



Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi International Journal of Technological Sciences

Elektronik Dergi, e-ISSN: 1309-1220

Cilt/Volume: 12 Sayı/Number: 2 Ağustos/August 2020



biomedical simulation
manufacturing electrical robotics
 research ecology biomimetics information artificial intelligence
 solution wind energy analysys ethics software
 data ecology architecture From theory to practise
 renewable energy machine learning computer ecology analog innovation knowledge
cad/cam science design data technology
 human robotics optimization analysys cad/cam digital ethics
 smart buildings object optimization hardware construction smart materials ecology
 mechanical electronic **inovation** mechatronic human digital
 computational software application

Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi

International Journal of Technological Sciences

Sahibi / Owner
Ali Kemal YAKUT

Yayın Yönetmeni / Publishing Manager
Reşat SELBAŞ

Editör / Editor in Chief
Nihat YILMAZ

Yardımcı Editörler / Vice Editors
Önder KIZILKAN
Ergün KORKMAZ

Alan Editörleri/Associate Editors

Abdullah ÖZSOY
Cengiz ÖZEL
Okan BİNGÖL
İsmail Serkan ÜNCÜ

Editör Kurulu / Editorial Board

Ali Kemal YAKUT
Reşat SELBAŞ
Arzu ŞENCAN ŞAHİN
Bekir YALÇIN
Ahmet KABUL

Yayın Danışma Kurulu/Editorial Advisory Board

Hiroshi YAMAGUCHI, Doshisha University
İbrahim DİNÇER, Ontario Tech University
Mustafa ACAROĞLU, Konya Teknik Üniversitesi
Mustafa Reşit USAL, Süleyman Demirel Üniversitesi
Ramazan KÖSEOĞLU, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Refik KAYALI, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Özlem TERZİ, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Mustafa AY, Marmara Üniversitesi
Şemsettin KILINÇARSLAN, Süleyman Demirel Üniversitesi
Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE, Süleyman Demirel Üniversitesi
Ömer Necati CORA, Karadeniz Teknik Üniversitesi
Mehmet Akif EZAN, Dokuz Eylül Üniversitesi

Grafik Tasarım / Graphic Design
Sinan İLKAZ

Teknik Sorumlu / Technical Manager
Serap ERGÜN
Nejat TÜKENMEZ

Mizanpaj / Make-up
Serpil ÇELİK TOKER

Dergi Adresi / Journal Address

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

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

Cilt / Volume: 12

Sayı/Number: 2

Ağustos/August 2020

e - ISSN : 1309-1220



İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Sayfa No

Araştırma Makalesi

Batma derinliği farklı olan kenetlerin yığma duvarların davranışına etkisinin araştırılması

Investigation of the effect of the clamps with different immersion depth on the masonry wall's behavior 56-62
Şükran TANRIVERDİ, Tülin ÇELİK, Ali URAL, Fatih Kürşat FIRAT

Kenet batma mesafesinin kayma dayanıma etkisinin sonlu elemanlar metoduyla modellenmesi

The examination of shear strength effect of the clamp immersion distance based on finite element modelling 63-68
Tülin ÇELİK, Şükran TANRIVERDİ, Ali URAL, Fatih Kürşat FIRAT

ARIMA modeli kullanılarak Türkiye'deki iklim sıcaklıklarının geleceğe yönelik tahminlenmesi

Estimation of future climate temperature in Turkey using the ARIMA model 69-76
Bekir AKSOY, Osamah Khaled Musleh SALMAN

R32 Soğutkanlı bir ısı pompasının termodinamik analizi

Thermodynamic Analysis of a Heat Pump Using R32 77-83
Arif Emre Özgür, Melih Manır

Orijinal Makale/Research Article

Batma derinliği farklı olan kenetlerin yığma duvarların davranışına etkisinin araştırılması

Şükran Tanrıverdi¹, Tülin Çelik¹, Ali Ural¹, Fatih Kürşat Fırat¹

¹Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 68100, Aksaray, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Tarihi yapılar
Yığma yapılar
Kenet
Bağlantı elemanı
Çekme gerilmesi

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 29.10.2018
Kabul Tarihi: 21.09.2020

Özet: Tarih boyunca insanlar barınma ihtiyacını karşılamak amacıyla birçok yığma yapı inşa etmiştir. Yığma yapılar deprem, sel, rüzgâr gibi doğal afetler nedeniyle ağır hasar almıştır. Bunun temel nedeni taş yığma yapıların düşük çekme dayanımına sahip olmasıdır. Tarihte yığma yapıların çekme dayanımını arttırmak için çeşitli bağlantı elemanları kullanılmıştır. Bu bağlantı elemanları ilk olarak ahşap malzemeden üretilmesine rağmen daha sonra teknolojinin gelişmesiyle birlikte metal malzemelerden yapılmaya devam edilmiştir.

Bu çalışmada metal bağlantı elemanı olarak kullanılan kenetlerin, yığma taş blokların davranışlarına etkisi deneysel metotlarla incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada değişken olarak kenet demirlerinin yığma taş blok üzerindeki batma derinliği dikkate alınmıştır. Bu konu hakkında literatür de yapılmış çalışma yok denecek kadar azdır ve bu çalışmayla literatürdeki bu eksiklerin giderilmesi amaçlanmaktadır.

Atıf için/To Cite:

Tanrıverdi Ş. Çelik T. Ural A. Fırat F.K. Batma Derinliği Farklı Olan Kenetlerin Yığma Duvarların Davranışa Etkisinin Araştırılması. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 12(2), 56-62, 2020.

Investigation of the effect of the clamps with different immersion depth on the masonry wall's behavior

Keywords

Historical structures
Masonry constructions
Clamp
Connection element
Tensile stress

Article history:

Received: 29.10.2018
Accepted: 21.09.2020

Abstract: Throughout history, people have built many masonry structures to meet the need for shelter. Masonry structures has taken heavy damage due to natural disasters such as earthquakes, floods, wind. The main reason is that it has low tensile strength of stone masonry structures. Various connectors have been used to increase tensile strength of the masonry structure in the history. Although these connectors were manufactured from the first wood material and then they continued to be made from metal materials with the development of technology.

In this study, the effects of the clamps used as metal connection elements on the behavior of the masonry stone blocks were investigated by experimental methods. In the experimental study, immersion depth of clamps on the masonry stone block are taken into consideration as a variable. It is almost no studies in the literature on this topic and the study is aimed to overcome these short comings of the literature.

