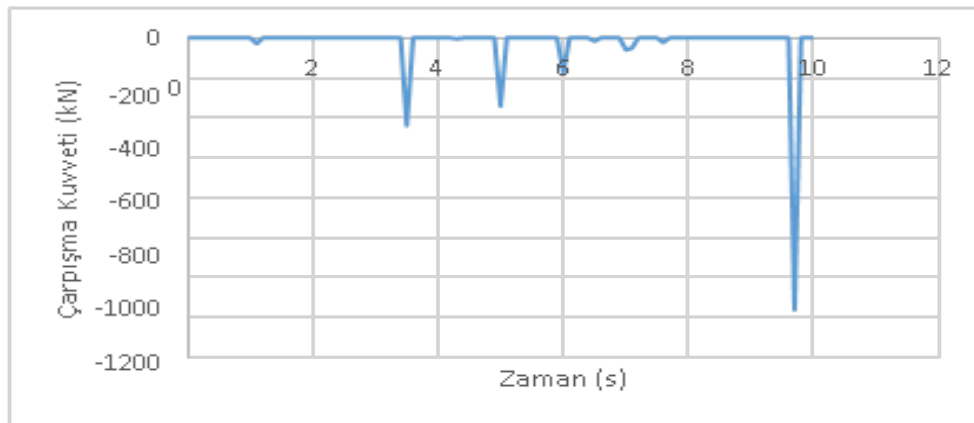
Binalar arasındaki mesafe 0 cm iken yani binalar tamamen bitişik durumda ve sağdaki binanın döşeme kalınlığı 16 cm olduğu durumda en büyük çarpışma kuvveti binaların 3 m seviyesinde meydana gelmiştir. Bu çarpışma kuvvetinin değeri 632,3 kN'dur (Şekil 9). En büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme (Şekil 10)'da gösterilmiştir ve en büyük yer değiştirme değeri 1,329 cm'dir.



Şekil 9. Binalar arası mesafe 0 cm ve döşeme kalınlığı 16 cm iken ortaya çıkan en büyük çarpışma kuvveti

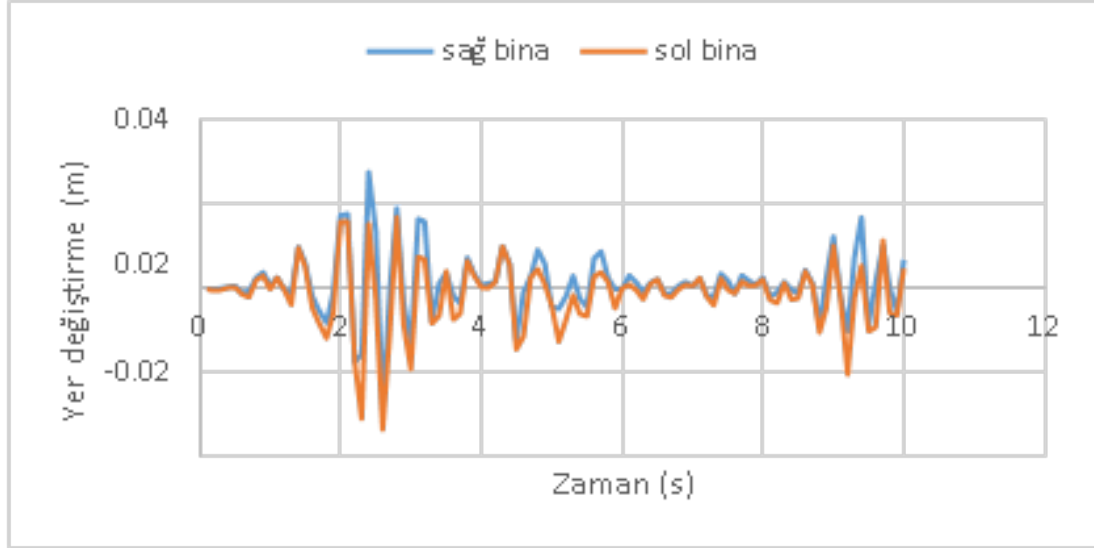


Şekil 10. Binalar arası mesafe 0 cm ve döşeme kalınlığı 16 cm iken en büyük çarpışma kuvvetinin açığa çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme



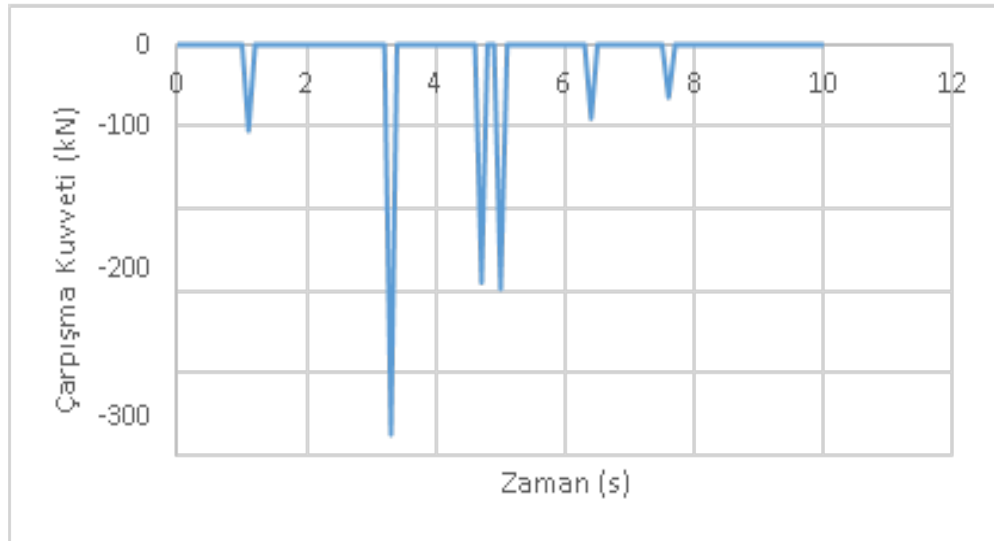
Şekil 11. Binalar arası mesafe 0 cm ve döşeme kalınlığı 18 cm iken ortaya çıkan en büyük çarpışma kuvveti

Binalar arasındaki mesafe 0 cm iken yani binalar tamamen bitişik durumda ve sağdaki binanın döşeme kalınlığı 18 cm olduğu durumda en büyük çarpışma kuvveti binaların 12 m seviyesinde meydana gelmiştir. Bu çarpışma kuvvetinin değeri 136,1 kN'dur(Şekil 11). En büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme (Şekil 12)'de gösterilmiştir ve en büyük yer değiştirme değeri 3,370 cm'dir.

