

# ALKÜ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ



ALANYA  
**ALAADDİN  
KEYKUBAT**  
ÜNİVERSİTESİ

Cilt:4 Sayı:2 Mayıs-Ağustos  
Volume:4 Issue:2 May-August

ALKU  
JOURNAL of SCIENCE

e-ISSN 2667-7814

Alanya  
Alaaddin Keykubat University

## **DERGİNİN KÜNYESİ / JOURNAL INFO**

**Derginin Adı / Journal Name:** ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi / ALKU Journal of Science

**Kısa Adı/ Short Name:**

**e-ISSN:** 2667-7814

**Doi prefix:** 10.46740/alku.

**Yayın Dili / Publication Language :** Türkçe / English

**Yayın Periyodu / Publication Period:** Yılda üç kez (Nisan, Ağustos ve Aralık) / Three times a year (April, August, and December)

**Sahibi / Owner:** Prof. Dr. Ekrem KALAN, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Rektörü

**Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Publishing Manager:** Prof. Dr. Mehmet KANOĞLU

**Kuruluş / Establishment:** ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi tarafından tüm mühendislik bilimleri ve temel bilimler alanında yılda 3 kez yayınlanan hakemli bir dergidir. Dergimizde, Türkçe ve İngilizce dillerinde orijinal araştırma çalışmaları ve derlemeler yayımlanmaktadır. Bu dergi, hakemli ve açık erişimli bir uluslararası mühendislik bilimleri ve temel bilimler dergisidir. Değerlendirme ve yayınlanma süreçlerinde yazarlardan ücret talep edilmez.

ALKU Journal of Science is an international, peer-reviewed journal which is published by Rafet Kayış Engineering Faculty of Alanya Alaaddin Keykubat University in all areas of engineering and basic science. ALKU Journal of Science is a triannually published open access journal operating an online submission and peer review system which allows authors to submit articles online and track their progress. No charges are required from the authors in all of the publication steps.

**Dizinler ve Platformlar / Indexing and Platforms:** Google Scholar, Cosmos Impact Factor, ResearchBip, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Asos Index, International Innovative Journal Impact Factor(IIJIF), Scientific Indexing Services(SIS)

**Web Adresi/ Web address :** <https://dergipark.org.tr/tr/pub/alku>

**Yayınlayan Kuruluş / Publisher :** Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi / Alanya Alaaddin Keykubat University

**Makale gönderim ve takip sistemi / Article submission and tracking system:** ULAKBİM Dergi Sistemleri, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/alku>

**Web barındırma ve teknik destek / Web hosting and technical support:** Dergipark Akademik <http://dergipark.gov.tr/>

**İletişim / Contact:** Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Alanya, Antalya. E-mail: [alkufbd@alanya.edu.tr](mailto:alkufbd@alanya.edu.tr) Tel/Phone: 0242 5106060 (2545)

## EDİTÖR / EDITOR

**Prof. Dr. Mehmet KANOĞLU**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

## ALAN EDİTÖRLERİ / SUBJECT EDITORS

**Prof. Dr. Fikri Serdar Gökhan**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Electrical-Electrical Engineering

Alan: Elektrik-Elektronik Mühendisliği

**Doç. Dr. Bertan Beylergil**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Mechanical Engineering

Alan: Makine Mühendisliği

**Doç. Dr. İrem Küçüköğlü**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Mathematics

Alan: Matematik

**Dr. Öğr. Üyesi Murat Aksel**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Alanya, Antalya

Subject: Civil Engineering

Alan: İnşaat Mühendisliği

**Dr. Öğr. Üyesi Cigdem Dülgerbaki**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Chemistry

Alan: Kimya

**Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Gökhan**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Genetic Engineering

Alan: Genetik Mühendisliği

**Dr. Öğr. Üyesi Tuğba Aktar Küçükarslan**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Food Engineering

Alan: Gıda Mühendisliği

**Dr. Öğr. Üyesi Emir Hüseyin Özder**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Industrial Engineering

Alan: Endüstri Mühendisliği

## **YAYIN VE TEKNİK EDİTÖRLERİ / PUBLISHING AND TECHNICAL EDITORS**

**Arş .Gör. Gökhan Canbolat**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

**Arş .Gör. Mustafa Altuğ Peker**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

## **YAYIN KURULU / PUBLISHING BOARD**

Hüseyin AKILLI (Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi)

Gökhan APAYDIN (Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi)

Naci ÇAĞLAR (Prof. Dr., Sakarya Üniversitesi)

Hakan ÇELEBİ (Doç. Dr., Aksaray Üniversitesi)

Rossana DIMITRI (Dr., University of Salento)

Tamio ENDO (Prof. Dr., Mie University)

John GELEGENIS (Prof. Dr., Technological Educational Institute of Athens)

Viktor GRIBNIAKN (Prof. Dr., Vilnius Gediminas Technical University)

Anastas IVANOV IVANOV (Doç. Dr., Todor Kableshkov Higher School of Transport)

İlker Murat KOÇ (Doç. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi)

Anatoli I POPOV (Prof. Dr., University of Latvia)

Bilsay SÜMER (Dr., Hacettepe Üniversitesi)

Cevat SARIOĞLU (Prof. Dr., Marmara Üniversitesi)

Francesco TORNABENE (Dr., University of Bologna)

Jamal Seyyed Monfared ZANJANI (Dr., University of Twente)

**ALKÜ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ 2022:4(2)**

**ALKU JOURNAL OF SCIENCE 2022:4(2)**

**İçindekiler / Contents**

1. Farklı Vulkanizasyon Parametrelerinin Karbon ve Kaolen-Silika Esaslı Karışımların Çapraz Bağ Yoğunluğuna ve Mekanik Özelliklerine Etkileri / *Effects of Different Vulcanization Parameters on the Cross-link Density and Mechanical Properties of Carbon and Kaolin-Silica Based Compounds*  
Ezgi ERBEK CÖMEZ, Selda ÖZTÜRK  
.....53-62
2. Tabakalı Kompozit Plakaların Modal Analizi Üzerinde Tabakaların Fiber Tipi Ve Sayısının Etkisi / *Effects of Fiber Type and Number of Layers on Modal Analysis of Laminated Composite Plates*  
Savaş EVRAN, Yasin YILMAZ  
.....63-70
3. Tosmur Mahallesi Özelinde CBS Kullanılarak Yapıların Doğal Zemin Eğimlerinin Hafriyat Hacimleri Üzerindeki Etkisinin Araştırılması / *Investigation of the Effect of Natural Ground Slopes of Buildings on Excavation Volumes by Using GIS in Tosmur District*  
Utku BABACAN  
.....71-80
4. Binaların Farklı Pencere Türlerine Bağlı Elektrik Enerjisi Tüketimleri ve Sosyal Emisyon Maliyetleri / *Electrical Energy Consumption and Social Emission Costs of Buildings Due to Different Window Types*  
Okan KON  
.....81-96
5. Kaviteye Yerleştirilen Açılı Kare Silindirden Doğal ve Zorlanmış Taşınım / *Mixed Convection from Inclined Square Cylinder in a Square Cavity*  
Nazım KURTULMUŞ  
.....97-109

## Farklı Vulkanizasyon Parametrelerinin Karbon ve Kaolen-Silika Esaslı Karışımların Çapraz Bağ Yoğunluğuna ve Mekanik Özelliklerine Etkileri

Ezgi Erbek Cömez<sup>1\*</sup> , Selda Öztürk<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Haksan Otomotiv Mamülleri Sanayi ve Tic. A.Ş., Bursa, Türkiye.

\*ezgi.erbek@haksanotomotiv.com

### Özet

Kauçuk malzemeler vulkanizasyonun bulunmasıyla beraber birçok alanda kullanılmaktadır. Artan talep ile beraber farklı kauçuk türlerinin yanı sıra kauçuk karışımlarında siyah ve renkli çalışmalar da yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada etilen propilen dien monomer (EPDM) kauçuk kullanılarak oluşturulan siyah ve renkli reçetelerin, farklı vulkanizasyon parametrelerindeki özellikleri incelenmiştir. Siyah reçetelerde farklı oranlarda karbon siyahı, renkli reçetelerde farklı oranlarda silika kullanılmıştır. Her bir karışım farklı vulkanizasyon parametrelerine tabii tutulmuş, sonrasında mekanik değerleri ve çapraz bağ yoğunlukları (CLD) incelenmiştir. Siyah reçetelerde dolgu miktarının artması ile CLD'nin arttığı ve CLD, sertlik ve modüllerin maksimum değerlerin 10 dakika (dk) vulkanizasyonunda, renkli karışımların da dolgu miktarının artmasıyla CLD'nin arttığı ve CLD, sertlik ve modüllerin maksimum değerlerinin 15dk vulkanizasyonunda olduğu bulunmuştur. Çalışma sonucunda vulkanizasyon parametrelerinin ve kullanılan dolgu malzemelerin karışımların çapraz bağ yoğunluğu miktarına ve mekanik değerlere etki ettiği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Etilen Propilen Dien Monomer, Çapraz Bağ Yoğunluğu, Vulkanizasyon, Karbon siyahı, Silika

## Effects of Different Vulcanization Parameters on the Cross-link Density and Mechanical Properties of Carbon and Kaolin-Silica Based Compounds

### Abstract

Rubber materials are used in many areas with the discovery of vulcanization. Along with the increasing demand, black and colored studies have started to be made in rubber compounds as well as different rubber types. In this study, the properties of black and colored recipes created by using ethylene propylene diene monomer (EPDM) rubber at different vulcanization parameters were investigated. Different proportions of carbon black were used in black recipes and different proportions of silica in colored recipes. Each compound was subjected to different curing parameters, and then its mechanical values and crosslink

densities (CLD) were examined. It was found that the CLD increased with the increase in the amount of filler in black recipes and the maximum values of CLD, hardness and modules were vulcanized in 10 minutes, the CLD increased with the increase in the amount of filler in the colored mixtures, and the maximum values of CLD, hardness and modules were found to be vulcanized in 15 minutes. As a result of the study, it was concluded that the vulcanization parameters and the filler materials used affect the amount of crosslink density and mechanical values of the compounds.

**Keywords:** Ethylene Propylene Diene Monomer, Crosslink Density, Vulcanisation, Carbon Black, Silica

## 1. GİRİŞ

Kauçuk, ilk olarak Güney Amerika'da Hevea Brasiliensis ağacının lateksinin işlenmesiyle kullanılmaya başlanmıştır. Sonraki zamanlarda Kristof Kolomb'un Amerika'yı keşfiyle kauçuğun Avrupa'ya yolculuğu başlamıştır. Kauçuğun yapısındaki yapışkanlık ve dış etmenlere karşı dayanıksızlık sebebiyle 1839 yılında Charles Goodyear geniş bir sıcaklık aralığında özelliklerini koruyabilen elastik bir malzeme haline getiren vulkanizasyonu keşfetmiştir [1]. Vulkanizasyon prosesi; kauçuk parçaların kuvvetli mekanik özelliklere ve yüksek performansa sahip olması için önemli bir proses adımıdır. Vulkanizasyon proses parametreleri (sıcaklık, süre), kauçuk çapraz bağlanmasını doğrudan etkilediği için, malzemenin istenen özelliklerini yerine getirmesi için hayati öneme sahiptir [2].

Kauçuklar birçok sektörde vulkanizasyon ile kuvvetlendirildikten sonra kullanılmaya başlanmıştır. Başta otomotiv olmak üzere, beyaz eşya, tekstil, inşaat ve hatta günümüzde uzay çalışmalarında da birçok kauçuk türüyle çalışılmaktadır. Hem proses kolaylığı hem mekanik değerlerinin kuvvetli olması hem de dış hava şartlarına karşı dayanıklılığı sebebi ile EPDM günümüzde en çok kullanılan kauçukların arasındadır [3]. Kauçuk tek başına proseslenmesi zor bir malzemedir. Ayrıca maddi olarak yüksek maliyetlerdedir. Bu yüzden bazı takviye edici dolgu malzemeleri ile beraber kullanılması gerekmektedir. Siyah karışımlarda dolgu malzemesi olarak karbon siyahları kullanılırken, karbon siyahı içermeyen vulkanize EPDM sistemlerinde, güçlendirme ya da maliyet ucuzlatma amacıyla beyaz dolgu malzemesi olarak çöktürülmüş silika, kalsine edilmiş kaolin ve kalsiyum karbonat kullanılmaktadır [4].

Farklı dolgu malzemelerinin kauçuk karışımlarında kullanılması, kauçuk karışımının fiziksel özelliklerinin dışında mekanik özelliklerinde de değişikliğe neden olmaktadır. Karbon siyahı ile silika bazlı dolgu takviyelerinin literatürde birçok karşılaştırması yapılmıştır. Stiren Butadien Kauçuk (SBR) kauçuğu karışımlarında farklı miktarlarda karbon siyahı ile aynı oranlarda silika kullanılarak karşılaştırma yapılan çalışmaya literatürde rastlanmıştır. Bu çalışmada dolgu içeriğinin artmasıyla viskozite, çapraz bağ yoğunluklarının, sertliğin, modüllerin ve çekme mukavemetinin arttığı görülmüştür. Karbon siyahı kullanılan karışımların modül değerleri ve çekme mukavemetlerinin silika bazlı karışımlardan yüksek olduğu, uzama değerinde ise silika bazlı karışımlarda daha yüksek sonuçların çıktığı görülmüştür [5]. Literatürde doğal kauçuklar üzerinde de karbon siyahı ve silika karşılaştırması yapılmış çalışmalar mevcuttur. Yapılan bir çalışmada karbon siyahı, silika ve her ikisinin harmanlanmış olarak kullanıldığı reçetede optimum değerlerin karbon siyahı/silika oranının 40/20 olduğu reçete bulunmuştur. Ayrıca %300 modül'ün karbon siyahının artmasıyla artış gösterdiği incelenmiştir [6]. Bir başka çalışmada EPDM kauçuğunda farklı yüzey özelliklerine sahip silika kullanımının etkisi incelenmiştir. Çalışma sonunda partikül boyutunun azalmasıyla, dispersiyonun artması ve mekanik özelliklerin iyileşmesi olarak bulunmuştur [7].

Vulkanizasyon kauçuk malzemenin özelliklerini iyileştirdiğinden vulkanizasyon koşulları da malzemenin mekanik özellikleri açısından oldukça önemlidir. Vulkanizasyonun optimum koşullarda olması, en iyi mekanik değerler olarak yorumlanabilir. Literatürde farklı vulkanizasyon süreleri için yapılmış çalışmalar mevcuttur. Bunlardan bir tanesi vulkanizasyon parametrelerinin doğal kauçuğun (NR) CLD ve kullanım ömrü üzerinde etkisinin incelenmesidir. Yapılan çalışma sonunda CLD'nin vulkanizasyon süresi ile arttığı,

maksimum'a ulaştığı, daha sonra da negatif yönde değişim gösterdiği görülmüştür. Negatif değişmeyi eski haline dönme (reversiyon) olarak adlandırmıştır [2]. Bir başka çalışmada kükürt ile vulkanize edilmiş karbon siyahı dolgulu doğal kauçuk nanokompozitlerinin yırtılma özelliklerinin farklı sıcaklık değerlerine göre belirlenmesi incelenmiştir. Bu çalışmada 160°C 10dk kriterlerinde malzemenin en yüksek dayanım sergilediği bulunmuştur. Bu sıcaklıktan itibaren artık pişme gerçekleşmiş ve çapraz polisülfür bağları oluşmuştur. Fakat bu oluşan bağları kırmak için gereken enerjiden fazla bir enerji her süre artışında orantılı olarak kauçuk hamuruna etki etmiş ve oluşan polisülfür bağları kırılmaya başlamış ve sonucunda çapraz bağ uzunluğu her bir süre artışında daha da kısalmıştır. Kısalan bağ uzunluğu sonucunda mekanik özelliklerde her bir adımda düşme meydana gelmiştir [8]. Elastomerlerin statik ve dinamik özelliklerin incelenmesi adlı çalışmada ise farklı tür kauçukların, farklı vulkanizasyon parametrelerindeki özellikleri incelenmiştir. Çalışmada vulkanizasyon süreleri değiştirilerek alınan numuneler üzerinde yapılan ölçümlerde, kopma ve uzamanın artan pişme süresi ile değişimi gözlemlenmiştir. Burada yine elastomer tipinin önemli bir etken olduğu görülmüştür. Vulkanizasyon süresinin değişimi ile farklı elastomer cinslerinin farklı değişimler gösterdiği görülmüştür [9]. Literatürde EPDM kauçuğundan üretilmiş karışım üzerinde farklı vulkanizasyon parametrelerinde ve farklı takviye edici dolgu çeşitlerinde CLD ve mekanik değerlerin hesaplanıp karşılaştırmasının yapıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada karbon siyahı ile kalsine kaolen ve silika esaslı farklı fiziksel özelliklere sahip karışımların özellikleri incelenmiştir. Farklı dolgu malzemelerinin reçete içerisindeki phr (per hundred rubber) miktarları artırılarak mekanik değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca tüm karışımlar farklı parametrelerde vulkanize edilerek farklı parametrelerdeki mekanik değer değişimleri incelenmiştir. CLD hesabı da yapılarak çapraz bağlanmanın değişiminin mekanik değerler üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1 Hammaddeler

Çalışmada polimer olarak EPDM kauçuğu olarak Keltan 6471 kullanılmıştır. Keltan 6471 kauçuğu Arlanxeo firmasından tedarik edilmiştir. Takviye edici dolgu malzemesi olarak siyah karışımlar için Orion firmasından tedarik edilen Fef N-550 karbon siyahı, siyah olmayan (renkli) karışımlar için Grace firmasından tedarik edilen silika (Perkasil KS300) ve Imerys firmasından tedarik edilen kalsine kaolen (Polestar 200R) malzemeleri kullanılmıştır. Aktivatör grubundan Aktif çinko (ZnO) Melos firmasından, Stearik asit Werba Chemical'dan, Peg 4000 Lotte Chemical firmasından, Proses yağlayıcısı olarak Promet 46 (parafinik yağ) Petrol Ofisi firmasından tedarik edilmiştir. Vulkanizasyon işlemi için siyah ve renkli karışımlar için farklı akseleratörler kullanılmıştır. Siyah karışımlar için ZBEC (Zinc bis(dibenzyldithiocarbamate), TBBS (N-tert-Butylbenzothiazole-2-sulphenamide), MBTS (Di(benzothiazol-2-yl) disulphide) Mixland firmasından, renkli karışımlar için DTDM (Di(morpholin-4-yl) disulphide) Mixland firmasından, TP/S (zinc O,O',O',O'-tetrabutyl bis(phosphorodithioate) ) ise RheinChemie firmasından tedarik edilmiştir. Her iki tür karışım için de S-80 (kükürt) Mixland firmasından alınmıştır. Deneme reçeteleri adlandırması karışımların renkleri göre yapılmıştır. Siyah karışımlar için "SK", renkli karışımlar için "RK" olarak kısaltılıp yanlarına numaralandırma yapılmıştır.

### 2.2 Karışımın Hazırlanması

Bu çalışmada siyah ve renkli karışımlar aynı üretim makinesinde ve aynı proses parametrelerinde yapıldı. Karışımlar 3 litre laboratuvar tipi Banbury ve Mil (Werner Pfeedener-Almanya) makinelerinde yapılmıştır. Banbury'e ilk önce polimer olarak 15 phr yağ oranına sahip EPDM kauçuğu atılmıştır. Polimerin parçalanması için 30 saniye boyunca karışıma devam edilmiştir. Ardından siyah karışımlar için karbon siyahı (Fef N-550), renkli karışımlar için silika (Perkasil KS300) ve kalsine kaolen (Polestar 200R) eklenip



hemen ardından kimyasal grubu (ZnO, Stearik Asit, Struktol EM16 ve Peg 4000) ilave edilmiş ve tozların polimerle karışması için 30 saniye süresince karıştırma işlemine devam edilmiştir. Daha sonra sisteme proses yağlayıcısı (Promet 46) ilave edilmiştir. Bu şekilde karışım 6dk daha karıştırılmıştır. Oluşan kauçuk karışımları 120°C'ye geldiğinde banburyden mil'e indirilmiştir. Banburyden inen karışıma bir tur havalandırıldıktan sonra hızlandırıcılar ve kükürt ilavesi yapılarak 1:1,25 oranındaki milde 5dk boyunca karıştırılmıştır. Tüm karışımlar ISO 2393 normuna göre hazırlanmıştır. Nihai hamur karışımlarından testlerin yapılabilmesi için kompresyon üretim metodu ile 2 ve 6 mm kalınlığında test plakaları 170°C 2dk, 5dk, 10dk, 15dk, 20dk, 25dk ve 30dk vulkanizasyon parametrelerinde üretilmiştir. Karışımların reçeteleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo.1 Farklı Dolgu Miktarlarıyla EPDM Reçeteleri

İçindekiler (phr)	SK-1	SK-2	RK-1	RK-2
EPDM	115	115	115	115
Fef N-550	130	200	0	0
Perkasil KS300	0	0	40	80
Polestar 200R	0	0	110	110
ZnO	5	5	5	5
Stearik Asit	1	1	1	1
Peg 4000	4	4	4	4
Struktol EM16	2	2	2	2
Parafinik Yağ	120	120	60	60
ZBEC	2	2	0	0
TBBS	2	2	0	0
MBTS	1,6	1,6	0	0
DTDM	0	0	1,5	1,5
TP/S	0	0	4,5	4,5
S-80	1,2	1,2	1,2	1,2

### 2.3 Reolojik ve Mekanik Özellikler

Tüm karışımlar için reolojik ölçümler Alpha MDR 2000 (USA) cihazında 190°C 2dk boyunca yapılmıştır. Karışımların vulkanizasyon davranışları incelenmiştir. Vulkanizasyon karakteristiği indeksi Denklem (1)'e göre kür oranı endeksi (CRI) ts2 (scorch zamanı) ve t90 (optimum pişme süresi) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$CRI= 100 / (t90-ts2) \quad (1)$$

Viskozite değerleri Ektron (Malezya) Mooney Viskozimetre cihazında 125°C de (1+4) şartlarında yapılmıştır. Reolojik ölçümler ve viskozite değerleri için her numuneden bir adet tekrar yapılmıştır. Mekanik ve çapraz bağ ölçümleri için karışımların numuneleri DIN ISO 23529'a göre hazırlanmıştır. Mekanik testlerden sertlik testi ISO 48-4'e göre Zwick Roell (Almanya) Shoremetre cihazı kullanılarak yapılmıştır. Kopma mukavemeti, kopma anındaki uzama, %50, %100 ve %300 modül değerlerini belirlemek için çekme testleri DIN 53504 standardına (S2 dambıl) göre Zwick Roell Z010 cihazı kullanılarak yapılmıştır. Yoğunluk testi TS 2781 standardına göre Precisia (İsviçre) cihazında yapılmıştır. Sertlik testi, kopma mukavemeti, kopma anındaki uzama, %50, %100 ve %300 modül testleri ve yoğunluk testleri için her numuneden üçer adet tekrar yapılmış ve ortalama değerleri hesaplanmıştır. CLD ölçümleri için şişme deneyleri ASTM D6814 standardına göre Denklem (2)'ye göre yapılmıştır. Eşitlikteki CLD

değeri ( $ve$ ); hacim fraksiyonu ( $Vr$ ), etkileşim parametresi ( $X1$ ), solventin moleküler hacmi ( $V1$ ) kullanarak hesaplanmıştır. Çapraz bağ yoğunluğu şişme deneyleri için her numuneden bir adet tekrar yapılmıştır.

$$ve = \frac{-(\ln(1 - Vr) + Vr + X1Vr^2)}{(V1(Vr^{\frac{1}{3}} - Vr)/2)} \quad (2)$$

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Pişme ve Akış Karakteristikleri

Karışımların vulkanizasyon özellikleri ML (minimum tork), MH (maksimum tork), ts2 (scorch zamanı), t90 (vulkanizasyonun %90'ının tamamlandığı süre) rheometre test cihazında incelenmiş, CRI hesaplanmış Tablo 2'de sonuçlar belirtilmiştir. Siyah ve renkli gruplar kendi içinde incelendiğinde siyah karışımlarda karışım içeriğindeki FEF N-550 miktarı arttığında ML ve MH değerlerinin yükseldiği görülmüştür. ts2 ve t90 zamanları içinse geriye geldiği yani vulkanizasyonun erken başlayıp erken tamamlandığı görülmüştür. Ayrıca CRI değeri de azalmaktadır. Benzer sonuçlar renkli karışımlarda da yaşanmıştır. Karışım içindeki silika miktarı arttığında ML ve MH değerleri yükselmiş, ts2 ve t90 değerleri öne çekilmiştir. CRI değeri siyah karışımlardaki gibi azalmıştır.

Hamurların viskozite değerlerine de bakılmıştır. Yine her grup kendi içinde yorumlandığında, siyah karışımların içeriğindeki dolgu miktarının artmasıyla ve renkli karışımların içeriğindeki dolgu miktarının artması ile yağ oranının düşmesiyle viskoziteler radikal bir şekilde yükselme göstermiştir. Bu durum SBR kauçuğuna farklı oranlarda karbon siyahı ve silika dolgu malzemesinin katıldığı çalışma ile örtüşmektedir. Yapılan çalışma sonrası her iki dolgu takviyesinin reçete içeriğinde artmasıyla viskozitelerde artışlar görülmüştür [5].

Tablo 2. Karışımların Vulkanizasyon Karakteristikleri ve Viskozite Değerleri

Rheometre Kriterleri	SK-1	SK-2	RK-1	RK-2
ML (Ib-in)	0.38	2.44	0.89	2.34
MH (Ib-in)	4.72	9.04	7.17	18.41
ts2 (mm:ss)	01:01	00:42	00:31	00:25
t90 (mm:ss)	01:39	01:29	01:16	01:11
CRI	156.25	128.20	133.33	129,87
Viskozite (MU)	19.12	52.08	18.45	47.68

Bu sonuçlar ile reçete içeriğindeki dolgu miktarının artmasıyla karışımın akış özelliklerinin kötüleştiğini söyleyebiliriz. Bu durumu reolojik sonuçlardan ML ile viskozite testinin paralel sonuçlar vermesiyle doğrulayabiliriz. ML, MH ve viskozitenin artması karışımın proseste işlenebilirliğinin zorlanacağı sonucuna varmamızı sağlayabilir. Aynı zamanda vulkanizasyon sürelerinin de öne çekilmesiyle özellikle enjeksiyon üretim yapan üreticiler için kalıbı doldurma problemleri yaşanmasına neden olacağı sonucu çıkarılabilmektedir.