1. Giriş

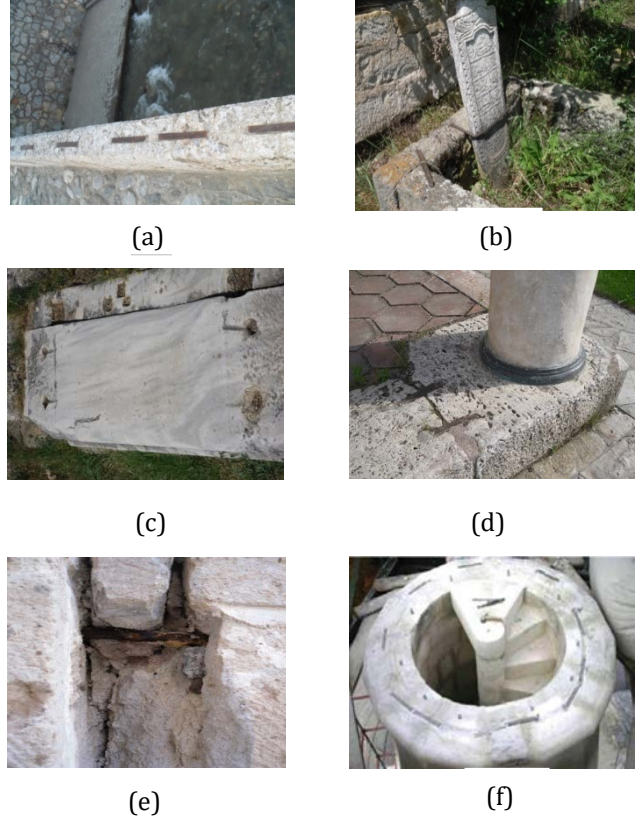
Yığma yapılar briket, taş, kerpiç, tuğla gibi birimlerin harçlar ile oluşturdukları taşıyıcı sistemlerdir. İlk çağlardan günümüze kadar insanoğlu barınma amacıyla çeşitli yığma yapılar yapmışlardır. Yapılan araştırmalar neticesinde yığma yapıların ilk örnekleri M.Ö. 1500 yıllarında Mısırlılara ait yer altı mezarlarında görülmüştür.

Yığma yapılar aynı ekseninde birbirine ters yönde yüklemelere maruz kaldığı zaman kayma (kesme) etkisiyle, yığma yapılarda büyük deformasyonlar oluşmaktadır. Bu deformasyonu önlemek ve kesme kuvvetine karşı dayanımı arttırmak amacıyla bu yapıları oluşturan tuğla, taş, briket, kerpiç gibi malzemelerin yanında düşey doğrultudaki yığma birimleri birbirine bağlayan eleman olarak bilinen

zıvana ve yatayda iki yığma birimi bağlayan kenet elemanları kullanılmaktadır. Selçuklu ve Osmanlı döneminde yapılan cami, han, hamam, minare gibi yapılarda bunun örnekleri görülmektedir. Metal bağlantı elemanı olarak kullanılan kenetler U, Z, T, I, ve kırlangıç kuyruğu şeklinde olup, yapıda bir bütünlük sağlayarak taş blokların hareket etmesine ve kaymasına engel olmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiği zaman bağlantı elemanı olarak kullanılan kenet ve zıvana demirlerinin sistemin sünekliğini ve dayanımını önemli derecede artırdığı ortaya çıkmaktadır.

Ural 2017, yaptığı çalışmada değişken olarak ele aldığı zıvana demirlerinin çapının yığma duvarın kayma davranışına etkisini deneysel metotlarla incelemiştir. Deney sonucunda zıvanalı numunelerin kayma dayanımlarının, zıvanasız referans numunenin kayma dayanımından daha büyük olduğu ve en uygun zıvana oranının %0,49 civarında olduğu ortaya koymuştur [1]. Uslu 2013, yüksek lisans tez çalışmasında, kenet ve zıvanaların yığma duvarın kayma mukavemetini yaklaşık olarak 4 kat artırdığını yapmış olduğu deneyler sonucunda ortaya çıkarmıştır [2]. Koçak 2013, yaptığı çalışmada çeşitli metal bağlantı elemanları kullanarak taş yığma duvarlarını güçlendirmiş ve bu numunelerin kayma dayanımlarını araştırmıştır. Çalışma sonucunda metal bağlantı elemanlarının yığma yapıların kayma dayanımlarını ve sünekliğini etkili bir şekilde artırdığını ortaya koymuştur [3]. Demir 2012, yaptığı doktora tezi çalışmasında çok tabakalı tarihi duvarın kayma davranışına etkisini incelemiştir. Değişken olarak aksel gerilme yüzeyi, kenet ve zıvana kullanımı ve dış tabakalar arasındaki iç moloz dolguyu kullanmıştır. Bu deneysel çalışma ile kenetlerin kullanılması çatlak dağılımını etkilemek ile birlikte, kullanılan taşın çekme dayanımının sınırlı olması nedeniyle taşlar çatlamış ve kenetlerin etkinlikleri sınırladığı sonucuna varılmıştır [4]. Kourkolis ve Pasiou 2009, çalışmasında yığma yapı elemanı olan mermer bloklar ile bu blokları birbirine bağlayan metal bağlantı elemanların ve harcın etkisini araştırmıştır. Yığma yapıya etki edecek yüklere karşın malzemelerin uygun davranışı için kenet sistemlerinin mermer bloklara doğru yerleştirilmesinin önemini vurgulamıştır [5]. Toumbakari 2008, çalışmasında Parthenon Tapınağındaki kuzey duvarı üzerine bir araştırma yapmıştır. Yaptığı çalışmada tapınak duvarlarında taşları birbirine bağlayan kenetlerin, duvarın davranışına etkisini incelemiştir [6]. Papadopoulos 2006, çalışmasında, Apollo Epikourios Tapınağında taş bloklar arasındaki kenet bağlantı elemanları araştırılmıştır. Taş blokların kapasiteleri 3 boyutlu

analizleri ile kenet alanları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda yığma yapının maksimum direnci sağlaması için taş blokları birbirine bağlayan yeni kenet bağlantı alanları incelenmiştir [7]. Şekil 1'de gösterildiği gibi kenet elemanlarını, yığma yapılarda sütunlarda, duvarlarda, mezar taşlarında, köprü korkuluklarında, anıtlarda birçok yerde kullanılmıştır.



Şekil 1. Kenet uygulama örnekleri, a) Köprü korkuluklarında kenet uygulaması [2], (b) Mezar taşlarında görülen kenetler [2], (c) Truva antik kentindeki anıtlarda görülen kenetler, (d) Sütun ayaklarında, (e) Duvarlarda görülen kenet uygulamaları [2], (f) Cami minarelerinde kenet uygulamaları [8]

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada kullanılan taş, Aksaray iline bağlı Sevinçli kasabasında çıkarılan ve yaygın olarak kullanılan volkanik kökenli tüf taşıdır. Deneysel olarak yapılan bu çalışma Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Yapı Mekaniği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile farklı batma derinliğine sahip 2 mm kalınlığındaki kenet demirlerinin 100x100x200 mm³ ebadındaki yığma taş blokların davranışlarına etkisi incelenmiştir.

Toplam 21 adet deney numunesi üzerinde kayma (kesme) testleri yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen sayısal veriler birbirileri ile karşılaştırılarak tablo ve grafik halinde sunulmuştur.