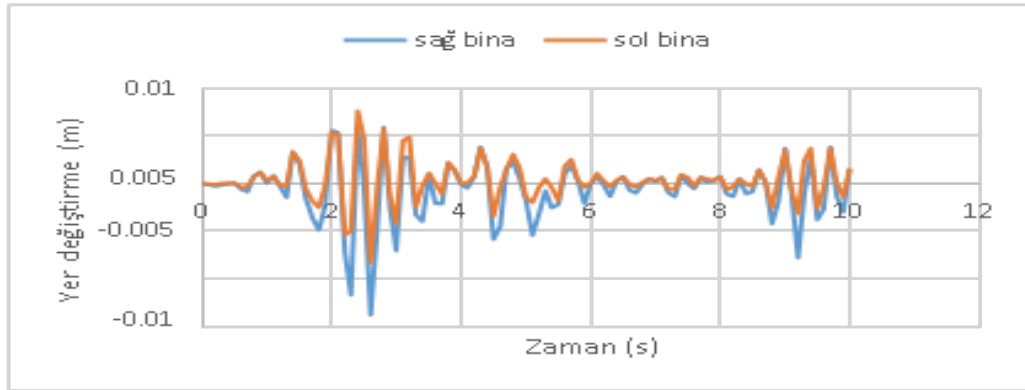


**Şekil 12.** Binalar arası mesafe 0 cm ve döşeme kalınlığı 18 cm iken en büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme

Binalar arasındaki mesafe 0 cm iken yani binalar tamamen bitişik durumda ve sağdaki binanın döşeme kalınlığı 20 cm olduğu durumda en büyük çarpışma kuvveti binaların 3 m seviyesinde meydana gelmiştir. Bu çarpışma kuvvetinin değeri 474,6 kN'dur(Şekil 13). En büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme (Şekil 14)'te gösterilmiştir ve en büyük yer değiştirme değeri 1,381 cm'dir.

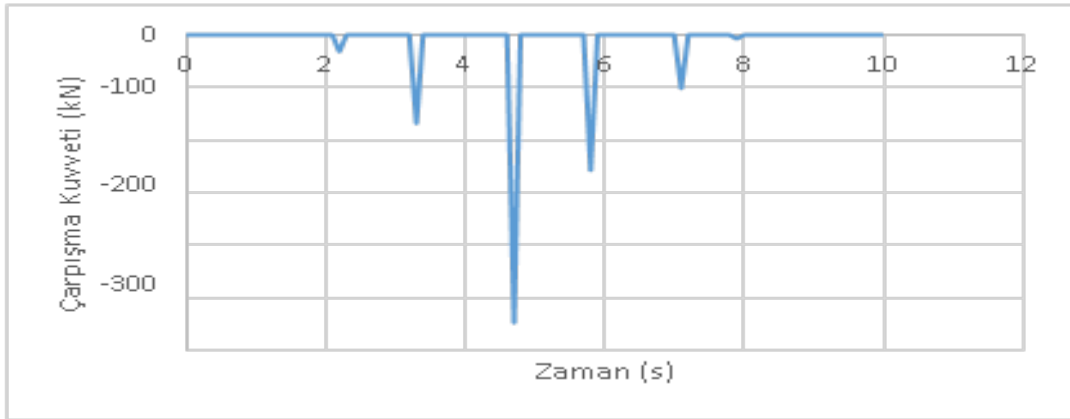


**Şekil 13.** Binalar arası mesafe 0 cm ve döşeme kalınlığı 20 cm iken ortaya çıkan en büyük çarpışma kuvveti

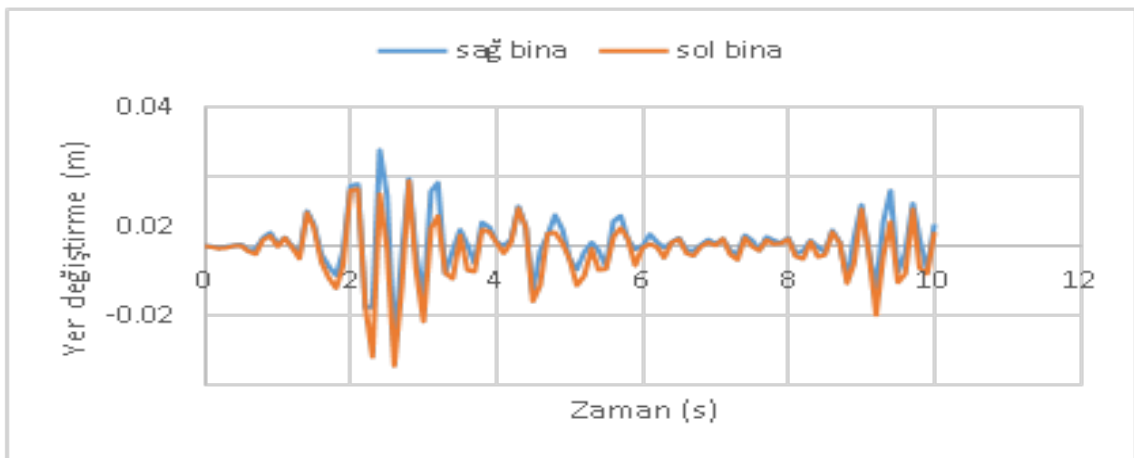


**Şekil 14.** Binalar arası mesafe 0 cm ve döşeme kalınlığı 20 cm iken en büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme

Binalar arasındaki mesafe 0 cm iken yani binalar tamamen bitişik durumda ve sağdaki binanın döşeme kalınlığı 22 cm olduğu durumda en büyük çarpışma kuvveti binaların 12 m seviyesinde meydana gelmiştir. Bu çarpışma kuvvetinin değeri 546,6 kN'dur (Şekil 15). En büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme (Şekil 16)'da gösterilmiştir ve en büyük yer değiştirme değeri 3,456 cm'dir.