### 3.2 Mekanik Özellikler

#### 3.2.1 Sertlik, Kopma mukavemeti, %50, %100 ve %300 Modül, Uzama

Tablo 3. SK-1 karışımının farklı vulkanizasyon sürelerindeki mekanik değerleri

Numune	2dk	5dk	10dk	15dk	20dk	25dk	30dk
Sertlik (Sh-A)	50	55	56	56	56	53	53
Kopma Muk. (MPa)	10.7	10.4	9.7	9.6	9.5	9.9	9.5
%50Mod. (MPa)	0.9	1	1.1	1.1	1	1	0.9
%100Mod. (MPa)	1.3	1.7	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7
%300Mod. (MPa)	3.6	4.8	5.9	5.8	5.8	5.8	5.8
Uzama (%)	695	579	512	495	486	484	474

Tablo 4. SK-2 karışımının farklı vulkanizasyon sürelerindeki mekanik değerleri

Numune	2dk	5dk	10dk	15dk	20dk	25dk	30dk
Sertlik (Sh-A)	70	71	72	72	72	71	71
Kopma Muk. (MPa)	7.6	7.6	7.8	8	8.1	8.2	8.3
%50Mod. (MPa)	1.6	1.7	2	1.9	1.9	1.9	1.8
%100Mod. (MPa)	2.6	2.9	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3
%300Mod. (MPa)	5.7	6.2	7.3	7.2	7.2	7.2	7.2
Uzama (%)	579	502	457	435	411	409	411

Karışım içindeki karbon siyahının artmasıyla karışımın sertlik, %50 modül, %100 modül ve %300 modül değerinin radikal bir şekilde artış gösterdiği görülmüştür. Literatürde NR ile yapılan bir çalışmada karbon siyahındaki artış ile %300 modül değerindeki artışın bulunması bu sonuçlar ile örtüşmektedir [6]. Buna karşın kopma mukavemetinde ve uzama değerinde azalma görülmektedir. Kopma ve uzama değerlerindeki azalma reçete içeriğindeki dolgu miktarının artması ile kauçuk oranının düşmesi sonucu malzemenin elastikiyetinde ve diriliğinde azalma olarak yorumlanabilmektedir.

Farklı vulkanizasyon sürelerinde SK-1 ve SK-2 karışımlarının sertlikleri incelendiğinde 2dk ve 5dk vulkanizasyon sürelerinde numunelerin sertliklerinin düşük olduğu görülmüştür. Her iki karışım için maksimum sertlik değeri 10dk vulkanizasyon süreli numunede görülmüştür. Bir süre aynı sertlik devam etmiş 25dk vulkanizasyon ile sertliklerde tekrar düşüş görülmüştür. Benzer durum modül değerlerinde de görülmektedir. 10dk vulkanizasyon süresinde numunenin modül değerleri radikal bir şekilde artış göstermiştir. Daha uzun vulkanizasyon sürelerinde ise değerleri sabit kaldığı veya çok ufak azalmaların yaşandığı görülmüştür. Uzama değerlerinin her iki çeşit karışım için vulkanizasyon sürelerinin artmasıyla azaldığı görülmüştür.

Tablo 5. RK-1 karışımının farklı vulkanizasyon sürelerindeki mekanik değerleri

Numune	2dk	5dk	10dk	15dk	20dk	25dk	30dk
Sertlik (Sh-A)	40	47	48	49	48	48	48
Kopma Muk. (MPa)	9,5	8,8	8,4	8,2	7,9	9,1	9,1
%50Mod. (MPa)	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	1	1
%100Mod. (MPa)	1	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	1,4
%300Mod. (MPa)	1,7	2,1	2,2	2,5	2,5	2,5	2,5
Uzama (%)	771	665	651	639	636	634	628

Tablo 6. RK-2 karışımının farklı vulkanizasyon sürelerindeki mekanik değerleri

Numune	2dk	5dk	10dk	15dk	20dk	25dk	30dk
Sertlik (Sh-A)	68	71	73	74	73	73	73
Kopma Muk. (MPa)	11,1	10,9	10,4	10,2	10,6	10	10,3
%50Mod. (MPa)	1,3	1,5	1,6	1,7	1,6	1,6	1,6
%100Mod. (MPa)	1,6	1,8	1,9	2,1	2,0	2,0	2,0
%300Mod. (MPa)	2,7	3,2	3,4	3,5	3,4	3,4	3,4
Uzama (%)	676	602	598	588	586	572	566

Karışım içindeki silikanın artmasıyla karışımın sertlik, %50 modül, %100 modül, %300 modül ve kopma mukavemeti değerlerinin radikal bir şekilde artış gösterdiği görülmüştür. Bu durum eklenen silikanın da karışıma güçlendirici etkisi olduğunu gösterebilir. Literatürde SBR ile yapılan çalışmaya bu durum benzer olarak gösterilebilir [5]. Buna karşın uzama değerinde azalma görülmektedir. Bu ise karışım reçetesindeki kauçuk miktarının azalmasıyla karışımın elastikiyetinin azalması olarak yorumlanabilir.

Farklı vulkanizasyon sürelerinde RK-1 ve RK-2 karışımlarının sertlik ve modül değerleri incelendiğinde SK karışımlarına benzer sonuçlarla karşılaşılmıştır. RK karışımlarında 15dk vulkanizasyon süreli numunelerde maksimum sertlik ve modül değerleri görülmüştür. Sertlik ve modül değerleri daha uzun vulkanizasyon sürelerinde sabit kalmış veya ufak düşüş göstermiştir. Uzama değerleri ise SK karışımlarında olduğu gibi vulkanizasyon sürelerinin artmasıyla orantılı olarak azalma göstermiştir.

SK ve RK karışımlarının belirli bir vulkanizasyon süresinde kadar sertlik ve modül değerlerinin yükselmesi çapraz bağlanmanın halen devam etmesi ve bağlanmamış zincirlerin halen var olduğu anlamını taşıyabilmektedir. Bu değerlerin maksimum seviyeye ulaşması, bu vulkanizasyon süre ve sıcaklığı için test edilen numunenin içeriğindeki çapraz bağlanmanın tamamlandığı anlamını taşıyabilmektedir. Daha uzun sürelerdeki değerlerde yaşanan düşüşler ise reversiyon yaşanmaya başlanması olarak yorumlanabilmektedir. Bu durum literatürde NR kauçuğu üzerinde yapılan çalışma ile örtüşmektedir. En optimum mekanik değerler 160°C 10dk vulkanizasyon parametresinde çıkarken, bundan sonra devam eden sürelerde mekanik değerlerde düşüşler gözlemlenmiştir [8]. Vulkanizasyon sürelerindeki artış ile tüm karışımların uzama değerlerindeki düşüşler, numunelerin vulkanizasyon süresinin artmasıyla elastikiyetinde azalması olarak yorumlanabilmektedir.

SK ve RK karışımlarının benzer sertlik ve vulkanizasyon sürelerindeki modül değerleri incelendiğinde karbon siyahı reçetelerindeki modül değerlerinin kalsine kaolen ve silika bazlı reçetelere kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür.

### 3.2.2 Yoğunluk

Tüm karışımlar için, karışımın içeriğindeki dolgu miktarları arttıkça yoğunluğun arttığı görülmektedir. Bu durum kullanılan dolgu malzemesinin karışım içinde kullanılan diğer malzemelerden daha yoğunluğunun yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca renkli karışımların yoğunluklarının siyah karışıma göre yüksek olması, karışım içinde kullanılan kalsine kaolen ve silikanın karbon siyahına nazaran daha yüksek yoğunluğa sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 7. Karışımların Yoğunluk Değerleri

Yoğunluk Değerleri	SK-1	SK-2	RK-1	RK-2
g/cm <sup>3</sup>	1.08	1.16	1.24	1.33

### 3.2.3 Şişme deneyleri ve çapraz bağ yoğunlukları

SK-1 ve SK-2 karışımlarının CLD değerleri karşılaştırıldığında reçete içeriğindeki karbon siyahı arttıkça CLD'nin de arttığı görülmektedir. Her iki karışımın en yüksek CLD değerleri 10dk vulkanizasyonunda çıkmıştır. En düşük CLD değeri 2dk vulkanizasyonda çıkmış, süre arttıkça CLD değerinde artış gözlemlenmiştir. 10dk vulkanizasyon süresinden daha uzun sürelerde ise CLD değerinin kademeli olarak düştüğü görülmektedir. Bu durum karışım içindeki bağların vulkanizasyon süresi uzadıkça açıldığı ve karışımda reversiyon yaşanması olarak yorumlanabilir. En yüksek CLD değerinin 10dk vulkanizasyonunda çıktığı, numunenin mekanik değerleri ile karşılaştırıldığında sertlik, %50 modül, %100 modül ve %300 modül değerlerinin en yüksek değerine 10dk vulkanizasyonunda geldiği görülmektedir. Bu durum birbirini destekler niteliktedir. Şekil 1. ve Şekil 2. de farklı vulkanizasyon sürelerinde SK-1 ve SK-2 karışımının CLD değerleri görülmektedir.



Şekil 1. SK-1 Karışımına Ait Farklı Vulkanizasyon Sürelerindeki Çapraz Bağ Yoğunlukları



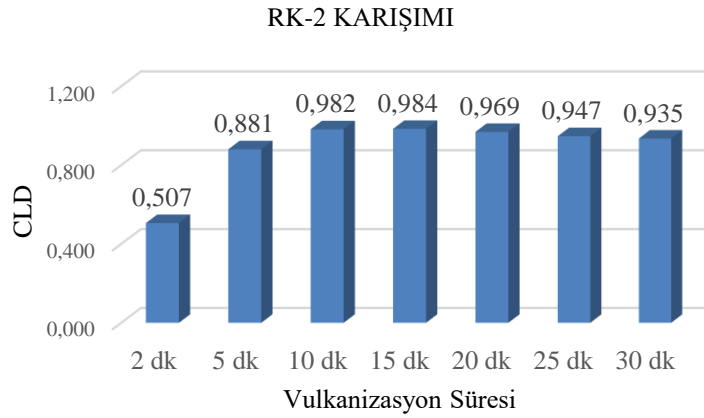
Şekil 2. SK-2 Karışımına Ait Farklı Vulkanizasyon Sürelerindeki Çapraz Bağ Yoğunlukları

RK-1 ve RK-2 karışımlarının CLD değerleri karşılaştırıldığında yine karışım içerisindeki silika miktarının artmasıyla CLD'nin arttığı görülmektedir. Vulkanizasyon süreleri baz alınıp karşılaştırıldığında, karışımların en yüksek CLD değeri 15dk vulkanizasyonunda gelmiştir. 2dk, 5dk ve 10dk vulkanizasyonunda CLD yükselme eğilimindedir. 10dk ve 15dk CLD değerleri ise birbirine çok yakın çıkmıştır. 15dk vulkanizasyondan sonra CLD değerlerinde düşüşler görülmektedir. Bu da karışımda reversiyon yaşanması olarak yorumlanabilir. SK karışımlarında olduğu gibi RK karışımlarında da maksimum CLD değerinde maksimum sertlik, %50 modül, %100 modül ve %300 modül değerleri

görülmüştür. Bu verilerin her karışım için benzer çıkması en yüksek CLD değerinde malzemenin en yüksek dirençte olması olarak yorumlanabilir. Şekil 3. ve Şekil 4. te farklı vulkanizasyon sürelerinde RK-1 ve RK-2 karışımının CLD değerleri görülmektedir.



Şekil 3. RK-1 Karışımına Ait Farklı Vulkanizasyon Sürelerindeki Çapraz Bağ Yoğunlukları



Şekil 4. RK-2 Karışımına Ait Farklı Vulkanizasyon Sürelerindeki Çapraz Bağ Yoğunlukları

SK ve RK karışımlarda CLD değerinin belirli bir süreye kadar artıp sonra azalmaya geçmesi durumu literatürde NR kauçuğunda farklı vulkanizasyon süreleri için yapılan CLD testlerinin sonuçları ile örtüşmektedir. Yapılan çalışmada 10dk vulkanizasyon süresinden sonra numune reversiyon'a uğramıştır [2].

RK karışımlarının SK karışımlarına nazaran daha uzun vulkanizasyon süresinde maksimum CLD değerine ulaşması karışım içerisinde kullanılan karbon siyahının, kalsine kaolen ve silikaya nazaran bağ kurma özelliğinin daha yüksek olduğu anlamına gelebilmektedir. Bu durum da karbon siyahı içinde kükürt elementinin var olması ve daha üretim aşamasında bu dolgu içindeki kükürt'ün kauçuk içinde etkileşime başlaması olarak düşünülebilir.

#### 4. SONUÇ

Çalışmada ilk olarak pişme ve akma karakteristikleri incelenmiştir. Karbon siyahı katkılı malzemeler ile kalsine kaolen ve silika bazlı malzemelerin hem kendi içlerinde hem de birbirleriyle farklı test değerleri

verdiği görülmüştür. Reçete içerisinde karbon siyahı miktarının artmasıyla ML ve MH değerlerinde artış görülmüştür. Buna karşın ts2 ve t90 sürelerinde öne çekilme meydana gelmiştir. Kalsine kaolen ve silika esaslı karışımlarda da dolgu miktarının artmasıyla aynı sonuçlarla karşılaşılmıştır. Viskozite değerlerinde de benzer sonuçlar bulunmuştur. Reçete içerisinde dolgu miktarındaki artış ile viskozite değerinde de radikal bir artış görülmüştür.

Farklı vulkanizasyon sürelerinde vulkanize edilmiş numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Karbon siyahı katkılı karışımların içerisindeki dolgu malzemesinin artmasıyla sertlik ve modül değerlerinde artış, kopma mukavemeti ve uzama değerlerinde azalma görülmüştür. 10dk vulkanizasyonuna kadar mekanik değerlerin yükseldiği, bu parametreden sonra değerlerde düşüş veya sabitlenme yaşandığı görülmüştür. Renkli karışımlarda da dolgu miktarının artmasıyla sertlik, modül ve kopma mukavemeti yükselirken uzama değerinde düşme görülmüştür. 15dk vulkanizasyonuna kadar mekanik değerlerin ise karbon siyahı katkılı karışımlarda olduğu gibi yükseldiği, bu değerden sonra negatif yönde ilerleme veya sabitlenme yaşandığı görülmüştür.

Siyah ve renkli karışımlar kendi içlerinde yoğunlukları değerlendirildiğinde, karışım içindeki dolgu miktarı arttıkça karışımın yoğunluğunun arttığı görülmüştür. Ayrıca siyah ve renkli karışımlar karşılaştırıldığında benzer sertlik değerlerinde, renkli karışımların siyah karışımlardan daha yüksek yoğunluklara sahip olduğu bulunmuştur.

Farklı vulkanizasyon sürelerinde karışımların şişme deneyleri ile CLD hesaplamaları da yapılmıştır. Her iki çeşit katkı malzemeli karışımların içerisindeki dolgu miktarlarının artmasıyla CLD değerinde artış olduğu bulunmuştur. Ayrıca vulkanizasyon parametrelerine göre CLD incelenmesinde, siyah karışımlar için optimum 10dk, renkli karışımlar için optimum 15dk bulunmuştur. Bu sürelerden uzun vulkanizasyon süreleri için CLD değerinde düşmeler görülmüştür.

## REFERANSLAR

- [1] Kalle H., Minna P., Hanna-Mari T. (2007), “Elastomeric materials, Leonardo Da Vinci
- [2] Kor Dayıoğlu Ahu (2018), “Vulkanizasyon parametrelerinin doğal kauçukların çapraz bağ yoğunluğu ve malzeme ömrü üzerindeki etkisinin incelenmesi” Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [3] Winspear GG(ed) (1958), “The Valderbilt Rubber Handbook, 06856(203):620
- [4] İşliler M.B., Ersoy O.G., Ersoy N.B. (2008), “Beyaz dolgu malzemesi olarak zeolit’in EPDM’in mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi” 2. Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi ve Sergisi, Harran Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi
- [5] Choi S.S., Park B.H., Song H. (2003), “Influence of filler type and content on properties of styrene-butadiene rubber (SBR) compound reinforced with carbon black or silica” *Polymers for advanced Technologies*. Doi: 10.1002/pat.421
- [6] Ulfah I.M., Fidyarningsih R., Rahayu S., Fitriani D.A., Saputra D.A., Winarto D.A., Wisojodharmo L.A. (2015), “Influence of carbon black and silica filler on the rheological and mechanical properties of naturel rubber compound” *Procedia Chemistry* 16 (2015) 258-264 doi: 10.1016/j.proche.2015.12.053
- [7] Ichazo M.N., Albano C., Hernandez M., Gonzalez J., Carta A. (2008), “Effects of particle size and size distribution on the mechanical properties of EPDM / Silica vulcanizates” *Advanced Materials Research*. Doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.47-50.113
- [8] Ayrancı Erdi (2019), “Kükürt ile vulkanize edilmiş karbon siyahı dolgulu doğal kauçuk nanokompozitlerinin yırtılma özelliklerinin farklı sıcaklık değerlerine göre belirlenmesi” Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [9] Soyubol Burçe (2006), “Elastomerlerin statik ve dinamik özelliklerinin incelenmesi” Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

## Effects of Fiber Type and Number of Layers on Modal Analysis of Laminated Composite Plates

Savaş Evran<sup>1\*</sup> , Yasin Yılmaz<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Canakkale Onsekiz Mart University, Canakkale Faculty of Applied Sciences, Department of Energy Management, Canakkale, Turkey.

<sup>2</sup>Pamukkale University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Denizli, Turkey.

\*sevran@comu.edu.tr

### Abstract

The goal of this study is to examine the effects of fiber type and number of layers on modal analysis of laminated composite plates using finite element and Taguchi methods. Modal analysis was carried out by finite element software ANSYS in accordance with L9 orthogonal array which has two control factors such as fiber types and number of layers. Optimal levels of fiber types and number of layers were determined using analysis of Signal-to-Noise ratio, while importance levels and percentage effects of control factors were performed using analysis of variance at 95% confidence level. According to results obtained from this study, the maximum fundamental natural frequency value was calculated using boron-fiber-reinforced laminated composite plates with three layers. Numerical and statistical results obtained from this study can be useful to select the appropriate fiber types and number of layers for laminated composite plates.

**Keywords:** Modal Analysis, Laminated Composite, Fiber, Finite Element, Taguchi Method.

### Özet

Bu çalışmanın amacı, sonlu elemanlar ve Taguchi yöntemleri kullanılarak tabakalı kompozit plakaların modal analizinde fiber tipi ve katman sayısının etkilerini incelemektir. Modal analiz, fiber türleri ve katman sayısı gibi iki kontrol faktörüne sahip L9 ortogonal diziyeye uygun olarak sonlu elemanlar yazılımı ANSYS ile gerçekleştirilmiştir. Sinyal-Gürültü oranı analizi kullanılarak optimum lif türleri ve katman sayısı belirlenirken kontrol faktörlerin önem seviyeleri ve yüzde etkileri %95 güven düzeyinde varyans analizi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, maksimum serbest titreşim değeri üç katmanlı bor lifi takviyeli tabakalı kompozit plakalar kullanılarak hesaplanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sayısal ve istatistiksel sonuçlar, tabakalı kompozit plakalar için uygun fiber tiplerini ve katman sayısını seçmek için faydalı olabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Modal Analiz, Tabakalı Kompozit, Fiber, Sonlu Elemanlar, Taguchi Metot.



## 1. INTRODUCTION

Laminated composite plates have been used in different area such as mechanical engineering, civil engineering, ocean, aircraft etc. Modal analyses have been carried out to determine the natural frequencies of a structure and thus modal analysis of plates made of composite materials is important because of the extensive application of composite structures [1]. In literature, there are a lot of studies including modal analysis of laminated composite plates. Thai and Kim [2] calculated the natural frequency of composite plates made of different laminates based on two variable refined plate theories. Benhenni, et al. [3] examined the natural frequency of hybrid laminated composite plates under various boundary conditions using finite element method. Fallah and Delzende [4] evaluated the modal behavior of plated made of laminated composites and they used a meshless finite volume in analysis. Tawfik, et al. [5] studied the natural frequency of laminated composite plates and they utilized neural network-based second order reliability technique in analysis. Joshi and Duggal [1] performed the modal analysis of plates made from laminated composites during progressive failure and they used numerical method in analysis. Evran [6] analyzed the free vibration behavior of beams made of laminated composites including glass/epoxy systems using experimental and statistical methods. In analysis, L9 orthogonal array based on Taguchi method was used. Boay [7] reported the modal analysis of plates made of laminated composite and the plates have central circular holes. Sharma and Mittal [8] investigated the natural frequency of plates made of laminated composite materials including elastically restrained sides and they also used finite element approach. Aydogdu and Timarci [9] presented the modal analysis of laminated square plates with cross-ply in accordance with various boundary conditions. Ergun, et al. [10] performed experimental modal and buckling analyses of beams made of impacted composite materials. Aydogdu [11] evaluated the natural frequency behavior of beams made from angle-ply laminated composites under different boundary conditions. A study including the optimization of a hybrid composite laminate fabricated using carbon and E glass fibers were presented [15]. As can be understood, it is possible to see the studies containing of fundamental natural frequency analysis of laminated composite beams and plates. In this study, impact of fiber types and number of layers on modal analysis of laminated composite plates using finite element and Taguchi methods was investigated. In literature, there are many studies regarding natural frequency analysis. But study regarding fundamental natural frequency of laminated composite plates with different fiber types using numerical and statistical methods were limited. With this aspect, a new approach to the literature will be presented. Also, in this study, each level of each control factor on the response were evaluated using signal-to-noise (S/N) ratio and variance analysis (ANOVA). This approach of the study presents the difference from mentioned literature review.

## 2. MATERIALS AND METHODS

In this study, laminated composite plates for numerical analyses was applied. The laminated composite plates designed from glass/epoxy, boron/epoxy, and carbon/epoxy. Each material has different mechanical properties and densities. The material properties were given in Table 1.

Table 1. Material properties [12]

Materials	$E_x$ (GPa)	$E_y$ (GPa)	$E_z$ (GPa)	$\nu_{xy}$	$\nu_{xz}$	$\nu_{yz}$	$G_{xy}$ (GPa)	$G_{xz}$ (GPa)	$G_{yz}$ (GPa)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
Glass/Epoxy	38.5	9.35	9.35	0.22	0.05	0.05	3.47	3.47	3.47	1.89
Boron/Epoxy	202.4	9.87	9.87	0.25	0.01	0.01	3.65	3.65	3.65	1.95
Carbon/Epoxy	112.5	9.77	9.77	0.25	0.02	0.02	3.29	3.29	3.29	1.52

To see the effects of fiber type and number of layers on the response, Taguchi method was used based on numerical data. Analysis design was conducted using L9 orthogonal array. The array has two control factors. Each control factor has three levels. The first control factor was assumed as fiber type whereas the

second control factor was considered as number of layer of plates made of composite materials. The levels of the first control factor were determined as glass, boron, and carbon fibers, respectively. Also, the levels of the second control factor were used as one layer, two layers, and three layers, respectively. Control factors and their levels used in the analyses were shown in Table 2.

Table 2. Control factors and levels

Control Factors	Symbol	Levels		
		Level 1	Level 2	Level 3
Fiber Type	A	Glass	Boron	Carbon
Number of Layers	B	1	2	3

To get the maximum fundamental natural frequency data of laminated composite plates, “larger is better” quality approach presented in Taguchi method was utilized. Equation including this approach was given as [13].

$$(S/N)_{HB} = -10. \log \left( n^{-1} \sum_{i=1}^n (y_i^2)^{-1} \right) \tag{1}$$

where, n is the number of modal analyses in a trial and  $y_i$  expressions  $i^{th}$  data detected. Statistical analyses and their plots were performed using Minitab software.

### 3. FINITE ELEMENT ANALYSIS

In the numerical calculations, finite element software ANSYS was utilized to carry out modal analysis of the composite plates with different fibers. In software, each laminate has a thickness of 0.5 mm. The width and length of the plates are same and are 100 mm. In mesh operation, number of element divisions was assumed as 200. The fiber orientation angle of the plates was chosen to be 0 in degrees. In the finite element analysis, SHELL281 element type was utilized, and it contains 8 nodes including six degrees of freedom in accordance with each node: translations for the x, y, and z axes, and rotations based on the x, y, and z axes [14]. Block Lanczos mode was used as extraction method. The laminated composite square plates were selected as the right edge clamped and remaining edges free (C-F-F-F) boundary conditions. Element geometry, mesh size and cantilever laminated composite plates were illustrated in Figure 1.

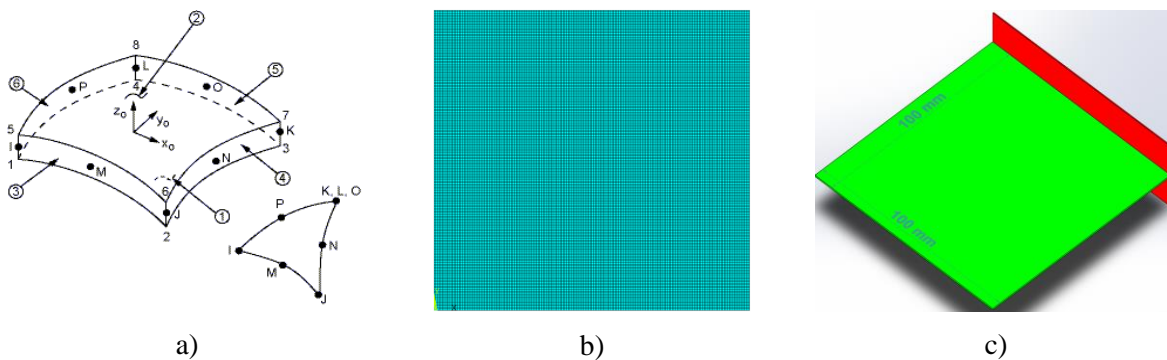


Figure 1. a) SHELL281 element geometry, b) mesh size and, c) cantilever laminated composite plates

### 4. RESULTS AND DISCUSSIONS

The numerical modal analysis of laminated composite plates was carried out to study the impacts of control factors over the output response characteristic. Nine analyses were performed using Taguchi methodology.

Each test was repeated one time for obtaining S/N ratio values since it depends on numerical calculations. Numerical fundamental natural frequency data for the first mode were given in Table 3.

Table 3. Results for frequency and S/N ratio

Analysis	Designation	Control Factors		Results	
		Type of Fibers	Number of Layers	Frequency $\lambda$ (Hz)	S/N ratio $\eta$ (dB)
1	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	Glass	1	36.6181	31.2739
2	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	Glass	2	73.2196	37.2925
3	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub>	Glass	3	109.789	40.8112
4	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	Boron	1	82.3644	38.3148
5	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	Boron	2	164.566	44.3268
6	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	Boron	3	246.444	47.8344
7	A <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	Carbon	1	69.6246	36.8553
8	A <sub>3</sub> B <sub>2</sub>	Carbon	2	139.162	42.8704
9	A <sub>3</sub> B <sub>3</sub>	Carbon	3	208.528	46.3833
Overall Mean ( $\bar{T}_\lambda$ )				125.591	-

Modal analysis of each laminated composite plate was calculated for the first mode using ANSYS software and visual results obtained were presented in Figure 2. The red zones show the maximum affected edges whereas the blue zones indicate the minimum influenced edges.