Deneysel çalışma için eksenel basınç yükünü belirlemek amacıyla 100x100x200 mm³ ebadındaki tuf taşının basınç dayanımını belirlemek amacıyla basınç dayanımı testleri gerçekleştirilmiştir. Taşın basınç dayanımını test edebilmek için (TS EN 771-6, 2007)' ye uygun olarak hazırlanan taşın ebadı 50x50x50 mm³ kesilerek oda sıcaklığında kuruması sağlanmıştır. (TS EN 772-1, 2012) (Kagir birimlerin basınç dayanımının tayini)'de belirtildiği gibi 6 adet taş basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur [9]. Deneyler 3000 kN kapasiteli, yükleme hızı 0.5 MPa/s olan tek eksenli basınç dayanım cihazı ile gerçekleştirilmiştir [10]. Elde edilen basınç dayanım değerleri, maksimum yükün uygulanan alana oranı ile elde edilmiştir. Tek numune dayanımlarının aritmetik ortalaması hesaplanarak yığma birimlerin basınç dayanımı elde edilmiştir. Deneylerde kullanılan tuf taşının basınç dayanım sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yığma taş birimler için basınç dayanım test sonuçları

Numune No	En kesit boyutları (mm)		Kırılma Yüğü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
	a	b		
A1	52	51	12650	4,77
A2	50	50	10850	4,34
A3	50	50	8570	3,43
A4	50	48	9970	4,15
A5	52	50	11450	4,40
A6	51	53	8450	3,13
Ortalama				4,04
Standart Sapma				0,63

2. Deneysel Çalışma

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı laboratuvarında bulunan, (TS EN 1052-3, 2004)'e uygun olarak hazırlanan deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir [11]. 15 mm kalınlığında 300x400 mm² ebadındaki üç adet çelik plaka Şekil 2'de gösterildiği gibi köşelerinden 50 mm uzaklıkta delikler delinerek 16 mm'lik tij demirleri ile birbirlerine bağlanmıştır. Bu tij demirlerine yerleştirilen bulonlar sayesinde çelik levhalar hareket edebilmektedir.

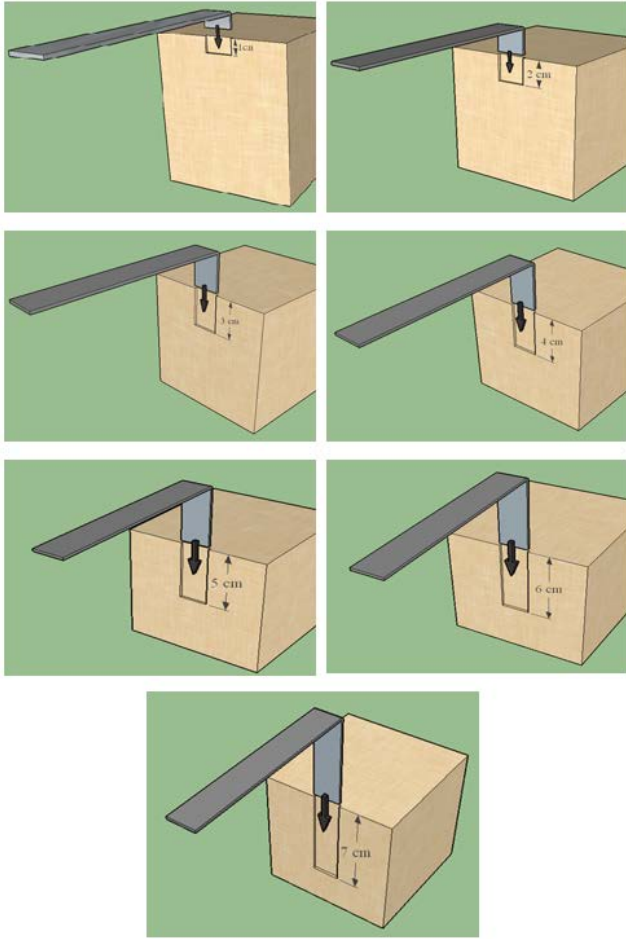
Eksenel yükü okuyabilmek için 10 tonluk bir yük hücresi iki çelik plaka arasına sabitlenmiştir. (TS EN 1052-3)'e göre üç ayrı eksenel basınç yükünün her birisi için en az üç adet numunenin deneye tabi tutulması zorunludur. Standard da belirtildiği gibi basınç dayanımı 10 MPa'dan küçük olan yığma birimlerde eksenel basınç yükleri 0,1 MPa, 0,3 MPa ve 0,5 MPa dayanım sağlayacak şekilde uygulanmalıdır. Yaptığımız deneysel çalışmada basınç dayanımı yaklaşık 4 MPa civarında olduğu için eksenel basınç yükü 0,3 MPa alınmıştır. Tijlere bağlı bulonlar sıkılarak çelik plakaların hareketiyle eksenel basınç yükü verilmektedir. Yük hücresinde okunan eksenel yük seviyesi istenen noktaya geldiğinde bulonlar sabitleştirilip, deney düzeneğinin üst kısmına bir adet hidrolik pompa ve üzerine 50 ton kapasiteli bir yük hücresi konularak kayma yükü verilmektedir. Deney hazırlığı ve deney düzeneği ile ilgili resim Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Deney hazırlığı ve düzeneği

Bağlantı elemanı olarak kullanılan kenetlerin, yığma taş blokların davranışına etkisini incelemek amacıyla batma derinlikleri değişken olarak alınmıştır. Şekil 2'de gösterildiği gibi 100x100x200 mm³ ebadındaki yığma taşlar tam orta noktasından 20 mm genişliğinde, 1,2,3,4,5,6 ve 7 cm batma derinliğinde matkap yardımı ile açılmıştır. Her bir numune için 20 mm genişliğinde ve 2 mm kalınlığında 1,2,3,4,5,6 ve 7 cm batma derinliğine sahip kenetler hazırlanmıştır. Matkap yardımı ile açılan deliğe kenet elemanı yerleştirilmiştir. Diğer yığma taş blok orta noktasından 20 mm genişliğinde kenet kalınlığı kadar oyulmuştur.

Hazırlanan deney numuneleri deney elemanına yerleştirilmiştir. 20 mm genişliğinde, 2 mm kalınlığındaki kenetin batma derinliği, $100 \times 100 \times 200 \text{ mm}^3$ ebadındaki taşın ortasından 1,2,3,4,5,6,7 cm alınarak her bir numuneden 3'er adet olmak üzere toplamda 21 adet numune teste tabii tutulmuştur. Her bir deney elemanı için yapılan numuneler Deney 1, Deney 2 ve Deney 3 olarak adlandırılmıştır. Deney numunesine yerleştirilen kenet elemanları, hidrolik pompa yardımı ile yukarıya doğru çekilerek maksimum kayma yükü elde edilmiştir. Şekil 3'de numunelerin batma derinliğini gösteren çizimler verilmiştir.



Şekil 3. Numunelerin batma derinliğini (L) gösteren çizimler

3. Bulgular

Deney sonuçları grafik ve resimler ile karşılaştırmalı olarak sunulup, açıklanmıştır. Numunelerin deney öncesi ve deney sonrası resimleri Şekil 4'de gösterilmiştir.



