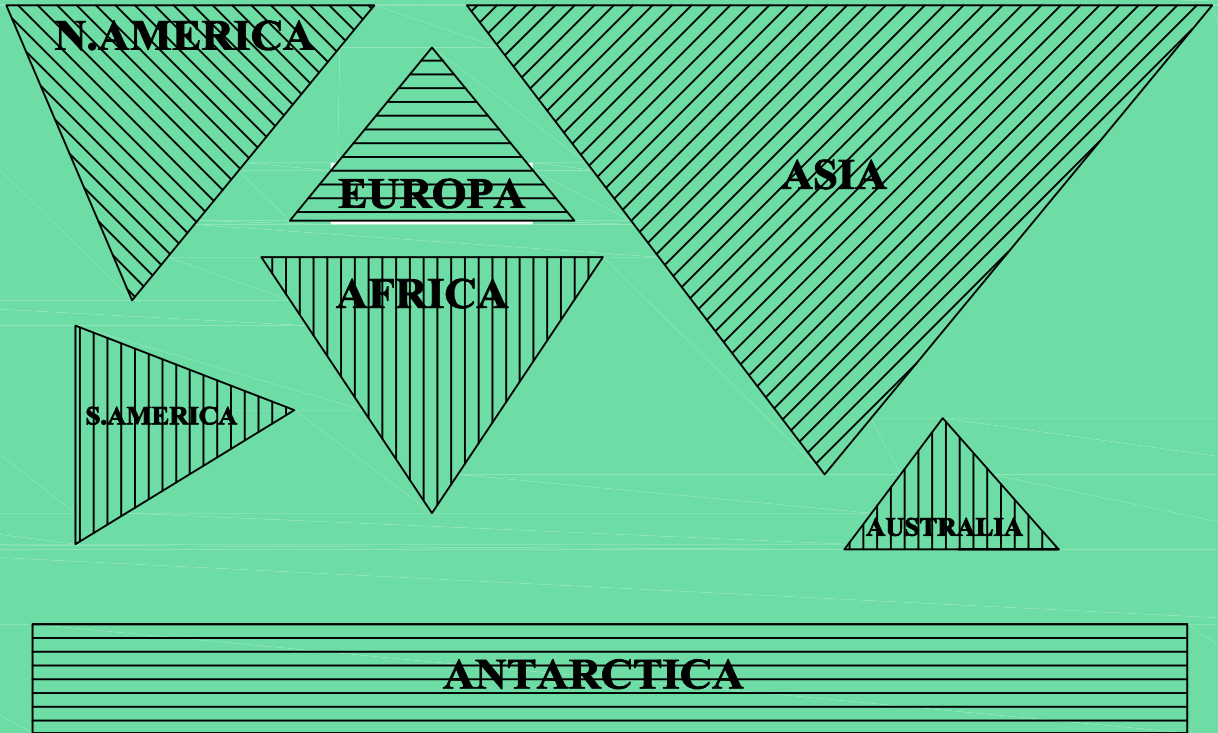


SCIENNOVATION

A JOURNAL OF STRUCTURAL SCIENCE AND INNOVATION

CURRENT ISSUES

- | | |
|---|----------------|
| Rize Timisvat Köprüsünün Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Dinamik Analizi
<i>Bayram Ali Öksüz</i> | 1 - 8 |
| Ay Yüzeyinde Betonarme Yapı Analizi
<i>Abdullah Serdaroğlu</i> | 9 - 14 |
| Betonarme Binalarda Kat Yüksekliği İle Donatı Oranı İlişkisi
<i>Moneef Mazen Al Alie</i> | 15 - 19 |
| Grafen Katkılı Harçların Mekanik Özelliklerinin Araştırılması
<i>Tuğba Keskin</i> | 20 - 25 |
| Yapı Mühendisliğinde Blok Zinciri Uygulamaları
<i>Ali Gürbüz</i> | 26 - 31 |





Dergi Kurulları

İmtiyaz Sahibi

Ali GÜRBÜZ

Onursal Editör

Uğur ERSOY

Editörler

Ali GÜRBÜZ
Zeliha TONYALI

Yayın Danışma Kurulu



•Adem DOĞANGÜN

adogangun@uludag.edu.tr

ULUDAG UNIVERSITY



•Alper İLKİ

ailki@itu.edu.tr

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY



•Burcu Burak BAKIR

bburcu@metu.edu.tr

MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY

Yayın Danışma Kurulu (Devam)



•**Didem ÖZEVİN**

dozevin@uic.edu

UNIVERSITY OF ILLINOIS



•**Güzin ALÇURA AKYILDIZ**

akyildiz@yildiz.edu.tr

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY



•**Habib UYSAL**

huysal@atauni.edu.tr

ATATURK UNIVERSITY



•**Hakan YALÇINER**

hakan.yalciner@emu.edu.tr

ERZINCAN BINALI YILDIRIM UNIVERSITY



•**Ivica ZAVRSKI**

zavrski@grad.hr

UNIVERSITY OF ZAGREB

Yayın Danışma Kurulu (Devam)



•İhsan E. BAL

i.e.bal@pl.hanze.nl

HANZE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCE



•Kurtuluş SOYLUK

k.soyluk@gazi.edu.tr

GAZI UNIVERSITY



•Mehmet H. OMURTAG

omurtagm@itu.edu.tr

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY



•Murat SAATÇIOĞLU

murat.saatcioglu@uottawa.ca

UNIVERSITY OF OTTAWA



•Mustafa S. ALTINAKAR

altinakar@ncche.olemiss.edu

THE UNIVERSITY OF MISSISSIPPI

Yayın Danışma Kurulu (Devam)



Serkan BEKİROĞLU

serkanb@yildiz.edu.tr

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY



•Şakir ERDOĞDU

shake@ktu.edu.tr

KARADENİZ TECHNICAL UNIVERSITY



•Şevket ATEŞ

sates@ktu.edu.tr,

KARADENİZ TECHNICAL UNIVERSITY



•Uğur ERSOY

ugur.ersoy@boun.edu.tr

BOGAZICI UNIVERSITY



•Yücel SAYGIN

•ysaygin@sabaciuni.edu

SABANCI UNIVERSITY



Dergi Hakkında

SCIENNOVATION, "Yapı mühendisliği" alanındaki uluslararası bilimsel gelişmeleri konu alan açık erişimli ve uluslararası hakemli bir dergidir. Biri Türkçe diğeri İngilizce olmak üzere yılda iki sayıyı elektronik ortamda yayınlamaktadır.

Eylül sayısında "Türkçe" makalelere, Mart sayısında ise "İngilizce" makalelere yer verilmektedir.

Sciennovation'da yayımlanacak çalışmalar için 15 gün ön değerlendirme ve 15 gün bilimsel değerlendirme süresi vardır. Her bir sürenin sonunda, kabul veya reddedilme gerekçeleri hakkında yazar bilgilendirilecektir.

MAKALE TÜRLERİ

Sciennovation'da genel prensip olarak dört tür makale yayımlanmaktadır. Bunlar "araştırma makale", "teknik not", "derleme makale" ve "fikir yazısı" dır. Bunların haricinde ihtiyaç doğması halinde zaman zaman yayın kurulunun kaleme aldığı "editorial" makalelere yer verilebilmektedir. Yayımlanan her makalenin künyesinde; hangi tür makale olduğu açıkça ifade edilmektedir.

Teknik Not (Thecnical Note)

Bilimsel bir çalışmanın ön değerlendirme sonuçları "teknik not" olarak yayımlanabilir. Yayın Kurulu tarafından araştırma makalesi olarak kabul edilmeyen gönderilerde "teknik not" olarak yayımlanabilmektedir.

Araştırma Makalesi (original research)

Sciennovation'da yayımlanacak araştırma makalelerinde aşağıdaki üç yeterlilikten birini taşıması istenecektir. Bunlar sırasıyla;

"yeni bir bilgi veya yöntem tanıtmak",

"Mevcut bir bilgi veya yöntemi literatüre katkı sağlayacak şekilde geliştirmek",

"Mevcut bir bilgiyi veya yöntemi farklı bir alanda tekrar kullanmak".

Derleme(Review Article)

Derleme makaleler özgün bir araştırmayı konu almamakla birlikte, ele alınan konu ile ilgili mevcut literatürü ayrıntılı biçimde ortaya koyar. Mevcut çalışmaların sonuçlarından yararlanarak yeni bir sonuç çıkarır.

-Fikir Yazısı (opinion article)

Yapı mühendisliği alanındaki bilimsel ve yenilikçi görüş, öneri, deneyim ve bilimsel tartışmaları içeren makaleler "Fikir Yazısı" olarak yayımlanabilir.



Makaleler (Articles)

-
- Dynamic Analysis Of Rize Timisvat Bridge By Finite Element Method - (*Rize Timisvat Köprüsünün Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Dinamik Analizi*) / **Original Research** 1-8
-

Bayram ali Öksüz

-
- Analysis of Reinforced Concrete Structure on Moon Surface - (*Ay Yüzeyinde Betonarme Yapı Analizi*)/ **Original Research** 9-14
-

Abdullah Serdaroğlu

-
- The Relationship Between Storey Height And Reinforcement Ratio In Reinforced Concrete Buildings - *Betonarme Binalarda Kat Yüksekliği İle Donatı Oranı İlişkisi* / **Original Research** 15-19
-

Moneef Mazen Al Alie

-
- Investigation of Mechanical Properties of Graphene Additive Mortars - (*Grafen Katkılı Harçların Mekanik Özelliklerinin Araştırılması*)/ **Original Research** 20-25
-

Tuğba Keskin

-
- Blockchain Applications In Structural Engineering - (*Yapı Mühendisliğinde Blok Zinciri Uygulamaları*) / **Review Article** 26-31
-

Ali Gürbüz



SCIENNOVATION

A Journal of Structural Science and Innovation

Dynamic Analysis Of Rize Timisvat Bridge By Finite Element Method

Bayram Ali ÖKSÜZ*¹

¹Chamber of Civil Engineers, Rize, Turkey.
Corresponding Author: bay.ali_@hotmail.com.

Keywords:

*Dynamic analyze,
Stone bridges,
Historical structures*

Abstract

Historical structures serve as a bond that connects the past and the present. Stone bridges is part of the historical buildings considered as cultural heritage. Many of these historical bridges have been exposed to earthquakes over time, damaged or destroyed by disasters such as fire. Earthquakes are one of the most important external factors that cause historical buildings to be damaged. The behavior of these structures should be determined in order to prevent damage to earthquakes and protect their structural integrity and necessary precautions should be taken accordingly. Timisvat bridge is one of the historical stone structures. The bridge is one of the largest spans from the numerous historical stone arch bridges in the province of Rize. It was built with 19th century Ottoman architecture. In this study, dynamic analysis method was preferred in order to determine the current status of the bridge and to determine the earthquake behavior. Scope of this work; 3D model of the bridge was realized with ANSYS 16.0 analysis program. The bridge is modeled to consist of 3 different building elements. Duzce station records of 1999 Kocaeli earthquake and Erzincan station records of 1992 Erzincan earthquake were used for analysis. As a result of the study; For the mentioned earthquakes, compressive stresses, tensile stresses, displacement values and maximum acceleration values that can occur on the bridge were obtained. The results were interpreted with tables and graphs.

Rize Timisvat Köprüsünün Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Dinamik Analizi

Anahtar Kelimeler;

*Dinamik analiz,
Taş köprüler,
Tarihi yapılar*

Özet

Tarihi yapılar geçmiş ile günümüzü bağlayan birer bağ görevi görürler. Kültür mirası olarak kabul edilen tarihi yapıların bir kısmında taş köprüler oluşturmaktadır. Bu tarihi köprülerin birçoğu, zaman içerisinde depremlere maruz kalmış, yangın gibi afetlerden zarar görmüş ya da yıkılmıştır. Depremler tarihi yapıların hasar görmelerine sebep olan en önemli dış faktörlerdendir. Bu yapıların depremlerden en az hasar görmeleri ve yapısal bütünlüklerini korumaları için davranışlarının belirlenmesi ve buna bağlı olarak gerekli önlemlerin alınması gerekir. Timisvat köprüsü de tarihi taş yapılardan bir tanesidir. Köprü Rize ilindeki çok sayıda tarihi taş kemer köprüden en büyük açıklıklı olandır. 19.yy osmanlı mimarisi ile inşa edilmiştir. Köprünün mevcut durumunu belirlemek ve deprem davranışını ortaya koymak için bu çalışmada dinamik analiz yöntemi tercih edilmiştir. Çalışma kapsamında; köprünün 3D modeli ANSYS 16.0 analiz programı ile gerçekleştirilmiştir. Köprü; 3 farklı yapı elemanından oluşacak biçimde modellenmiştir. Analizler için 1999 Kocaeli depreminin Düzce istasyonu kayıtları ve 1992 Erzincan depreminin Erzincan istasyonu kayıtları kullanılmıştır. Çalışma neticesinde; söz konusu depremler için köprüde meydana gelebilecek basınç gerilmeleri, çekme gerilmeleri, yerdeğiştirme değerleri ve maksimum ivme değerleri elde edilmiştir. Sonuçlar tablo ve grafiklerle yorumlanmıştır.

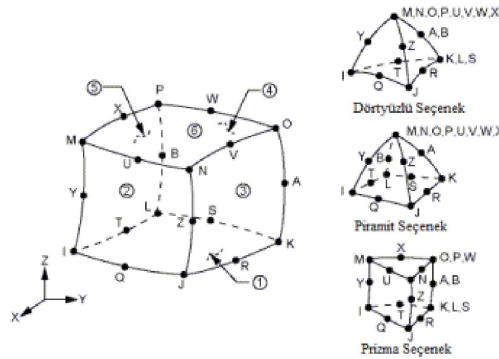
1 GİRİŞ

Tarihi yapılar ait oldukları medeniyetlerin kimliklerini oluşturur, geçmiş ile günümüzü bağlayan birer bağ görevi görürler (Türer, 2007). Yüzlerce yıllık geçmişe sahip olan bu yapıların iyi bir şekilde korunup geleceğe aktarılması gerekmektedir. Kültür mirası olarak kabul edilen tarihi yapıların bir kısmında tarihi köprüler bulunmaktadır. Bu tarihi köprülerin birçoğu, zaman içerisinde depremlere maruz kalmış, yangın gibi afetlerden zarar görmüş ya da yıkılmıştır. Depremler tarihi yapıların hasar görmelerine sebep olan en önemli dış faktörlerdendir (Erberik, 2011; Özmen ve Ark., 2014). Bu yapıların depremlerden en az hasar görmeleri ve yapısal bütünlüklerini korumaları için davranışlarının belirlenmesi ve buna bağlı olarak gerekli önlemlerin alınması gerekir (Bayraktar ve Ark., 2007). Köprülerin deprem davranışları çeşitli bilgisayar programları ile analiz edilebilmektedir (Sarica ve Ark., 2017). Bununla ilgili bugüne kadar literatürde pek çok çalışma yapılmıştır (Çabuk ve Ark., 2015). Çalışmalarda genellikle köprülerin teorik modellenmesi ve analiz çalışmaları, köprülerin doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarına yönelik çalışmalar, sonlu eleman modellerinin iyileştirilmesine yönelik deneysel ve teorik çalışmalar ile tarihi kemer köprülere yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Özmen ve Ark., 2014). Bu konuda bölgemizde yapılmış pek çok çalışma vardır (Ural, 2005) Trabzon'un Maçka ilçesi yakınlarında bulunan Coşandere (Kınalı) Köprüsünü modellemiş, statik olarak kendi ağırlığından dolayı oluşan gerilme ve şekil değiştirmeleri bularak ve modelin doğrusal elastik deprem davranışını incelenmiştir. (Bayraktar ve Ark., 2007), tarihi köprülerin deprem davranışına sonlu eleman model iyileştirilmesinin etkisini araştırmak için Trabzon'un Akçaabat ilçesinde bulunan yaklaşık 100 yıllık tarihe sahip Şinik Köprüsünü seçmiş, tarihi köprüünün sonlu elemanlar yöntemi ile üç boyutlu modal analizini yaparak doğal frekansları ve mod şekillerini belirlemiştir.

Bu çalışmada ise; Rize Timisvat köprüsü üç boyutlu sonlu elemanlar ile modellenerek doğrusal dinamik analiz çözümünden elde edilen sonuçlar ile köprüünün davranışı incelenmiştir.

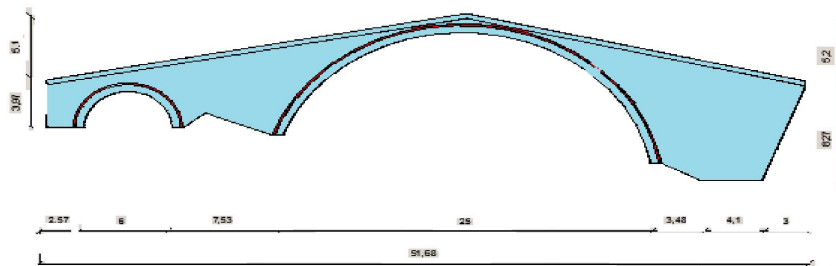
2 BİLGİSAYAR MODELİ

Köprüünün bilgisayar modelinde 3 farklı malzeme tanımlaması yapılmıştır. Tüm elemanların sonlu elemanlar modeli için 3D SOLID186 elemanları kullanılmıştır. SOLID186 elemanı her bir düğüm noktasında 3 deplasman serbestlik dereceli toplam 20 düğüm noktasına sahiptir. SOLID186 elemanının sonlu eleman ağı sırasında dönüşebileceği durumlar Şekil 1'de verilmektedir (Genç, 2015).