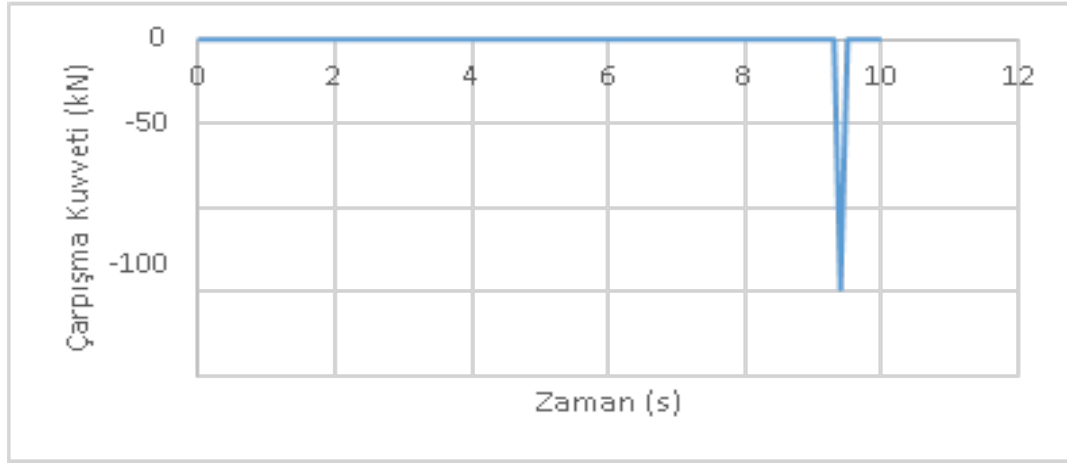
**Şekil 15.** Binalar arası mesafe 0 cm ve döşeme kalınlığı 22 cm iken ortaya çıkan en büyük çarpışma kuvveti



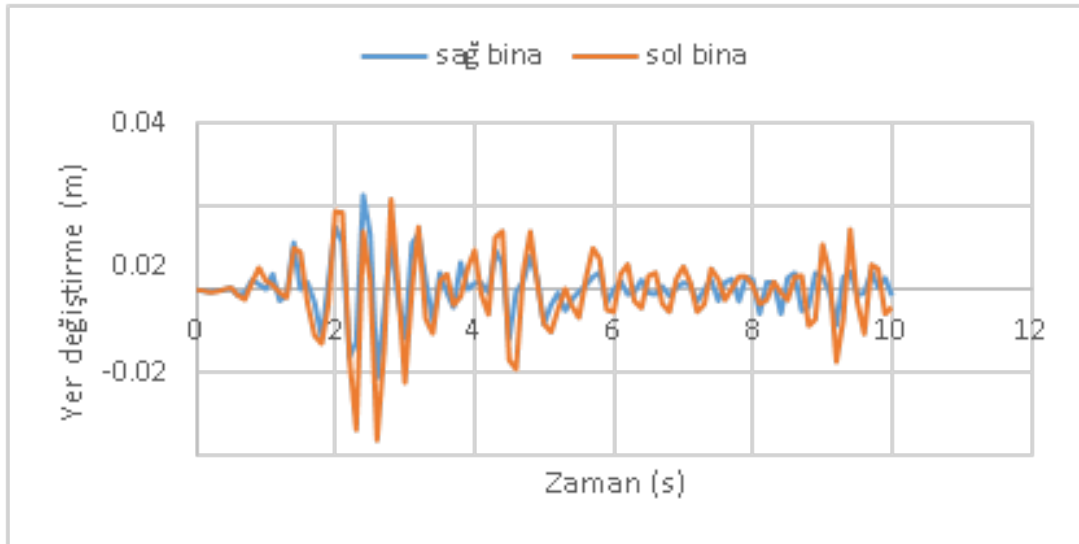
**Şekil 16.** Binalar arası mesafe 0 cm ve döşeme kalınlığı 22 cm iken en büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme

Binalar arasındaki mesafe 1 cm iken sağdaki binanın döşeme kalınlığı 10, 12, 20 ve 22 cm olduğu durumlarda çarpışma meydana gelmemiştir.

Binalar arasındaki mesafe 1 cm ve sağdaki binanın döşeme kalınlığı 14 cm olduğu durumda en büyük çarpışma kuvveti binaların 12 m seviyesinde meydana gelmiştir. Bu çarpışma kuvvetinin değeri 148,3 kN'dur (Şekil 17). En büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme (Şekil 18)'de gösterilmiştir ve en büyük yer değiştirme değeri 3,631 cm'dir.



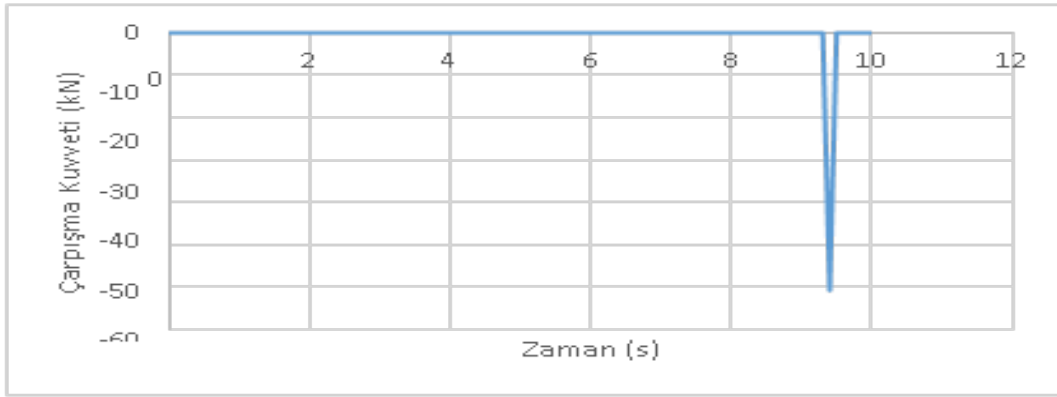
Şekil 17. Binalar arası mesafe 1 cm ve döşeme kalınlığı 14 cm iken ortaya çıkan en büyük çarpışma kuvveti



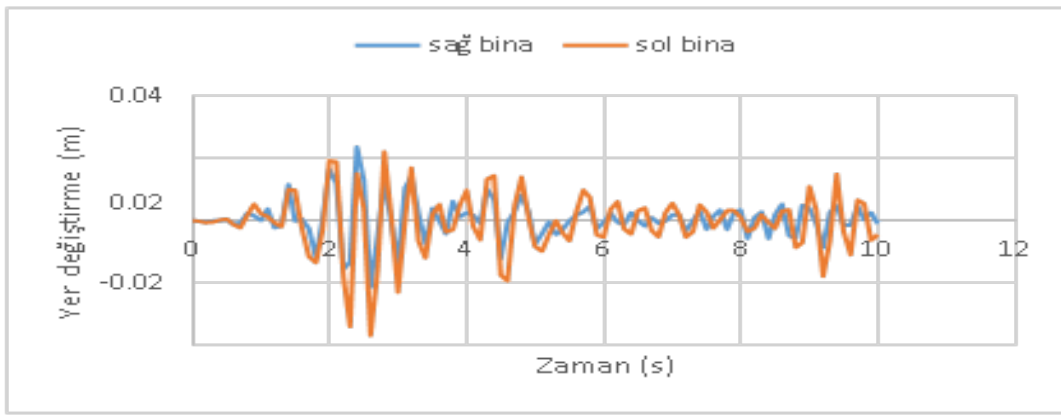
Şekil 18. Binalar arası mesafe 1 cm ve döşeme kalınlığı 14 cm iken en büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme

Binalar arasındaki mesafe 1 cm ve sağdaki binanın döşeme kalınlığı 16 cm olduğu durumda en büyük çarpışma kuvveti binaların 12 m seviyesinde meydana gelmiştir. Bu çarpışma kuvvetinin değeri 60,77 kN'dur (Şekil 19). En büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme (Şekil 20)'de gösterilmiştir ve en büyük yer değiştirme değeri 2,359 cm'dir.