(a)

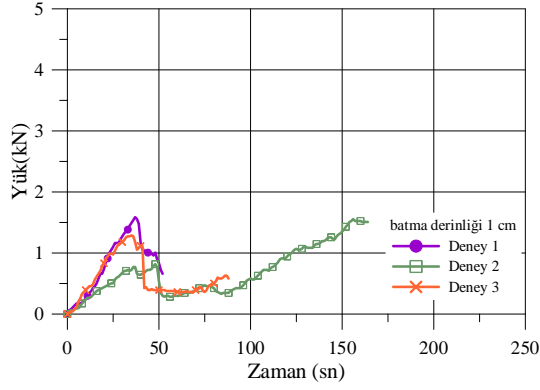


(b)

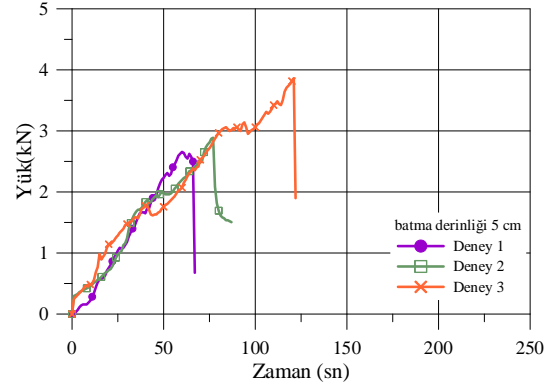


(c)

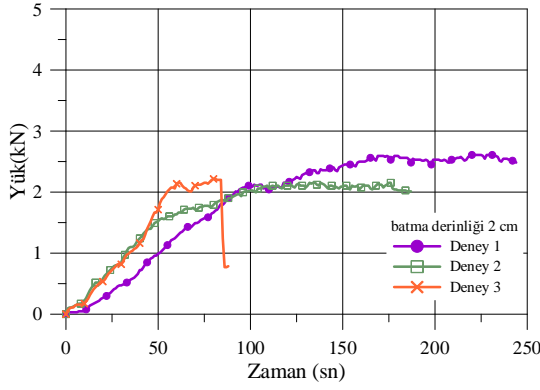
Şekil 4. Numunelerin (a) Deney öncesi ve (b), (c) Deney sonrası halini.



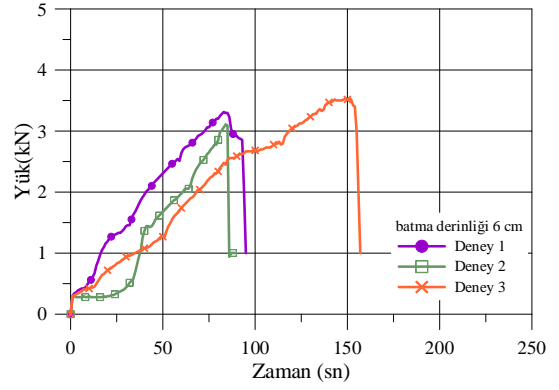
(a) 1 cm'lik numuneler



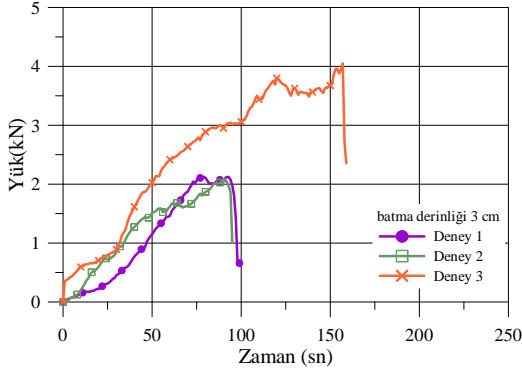
(e) 5 cm'lik numuneler



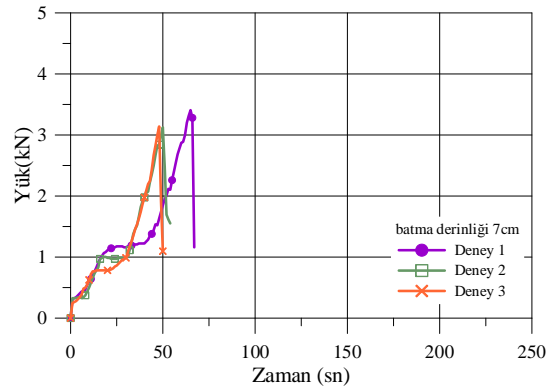
(b) 2 cm'lik numuneler



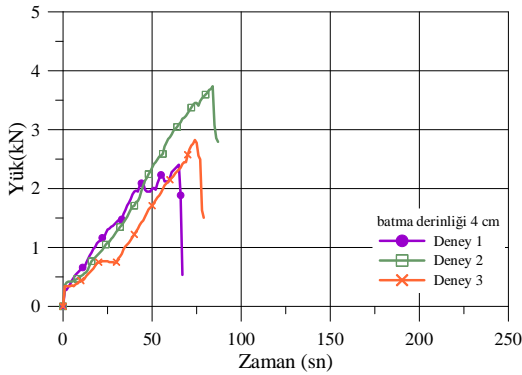
(f) 6 cm'lik numuneler



(c) 3 cm'lik numuneler



(g) 7 cm'lik numuneler



(d) 4 cm'lik numuneler

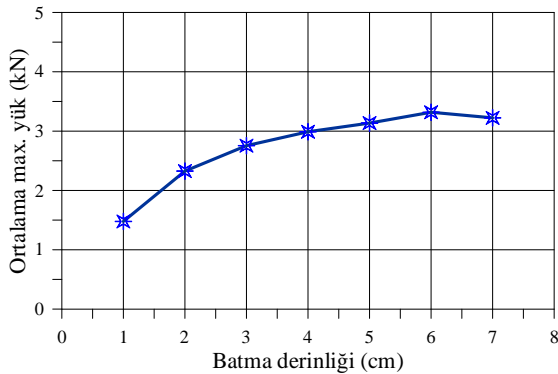
Şekil 5. Yük-Zaman Grafiği (a) 1 cm, (b) 2 cm, (c) 3 cm, (d) 4 cm, (e) 5 cm, (f) 6 cm, (g) 7 cm 'lik numuneler

Farklı batma derinliğine sahip kenetlerden 21 adet yapılarak her biri için ayrı ayrı Şekil 5'de gösterildiği gibi yük- zaman grafikleri çizilmiştir. Deney sırasında 1 cm ve 2 cm batma derinliği ile yapılan kenet elemanlarında sıyrılmalar gözlemlenmiştir ve bundan dolayı fazla yük taşıyamamışlardır. Batma derinliği 1 cm olan 3 adet deney numunesi teste tabi tutulmuştur. Bu deney numunelerinin taşıdığı maksimum kayma yükleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Deney 1,

Deney 2 ve Deney 3 olarak adlandırılan numuneler sırası ile maksimum 1,58 kN, 1,56 kN ve 1,29 kN kayma yükü taşımıştır. Batma derinliği 2 cm olarak deneye tabi tutulan numunelerde ise maksimum kayma yükü 2,61 kN, 2,15 kN ve 2,22 kN'dur. Şekil 5 ve Şekil 6 da görüldüğü gibi batma derinliği 1 cm ve 2 cm olan kenet elemanlarının taşıdığı yük diğer deney numunelerine göre düşük olup, sırası ile yaklaşık olarak ortalama 1,48 kN ve 2,33 kN değerindedir.