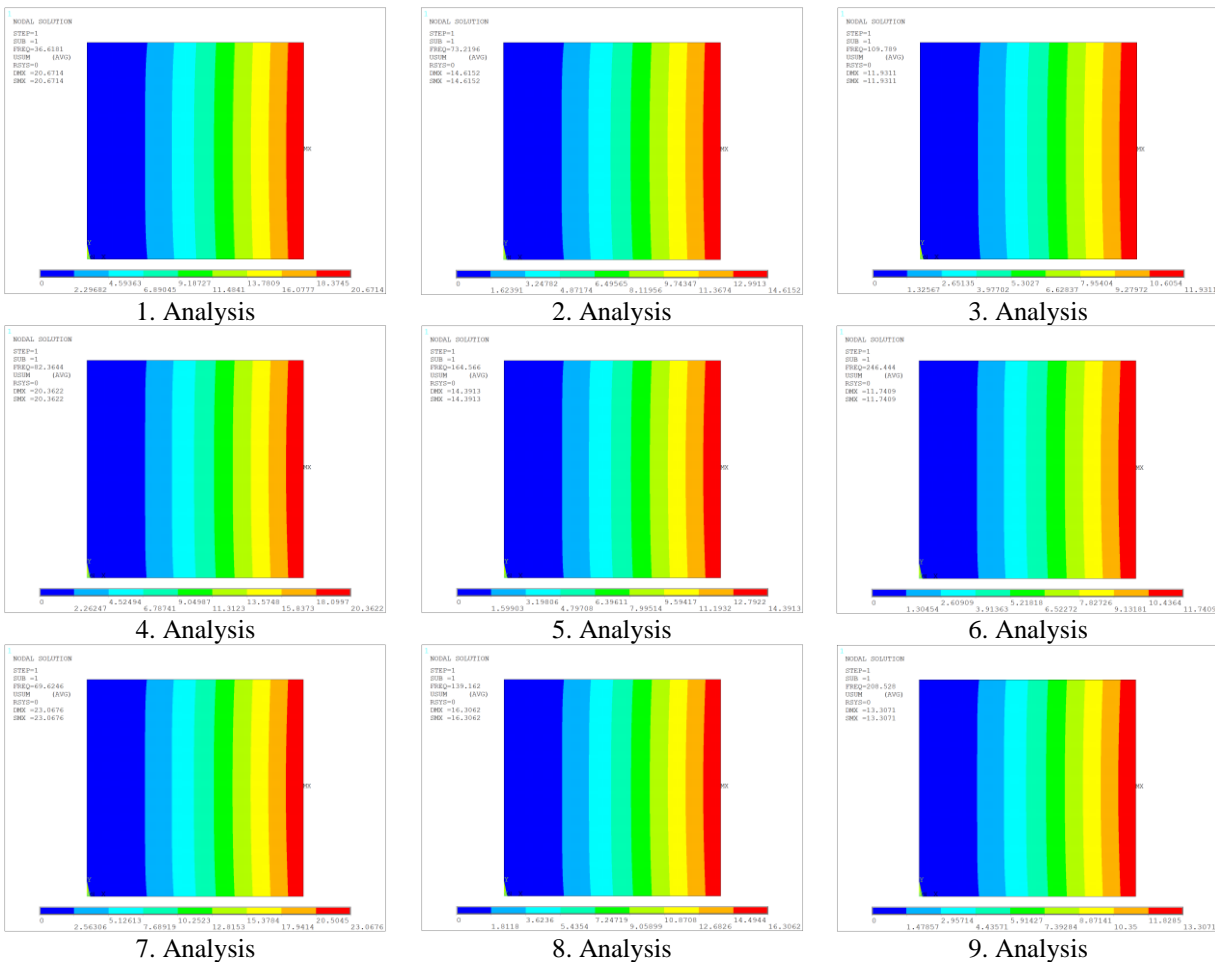


Figure 2. Numerical results for modal analysis of laminated composite plates

### 4.1 Effects of Fiber Type and Number of Layers

To determine the effects of fiber type and number of layers on the modal analysis, numerical analyses were conducted in accordance with L9 orthogonal array with two control factors including three levels. The overall data of modal analysis for each control factor at all levels for S/N data were plotted in Figure 3.

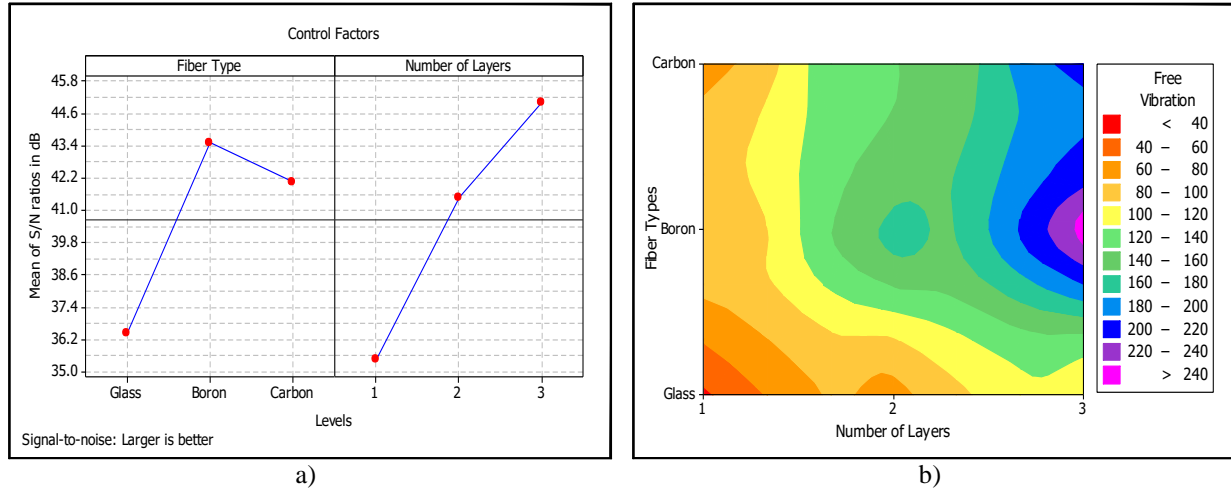


Figure 3. a) effects of control factors for S/N ratio data and b) contour plot of fundamental natural frequency

Figure 3 shows that fundamental natural frequency data of laminated composite plates were obtained using boron fiber, carbon fiber, and glass fiber, respectively. This is because the mechanical properties such as elasticity modules play the important role on the modal analysis of plates. In addition, fundamental natural frequency increases with increase of number of layers. This situation can be explained that increasing number of layers increases strength of plates.

### 4.2 Selection of Optimal Levels

To evaluate the significance of the control factors towards fundamental natural frequency analysis, analysis of variance (ANOVA) at 95 % confidence level was carried out. The results for R-Sq = 94.36% and R-Sq(adj) = 88.73% were presented in Table 4.

Table 4. ANOVA result

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	% Effect
A	2	13311.50	13311.50	6655.70	12.08	0.020	34.05
B	2	23582.00	23582.00	11791.00	21.41	0.007	60.32
Error	4	2203.20	2203.20	550.80			5.63
Total	8	39096.60					100

It was found that fiber type and number of layers are significant control factors for fundamental natural frequency analysis and thus these control factors affect the mean and variation in the fundamental natural frequency data. Also, number of layers has 60.32 % effect on fundamental natural frequency response whereas fiber type has 34.05 % effect. The overall data and S/N ratio of the modal characteristics for each variable at the various levels were solved from the numerical data. Response table for raw and S/N data was presented in Table 5. In addition, Table 5 demonstrates the average of each modal characteristic for S/N data and means at each level of each control factor. The rank and delta data present that the number of layers has the greatest effect on fundamental natural frequency and is followed by fiber type. As

fundamental natural frequency value is the “higher is better” type quality characteristic, it can be seen from Table 5 that the second level of fiber type and the third level of number of layers provide the maximum value of fundamental natural frequency for S/N ratio and means data

Table 5. Response table for modal analysis

Level	S/N ratio (dB)		Mean (Hz)	
	A	B	A	B
1	36.46	35.48	73.21	62.87
2	43.49	41.50	164.46	125.65
3	42.04	45.01	139.10	188.25
Delta	7.03	9.53	91.25	125.38
Rank	2	1	2	1

### 4.3 Estimation of Optimal Levels

The optimal fundamental natural frequency value of laminated composite plates with different fiber type and number of layers along with their respective confidence intervals was estimated and the result of confirmation analysis was also shown to confirm the optimal fundamental natural frequency data. The optimal result of each fundamental natural frequency response was estimated considering the impact of the powerful control factors only. Thus, the estimated mean of fundamental natural frequency response can be examined as [13].

$$\mu_\lambda = \bar{A}_2 + \bar{B}_3 - \bar{T}_\lambda \tag{2}$$

where,  $\bar{T}_\lambda = 125.591$  Hz and it is the overall mean of in accordance with L9 orthogonal array.  $\bar{A}_2 = 164.46$  is the average data of fundamental frequency at the second level of fiber type.  $\bar{B}_3 = 188.25$  is the overall data of fundamental frequency for the third level of number of layers. Thus  $\mu_\lambda = 246.444$  Hz. The 95 % confidence intervals in accordance with confirmation analyses ( $CI_{CE}$ ) and population ( $CI_{POP}$ ) were examined based on Equations 3 and 4 [13].

$$CI_{CA} = \left( F_{\alpha;1;n_2} V_{error} \left[ \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{R} \right] \right)^{1/2} \tag{3}$$

$$CI_{POP} = \left( \frac{F_{\alpha;1;n_2} V_{error}}{n_{eff}} \right)^{1/2} \tag{4}$$

$$n_{eff} = \frac{N}{(1 + T_{DOF})} \tag{5}$$

where,  $n_2 = 4$  is the error number for degree of freedom and  $\alpha = 0.05$  is the risk for 95 % confidence level. Thus  $F_{0.05;1;4} = 7.71$  [13] in accordance with F ratio table at 95 % CI ( $\alpha=0.05$ ).  $V_{error} = 550.80$  is error result of variance for ANOVA result. R presents the sample size of confirmation test obtained using numerical analyses. N = 9 is number of analyses for L9 orthogonal array.  $T_{DOF} = 4$  is the sum of the degrees of freedom in accordance with important control factors.  $CI_{CA}$  and  $CI_{POP}$  are computed as  $\pm 48.572$  and  $\pm 81.277$ , respectively. The expected confidence interval for confirmation test obtained using finite element analyses [13] is as follows:

$$\text{Mean } \mu_\lambda - CI_{CA} < \mu_\lambda < CI_{CA} + \text{Mean } \mu_\lambda$$

The population in accordance with the 95 % confidence interval [13] is as follows:

$$\text{Mean } \mu_{\lambda} - \text{CI}_{\text{POP}} < \mu_{\lambda} < \text{CI}_{\text{POP}} + \text{Mean } \mu_{\lambda}$$

The overall value of the characteristics was calculated and compared with the estimated variables. The finite element and expected results for fiber type and number of layers at the optimal levels were given in Table 6.

Table 4. ANSYS and predicted results at 95 % confidence level

Optimal Set	ANSYS Result	Predicted Result	Predicted Confidence Intervals at 95% Confidence Level
A <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	246.444 Hz	227.119 Hz	178.550 < $\mu_{\lambda}$ < 275.668 for CI <sub>POP</sub> 145.847 < $\mu_{\lambda}$ < 308.391 for CI <sub>CA</sub>

## 5. CONCLUSIONS

This study presents the evaluation of impacts of fiber type and number of layers on the fundamental natural frequency analysis of laminated composite plates according to numerical and statistical approaches. Numerical calculations were used ANSYS software whereas statistical solutions were utilized Minitab software. Design of numerical tests was conducted using Taguchi L9 orthogonal array including two control factors with three levels. To calculate the effects and percent contributions of control factors on the fundamental natural frequency of laminated composite plates, S/N ratio and variance analyses were performed. Finite element and predicted results for the first mode modal analysis were compared with each other in accordance with 95 % confidence level. The conclusions are as follows:

- The maximum fundamental natural frequency value of laminated composite plate was obtained using boron fiber compared to glass and carbon fibers.
- The most effective fiber types on the fundamental natural frequency analysis of laminated composite plates were obtained as boron, carbon, and glass, respectively.
- Increase of the number of layers for laminated composite plates provides the increase of fundamental natural frequency values.
- According to ANOVA at 95 % confidence level, fiber type and number of layers have significant effect. Also, fiber type has 34.05 % impact on fundamental natural frequency whereas number of layers has 60.32 % impact.
- Predicted optimal fundamental natural frequency results of laminated composite plates at the 95 % confidence level were calculated as  $178.550 < \mu_{\lambda} < 275.668$  for CI<sub>POP</sub> and  $145.847 < \mu_{\lambda} < 308.391$  for CI<sub>CA</sub>.

## 6. ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by Çanakkale Onsekiz Mart University the Scientific Research Coordination Unit, Project Number: FHD-2022-3898.

## REFERENCES

- [1] Joshi, R. and Duggal, S. K. (2020). "Free vibration analysis of laminated composite plates during progressive failure". *European Journal of Mechanics - A/Solids*, 83, 104041.
- [2] Thai, H.-T. and Kim, S.-E. (2010). "Free vibration of laminated composite plates using two variable refined plate theory". *International Journal of Mechanical Sciences*, 52, 4, 626-633.
- [3] Benhenni, M. A., Daouadji, T. H., Abbes, B., Abbes, F., Li, Y. and Adim, B. (2019). "Numerical analysis for free vibration of hybrid laminated composite plates for different boundary conditions". *Structural Engineering and Mechanics*, 70, 5, 535-549.
- [4] Fallah, N. and Delzendeh, M. (2018). "Free vibration analysis of laminated composite plates using meshless finite volume method". *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 88, 132-144.
- [5] Tawfik, M. E., Bishay, P. L. and Sadek, E. A. (2018). "Neural network-based second order reliability method (NNBSORM) for laminated composite plates in free vibration". *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 115, 1, 105-129.
- [6] Evran, S. (2020). "Experimental and statistical free vibration analyses of laminated composite beams with functionally graded fiber orientation angles". *Polymers and Polymer Composites*, 28, 7, 513-520.
- [7] Boay, C. G. (1996). "Free vibration of laminated composite plates with a central circular hole". *Composite structures*, 35, 4, 357-368.
- [8] Sharma, A. K. and Mittal, N. D. (2013). "Free vibration analysis of laminated composite plates with elastically restrained edges using FEM". *Central European Journal of Engineering*, 3, 2, 306-315.
- [9] Aydogdu, M. and Timarci, T. (2003). "Vibration analysis of cross-ply laminated square plates with general boundary conditions". *Composites Science and Technology*, 63, 7, 1061-1070.
- [10] Ergun, E., Yilmaz, Y. and Callioglu, H. (2016). "Free vibration and buckling analysis of the impacted hybrid composite beams". *Structural engineering and mechanics: An international journal*, 59, 6, 1055-1070.
- [11] Aydogdu, M. (2006). "Free vibration analysis of angle-ply laminated beams with general boundary conditions". *Journal of reinforced plastics and composites*, 25, 15, 1571-1583.
- [12] Yalçın, B. and Ergene, B. (2018). "Analyzing the Effect of Crack in Different Hybrid Composite Materials on Mechanical Behaviors". *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 24, 4, 616-625.
- [13] Ross, P. J. *Taguchi Techniques for Quality Engineering*. McGraw-Hill International Editions, 2nd Edition, New York, USA, 1996.
- [14] ANSYS Help (ANSYS Inc, Canonsburg, PA, USA)
- [15] Beylergil, B. (2020). "Multi-objective optimal design of hybrid composite laminates under eccentric loading". *Alexandria Engineering Journal*, 59, 6, 4969-4983.

## Tosmur Mahallesi Özelinde CBS Kullanılarak Yapıların Doğal Zemin Eğimlerinin Hafriyat Hacimleri Üzerindeki Etkisinin Araştırılması

Utku Babacan\* 

Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye.  
\*215446007@ogr.alanya.edu.tr

### Özet

Ülkemizin en önemli sektörlerinden biri olan inşaat sektörü son yıllarda gösterdiği büyümeyle birlikte coğrafi etmenlere bağlı olarak birtakım sorunlarla karşılaşmıştır. Coğrafi etmenlere bağlı sorunlardan biri de bina imalatına uygun, engebesi az, düz olarak nitelendirilebilecek zemin sayısının, artan inşaat projelerine bağlı olarak giderek azalmasıdır. Bu duruma bağlı olarak inşaat proje yüklenicileri giderek daha engebeli arazilerde proje imalatına başlamak ve yükselen hafriyat maliyetlerini karşılamak durumunda kalmaktadır. Gerçekleştirdiğimiz bu çalışmada; Antalya ili Alanya ilçesi Tosmur Mahallesi özelinde, yapımı 2016 yılı öncesi ve sonrasında tamamlanan binaların doğal zemin kot farkları ve ortalama zemin düzeltme hafriyat hacimleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada, günümüzde farklı mühendislik disiplinlerinde de sıklıkla uygulama alanı bulan, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama teknikleri kullanılmıştır. CBS paket programında oluşturulan Tosmur Mahallesi 3 boyutlu modeli üzerinde tüm binalar modellenmiş ve temel zemini kot farkları tablo halinde listelenmiştir. Ortalama temel alanları ve ortalama temel zemini kot farkları hesaplanmış, bu değerler üzerinden de ortalama zemin düzeltme hafriyat hacimlerine geçilmiştir. Çalışmanın en son kısmında ise 2016 yılı merkeze alınarak bu alandaki artış miktarları yüzdesel olarak sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Coğrafi Bilgi Sistemleri, Uzaktan Algılama, İnşaat Mühendisliğinde CBS.

## Investigation of the Effect of Natural Ground Slopes of Buildings on Excavation Volumes by Using GIS in Tosmur District

### Abstract

The construction sector, one of Turkey's key sectors, has faced some problems due to geographical factors with its development in recent years. One of the problems related to geographical factors is the decrease in the number of building lands suitable for building construction, which can be characterized as flat. This decrease occurs due to the increasing construction projects. Depending on this situation, construction project contractors have to start production of buildings on increasingly rough terrains and accept the rising excavation costs. In this study we carried out; The natural ground level differences and the average ground excavation volumes of the buildings whose construction was completed before and after 2016, in the Tosmur district of Alanya city of Antalya province, were compared. Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing techniques, which are frequently used in different engineering disciplines, were used in the study. All buildings were modeled on the Tosmur District. 3D model created in the GIS package program and the elevation differences of the foundation ground were listed in a table. Average foundation areas and average foundation ground level differences were calculated, and average ground excavation volumes were calculated. In the last part of the study, the increase in this section is presented as a percentage by taking 2016 as the center of production year of buildings.

**Keywords:** Geographic Information Systems, Remote Sensing, GIS in Civil Engineering.



## 1. GİRİŞ

İnsanoğlu tarihin ilk zamanlarından bu yana yaşadığı çevreyi kendi ihtiyaçları doğrultusunda şekillendirmiştir. Özellikle yerleşik yaşama geçilmesiyle birlikte barınma, tarım alanı sulama, taşkın önleme sistemleri gibi yapısal ihtiyaçların nicel ve nitel olarak çeşitlenmesiyle birlikte tarihin en eski mühendislik dallarından biri olan İnşaat Mühendisliği ortaya çıkmış ve insanoğlunun bu ihtiyaçlarına efektif çözümler üretilmeye başlanmıştır. Günümüz modern şehirlerinin oluşturulması sürecinde de pek çok üst ve alt yapısal soruna yine ev sahipliği yaptığı çeşitli ana bilim dalları aracılığıyla İnşaat Mühendisliği çözümler üretmeye devam etmektedir [1].

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) özellikle son çeyrek asırda gelişen uydu görüntüleme sistemleri ve bilgisayar yazılımları ile desteklenerek ortaya çıkmıştır. CBS sunmuş olduğu veri tabanı desteği ile konumsal ve öz niteliksel verileri tek ortam üzerinde yönetme olanağı sağlamaktadır [2]. CBS'nin en maliyetli aşaması veri toplama aşamasıdır. Bu veriler, topografik haritaların sayısallaştırılması, uydu görüntüleri, yersel ve jeodezik ölçüm yöntemleri, fotogrametri gibi çeşitli tekniklerle üretilebilmektedir [3]. Veriyi işleme, düzenleme ve tablo olarak görüntüleme gibi işlemler CBS üzerinden yapılabilmektedir. CBS'nin benzer nitelikteki CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) paket programlarından en büyük farkı karar alma süreçlerinde sunduğu destek sayesinde inşaat projelerinde zaman ve maliyet kazancı sağlamasıdır [4].

İnşaat sektöründe; doğal zemin eğimi fazla olmayan, düz zeminlere yapı inşaatı yapılması hem yapının dayanımı hem de proje maliyeti açısından daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Ancak nüfus artışı ile paralel olarak artan yapı ihtiyacı, kentsel alanlardaki inşaata elverişli zeminleri tüketmiş ve inşaat proje üstlenicileri daha engebeli zeminlere yönelmek durumunda bırakmıştır. Özellikle ülkemizin kıyı kesimlerinde engebeli arazi yapısının kıyı çizgisinden hemen birkaç kilometre sonra başlaması bu sorunu şiddetlendirmektedir. Söz konusu düz zemin kıtlığına bağlı olarak eğimi yüksek, engebeli zeminler üzerine yapıların konumlandırılması sıklıkla karşılaşılan bir durum haline gelmiştir. Engebeli zeminlerde ortaya çıkan en önemli problemlerden biri tepe-yamaç etkisidir. Tepe-yamaç etkisi yapı temelini bir kısmının çevresine göre daha yüksek veya alçak bir kotta bulunması olarak açıklanabilmektedir [5]. Yapı temelindeki bu etki, iyi projelendirilmediği takdirde yapının dayanım performansını bir miktar düşürmektedir. Söz konusu etkiden kaçınabilmek adına genellikle yapı temelindeki doğal zemin kot farklılıkları çeşitli zemin düzenleme çalışmalarıyla ortadan kaldırılmaktadır. Yapı projelerinde genellikle hafriyat giderleri çatısı altında toplanan zemin düzenleme çalışmaları yapı proje maliyetlerini her geçen gün daha da fazla arttırmaktadır. Yine bu tip hafriyat çalışmaları, projelerde ciddi zaman kayıplarına da yol açtığı için proje teslim tarihlerinde gecikmelere sebep olabilmektedir [6]. Hafriyat atıkları yönetmeliklere uygun olarak bertaraf edilmedikleri takdirde, içerdiği bitkisel toprak, kum, çakıl, taş ve kil gibi ince daneli malzemeler nedeniyle kentsel alanlarda görüntü ve toz kirliliğine yol açabilmektedir [7]. Özellikle büyük miktarlarda hafriyat atığı üreten inşaat projelerinde, atığın; kaynakta azaltılması, çeşidine göre ayrı depolanması, yeniden kullanılması ve depolama tesislerine taşınmasından proje üstlenicileri sorumlu olmaktadır [8].

Bu çalışmada Antalya ili Alanya ilçesi Tosmur Mahallesi'nin topografik yapısı ve mevcut yapı stoku çeşitli öz niteliksel özellikleri ile birlikte CBS ortamı üzerinde 3B olarak modellenmiştir. Çalışmanın sonucu olarak oluşturulan model üzerinden 2016 yılı öncesinde yapıyı tamamlayan binaların ortalama temel zemini alanları, tabii zemin kot farkları ve hafriyat hacimleri hesaplanmıştır. Yine aynı model üzerinden aynı değerler bu kez yapıyı 2016 sonrası tamamlanan binalar için de hesaplanmıştır. Ulaşılan sonuçlar üzerinden ortalama tabii zemin eğimi artışının ortalama hafriyat hacimlerine olan etkisi irdelenmiştir. Çalışma ile bir mahalle ölçeğinde bu değişimlerin mertebesine ulaşmak amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD

1/1000 ölçekli topografik harita ve imar plan harita paftaları CAD formatlı olarak Alanya Belediyesi İmar Müdürlüğünden izin alınarak kurumlarından temin edilmiş ve kullanılmıştır. CBS paket programı

olarak üniversitemiz bünyesinde erişimi bulunan Esri ArcGIS versiyon 10.5, CAD paket programı olarak AutoCad versiyon 2021 kullanılmıştır.

CBS paket programlarına CAD uzantılı haritaların aktarılabilmesi için öncelikle koordinat sistemlerine uygun dönüşümün yapılması gerekmektedir. Veri toplama aşamasında temin edilen CAD uzantılı haritaların koordinat sistemleri ED50 (European 1950)'den ITRF 96 (The International Terrestrial Reference Frame)'ya dönüştürülmüştür. Alanya ilçesini kapsayan ITRF 96 paftası ITRF96 3°-33. Boylam olarak tanımlanmıştır.

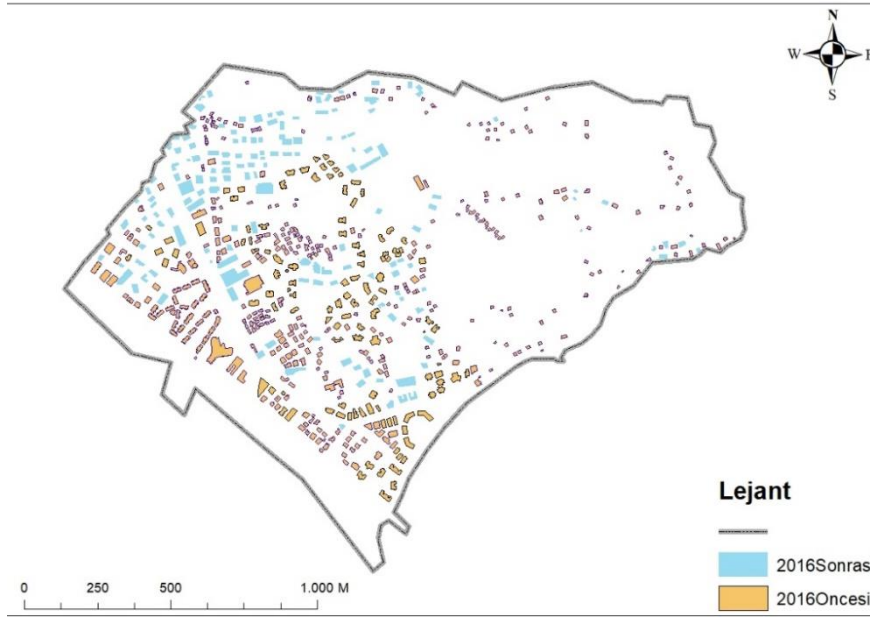
CBS paket programında veri tabanı (feature data set) oluşturulmuştur. CAD uzantılı haritadan aktarılacak verilerde araştırma konusu için en önemli veri olan yükseklik (elevation) hariç diğer veri türleri aktarıma kapatılmıştır. Veri aktarımının ilk aşamasında bina verileri için CAD uzantılı haritada "hz\_bina\_mevcut", "hz\_bina\_eklenen", "hz\_bina\_resmi", "hz\_bina", "hz\_bina\_dinitiesis" isimli çizgi verilerin bina çizimleri için kullanıldığı tespit edilmiştir. CBS paket programında sürekli çizgi verisi (polyline) veri tabanı altında "MevcutBinalar" veri tabanı oluşturularak aktarım işlemi gerçekleştirilmiştir.