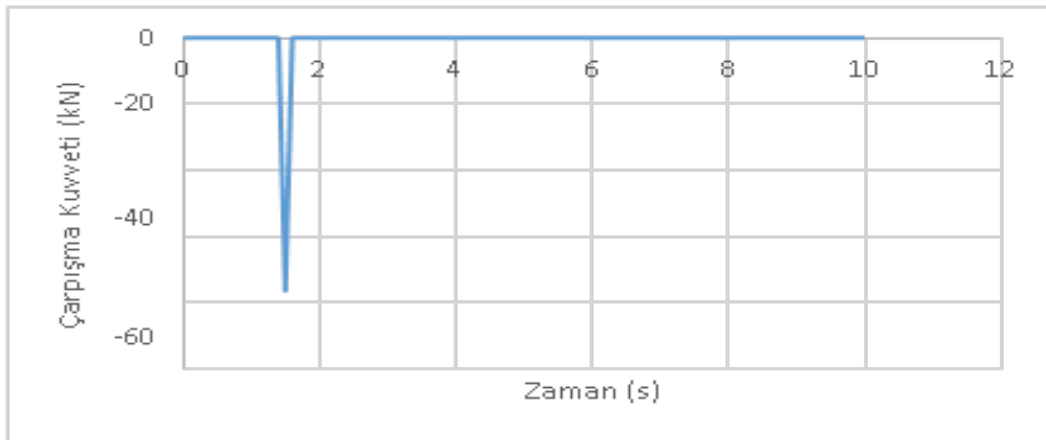


**Şekil 19.** Binalar arası mesafe 1 cm ve döşeme kalınlığı 16 cm iken ortaya çıkan en büyük çarpışma kuvveti

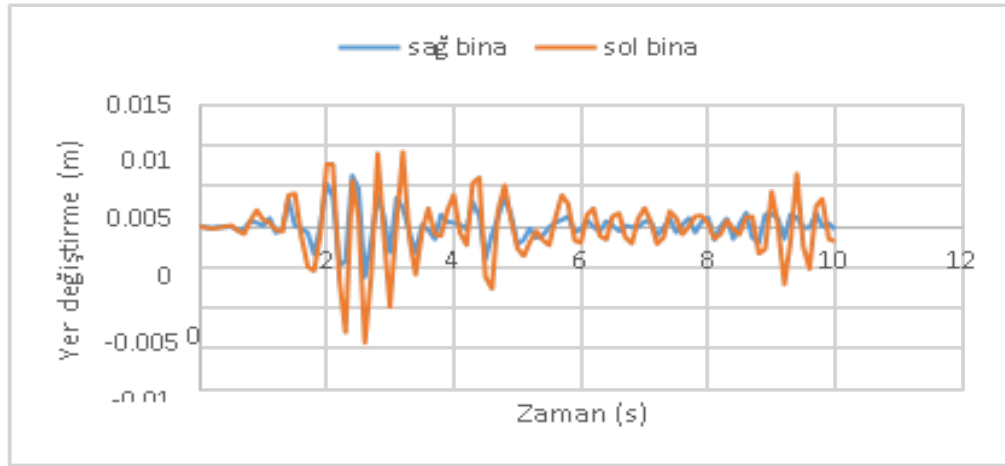


**Şekil 20.** Binalar arası mesafe 1 cm ve döşeme kalınlığı 16 cm iken en büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme

Binalar arasındaki mesafe 1 cm ve sağdaki binanın döşeme kalınlığı 18 cm olduğu durumda en büyük çarpışma kuvveti binaların 3 m seviyesinde meydana gelmiştir. Bu çarpışma kuvvetinin değeri 76,37 kN'dur (Şekil 21). En büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme (Şekil 22)'de gösterilmiştir ve en büyük yer değiştirme değeri 1,431 cm'dir.