Maksimum yük taşıyan, batma derinliği 6 cm olan deney numunesi için yapılan Deney 1, Deney 2 ve Deney 3 numunelerinden sırası ile maksimum 3,31 kN, 3,11 kN ve 3,53 kN kayma yükü elde edilmiştir. 6 cm'lik batma derinliği olan deney numunesinin ortalama taşıdığı maksimum kayma yükü 3,31 kN'dur. 3 cm batma derinliği ele alınarak yapılan deney numunelerinde maksimum kayma yükleri sırası ile 2,12 kN, 2,09 kN ve 4,05 kN'dur. 3 cm batma derinliğine sahip kenet ile yapılan testler sonucunda ortalama taşınan maksimum yük 2,75 kN olarak bulunmuştur.

4 cm batma derinliğe sahip deney numunelerinden Deney 1 2,40 kN, Deney 2 3,74kN ve Deney 3 2,83 kN maksimum kayma yükü taşımıştır. Batma derinliği 5 cm olan deney numunelerinin taşıdıkları maksimum kayma yükleri sırası ile 2,66 kN, 2,89 kN ve 3,86 kN'dur. Şekil 5 'de görüldüğü gibi 7 cm batma derinliğine sahip deney numuneleri 3,41 kN, 3,12 kN ve 3,14 kN'luk maksimum kayma yüklerine sahiptir. Batma derinliği 4 cm, 5cm ve 7 cm olan kenet elemanları ile yapılan deneyler sonucunda ortalama taşıdıkları yük sırası ile 2,98 kN, 3,13 kN ve 3,22 kN olarak tespit edilmiştir. Batma derinlikleri 6 cm ve 7 cm olan kenetlerin ortalama taşıdığı yükler birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Benzer şekilde 4 cm ve 5 cm batma derinliğine sahip olan kenet uygulamaları ile yapılan deney elemanları, birbirine oldukça yakın değerde yük taşımışlardır.



Şekil 6. Ortalama maksimum yük- batma derinliği grafiği

Tablo 2. Deney numunelerinin sonuçları

Numune No	Pr (kN)	Artış ^a (%)
1 cm'lik Numune	1,48	0
2 cm'lik Numune	2,33	57,4
3 cm'lik Numune	2,75	85,8
4 cm'lik Numune	2,98	101,4
5 cm'lik Numune	3,13	111,5
6 cm'lik Numune	3,31	123,6
7 cm'lik Numune	3,22	117,6

^a Modellerin 1 cm'lik numuneye göre ortalama maksimum yüklerindeki yüzdelik artış miktarı

Tablo 2' den de görüldüğü gibi 1cm'lik batma derinliğine sahip deney numunesi ortalama maksimum 1,48 kN kayma yükü taşımıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre 2 cm'lik batma derinliğine sahip deney numunesinin ortalama maksimum kayma yükü, 1 cm'lik numuneye göre %57,4 ile en az artan numune olmuştur. Batma derinliği arttıkça numunelerin taşıdıkları kayma yükleri de artmaktadır. En fazla artış %123,6 değeriyle 6 cm'lik batma derinliğine sahip numunede gerçekleşmiştir.

Batma derinliği 7 cm olan deney numunesinde kayma yükünde bir miktar azalma meydana gelmiştir.

4. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada metal bağlantı elemanı olarak kullanılan kenetlerin, yığma taş blokların davranışlarına etkisi deneysel metotlarla incelenmiştir. Batma derinliği değişken olarak alınan deneysel çalışmada her bir numuneden 3'er adet, toplamda 21 adet deney numunesi kayma testine tabi tutulmuştur. Aşağıda bu çalışmadan elde edilen sonuçlar maddeler halinde sıralanmıştır.

Batma derinliği uygulanan yük ile orantılı olarak değişmektedir. Maksimum taşınan yük batma derinliği 6 cm olan deney elemanında görülürken, 7cm'lik kenet uygulaması yapılan numunelerde taşınan ortalama yükte azalmalar gözlenmiştir. Bunun nedeni, kenetin taşın üzerindeki etkidiği yüzey alanının azalmasından kaynaklanmaktadır.

Kenetin batma derinliğinin 3 cm'den daha düşük olduğu numunelerde sıyrılmalar meydana gelmiştir. Bu sebeple minimum batma derinliğinin 3 cm olması sonucuna varılmıştır. Farklı taş numuneleri içinde benzer sonuçların elde edilebileceği düşünülmektedir.

Yapılan bu çalışmada batma derinliğinin (L), taşın yüksekliğine (a) oranı minimum 0,03 olarak belirlenmiştir.

İleride bu çalışma daha da kapsamlı hale getirilebilir. Örneğin genişliği farklı metal bağlantı elemanlarının yığma duvarın kayma dayanımına etkisi araştırılabilir.

Bu çalışma tarihi yapılarda özellikle restorasyon ve güçlendirme uygulamalarında iyi bir referans olarak bu konu üzerine yapılacak olan diğer bilimsel çalışmalara önemli bir katkı sağlaması beklenmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Kosova'nın Prizren şehrinde 5 – 9 Eylül 2018 tarihinde düzenlenen Uluslararası Bilim ve Teknoloji Konferansı'nda tam metin olarak yayınlanmıştır.

Kaynaklar

[1] Ural A. Zivana demirlerinin yığma duvarların kayma davranışına etkisinin incelenmesi. *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, Trabzon, 2-4 Kasım 2017.

[2] Uslu S. *Tarihi yığma yapılarda kullanılan metal bağlantı elemanlarının deneysel metotlarda incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Aksaray, 2013.

[3] Koçak Y. *Yığma yapılarda kayma dayanımının artırılması amacıyla farklı bağlantı elemanı uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Aksaray, 2013.

[4] Demir C. *Seismic behaviour of historical stone masonry multi-leaf walls*. Phd thesis, Istanbul Technical University, Istanbul 2012.

[5] Kourkoulis SK, Pasiou ED. Epistyles connected with "I" connectors under pure shear. *Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics*, 2, 2, 81- 99, 2009.

[6] Toumbakari EE. The Athens Parthenon: Analysis and interpretation of the structural failures in the ortho state of the northern wall. *Proceedings of the Structural Analysis of Historical Construction, Eds with D'Ayala & Fodde*, 673-681, 2008.

[7] Papadopoulos KA. The restoration study of the connections between the stone blocks in the steps of the

temple of Apollo Epikourios. *Proceedings of Structural Analysis of Historical Construction, Eds with D'Ayala & Fodde*, 1389-1396, 2006.

[8] Kuşüzümü KH. İstanbul minareleri, restorasyon konservasyon arkeoloji ve sanat yıllığı. *Vakıflar Genel Müdürlüğü*, 1, 57-66, 2010.

[9] TS EN 772-1. Kâgir birimler-deney yöntemleri-bölüm 1: Basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2012.

[10] Akçaözoğlu K, Akçaözoğlu, S. The Effect of Elevated Temperature on the Lightweight Concrete Produced by Expanded Clay Aggregate and Calcium Aluminate Cement, *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 1,2, 59-70, 2017.

[11] TS EN 1052-3. Kâgir-deney metodları-bölüm 3: Başlangıç kayma dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2004.