Paket programın içeriği poligona dönüştürme komutu kullanılarak "MevcutBinalar" sürekli çizgi verisinden poligon verisine dönüştürülmüştür. Topografik haritalar 2016 yılında hazırlandığı için bu haritadan aktarılan binalar "2016Öncesi" olarak isimlendirilmiştir. Çizim hataları kaynaklı tam kesişmeyen doğru parçaları gibi hatalar paket programın içerik yaratma komutu ile düzeltilmiştir.

Paket programın internet bağlantısı kullanılarak Tosmur Mahallesi'nin çalışma sırasındaki en güncel uydu görüntüsü (10/2021 tarihli) altlık harita (base map) olarak oluşturulan poligon verinin altına konumlandırılmıştır. 2016 sonrasında yapımı tamamlanmış binalar uydu görüntüsünden tespit edilerek yine poligon yaratma seçeneği ile alansal veriye dönüştürülmüştür. Bu binalar da "2016Sonrası" başlığı altında toplanmıştır. Bina verilerinin kat adet ve yükseklik verileri imar haritasından edinilerek öz niteliksel veri tabanı tablosu (attributes table)'na işlenmiştir.



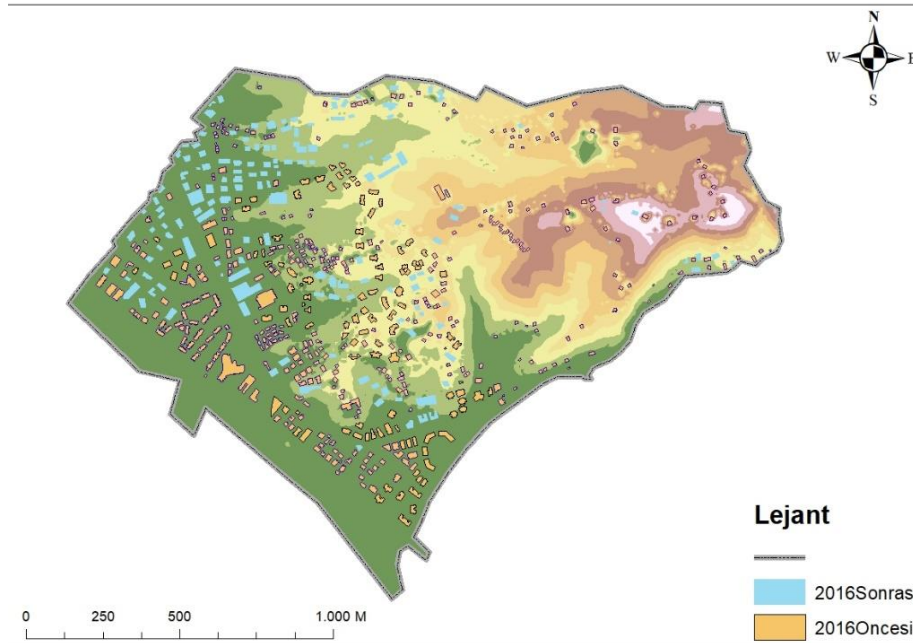
Şekil 1. Tosmur Mahallesi'nin Alanya ilçesindeki (Ölçek: 1/100000)



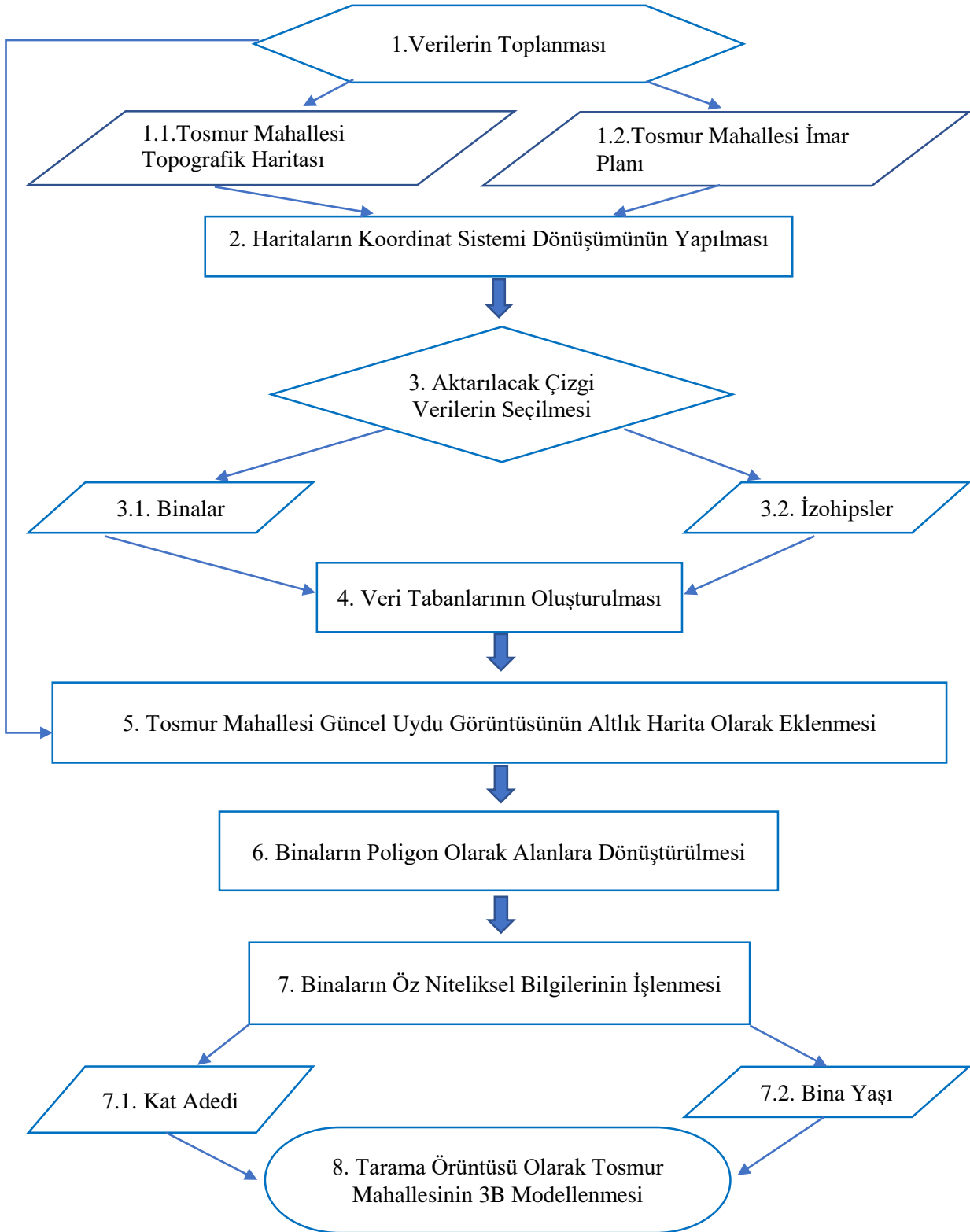
Şekil 2. Tosmur Mahallesi binaları (ölçek: 1/10000)

Topografya özellikleri de dahil olarak mahallenin modellenebilmesi için zemin kot değerlerinin de CBS programına aktarılması gerekmektedir. Bu işlem için CAD uzantılı haritada yer alan eş yükselti eğrisi (izohips) çizgi verileri “hz\_egri”, “hz\_egri\_1m”, “hz\_egri\_2m”, “hz\_egri\_5m”, “hz\_egri\_5mkot”, “hz\_egri\_10m”, “hz\_egri\_10mkot” devamlı çizgi verisi (polyline) olarak CBS paket programa aktarılmıştır. Bu veri grubu “İzohipsler” adı altında toplanmıştır.

Binaların kat sayıları, 2016 öncesi yapımı tamamlanan binalar için topografik harita paftasından, 2016 ve sonrasında yapımı tamamlanan binalar içinse imar planı paftasından, binalar veri tabanına işlenmiştir. Yine benzer şekilde binaların taban başlangıç ve bitiş kotları “İzohipsler” veri grubundan tek tek saptanarak binalar veri tabanına işlenmiştir.



Şekil 3. Tosmur Mahallesi topografya özellikleri dahil edilmiş 2B modeli (ölçek: 1/10000)



Şekil 4. Uygulama metodolojisinin akım şeması

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

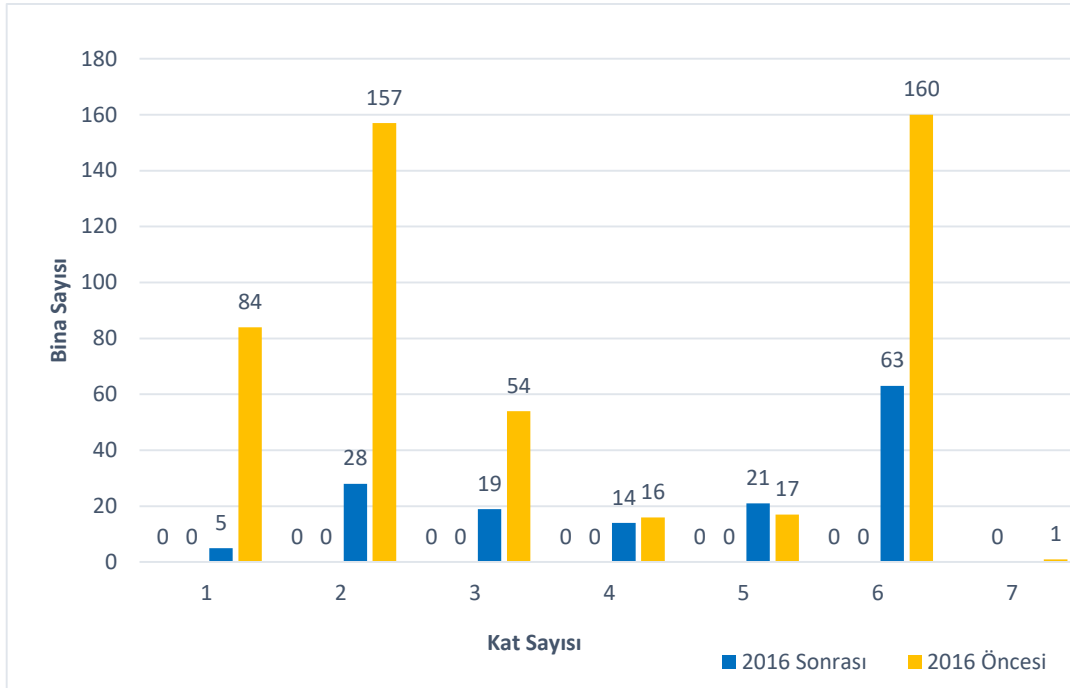
Çalışmanın son aşamasında, binaların kat sayıları, zemin başlangıç ve bitiş kotları, temel alanları verileri tablo halinde Excel programına aktarılmıştır. Binaların zemin başlangıç ve bitiş kot farkları, taban alanları ile tek tek çarpılarak her bir bina için ayrı ayrı ortalama hafriyat hacimlerine ulaşılmıştır. Tosmur Mahallesinde yer alan taban alanı en büyük 9 bina çeşitli verileriyle birlikte Tablo 1’de paylaşılmıştır. Bina veri tabanına, taban alanı verisine ek olarak yapım yılı, taban çevresi, kat sayısı, başlangıç-bitiş kotları ile birlikte kot farkları da dahil edilmiştir.

Tablo 1. Tosmur Mahallesinde taban alanı en büyük 9 bina

Yapım Yılı	Bina Kodu	Taban Çevresi (m)	Taban Alanı (m <sup>2</sup> )	Kat Sayısı	Başlangıç Kotu (m)	Bitiş Kotu (m)	Kot Farkı
2016 Öncesi	619	352,511	3689,165	6	5	3	-2
2016 ve Sonrası	77	274,683	3406,872	6	5	3	2
2016 Öncesi	725	236,593	2640,156	1	3	5	3
2016 ve Sonrası	70	193,708	2071,369	6	15	8	7
2016 ve Sonrası	31	174,578	1890,055	6	3	3	0
2016 ve Sonrası	92	187,012	1873,042	6	13	9	4
2016 ve Sonrası	74	185,659	1535,307	6	5	3	2
2016 ve Sonrası	9	184,107	1524,419	6	3	3	0
2016 ve Sonrası	1	169,398	1460,594	6	4	3	1

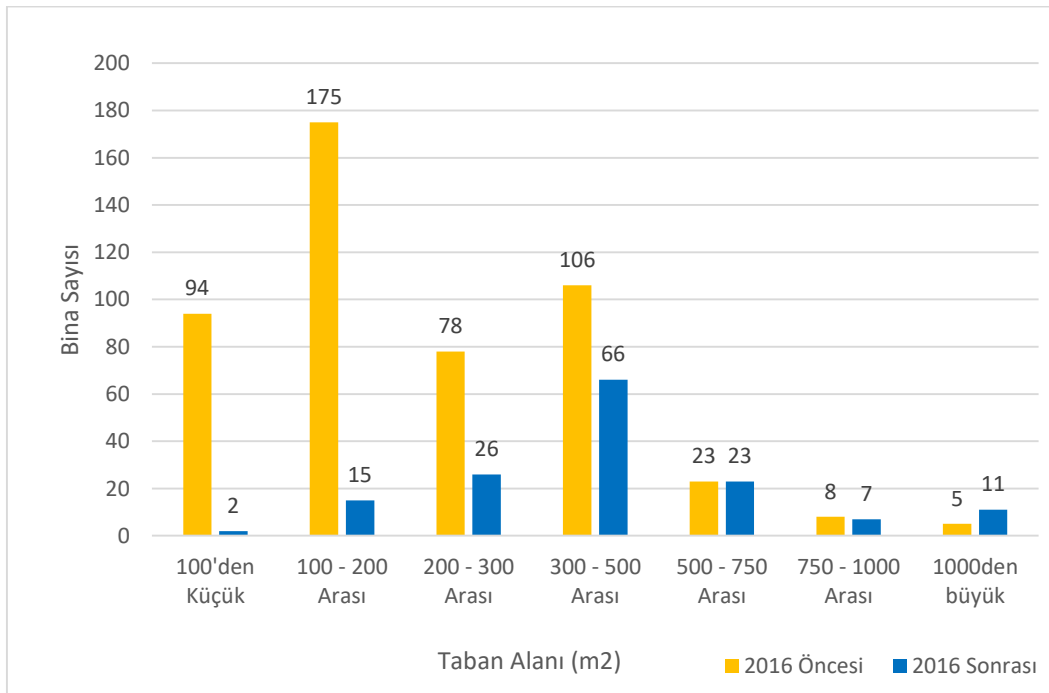
Tosmur Mahallesinde 2016 yılından önce yapımı tamamlanan toplam 490 bina bulunmaktadır. Bu binaların ortalama kat yükseklikleri 3,427 olarak tespit edilmiştir. Ortalama taban alanları ise 249,924 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Ortalama zemin kotu farkları ise 1,276m olarak bulunmuştur. Ortalama taban alanı ve zemin kotu farkı değerlerinin çarpılmasıyla da ortalama hafriyat hacim değerinin 318,921 m<sup>3</sup> olduğu sonucuna varılmıştır.

2016 yılı ve sonrasında yapımı tamamlanan binalar uzaktan algılama yöntemiyle modellenmiştir. Bu modellemeye göre 2016 yılı ve sonrası yapımı tamamlanan 151 bina bulunmaktadır. Bu binaların ortalama kat yükseklikleri 4,380, ortalama zemin kotu farkları 1,733m ortalama taban alanları ise 491,633m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Ortalama zemin kotu farkı ve ortalama taban alanı değerinin çarpılmasıyla ortalama hafriyat hacmi değerinin 852,164m<sup>3</sup> olduğu sonucuna varılmıştır. Tosmur Mahallesinde yer alan binaların bina sayısı – kat sayısı dağılımı Şekil 5’te paylaşılmıştır. 2016 öncesi yapımı tamamlanan binaların yüksek çoğunluğunu 2 ve 6 katlı binalar teşkil ederken, 2016 ve sonrası yapımı tamamlanan binalarda ise çoğunluğu 6 katlı binaların oluşturduğu görülebilmektedir. Benzer şekilde 1 katlı binaların 2016 öncesinde sayısı 84 iken 2016 ve sonrasında yalnızca 5 adet olması dikkat çekicidir. Bu durumun ortaya çıkmasında gecekondü statüsündeki yapıların ve kaçak yapı inşaatının engellenmesinin etkili olduğu açıktır.



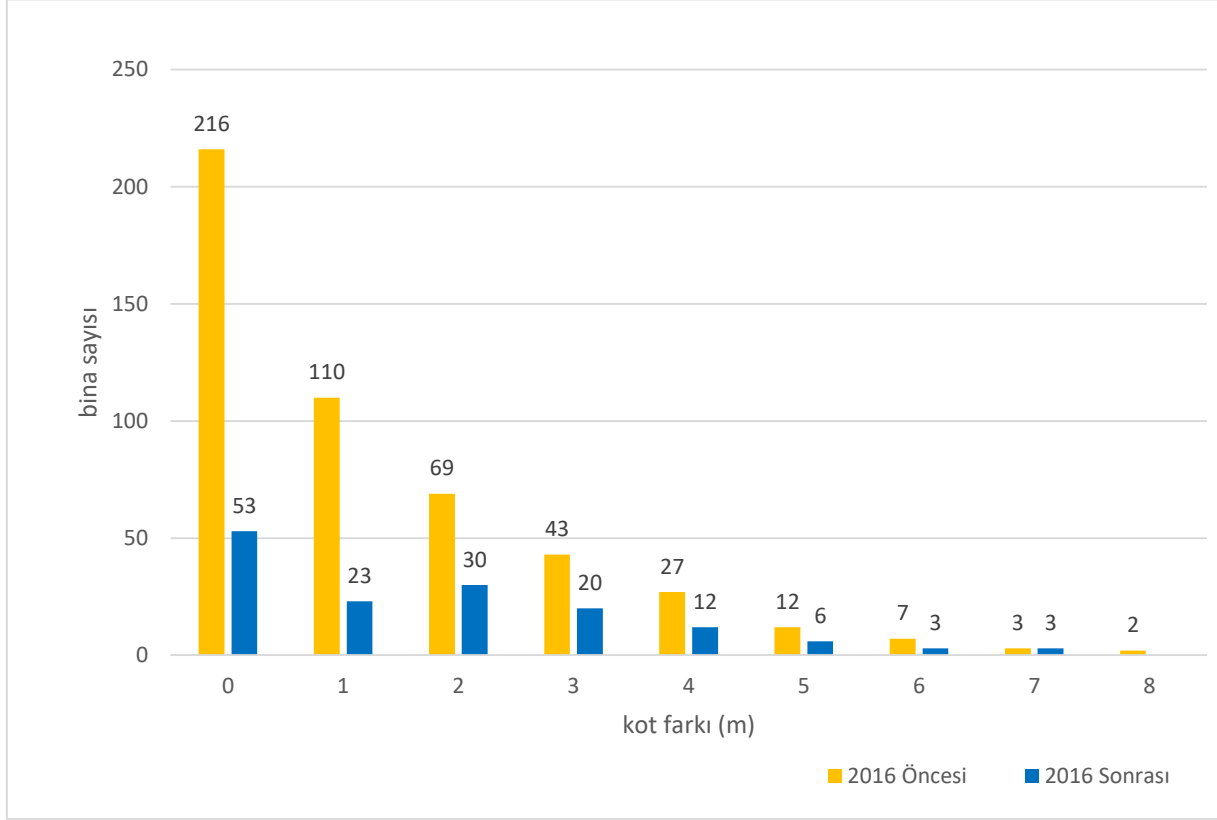
Şekil 5. Tosmur Mahallesinde binaların kat sayısı – bina sayısı dağılımı

Tosmur Mahallesinde yer alan binaların taban alanı – bina sayısı dağılımı Şekil 6’da paylaşılmıştır. 2016 öncesi yapılmış tamamlanan binaların taban alanlarının ekseriyetle 100-500 m<sup>2</sup> arasında olduğu görülebilmektedir. Yine 100 m<sup>2</sup> altında taban alanına sahip 96 binanın 94’ü, 2016 yılından önce imal edilmiştir. 2016 ve sonrası yapılmış tamamlanan binaların ise yarıya yakını 300-500 m<sup>2</sup> taban alanına sahiptir. Benzer şekilde taban alanı 1000 m<sup>2</sup>’nin üzerinde olan yapıların 11’i, 2016 ve sonrası imal edilmişken yalnızca 5’i 2016 öncesi imal edilmiştir.



Şekil 6. Tosmur Mahallesinde binaların taban alanı – bina sayısı dağılımı

Tosmur Mahallesinde yer alan binaların temel kot farkı – bina sayısı dağılımı Şekil 7’de paylaşılmıştır. Tablo 2’de ise Tosmur Mahallesindeki binalara ait yapım yılı endeksli olarak kot farkı, taban alanı, hafriyat hacmi ve kat sayısı verileri sunulmuştur.

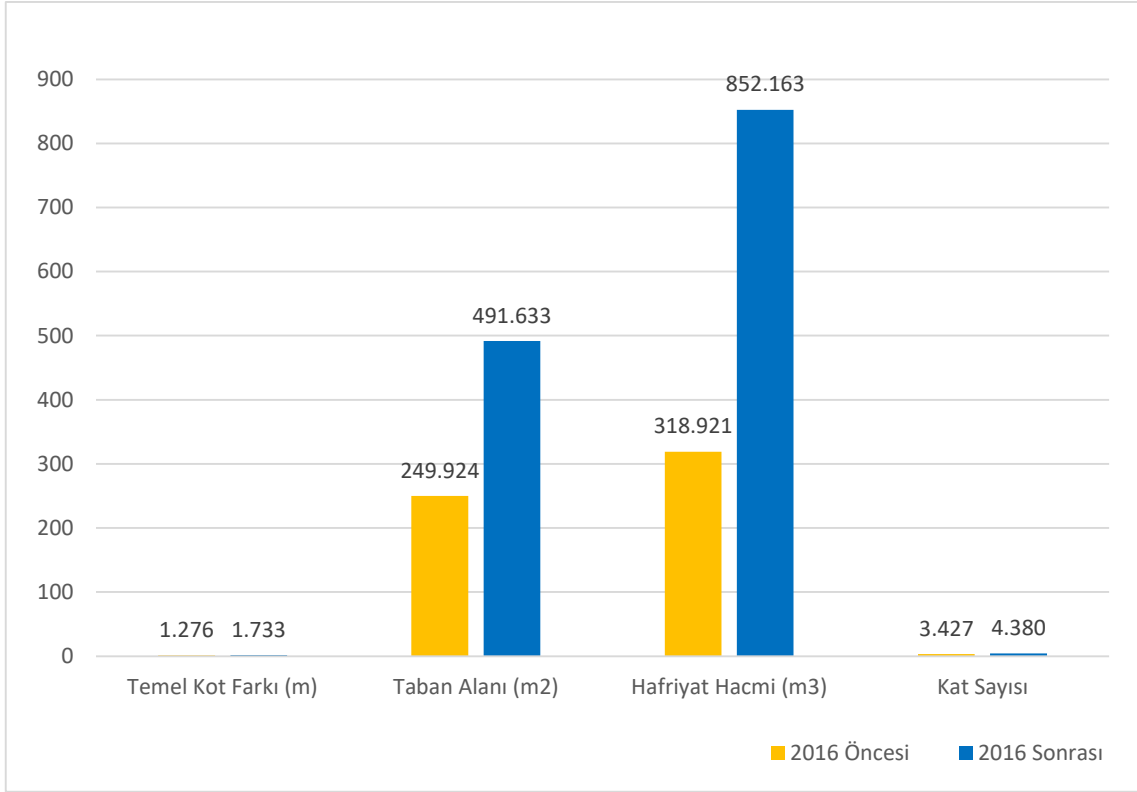


Şekil 7. Tosmur Mahallesinde temel kot farkı – bina sayısı dağılımı

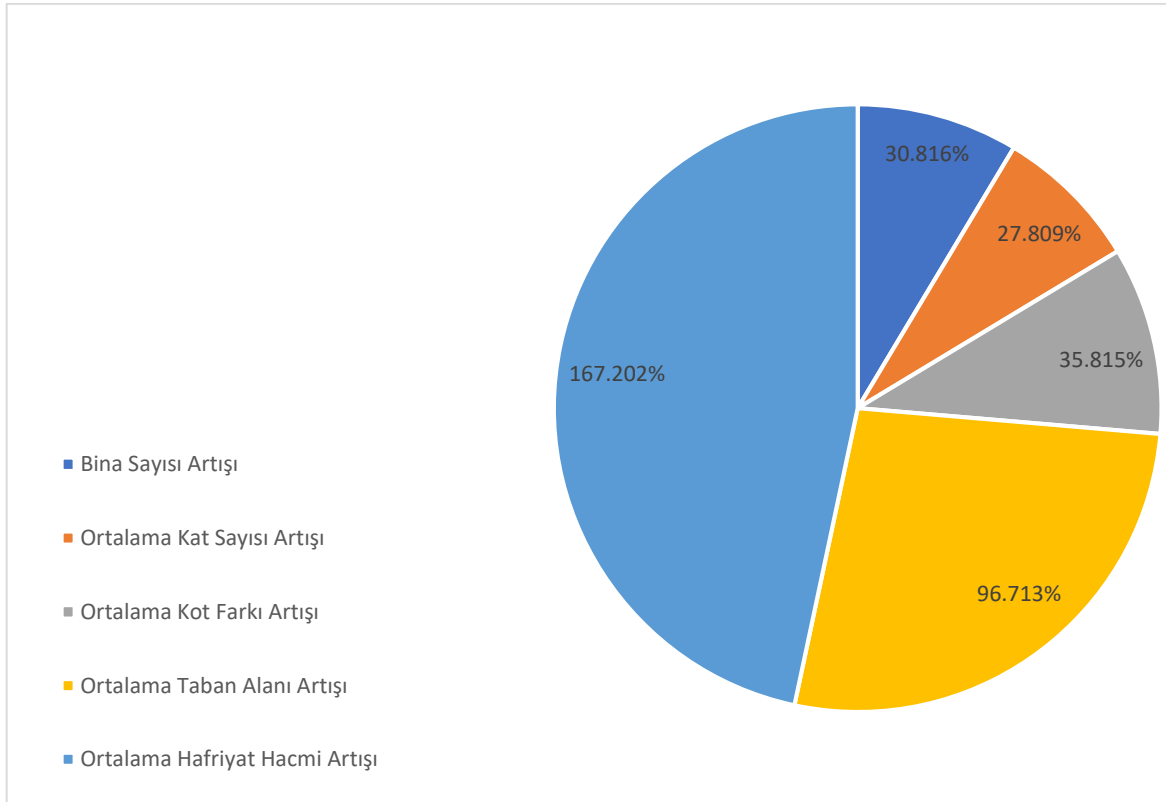
Tablo 2. Tosmur Mahallesindeki binalara ait yapım yılına göre ortalama kot farkı, taban alanı, hafriyat hacmi ve kat sayısı verileri

Bina Yapım Yılı	Bina Sayısı	Ortalama Kat Sayısı	Ortalama Kot Farkı (m)	Ortalama Taban Alanı (m <sup>2</sup> )	Ortalama Hafriyat Hacim (m <sup>3</sup> )
2016 Öncesi	490	3,427	1,276	249,924	318,921
2016 ve Sonrası	151	4,380	1,733	491,633	852,163

2016 yılı ve sonrasında yapımı tamamlanan binalarla birlikte Tosmur Mahallesindeki yapı sayısının %30,816 arttığı tespit edilmiştir. Binaların ortalama kat sayısındaki artışın %27,809 mertebesinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Binaların ortalama kot farkı artışının %35,815 seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. Binaların ortalama taban alanı artışının %96,713 olduğu tespit edilmiştir. En yüksek artışın ortalama hafriyat hacminde ortaya çıktığı ve %167,202 mertebesinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Binaların yapım yılı baz alınarak temel kot farkı, taban alanı, hafriyat hacmi ve kat sayısı verilerinin karşılaştırılması Şekil 8’de paylaşılmıştır. Şekil 9’da ise yine 2016 yapım yılı endeksli olarak bu verilerin yüzdesel olarak artışı grafiksel olarak sunulmuş olup Tablo 3’de de istatistiksel olarak paylaşılmıştır.