Şekil 1. SOLID186 elemanının genel görünümü ve sonlu eleman ağındaki dönüşüm durumları (Genç, 2015).

Şekil 1'de görüldüğü gibi sonlu eleman ağı oluşturulurken bu eleman tetrahedral, piramit ve prizma durumlarına dönüşebilmektedir. Bu çalışmaya konu olan Timisvat köprüsünün geometrik ölçüleri Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 2. Timisvat Köprüsü Geometrik Ölçüleri

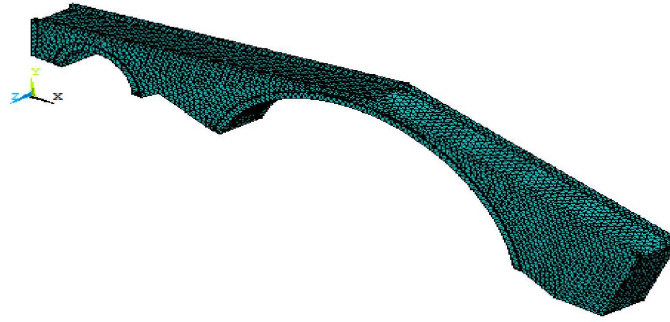
Köprüünün toplam uzunluğu 51.70 m açıklıklı iki kemere ve 13.87m yüksekliğe sahiptir. Kemer açıklıkları

25.2m'ye 6m, kemer yarıçapları 13m'ye 6m dir.Köprü kemeri iki parçadır 0.15m ve 0.58m olmak üzere 2 ye ayrılır.Köprü yan duvarları 0.5m , dolgu malzemesi ise 2.5m kalınlığındadır. Köprünün kesit özellikleri şekil 2 de verilmektedir.Köprünün analizinde, kemer, yan duvarlar ve dolgu için üç farklı malzeme kullanılmıştır. Analizde ele alınan malzeme özellikleri ise tablo 1'deki gibidir.

Tablo 1. Taş kemer köprü modelinde kullanılan malzeme özellikleri

Malzeme	Elastisite Modülü (N/m ²)	Poisson oranı	Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)
Dolgu	1.5x10 ⁹	0.05	1.30
Yan duvarlar	2.5x10 ⁹	0.20	1.40
Kemer	3.0x10 ⁹	0.25	1.60

Sonuçların yeterli hassaslıkta elde edilebilmesi için bilgisayar modeli 47079 mesh aralığı kullanılmıştır. Meshli model resmi Şekil 3'te görüldüğü gibidir.



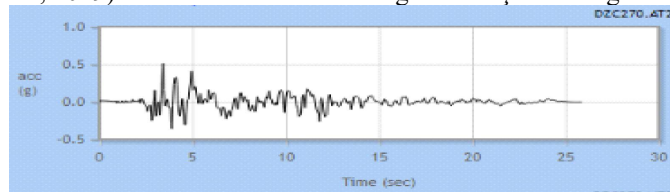
Şekil 3. Timisvat Köprüsü Mesh Görüntüsü

Köprünün bilgisayar modelini oluşturmak için yapı malzemelerinin elastisite modülü, poisson oranı ve birim hacim ağırlıkları gibi değerlerin bilinmesi gerekmektedir. Fırtına deresi üzerinde inşa edilmiş taş kemer köprüler için bu değerlerin ortalamaları daha önceki çalışmalarda tespit edilmiştir (Bayraktar ve Ark., 2007; Çoruhlu ve Ark., 2017). Bu çalışmada da söz konusu değerler tablo 2'deki gibi alınmıştır.

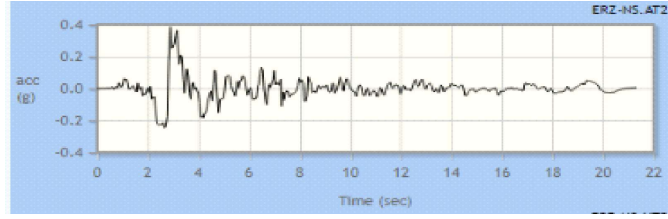
Tablo 1. Taş kemer köprü modelinde kullanılan malzeme özellikleri (Askan ve Ark., 2015)

Malzeme	Elastisite Modülü (N/m ²)	Poisson oranı	Birim Hacim Ağırlık(kg/m ³)
Dolgu	1.5x10 ⁹	0.05	1.30
Yan duvarlar	2.5x10 ⁹	0.20	1.40
Kemer	3.0x10 ⁹	0.25	1.60

Dinamik analizlerde kullanılan deprem ivmeleri için ise bölgesel olarak büyük hasarlara yol açmış Düzce 1999 ve Erzincan 1992 depremlerine ait 2'şer farklı kayıttan faydalanılmıştır . Kayıtlar Berkeley Üniversitesi veritabanından alınmıştır (PEER, 2019). Söz konusu ivme zaman grafikleri şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4a. 1999 Düzce Deprem İvme-Zaman Grafiği (270 AT2)

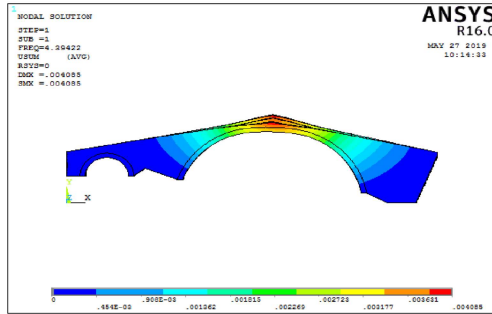


Şekil 4b. 1992 Erzincan Depremi Kuzey-Güney Bileşeni (N-S) İvme-Zaman Grafiği

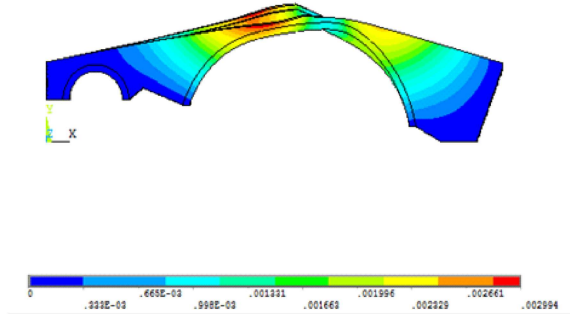
Şekil 4. Dinamik Analizlerde Kullanılan İvme Zaman Grafikleri

3. SAYISAL SONUÇLAR

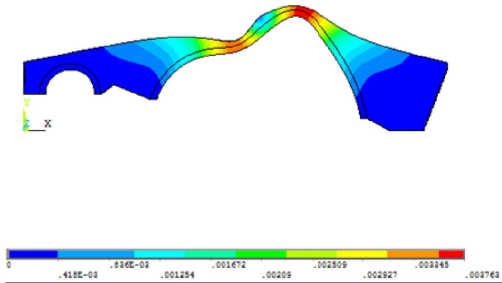
Timisvat köprüsü 3D bilgisayar modeli üzerine modal analiz ve time history analizleri uygulanmıştır. Zaman tanım alanında yapılan analizler sonucunda ilk 5 mod için frekans değerleri ve mod şekillerine bakılmıştır. Ayrıca analizler sonucunda modele uygulanan deprem ivme kayıtları için yer değiştirme, çekme gerilmesi, basınç gerilmesi değerler hesaplanmıştır. Modal analiz sonucunda elde edilen frekans ve mod şekil değiştirmeleri Şekil 5'deki gibidir.



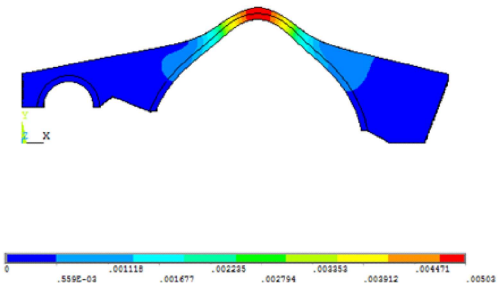
Şekil 5a. Mod 1 ($f_1 = 4.394$)



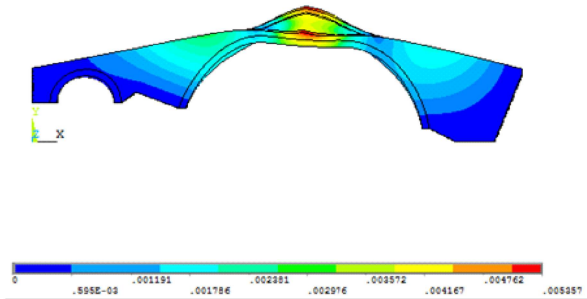
Şekil 5b. Mod 2 ($f_2 = 8.456$)



Şekil 5c. Mod 3 ($f_3 = 9.190$)



Şekil 5d. Mod 4 ($f_4 = 10.857$)

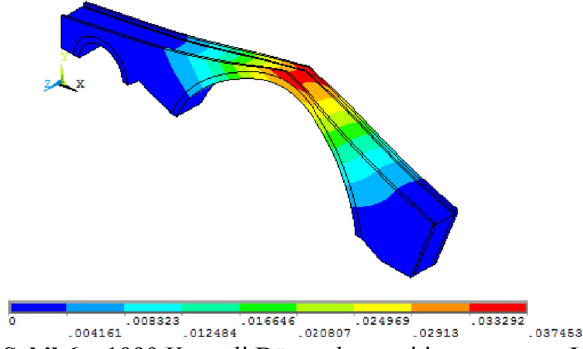


Şekil 5e; Mod 5 ($f_5 = 12.694$)

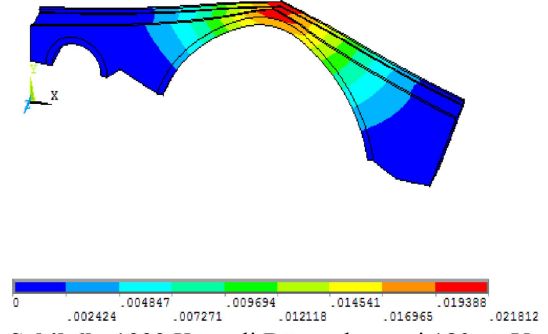
Şekil 5. Mod şekilleri ve Frekans Değerleri

Timisvat köprüsünün üç boyutlu modeli ve yer değiştirmenin zamanla değişim grafiklerinin gösterildiği köprü'nün tepe noktası yer değiştirmeleri verilmiştir. İlk dinamik analizde 1999 Kocaeli Düzce depreminin 270 AT -180 AT kaydı kullanılmıştır. İkinci dinamik analizde 1992 Elazığ depreminin Kuzey-Güney bileşeni ve Doğu-Batı bileşenleri kullanılmıştır. Deprem ivme kayıtlarından elde edilen yer değiştirme değerleri Şekil 6

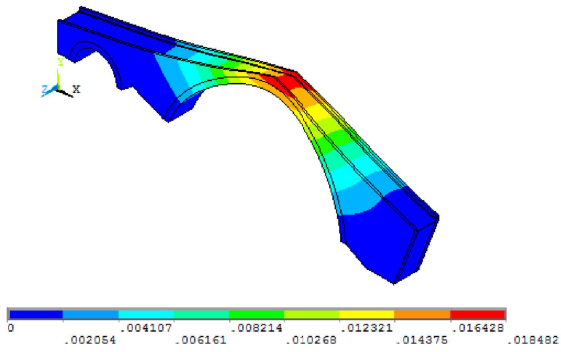
ve Tablo 2'deki gibidir.



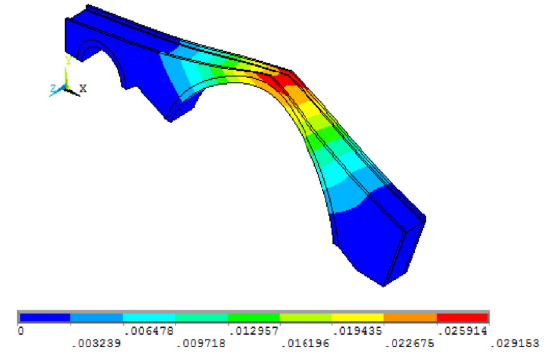
Şekil 6a. 1999 Kocaeli Düzce depremi ivme-zaman Yer değiştirme modeli



Şekil 6b. 1999 Kocaeli Düzce depremi 180 at Yer değiştirme modeli



Şekil 6c. 1992 Erzincan depremi kuzey-güney bileşeni Yer değiştirme modeli



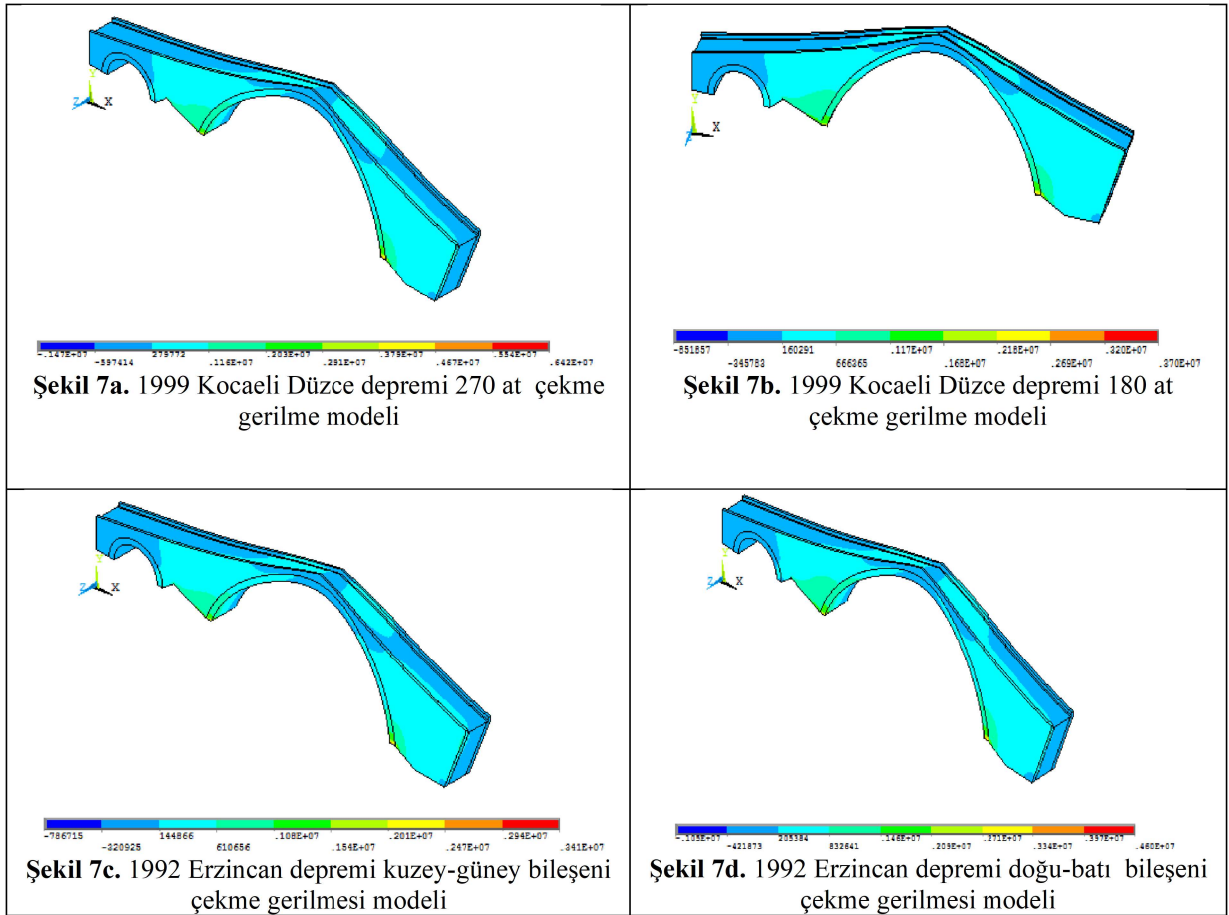
Şekil 6d. 1992 Erzincan depremi doğu-batı bileşeni Yer değiştirme modeli

Şekil 6. Kullanılan Depremlerin Yer Değiştirme Modelleri

Tablo 2. Taş kemer köprü modelinde yer değiştirme değerleri ;

Uygulanan Deprem	Zaman (sn)	Yer Değiştirme Değeri (m)
1999 Kocaeli Düzce 270 at	3.445	0.037453
1999 Kocaeli Düzce 180 at	3.63	0.021812
1992 Erzincan depremi kuzey-güney	3.165	0.018482
1992 Erzincan depremi doğu-batı	3.63	0.029153

Deprem ivme kayıtlarından elde edilen çekme gerilme şekilleri şekil 7'de gösterilmektedir.