Orijinal Makale/Research Article

Kenet batma mesafesinin kayma dayanıma etkisinin sonlu elemanlar metoduyla modellenmesi

Tülin Çelik¹, Şükran Tanrıverdi¹, Ali Ural¹, Fatih Kürşat Fırat¹

¹Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 68100, Aksaray, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Tarihi yapılar
LUSAS
Kenet elemanlar
Çekme gerilmesi
Yığma birim

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 14.11.2018
Kabul Tarihi: 19.12.2020

Özet: İlk çağlardan bu yana insanlar barınma alanları yapmak için taş, tuğla, briket ve kerpiç gibi yığma birimler kullanmışlardır. Depremler, yangınlar, zeminden kaynaklanan problemler, çeşitli çevresel faktörlerin oluşturduğu fiziksel ve kimyasal bozulmalar sonucu tarihi yapılarda büyük hasarlar meydana gelmiştir. Bu hasarlar yığma yapıların kayma ve çekme gerilmelerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Yapı sisteminin birlikte hareket etmesi ve yapının bütününde sünek bir davranış görülmesi için genellikle bağlantı elemanları olarak kenetler ve zıvanalar kullanılmıştır.

Bu çalışmada, kenetlerin batma noktasının taşın kenarına olan mesafesi dikkate alınmış ve kenetlerin duvarın kayma dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada 3 boyutlu sayısal modeli oluşturmak için sonlu elemanlar yöntemini (FEM) esas alan LUSAS yazılımından yararlanılmıştır. Analiz sonuçları doğrultusunda, taş kenarı ile batma noktası arasındaki mesafe incelenmiş ve bunların taş birimler üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Atıf için/To Cite:

Çelik T. Tanrıverdi Ş. Ural A. Fırat, F.K. Kenet Batma Mesafesinin Kayma Dayanıma Etkisinin Sonlu Elemanlar Metoduyla Modellenmesi. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 12(2), 63-68, 2020.

The examination of shear strength effect of the clamp immersion distance based on finite element modelling

Keywords

Historical structures
LUSAS
Clamp elements
Tensile stress
Masonry unit

Article history:

Received: 29.10.2018
Accepted: 21.09.2020

Abstract: Since the early ages, people have used masonry material units such as stone, brick and adobes to make areas for sheltering. The problems on historical structures caused by great damages arising from earthquake, fire, and soil problems, bring about physical and chemical deterioration. These damages are generally due to low shear and tensile stresses in masonry walls. In order to overcome this weakness, clamp and dowels are often used as connection units in many historical buildings. The moving of the structural system with these elements together raises the ductile behavior of the whole structure.

In this study, the distance between the edge of the stone and immersion point of clamps was taken into account as variant parameter and the influence of the clamps on the shear strength of the masonry walls are investigated. The LUSAS software based on the finite element method (FEM) are used to create a 3D numerical model. In the light of the results obtained by computer analyses, the optimum distance between the edge of the stone and the immersion points are examined and the effects of those on the stone units are comparatively illustrated.

1. Giriş

Tarihi yapılar, geçmişten günümüze kadar gelebilen eski uygarlıkların kültürünü, yaşantısını, inançlarını ve

bulunduğu dönemin dokusunu bizlere anlatan eserlerdir. Ülkemizdeki tarihi yapıları cami, tekke, imaret, medrese, han, hamam, köprü, su kemeri, kale vb. gibi yapılar oluşturmaktadır. Bu tarihi yapıların büyük

çoğunluğu taş, tuğla ve briket gibi malzemelerden yapılmıştır. Bu tür malzemeler kullanılarak yapılan yığma yapılar düşük çekme dayanımına sahiptir [1] ve bunlar birçoğu deprem, sel, yangın gibi doğal afetler karşısında zarar görür ya da yıkılır [2].

Donatısız yığma sistemler düşük çekme dayanımına sahiptir. Bu yapılara gelen deprem kuvvetiyle birlikte yapılar ağır hasar görür ya da yıkılır. Bu yapılarda sünekliliği artıracak herhangi bir malzeme kullanılmadığı için dinamik etkiler altında gevrek bir davranış sergileyerek hasar görürler [3]. Bu sebeplerden dolayı birçok donatısız yığma yapı onarım ve güçlendirmeye ihtiyaç duymaktadır.

Gelen yatay kuvvetler karşısında yığma yapı sisteminin bir bütün halinde hareket etmesi oldukça önemlidir. Fakat gelen yatay kuvvetlere karşı yığma yapı sisteminin kayma kuvvetine karşı dayanımı oldukça düşük olduğu için yapı bütünlüğü korunamamaktadır. Bu yapıların stabilitesini sağlamak için yığma yapılarda kenet ve zıvana gibi metal bağlantı elemanları kullanılmaktadır. Günümüzde bu konuyla ilgili yapılmış literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde kenetlerin yığma sistem üzerine olumlu sonuçlar doğurduğu görülmüştür.

Kurugöl ve Küçük (2015), çalışmasında tarihi süreç içerisinde demir malzemenin geleneksel mimarideki genel uygulama yer ve biçimleri ele alınarak, üretim teknikleri ve şekil verme yöntemleri açıklamışlar ve aynı zamanda demir malzemede zaman içerisinde ortaya çıkan çeşitli problemler ortaya koymuşlardır [4]. Ural ve ark., (2015), deneysel çalışmasında farklı kenet-zıvana sistemlerine sahip aynı ebattaki yığma duvar numuneleri üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda sistemlerin yığma duvarların kesme (kayma) kapasitesine ne tür bir etkisi olduğu incelenmiş ve çeşitli yorumlarda bulunulmuştur [5]. Uslu, (2013), yaptığı çalışmada, tarihi yığma yapılarda kullanılan metal bağlantı elemanları irdelemiştir. Metal bağlantı elemanları kullanılarak örülen taş yığma duvarlar üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır. Metal bağlantı elemanları olarak kenet ve zıvana kullanılmıştır. Deneysel çalışmada, taş yığma duvar numunelerinin diyagonal basınç etkisine tabi tutarak duvarların kesme etkisindeki davranışlarını incelemiştir. Numunelerin kırılma yüklerine ve kesme dayanımlarına göre değerlendirme yapılmıştır. Kenet ve zıvanalar ile yapılan taş yığma duvarların bağlantı elemanı kullanılmayan taş yığma duvara göre daha yüksek dayanım gösterdiği sonucuna varılmıştır [6]. Koçak, (2013), çalışmasında düşük kayma dayanımına sahip yığma taş duvarların kayma dayanımını arttırmak amacıyla birçok teknik geliştirmiştir. yaptığı deneysel çalışmada taş yığma duvarların kayma dayanımını arttırma için metal bağlantı elemanları kullanmıştır.