Şekil 8. Tosmur Mahallesinde 2016 yapım yılı baz alınarak binaların çeşitli özelliklerinin karşılaştırılması



Şekil 9. Tosmur Mahallesinde 2016 yapım yılı baz alınarak çeşitli bina özelliklerinin artış yüzdeleri



Tablo 3. Tosmur Mahallesinde yapımı 2016 yılı ve sonrasında tamamlanan binaların toplam yapı stoku üzerinde yarattığı artış istatistikleri

Bina Sayısı Artışı	Ortalama Kat Sayısı Artışı	Ortalama Kot Farkı Artışı	Ortalama Taban Alanı Artışı	Ortalama Hafriyat Hacmi Artışı
%30,816	%27,809	%35,815	%96,713	%167,202

#### 4. DEĞERLENDİRME

Ulaşılan tüm bu sonuçlar yorumlanacak olursa, Tosmur Mahallesi özelinde 2016 yılı ve sonrasında tamamlanan binalarla birlikte inşaat yapılan zeminlerde ortalama engebe yaklaşık %36 mertebesinde artmıştır. Ortalama bina temel alanı ise yaklaşık 2 katına yükselmiştir. Bu iki parametrenin görece kabul edilebilir seviyelerde artışına karşın en yüksek artış ortalama hafriyat hacminde gözlemlenmiş olup, 2016 yılından önce yapılan binalara göre ortalama hafriyat hacminin 3 katına çıktığı sonucuna varılmıştır.

Ülkemizde enflasyon etkisiyle gün geçtikçe artan girdi maliyetlerine ek olarak artan hafriyat hacimlerini maddi olarak karşılayabilmek adına, inşaat proje üstlenicileri, bina temel alanı ve kat sayısında da artışa gitmek durumunda kalmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmayla bu konu hakkında sayısal verilere ulaşılmak hedeflenmiştir. Çalışmada CBS kapsamında uydu görüntülerine başvurulduğundan ihmal edilebilir düzeyde bir hata payı bulunmaktadır. Bu konuyla ilgili olarak daha fazla sayıda ve farklı coğrafi bölgeleri de kapsayacak şekilde, benzer araştırmaların yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Daha kesin sonuçlara ulaşabilmek adına çeşitli arazi ölçümlerinin yerinde gerçekleştirilerek uzaktan algılama kapsamında elde edilen verilerle karşılaştırılması tavsiye edilmektedir.

#### REFERANSLAR

- [1] S. Miles and C. Ho, “Applications and Issues of GIS as Tool for Civil Engineering Modeling,” *J. Comput. Civ. Eng.*, vol. 13, no. July, pp. 144–152, 1999.
- [2] A. E. Cengiz and Y. Güney, “Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Tabanlı Bir Yapı Yönetimi Önerisi,” *e-Journal New World Sci. Acad.*, vol. 7, pp. 470–477, Jan. 2012.
- [3] L. Taşçı and Ç. Kaya, “Bina Yapısal Risk Unsurlarının CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) Ortamında İncelenmesi,” *Fırat Üniv. Mühendislik Bilim. Derg.*, vol. 22, no. 1, pp. 55–62, 2010.
- [4] S. N. Palve, “Applications of GIS in Infrastructure,” *Int. J. Struct. Civ. Eng. Res.*, vol. 2, no. 4, pp. 110–122, 2013.
- [5] E. Işık, İ. B. Karşın, and A. E. Ulu, “Eğimli Zeminlerde İnşa Edilen Betonarme Binaların Deprem Davranışlarının İncelenmesi,” *Avrupa Bilim ve Teknol. Derg.*, vol. 20, pp. 162–170, 2020, doi: 10.31590/ejosat.757763.
- [6] Ö. H. Bettemir, “Kazı ve Hafriyat Sürelerindeki Belirsizliğin Monte Carlo Analizi ile Tahmini,” *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 14, no. 2, pp. 165–173, 2009.
- [7] V. Mamur, “Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Alternatif Yöntemleri ve İstanbul Ölçeğinde İncelenmesi,” 2012.
- [8] “Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği,” *Resmî Gazete*, 2004.

## Binaların Farklı Pencere Türlerine Bağlı Elektrik Enerjisi Tüketimleri ve Sosyal Emisyon Maliyetleri

Okan KON 

Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü  
Çağış Kampüsü, 10145, Balıkesir, Türkiye  
okan@balikesir.edu.tr

### Özet

Binalarda kullanılan elektriği üreten güç santrallerinden atmosfere salınan CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi emisyonların miktarındaki artış göz önüne alındığında, bu emisyonların neden olduğu hasarları gidermek için ek bir maliyet getirecektir. Fazla emisyon salınımı, meydana gelen hasarı gidermede maliyeti karşılamak için vergilendirmeler yapılarak toplumun farkındalığı arttırılacaktır. Bu amaçla çalışmada, ilk olarak Türk yalıtım standardı TS 825'e göre dört iklim bölgesini temsilen seçilen; İzmir, Manisa, Afyon ve Kastamonu illerindeki binaların elektrik enerji tüketimi hesaplanmıştır. Bunun için örnek alınan binanın elektrik enerjisi tüketimi hesaplanmıştır. Bina enerji tüketimi hesaplanırken cam türleri olarak, tek cam, çift cam, yalıtımlı cam ve üçlü cam olması dikkate alınmıştır. İkinci olarak, tüketimi yapılan bu elektriğin güç santrallerinde üretiminde meydana gelecek CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları tespit edilmiştir. Daha sonra bu emisyonların ortadan kaldırılması için sosyal emisyon maliyetleri hesaplanmıştır. Son olarak 2030, 2040 ve 2050 yılları için farklı iskonto oranlarına bağlı sosyal emisyon maliyetleri için öngörülerde bulunulmuştur. Güç santrallerinin elektriği üretirken kömür ve doğal gaz kullandıkları kabul edilmiştir. Sonuç olarak, CO<sub>2</sub> emisyonu için en yüksek sosyal emisyon maliyeti kömür kullanan güç santrallerinde 2050 yılı ve % 2.5 iskonto oranında, dördüncü iklim bölgesindeki Kastamonu ilinde ve tek camlı pencerelere sahip binalarda 7092.089 \$ ve en düşük ise doğal gaz kullanan güç santrallerinde birinci iklim bölgesindeki İzmir ilinde yalıtım camlı pencerelere sahip binalarda, 2030 yılı ve % 5 iskonto oranında 98.7 \$ olarak hesaplanmıştır. NO<sub>x</sub> emisyonu için sosyal emisyon maliyeti en yüksek doğal gaz kullanan güç santrallerinde, 2050 yılı ve % 2.5 iskonto oranında, 958.1 \$ ve en düşük ise kömür kullanan güç santrallerinde, 2050 yılı ve % 2.5 iskonto oranında, dördüncü iklim bölgesindeki Kastamonu ilinde ve tek camlı pencerelere sahip binalarda 20.1 \$ olarak tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Güç santralleri, emisyonlar, enerji tüketimi, binaların enerji tüketimi, emisyonların sosyal maliyeti

## Electrical Energy Consumption and Social Emission Costs of Buildings Due to Different Window Types

### Abstract

Considering the increase in the amount of emissions such as CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> released into the atmosphere from electricity generating power plants for the electricity used in buildings, it will bring an additional cost to eliminate the damages caused by these emissions. The awareness of society will be increased by making taxation to cover the cost of excess emissions, and the damage caused. In this study, firstly the electrical energy consumption of buildings in İzmir, Manisa, Afyon and Kastamonu provinces that represent four climate zones according to Turkish insulation standard TS 825 has been calculated. For this, the electrical energy consumption of the reference building was calculated. While calculating the energy consumption of the building, single glass, double glass, insulated glass and triple glass are taken into account as glass types. Secondly, the CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions that will occur in the production of this consumed electricity in the power plants have been determined. Then, social emission costs are calculated to eliminate these emissions. Finally, projections have been made for the social emission costs due to different discount rates for the years 2030, 2040 and 2050. It is assumed that power plants use coal and natural gas to generate electricity. As a result, the highest social emission cost for CO<sub>2</sub> emissions was calculated as 7092.089 \$ for buildings with single-glazed windows and in Kastamonu province in the fourth climate zone in 2050 at a 2.5% discount rate for coal-fired power plants. The lowest is calculated as 98.7 \$ in 2030 and at a 5% discount rate in buildings with insulating glass windows in İzmir province in the first climate zone in power plants using natural gas. The social emission cost for NO<sub>x</sub> emissions is calculated as 958.1 \$ in 2050 at a 2.5% discount rate in the power plants using natural gas with the highest social emission cost. The lowest cost was determined as 20.1 \$ in power plants using coal, in 2050 and at a 2.5% discount rate, in Kastamonu province in the fourth climate zone and in buildings with single-glazed windows.

**Keywords:** Power plants, emissions, energy consumption, energy consumption of buildings, social emission costs

### 1. GİRİŞ

Karbonun Sosyal Maliyeti (Social Cost of Carbon-SCC) küresel ısınma ekonomisi ve politikasında yeni ve önemli bir kavram olarak dikkat edilmektedir [1]. Karbonun sosyal maliyeti, karbon dioksit emisyonlarının net ekonomik maliyetini gösteren, iklim hasarlarını ölçmek ve paraya dönüştürmek için tasarlanmış bir ölçüdür. Basitçe, karbonun sosyal maliyeti, atmosfere salınan her bir ton karbondioksitin verdiği hasarın parasal bir tahminidir. Karbonun sosyal maliyeti, politikaları değerlendirmek ve sera gazı emisyonlarını etkileyen kararları yönlendirmek için kullanılabilir. Karbonun sosyal maliyeti, politikaları değerlendirmek ve sera gazı emisyonlarını etkileyen kararları yönlendirmek için kullanılabilir [2]. Karbonun sosyal maliyeti değeri, genellikle 100 yıl veya daha uzun bir süre için, atmosfere salınan karbonun iklim değişikliği üzerinde meydana getirdiği etkinin net bugünkü değeri olarak hesaplanmaktadır [3].

Literatürdeki çalışmaları incelenirse, Mirici M. E., Berberoğlu S., Gültekin E. yaptıkları çalışmada, karbonun sosyal maliyeti (Social Cost of Carbon-SCC) çerçevesinde geliştirilen modeller ve SCC modellerindeki etken faktörler değerlendirilmiştir [1]. Tunahan H. yaptığı çalışmada, karbon salınımı azaltmaya yönelik yeni finansman yöntemlerinin analizini ve bu yöntemlere bağlı olarak ortaya çıkan karbon piyasalarının yapısını ve performansını açıklamayı amaçlamaktadır. Çalışmada, karbon fiyatlarını etkileyen en önemli unsurların; global üretim düzeyi, petrol ve doğalgaz fiyatlarında meydana gelen değişimdir [3]. Mirici M. E. ve Berberoğlu S., yaptıkları çalışmada, bölgesel ve ülkesel sosyal maliyeti (Social Cost of Carbon-SCC) tahminlerinde kullanılan İklim ve Ekonominin Bölgesel Entegrasyon Modeli (Regional Integrated model of Climate and Economy-RICE) modeli incelemiştir. Bu amaçla, RICE modelinin temel yaklaşımı ve ülkemize uygulanabilirliğini araştırılmıştır [4]. Shirizadeh B ve Quirion P. yaptıkları çalışmada, çok çeşitli sosyal karbon maliyeti (SCC) değerleri için 2050 yılı için Fransız enerji sistemine etkisini incelemiştir [5]. Khanna M.,

Chen X., Wang W., Oliver A. yaptıkları çalışmada, Temiz Enerji Planının, ABD'de yenilenebilir portföy standartları eklenerek, yürürlükten kaldırmanın sera gazı ve refah düzeyine etkilerini incelemektedirler. Temiz Enerji Planının metrik ton CO<sub>2</sub> başına artan refah maliyetlerinin, CO<sub>2</sub>'nin küresel sosyal maliyetinden önemli ölçüde daha düşük olacağını bulunmuştur. Ayrıca, Temiz Enerji Planının yenilenebilir yakıt üreticilerine fayda sağlarken, tüketicilere ve fosil yakıt üreticilerine büyük refah maliyetleri getireceğini de tespit edilmiştir [6]. Kon O. ve Caner İ. Avrupa'da Brüksel, Sofya, Prag, Berlin, Madrid, Talin, Helsinki, Paris, Atina, Budapeşte, Roma, Amsterdam, Oslo, Varşova, Stokolm ve Ankara şehirleri için binaların ısıtma ve soğutmada kullanılan enerji kaynaklarına bağlı karbondioksit ve azot oksitler gibi sera gazı emisyonları incelemiştir. Bu emisyonlar yaşam döngüsü emisyon analizine göre on yıllık dönem için hesaplanmıştır [7]. Kon O. ve Caner İ. yaptıkları çalışmada, 2013 te yenilenen Türk Yalıtım Standardı TS 825'e göre beş iklim bölgesi için dış duvarlar, tavanlar ve döşemeler gibi yapı kabuğunun ısı transfer katsayılarındaki azalmaya bağlı olarak emisyon azaltımındaki değişim araştırılmıştır. Isıtma derecesi-gün değeri en yüksek olan beş il ve ısıtılan bina kabuğunun toplam alanı en yüksek olan beş il için emisyon değişimleri araştırılmıştır. Yakıt olarak kömür ve doğal gazın kullanıldığı düşünülmüştür. Hesaplamalarda yakıtların yanma denklemleri ve CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonları incelenmiştir [8]. Mirici M. E., yaptığı doktora çalışmasında, Türkiye karbon depolama ve karbon tutulumu süreci, ekosistem çerçevesinde modellenmiştir. Karasal karbon depolama ve karbon tutulum hizmetine yönelik birim alanda; toprak üstü biyokütle karbonu, toprak altı biyokütle karbonu, toprak karbonu ve döküntü karbonu; Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımı ile haritalanmıştır. Regional Integrated Model of Climate and Economy (RICE) modelinden yararlanılarak, atmosfere salınan CO<sub>2</sub> salınımının sosyal maliyeti ülkemize yönelik modellemeleri yapılmıştır [9]. Kon O. ve Caner İ. yaptıkları çalışmada, binaların soğutulmasında kullanılan elektriği üreten güç santrallerden salınacak emisyonlar incelemiştir. Bunun için güç santrallerinden atmosfere salınan emisyonların miktarını azaltan yeni teknolojilerden biri olan karbon yakalama ve depolama sistemi araştırılmıştır. Karbon yakalama ve depolama sistemi kullanımı ve kullanımından oluşacak emisyonlar karşılaştırılmıştır. Çalışmada, uzun vadeli yaşam döngüsü emisyon değerlendirmesi yapılmıştır [10]. deLlano-Paz, F. vd. yaptıkları çalışmada, portföy teorisi hem ekonomik hem de çevresel açıdan verimli elektrik üretimine uygulamışlardır. Yeni önerdikleri modelde, farklı teknolojiler için tüm üretim maliyetlerini ve bunlardan kaynaklanan karbondioksit, kükürt dioksit, azot oksitler ve partikül madde gibi kirletici gazların emisyon risklerini içerir. Çalışmada, sonuç olarak, Avrupa enerji karışımındaki yenilenebilir enerji teknolojilerinin payını artırmak ve çevresel etkiyi azaltmak için rüzgar enerjisinin mümkün olduğunca teşvik etme ihtiyacını göstermektedir [11]. Kon O. ve Caner İ. çalışmalarında, Avrupa'dan seçilen 20 başkent için soğutma döneminde; kömür, doğalgaz ve fuel-oil enerji kaynakları ile güç santrallerinde üretimi yapılan elektriğin binalarda tüketimi ile atmosfere salınacak CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonları araştırmışlardır [12]. Ghaith A. F. ve Epplin F. M. yaptıkları çalışmada, ABD de beş farklı bölgedeki konutlar için tahmini 37.2 \$/Mg karbon sosyal maliyetine eşit bir karbon vergisinin hane elektrik maliyeti üzerindeki sonuçlarını değerlendirmek ve haneler için yenilenebilir enerji kullanarak mikro elektrik üretim için yeni şebeke kurmayı teşvik edilip edilemeyeceği ekonomik açıdan değerlendirilmiştir. Çalışmada, ABD Enerji Bakanlığı tarafından yapılan simülasyonlar kullanılmıştır [13]. Stern N. ve Stiglitz J. E. çalışmalarında, İklim politikasını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan metodolojilerdeki temel kusurları belirleyerek, buna bağlı olarak karbonun sosyal maliyetinin daha ayrıntılı hesaplanabileceği, belirlediğimiz temel unsurları göre alternatif bir metodoloji önerilmiştir [14]. Tol R. S. J. çalışmasında, karbonun sosyal maliyetine ilişkin 211 tahmin bir meta analizi yapmıştır. Çalışmada, iskonto oranının etkisi incelenmiştir. Sonuçta, ileri yıllarda iklimin ekonomik etki tahminlerinde birçok insanın yıllık gelirini aşması durumu olabileceği görülmektedir [15]. Ackerman F. ve Stanton E. A. çalışmalarında, iklim değişikliği ekonomisindeki iklim duyarlılığı parametresinin değeri, düşük sıcaklıklarda beklenen iklim zararlarının seviyesi, yüksek sıcaklıklarda hasar seviyesi ve iskonto oranı gibi dört büyük belirsizliğin ileriki dönemlerde çok daha büyük etkilere işaret edebileceğini tespit ederek, SCC yeniden incelemiş ve analizi yapılmıştır [16]. Nordhaus W. yaptığı çalışmada, güncellenmiş bir entegre değerlendirme modeli olan DICE-2013R modelini kullanarak SCC'yi tahmin etmektedir. ABD de SCC nin, 2050'ye kadar olan süre boyunca yılda ortalama %3 oranında büyüyeceğini tahmin etmektedir [17]. Tol R. S.J. yaptığı çalışmada, iklim değişikliğinin ekonomik etkisine ilişkin literatürü incelemiştir. Çalışmada ek olarak iklim değişikliğinin insan refahı üzerindeki etkisini tahmin etmek için farklı yöntemler kullanılmıştır [18]. Anthoff D. ve Tol R. S.J. çalışmalarında, iklim değişikliğinin ekonomik etkisini literatürdeki diğer

modellerden daha ayrıntılı bir şekilde inceleyen bir model olan FUND ile tahmin edildiği, karbonun sosyal maliyetinin etkileyen parametreleri analiz etmişlerdir. Kullanılan analizdeki bazı parametreler özellikle kısa vadede etkili iken, diğer parametreler uzun vadede etkilidir [19]. Tseng S. C. ve Hung S. W. yaptıkları çalışmada, bir tedarik zinciri ağının işletilmesinden kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının neden olduğu hem operasyonel maliyetleri hem de sosyal maliyetleri dikkate alan bir karar verme modeli önermektedirler. Bu model, bir hazır giyim imalat tedarik zinciri ağında farklı senaryolar altında karbondioksit emisyonlarını ve işletme maliyetlerini değerlendirmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, karbondioksit emisyonlarının sosyal maliyet oranı ne kadar yüksek olursa, karbondioksit emisyon miktarının o kadar düşük olduğunu göstermiştir [20]. Mier M., Adelowo J. ve Weissbart C. yaptıkları çalışmada, sosyal ve özel iskonto oranlarına bağlı CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmayı araştırmışlardır. Çalışmada, 2050 yılına kadar Avrupa elektrik piyasasının teknoloji ve emisyon karışımını belirlemek ve toplu sosyal maliyeti ölçmek için EUREGEN ile modellemeler yapmışlardır [21]. Anthoff D., Tol R. S. J. ve Yohe G. W. çalışmalarında, karbonun sosyal maliyeti incelenirken, zaman tercihi oranı ve riskten kaçınma oranı olarak iki önemli parametre üzerinde sistematik bir duyarlılık analizini yapmışlardır [22]. Hope C. yaptığı çalışmada, çeşitli emisyon senaryoları altında karbonun sosyal maliyetini en aza indiren CO<sub>2</sub> emisyonlarının yolunu bulmak için PAGE2002 modelini kullanmıştır [23]. Dedoussi I. C. vd. çalışmalarında ABD elektrik enerjisi üretiminden kaynaklanan ton CO<sub>2</sub> emisyonu başına ortak kirletici emisyonlarının maliyetini ölçmüşlerdir. Ortak kirletici karbon maliyetini (CPCC), ortak kirleticiye sebep olduğu, ABD merkezli erken ölümlerle ilişkili istatistiksel olarak ölçülmüştür [24]. Mikhailova, E. A. çalışmalarında, toprak karbonunun (C) çiftlik ölçөгündeki parasal değerinin ve SCH'nin hem Soil Survey Geographic (SSURGO) veri tabanını hem de saha ölçümlerini kullanarak önlenen CO<sub>2</sub> emisyonlarının sosyal maliyetine dayalı olarak haritalanmasının yapmışlardır [25]. Guo J. vd. yaptıkları çalışmada, karbonun sosyal maliyeti üzerinde iskonto oranının etkisini ve bir tondan yayılan karbondan kaynaklanan sosyal zararı incelemişlerdir. FUND 2.8 entegre değerlendirme modelini kullanmışlardır [26]. Johnson L. T. ve Hope C. yaptıkları çalışmada, 2010 yılında, ABD'nin verimlilik standartlarına ilişkin koyduğu kurallara bağlı olarak karbonun sosyal maliyeti (SCC) için CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmanın faydalarına ilişkin tahminleri incelemişlerdir [27]. Mandell S. yaptığı çalışmada, sosyal maliyet yaklaşımının gölge fiyat yaklaşımına dikkat edilmesi gerektiğini tartışmaktadır [28]. Greenstone M., Kopits E. ve Wolverton A. çalışmalarında, kurumlar arası çalışma grubu tarafından düzenleyici karar vermede kullanılmak üzere bir dizi SCC tahminleri geliştirmek için kullanılan metodoloji incelenmiştir [29]. Marten A. L. ve Newbold S. C. çalışmalarında, ABD de, 2010-2050 yılları için en önemli üç sera gazının (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O) sosyal maliyetlerini tahmin etmek için MAGICC ve DICE ögelerini birleştiren basitleştirilmiş bir entegre değerlendirme modeli kullanarak incelemişlerdir [30]. Pearce D. yaptığı çalışmada, karbonun gölge fiyatı veya sosyal maliyeti, günümüzde sera gazı salınımının neden olduğu küresel artan hasar için Birleşik Krallıkta maliyet değerlendirmesini gözden geçirmekte ve maliyet ile faydaları dengelemek için kullanılan entegre değerlendirme modellerinin incelemektedir [31]. Paul, A., Beasley, B. ve Palmer K. yaptıkları çalışmada, elektrik üretiminde karbonun sosyal maliyetine (SCC) dayalı bir karbon vergisi uygulamanın, elektrik piyasaları üzerinde etkilerini incelemişlerdir. Sektördeki emisyon azaltılmasının vergi düzeyine bağlı olduğunu tahmin etmektedirler [32]. Shindell D. T. çalışmalarında, ABD de belirli bir yılda karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonlarında kademeli bir artışla bağlantılı, tahmini zararların değerlendirilmesi için yaygın olarak kullanılan metodoloji ile Sosyal Karbon Maliyetini (SCC) incelemiştir. İklim hasarları ile birlikte hava kalitesinin ekosistem ve sağlık üzerindeki etkileri araştırılmıştır [33]. Bergh J. C. J. M. v. d. ve Botzen W. J. W. çalışmalarında, karbonun sosyal maliyetini (SCC) tahmininde ihmal edilen maliyet kategorileri, iskonto ve hasar maliyetlerinin kullanılmasını incelemişlerdir [34]. Nordhaus W. D. yaptığı çalışmada, terim, ek bir ton karbondioksit emisyonunun veya eşdeğerinin neden olduğu ekonomik maliyeti temsil karbonun sosyal maliyetini (SCC) revize edilmiş bir DICE modeline (İklim ve Ekonominin Dinamik Entegre Modeli) dayalı güncellenmiş tahminler yapmıştır [35]. Wang P., Deng X. ve Zhou d., Yu, S. çalışmalarında, literatür araştırması yapılarak karbon sosyal maliyeti (SCC) için yüksek bir iklim duyarlılığına sahip bir meta analizi yapmışlardır [36].