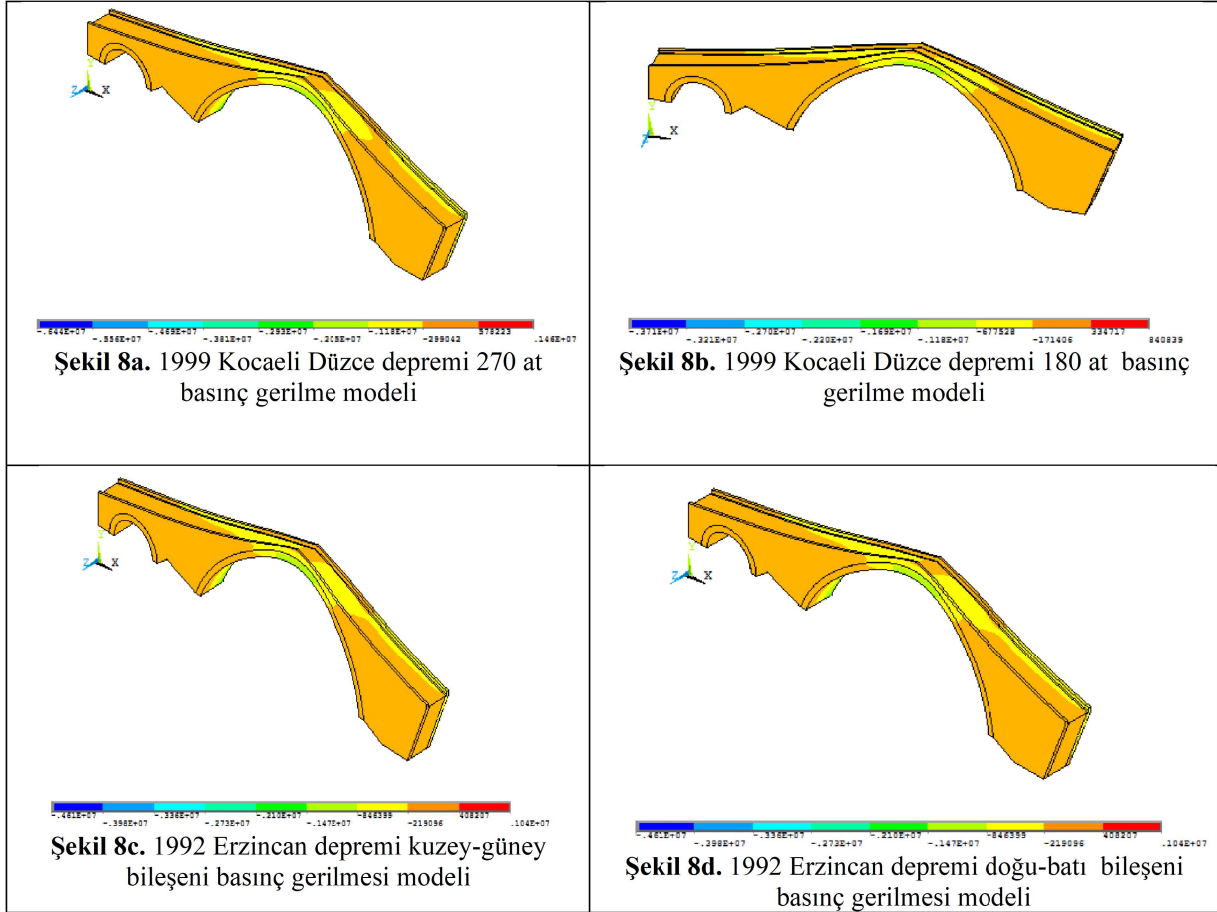
Şekil 7. Deprem Kayıtlarına Göre Oluşan Çekme Gerilmeleri

Ayrıca analizler sonucunda modele uygulanan her bir deprem ivme kaydı için çekme gerilmesi değerleri tablo halinde verilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Taş kemer köprü modelinde çekme gerilme değerleri

Uygulanan Deprem	Zaman (sn)	Çekme Gerilmesi Değeri (kN)
1999 Kocaeli Düzce 270 at	3.445	642
1999 Kocaeli Düzce 180 at	3.63	370
1992 Erzincan depremi (kuzey-güney bileşeni)	3.165	341
1992 Erzincan depremi doğu-batı	3.63	460

Deprem ivme kayıtlarından elde edilen basınç gerilmesi değerleri şekil 8'de gösterilmektedir. Ayrıca analizler sonucunda modele uygulanan her bir deprem ivme kaydı için basınç gerilmesi değerleri Tablo 4'te verilmiştir;



Şekil 8. Deprem Kayıtlarına Göre Oluşan Basınç Gerilmeleri

Tablo 4. Taş kemer köprü modelinde basınç gerilme değerleri

Uygulanan Deprem	Zaman (sn)	Basınç Gerilmesi Değeri (kN)
1999 Kocaeli Düzce 270 at	3.445	146
1999 Kocaeli Düzce 180 at	3.63	841
1992 Erzincan depremi (kuzey-güney bileşeni)	3.165	777
1992 Erzincan depremi (doğu-batı bileşeni)	3.63	104

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Rize ilinin Çamlıhemşin ilçesindeki Fırtına Deresi üzerinde bulunan tarihi Timisvat köprüsünün dinamik analizi yapılmıştır. Makro modelleme yaklaşımı esas alınarak köprünün üç boyutlu katı sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Deprem kaydı olarak, Kocaeli/Düzce ve Elazığ depremlerinin ivme kayıtları seçilmiştir.

Çekme gerilmeleri duvar alt kısımlarında ve özellikle kemer ayaklarında maksimum değerlere ulaşmıştır. Maksimum değerler; 1999 Kocaeli depreminin 3,46. saniyesinde 642kN ve 1992 Erzincan depreminin 3,63. saniyesinde 460kN olarak görülmüştür.

Basınç gerilmeleri köprü yan duvarlarında yoğunlaşmıştır. Maksimum değerler 1999 Kocaeli depreminin 3,63. saniyesinde 841kN ve 1992 Erzincan depreminin 3,17. saniyesinde 777kN olarak görülmüştür.

Taş kemer köprüünün maksimum yer değiştirme değerleri 1999 Kocaeli depremi için 37mm, 1992 Erzincan depremi için 29mm olarak hesaplanmıştır.

Genel olarak köprü yer değiştirme değerleri tabandan tepeye doğru artış göstermiş ve düzgün olarak yayılmıştır. Bu da kemer köprüünün gerilme dağılışı ve çalışma şeklinin düzenli olduğunu göstermektedir. Köprüünün modellendiği haliyle ciddi bir hasarı görülmemektedir.

Çalışma neticesinde elde edilen sonuçların geliştirilmesi için lineer olmayan yöntemlerle analizlerin tekrar edilmesi ve mikro modelleme teknikleriyle çatlak analizleri yapılması önerilmektedir.

Referanslar

Askan A., Karımzadeh, S., Asten, M., Kılıç, N., Sısmar, F.N., Erkmen, C., (2015). Assessment of seismic hazard in the Erzincan (Turkey) region: construction of local velocity models and evaluation of potential ground motions, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 24, p.529-565.

Bayraktar A, Altunışık AC, Türker T, Sevim B., (2007). Tarihi Yığıma Köprülerin Sonlu Eleman Modellerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle İyileştirilmesi, *1.Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceği Güvenle Devredilmesi Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Kardelen Ofset Ltd.Şti., Ankara, Türkiye.

Çabuk, E., Güçhan, N. Ş., Türer, A., (2015). Tarihi Ahşap Buzlupınar Köprüsünün Yeniden Yapımı Üzerine Çalışmalar, *Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu ve Sergisi 3*, 24-25 Mart, İstanbul, Türkiye.

Çoruhlu, B., Türker, T., Yanık, Y., Bayraktar, A., (2017). Tarihi Taş Kemer Köprülerin Modal Davranışlarının Köprü Boyutlarına Bağlı Olarak Tahmin Edilmesi, Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu , 2-3-4 Kasım, Trabzon, Türkiye.

Genç, A. F. (2015). Tarihi köprülerin yapısal davranışına restorasyon çalışmalarının etkisi, *Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, Türkiye.

M. A. Erberik, (2011). Importance of Degrading Behavior for Seismic Performance Evaluation of Simple Structural Systems, *Journal of Earthquake Engineering*, 15, p.32-49

Özmen B., Bayrak E., Bayrak Y. (2014). An Investigation of Seismicity for the Central Anatolia Region, Turkey, *Journal of Seismology*, 18(3), 345-356. Doi: 10.1007/s10950-013-9411-2.

PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center), 2019, Berkeley University.
Url: <https://ngawest2.berkeley.edu/spectras/212975/searches/196403/edit>

Sarica, G., Askan, A., Caner, A., (2017). Development of mean site-dependent response spectra for new bridge designs in Turkey, *Structure and Infrastructure Engineering*, 13, (2017), p.1002-1012.

Turer, A., (2007). Köprülerin Dinamik Özelliklerinin Çevresel Gürültü Ve Bilinen Kuvvet Uygulama İle Belirlenmesi, *1. Köprü ve Viyadükler Sempozyumu*, 29-30 Kasım, Antalya, Türkiye.

Ural, A.,(2005). Tarihi Kemer Köprülerin Sonlu Eleman Metoduyla Analizi, *Deprem Sempozyumu*, 23-25 Mart, Kocaeli, Türkiye.



SCIENNOVATION

A Journal of Structural Science and Innovation

Analysis of Reinforced Concrete Structure on Moon Surface

Abdullah Serdaroglu^{*1}, Habip Cakmak^{*2}

¹Chamber of Engineers, Istanbul, Turkey.

²Chamber of Engineers, Trabzon, Turkey.

Corresponding Author: abdullah_serdaroglu@hotmail.com

Keywords:

Construction on
Moon Surface,
Reinforced concrete
structure design on
moon surface

Abstract

This study deals with the construction of the Moon surface using the resources on the Moon. In this context; The 2-storey reference building is designed to be constructed on the Earth and Moon surface. The analyzes were performed with SAP2000 structural analysis program. As the gravitational acceleration of the lunar surface is low compared to the Earth, the dimensions of the structural system elements have decreased considerably compared to the Earth structure. The study provided an idea about the element dimensions of the structures to be built on the Moon in the future. The results of the study were interpreted and recommendations were presented.

Ay Yüzeyinde Betonarme Yapı Analizi

Anahtar Kelimeler;

Ay yüzeyinde inşaat,
Ay yüzeyinde
betonarme yapı
tasarımı.

Özet

Bu çalışma Ay üzerindeki kaynaklar kullanılarak Ay yüzeyinde inşaat çalışmalarını konu edinmektedir. Bu kapsamda; tasarlanan 2 katlı referans binanın Dünya ve Ay yüzeyinde inşa edileceği varsayılarak tasarım açısından karşılaştırılmıştır. Analizler SAP2000 yapısal analiz programı ile gerçekleştirilmiştir. Ay yüzeyinde yer çekimi ivmesinin Dünyaya oranla az olması sebebiyle taşıyıcı sistem elemanlarının boyutları Dünya'daki yapıya kıyasla boyutları oldukça küçülmüştür. Çalışma ile ileriki zamanlarda Ay üzerinde yapılacak yapıların eleman boyutları hakkında fikir sağlamıştır. Çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve tavsiyeler sunulmuştur.

1 GİRİŞ

Ay'da yaşam, Uzay ve Ay yolculukları uzun zamandan beri insanoğlunun merakla araştırdığı konulardan biridir. İnsanoğlunun imkansız olarak gördüğü bu yolculukların ilk adımı 1961 yılında Sovyet kozmonot Yuri Gagarin tarafından Vostok 1 adlı uzay aracıyla atılmıştır (Nemiroff ve Bonnell, 1996). Bu yolculuktan sonra Sovyetlerin; Uzay yarışının başında sağlamış olduğu üstünlüğe karşılık ABD, Ay'a insan indirme ve geri getirme amacıyla Apollo adını verdikleri insanlı uzay projesini başlatmıştır. 20 Temmuz 1969 tarihinde Neil Armstrong, Apollo 11 uzay aracı ile Ay'a adım atan ilk insan olarak yolculukların öncüsü olmuştur (NASA, 2012). İnsanlı Ay yolculuklarının gerçekleşmesinden sonra başka gezegenlere de insanlı yolculukların yapılabileceği fikri doğmuştur. Ancak hem maliyetlerin fazla olması hem de yolculukların uzun sürecek olması sebebiyle 7 Aralık 1972 tarihinde gerçekleşen Apollo 17 yolculuğundan sonra ABD tarafından Aya insanlı yolculuklar sonlandırılmıştır (NASA, 2011). Bu kararın gerçek nedenleri arasında yolculuğun maliyetli olmasının yanı sıra, siyasi nedenler, güvenlik ve önceliğin başka programlara kaydırılması gösterilebilir. ABD'nin Sovyetlerle girdiği mücadelede Ay'a insanlı yolculuklarda edindiği başarı belki de programın sonlandırılmasındaki asıl sebep olarak gösterilebilir. Sovyetler ise maliyeti asıl neden göstererek uzunca bir süre çalıştıkları Ay'a insanlı yolculuk

macerasını maalesef gerçekleştirilmeden sonlandırmak zorunda kalmıştır. Ancak ABD Başkanı George W. Bush'un 2004'te NASA Genel Merkezi'nde yaptığı "2020 yılından itibaren Ay'a yeniden insanlı uçuşların yapılacağı ve Ay yüzeyinde kalıcı yapılar inşa edileceği" duyurusu, bu tür projelerin yeniden gündeme geleceğinin bir habercisi olup; gerçekleşmesi için de somut adımlar atılacağını göstermektedir (NASA, 2004).

Uzaya yapılacak olan seyahatlerin ilk basamağını Ay'a yolculuk oluşturur. Genel olarak Uzay ve Ay ortamını keşfetmeye ve bilimsel çalışmalar yapmaya yönelik olsa da önümüzdeki yıllarda Ay kolonileri, Ay otelleri ve Ay habitatları gibi projelerin gerçekleştirilmesi ile seyahatlerin farklı bir boyuta ulaşması beklenmektedir. Ayrıca baş döndürücü hızda ilerleyen teknolojik gelişmeler ve bilgi birikimi kullanılarak uzaya yapılacak seyahatlerin sadece astronotlarla değil farklı meslek gruplarında insanları da içerecek şekilde yapılması planlanmaktadır (Erdem, 2012). Bu gelişmeler göz önüne alındığında akla gelen ilk sorular; yapıların nasıl yapılacağı, malzeme olarak neler kullanılacağı, eleman boyutlarının değişip değişmeyeceği gibi sorular gelecektir.

ABD'nin Apollo insanlı uçuş programı kapsamında 1969 ve 1972 yılları arasında gerçekleştirdiği altı başarılı iniş, Ay hakkında çok daha detaylı bilgiye sahip olmasına olanak sağlamıştır. Bu yolculuklar sonrasında yapılan laboratuvar incelemelerine göre Ay ortamını hammadde bakımından da oldukça zengin olduğu ortaya çıkmıştır (Ruess ve ark., 2006). Ay yüzeyinin tamamen daneli ve gevşek yapıya sahip "Regolit" adı verilen malzeme ile kaplı olduğu belirlenmiştir (Taylor, 1992). Regolit malzemesinden oluşan yüzey tabakasının yaklaşık kalınlıkları ise buzullarda 5 metre, dağlık bölgelerde ise 12 metre olarak ölçülmüştür (Shkuratov ve Bondarenko, 2001). Regolit malzemesi; Ay yüzeyine çarpan gök cisimlerinin oluşturduğu yapay bir tabaka olup demir, alüminyum, silikon, titanyum, oksijen, hidrojen, karbon, helyum ve azot gibi elementleri içermektedir (Taylor, 1992). Bu maddeler dikkate alındığında bilim insanları; Ay'ın Kuzey ve Güney Kutuplarındaki Hidrojen Yoğunlaşmasını inceleyen bir uzay üssünde yapı malzemesi olarak Regolitin kullanılabilirliği fikrini savunmuşlardır (Lin, 1985). Ay ortamında inşa edilecek bir yapının Dünya'daki benzerine göre malzeme, mimari form ve yapım sistemleri açısından farklılıklar sergileyeceği beklenen bir gerçektir. Bu farklılıkların temelini Ay'ın ortam koşulları oluşturmaktadır. Mimarlar, bu farklılıkları göz önünde bulundurarak Ay'da inşa edilecek yapılar için; (a) konvansiyonel, (b) prefabrik ve (c) Ay'daki doğal kaynaklar kullanılarak yapım sistemi olmak üzere üç farklı sistemi önermektedir (Cohen, 2002).; Ay'daki doğal kaynaklarla nasıl bir üs inşa edilmesi gerektiği yönde çalışmalar yürütmüş ve yürütmektedirler. Bütün çalışmalar göstermektedir ki; insanoğlu Ay yüzeyine yapı inşa etme fikrini benimsemiş ve bu fikirde kararlıdır. Bununla birlikte; Ay yüzeyine yapılacak binaların statik analizine ilişkin bilimsel çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu makale çalışması Dünya ve Ay yüzey şartlarında inşa edilecek binaları yapısal açıdan karşılaştırmayı amaçlamaktadır.

2 TASARIM TEKNİĞİ

Yapılan çalışmalar; Ay yüzeyinde bulunan regolit malzemesi kullanılarak beton dökümü için gerekli olan çimento bileşeninin elde edilebileceğini göstermektedir. Özellikle, Apollo projesiyle Ay'dan alınan bazı kayaç türleri üzerinde yapılan incelemede Aydaki doğal malzemelerin çimento üretimi için gerekli olan SiO₂, Al₂O₃ ve CaO gibi bileşikleri yeterli miktarda bulundurduğu görülmüştür (Lin, 1985). Özellikle %19 CaO içeriğine sahip olan Ay kayacı tipinin Ay kaynaklı çimento üretimi için uygun olabileceği düşünülmektedir (Lin, 1985). Regolit malzemesi, çimento üretimi dışında farklı formlara dönüştürülerek aşınma etkisine, meteorit darbelerine ve ışınımın zararlarına karşı da koruyucu katman olarak kullanılabilir özel bir malzemedir. Ay betonu için gerekli olan agrega ihtiyacının ise yine Ay regoliti kullanılarak giderileceği öngörülmektedir (Lin, 1985).