Deneysel çalışmasında 3 farklı metal bağlantı elemanı (kenet) geliştirilmiştir. 10 farklı deney numunesi üretilerek kayma dayanımları araştırılmıştır ve bunların kayma dayanımları birtakım denklemlerle desteklenmiştir. Çalışmanın sonunda, geliştirilen yeni metal bağlantı elemanlarının yığma yapıların kayma dayanımlarını ve sünekliliğini etkili bir şekilde arttırdığı ortaya koymuştur [7]. Demir, (2012) yaptığı çalışmada ana değişkenin çok tabakalı tarihi duvarların kayma davranışına etkisini incelemiştir. Değişken olarak, aksel gerilme düzeyi, kenet ve zıvana kullanımı ve dış tabakalar arasında iç moloz dolguyu kullanmıştır. Deneysel çalışma, yer değiştirme kontrollü olarak etkiletilen tekrarlı kesme kuvvetlerine maruz bırakılmış duvar numunelerinden meydana gelmektedir. Gerçekleştirilen deneysel çalışma ile kenetlerin kullanılması çatlak dağılımını etkilemekle birlikte, kullanılan küfeki taşının çekme dayanımının nispeten düşük olması nedeniyle kenetlerin etkinliklerinin bir seviyede sınırlandırıldığı sonucuna varılmıştır [8]. Toumbakari (2008), Parthenon Tapınağındaki kuzey duvarı üzerine bir araştırma yapmıştır. Söz konusu tapınak duvarlarında taşları birbirine bağlamak amacıyla kenet uygulamalar yapılmıştır. Bu kenet uygulamalarının duvar davranışına etkileri araştırılmıştır [9]. Papadopoulos (2006), yaptığı çalışmada Apollo Epikourius Tapınağında taş bloklar arasında bulunan metal bağlantı elemanlarını incelenmiştir. Kenet alanlarının taş blokların taşıma kapasitelerine etkisini üç boyutlu analizler yardımıyla hesaplanmıştır. Yığma yapının maksimum dayanımı sağlaması için taş blokları birbirine bağlayan yeni kenet bağlantı alanları araştırmıştır [10].



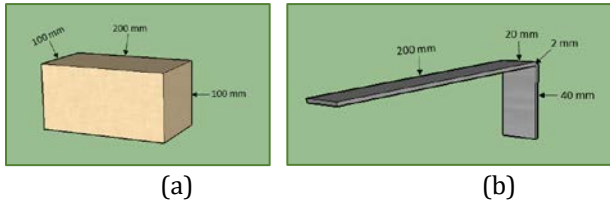
Şekil 1. Mevlâna Müzesinde bulunan yığma taş bloklar üstündeki kenet uygulamaları

2. Materyal ve Yöntem

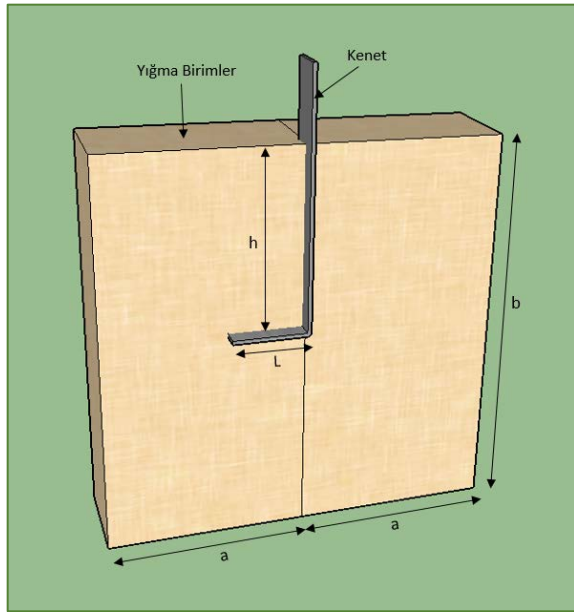
Bu çalışmada, kenetin batma noktası ile taşın kenarı arasındaki mesafenin yığma taş blokların kayma dayanımına etkisi incelenmiştir. Değişken olarak kenetin batma noktasının taşın kenarına olan mesafesi ele alınmıştır. Modellerde, kenetin taş kenarına olan mesafesi (h) 20, 40, 60, 80 ve 100 mm 'dir. Bütün modellerde kenet elemanlarının genişliği 20 mm ve batma derinliği (L) 40 mm olarak alınmıştır. Akçaözgü ve Akçaözgü'nün (2017) yaptığı

çalışmada numunelerinin basınç dayanımını bulmak için kullandığı yükleme hızı 0.5 MPa/s olan tek eksenli basınç dayanım deney düzeneğinin aynıysa bu çalışmada da kullanılmıştır [11]. Yığma taş blokların ortalama basınç dayanımı 4 MPa olarak belirlenirken Elastisite Modülü 4000 MPa ve Poisson Oranı 0,2 olarak bulunmuştur.

Yığma taş bloklar 200x100x100 mm³ ebadında, metal bağlantı elemanları olarak kullanılan kenet elemanlar ise 200x20x2 mm³ boyutundadır (Şekil 2). Aşağıdaki Şekil 3'de sayısal modeldeki kenet uygulamasının yerleştirilmesi gösterilmiştir. Kenetin kenara olan mesafesi (h), kenetin batma derinliği (L) olarak gösterilmiştir. Yığma birimlerin genişliği a, yüksekliği ise b olarak ifade edilmiştir. Tablo 1'de modellerin geometrik özellikleri verilmiştir.



Şekil 2. (a) Yığma taş blok boyutları, (b) Kenet modelinin boyutları

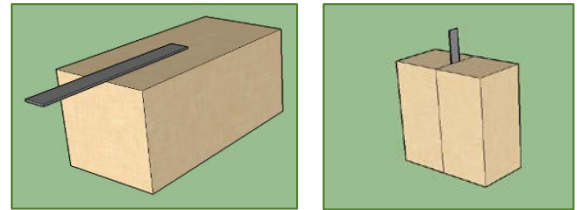
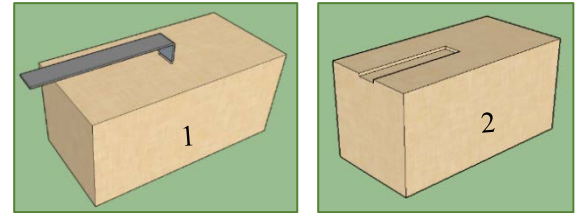
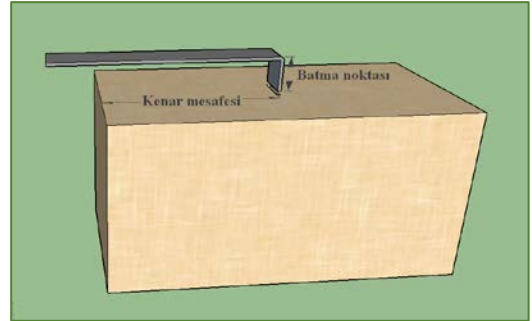


Şekil 3. Sayısal modeldeki kenet uygulamasının yerleştirilmesi

Tablo 1. Hazırlanan modellerin geometrik özellikleri.