Çalışmanın amacı, binaların ısıtılmasında elektrik kullanımının güç santrallerinde elektriğin üretimi esnasında meydana gelen emisyonların hasarlarının ortadan kaldırılması için emisyon maliyetlerini araştırmaktır. Bunun için 2030, 2040 ve 2050 yılları için sosyal emisyon maliyetleri tahminleri

hesaplanmıştır. Sosyal emisyon maliyetleri hesaplanırken % 5, % 3 ve % 2.5 ıskonto oranları temel alınmıştır. Örnek alınan binanın, TS 825 'e göre dört farklı iklim bölgesini temsilen seçilen ve elektrik tüketimi yüksek olan dört şehire bağlı ısıtma için elektrik enerjisi tüketimi hesaplanmıştır. Örnek alınan binanın ısıtılmasında kullanılan elektrik enerji ihtiyacı farklı cam türlerine göre değişimi incelenerek tespit edilmiştir. Sosyal emisyon maliyetleri bulunurken, güç santrallerinde kömür ve doğal gaz kullanılarak elektrik üretildiği kabul edilmiştir ve CO<sub>2</sub> ile NO<sub>x</sub> emisyonları dikkate alınmıştır. Bu emisyonlar elektrik üreten güç santralleri için literatürde en çok dikkat edilen emisyonlardandır. Güç santrallerinde elektrik üretilirken kullanılan yakıta bağlı olarak atmosfere salınan bu iki emisyon değeri farklılık göstermektedir. Dört iklim bölgesini temsilen İzmir, Manisa, Afyon ve Kastamonu şehirleri seçilmiştir. Binaların enerji tüketimi hesaplanırken, tek cam, çift cam, yalıtımlı cam ve üçlü cam türleri referans alınmıştır. Binaların ısıtılması ve soğutulması için önemli ölçüde elektrik kullanılmaktadır. Bu elektrik enerjisi tüketimi, binaların yapı özellikleri bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu çalışmada örnek alınan bir binada farklı pencere özellikleri ile elektrik enerjisi ne ölçüde azalacağı araştırılmıştır. Binalarda kullanılan elektriği üreten güç santralleri bu işlem sırasında atmosfere önemli ölçüde emisyon salınımı yapmaktadırlar. Buda ekosisteme ve insan sağlığına önemli olumsuz etkiler ve hasarlar meydana getirmektedir. Bu emisyonların meydana getirdiği hasarları ve olumsuz etkiyi gidermek için yüksek miktarda maliyet oluşturmaktadır. Bu çalışmada, örnek alınan binanın cam türündeki değişiklikler ile ısınma amaçlı kullanılan elektriğin miktarının değişimi ve buna bağlı emisyonların mali değeri olarak bilinen karbon sosyal maliyetindeki (SCC) değişim incelenmiştir. Bu konu ile ilgili ülkemizde yeterli çalışma olmadığı görülmüştür. Bu çalışma ile ülkemizdeki literatüre katkı sağlanmış olacaktır. Binaların kullandıkları elektriğin güç santrallerinde üretimi sırasında, meydana gelen emisyonları ortadan kaldırmaya yönelik mali değerlerin olduğu anlatılarak, bu konuda hassasiyet ve farkındalık artırılmış olacaktır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. TS 825 göre Binaların Isıtma Enerjisi İhtiyacı Hesabı

Binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı [37,38],

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} \quad (1)$$

Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı ise,

$$Q_{ay} = [H \cdot (T_i - T_d) - \eta_{ay} \cdot (\Phi_{i-ay} - \Phi_{s-ay})] \quad (2)$$

Burada,  $T_i$  ve  $T_d$  iç ve dış ortam sıcaklıklarını,  $\eta_{ay}$  aylık ortalama kazanç kullanım faktörünü,  $\Phi_{i-ay}$  binalarda iç kazançları,  $\Phi_{s-ay}$  aylık ortalama güneş enerjisi kazancını göstermektedir. Binanın özgül ısı kaybı (H), iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı ( $H_T$ ) ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybının ( $H_V$ ) toplamıdır.

$$H = H_T + H_V \quad (3)$$

İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı,

$$H_T = \sum A \cdot U \quad (4)$$

$$\sum A \cdot U = U_d \cdot A_d + U_p \cdot A_p + U_k \cdot A_k + 0.8 U_{ta} \cdot A_{ta} + 0.5 U_{dö} \cdot A_{dö} \quad (5)$$

Burada,  $U_d$  dış duvarın ısı geçirgenlik katsayısı,  $U_p$  pencerenin ısı geçirgenlik katsayısı,  $U_k$  dış kapının ısı geçirgenlik katsayısı,  $U_{ta}$  tavanın ısı geçirgenlik katsayısı,  $U_{dö}$  zemine oturan tabanın ısı geçirgenlik katsayısını göstermektedir.  $A_d$  dış duvarın,  $A_p$  pencerenin,  $A_k$  dış kapının,  $A_{dö}$  tavanın ve  $A_{dö}$  zemine oturan tabanın alanlarını göstermektedir.

Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı,

$$H_V=0.33.n_h.V_h \quad (6)$$

Burada,  $n_h$  hava değişim oranını ( $0.7 \text{ h}^{-1}$  alınmıştır) ve  $V_h$  ise havalandırılan hacmi ( $V_h = 0.7.V_{\text{brüt}}$ ) göstermektedir. Binanın ısıtılan tüm hacmi olan brüt hacmi  $V_{\text{brüt}}$  ile temsil edilmektedir.

Konutlarda, binalarda iç kazançlar olarak birim kullanım alanı başına en fazla  $5 \text{ W/m}^2$  alınır.

$$A_n=0.32.V_{\text{brüt}} \quad (7)$$

Burada,  $A_n$  bina kullanım alanıdır.

$$\Phi_{i\text{-ay}} \leq 5.A_n \quad (8)$$

Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı,

$$\Phi_{s\text{-ay}} = \sum r_{i\text{-ay}} \cdot g_{i\text{-ay}} \cdot I_{i\text{-ay}} \cdot A_i \quad (9)$$

Burada,  $r_{i\text{-ay}}$ , “i” yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgeleme faktörünü,  $g_{i\text{-ay}}$ , “i” yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörünü,  $I_{i\text{-ay}}$ , “i” yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınımı şiddetini ve  $A_i$ , “i” yönündeki toplam pencere alanını göstermektedir.

Binalardaki iç kazançlar ve güneş enerjisi kazançlarının toplamının, ısıtma enerjisi ihtiyacının azaltılması açısından faydalı enerji olarak kabul edilmesi her zaman uygun olmaz. Çünkü ısı kazançlarının yüksek olduğu sürelerde, kazançlar anlık kayıplardan fazla olabilir veya kazançlar ısıtmanın gerekmediği zamanlarda gelebilir. İç kazançlar ve güneş enerjisi kazançları bir yararlanma faktörü ile azaltılır; bu faktörün büyüklüğü, kazançların ve kayıpların bağlı büyüklüğüne bağlıdır.

Kazanç / kayıp oranı,

$$KKO_{ay} = (\Phi_{i\text{-ay}} + \Phi_{s\text{-ay}}) / H. (T_i - T_{d\text{-ay}}) \quad (10)$$

Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü [37,38],

$$\eta_{ay} = 1 - e^{-\frac{1}{KKO_{ay}}} \quad (11)$$

## 2.2. Hesaplamalarda Kullanılan Değerler

Çalışmada, TS 825 yalıtım standardına göre örnek alınan  $22 \times 11 \times 8.4 \text{ m}$  ölçülerindeki binanın yapı kabuğunun bileşenleri katmanları Tablo 1 de verilmiştir. TS 825 de, dört iklim bölgesine temsilen seçilen ve elektrik tüketiminin yüksek olduğu şehirler için tavsiye edilen yapı kabuğu ısı geçirgenlik katsayılarına göre yapı kabuğu bileşenlerinin yalıtım kalınlıkları Tablo 2’de gösterilmiştir. Çalışmada, ısınma amaçlı kullanılan elektriği üreten güç santrallerinde kömür ve doğal gaz bağlı atmosfere salınan  $\text{CO}_2$  ve  $\text{NO}_x$  emisyonları verilmiştir. Tablo 3’te elektrik üreten güç santrallerin de farklı yakıtlara bağlı atmosfere salınan emisyonlar gösterilmiştir. Tablo ise 4’te ise farklı yakıtlar, ıskonto oranı, yıla bağlı emisyonların sosyal maliyet değerleri verilmiştir.

Tablo 1. Örnek alınan binanın yapı kabuğu bileşenleri [37,38]

Yapı Bileşeni	Elemanlar (Katmanlar)	Kalınlık (m)	Isı İletim Katsayısı (W/m.K)
Dış Duvar	Çimento harçlı şap	0.030	1.400
	Ekstrüde Polistiren Yalıtım	x	0.031
	Yatay delikli tuğlalarla yapılan duvarlar	0.190	0.330
	Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0.020	0.700
Kolon	Çimento harçlı şap	0.030	1.400
	Ekstrüde Polistiren Yalıtım	x	0.031
	Donatılı Beton	0.250	2.500
	Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0.020	0.700
Tavan	Cam Yünü Yalıtım	x	0.040
	Yalnız genişletilmiş perlit kullanılarak ve kuvarz	0.050	0.350
	Gözenekli hafif agregalar kullanılarak kuvarz	0.250	0.460
	Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0.020	0.700
Taban	Sentetik malzemeden kaplamalar	0.010	0.230
	Çimento harçlı şap	0.030	1.400
	Taş Yünü Yalıtım	x	0.040
	Yalnız genişletilmiş perlit kullanılarak ve kuvarz	0.070	0.350
	Gözenekli hafif agregalar kullanılarak kuvarz	0.250	0.460
	Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0.020	0.700
Dış Kapı			4 W/m <sup>2</sup> .K

Tablo 2. Dört iklim bölgesini temsilen seçilen şehirlerin yapı kabuğunun farklı yalıtım malzemelerine bağlı yalıtım kalınlıkları [37,38]

Bölge	Yapı Elemanı	Yalıtım Malzemesi	Yalıtım Kalınlığı (m)
1.Bölge (İzmir)	Dış Duvar	Ekstrüde Polistiren	0.060
2.Bölge (Manisa)			0.080
3.Bölge (Afyon)			0.095
4.Bölge (Kastamonu)			0.110
1.Bölge (İzmir)	Kolon-Kiriş	Ekstrüde Polistiren	0.075
2.Bölge (Manisa)			0.095
3.Bölge (Afyon)			0.110
4.Bölge (Kastamonu)			0.120
1.Bölge (İzmir)	Tavan	Cam Yünü	0.110
2.Bölge (Manisa)			0.150
3.Bölge (Afyon)			0.170
4.Bölge (Kastamonu)			0.200
1.Bölge (İzmir)	Taban/Döşeme	Taş Yünü	0.100
2.Bölge (Manisa)			0.140
3.Bölge (Afyon)			0.160
4.Bölge (Kastamonu)			0.190



Tablo 3. Elektrik üreten güç santrallerinde farklı yakıtlara bağlı atmosfere salınan emisyonlar [11,36,39,40].

Emisyon (kg/kWh)	Yakıt	
	Kömür	Doğal Gaz
CO <sub>2</sub>	0.7341	0.3561
NO <sub>x</sub>	0.0001825	0.0002547

Tablo 4. Farklı yakıtlar, iskonto oranı, öngörülen yıllara bağlı emisyonların sosyal maliyet değerleri (\$) [2,36,39,40]

Emisyon	2030			2040			2050		
	Iskonto Oranı			Iskonto Oranı			Iskonto Oranı		
	% 5	% 3	% 2.5	% 5	% 3	% 2.5	% 5	% 3	% 2.5
CO <sub>2</sub>	19	60	88	25	72	101	31	83	114
NO <sub>x</sub>	7558	22794	32392	10078	27598	38390	13197	32392	44389

\*Emisyonların sosyal maliyetleri 2017 yılı \$ fiyatlarına göre yapılmıştır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada, ısıtma enerji ihtiyacı hesaplanırken en yüksek 84745 kWh ile dördüncü İklim bölgesindeki Kastamonu ilinde tek camlı pencere için ve en düşük 14581 kWh ile birinci iklim bölgesindeki İzmir ilinde ve yalıtım camında hesaplanmıştır. En yüksek ısıtma enerjisi gereksinimi dördüncü iklim bölgesindeki Kastamonu ilinde en düşük ise birinci iklim bölgesindeki İzmir ilinde tespit edilmiştir. Dört farklı cam türü içinde en yüksek enerji tüketimine tek camlı pencerelere sahip binalarda en düşük ise yalıtım camlı pencerelere sahip binalarda olduğu görülmektedir. Bu ve diğer değerler Tablo 5'te verilmiştir. Elektrik üreten santrallerin de atmosfere salınan CO<sub>2</sub> emisyonu, kömür kullanımında 0.7341 kg/kWh iken, doğal gaz kullanımında ise 0.3561 kg/kWh dır. Kömür kullanımında CO<sub>2</sub> emisyonunda iki katından daha fazla fark bulunmaktadır. NO<sub>x</sub> emisyonunda ise, kömür kullanımında 0.0001825 kg/kWh iken, doğal gaz kullanımında ise 0.0002547 kg/kWh dır. Doğal gaz kullanımında NO<sub>x</sub> emisyonu kömürün tam tersi olarak daha fazladır. Emisyonların sosyal maliyetlerinin değeri, ileriye yönelik yıllar ve iskonto oranları artması ile artmaktadır. CO<sub>2</sub> emisyonu sosyal maliyeti NO<sub>x</sub> emisyonunun sosyal maliyetine göre çok düşüktür. Buna karşın, CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı ise NO<sub>x</sub> emisyonu miktarından çok daha fazladır. Tüm bu nedenler dikkate alındığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir.

Kömür kullanarak elektrik üreten santrallerin de atmosfere salınan CO<sub>2</sub> emisyonunun sosyal emisyon maliyetinde; 2030 yılı için %5 iskonto oranında, en yüksek 1182 ve en düşük 203.4 \$; %3 iskonto oranında, en yüksek 3732.7 ve % 2.5 iskonto oranında en düşük 642.2 \$; en yüksek 5474.6 ve en düşük 941.9 \$; 2040 yılı için %5 iskonto oranında, en yüksek 1555.3 ve en düşük 267.6 \$; %3 iskonto oranında, en yüksek 4479.2 ve en düşük 770.7 \$; en yüksek 6283.3 ve en düşük 1081.1 \$; 2050 yılı için %5 iskonto oranında, en yüksek 1928.6 ve en düşük 331.8 \$; %3 iskonto oranında, en yüksek 5163.5 ve en düşük 888.4 \$; % 2.5 iskonto oranında en yüksek 7092.1 ve en düşük 1220.2 \$ hesaplanmıştır. Bu ve diğer değerler Tablo 6'da gösterilmiştir. NO<sub>x</sub> emisyonunun sosyal emisyon maliyetinde ise; 2030 yılı için %5 iskonto oranında, en yüksek 116.9 ve en düşük 20.1 \$; %3 iskonto oranında, en yüksek 352.5 ve en düşük 60.7 \$; %2.5 iskonto oranında en yüksek 501.0 ve en düşük 86.2 \$; 2040 yılı için %5 iskonto oranında, en yüksek 155.9 ve en düşük 26.8 \$; %3 iskonto oranında, en yüksek 426.8 ve en düşük 73.4 \$; %2.5 iskonto oranında en yüksek 593.7 ve % 2.5 iskonto oranında en düşük 102.2 \$; 2050 yılı için %5 iskonto oranında, en yüksek 204.1 ve en düşük 35.1 \$; %3 iskonto oranında, en yüksek 501.0 ve en düşük 86.2; % 2.5 iskonto oranında en yüksek 686.5 ve en düşük 118.1 \$ bulunmuştur. Bu ve diğer değerler Tablo 7'de verilmiştir.

Doğal gaz kullanarak elektrik üreten santrallerin de atmosfere salınan CO<sub>2</sub> emisyonunun sosyal emisyon maliyetinde; 2030 yılı için %5 iskonto oranında, en yüksek 573.2 ve en düşük 98.7 \$; %3 iskonto oranında, en yüksek 1810.7 ve en düşük 311.5 \$; en yüksek 2655.6 ve en düşük 456.9 \$; 2040

yılı için %5 ıskonto oranında, en yüksek 754.4 ve en düşük 129.8 \$; % 3 ıskonto oranında, en yüksek 2172.8 ve en düşük 373.8 \$; % 2.5 ıskonto oranında en yüksek 3047.9 ve en düşük 524.4 \$; 2050 yılı için % 5 ıskonto oranında, en yüksek 935.5 ve en düşük 161.0 \$; % 3 ıskonto oranında, en yüksek 2504.7 ve en düşük 431.0 \$; % 2.5 ıskonto oranında en yüksek 3440.3 ve en düşük 591.9 \$ hesaplanmıştır. Bu ve diğer değerler Tablo 8’de gösterilmiştir. NO<sub>x</sub> emisyonunun sosyal emisyon maliyetinde ise; 2030 yılı için %5 ıskonto oranında, en yüksek 163.1 ve en düşük 28.1 \$; % 3 ıskonto oranında, en yüksek 492.0 ve en düşük 84.7 \$; % 2.5 ıskonto oranında en yüksek 699.2 ve en düşük 120.3 \$; 2040 yılı için %5 ıskonto oranında, en yüksek 217.5 ve en düşük 37.4 \$; % 3 ıskonto oranında, en yüksek 595.7 ve en düşük 102.5 \$; %2.5 ıskonto oranında en yüksek 828.6 ve en düşük 142.6 \$; 2050 yılı için % 5 ıskonto oranında, en yüksek 284.9 ve en düşük 49.0 \$; % 3 ıskonto oranında, en yüksek 699.2 ve en düşük 120.3; % 2.5 ıskonto oranında en yüksek 958.1 ve en düşük 164.9 \$ bulunmuştur. Bu ve diğer değerler Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 5. Seçilen farklı şehirler için ısıtma enerjisi ihtiyacı ve emisyonlar

Şehir	Cam Türü	Isıtma İhtiyacı (kWh)	Emisyonlar (ton)			
			Kömür		Doğal gaz	
			CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
İzmir	Tek Cam	24631	18.082	0.0045	8.771	0.0063
	Çift cam	15746	11.559	0.0029	5.607	0.0040
	Yalıtım camı	14581	10.704	0.0027	5.192	0.0037
	Üçlü cam	15078	11.069	0.0028	5.369	0.0038
Manisa	Tek Cam	47017	34.515	0.0086	16.743	0.0120
	Çift cam	30222	22.186	0.0055	10.762	0.0077
	Yalıtım camı	28072	20.608	0.0051	9.996	0.0071
	Üçlü cam	28543	20.953	0.0052	10.164	0.0073
Afyon	Tek Cam	64341	47.233	0.0117	22.912	0.0164
	Çift cam	41289	30.310	0.0075	14.703	0.0105
	Yalıtım camı	38427	28.209	0.0070	13.684	0.0098
	Üçlü cam	38970	28.608	0.0071	13.877	0.0099
Kastamonu	Tek Cam	84745	62.211	0.0155	30.178	0.0216
	Çift cam	54526	40.028	0.0100	19.417	0.0139
	Yalıtım camı	50809	37.299	0.0093	18.093	0.0129
	Üçlü cam	51041	37.469	0.0093	18.176	0.0130

Tablo 6. Yakıt olarak kömür ve emisyon olarak CO<sub>2</sub> için farklı iskonto oranlarına bağlı sosyal emisyon maliyeti değerleri (\$)

Şehir	Cam Türü	2030			2040			2050		
		İskonto Oranı			İskonto Oranı			İskonto Oranı		
		%5	%3	%2.50	%5	%3	%2.50	%5	%3	%2.50
İzmir	Tek Cam	343.6	1084.9	1591.2	452.0	1301.9	1826.2	560.5	1500.8	2061.3
	Çift cam	219.6	693.5	1017.2	289.0	832.3	1167.5	358.3	959.4	1317.7
	Yalıtım camı	203.4	642.2	941.9	267.6	770.7	1081.1	331.8	888.4	1220.2
	Üçlü cam	210.3	664.1	974.1	276.7	797.0	1117.9	343.1	918.7	1261.8
Manisa	Tek Cam	655.8	2070.9	3037.3	862.9	2485.1	3486.0	1070.0	2864.8	3934.7
	Çift cam	421.5	1331.2	1952.4	554.6	1597.4	2240.8	687.8	1841.4	2529.2
	Yalıtım camı	391.5	1236.5	1813.5	515.2	1483.8	2081.4	638.8	1710.4	2349.3
	Üçlü cam	398.1	1257.2	1843.9	523.8	1508.6	2116.3	649.6	1739.1	2388.7
Afyon	Tek Cam	897.4	2834.0	4156.5	1180.8	3400.8	4770.5	1464.2	3920.3	5384.5
	Çift cam	575.9	1818.6	2667.3	757.8	2182.3	3061.3	939.6	2515.8	3455.4
	Yalıtım camı	536.0	1692.6	2482.4	705.2	2031.1	2849.1	874.5	2341.4	3215.9
	Üçlü cam	543.5	1716.5	2517.5	715.2	2059.8	2889.4	886.8	2374.5	3261.3
Kastamonu	Tek Cam	1182.0	3732.7	5474.6	1555.3	4479.2	6283.3	1928.6	5163.5	7092.1
	Çift cam	760.5	2401.7	3522.4	1000.7	2882.0	4042.8	1240.9	3322.3	4563.1
	Yalıtım camı	708.7	2237.9	3282.3	932.5	2685.5	3767.2	1156.3	3095.8	4252.1
	Üçlü cam	711.9	2248.2	3297.3	936.7	2697.8	3784.4	1161.5	3109.9	4271.5

Tablo 7. Yakıt olarak kömür ve emisyon olarak NO<sub>x</sub> için farklı iskonto oranlarına bağlı sosyal emisyon maliyeti değerleri (\$)

Şehirler	Cam Türü	2030			2040			2050		
		0.05	0.03	0.025	0.05	0.03	0.025	0.05	0.03	0.025
		Iskonto Oranı			Iskonto Oranı			Iskonto Oranı		
İzmir	Tek Cam	34.0	102.5	145.6	45.3	124.1	172.6	59.3	145.6	199.5
	Çift cam	21.7	65.5	93.1	29.0	79.3	110.3	37.9	93.1	127.6
	Yalıtım camı	20.1	60.7	86.2	26.8	73.4	102.2	35.1	86.2	118.1
	Üçlü cam	20.8	62.7	89.1	27.7	75.9	105.6	36.3	89.1	122.1
Manisa	Tek Cam	64.9	195.6	277.9	86.5	236.8	329.4	113.2	277.9	380.9
	Çift cam	41.7	125.7	178.7	55.6	152.2	211.7	72.8	178.7	244.8
	Yalıtım camı	38.7	116.8	165.9	51.6	141.4	196.7	67.6	165.9	227.4
	Üçlü cam	39.4	118.7	168.7	52.5	143.8	200.0	68.7	168.7	231.2
Afyon	Tek Cam	88.7	267.7	380.4	118.3	324.1	450.8	155.0	380.4	521.2
	Çift cam	57.0	171.8	244.1	75.9	208.0	289.3	99.4	244.1	334.5
	Yalıtım camı	53.0	159.9	227.2	70.7	193.5	269.2	92.5	227.2	311.3
	Üçlü cam	53.8	162.1	230.4	71.7	196.3	273.0	93.9	230.4	315.7
Kastamonu	Tek Cam	116.9	352.5	501.0	155.9	426.8	593.7	204.1	501.0	686.5
	Çift cam	75.2	226.8	322.3	100.3	274.6	382.0	131.3	322.3	441.7
	Yalıtım camı	70.1	211.4	300.4	93.4	255.9	356.0	122.4	300.4	411.6
	Üçlü cam	70.4	212.3	301.7	93.9	257.1	357.6	122.9	301.7	413.5

Tablo 8. Yakıt olarak doğal gaz ve emisyon olarak CO<sub>2</sub> için farklı iskonto oranlarına bağlı sosyal emisyon maliyeti değerleri (\$)

Şehirler	Cam Türü	2030			2040			2050		
		0.05	0.03	0.025	0.05	0.03	0.025	0.05	0.03	0.025
		Iskonto Oranı			Iskonto Oranı			Iskonto Oranı		
İzmir	Tek Cam	166.7	526.3	771.9	219.3	631.5	885.9	271.9	728.0	999.9
	Çift cam	106.5	336.4	493.4	140.2	403.7	566.3	173.8	465.4	639.2
	Yalıtım camı	98.7	311.5	456.9	129.8	373.8	524.4	161.0	431.0	591.9
	Üçlü cam	102.0	322.2	472.5	134.2	386.6	542.3	166.4	445.6	612.1
Manisa	Tek Cam	318.1	1004.6	1473.4	418.6	1205.5	1691.0	519.0	1389.6	1908.7
	Çift cam	204.5	645.7	947.1	269.1	774.9	1087.0	333.6	893.3	1226.9
	Yalıtım camı	189.9	599.8	879.7	249.9	719.7	1009.6	309.9	829.7	1139.6
	Üçlü cam	193.1	609.8	894.4	254.1	731.8	1026.6	315.1	843.6	1158.7
Afyon	Tek Cam	435.3	1374.7	2016.2	572.8	1649.7	2314.1	710.3	1901.7	2611.9
	Çift cam	279.4	882.2	1293.9	367.6	1058.6	1485.0	455.8	1220.4	1676.1
	Yalıtım camı	260.0	821.0	1204.2	342.1	985.2	1382.1	424.2	1135.8	1560.0
	Üçlü cam	263.7	832.6	1221.2	346.9	999.2	1401.6	430.2	1151.8	1582.0
Kastamonu	Tek Cam	573.4	1810.7	2655.6	754.4	2172.8	3047.9	935.5	2504.7	3440.3
	Çift cam	368.9	1165.0	1708.7	485.4	1398.0	1961.1	601.9	1611.6	2213.5
	Yalıtım camı	343.8	1085.6	1592.2	452.3	1302.7	1827.4	560.9	1501.7	2062.6
	Üçlü cam	345.3	1090.5	1599.5	454.4	1308.7	1835.7	563.4	1508.6	2072.0

Tablo 9. Yakıt olarak doğal gaz ve emisyon olarak NO<sub>x</sub> için farklı ıskonto oranlarına bağlı sosyal emisyon maliyeti değerleri (\$)

Şehirler	Cam Türü	2030			2040			2050		
		0.05	0.03	0.025	0.05	0.03	0.025	0.05	0.03	0.025
		İskonto Oranı			İskonto Oranı			İskonto Oranı		
İzmir	Tek Cam	47.4	143.0	203.2	63.2	173.1	240.8	82.8	203.2	278.5
	Çift cam	30.3	91.4	129.9	40.4	110.7	154.0	52.9	129.9	178.0
	Yalıtım camı	28.1	84.7	120.3	37.4	102.5	142.6	49.0	120.3	164.9
	Üçlü cam	29.0	87.5	124.4	38.7	106.0	147.4	50.7	124.4	170.5
Manisa	Tek Cam	90.5	273.0	387.9	120.7	330.5	459.7	158.0	387.9	531.6
	Çift cam	58.2	175.5	249.3	77.6	212.4	295.5	101.6	249.3	341.7
	Yalıtım camı	54.0	163.0	231.6	72.1	197.3	274.5	94.4	231.6	317.4
	Üçlü cam	54.9	165.7	235.5	73.3	200.6	279.1	95.9	235.5	322.7
Afyon	Tek Cam	123.9	373.5	530.8	165.2	452.3	629.1	216.3	530.8	727.4
	Çift cam	79.5	239.7	340.6	106.0	290.2	403.7	138.8	340.6	466.8
	Yalıtım camı	74.0	223.1	317.0	98.6	270.1	375.7	129.2	317.0	434.5
	Üçlü cam	75.0	226.2	321.5	100.0	273.9	381.0	131.0	321.5	440.6
Kastamonu	Tek Cam	163.1	492.0	699.2	217.5	595.7	828.6	284.9	699.2	958.1
	Çift cam	105.0	316.6	449.9	140.0	383.3	533.2	183.3	449.9	616.5
	Yalıtım camı	97.8	295.0	419.2	130.4	357.1	496.8	170.8	419.2	574.4
	Üçlü cam	98.3	296.3	421.1	131.0	358.8	499.1	171.6	421.1	577.1

#### 4. SONUÇ

Çalışmada, yapılan tüm hesaplamalar ve incelemeler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. En yüksek elektrik enerjisi tüketimi ve buna bağlı emisyon miktarı tek camlı pencerelere sahip binalarda meydana gelirken en düşük ise yalıtım camlı pencerelere sahip binalarda görülmektedir. İklim bölgesi en sıcak olan birimci iklim bölgesinden en soğuk olan dördüncü iklim bölgesine doğru gidildikçe ısıtma amaçlı elektrik tüketimi önemli ölçüde artmaktadır.