Beton üretimi için gerekli olan bir diğer önemli malzeme ise bilindiği üzere sudur. Ay'da suyun var olup olmadığı ise hala araştırma konusu olup henüz netlik kazanmamıştır. Bu sebeple; Ay toprağından elde edilen oksijenin ve hidrojenin basit bir yöntem kullanılarak birleştirilmesiyle beton üretimi için gerekli olan su ihtiyacının karşılandığı öngörülmektedir (Ruess ve ark., 2006). Bu yöntem dışında alternatif bir yöntem olarak susuz beton üretimi hakkında da bilim insanları araştırmalar yapmaktadır. Bu araştırmalar, Ay yüzeyinde bulunan doğal kükürt elementi kullanılarak susuz betonun üretilebilir olduğunu göstermiştir (Toutanji ve Grugel, 2009). Regolit kaynaklı çimento, agrega ve su elde edilirse Ay'da beton dökümü projesi de hayata geçirilmiş olacaktır. Böylece; Dünya kaynaklı malzemelerle yapılan üslerin yerine Ay'ın doğal kaynakları kullanılarak ortam şartlarına daha uygun ve sağlam üslerin inşa edilmesi sağlanmış olacaktır.

Yukarıda izah edildiği üzere Ay'ın doğal kaynakları kullanılarak üretilecek beton dökümü önerilen inşaat yapım sistemlerden biri olsa bile beton dökümü sırasında ciddi birtakım olumsuzluklar yaşanacağı şimdiden bilim insanlarınca öngörülmektedir. Örneğin, Ay'da beton dökümünde karşılaşılabilecek olumsuz koşullardan biri atmosfersiz ortamda yapılacak beton dökümüdür. Atmosfersiz ortamdan dolayı oluşan boşluk, betonun döküm esnasında sertleşmesine ve kimyasal reaksiyon için gerekli olan suyun çekilmesine neden olacaktır (Ruess ve ark., 2006). Bunu önlemek için malzemelerin kuru toz formda karıştırılması ve karışımın içine buhar

Analysis of Reinforced Concrete Structure on Moon Surface

püskürtülmesi önerilmektedir (Ruess ve ark., 2006). Ayrıca beton için gerekli olan çimento malzemesinin üretimi için de ciddi bir enerji kaynağına ihtiyaç olacaktır (Ruess ve ark., 2006). Bu yüzden; Ay'ın enerji kaynaklarından en üst düzeyde faydalı olabileceğini düşündüğümüz bölge veya alanda üretimin yapılması en doğru seçim olacaktır.

Aydaki yerçekimi ivmesi de tasarımı doğrudan etkileyen parametrelerden biri olacaktır. Bilindiği üzere Aydaki yerçekimi ivmesi Dünya'dakinden yaklaşık olarak 6 kat daha azdır (Ruess ve ark., 2006). Yer çekiminin azlığı nedeniyle taşıyıcı yapı elemanlarının boyutları küçülecek ve daha narin elemanların kullanılması mümkün olacaktır. Ay'da yapılacak üs tasarımında, rüzgar ve deprem etkileri ise ihmal edilecek düzeyde az olmaları nedeni ile tasarım yükü olarak göz önüne alınmayacaktır (Lin, 1985). Dolayısıyla yatay yüklere göre bir tasarım yapılmayacak sadece yerçekimi ivmesinden kaynaklı düşey yükler (ölü ve hareketli yükler) kullanılarak gerekli tasarım gerçekleştirilecektir.

Yukarıda da bahsedildiği üzere Ay'da yapılacak yapılar, gevşek ve daneli regolit tabakası üzerine inşa edilecektir. Bu tabakanın sert bir tabaka olmaması yapıların temel uygulamaları açısından da kolaylık sağlayacaktır. Kaldı ki bir veya iki katlı olarak tasarlanacak yapıların yer çekimi dolayısıyla maruz kalacağı düşey yük değerlerinin azlığı temel ebatlarının da minimum boyutlarda gerçekleşmesini sağlayacaktır.

Ay'da inşaat yapımı ile ilgili olarak örnek teşkil edecek türden bazı yapılar özellikle son yıllarda Dünyada da inşa edilmeye başlanmıştır. Bu yapıların inşaat yapım süreçlerinde yaşanan sorunlar ve çözüm önerileri ise hiç şüphe yok ki Ay ortamında yapılacak benzer tür inşaatların yapılabilirliğini de mümkün kılacaktır. Ay'daki yüzey ve iklim koşullarına en yakın bölgelerde seçilen Dünya'daki benzer projelerin hayata geçirilmesi ile mühendislik ve mimari anlamda yadsınamaz bir deneyim daha şimdiden kazanılmıştır. Örneğin, Ay kaynaklı üslerin inşasına hız kazandıracak bir proje, Ay ortamına benzerliği sebebiyle Antarktika'da 2005 yılında inşa edilmiş olan Concordia Araştırma İstasyonu'dur (McKay, 2013). Bu istasyonla birlikte izole bir ortam elde edilmeye çalışılmış ve Ay ortamına adapte olabilmeye sürecinin deneyimi yaşanmıştır.

Bir yapı sistemi tasarımında yük, malzeme ve boyut koşullarının yanı sıra yapının statik sistemi de önemli bir unsurdur (Işık ve Öztürk, 2017). Ay üzerinde inşa edilecek yapı ile dünya üzerinde yapılacak yapı arasında bariz farklar olacaktır bu farklardan en önemlisi Ay üzerinde doğal kaynaklar ile elde edilen beton ile Dünyadaki Beton arasındaki malzeme farkından kaynaklı dayanım ve elastisite modülü gibi karakteristik özelliklerin farklılığıdır. Bu sebeple daha önce yapılan çalışmalardan faydalanarak Aydaki doğal kaynaklarla oluşturulan beton dayanımları kullanılmıştır. (Toutanji et al., 2009). İki farklı konum içinde program ile kendi koşullarındaki durumlar göz önüne alınarak incelemeler yapılmıştır.

Bu çalışma ile ileride Ay üzerinde yapılacak yapıların statığı ile ilgili bilgilerin edinilmesi ile, yapılacak yapılar için ön bilgi sağlayacaktır. Ay üzerindeki yapılar yazılım programı ile Aydaki doğal kaynaklar kullanılarak oluşturulan yapı malzemelerinin karakteristik özellikleri kullanılarak çözülecektir. Örnek olarak regolit malzemesi ile oluşturulan betonun daha önce yapılan çalışmalar ile elde edilen dayanımı ve elastisite modülü kullanılmıştır. Waterless Concrete Production Samples (Toutanji et al., 2009). İlk olarak 2 katlı bir yapı tasarlanmıştır ve Dünya üzerinde inşa edileceği varsayılarak analiz yapılmıştır. Sonrasında ise Ay yüzeyinde inşa edileceği varsayılarak; yer çekimi ivmesi, malzeme özellikleri gibi ortamdaki kaynaklı değerler baz alınarak tekrar çözülmüştür. Ay yüzeyinde yer çekimi ivmesinin küçük olması nedeniyle yapı elemanlarının boyutları küçültülerek optimum boyutlar belirlenmeye çalışılmıştır.

3. UYGULAMA VE BULGULAR

İlk önce referans yapı olarak Şekil 1'de plan ve 3 boyut görüntüsü verilen yeryüzü şartlarında 2 katlı bir betonarme sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan taşıyıcı sistem elemanları; düşey yükler altında sonlu elemanlar yöntemiyle FEMA, Eurocode ve TS500'e göre boyutlandırılmıştır. Analiz edilen sistem için kiriş, kolon ve döşemelerin yer değiştirmeleri, yapının frekans ve periyotları incelenmiştir. Sonrasında ise aynı yapı Aydaki malzemelerin karakteristik özellikleri ile analiz edilmiştir. Ayda yapı inşaatı için su ile karışan beton kullanılması şu an için gerçekçi bir çözüm olmayacağından, Ay'da inşaat çalışmalarında önerilen ve regolit kullanılarak üretilen susuz betonun karakteristik özellikleri esas alınmıştır. Ay yüzeyini kaplayan regolit tabakası beton yapımı için uygun maddeler içermektedir ve imalatı susuz bir şekilde yapılacaktır. Dünyadaki betondan biraz farklı olarak elastisite modülü ve dayanım daha düşüktür. Yaklaşık olarak 21-22 Mpa değerleri arasındadır.

Elastisite değeri ise 35 – 50 Gpa arasındadır. Analizler için tercih edilen CSI Sap2000 programında elastisite değeri 40 Gpa alınmış ve sonuçlar buna göre elde edilmiştir. Sonrasında ise Ay için yeni bir yapı daha tasarlanmıştır. İlk tasarlanan yapı ile farkı ise boyutlarını daha küçük olmasıdır. Tasarlanan ilk yapının kolon boyutları 30x40cm, kiriş boyutları 30 cm x 60 cm olarak yapılmıştır. İkinci yapının boyutları ise kolon için 15x20cm kiriş için 15x30cm olarak tasarlanmıştır. Bu yapının da analiz sonuçları incelenmiştir. Yeterli veri toplayabilmek ve sonuçları daha iyi gözlemek adına farklı boyutlarda birçok yapı tasarlanıp analizler tekrarlanarak sonuçlar yorumlanmıştır.yapılarda çeşitli sebeplerle farklı kat yükseklikleri tercih edilmektedir. Karkas yapılar için kat yüksekliğinin artması kolonların serbest yüksekliğinin artması anlamına gelir. Bu durumda kolon uçlarına etki eden eğilme momentlerinde önemli artışlar olacaktır. Bu durum bütün taşıyıcı sistemler için benzer etkilere sebep olacaktır fakat çalışmanın sınırlandırılması için bu makale sadece betonarme kolonlar üzerine yoğunlaşmıştır.

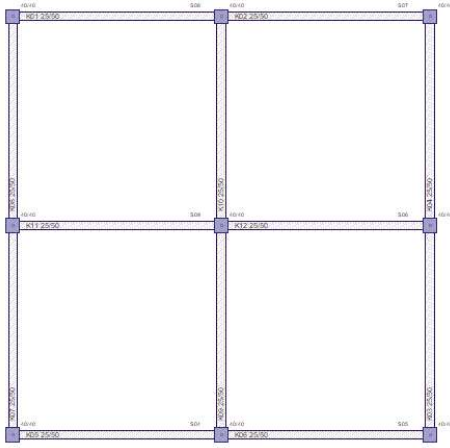
Betonarme taşıyıcı sistemler yapı mühendisliğinde en yaygın tercih edilen sistemlerdir. Betonarme yapı elemanlarına dair hesaplarda; donatı çeliği ile beton arasında bir iş paylaşımı olduğu kabul edilir. Bu paylaşım her eleman için farklıdır ve donatıların konumlarına buna göre karar verilir. Günümüzde statik hesaplar ekseriyetle paket programlar yardımıyla yapıldığından bu programlarda kullanılan çözüm yolunu dikkate almak gerekir. Paket program ile çözüm yaparken genellikle eleman boyutları sabit tutularak programın donatı oranı ve donatı miktarına karar vermesi istenir.

Makalenin araştırma konusuna dönülecek olursa; kat yüksekliğindeki artışın kolon momentlerine etkimesi ve kolon momentlerini de önemli ölçüde kolon boyuna donatılarının taşınması nedeniyle kat yüksekliği ile kolon donatı oranı arasında matematiksel bir ilişki olması muhtemeldir. Elbetteki bu ilişki kolon boyutları, kat sayısı, kolonların yerleşimi, yükleme durumu, donatıların yerleşimi gibi bir çok parametreye bağlı olarak farklılık gösterebilir. Bütün bu parametreleri göz önünde bulundurmak çok daha kapsamlı bir çalışmanın konusu olmakla birlikte bir başlangıç çalışması olarak temel bir ilişki yakalamak istenmiştir. Bu nedenle uygulama binası olarak; bütün elemanları sabit boyutlarda 6 katlı ve 4 açıklıklıklı simetrik bir yapı ele alınmıştır.

3 UYGULAMA

İlk olarak şekil 1'de plan ve 3 boyut görüntüsü verilen referans yapı; yeryüzü şartlarında 2 katlı bir betonarme sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan taşıyıcı sistem elemanları; düşey yükler altında sonlu elemanlar yöntemiyle FEMA yönetmeliği göz önüne alınarak boyutlandırılmıştır. Analiz edilen sistem için kiriş, kolon ve döşemelerin yer değiştirmeleri, yapının frekans ve periyotları incelenmiştir. Sonrasında ise aynı yapı Aydaki malzemelerin karakteristik özellikleri ile analiz edilmiştir. Ayda yapılacak yapı ile Dünyadaki yapının belli birtakım farkları olacaktır. Bu farklardan en önemlisi Ay'da beton imalatı için su bulma problemidir. Literatürde bu soruna Ay yüzeyini kaplayan regolit tabakası kullanılarak geliştirilen susuz beton ile çözüm aranmaktadır. Regolit tabakası beton yapımı için uygun maddeler içermektedir ve imalatı susuz bir şekilde yapılabilir(Toutanji ve Grugel, 2009). Dünyadaki betondan biraz farklı olarak elastisite modülü ve dayanım daha düşüktür. Yaklaşık olarak 21-22 Mpa değerleri arasındadır(Toutanji ve Grugel, 2009) . Elastisite değeri ise 35 – 50 Gpa arasındadır (Shkuratov, 2001), (Toutanji ve Grugel, 2009). Bu çalışmadaki tüm analizlerde literatürdeki değerlerin arasında bir değer olan 40 Gpa değeri kabul edilmiştir. Analizler aynı boyuttaki yapının Ay yüzeyinde çok daha yüksek dayanıma sahip olduğunu göstermiştir. Ekonomik bir tasarım için Ay'ın yüzey şartları referans olarak yeni bir yapı daha tasarlanmıştır.

Analysis of Reinforced Concrete Structure on Moon Surface

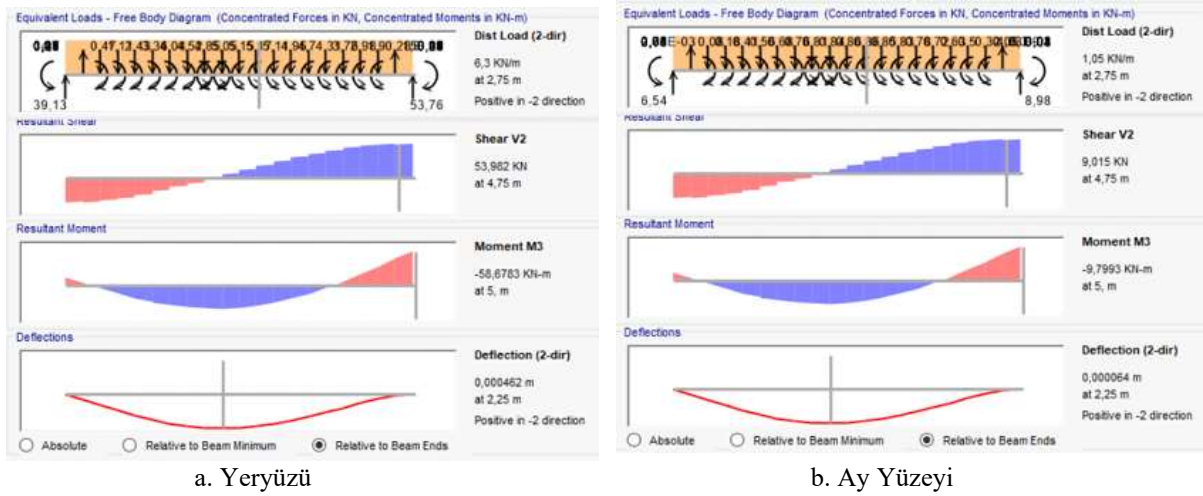


Şekil 1. Referans Yapıya Ait Kat Planı ve 3 Boyut Görüntüsü

Dünya ve Ay yüzeyi için tasarlanan ilk yapının kolon boyutları 30x30cm, kiriş boyutları ise 30x60cm'dir. İkinci yapının boyutları ise kolonlar için 15x20cm kiriş için 15x30 olarak değiştirilmiştir. Bu yapının da analiz sonuçları incelenmiştir. Yeterli veri toplayabilmek ve sonuçları daha iyi gözlemek adına farklı boyutlarda birçok yapı tasarımı ele alınıp analiz sonuçları yorumlanmıştır.

4 BULGULAR

Şekil 1'de verilen yapı için referans kirişe ait yeryüzünde ve ay yüzeyinde bulunması durumunda ortaya çıkan kuvvet diyagramları hesaplanmış ve şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Betonarme Kiriş Kuvvet Diyagramları

Diyagramlarda görüldüğü gibi; betonarme yapının referans kirişine yeryüzünde 6,3kN/m sürekli yayılı yük etkinken, aynı yapı ay yüzeyine taşındığında kirişe etkileyen yayılı yük 1,05kN/m'ye düşmektedir. Buna bağlı olarak kiriş uçlarında oluşan kesme kuvvetleri yaklaşık değerleriyle 54kN'dan 9kN'a, kiriş orta noktasındaki eğilme momentleri ise 58,68kNm'den 9,80kNm'ye düşmektedir. Bu yüklerin kiriş orta noktasında sebep olduğu düşey yer değiştirme değeri ise yeryüzünde 0,462mm olarak hesaplanırken ay yüzeyinde 0,064mm'ye düşmektedir.

Kirişlere etkileyen kuvvetler yaklaşık olarak yerçekimi ivmesindeki fark kadardır. Yapı ay yüzey şartlarına göre analiz edildiğinde kuvvetler yaklaşık alta bire düşmektedir.