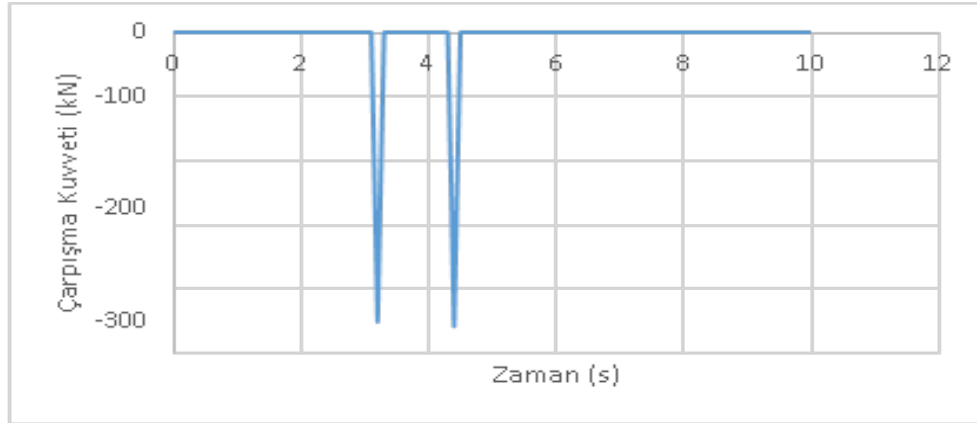


**Şekil 21.** Binalar arası mesafe 1 cm ve döşeme kalınlığı 18 cm iken ortaya çıkan en büyük çarpışma kuvveti

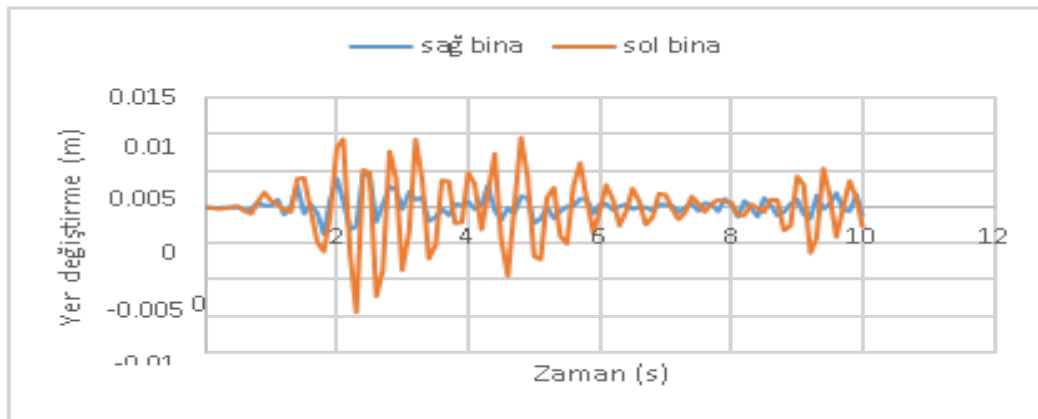


**Şekil 22.** Binalar arası mesafe 1 cm ve döşeme kalınlığı 18 cm iken en büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme

Binalar arasındaki mesafe 2 cm ve sağdaki binanın döşeme kalınlığı 10 cm olduğu durumda en büyük çarpışma kuvveti binaların 3 m seviyesinde meydana gelmiştir. Bu çarpışma kuvvetinin değeri 458,5 kN'dur (Şekil 23). En büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme (Şekil 24)'te gösterilmiştir ve en büyük yer değiştirme değeri 1,445 cm'dir.

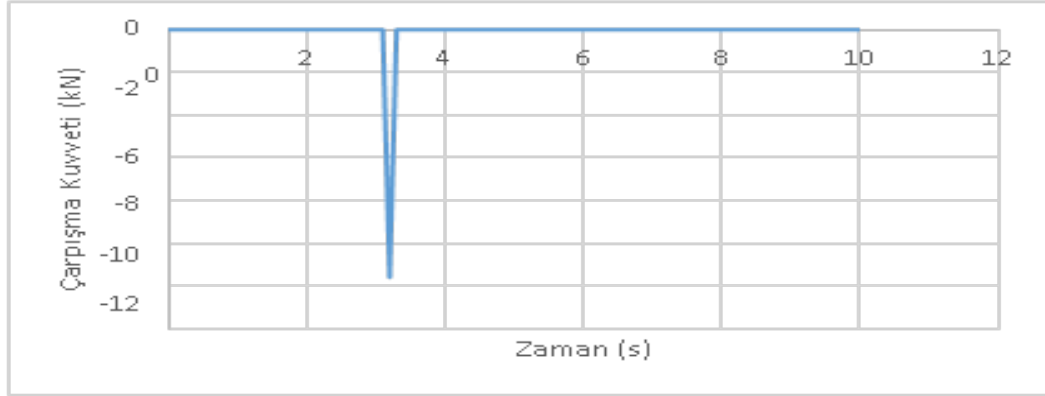


**Şekil 23.** Binalar arası mesafe 2 cm ve döşeme kalınlığı 10 cm iken ortaya çıkan en büyük çarpışma kuvveti

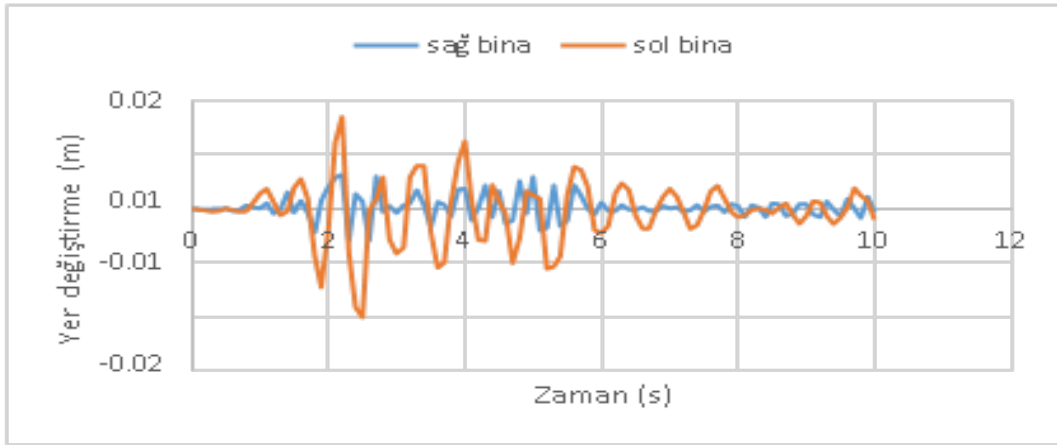


**Şekil 24.** Binalar arası mesafe 2 cm ve döşeme kalınlığı 10 cm iken en büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme

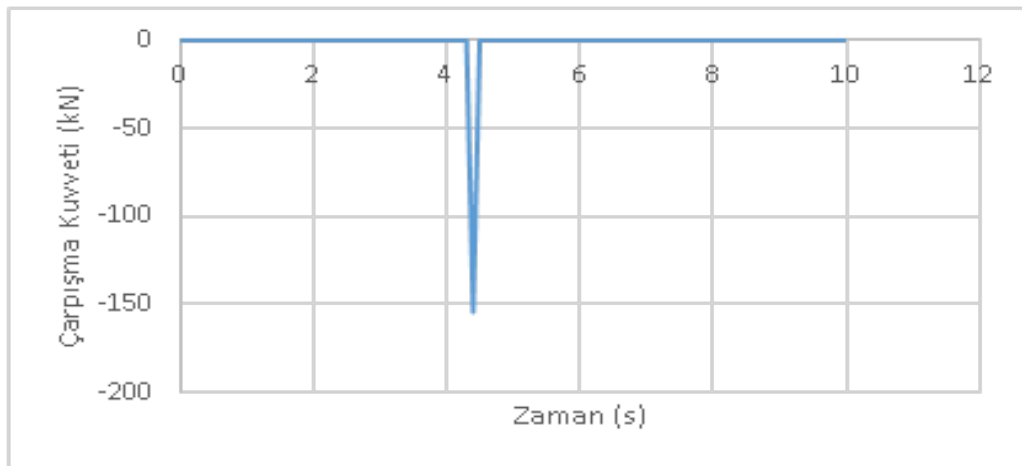
Binalar arasındaki mesafe 2 cm ve sağdaki binanın döşeme kalınlığı 12 cm olduğu durumda en büyük çarpışma kuvveti binaların 3 m seviyesinde meydana gelmiştir. Bu çarpışma kuvvetinin değeri 11,59 kN'dur (Şekil 25). En büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme (Şekil 26)'da gösterilmiştir ve en büyük yer değiştirme değeri 1,495 cm'dir.