Hem kömür hem de doğal gaz kullanarak elektrik üreten güç santrallerinde CO<sub>2</sub> emisyonunun sosyal emisyon maliyeti; NO<sub>x</sub> emisyonunun sosyal emisyon maliyetinden çok daha fazladır. Ön görüşü yapılan yıllar 2030'dan 2050 doğru ilerledikçe her iki emisyon için sosyal emisyon maliyet değerleri de artmaktadır. İskonto oranları artması ile her iki emisyon için sosyal emisyon maliyet değerleri de artmaktadır.

Elektrik üretimi sırasında kömür kullanan güç santrallerinde, CO<sub>2</sub> emisyonu için sosyal emisyon maliyeti en yüksek 2050 yılı ve % 2.5 iskonto oranında, dördüncü iklim bölgesindeki Kastamonu ilinde ve tek camlı pencerelere sahip binalarda 7092.089 \$ ve en düşük ise birinci iklim bölgesindeki İzmir ilinde yalıtım camlı pencerelere sahip binalarda, 2030 yılı ve % 5 iskonto oranında 203.4 \$ olarak hesaplanmıştır. NO<sub>x</sub> için sosyal emisyon maliyeti aynı özelliklerde 686.5 \$ ve en düşük ise aynı özelliklerde, 20.1 \$ olarak tespit edilmiştir.

Elektrik üretimi sırasında doğal gaz kullanan güç santrallerinde, CO<sub>2</sub> emisyonu için sosyal emisyon maliyeti en yüksek 2050 yılı ve % 2.5 iskonto oranında, dördüncü iklim bölgesindeki Kastamonu ilinde ve tek camlı pencerelere sahip binalarda 34403 \$ ve en düşük ise birinci iklim bölgesindeki İzmir ilinde yalıtım camlı pencerelere sahip binalarda, 2030 yılı ve % 5 iskonto oranında 98.7 \$ olarak bulunmuştur. NO<sub>x</sub> için sosyal emisyon maliyeti aynı özelliklerde 958.1 \$ ve en düşük ise aynı özelliklerde, 28.1 \$ olarak tespit edilmiştir.

Binalarda tek camlı pencerelerin kullanılması çalışmada da görüleceği gibi ısıtma amaçlı elektrik enerjisi tüketimini çok yüksek miktarda arttırmaktadır. Tek camlı pencerelerin kullanılması ile binalardan dış ortama olan ısı kaybı çok yüksek miktarda meydana gelmektedir. Bu da ısınma amaçlı elektrik tüketimini, güç santrallerindeki elektrik üretimindeki CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları, buna bağlı olarak sosyal karbon maliyetini (SCC) arttırmaktadır. Elektrik enerjisi tüketim, emisyon değerleri ve sosyal emisyon maliyetlerinde; tek camlı pencerelere sahip binalar ile yalıtım camlı pencerelere sahip binalar arasında %93 oranına varan farklar olduğu çalışma sonucu görülmüştür.

Güç santrallerinde elektrik üretimi sırasında kömür kullanımı doğal gaz kullanımına göre % 48.5 oranında daha yüksek miktarda atmosfere CO<sub>2</sub> emisyonu salınımı yapmaktadır. Buna karşılık, NO<sub>x</sub> emisyonu % 39.5 oranında daha düşük miktarda atmosfere salınım yapmaktadır. Gelecekteki çalışmalarda, elektrik üreten güç santrallerinden salınan farklı emisyonların miktarları ve bu emisyonlar için sosyal emisyon maliyetleri araştırılacaktır. Bu konuda ülkemizin Avrupa ülkelerindeki yeri incelenecektir.

#### REFERANSLAR

- [1] Mirici, M. E., Berberoğlu, S., Gültekin, E., Küresel Bir Çıkamaz Olarak Karbon Emisyonları ve Karbonun Sosyal Maliyeti (SCC), ISUEP2018 Uluslararası Kentleşme ve Çevre Sorunları Sempozyumu, 28-30 Haziran 2018, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
- [2] Paul, I., Howard, P., Schwartz, J. A., The Social Cost of Greenhouse Gases and State Policy, The Institute for Policy Integrity (Policy Integrity) at New York University School of Law, November 1, 2017, USA.
- [3] Tunahan, H., (2010). "Küresel İklim Değişikliğini Azaltmanın Bir Yolu Olarak Karbon Finansmanı", Muhasebe ve Finansman Dergisi, 46, 199-215.

- [4] Mirici, M. E., Berberoğlu, S., İklim Değişimi Çerçevesinde Karbon Ekonomisi, Karbonun Sosyal Maliyeti (SCC) ve RICE Modeli, IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK'2017, 5-7 Temmuz 2017, İstanbul, Türkiye.
- [5] Shirizadeh, B., Quirion, P., (2022). "The importance of renewable gas in achieving carbon-neutrality: Insights from an energy system optimization model", *Energy*, 255, 124503. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124503>
- [6] Khanna, M., Chen, X., Wang, W., Oliver, A., (2022) "Repeal of The Clean Power Plan: Social cost and Distributional Implications", *The American Journal of Agricultural Economics*, 104, 1, 33–51.
- [7] Kon, O., Caner, İ., An Investigation of the greenhouse gas emissions in european countries buildings according to the Life-Cycle, 5th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech) 23-26.09.2020, Island of Brac, Croatia. <https://doi: 10.23919/splitech49282.2020.9243747>
- [8] Kon, O., Caner, İ., Investigation the Effects of reducing heat transfer coefficients of building envelope on global warming in Turkey, 10th International 100% Renewable Energy Conference, 4-6.06.2020, İstanbul, Türkiye
- [9] Mirici, M. E., Küresel İklim Değişikliği Çerçevesinde Doğu Akdeniz Bölgesi Ekosistem Hizmetlerinin Karbon Temelli Modellenmesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2017, Adana, Türkiye
- [10] Kon, O., Caner, İ., (2022). "Investigation of electricity produced in power plants and used for cooling buildings with a life cycle approach of carbon capture and storage technology", *Journal of New Results in Science* 11,1, 77-90. <https://doi.org/10.54187/jnrs.1096681>
- [11] deLlano-Paz, F., Calvo-Silvosa, A., Antelo, S. I., Soares, I., (2018). "Power generation and pollutant emissions in the European Union: A mean-variance model", *Journal of Cleaner Production*, 181, 123-135. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.108>
- [12] Kon, O., Caner, İ., (2021) "Calculation of energy consumption and emissions of buildings in capitals of european with the degree-day method", *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, 6, 4, 143–155. <https://doi.org/10.14744/jscmt.2021.03>
- [13] Ghaith, A. F., Epplin, F. M. (2017). "Consequences of a carbon tax on household electricity use and cost, carbon emissions, and economics of household solar and wind", *Energy Economics*, 67, 159-168. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.08.012>
- [14] Stern, N., Stiglitz J. E., *The Social Cost of Carbon, Risk, Distribution, Market Failures: An Alternative Approach*, Working Paper 28472, National Bureau of Economic Research, February 2021.
- [15] Tol, R. S. J., (2008). *The Social Cost of Carbon: Trends, Outliers and Catastrophes*". *Economics*, 2, 2008-25. <http://dx.doi.org/10.5018/economics-ejournal.ja.2008-25>
- [16] Ackerman, F., Stanton, E. A., (2012). "Climate Risks and Carbon Prices: Revising the Social Cost of Carbon", *Economics*, 6, 2012-10. <http://dx.doi.org/10.5018/economics-ejournal.ja.2012-10>
- [17] Nordhaus, W., (2014) "Estimates of the Social Cost of Carbon: Concepts and Results from the DICE-2013R Model and Alternative Approaches", *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists* , JAERE, 1, 1/2. <http://dx.doi.org/10.1086/676035>
- [18] Tol, R. S.J., (2011). "The Social Cost of Carbon", *Annual Review of Resource Economics*, 3, 419-443. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-083110-120028>
- [19] Anthoff, D., Tol, R. S.J., (2011). *The Uncertainty about the Social Cost of Carbon: A Decomposition Analysis Using FUND*. Working Paper 404, August 2011.
- [20] Tseng, S. C., Hung, S. W., (2014). "A strategic decision-making model considering the social costs of carbon dioxide emissions for sustainable supply chain management", *Journal of Environmental Management*, 133, 315-322. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.11.023>



- [21] Mier, M., Adelowo, J., Weissbart, C. (2021). "Taxation of carbon emissions and air pollution in intertemporal optimization frameworks with social and private discount rates", Working Paper 360, ifo Institute - Leibniz Institute for Economic Research at the University of Munich.
- [22] Anthoff, D., Tol, R. S. J., Yohe, G. W., (2009). "Risk aversion, time preference, and the social cost of carbon", *Environmental Research Letters*, 4, 024002. <http://doi:10.1088/1748-9326/4/2/024002>
- [23] Hope, C., (2008). "Optimal carbon emissions and the social cost of carbon over time under uncertainty", *The Integrated Assessment Journal*, 8, 1, 107–122.
- [24] Dedoussi I. C., Allroggen F., Flanagan R., Hansen T., Taylor B., Barrett S. R. H., Boyce J. K., (2019). "The co-pollutant cost of carbon emissions: an analysis of the US electric power generation sector", *Environmental Research Letters*, 14, 094003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab34e3>
- [25] Mikhailova, E. A., Post, C. J., Schlautman, M. A., Post, G. C., Zurqani, H. A., (2020). "Determining farm-scale site-specific monetary values of soil carbon hotspots based on avoided social costs of CO<sub>2</sub> emissions", *Cogent Environmental Science*, 6, 1817289.
- [26] Guo, J., Hepburn, C. J., Tol, R. S. J., Anthoff, D., (2006). "Discounting and the social cost of carbon: a closer look at uncertainty", *Environmental Science & Policy*, 9, 205 – 2166.
- [27] Johnson, L. T., Hope, C. (2012). The social cost of carbon in U.S. regulatory impact analyses: an introduction and critique. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 2, 205–221.
- [28] Mandell, S., (2010). Carbon Emission Values in Cost Benefit Analyses, Swedish National Road and Transport Research Institute.
- [29] Greenstone, M., Kopits E., Wolverton, A., (2013). "Developing a Social Cost of Carbon for US Regulatory Analysis: A Methodology and Interpretation." *Review of Environmental Economics and Policy*, 7, 1, 23–46. <http://dx.doi.org/10.1093/reep/res015>
- [30] Marten, A. L., Newbold, S. C. (2011). "Estimating the Social Cost of Non-CO<sub>2</sub> GHG Emissions: Methane and Nitrous Oxide", NCEE Working Paper Series, Working Paper 11-01.
- [31] Pearce, D., (2003). The Social Cost of Carbon and Its Policy Implications, *Oxford Review of Economic Policy*, 19, 3. <https://doi.org/10.1093/oxrep/19.3.362>
- [32] Paul, A., Beasley, B., Palmer, K. (2013). Taxing Electricity Sector Carbon Emissions at Social Cost, Discussion Paper, RFF DP 13-23-REV
- [33] Shindell, D. T., (2015). "The social cost of atmospheric release", *Climatic Change*, 130, 313–326. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1343-0>
- [34] Bergh, J. C. J. M. v. d., Botzen, W. J. W., (2014). "A lower bound to the social cost of CO<sub>2</sub> emissions", *Nature Climate Change*, 4, 253–258. <https://doi.org/10.1038/nclimate2135>
- [35] Nordhaus, W. D., (2017). "Revisiting the social cost of carbon", *Earth, Atmospheric, And Planetary Sciences*, 31, 114, 7, 1518-1523. <https://doi.org/10.1073/pnas.1609244114>
- [36] Wang, P., Deng, X., Zhou, d., Yu, S., (2019). "Estimates of the social cost of carbon: A review based on meta-analysis", *Journal of Cleaner Production*, 209, 1494-1507. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.058>
- [37] TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standardı, Mayıs 2008.
- [38] TS 2164, Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları, Türk Standardı, Revize 2000.
- [39] Sproul, E., Barlow, J., Quinn J. C., (2019). "Time Value of Greenhouse Gas Emissions in Life Cycle Assessment and Techno-Economic Analysis", *Environmental Science and Technology*. 53, 6073–6080.
- [40] Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis, Interagency Working Group on Social Cost of Greenhouse Gases, United States Government, August 2016.

## Mixed Convection from Inclined Square Cylinder in a Square Cavity

Nazım Kurtulmuş\* 

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye.

\*nkurtulmus@atu.edu.tr

### Abstract

In this work, mixed convection from an inclined square cylinder in a cavity is numerically investigated. A commercial CFD solver Ansys Fluent is used to solve the problem. First, the inclined square cylinder is located at the center of the cavity, then the location of the cylinder is changed along the x-axis. The cavity walls are assumed to be adiabatic and the cylinder walls are assumed to be isothermal boundary condition. The Reynolds number,  $Re$  varies from 100 to 300 and the Grashof numbers,  $Gr$  range from  $10^3$  to  $10^5$  throughout the work. The working fluid is chosen as air at Prandtl number,  $Pr = 0.7$ . The Nusselt number,  $Nu$  variations, the distributions of velocity and isotherms are presented in Tables and Figures. The maximum Nusselt number,  $Nu$  is obtained as 11.47 at  $Re=300$  and  $Gr = 10^3, 10^4$  when the cylinder location is at the right place of the cavity.

**Keywords:** cavity, flow structure, heat transfer, mixed convection.

## Kaviteye Yerleştirilen Açılı Kare Silindirden Doğal ve Zorlanmış Taşınım

### Özet

Bu çalışmada, kavite içerisine yerleştirilmiş bir açı verilmiş kare silindirde meydana gelen doğal ve zorlanmış taşınım araştırılmıştır. Çözüm için ticari bir yazılım olan Ansys Fluent program kullanılmıştır. Silindir ilk etapta kavite merkezine yerleştirilmiş, daha sonra ise kavite içerisinde x eksenini boyunca farklı konumlarda bulundurulmuştur. Kavite duvarları yalıtılmış, silindir duvarları ise belli bir sıcaklıkta tutulduğu kabul edilmiştir. Reynolds sayısı 100'den 300'e, Grashof sayısı ise  $10^3$ ' den  $10^5$ ' e kadar değişmektedir. Çalışma akışkanı olarak 0,7 Prandtl sayısındaki özelliklere sahip hava tercih edilmiştir. Nusselt sayısındaki değişim, hız ve sıcaklık izotermelerindeki dağılımlar şekiller ve tablolar vasıtasıyla sunulmuştur. Maximum Nusselt sayısı  $Re$  sayısının 300 ve  $Gr$  sayısının  $10^3, 10^4$  değerlerinde, silindir konumunun kavitenin sağ kısmında bulunduğu durumda 11,47 olarak elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** akış yapısı, doğal ve zorlanmış taşınım, ısı transferi, kavite.

## 1. INTRODUCTION

The mixed convection from a square cylinder is mostly encountered in engineering applications such as cooling electronic equipment, solar collectors, etc. In this context, the topic of mixed convection from a hot cylinder placed in the square cavity attracts the attention of researchers. Chamkha et al. [1] conducted a numerical study to investigate the heat transfer and flow characteristics of a square cylinder placed in a square cavity. They implied different inlet/ outlet configurations to figure out the thermal characteristics. The Richardson number,  $Ri$  and Reynolds numbers,  $Re$  varies from 0 to 10 and 50 to 200, respectively. The results showed that the average Nusselt number,  $Nu$  of square cylinder upgrades as the Richardson and the Reynolds numbers rise. Mamun et al. [2] numerically investigated mixed convection in a square cavity in the presence of a hollow heated cylinder. The cavity was ventilated, while the walls of the cavity were adiabatic. Also, the cylinder diameter varied. They concluded that the maximum Nusselt number was obtained when the diameter of the cylinders was largest. Laidoudi [3] studied the heat transfer characteristics of two heated circular cylinders placed in a square enclosure. They claimed that the average Nusselt number,  $Nu$  increases with increasing  $Ri$  and  $Re$  numbers in the range of the study. Ali and Jalal [4] investigated natural convection from two heated circular cylinders placed in a square enclosure with different inlet and outlet ports. Both the locations of the cylinders and the inlet/outlet ports varied throughout the study, and it was seen that both of them were significant parameters that effect on the heat transfer rates. Mehrizi et al. [5] investigated mixed convection from an obstacle in a cavity in the case of the usage of nanofluid as a working fluid. The effect of the location of the inlet /outlet ports of the cavity was also examined. The  $Ri$  number varied from 0.1 to 10 and Grashof number,  $Gr$  was taken as  $10^4$ . Generally, using nanofluid as a working fluid increases the heat transfer rates; moreover, increasing the volume fraction of nanoparticles contributes to heat transfer. There are more works on hot bodies placed in a cavity [6-12].

Furthermore, researchers implied active and passive heat transfer enhancement techniques to upgrade convection in a vented cavity. Jasim et al. [13] conducted a numerical study by implying rotation to the cylinder placed in a vented cavity using a hybrid nanofluid as a working fluid. The diameter and location of the cylinder also were varied.  $Gr$  numbers range from  $10^3$  to  $10^5$  and Reynolds range from 50 to 500. Their results showed that 21% heat transfer enhancement could be reached. Hamzah et al. [14] researched the mixed convection from a heated cylinder located near the two counter-rotating cylinders in a cavity. They calculated a maximum heat transfer enhancement of 20.9%. Moayedi [15] investigated heat transfer from double-rotating cylinders in a cavity with different locations. Also, the variations of inlet and outlet ports were examined. The results showed that if the rotation direction is counterclockwise, a higher heat transfer rate was obtained than clockwise rotation. The average Nusselt number was enhanced as 56.03% with an optimum configuration. Additionally, magnetic field were also implied to improve heat transfer in cavities [16, 21]. Time-varied flow at the inlet of the cavity was applied to enhance the heat transfer rates in the literature [22,23].

This study investigates mixed convection from an inclined square cylinder in a square cavity. The location of the inclined square cylinder varies along the x-axis. The effect of Grashof number,  $Gr$  and Reynolds numbers,  $Re$  variations on the heat transfer and flow pattern is examined.

## 2. SYSTEM DESCRIPTIONS

### 2.2 Model Geometry

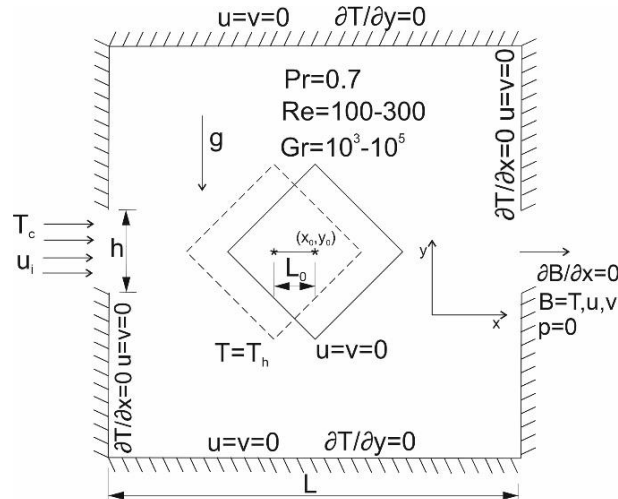


Figure 1. The schematic representations of the model

Figure 1 shows the schematic representations of the model geometry investigated. The center of the inclined square cylinder is located at the origin  $(x_0, y_0)$  of the Cartesian coordinate system in the case of  $L_0=0$ . Two other cases were examined, such as  $L_0=L/10$  and  $L_0=-L/10$ .  $L$  represents the one-side length of the square cavity. The central axis of the inlet and outlet ports are symmetrical considering the center of the Cartesian coordinate system and their length,  $h$  is taken as  $L/5$ . The walls of the cavity are assumed as adiabatic. The air as a working fluid enters the cavity from the inlet section uniformly at cold temperature,  $T_c$ . The inclined square cylinders are heated and their walls are kept at a hot temperature,  $T_h$ . The length of one side of the inclined square cylinder is taken as  $L/2.5$ . No-slip has implied all the walls of the cavity and inclined square cylinder.

### 2.2 Governing equations and solution procedure

In this work, the flow is assumed as laminar, two-dimensional, incompressible and at a steady state. Pr number is taken as 0.7. The thermophysical properties of the working fluid are constant, except the density. Boussinesq approximation was applied to the density of the working fluid. In addition, radiation and viscous dissipation are insignificant. The governing equations are as follows,

Continuity equation,

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \tag{1}$$

Momentum equations,

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \tag{2}$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \beta g (T - T_c) \tag{3}$$

Energy equation,

$$\left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = a \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \tag{4}$$

where  $a = k/\rho c_p$  dir.

The dimensionless parameters are as follows,

$$X=x/L, Y=y/L, \theta = \frac{T-T_c}{T_h-T_c}, Re = \frac{u_i L}{\nu}, Gr = \frac{g\beta(T_h-T_c)L^3}{\nu^2}, Pr = \nu / a$$

The local Nusselt number,  $Nu_y$  can be calculated as follows,

$$Nu_y = -\left(\frac{\partial\theta}{\partial Y}\right)_{Y=0} \quad (5)$$

The average Nusselt number,  $Nu_{avg}$  can be calculated as follows,

$$Nu_{avg} = \frac{1}{L} \int_{X=0}^{X=L} Nu_y dX \quad (6)$$

The boundary conditions at the inlet are  $U=1, V=0$  and  $\theta = 0$

The boundary conditions at the outlet are  $\frac{\partial U}{\partial X} = 0, \frac{\partial V}{\partial X} = 0$  and  $\frac{\partial \theta}{\partial X} = 0$  and  $P=0$

The boundary conditions at the cavity wall are  $U=0, V=0$  and  $\frac{\partial \theta}{\partial X} = 0$

The boundary conditions for an inclined square cylinder are  $U=0, V=0$  and  $\theta = 1$

A commercial CFD solver Ansys Fluent [24] is used to solve the problem. The finite volume technique was applied. A simple algorithm was selected. Second order upwind technique was used to discretized equations 1-4. Consequently, iterations were carried on until convergence criteria  $1 \times 10^{-8}$  were reached.

The mesh used in the study and the element type is illustrated in Fig. 2. In this figure, 20372 triangular elements with 11506 nodes are used. The mesh type and nodes are acceptable and verify the accuracy. Furthermore, a validation study was conducted. It was noted that the current study results agreed with the results by Lee et al. [25], who performed an analysis to investigate the convection from a heated circular cylinder in a cavity. The hot cylinder was located in a square enclosure in their study. The walls were in isothermal conditions. In the validation case, Rayleigh's number was taken as  $10^5$ . They found the mean Nusselt number as 7.76. When the same boundary conditions were applied in the current study, the mean Nusselt number was obtained as 7.86 with a 1% difference.

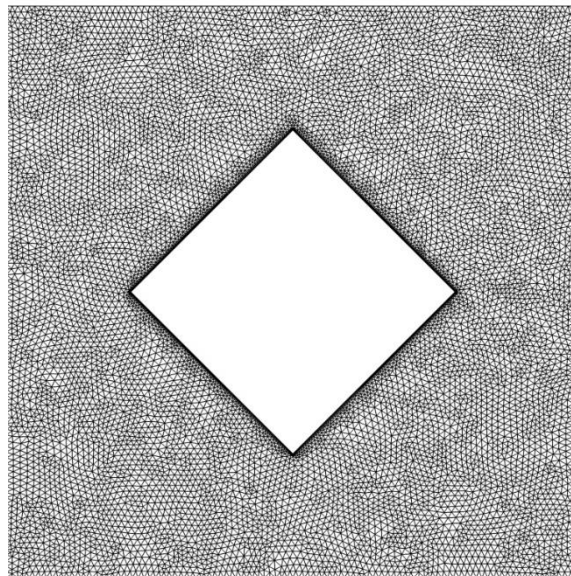


Figure 2. The triangular mesh distribution

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 indicates the Nusselt number,  $Nu$  variation with increasing Reynolds number,  $Re$  at  $Gr = 10^3$ . As seen, the Nusselt number is sensitive to the displacement of the inclined square cylinder in the cavity. The Nusselt number first decreases then increase as the body moves from left to right for all Reynolds numbers,  $Re$ .  $L_0 = L/10$  and  $L_0 = -L/10$  represent the right and left positions of the cylinders in the cavity, respectively. It is noted that the  $Nu$  number is higher in the case of  $L_0 = L/10$  than in the case of  $L_0 = -L/10$ . The highest heat transfer rate is taken place in the case of  $L_0 = -L/10$  at the Reynolds number of 300. As can be seen, the heat transfer upgrades with increasing Reynolds numbers. The effect of the increment Grashof number,  $Gr$  is evaluated in Tables 2 and 3. While any significant changes are taken place in the case of  $Gr = 10^4$ , the deterioration of heat transfer rates from the cylinders in the cavity stands out in the case of  $Gr = 10^5$ . At the Reynolds number of 100 and the location of  $L_0 = 0$ , the deterioration reaches 28% in the case of  $Gr = 10^5$  compared to the case of  $Gr = 10^4$ . The lowest Nusselt number,  $Nu$  is obtained as 4.66 for  $Re = 100$  at the cylinder's position of  $L_0 = 0$ . When the Reynolds number increases, the forced flow dominates flow structures in the cavity and consequently, the heat transfer rates upgrades. With this context, the increase rate attains 129% from 80% in the case of  $L_0 = L/10$  when the Grashof number increases from  $Gr = 10^3$  to  $Gr = 10^5$ .