Kolonlara etkileyen eksenel yüklerde yine yerçekimi ivmesindeki azalma ile doğru orantılı bulunmuştur Fakat Aynı karşılaştırma kolon uçlarındaki eğilme momentleri için yapıldığında fark daha da büyümektedir. Referans kolon için Yeryüzü şartlarındaki eğilme momenti 27,6kNm' iken ay yüzeyinde aynı kolon ucuna etkileyen moment 2,87kNm'ye düşmektedir. Farkın 10 kata yakın olduğu görülmüştür.

Döşemelerin sehim değerleri karşılaştırıldığında ise iki ortam arasındaki sehim farkının yaklaşık 7 kat olduğu gözlenmiştir. Referans döşeme için Yeryüzünde sehim değeri 2,23mm iken Ay yüzeyinde aynı değer 0,31mm olarak hesaplanmıştır.

5 SONUÇ

Yapılan çalışmadan çıkan ilk sonuç; Ay üzerinde inşa için yapı tasarlanırken daha küçük boyutlara sahip yapı elemanları seçilebilecek ve bu tasarlanan elemanlar güvenlik sorunu teşkil etmeyecektir. Yer çekimi ivmesinin az olması sebebiyle daha geniş açıklıklar daha kolay geçilebilecektir. Elemanların sehim değerleri daha az olacak ve kirişler güvenlik bakımından sorun oluşturmayacaktır. Mimari açıdan daha farklı yapılar tasarlanabilecektir. Ay üzerinde yapılacak yapılar daha küçük boyutlara sahip olacağından, yapı kütlesi ve kütleye bağlı parametreler azalacaktır. Dünya da tasarladığımız yapılardan istediğimiz performansı ve güvenliği, Ayda daha küçük boyutlara sahip yapı elemanlarıyla rahat bir şekilde sağlayacağız. Ayda tasarlanan yapının kolon ve kirişlerine gelen kesme kuvvetleri Dünyadakine göre oldukça azdır bu nedenle kolon ve kirişlerde kesmeye karşı kullanmış olduğumuz sargı donatısı ihtiyacı ortadan kalkabilir. Aynı şekilde; Moment kapasiteleri karşılaştırıldığında; betonarme çerçeveler üzerindeki momentin yer çekimi ivmesi farkına yakın oranlarda ortalama 6 kat düştüğü görülmektedir. Bu durum; Ay şartlarında temin edilmesi en zor yapı malzemelerinden olan beton donatısı ihtiyacını ortadan kaldırarak “betonarme bina” yerine “yığma beton bina” olanağı sağlayacaktır.

Özetle; Bu çalışma günümüz şartlarında Ay yüzeyinde temin edilmesi mümkün olmayan su ve çelik donatı ihtiyacı olmadan “yığma beton” şeklinde bir yapı inşasının mümkün olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmaya devam niteliğindeki araştırmalarda Ay yüzeyi için beton bina tasarımına odaklanılması önerilir.

Referanslar

Işık, E., Öztürk, G. (2017). The Effect of Storey Height on the Earthquake Performance of RC Buildings, *Karaelmas Fen ve Müh. Derg.* 7(1):299-305.

Lin, T. D. (1985). Concrete for Lunar Base Construction, *Lunar Bases and Space Activities of the 21st Century*, Editor: W.W. Mendell, Chapter 6: Lunar Construction, Lunar and Planetary Institute.

McKay, C. P. (2013). The Case for a NASA Research Base on the Moon. *New Space*, (1), 4, 162-166. Doi: 10.1089/space.2013.0018

(NASA, 2011); Apollo 17 - Mission Objective, *News from NASA*, Editor: NASA Content. Available on: https://www.nasa.gov/mission_pages/apollo/missions/apollo17.html Last Updated: Jan. 9, 2018

Nemiroff, R., Bonnell, J., (1996). NASA Technical Rep.: Sherri Calvo. Specific rights apply. A service of: LHEA at NASA/ GSFCNASA. Available on: <https://apod.nasa.gov/apod/ap960412.html>

Ruess, F., Schaenzlin, J., and Benaroya, H. (2006). Structural Design of a Lunar Habitat, *Journal of Aerospace Engineering*, 19(3), 133–157.

Shkuratov, Y.G, Bondarenko, N.V., (2001). Regolith Layer Thickness Mapping of the Moon by Radar and Optical Data. *Icarus, Elsevier Publications*, (149), 2, 329-338.

Taylor, L. A. (1992). Resources for a Lunar Base: Rocks, Minerals, and Soil of the Moon, *The Second Conference on Lunar Bases and Space Activities of the 21st Century*, Johnson Space Center, Vol. 2. 361-377.

Toutanji, H. A. ve Grugel, R. N. (2009). Performance of “Waterless Concrete”, *Concrete Solutions*, CRC Press. 215-218.

Tunc, G., Demirtürk, D., (2015). Habitat Structures on the Moon, *Yapı Dergisi*, 134-140.



The Relationship Between Storey Height And Reinforcement Ratio In Reinforced Concrete Buildings

Moneef Mazen Al-Alie^{*1}

*¹Independent Civil Engineer, Sana, Yemen.
Corresponding Author: moneefmazen50@gmail.com*

Keywords:

Floor height and reinforcement ratio reinforced concrete buildings

Abstract

It is known that as the storey height increases, the forces acting on the building elements increase. In reinforced concrete structures; Steel rods carry a significant part of the forces acting on the elements. The aim of this study is to investigate the relationship between floor height and reinforcement ratio. In this study, a 6-storey residential building is discussed. Element dimensions were kept constant and analyzed for different floor heights. In the results of the working; It is observed that there is a very close relationship between the increase in the floor height and the reinforcement ratio in the sample structure.

Betonarme Binalarda Kat Yüksekliği İle Donatı Oranı İlişkisi

Anahtar Kelimeler;

*Kat yüksekliği donatı ilişkisi
Betonarme Yapılar*

Özet

Yapılarda kat yüksekliği arttıkça yapı elemanlarına etki eden kuvvetlerin de arttığı bilinmektedir. Betonarme yapılarda eleman kuvvetlerinin önemli bir kısmı donatı ile karşılanmaktadır. Bu çalışmanın amacı; betonarme yapılarda kat yüksekliği ile donatı oranı arasındaki ilişkiyi araştırmaktır. Çalışma kapsamında 6 katlı betonarme bir konut binası ele alınmıştır. Eleman boyutları sabit tutularak farklı kat yükseklikleri için analizler tekrarlanmıştır. Çalışma sonucunda; örnek yapıda kat yüksekliği artışı ile donatı oranı artışı arasında doğrusala çok yakın bir ilişki olduğu gözlenmiştir.

1 GİRİŞ

Yapılarda çeşitli sebeplerle farklı kat yükseklikleri tercih edilmektedir (Demir ve Dönmez, 2008; Mallika, 2016; Fajfar, 1999). Karkas yapılar için kat yüksekliğinin artması kolonların serbest yüksekliğinin artması anlamına gelir (Mallika, 2016). Bu durumda kolon uçlarına etki eden eğilme momentlerinde önemli artışlar olacaktır (Mallika, 2016; Fajfar, 1999). Bu durum bütün taşıyıcı sistemler için benzer etkilere sebep olacaktır fakat çalışmanın sınırlandırılması için bu makale sadece betonarme kolonlar üzerine yoğunlaşmıştır.

Betonarme taşıyıcı sistemler yapı mühendisliğinde en yaygın tercih edilen sistemlerdendir. Betonarme yapı elemanlarına dair hesaplarda; donatı çeliği ile beton arasında bir iş paylaşımı olduğu kabul edilir. Bu paylaşım her eleman için farklıdır ve donatıların konumlarına buna göre karar verilir. Günümüzde statik hesaplar ekseriyetle paket programlar yardımıyla yapıldığından bu programlarda kullanılan çözüm yolunu dikkate almak

gerekir. Paket program ile çözüm yaparken genellikle eleman boyutları sabit tutularak programın donatı oranı ve donatı miktarına karar vermesi istenir.

Makalenin araştırma konusuna dönelecek olursa; kat yüksekliğindeki artışın kolon momentlerine etkimesi ve kolon momentlerini de önemli ölçüde kolon boyuna donatılarının taşıması nedeniyle kat yüksekliği ile kolon donatı oranı arasında matematiksel bir ilişki olması muhtemeldir. Elbetteki bu ilişki kolon boyutları, kat sayısı, kolonların yerleşimi, yükleme durumu, donatıların yerleşimi gibi bir çok parametreye bağlı olarak farklılık gösterebilir. Bütün bu parametreleri göz önünde bulundurmamak çok daha kapsamlı bir çalışmanın konusu olmakla birlikte bir başlangıç çalışması olarak temel bir ilişki yakalamak istenmiştir. Bu nedenle uygulama binası olarak; bütün elemanları sabit boyutlarda 6 katlı ve 4 açıklıklı simetrik bir yapı ele alınmıştır.

2 YÖNTEM

Betonarme bir yapıda kat yüksekliğinin artırılması statik olarak en çok kolonların etkilenmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle donatı oranı karşılaştırması sadece zemin kat kolonlarında yapılmıştır. Betonarme kolonların hesap ve tasarımında altı farklı kuvvet dikkate alınır. Bunlar sırasıyla; eksenel basınç kuvveti, X ekseninde etkiyen eğilme momenti, Y ekseninde etkiyen eğilme momenti, X ekseninde etkiyen kesme kuvveti, Y ekseninde etkiyen kesme kuvveti ve burulma momentidir. Simetrik bir yapıda bu kuvvetlerden en kritik olanlar eksenel kuvvet, eğilme momenti ve kesme kuvvetleridir.

Taşıyıcı sistem kolonlara etkiyen eksenel kuvvetlerin eleman liflerine basınç gerilmesi oluşturacak şekilde tasarlanır. Kolona etkiyen basınç gerilmelerini beton ve donatı birlikte karşılarken kesme kuvvetleri beton ve sargı donatıları ile karşılanır (Doğangün, 2018).

Kolonlarda normal kuvvet etkisi azaldıkça eleman eğilme etkisinde çalışır ve belli bir normal kuvvet değerinin altında kırış davranışı sergiler (Ersoy ve Özcebe, 2016). Moment etkisi altında zorlanan kesitlerin sünek bir kırılma göstermesi beklenir (Celep, 2018). Normal kuvvetin yüksek değerleri için ise kırılma eksenel kuvvet etkisi ile ve gevrek olacaktır. Gevrek kırılmayı önlemek için kolonlarda denklem 1 ve denklem 2'deki sınırlamalar getirilmiştir (TS500, 2000; TBDY, 2018).

$$N_d \leq 0.9 \cdot f_{cd} \cdot A_c \quad (1)$$

$$N_d \leq 0.4 \cdot f_{ck} \cdot A_c \quad (2)$$

Burada N_d ; kolona etkiyen eksenel kuvveti, f_{ck} ; betonun karakteristik basınç dayanımını, f_{cd} ; betonun hesap basınç dayanımını, A_c ; kolonun kesit alanını ifade etmektedir.

Uygulamada kolonlara basınç ve eğilme kuvvetleri birlikte etkiğinden bileşik eğilme etkisi altındaki kolonların davranışını modelleyerek boyutlandırma ve donatı seçimi yapmak gerekir. Bu durumda kolonda oluşacak moment denklem 3'teki gibidir (Doğangün, 2018).

$$M_d \leq N_d \cdot e \quad (3)$$

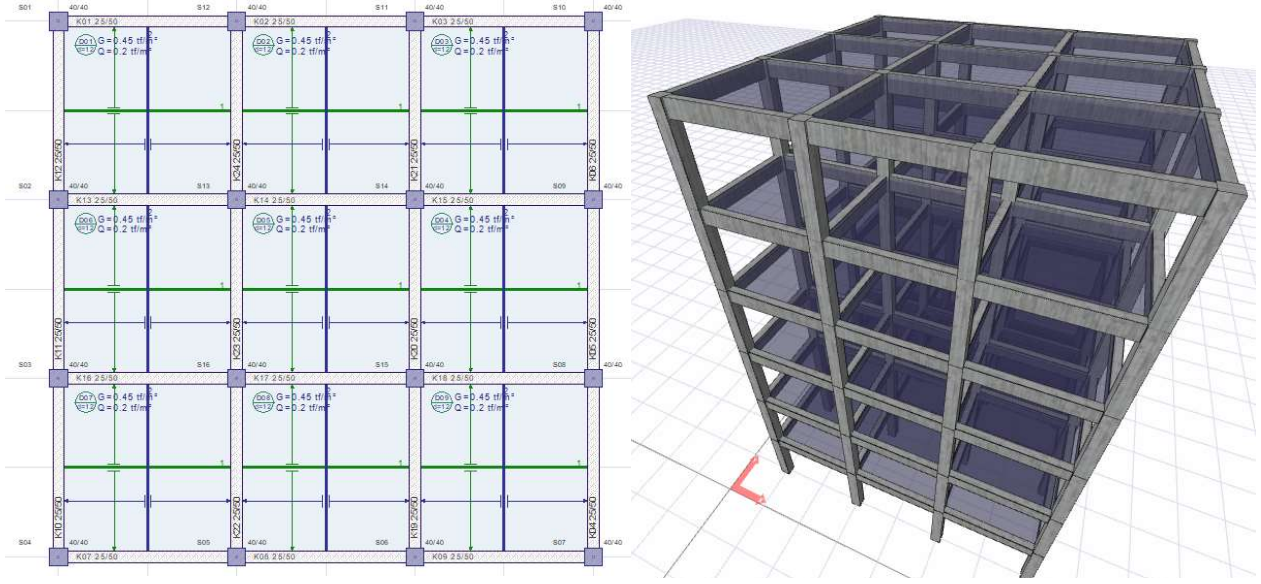
Burada M_d ; kesite etkiyen momenti, e ; tarafsız eksene olan uzaklığı ifade eder.

Gerilme ve donatı hesapları betonarme tasarımın en temel konuları arasında yer aldığından bu çalışmada ayrıntılı olarak yer verilmemiştir. Çalışmada kullanılan kolonların donatı çap ve adetlerine karar verirken; karşılaştırma yapabilmek amacıyla minimum donatı oranı 0,01'e en yakın donatı çap ve adetleri tercih edilmiştir (TS500, 2000; TBDY, 2018).

3 UYGULAMA

Uygulama binası olarak bütün kat planları birbirinin aynısı olan 6 katlı simetrik bir yapı tasarlanmıştır. Örnek yapı; yatay ve düşeyde 5'er metre aralıklarla yerleştirilmiş 4'er kolondan (4x4=16 kolon) oluşmaktadır. Yapının kat planı ve 3 boyutlu katı modeli şekil 1'de görülmektedir.

The Relationship Between Storey Height And Reinforcement Ratio In Reinforced Concrete Buildings



Şekil 1'deki yapı Türk Standardı 500 ve Türk Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre analiz edilmiştir (TS500, 2000; TBDY, 2018). Yapının bina önem katsayısı; $I=1$, S_{DS} değeri 1.00, zemin sınıfı; ZD, beton sınıfı; C30/37 ve donatı sınıfı; B420C olarak hesaba dahil edilmiştir.

Kat yüksekliği ile kolonların donatı oranı arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla ilk varyasyonda kolon boyutları 40cmx40cm seçilmiştir. Kat yüksekliği 2.80m'den başlayarak 4.00m'ye kadar 10'ar cm artırılarak örnek yapı 13 kez analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 1'de görüldüğü gibi bulunmuştur.

Tablo 1. Kolon Boyutlarının 40cmx40cm Değeri İçin Örnek Yapıda Kat Yüksekliğine Bağlı Donatı Oranları

Kat Yüksekliği (cm)	Donatı	Donatı Oranı (%)	Gerekli Donatı Oranı (%)
280	18 \emptyset 14	1.42	0.15
290	18 \emptyset 14	1.42	0.16
300	18 \emptyset 14	1.42	0.16
310	18 \emptyset 14	1.42	0.16
320	18 \emptyset 14	1.42	0.16
330	18 \emptyset 14	1.42	0.16
340	18 \emptyset 14	1.42	0.17
350	18 \emptyset 14	1.42	0.17
360	18 \emptyset 14	1.42	0.17
370	18 \emptyset 14	1.42	0.18
380	18 \emptyset 14	1.42	0.18
390	18 \emptyset 14	1.42	0.18
400	18 \emptyset 14	1.42	0.19

Tablo 1'de görüldüğü gibi kat yüksekliğindeki artış; kolonlarda kullanılan donatı miktarını ve buna bağlı olarak kullanılan donatının beton alanına oranını değiştirmemiştir. "Statikçe gerekli porsantaj" olarak ifade edilen ve kesitin üzerindeki kuvvetlere karşı koyabilmesi için ihtiyacı olan minimum gerekli donatı oranı ise 2.80m'den 4.00m kat yüksekliğine kadar yaklaşık %27'ye varan bir artış göstermiştir.

İkinci varyasyonda örnek binanın kolon boyutları 45cmx45cm seçilmiş ve aynı prosedür tekrarlanmıştır. 5'er cm

artırılmış kolon boyutları için sonuçlar Tablo 2’de görüldüğü gibi hesaplanmıştır.

Tablo 2. Kolon Boyutlarının 45cmx45cm Değeri İçin Örnek Yapıda Kat Yüksekliğine Bağlı Donatı Oranları

Kat Yüksekliği (cm)	Donatı	Donatı Oranı (%)	Gerekli Donatı Oranı (%)
280	18 \emptyset 14	1.22	0.23
290	18 \emptyset 14	1.22	0.24
300	18 \emptyset 14	1.22	0.24
310	18 \emptyset 14	1.22	0.24
320	18 \emptyset 14	1.22	0.25
330	18 \emptyset 14	1.22	0.25
340	18 \emptyset 14	1.22	0.26
350	18 \emptyset 14	1.22	0.26
360	18 \emptyset 14	1.22	0.27
370	18 \emptyset 14	1.22	0.27
380	18 \emptyset 14	1.22	0.28
400	18 \emptyset 14	1.22	0.29

Tablo 2’de görüldüğü gibi ikinci varyasyonda da kat yüksekliğindeki artış; kolonlarda kullanılan donatı miktarını ve donatı oranını değiştirmemiştir. Gerekli donatı oranı kat yüksekliği arttıkça 0,023’den 0,029’a kadar yaklaşık %26’ya varan bir artış göstermiştir.