Şekil 25. Binalar arası mesafe 2 cm ve döşeme kalınlığı 12 cm iken ortaya çıkan en büyük çarpışma kuvveti

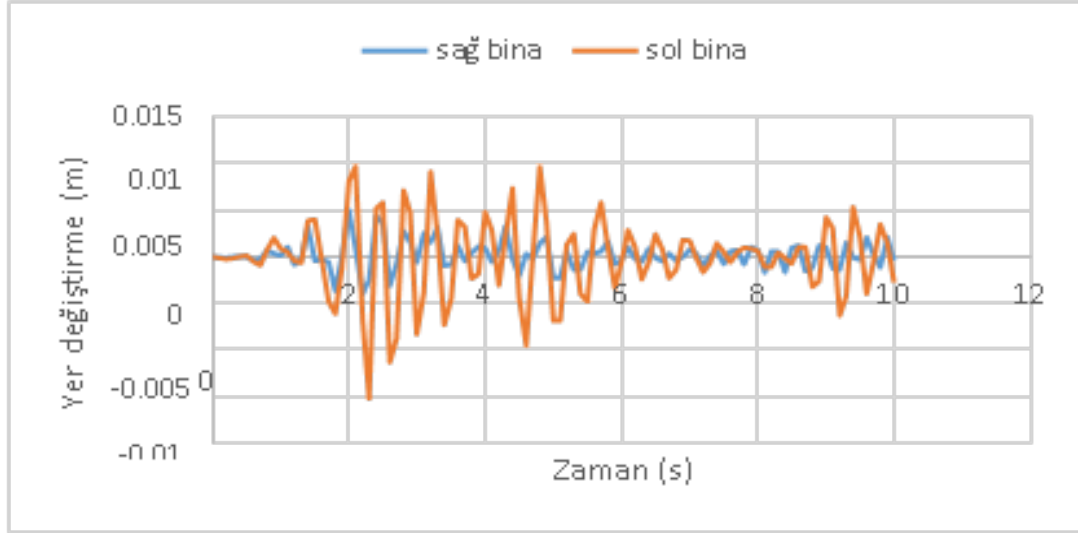


Şekil 26. Binalar arası mesafe 2 cm ve döşeme kalınlığı 12 cm iken en büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme



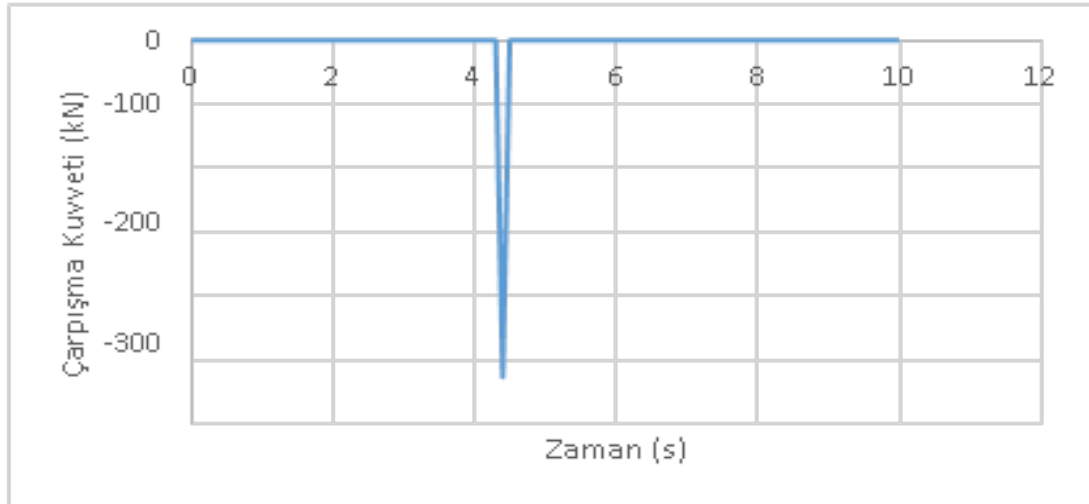
Şekil 27. Binalar arası mesafe 2 cm ve döşeme kalınlığı 14 cm iken ortaya çıkan en büyük çarpışma kuvveti

Binalar arasındaki mesafe 2 cm ve sağdaki binanın döşeme kalınlığı 14 cm olduğu durumda en büyük çarpışma kuvveti binaların 3 m seviyesinde meydana gelmiştir. Bu çarpışma kuvvetinin değeri 154,7 kN'dur (Şekil 27). En büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme (Şekil 28)'de gösterilmiştir ve en büyük yer değiştirme değeri 1,524 cm'dir.



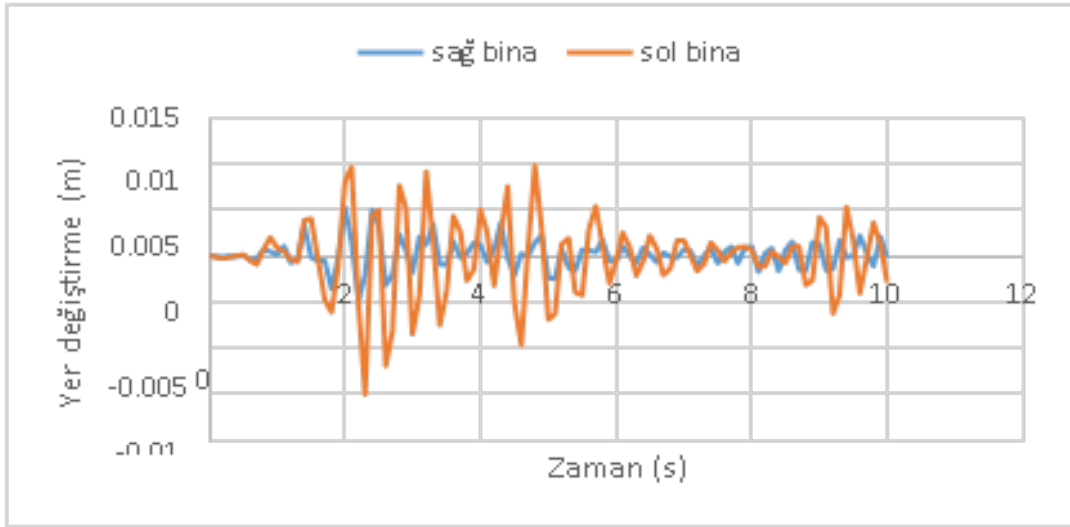
**Şekil 28.** Binalar arası mesafe 2 cm ve döşeme kalınlığı 14 cm iken en büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme

Binalar arasındaki mesafe 2 cm ve sağdaki binanın döşeme kalınlığı 16 cm olduğu durumda en büyük çarpışma kuvveti binaların 3 m seviyesinde meydana gelmiştir. Bu çarpışma kuvvetinin değeri 526,6 kN'dur (Şekil 29). En büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme (Şekil 30)'da gösterilmiştir ve en büyük yer değiştirme değeri 1,505 cm'dir.