Table 1.  $Nu$  number,  $Nu$  variation with increasing  $Re$  number ( $Gr = 10^3$ )

Re	$Nu (L_0 = -L/10)$	$Nu (L_0 = 0)$	$Nu (L_0 = L/10)$
100	6.32	6.16	6.37
200	9.16	8.97	9.43
300	11.06	10.79	11.47

Table 2.  $Nu$  number,  $Nu$  variation with increasing  $Re$  number ( $Gr = 10^4$ )

Re	$Nu (L_0 = -L/10)$	$Nu (L_0 = 0)$	$Nu (L_0 = L/10)$
100	6.32	6.09	6.29
200	9.17	8.96	9.42
300	11.06	10.79	11.47

Table 3.  $Nu$  number,  $Nu$  variation with increasing  $Re$  number ( $Gr = 10^5$ )

Re	$Nu (L_0 = -L/10)$	$Nu (L_0 = 0)$	$Nu (L_0 = L/10)$
100	5.72	4.66	4.79
200	9.19	8.11	8.63
300	11.14	10.68	11.34

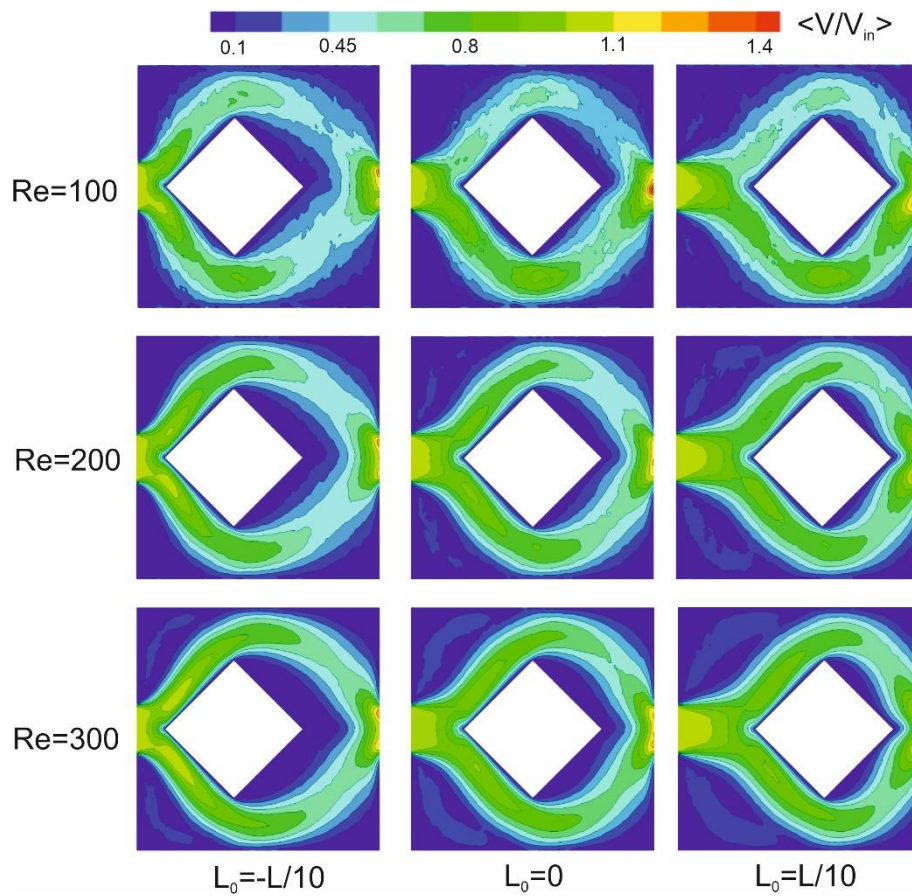


Figure 3. Velocity distributions for different configurations at  $Gr = 10^3$

The distribution of velocity in the cavity with the presence of the inclined square cylinder is seen in Figure 3 for different locations of the body at  $Gr = 10^3$ . The magnitudes of the  $\langle V/V_{in} \rangle$  can be followed by the legend at the top. When the dark blue contours represent the minimum values, the dark red represents the maximum values. The symmetry concerning the center of the cylinder in the flow pattern is seen. The flow splits when it enters the cavity from the inlet port. The bifurcated fluid follows almost the same trajectory at both sides of the inclined square cylinder and exits from the outlet port of the cavity. Besides, recirculation regions near the upper and lower corners of the cavity are formed when the fluid enters the cavity. The recirculation regions enlarge in size and the severity increases when the Reynolds numbers rise in all cases. Moreover, additional recirculating regions are taken place on the right sides of the cylinder in the cavity when the Reynolds number reaches the value of 300. The aforementioned regions occupy more area when the inclined square cylinders move from left to right.

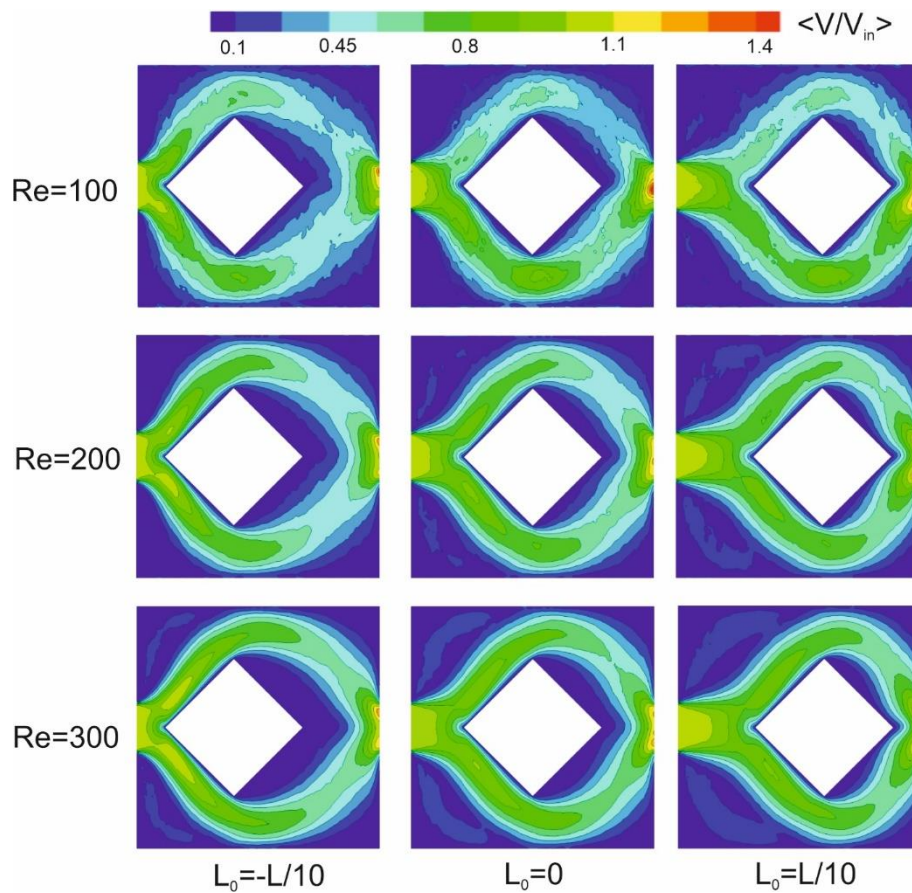


Figure 4. Velocity distributions for different configurations at  $Gr = 10^4$

The effect of the increase in the number of Grashof numbers,  $Gr$  has begun to be seen in Figure 4, especially for low Reynolds numbers. Some incoming flow is forced to the bottom side of the inclined square cylinders compared to the upper sides of the cavity at the Reynolds number of 100. However, the forced convection becomes dominant as Reynolds number increases. Namely, the symmetrical velocity distribution is taken place. The recirculating regions still exist in vicinity of the right sides of the cylinder in the cavity when the Reynolds number reaches the value of 300. It is notes they are the symmetrical concerning the center of the square cavity. These recirculating regions shrink in size when the inclined square cylinders move from left to right location of the cavity.



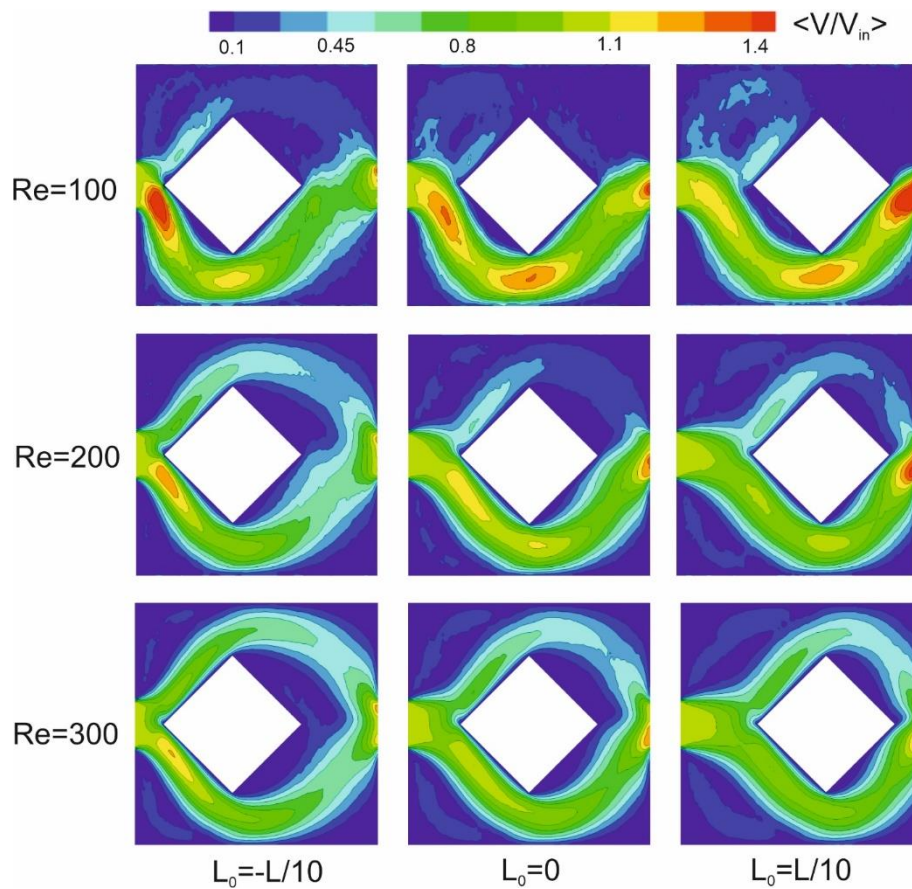


Figure 5. Velocity distributions for different configurations at  $Gr = 10^5$

The bouncy force becomes dominant at a lower Reynolds number, as seen in Figure 5. The recirculation region near the upper sides of the cavity forces the fluid to flow to the bottom side of the cavity. Almost all the fluid flows throughout the bottom side since the fluid is trapped at the upper region resulting higher pressure. Hence, the heat transfer from the top side of the inclined square cylinder decreases. It is noted there is another recirculating region near the outlet port at the upper side of the cavity. Due to the bouncy forces, a small recirculation is situated in the vicinity of the bottom side of the cylinder. On the other hand, the symmetry that was present in previous  $Gr$  numbers at Reynolds number of 300 is disappear in this case. The recirculating region near the entrance at the upper side of the cavity enlarges when the body moves from left to right. However, as the momentum of the fluid increases, fluid flows in the vicinity of the upper side of the cylinder, especially at the Reynolds number of 300. The recirculating regions taken place in the cavity are forced to shrink in size by the main flow region.

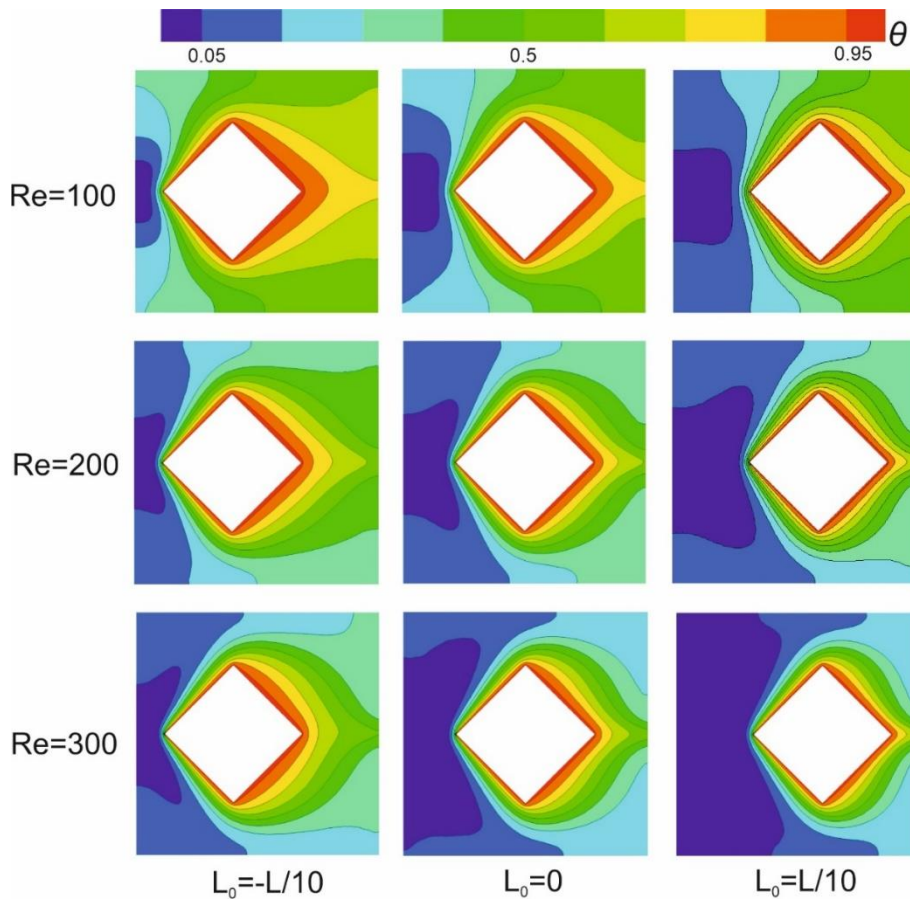


Figure 6. The distribution of isotherms for different configurations at  $Gr = 10^3$

Figure 6 depicts the distribution of isotherms for the inclined square cylinder in the cavity at  $Gr = 10^3$ . The distribution of the isotherms is symmetrical concerning the center of the cylinder in all cases. The thermal boundary layer is thinner on the left side than on the right side due to the fluid with high momentum at the front side of the cylinder. Additionally, the thermal boundary layer becomes thinner as the Reynolds number increases. The cylinder locations are essential in terms of the temperature distribution of the cavity. This occasion is also valid for the Reynolds number increments. When the Reynolds number increases, the isotherms with high values occupies lower region comparatively in the cavity.

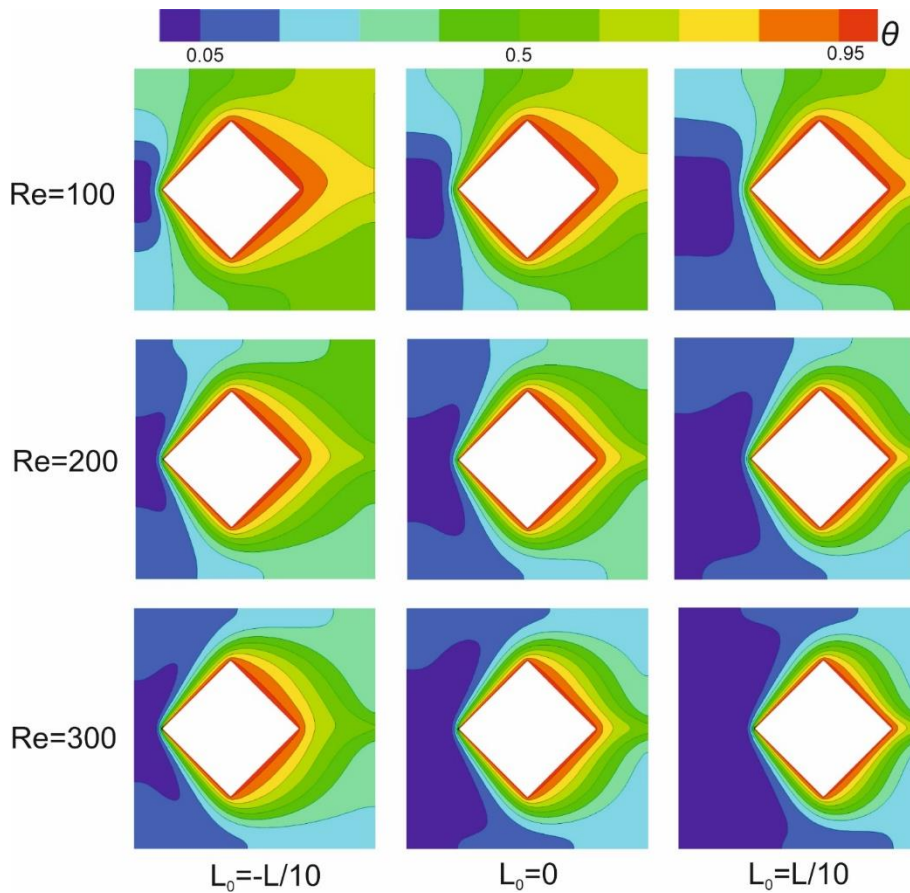


Figure 7. the distribution of isotherms for different configurations at  $Gr = 10^4$

Figure 7 reveals the contour of the isotherms in the cavity at  $Gr = 10^4$ . The effect of the Grashof number,  $Gr$  emanates especially for low Reynolds numbers. The symmetrical distribution of isotherms is dissipated in the cavity. With an increase in the Reynolds number, the symmetrical distribution is restored. Figure 8 depicts the patterns of the isotherms in the cavity at  $Gr = 10^5$ . The asymmetry is clearly seen from the contours of the temperature in the cavity at the Reynolds number of 100. Since the fluid is trapped at the upper sides of the cavity, the heat transfer rates deteriorate in this case. However, the heat transfer rates increase as the flow momentum increases with a higher Reynolds number,  $Re$ . The thermal boundary layer gets thinner as flow momentum rises.

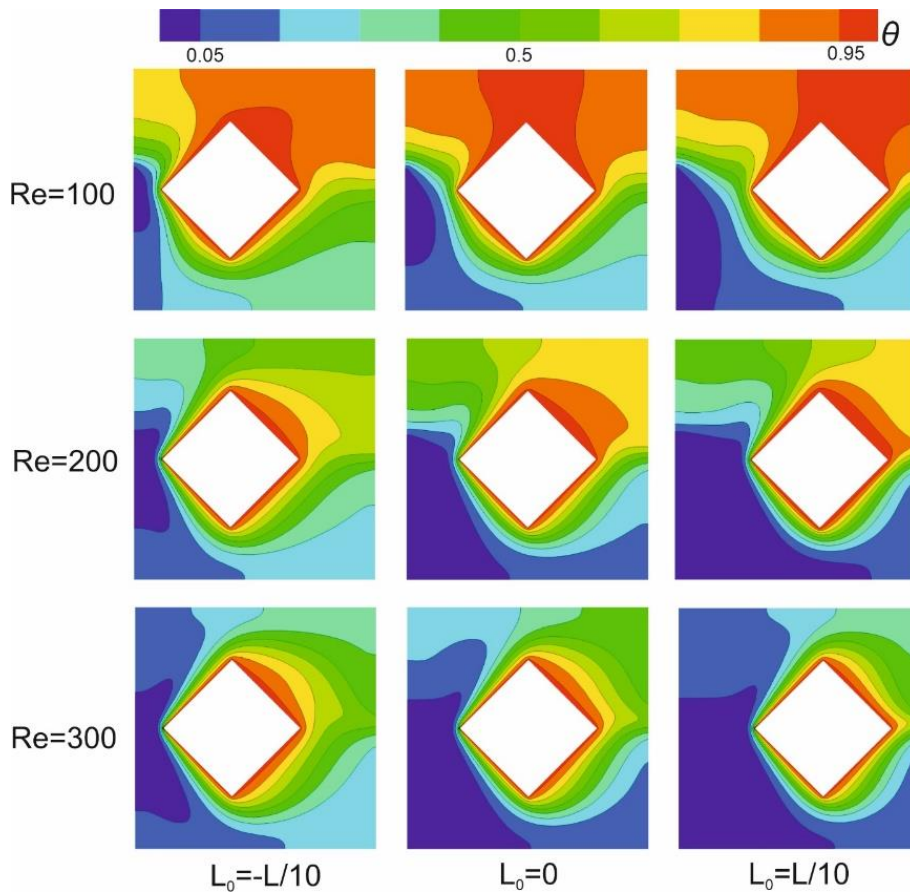


Figure 8. The distribution of isotherms for different configurations at  $Gr = 10^5$

#### 4. CONCLUSION

The heat transfer characteristics and flow structures are evaluated to investigate the mixed convection from an inclined square cylinder in a cavity. A commercial CFD solver Ansys Fluent is utilized to perform the analysis. The results showed that while the buoyancy forces considerably affect the flow structures at low Reynolds numbers, forced convection becomes dominant when the Reynolds number increases. Reynolds number is an important parameter that affects the heat transfer rates remarkably. For example, when the Reynolds number increases from 100 to 300, the heat transfer rate attains 129% in the case of  $Gr=10^5$ . While the maximum average Nusselt number,  $Nu$  is obtained as 11.47 for the case of  $L_0 = L/10$ , the minimum average Nusselt number is obtained as 4.66 for the case of  $L_0=0$ . In addition, the inclined square cylinder's location in a cavity considerably affects the flow patterns. For instance, the Nusselt number is 5.72 in the case of  $L_0 = -L/10$ . However, it declines about 18% and becomes 4.66 in the case of  $L_0 = 0$  at  $Re=100$  and  $Gr = 10^5$ .

#### REFERENCES

- [1] Ali J. Chamkha, Salam Hadi Hussain & Qusay Rashid Abd-Amer (2011). "Mixed Convection Heat Transfer of Air inside a Square Vented Cavity with a Heated Horizontal Square Cylinder." *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications* 59 (1), 58-79. DOI: 10.1080/10407782.2011.541216

- [2] M.A.H. Mamun, M.M. Rahman, M.M. Billah, R. Saidur (2010). "A numerical study on the effect of a heated hollow cylinder on mixed convection in a ventilated cavity." *International Communications in Heat and Mass Transfer* 37 (9), 1326-1334. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2010.07.019>.
- [3] H. Laidoudi (2020). "Upward flow and heat transfer around two heated circular cylinders in square duct under aiding thermal buoyancy." *Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics* 14(1), 113-123. DOI: 10.24874/jsscm.2020.14.01.10.
- [4] Mahmud H. Ali, Rawand E. Jalal (2020). "Natural convection in a square enclosure with different openings and involves two cylinders: A numerical approach." *Frontiers in Heat and Mass Transfer* 15(1), 27. DOI: 10.5098/hmt.15.27.
- [5] A. Abouei Mehrizi, M. Farhadi, H. Hassanzade Afrozi, K. Sedighi, A.A. Rabienataj Darz (2012). "Mixed convection heat transfer in a ventilated cavity with hot obstacle: Effect of nanofluid and outlet port location." *International Communications in Heat and Mass Transfer* 39 (7), 1000-1008. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2012.04.002>.
- [6] Md. Mustafizur Rahman, Salma Parvin, Md. Hasanuzzaman, Rahman Saidur & Nasrudin A. Rahim (2013). "Effect of Heat-Generating Solid Body on Mixed Convection Flow in a Ventilated Cavity." *Heat Transfer Engineering* 34 (15), 1249-1261. <https://doi.org/10.1080/01457632.2013.730919>.
- [7] Fariborz Karimi, Hongtao Xu, Zhiyun Wang, Mo Yang & Yuwen Zhang (2016). "Numerical Simulation of Steady Mixed Convection Around Two Heated Circular Cylinders in a Square Enclosure." *Heat Transfer Engineering* 37, 64-75. DOI: 10.1080/01457632.2015.1042343.
- [8] M.M. Rahman, S. Parvin, N.A. Rahim, M. Hasanuzzaman, R. Saidur (2012). "Simulation of mixed convection heat transfer in a horizontal channel with an open cavity containing a heated hollow cylinder." *Heat Transfer—Asian Research* 41, 339-353. <https://doi.org/10.1002/htj.21002>.
- [9] O.M. Ali (2022). "Effect of Horizontal Spacing on Natural Convection Heat Transfer from Two Aligned Horizontal Cylinders in a Vented Enclosure." *Arabian Journal for Science and Engineering* 47, 8257–8272. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-06259-2>.
- [10] Omar Mohammed Ali, Omar Rafae Alomar (2021). "Mixed convection heat transfer from two aligned horizontal heated cylinders in a vented square enclosure." *Thermal Science and Engineering Progress* 25, 101041. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.101041>.
- [11] Ali Omar M., Mahmood Raid A., Al-Brifkani Mohammed W (2022). "Augmentation of convection heat transfer from a horizontal cylinder in a vented square enclosure with variation of lower opening size." *Thermal Science* 26 (3), 2027-2041. <https://doi.org/10.2298/TSCI201119176A>.
- [12] T.V. Radhakrishnan, A.K. Verma, C. Balaji, S.P. Venkateshan (2007). "An experimental and numerical investigation of mixed convection from a heat generating element in a ventilated cavity." *Experimental Thermal and Fluid Science* 32 (2), 502-520. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2007.06.001>.
- [13] Laith M. Jasim, Hudhaifa Hamzah, Cetin Canpolat, Besir Sahin (2021). "Mixed convection flow of hybrid nanofluid through a vented enclosure with an inner rotating cylinder." *International Communications in Heat and Mass Transfer* 121, 105086. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2020.105086>.
- [14] Hudhaifa Hamzah, Cetin Canpolat, Laith M. Jasim, Besir Sahin (2021). "Hydrothermal index and entropy generation of a heated cylinder placed between two oppositely rotating cylinders in

- a vented cavity." *International Journal of Mechanical Sciences* 201, 106465. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2021.106465>.
- [15] Hesam Moayed (2021). "Investigation of heat transfer enhancement of Cu-water nanofluid by different configurations of double rotating cylinders in a vented cavity with different inlet and outlet ports." *International Communications in Heat and Mass Transfer* 126, 105432. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2021.105432>.
- [16] Harun Zontul, Hudhaifa Hamzah, Besir Sahin (2021). "Impact of periodic magnetic source on natural convection and entropy generation of ferrofluids in a baffled cavity." *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow* 31 (12), 3547-3575. <https://doi.org/10.1108/HFF-10-2020-0671>.
- [17] Fatih Selimefendigil, Hakan F. Öztıp (2022). "Thermal management and performance improvement by using coupled effects of magnetic field and phase change material for hybrid nanoliquid convection through a 3D vented cylindrical cavity." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 183, 122233. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.122233>.
- [18] B. Pekmen Geridönmez, H.F. Öztıp (2021). "Effects of partial magnetic field in a vented square cavity with aiding and opposing of MWCNT–water nanofluid flows." *Engineering Analysis with Boundary Elements* 133, 84-94. <https://doi.org/10.1016/j.enganabound.2021.08.024>.
- [19] Fatih Selimefendigil, Hakan F. Öztıp (2019). "Fluid-solid interaction of elastic-step type corrugation effects on the mixed convection of nanofluid in a vented cavity with magnetic field." *International Journal of Mechanical Sciences* 152, 185-197. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2018.12.044>.
- [20] A. Purusothaman, H.F. Oztop, N. Nithyadevi, Nidal H. Abu-Hamdeh (2016). "3D natural convection in a cubical cavity with a thermally active heater under the presence of an external magnetic field." *Computers & Fluids* 128, 30-40. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2016.01.011>.
- [21] Aissa Abderrahmane, Umar F. Alqsair, Kamel Guedri, Wasim Jamshed, Nor Ain AzeanyMohd Nasir, Hasan Sh. Majdi, Shaghayegh Baghaei, Abed Mourad, Riadh Marzouki, (2022). "Analysis of mixed convection of a power-law non-Newtonian nanofluid through a vented enclosure with rotating cylinder under magnetic field." *Annals of Nuclear Energy* 178,109339. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2022.109339>.
- [22] Fatih Selimefendigil, Hakan F. Öztıp (2014). "Numerical investigation and dynamical analysis of mixed convection in a vented cavity with pulsating flow." *Computers & Fluids* 91, 57-67. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2013.11.033>.
- [23] Fatih Selimefendigil, Hakan F. Öztıp (2015). "Effects of phase shift on the heat transfer characteristics in pulsating mixed convection flow in a multiple vented cavity." *Applied Mathematical Modelling* 39 (13), 3666-3677. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2014.11.065>.
- [24] Fluent A.N.S.Y.S (2018), "ANSYS fluent manual.
- [25] J.M. Lee, M.Y. Ha, H.S. Yoon (2010). "Natural convection in a square enclosure with a circular cylinder at different horizontal and diagonal locations." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 53, 5905-5919. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2010.07.043>.