Üçüncü ve son varyasyonda örnek binanın kolon boyutları 50cmx50cm seçilmiş ve aynı prosedür tekrarlanmıştır. Artırılmış kolon boyutları için sonuçlar Tablo 3’de görüldüğü gibi hesaplanmıştır.

Tablo 3. Kolon Boyutlarının 50cmx50cm Değeri İçin Örnek Yapıda Kat Yüksekliğine Bağlı Donatı Oranları

Kat Yüksekliği (cm)	Donatı	Donatı Oranı (%)	Gerekli Donatı Oranı (%)
280	18 \emptyset 14	1.11	0.35
290	18 \emptyset 14	1.11	0.36
300	18 \emptyset 14	1.11	0.36
310	18 \emptyset 14	1.11	0.36
320	18 \emptyset 14	1.11	0.37
330	18 \emptyset 14	1.11	0.37
340	18 \emptyset 14	1.11	0.37
350	18 \emptyset 14	1.11	0.38
360	18 \emptyset 14	1.11	0.38
370	18 \emptyset 14	1.11	0.39
380	18 \emptyset 14	1.11	0.39
400	18 \emptyset 14	1.11	0,40

Tablo 3’de yer alan üçüncü varyasyondaki değerlere göre kat yüksekliğindeki artış yine kolonlarda kullanılan donatı miktarını ve donatı oranını değiştirmemiştir. Kat yüksekliği 280cmm’den 290cm’ye 10cm artırıldığında gerekli donatı oranı 0.035’den 0.036’ya yaklaşık %3’lük bir artış göstermiştir. Sonraki 2 artırımda donatı oranı sabit kalmıştır. Kat yüksekliği 3.10m’den 3.20 metreye çıkarıldığında gerekli donatı oranı; başlangıçtaki değer

yaklaşık %6 fazlası olmuştur. Bu artış 4 metre kat yüksekliği için başlangıçtaki değerin %14 fazlası olarak gerçekleşmiştir.

3. SONUÇ

Bu makalede betonarme taşıyıcı sistemli binalarda kat yükseklikleri ile kolon donatıları arasında matematiksel bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Bu amaçla 2.80m sabit kat yüksekliği olan 6 katlı örnek yapı düşey yükler altında statik analize tabi tutulmuştur. Örnek yapının kat yükseklikleri 2.80m'den başlayarak mevcut donatı oranı yetersiz kalana kadar 10cm'lik aralıklarla artırılarak analizler tekrarlanmıştır. Analizlerin tutarlılığını ölçmek amacıyla kolon boyutları değiştirilerek 40/40, 45/45 ve 50/50 olmak üzere 3 farklı kolon boyutunda analizler bir kez daha tekrarlanmıştır.

Bölüm 2'de tablolar halinde verilen sonuçlar incelendiğinde; sadece düşey yük etkileri dikkate alınır; kat yüksekliğinin donatı oranına önemli bir etkisinin olmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Ortalama değerler hesaplandığında; kat yüksekliğinin %25 artırılması statikçe gerekli donatı oranını %12.5, kat yüksekliğinin %50 artırılması ise statikçe gerekli donatı oranını yaklaşık %20 artırmaktadır. Düşey yükler altında; aralarında doğrusal olmamakla birlikte doğrusala yakın bir ilişki bulunmaktadır. Fakat belirtilen değerler kat yüksekliği için oldukça anlamlı artışlardır. Bu derece büyük kat yüksekliği artışları için gerekli donatı oranındaki değişim küçük düzeylerde kalmıştır.

Betonarme yapı tasarımında olası deprem etkileri gibi yatay kuvvetlerin de dikkate alınması gerekir. Yatay kuvvet etkileri devreye girdiğinde kat yüksekliğindeki artışların çok daha kritik olacağı düşünülmektedir. Benzer bir çalışmanın farklı yapı tipleri göz önüne alınarak yatay yük etkileri altında ele alınması halinde daha farklı sonuçlar elde edilmesi muhtemeldir.

Referanslar

Çelep, Z. (2018). Betonarme Yapılar, *Beta Basım Yayım*, ISBN: 9759540548

Demir, A., Dönmez, D. (2008). Çok Katlı Yapılarda Burulma Düzensizliğine Etki Eden Faktörler, *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 4.1, p:31. ISSN 1305-1385

Doğangün, A. (2018). Betonarme yapıların hesap ve tasarımı – Deprem Yönetmeliği 2018'e Uygun, *Birsen yayınevi*, ISBN:978-975-511-310-X

Ersoy, U., Özcebe, G. (2016). Betonarme – Temel İlkeler, *Evrım Basım Yayın Dağıtım*, ISBN: 9755032337

Fajfar, P (1999). Capacity spectrum method based on inelastic demand spectra, *Earthquake Eng. Struc. Dyn.* 28(9), 979-993.

Mallika, A. (2016). Study On Effect Of Storey Height On The Seismic Performance Of Tall Braced Buildings, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, Volume: 05 Special Issue: 02, p: 37-41. eISSN: 2319-1163 | pISSN: 2321-7308. Available: <http://www.esatjournals.org>

TS 500, (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartlar Enstitüsü*, 22-24.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, (2018). *T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara.



Investigation of Mechanical Properties of Graphene Additive Mortars

Tuğba KESKİN*¹

¹Chamber of Civil Engineers, Rize, Turkey.
Corresponding Author: tugbakeskin@windowslive.com.

Keywords:

Graphene
Graphene Concrete
Graphene Mortar

Abstract

Many chemical additives or nanoscale milled materials are used to improve the properties of fresh and hardened concrete. The aim of this study is to investigate the effect of graphene on compressive and flexural strength of concrete mortars. In this context, the effect of graphene additive up to 2% on cement mortars was investigated. Up to 2% by weight of graphene is substituted for fine sand mortars with a standard water / cement ratio. After gaining strength, parameters such as compressive and flexural strengths were obtained by conventional test methods and compared with reference samples. Obtained results show that 2% graphene doped cement mortars provide significant improvements in their mechanical properties compared to reference samples.

Grafen Katkılı Harçların Mekanik Özelliklerinin Araştırılması

Anahtar Kelimeler;

Grafen
Grafen Beton
Grafen Harç

Özet

Taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini iyileştirmek için pek çok kimyasal katkı veya nano boyutta öğütülmüş malzeme kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı grafenin beton harçların basınç ve eğilme dayanımlarına etkisini araştırmaktır. Bu kapsamda %2'ye kadar grafen katkısının çimento harçlarına olan etkisi incelenmiştir. Standart su/çimento oranına sahip ince kumlu harçlara ağırlıkça %2 'ye kadar grafen ikame edilmiştir. Dayanım kazandıktan sonra klasik deney yöntemleriyle basınç ve eğilme dayanımları gibi parametreler elde edilerek referans numunelerle kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar %2 grafen katkılı çimento harçların referans numunelere göre mekanik özelliklerinde önemli iyileşmeler sağladığını göstermektedir.

1 GİRİŞ

Beton özelliklerini iyileştirmek için yeni nesil katkı malzemelerinin kullanımı inşaat mühendisliğinin güncel konuları arasındadır (Doğan ve Ark., 2016). Grafen ise; keşfedildiğinden beri fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle oldukça dikkat çekmiştir. Grafitin tek bir katmandan oluşur ve çelikten yaklaşık 30 kat daha güçlüdür. Kalınlığının yalnızca 0,42 nm olduğu düşünüldüğünde bu oldukça şaşırtıcı gelmektedir (Erikli ve Hasanoğlu, 2018). Altıgen yapı içerisinde düzenli karbon atomlarının hibritleşmesi ile oluşan grafen, yapı içerisindeki bütün karbon allotroplarının, temel yapıtaşı olan tek katmanlı ve bir atom kalınlığındaki nano boyutta parçacıktır. Grafen, iki boyutlu yapısının tek atom kalınlığında olması ve moleküller arasındaki kuvvetli bağ yapısı ile eşsiz moleküler bir yapıdadır ve çok iyi elektrik, elektrokimyasal, termal, optik ve mekanik özelliklere sahiptir (Topçu, 2019).

Investigation of Mechanical Properties of Graphene Additive Mortars

Moleküler yapısına ve mekanik özelliklerine bakıldığında grafen, nano yapraklar şeklinde bulunmasından dolayı çimento esaslı kompozitlerde katı maddesi olarak kullanılabilir. Grafen tabanlı malzemelerin nano boyutta katkı malzemesi olarak betonda kullanılması üzerinde çalışmalar devam etmektedir (Uygunoğlu ve Şimşek, 2019).

Grafen ve grafen oksit tabakaları, geleneksel çimento esaslı yapı malzemelerinin özelliklerini iyileştirme potansiyeline sahiptir. Yapılan araştırmalarda, grafen ve grafen oksit tabakalarının çimento hamurunun eğilme ve basınç dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir (Jintao ve Quinghua, 2015).

Kai Gong ve Zhu Pan yaptığı deneysel çalışmada, grafen oksitin portland çimentosu macunu üzerindeki güçlendirici etkileri incelemişlerdir. Çimento hamuruna ağırlıkça% 0.03 oranında grafen oksit tabakalarının eklenmesinin, çimento hamurunun gözenek yapısının azaltılmasından dolayı, çimento kompozitinin basınç dayanımını ve gerilme kuvvetini% 40'dan daha fazla artırabileceğini keşfetmişlerdir (Gonk ve Ark., 2015).

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Kullanılan Malzeme

2.1.1 Grafen: İki boyutlu ve nano boyuttaki karbon atomlarının bir araya gelerek oluşturduğu yapıdır. Bu deneyde kullanılan grafenin özellikleri şekil 1' deki gibidir.



Şekil 1. Deneyde Kullanılan Grafenin Özellikleri

2.1.2. Çimento: Harç üretiminde bağlayıcı olarak TS EN 197-1 standartlarına uygun olarak üretilen CEM I 42.5R çimentosu kullanılmıştır (TSE EN 197-1).

2.1.3. Standart Kum: Agrega olarak yaklaşık 1-3mm tane çapında standart kum kullanılmıştır.

2.2 Yöntem

2.2.1 Malzemelerin Karıştırılması: Deney numuneleri karıştırma standardına uygun olarak laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. 3 adet referans harç numune, 3 adet %2 grafen katkılı harç numune hazırlanmıştır. Hazırlanan standart harçlar 40x40x160mm boyutlarındaki kalıplara dökülerek, sıkıştırma aletinde dakikada 40 düşüş yapacak şekilde sarsma ve düzeltme işlemine tabi tutulmuştur. Sarsma düzeltme işleminden sonra numunelerin üzeri levha ile kapatılmış ve 24 saat süre ile priz alması için bekletilmiştir. Süre sonunda kalıptan çıkarılan numuneler test gününe kadar kür havuzunda bekletilmiştir. Yapılan işlemlere ait fotoğraflar şekillerde görülmektedir.



Şekil 2. Kuru Malzemelerin Karıştırılması



Şekil 3. Malzemelerin Karılması



Şekil 4. Malzemelerin Kıvam Alması



Şekil 5. Harçların Kalıba Yerleştirilmesi



Şekil 6. Numunelerin Kalıptan Çıkarılması

2.2.2 Basınç ve Eğilme Dayanımı: Basınç ve eğilme deneyi için, her bir karışımdan standartlara uygun olarak 7 günlük harç numuneleri için, 3'er adet 40x40x160 mm harç numuneleri üretilmiştir.

Eğilme deneyi için, numune deney cihazına yan yüzeylerden biri üzerine ve uzunluğuna eksenine mesnet silindirlere dik olacak şekilde mesnet silindirlere üzerine yerleştirilmiştir. Yük, yükleyici silindir vasıtasıyla prizmanın karşı yan yüzünden dik olarak uygulanmış ve düzgün hızda olacak şekilde prizma numune kırılıncaya kadar artırılmıştır.

Investigation of Mechanical Properties of Graphene Additive Mortars

Basınç dayanımı deneyinde, TS EN 196-1 standardına uygun olarak, eğilme deneyinden elde edilen iki parçaya bölünmüş olan yarım prizmalar kullanılmıştır. Bu prizmalar, cihazın plâkaları arasına merkezlenerek ve prizmanın arka yüzü plâkadan veya yardımcı plâkalardan 10 mm taşacak şekilde uzunlamasına yerleştirilmiştir. Numuneler basınç dayanım testi düzeneğine yan yüzeylerinden yüklenmek suretiyle deneye tâbi tutulmuşlardır. Yük düzgün şekilde, prizma kırılana kadar artırılmış numunelerin basınç mukavemeti bulunmuştur. Eğilme ve basınç dayanımına ait fotoğraflar Şekil 7 ve Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 7. Eğilme Dayanımı Deneyi



Şekil 8. Basınç Dayanımı Deneyi

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

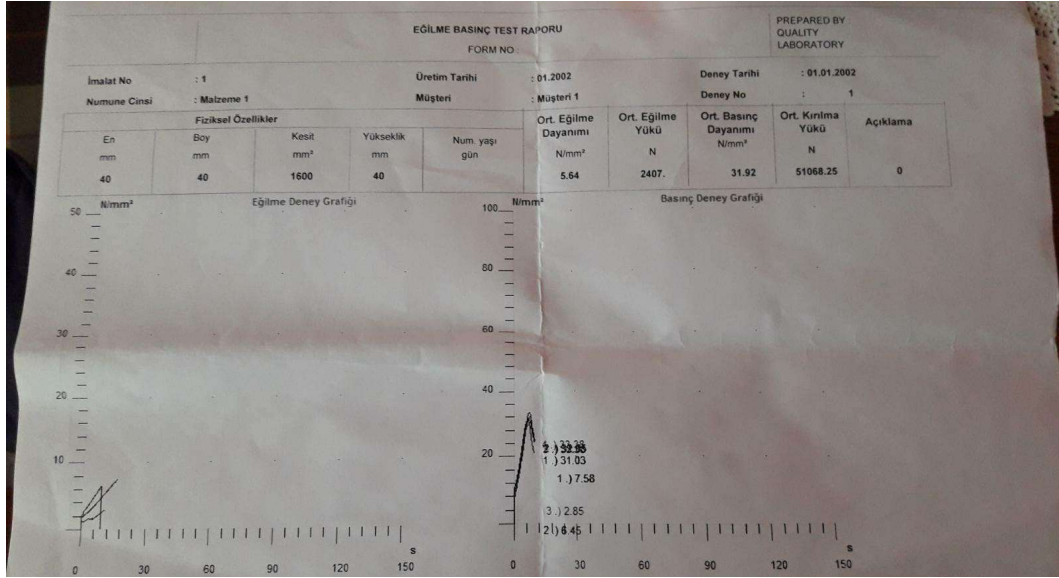
3.1 Bulgular

Çalışmada numunelerden elde edilen basınç ve eğilme dayanımlarına ilişkin deney sonuçlar tutanakları Şekil 9-Şekil 11’de verilmiştir.

EĞİLME - BASINÇ DENEY RAPORLARI ÇİZELGESİ													PREPARED BY: QUALITY LABORATORY					
NUMUNE BİLGİLERİ							DENEY SONUÇLARI						AÇIKLAMA					
Sıra No	Deney Tarihi	İmalat No	Numune Cinsi	Müşteri	Üretim Tarihi	Deneyin Adı	FİZİKSEL ÖZELLİKLER				EĞİLME Dayanımı	BASINÇ Dayanımı		KIRILMA Kuvveti	Numune Yaşı			
1	01.01.2002	1	Malzeme 1	Müşteri 1	01.2002	Eğilme	40	160	6400	40	100	7.62	0.00	3253.00				
							40	160	6400	40	100	6.45	0.00	2754.00				
							40	160	6400	40	100	2.85	0.00	1214.00				
							40	40	1600	40		0.00	31.03	49652.00				
							40	40	1600	40		0.00	32.05	51274.00				
							40	40	1600	40		0.00	33.38	53415.00				
							40	40	1600	40		0.00	31.21	49932.00				
							40	40	1600	40								
							40	40	1600	40								
2	01.01.2002	1	Malzeme 1	Müşteri 1	01.2002	Eğilme	40	160	6400	40	100	6.89	0.00	2940.00				
							40	160	6400	40	100	7.26	0.00	3099.00				
							40	160	6400	40	100							
							40	40	1600	40		0.00	34.48	55173.00				
							40	40	1600	40		0.00	36.18	57890.00				
							40	40	1600	40		0.00	31.29	50067.00				
							40	40	1600	40		0.00	24.44	39097.00				
							40	40	1600	40								
							40	40	1600	40								

Şekil 9. 7 Günlük Harç Numunelerin Eğilme Ve Basınç Dayanımları

Investigation of Mechanical Properties of Graphene Additive Mortars



Şekil 10. 7 Günlük Harç Numunelerin Eğilme Ve Basınç Dayanım Grafiği

EĞİLME - BASINÇ DENEY RAPORLARI ÇİZELGESİ															
NUMUNE BİLGİLERİ							DENEY SONUÇLARI								
Deney No	Deney Tarihi	İmalat No	Numune Cinsi	Müşteri	Üretim Tarihi	Deneyin Adı	FİZİKSEL ÖZELLİKLER					EĞİLME Dayanımı N/mm ²	BASINÇ Dayanımı N/mm ²	KIRILMA Kuvveti N	Num. Yaşı
							En mm	Boy mm	Alan mm ²	Yükseklik mm	Mesnet mm				
1	01.01.2002	1	Malzeme 1	Müşteri 1	01.2002	Eğilme	40	160	6400	40	100	8.10	0.00	3457.00	
						Eğilme	40	160	6400	40	100	6.49	0.00	2771.00	
						Eğilme	40	160	6400	40	100				
						Basınç	40	40	1600	40		0.00	37.91	60663.00	
						Basınç	40	40	1600	40		0.00	40.36	64570.00	
						Basınç	40	40	1600	40		0.00	37.25	59600.00	

Şekil 11: 28 Günlük Harç Numunelerin Eğilme Ve Basınç Dayanımları

3.2 Tartışma

Harçların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları şekillerde verilmiştir. Referans numunelerin 7 günlük basınç dayanımları, grafen oksidin çimento yerine %2 oranına kadar kullanıldığı numunelere kıyasla bazılarında artış bazılarında ise azalış göstermiştir. Benzer şekilde 28 günlük harç numunelerde de aynı durum görülmektedir. Ayrıca basınç dayanım değeri az da olsa kür süresinin artmasına bağlı olarak artmıştır.