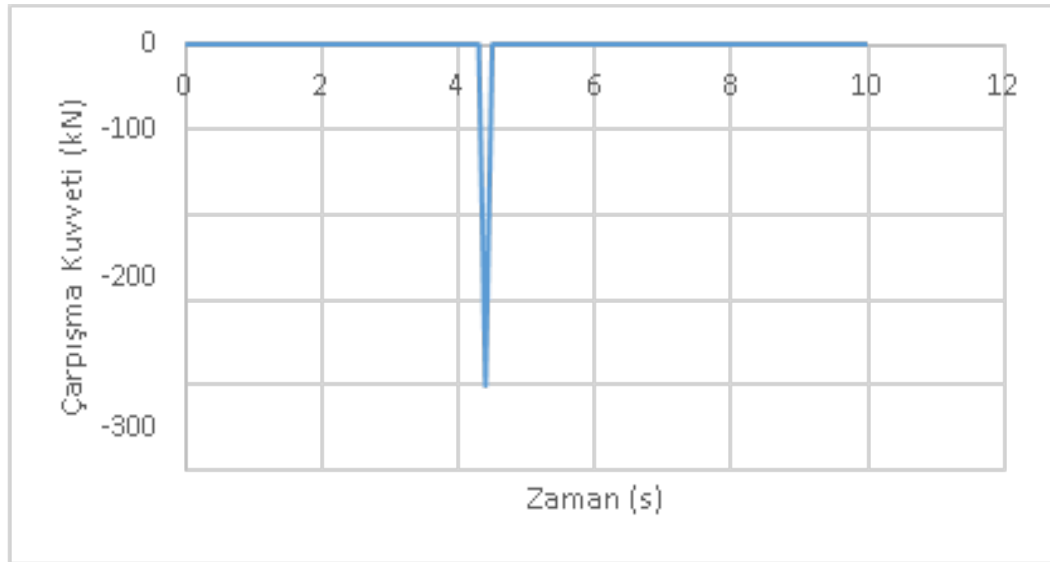


**Şekil 29.** Binalar arası mesafe 2 cm ve döşeme kalınlığı 16 cm iken ortaya çıkan en büyük çarpışma kuvveti

Binalar arasındaki mesafe 2 cm ve sağdaki binanın döşeme kalınlığı 18 cm olduğu durumda en büyük çarpışma kuvveti binaların 3 m seviyesinde meydana gelmiştir. Bu çarpışma kuvvetinin değeri 401,1 kN'dur (Şekil 31). En büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme (Şekil 32)'de gösterilmiştir ve en büyük yer değiştirme değeri 1,505 cm'dir.



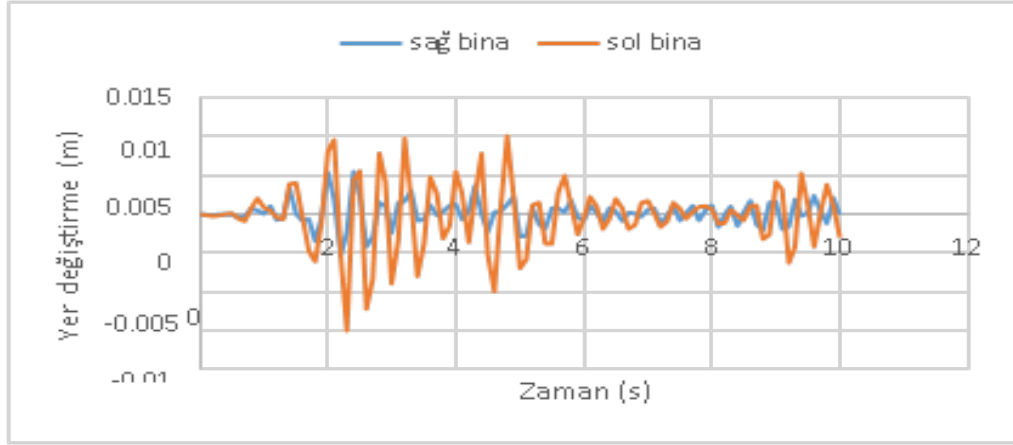
**Şekil 30.** Binalar arası mesafe 2 cm ve döşeme kalınlığı 16 cm iken en büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme



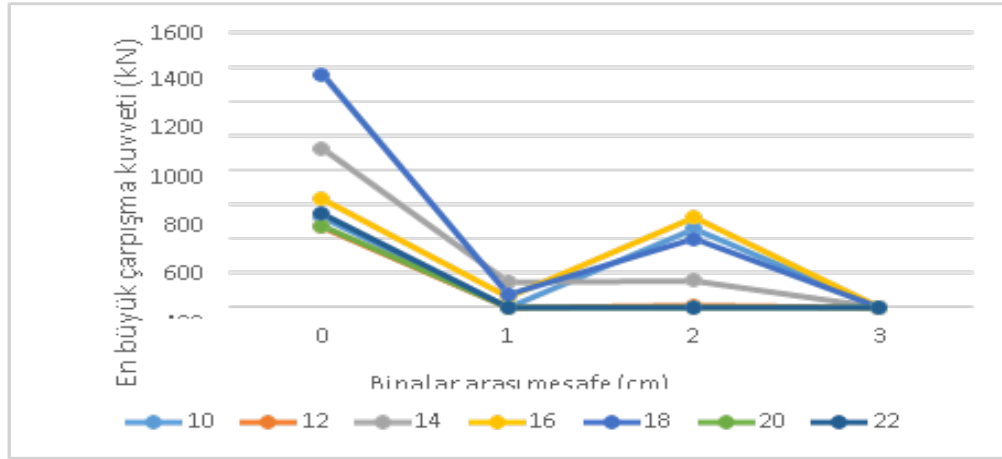
**Şekil 31.** Binalar arası mesafe 2 cm ve döşeme kalınlığı 18 cm iken ortaya çıkan en büyük çarpışma kuvveti

Binalar arasındaki mesafe 2 cm iken sağdaki binanın döşeme kalınlığı 20 ve 22 cm olduğu durumlarda çarpışma meydana gelmemiştir. Ayrıca binalar arasındaki mesafenin 3 cm ve daha fazla olduğu durumlarda da çarpışma meydana gelmemiştir.