Eğilme dayanımında ise grafen katkılı numunelerin referans numunelere göre daha büyük yükler altında kırıldığı görülmüştür. Ayrıca kür süresinin artması eğilme dayanımını olumlu yönde etkilemiştir.

Aynı amaçla yapılan başka bir çalışmada da sabit su/çimento oranında ve çimento içeriğinde hazırlanan kırma-kumlu harçlara %0.0, ve %2.0 oranlarında grafen oksit ilave edilmiş, harçlar dayanımlarını kazandıktan sonra, mekanik özellikleri belirlenmiştir. Harçların 7 günlük basınç dayanımları, grafen oksidin çimento yerine %0.5 %1.0, %1.5 oranlarına kadar kullanılması durumunda artmıştır. Ancak %2 oranında kullanıldığında dayanım değeri değeri düşmüştür. Benzer durum 28 günlük harçlarda da görülmüştür. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre de, özellikle %0.5 oranında grafen oksidin harç içerisine ilave edilmesi durumunda mekanik özellikleri önemli derecede (basınçta %44) arttırdığı gözlenmiştir (Uygunoğlu ve Şimşek, 2019).

4 SONUÇ

Bu çalışmada, %2 oranında grafen ikamesinin çimento harçlarına etkisi mekanik özellikleri bakımından incelenmiştir. Şu sonuçlar elde edilmiştir;

- Ø Basınç ve eğilme dayanımı değerleri tüm numunelerde kür süresinin artmasıyla artmıştır.
- Ø Aynı numunelerin farklı dayanım değeri göstermesinin birçok nedeni vardır. Bunlardan bir kaç topaklanma, deneyi yapan kişilerin hatası ve malzeme kusurları olabilir.
- Ø Grafen katkısının bazı numuneleri olumsuz etkileme sebeplerinden biri; katkıda belirli bir oran üzerine çıkıldığı zaman olumlu özelliklerin ortadan kalkarak harç matrisi içerisinde dayanım düşürücü özellikte etki etmesi olabilir.
- Ø Bu sonuçlar grafen katkısının değişik oranlarda azaltılıp artırılması ile değiştirilebilir.
- Ø Deney sonucunda çıkan değerlerin farklılığı malzemenin iç yapısıyla alakalı olabilir.
- Ø Harçların dayanımlarındaki azalmanın diğer bir nedeni de, toz halinde kullanılan grafenin karışım suyuyla birleşimi sonucunda topaklanarak numune içerisinde nano boyutta homojen dağılmamış olabilmektedir.

Referanslar

Doğan, M., Bideci, A., Çomak, B., Sallı, Ö., Besli, E., (2016). Stiren-Butadien Kopolimer Katkısının Çimento Harçlarına Etkisi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (4), 1.67-76.

Erikli, E., Hasanoğlu, A., (2018).Grafen Oksit/Aramid Ve Grafen/Aramid Kompozitlerinin Geliştirilmesi, *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt: 35-6*, 2018.

Gong, K., Pan, Z., Korayem, A. H., Qiu, L., (2015). Reinforcing Effects of Graphene Oxide on Portland Cement Paste, *Journal of Materials in Civil Engineering*, (27), 2. doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001125.

Jintao, L., Quinghua, L., (2015). Progress in Research on Carbon Nanotubes Reinforced Cementitious Composites, *Advances in Materials Science and Engineering, Volume 2015*, Article ID 307435, <http://dx.doi.org/10.1155/2015/307435>.

Topçu, H. M., (2019). Grafen oksit içeren aerojellerin hazırlanması ve karakterizasyonu, *Master of Thesis, Marmara Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dal.*

TS EN 197-1, (2012). *Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler Ve Uygunluk Kriterler.*

Uygunoğlu, T., Şimşek, B., (2019). Grafen Oksit Katkılı Harçların Mekanik, Fiziksel ve Elektriksel Özelliklerinin Araştırılması, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 7(1), 196 – 204. e-ISSN: 1308-6693 ; DOI: 10.21923/jesd.451473.



Blockchain Applications In Structural Engineering

Ali GÜRBÜZ*¹

¹Recep Tayyip Erdogan University, Department of Civil Engineering, Rize, Turkey.
Corresponding Author: ali.gurbuz@erdogan.edu.tr

Keywords:

*Blockchain,
Blockchain
Application in Civil
Engineering.*

Abstract

The aim of this article is to reveal the uses of blockchain in structural engineering. For this purpose; The contribution of this new technology to structural engineering was investigated. Blockchain is a technology called “Decentralized organization” or “distributed organization”. The first blockchain application was developed in 2009. The financial sector is where the system is mainly used. The application of the system in the construction industry only focuses on issues such as information sharing and intellectual property rights. Exemplary practices have already been developed in many countries. When the existing applications are examined, it is understood that blockchain projects can contribute to the building sector in fields such as certification, logistics, audit, valuation.

Yapı Mühendisliğinde Blok Zinciri Uygulamaları

Anahtar Kelimeler;

*Blok Zinciri,
İnşaat
mühendisliğinde Blok
zinciri uygulamaları.*

Özet

Bu makalenin amacı blok zincirinin yapı mühendisliğindeki kullanım alanlarını ortaya koymaktır. Bu amaçla; bu yeni teknolojinin yapı mühendisliğine sağlayabileceği katkılar araştırılmıştır. Blok zinciri; “merkezi olmayan organizasyon” veya “dağıtılmış organizasyon” olarak isimlendirilen bir teknolojidir. İlk blok zinciri uygulaması 2009 yılında gerçekleştirilmiştir. Sistemin ağırlıklı olarak kullanıldığı yer finans sektörüdür. Sistemin inşaat endüstrisindeki uygulamaları henüz sadece bilgi paylaşımı ve fikri mülkiyet hakları gibi konular üzerine yoğunlaşmaktadır. Halihazırda birçok ülkede örnek uygulamalar geliştirilmiştir. Mevcut uygulamalar incelendiğinde blok zinciri projelerinin sertifikasyon, belgelendirme, lojistik, denetim, değerlendirme gibi alanlarda yapı sektörüne katkı sağlayabileceği anlaşılmaktadır.

1 GİRİŞ

Blockchain veya blok zinciri ilk olarak 2008 yılında yayımlanan “Eşler arası elektronik para sistemi” isimli bir makaleyle ortaya çıkmış ve mevcut parasal sisteme yeni bir alternatif önermiştir (Nakamoto, 2008). Yazar, söz konusu makalesinde takma isim kullanarak kimliğini gizlemeyi tercih etmiştir (Ünal ve Kocaoğlu, 2018). Bir yıl sonra ise önerdiği sistemi gerçeğe dönüştürerek, uygulamaya sokmuştur (Ünal ve Kocaoğlu, 2018). Yazılış amacına uygun olarak finans sektörü blockchain sistemini çok hızlı benimsemiştir. Ortaya çıkmalı henüz 10 yıl geçmesine rağmen bugün blockchain tabanlı finans sistemlerinin toplam hacmi 6500 ton değerinde saf altına karşılık gelmektedir. Yazar bir yıl sonra teorisini gerçeğe dönüştürerek ilk blok zinciri uygulamasını piyasaya sürmüştür. Takip eden yıllarda farklı uygulamalar gelişmiş ve gelişmeye devam etmektedir.

Blok zinciri kullanımının temel amacı merkezi bir otoriteye bağlı kalmadan işlem yapabilmektir. “Merkezi

olmayan” veya “dağıtılmış” diye isimlendirilen sistemlerin temel prensibi; bilgiyi bir merkezde depolamak yerine, sistemdeki bütün paydaşlara dağıtma esasına dayanır. Blockchainin dağıtılmış sistemlere getirdiği en büyük yenilik ise bilginin bütün paydaşlarca görüntülenebilmesi fakat değiştirilemez olmasıdır. Bir başka ifadeyle blockchain teknolojisi şeffaflık gerektiren uygulamalarda güçlü bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Halihazırda bu teknolojiden faydalanılan alanlara; elektronik oylamalar, noterlik hizmetleri, dijital kimlik belgeleri, online sözleşmeler, satınalma hizmetleri gösterilebilir.

Blok zinciri teknolojisine kamusal yatırımların yanı sıra özel sektör kuruluşları da ilgi duymaktadır. İnşaat sektörü açısından bakıldığında; sektörün sağladığı istihdam ve diğer iş gruplarıyla olan yüksek etkileşimi nedeniyle inşaat endüstrisinin değişimlerden etkilenmemesi mümkün değildir.

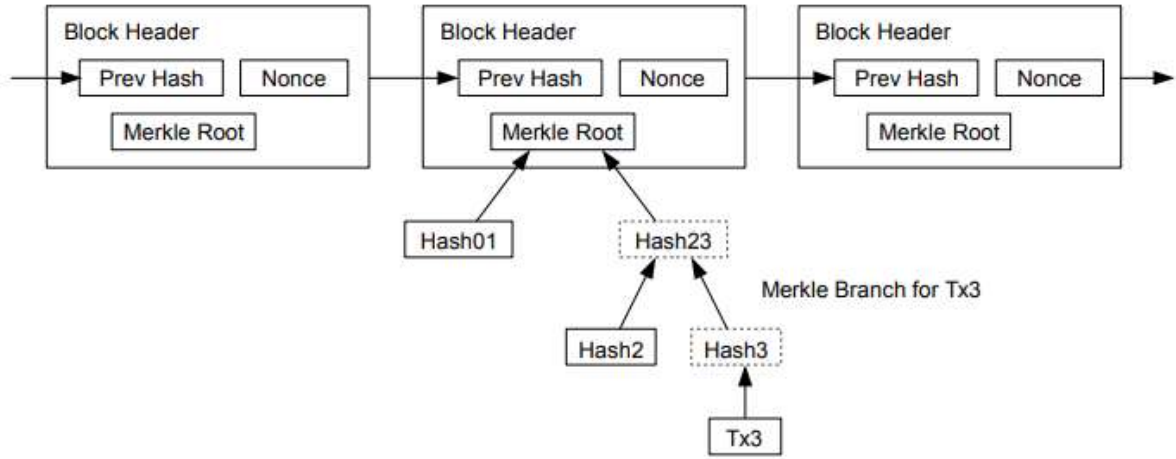
Sektörün önemli firmaları basına verdikleri demeçlerle blok zinciri teknolojisine yatırım yaptıkları ve gelişmeleri yakından takip ettiklerini göstermektedirler (Byrne, 2018). Yapı mühendisliğinin önemli yazılım firmaları da blok zincirinin merkeziyetsiz ve güvenilir bir kayıt sistemi olmasının avantajlarına değinmiştir (Byrne, 2018). Ayrıca sistemin değiştirilemezliğe sahip olduğunu ve bu özelliğiyle sürece bir çok insanın dahil olduğu ama kimsenin birbirine güvenmediği inşaat sektöründe bazı uygulamalara konu olabileceği vurgulanmaktadır (Byrne, 2018).

2 BLOK ZİNCİRİ

Block zinciri; birbirine bağlı halkalardan (bloklardan) oluşan bir ağ zincirini ifade eder. şifrelenmiş işlem yapma ve takip etme sağlayan bir dağıtılmış veritabanı sistemidir. Bütün unsurlarıyla ilk defa ortaya çıkmış bir sistem değildir. Dağıtılmış veri tabanları daha önceden bilinen sistemlerdir (Wu ve Befford, 1996; Kunnathur ve Solis, 1989; Lee, 1989). Şifrelemesi ise yazılım tarihinden çok daha eski tarihlerde bile kullanılmaktadır. Blok zinciri; dağıtılmış veri tabanını özel anahtarlı şifreleme ve sistemin sürekliliğini sağlayacak bir teşvik sistemi ile birleştirmiştir. Böylece hiçbir merkeze bağlı olmadan işlem yapılabilen, takip edilebilen fakat değiştirilemeyen bir sistem ortaya çıkmıştır. Bu özellikleriyle kullanıcılar arasında herhangi bir kurum, otorite veya 3. şahıslara ihtiyaç kalmadan güvenli işlem yapabilmeyi sağlamaktadır. Aracıları ortadan kaldırdığı için mevcut sistemlere önemli bir alternatif olarak ön plana çıkmaktadır. Kullanım alanları her geçen gün artmakla birlikte günümüzde para transferi, dijital kimlik, akıllı reklamlar, dijital oy kullanma, tedarik zinciri oluşturma ve yönetme, ihale açma ve yönetme, tasdik ve onay gibi bir çok alanda kabul görmüştür.

2.1. Blok Zincirinin Çalışma Prensibi

Zincir şeklinde birbirine bağlı veri bloklarından oluşan bu sistemin çalışma prensibi temelde çok basit iki esasa dayanmaktadır. Bunlardan bir tanesi; verileri “bir ana bilgisayarda depolamak yerine ağa dahil olan paydaşların tamamında birden depolamak”dır. Diğeri ise; “sisteme eklenen her bir verinin kalıcı olması”dır. Eğer herhangi bir veride değişiklik yapılmak istenirse, eski veriyi silmek yerine zincire o verinin güncel bir versiyonunu eklemek gerekmektedir. Böylelikle yapılan tüm düzenler de anonim olarak arşivde görünür kalacaktır. Sisteme girilen her veri için bir başlık ve yüksek güvenli bir şifre kullanır. Bu şifre aynı zamanda veriyi giren kullanıcının kimliğidir. Bir veri girişi tamamlandığında, şifrelenmiş veriler “hash” adı verilen bir sayısal değer ile kaydedilir. Devam eden veri girişleri için aynı formül kullanılarak yeni hash oluşturulur. Birden fazla hash aynı metotla birleştirilerek bir üst hash oluşturulabilir. Hash oluşturma işlemi tamamlandığında, oluşturulan hashlar bloklanır. Blok oluşturulduktan sonra zincirin bir halkası olarak blok zincirine eklenmelidir. Ekleme işlemi sistemdeki diğer kullanıcıların işlemin doğruluğunu onaylaması ile gerçekleşir. Sisteme eklenen bütün bloklar bir seri numarası ile birbirlerine bağlıdır. Bu seri numarası blokların kesintisiz devamını sağlar. Bir başka ifadeyle sistemden veri silmek mümkün değildir. Sistemin işleyişini anlamak için defter benzetmesi kullanılmaktadır. Buna göre; bir blok zinciri; sayfa numaraları olan bir deftere benzetilebilir; defterin her sayfası bir bloktur ve yeni bir veri girildiğinde silinmez kalemle bir önceki sayfadan devam edilmek üzere yeni bir sayfa yazılır (Avunduk ve Aşan, 2018; Hampton, 2016). Bir sayfayı oluşturmak dakikalar sürmektedir ve sistemdeki kullanıcılar sürekli olarak yeni sayfalar eklemektedir (Avunduk ve Aşan, 2018; Hampton, 2016). Sayfaları herkes okuyabilir fakat sayfa numarası bir kez kullanıldığı için sistemdeki verilerin değiştirilmesi ancak zincirin tekrar yazılmasıyla mümkündür (Avunduk ve Aşan, 2018; Hampton, 2016). Yeniden yazma ihtimalini ortadan kaldırmak için en çok kullanıcı tarafından doğrulanan en çok sayfa sayfası olan defter, gerçek defter kabul edilmiştir (Avunduk ve Aşan, 2018; Hampton, 2016). Teorik olarak sistemde hile yapılmasının tek yolu; kullanıcıların %51’inin bilgisayarını ele geçirmek olarak ifade edilmektedir. Kullanıcı sayısı arttıkça sistemin güvenilirliği %100’e yaklaşmaktadır. Şekil 1’deki sistemin ilk mucidi (Nakamoto, 2008) tarafından çizilen şematik görüntü, blok zincirinin çalışma prensibini göstermektedir.