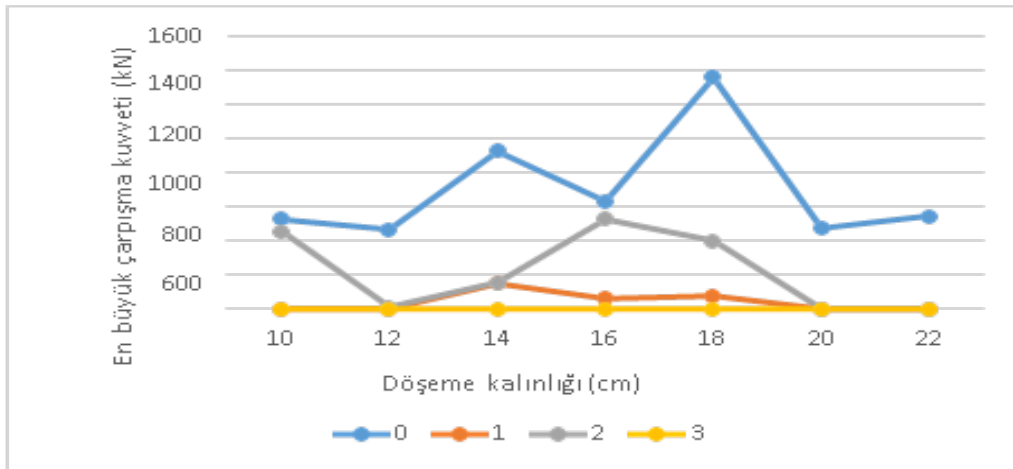
Çarpışmalarda binalar arasındaki mesafeye ve döşeme kalınlıklarına göre açığa çıkan en büyük çarpışma kuvvetleri aşağıdaki şekillerde genel olarak verilmiştir. Şekil 33. ve Şekil 34.'te görüldüğü gibi en büyük çarpışma kuvvetleri binaların tamamen bitişik olduğu ve döşeme kalınlığının da 18 cm olduğu durumda meydana gelmiştir.



Şekil 32. Binalar arası mesafe 2 cm ve döşeme kalınlığı 18 cm iken en büyük çarpışma kuvvetinin ortaya çıktığı noktalar arasındaki yer değiştirme



Şekil 33. Döşeme kalınlıklarının farklı olduğu durumlar için binalar arası mesafeye göre en büyük çarpışma kuvvetlerinin değişimi



Şekil 34. Binalar arası mesafenin farklı olduğu durumlar için binalar döşeme kalınlıklarına göre en büyük çarpışma kuvvetlerinin değişimi

### 3. Sonuçlar

Yapılan analizler sonucunda, yapıların bitişik nizam olması veya aralarında çok küçük boşluklar bulunması durumunda birbirlerine çarparak büyük kuvvetler aktardıkları görülmüştür. Ayrıca aralarındaki mesafe arttıkça ortaya çıkan çarpışma kuvvetlerinin de azaldığı hatta aralarında 3 cm mesafe bırakıldığı durumda çarpışmanın meydana gelmediği görülmüştür. Modal davranış şeklinin değişmesiyle en düşük çarpışma kuvvetleri yapılar arasındaki mesafenin 1 cm olduğu durumda ortaya çıkmıştır. Bu çalışmadan anlaşıldığı gibi çarpışmanın gerçekleşmesi için yapıların dinamik karakteristiklerinin farklı olması gerekmektedir. Özellikle yapı periyotları, çarpışmanın gerçekleşmesi ve yapıların çarpma kuvvetinin büyüklüğü üzerinde oldukça büyük öneme sahiptir. Periyot değerinin yanında yapının modal davranış şekli de yapının çarpışma kuvveti büyüklüğü, çarpışmanın olduğu yüksekliği ve çarpışmanın gerçekleştiği zaman gibi parametreleri etkilemektedir. Çarpışan yapıların her ikisinin de döşeme seviyelerinde çarpışmaları ile yapıların döşemelerinin farklı seviyelerde olduğu durumdaki çarpışmaları yapılarda farklı hasarlara neden olmaktadır. Bir yapının döşeme seviyesinden öbür yapının kolonlarına 1360 kN gibi bir yükü çarpması kolonlarda çok ciddi kesme hasarları oluşmasına neden olabilir. Bu açıdan yapılarımızın, bitişik nizam olarak yapılması durumunda yönetmeliğin öngördüğü derz miktarlarına dikkat edilerek inşa edilmesi oldukça önemlidir. Özellikle de kat seviyeleri farklı olan yapılarda bırakılacak boşluk miktarlarına dikkat edilmesi hayati bir öneme sahiptir.

### Kaynaklar

- [1] Coşkun E., Yılmaz Y., Deprem Etkisi Altındaki Bitişik Nizam Yapılar İçin Çarpışma Kuvveti Spektrumu Modeli, Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [2] İnel M., Çaycı B. T., Kamal M., Altinel O., Orta Katlı Mevcut Betonarme Yapılarda Çekiçleme Davranışının İncelenmesi, 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, İzmir, Türkiye, 2015.
- [3] Akköse M., Sunca F., Aynı Yüksekliğe Farklı Dinamik Özelliklere Sahip Betonarme Binaların Arasında Bırakılması Gereken Boşluk Miktarının İrdelenmesi, Prof. Dr. M. Hasan BODUROĞLU Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, 2016.
- [4] Tekin Ö.F., Pala M., Depreme Maruz Zayıf Kat Düzensizliğine Sahip Bitişik Nizam Binaların Çarpışma Analizi, Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi (APJES) 5-1 (2017) 23-33.
- [5] Köksal O., Karaca Z., Patlatma Kaynaklı Yer Hareketi Etkisindeki Bitişik Nizam Yapıların Çarpışma Analizi, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir, Türkiye, 2017.
- [6] Sak Ö. F., Beyen K., Bitişik Nizam Betonarme Yapılarda Çarpışma Etkisi ve Zaman-Frekans Alanında Performans Analizleri, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir, Türkiye, 2017.
- [7] Karabulut M., Kartal M.E., Özil E., Ünlü R., Betonarme Binalarda Deprem Derz Mesafesinin İncelenmesi, Natural & Applied Sciences Journal, Vol. I, No. 1,39-45, 2018.
- [8] Jankowski R., Non-linear Viscoelastic Modeling of Earthquake-induced Structural Pounding, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol. 34, s. 595-611, 2005.
- [9] Muthukumar S., DesRoches R., A Hertz Contact Model with Non-linear Damping for Pounding Simulation, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol. 35, s. 811-828, 2006.