Şekil 1. Blok Zincirinin Şematik İfadesi (Nakamoto, 2008)

3 YAPI MÜHENDİSLİĞİNDE BLOK ZİNCİRİ UYGULAMALARI

Yapı mühendisliği uygulamaları çok sayıda iş kolundan oluşan geniş bir tedarik zinciri kullanmaktadır. Bütün bu araçlar ve aracılık hizmetleri ortaya çıkan son ürünün maliyetini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu aracı hizmetlerin maliyeti ülke ve bölge faktörlerine bağlı olarak değişmekle birlikte toplam iş maliyetinin %50'sine kadar çıkabilmektedir (Dakhli ve ark., 2019). Yapı mühendisliğinde blok zincirinin kullanılabilirdiği bir çok sektör var. Bunların başında gayrimenkul sektörü gelmektedir. Herhangi bir taşınmaz ile ilgili bütün veriyi bir blok haline getirip şeffaf bir şekilde saklamak önemli avantajları barındırmaktadır. Buradaki anahtar özellik blok zincirinin temel yapısı olan “kaydedilip ilan edildikten sonra değiştirilemezlik” olmaktadır. Geleneksel uygulamada; bir gayrimenkule ilişkin tescil işlemleri, sahteciliğe karşı tasdik işlemleri, alım satım için emlak komisyon işlemleri aracı kurum ve kuruluşlarca yapılmaktadır. Bu işlemler için gayrimenkulün fiyatı üzerinden önemli komisyon ücretleri ödenmektedir. Modern blok zinciri uygulamaları ise bütün bu işlemlere şeffaf ve güvenilir bir alternatif oluşturarak önemli oranda tasarruf sağlayabilmektedir. Taşınmazın kime ait olduğu, pafta bilgileri, alım satım bilgileri ve üzerinde hangi işlemlerin yapıldığı gibi bütün veriler kamuya açık şekilde bir blok zincirinde muhafaza edilebilmektedir. Birleşik Arap Emirlikleri, Estonya ve İsveç bu tür işlemlerin blok zinciri uygulamaları ile dijital ortama taşınmasında öncülük etmektedirler. Değişim hızı göz önüne alındığında yakın gelecekte bu uygulamaların Dünyada hızla yaygınlaştığı öngörülebilir. Rusya’da Vnesheconombank ve Konut İpoteği Kredilendirme Ajansı (AHML) tarafından ortak gerçekleştirilen blok zinciri projesi ile inşaat sektöründe akıllı sözleşmeler uygulamaya konulmuştur (Rychagov ve Kinyakina, 2018). Örnek olarak Leningrad bölgesinde uygulanan konut kredi ve ipotek işlemleri öngörülen bir dakikalık süre dolmadan tamamlanmıştır (Rychagov ve Kinyakina, 2018). Söz konusu uygulama ile ortalama 5 gün süren gayrimenkul işlemleri blok zinciri teknolojisi ile 1 dakikada tamamlanabilmektedir (Rychagov ve Kinyakina, 2018). Resmi işlemlere ilk örneklerinden bir tanesi 2007 yılında Ukrayna’da gerçekleşen mesken alım satımıdır. Amerika Birleşik Devletleri’ndeki bir amerikan vatandaşı blok zinciri üzerinden Ukrayna’daki gayrimenkulu resmi olarak satın almış ve gayrimenkul alım satım ücretini dahi blok zinciri tabanlı bir sanal para ile ödemiştir (Ablyazov ve Petrov, 2019).

Gayrimenkul işlemleri dışında da yapı mühendisliğinde denenmiş ve başarıya ulaşmış bir çok blok zinciri uygulaması mevcuttur. Bunlardan biri de “dijital sözleşmeler” veya bir diğer adıyla “akıllı sözleşmeler”dir. Dijital sözleşmeler; sigorta sözleşmeleri, ihale, alım satım sözleşmeleri gibi rutin anlaşmaları çok daha hızlı, masrafsız ve güvenli hale getirmektedir. Yapı mühendisliğinde bir işin tamamlanması için birden çok paydaşa ihtiyaç vardır. Bu nedenle her iş için sözleşmeler tanzim etmek kaçınılmazdır. Blok zincirinin güven ve şeffaflık alanındaki yenilikleri burada önemli bir kullanım sahası sunmaktadır. Herhangi bir işe ait dijital bir sözleşme oluşturularak tarafların blok zincirine dahil olan kullanıcıların onayıyla sözleşme imzalaması, alım satım yapması, yapılan işlere onay vermesinin mümkün olduğunu belirten (Mason ve Escott, 2018) konuyla ilgili yaptıkları çalışmada; Londra’da faaliyet gösteren inşaat şirketleri üzerinden konuyu incelemiş ve dijital sözleşmeler yoluyla inşaat sektöründe maliyetlerin ciddi oranda azaltılabileceğini göstermiştir.

Blok zinciri dijital bir sistemdir. Bu nedenle yapı mühendisliğinde uygulanabilirliği en kolay alanlardan birisi de BIM (Building Information Management) kısaltmasıyla bilinen yapı bilgi modellemesidir. Yapı bilgi modellemesine ilişkin yazılımlar; bir inşaatın en başından en sonuna kadar planlama, ihale, tedarik, yapım, denetim, yönetim ve izleme aşamalarını dijital ortamda yürütmeyi sağlar (Turk, 2016).

Blok zincirinin IOT (Internet of Things) kısaltmasıyla bilinen “nesnelerin interneti” teknolojisiyle birlikte kullanılması halinde yapı mühendisliği alanında verimliliği artıracığı öngörülmektedir (Heiskanen, 2017). İş makineleri üreticileri ve çeşitli inşaat malzemesi üreticileri gibi yapı sektöründe faaliyet gösteren büyük şirketler ürünlerine IOT uygulamaları etmektedirler (Heiskanen, 2017). Tamamı insan kontrolünde yapılan işlerde sıkça hatalar meydana gelmektedir (Heiskanen, 2017). IOT uygulamaları insan faktörüne bağlı hataları en aza indirmek için kullanılmaktadır. (Heiskanen, 2017) 2004 yılında gerçekleştirdiği bir konut projesi sırasında hiçbir katma değeri olmayan değişikliklerle ilgili süreç analizi yaptığını ifade etmiştir. Buna göre; dairelerde yapılacak bir değişiklik için 11 şirket, 48 ana işlem adımı ve 27 farklı bilginin değişmesi gerekmiştir (Heiskanen, 2017). Zamanında şantiyeye ulaşmamış beton kullanılması sonucu yıkılan binalar çok daha kötü bir örnek olarak gösterilebilir (Heiskanen, 2017). Kullanılan IOT uygulamalarının bir blok zinciri ile birbirine eklenmesi bütün iş geneli için çok daha hızlı, izlenebilir, şeffaf ve emniyetli hale getirecektir.

Örneğin kullanım oranları dikkate alındığında hazır betonun inşaat sektörü için özel bir yeri olduğu görülür. Bu nedenle (Lanko ve ark., 2017) Hazır beton santrallerini inceleyerek, betonun üretiminden başlayıp zamanında ve uygun şartlarda şantiyeye taşınmasını temin edecek bir blok zinciri uygulaması önermişlerdir. Önerilen uygulama; bu teknolojinin sektördeki gelişime sağlayacağı katkıyı ortaya koyan iyi örneklerden birisidir. hazır beton üretim, nakliye ve denetim aşamalarında bu teknolojiden yararlanmak olacaktır. Blok zinciri tabanlı uzaktan kontrol sistemleri üzerine yapılan çalışmalar ileride bu sistemlerin daha da yaygınlaşacağını göstermektedir (Kogure ve ark., 2017).

İnşaat sektöründeki uygulamalara ilişkin bir diğer örnek keşif ve metraj hesaplarında blok zincirinden yararlanılmasıdır. İyi organize edilmiş akıllı sözleşmeler ve blok zincirleri ile yapı maliyet hesapları daha gerçekçi hale getirilebilmektedir (Barima, 2017).

Blok zinciri teknolojisinin devamlı yaygınlaşan uygulama alanları bu makale ve benzer araştırmaların da yaygınlaşmasını teşvik etmiştir. Son bir kaç yıl içinde blok zincirinin kullanılabilirliği sektör ve uygulamaların incelenmesi için çok sayıda makale ile araştırma projeleri yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir (Li ve ark., 2019; Turk, 2017; Hultgren ve Pajala, 2018).

4 SONUÇ

Bu makalede blok zinciri teknolojisinin yapı mühendisliği alanındaki uygulama sahaları incelenmiştir. Yapılan araştırmalar bu teknolojinin henüz çok yeni olduğunu ve yapı mühendisliği ile ilişkili uygulamaların son birkaç yıl ile sınırlı olduğunu ortaya koymuştur. Buna rağmen bir kaç yıl içinde oldukça fazla sayıda proje hayata geçmiş ve geçmektedir. Bir teknolojinin bu kadar hızlı yayılması ve birçok devletin bu teknolojinin geliştirilmesine yönelik teşvikleri belki de blok zincirinin sahip olduğu potansiyelden daha fazla ilgi görmesine sebep olmuştur. Sistemi yeni bir element, bir imalat tekniği veya bir son ürün olarak düşünmek yerine yeni bir bilgi paylaşım metodu olarak görmek çok daha gerçekçi olacaktır. Fakat bunu yaparken internetin de bir bilgi paylaşım metodu olduğunu ve internetin icadı ile Dünyada yol açtığı gelişimi göz ardı etmemek gerekir. Bu makalede elde edilmek istenen sonuç; blok zinciri ile çalışan mevcut uygulamalara bakarak bugünkü durumu yorumlamak ve ilerideki potansiyel kullanım sahalarına ilişkin tahmin yürütmektir.

Halihazırda blok zinciri tabanlı bir çok pilot uygulama faaliyete geçmiş olmakla birlikte, bütün bu uygulamaların tamamı aslında birer “bilgi paylaşımı” veya “iletişim”den ibarettir. Sektöre getirdiği yenilik ve kullanım alanlarının tamamı aslında blok zincirinin iki anahtar özelliği ile sınırlıdır. Bu iki özellik;

- “Bir depolama merkezine ihtiyaç duyulmadan bilgi depolama” özelliği ve
- “Sisteme herkesin yeni bilgi ekleyebilmesine rağmen hiç kimsenin mevcut bilgiyi değiştirememesi” özelliğidir.

Sistemi kullanan tüm uygulamalar bu iki özelliği birleştirerek “bir merkezi otoriteye güvenme ve bu güvenin karşılığı olan zaman kaybı ile komisyon harçlarını ortadan kaldırma” prensibine dayanmaktadır. Bir bilginin asla değiştirilemez olması ve isteyen herkesin bu bilgiye ulaşabilmesi; teorik olarak onay ve tasdik için merkezi bir otoriteye olan ihtiyacı ortadan kaldırabilir. Örneğin; geleneksel sistemde bir gayrimenkulun kime ait olduğunun tasdik edilmesi için tapu dairesinin sisteminde depolanan bilgiler esas alınır. Buna karşılık bu bilginin

güncellenmesi için tapu dairelerinden randevu alınması, noter, banka, avukat gibi birçok aracı kullanılması gerekir. Ayrıca tüm bu araçlara işlem ücretleri ödenmektedir. Gayrimenkulun kime ait olduğunun belirlenmesinde tapu dairesi kayıtları yerine bir blok zinciri esas alındığını varsayalım. Bu durumda gayrimenkule ilişkin bilgileri herkes görebilecek fakat hiç kimse değiştiremeyecektir. Bilginin güncellenmesi, örneğin gayrimenkulun el değiştirmesi için gayrimenkul sahibinin zincire yeni bir blok eklemesi yeterli olacaktır. Böylece hem işlem çok hızlı bir biçimde tamamlanacak hem de araçlar ve ücretler ortadan kalkacaktır. Benzer şekilde; bir ihaleye herkesin teklif verebilmesi ve verilen teklifleri herkesin görebilmesi hile ve dolandırıcılık riskini ortadan kaldırmaktadır.

Kamu ve özel sektörde tek bir kuruluşun yürüttüğü belgelendirme, denetim, onay gibi hizmetleri kamuya yayarak herkesin ortak sorumluluğuna vermek elbetteki bir anda uygulanması zor bir senaryodur. Bu nedenle blok zinciri tabanlı uygulamaların resmîleşmesi, yasal mevzuatın hazırlanması ve uygulamaya konulması pilot uygulamalar ile başlayıp zamanla yaygınlaşması beklenmektedir. Bazı devletlerin blok zinciri uygulamalarına teşvik ve öncülük etmesi bu teknolojinin Dünya genelinde resmîyet kazanmasını da kolaylaştıracaktır.

Blok zinciri teknolojisinin bugünkü haliyle kullanım alanlarını Provenance şirketinin kurucu CEO'su Jessi Baker'm ifadesi tek cümlesiyle özetlemektedir. "Hizmet sağlayıcılar itibarlarını güçlendirmek için tedarik zincirlerindeki şeffaflığı giderek daha fazla artırmak istiyor. Tüketiciler ise satın aldıkları hizmetle ilgili giderek daha fazla bilgi öğrenmek istiyor. Blok zinciri her ikisini de sağlamaya yardımcı olabilir" [20].

Referanslar

Anand S. Kunnathur, Rafael Solis, (1989). Multiple copy file allocation and placement in a distributed information network, *Computers & Industrial Engineering*, (16), 2, 225-234. ISSN 0360-8352, [https://doi.org/10.1016/0360-8352\(89\)90141-1](https://doi.org/10.1016/0360-8352(89)90141-1).

Avunduk, H., Aşan, H., (2018). Blok Zinciri (Blockchain) Teknolojisi ve İşletme Uygulamaları: Genel Bir Değerlendirme, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (33), 1, ss.369-384.

Byrne, S., (2018). Autodesk CEO tips blockchain to cut construction industry corruption, *Australian Financial Review*, Nov 19, 2018. [Online] Available: <https://www.afr.com/technology/autodesk-ceo-tips-blockchain-to-cut-construction-industry-corruption-20181116-h17z3z>

Heeseok Lee, "Time and cost tradeoff for distributed data processing" *Computers & Industrial Engineering*, Volume 16, Issue 4, 1989, Pages 553-558, ISSN 0360-8352, [https://doi.org/10.1016/0360-8352\(89\)90172-1](https://doi.org/10.1016/0360-8352(89)90172-1).

Ablyazov, T., Petrov, I., (2019). Influence of blockchain on development of interaction system of investment and construction activity participants, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 497 012001, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/497/1/012001>

Barima, O., (2017). Leveraging the blockchain technology to improve construction value delivery: the opportunities, benefits and challenges. In: Hall, K. (ed.) *Construction Projects*, pp. 93–112. Nova Science Publishers Inc, New York, USA.

Dakhli, Z., Lafhaj, Z., Mossman, A., (2019).The Potential of Blockchain in Building Construction, *Buildings*, 9(4), 77. <https://doi.org/10.3390/buildings9040077>

Hampton, N., (2016). Understanding the blockchain hype: Why much of it is nothing more than snake oil and spin. *Computerworld*. <http://www.computerworld.com.au/article /606253/ understandingblockchain-hype-why-much-it-nothing-more-than-snake-oilspin/>.(10.12.2017).

Heiskanen, A.(2017). The technology of trust: how the internet of things and blockchain could usher in a new era of construction productivity The technology of trust: how the internet of things and blockchain could. *Constr. Res. Innov.* 8, 66–70

Kogure, J., Kamakura, K., Shima, T., Kubo, T. (2017). Blockchain technology for next generation *ICT. Fujitsu Sci. Tech. J.* 53, 56–61

Lanko, A., Vatin, N., Kaklauskas, A., (2018). Application of RFID combined with blockchain technology in logistics of construction materials. *Matec Web of Conferences*, 170, 03032 *International Conferences of Business Technologies for Sustainable Urban Development, Section: Engineering Systems and Building*

Investigation of Mechanical Properties of Graphene Additive Mortars

Materials, 13 June 2018. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817003032>

Li J., Greenwood D., Kassem M. (2019) Blockchain in the Construction Sector: A Socio-technical Systems Framework for the Construction Industry. In: Mutis I., Hartmann T. (eds) *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00220-6_7

Mason, J., Escott, H. (2018). Smart contracts in construction: views and perceptions of stakeholders. *In Proceedings of FIG Conference*, Istanbul May. Available from: <http://eprints.uwe.ac.uk/35123>

Michael Hultgren and Fredrik Pajala, (2018). Blockchain technology in construction industry- Transparency and traceability in supply chain, *Royal Institute Of Technolog, Department Of Real Estate And Construction Management, Master Thesis Number: TRITA-ABE-MBT-18241*, Stockholm, Sweden. 2018.

Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.

Rychagov, M., Kinyakina, E. (2018). Blockchain üzerinde Rosreestr. Mortgage işlemi bir dakika içinde kaydedilebilir, *Forbes*, [Online] Available: <https://www.forbes.ru/tehnologii/356893-rosreestr-na-blokcheyne-ipotechnuyu-sdelku-mozhno-zaregistrovat-za-minutu>

Turk, Z. (2016). Ten questions concerning building information modelling, *Building and Environment*, 107 (2016), pp. 274-284.

Turk, Z., Klinc, R. (2017). Potentials of Blockchain Technology for Construction Management, *Procedia Engineering*, Volume 196, Pages 638-645

Unilever Türkiye, (2019). Blockchain (Blok zinciri) nedir? *Haberler -Bu teknolojiyi kimler neden kullanır?* [Online] Available: <https://www.unilever.com.tr/news/news-and-features/2019/block-zinciri-nedir.html>

Ünsal, E., Kocaoğlu, Ö., (2018). Blok Zinciri Teknolojisi: Kullanım Alanları, Açık Noktaları ve Gelecek Beklentileri, *European Journal of Science and Technology*, No. 13, pp. 54-64. DOI: 10.31590/ejosat.423676.

Wu, C., Befford, G. G., (1996). Improving the flexibility for replicated data management in distributed database systems, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 31, Issues 3-4, December, Pages 901-905. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(96\)00274-4](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(96)00274-4)