Model No	L (mm)	a (mm)	b (mm)	h (mm)
1	40	100	200	20
2				40
3				60
4				80
5				100

Yığma birimler ve kenetler LUSAS programında sonlu elemanlar analizi yapılarak modellenmiştir [12]. Analizlerde malzemenin doğrusal olmayan özelliklerinden faydalanılmış, geometrik olarak ikinci mertebe etkileri dikkate alınmamıştır. Şekil 4'de yapılan modelin aşamaları sırası ile gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere birinci taş blok üzerinde kenetin içine girebilmesi için h (100, 80, 60, 40, 20)x20x2 mm³ ebatlarında dikdörtgen delikler oluşturulmuştur. Kenet taş blok üzerinde bu deliğe yerleştirilerek modellenmiştir. İkinci taş blok üstünde kenetin üstünü kapatacak şekilde h (100, 80, 60, 40, 20)x20x2 mm³ boyutlarında dikdörtgen oyuklar oluşturulmuştur. Kenet iki tane taş blok arasına gelecek şekilde modellenmiştir.

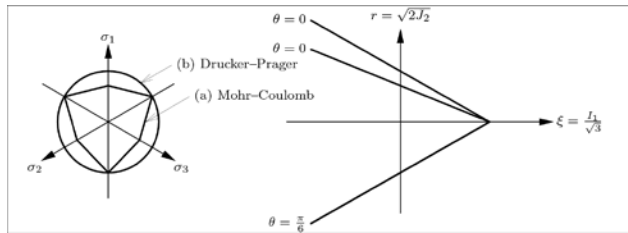


Şekil 4. Kenetin yığma taş bloklar arasına yerleştirilmesi

3. Kenetlerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi

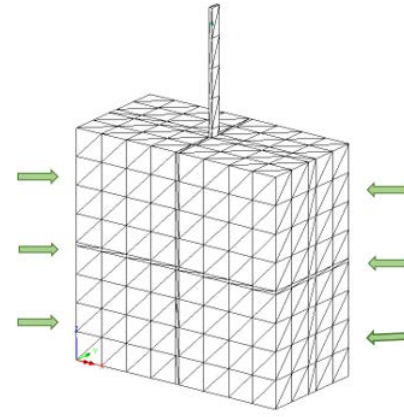
Üç boyutlu sayısal kenet modelini oluşturmak için sonlu elemanlar yöntemini esas alan LUSAS (2013) yazılımı kullanılmıştır. Bu çalışmada kenetin taş blokların kenara olan mesafesi (h) incelenmiştir. Sayısal modellemelerde kenetin, Elastisite Modülü 210000 MPa, Poisson Oranı 0,3 olduğu kabul edilmiştir. Bunun yanında taş blokların, Elastisite Modülü 4000 MPa ve Poisson Oranı 0,2 olduğu varsayılmaktadır.

Bu çalışmada taş blokların doğrusal olmayan davranışını temsilen Drucker- Prager kriteri kullanılmıştır. Sonlu elemanlar modelinde yığma birimler Drucker-Prager kriteri ile lineer ötesi davranışı dikkate alınmıştır. Kriterdeki tam plastik kısım sünekliliği temsil etmemektedir. Aşağıda Şekil 5 'de görüleceği üzere; sonlu elemanlar analizindeki her adımda her düğüm noktasında meydana gelen gerilmeler kriterin elastiklik sınırıyla karşılaştırılmaktadır. Eğer elastik sınır herhangi bir düğüm noktasında aşılsa gerilme elastiklik sınırın içerisine alınması amacıyla yakınsama yapılmaktadır. Yakınsama ise modifiye edilmiş Newton-Raphson ile yapılmaktadır. Yakınsayamadığı sürece plastik aşamada enerji tüketmemektedir. Yığma birimlerin plastik kriteri olarak Drucker-Prager, metal kenetin ise süneklilik özelliği göstereceğinden dolayı Von-Mises gerilme potansiyel kriteri kullanılmıştır. Bu kriterin kullanılmasındaki amaç kullanılan malzemenin metal özellikte olması, dolayısıyla süneklilik gösterebileceğidir.



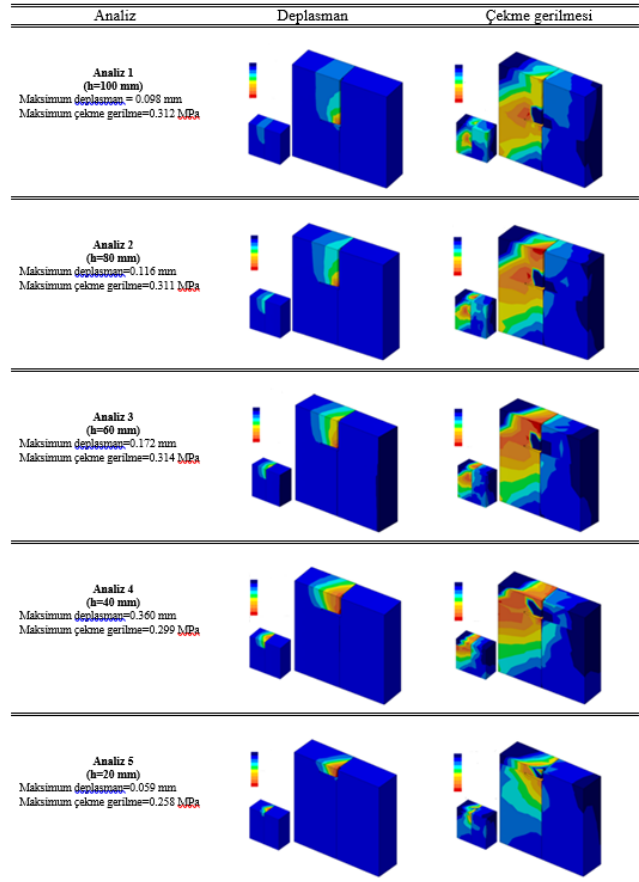
Şekil 5. Mohr-Coulomb and Drucker-Prager akma şartları [13]

Şekil 6'da kenetli yığma duvarın sonlu elemanlar modeli görülmektedir. Kenetli yığma duvarın sonlu elemanlar modelini oluşturmak için 2596 eleman ve 732 düğüm noktası kullanılmış. Şekil 6 'da görüldüğü gibi modelin her iki taraftan ötelenmeleri tutulmuştur. Modellemelerde her düğüm noktasında 3 serbestliği bulunan 10 düğüm noktalı üç boyutlu dörtyüzlü (tetrahedral) sonlu elemanlar kullanılmıştır.



Şekil 6. Kenetli yığma duvarın sonlu elemanlar modeli

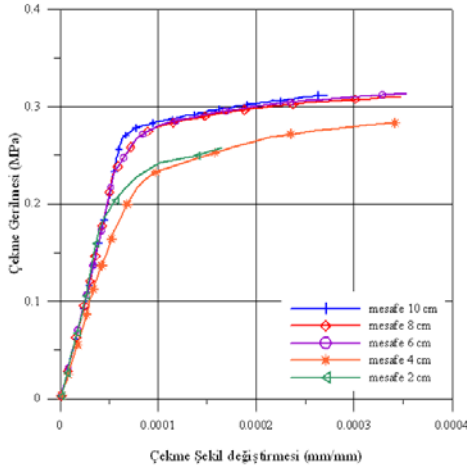
Şekil 7'de sayısal modellerin analiz sonucunda deplasman ve çekme gerilmesi renklendirmeleri görülmektedir. Renklendirmeler 4 kN' luk yük altındaki görüntülerdir. Bu aşamada taş bloklarda doğrusal ötesi davranış başlamıştır.



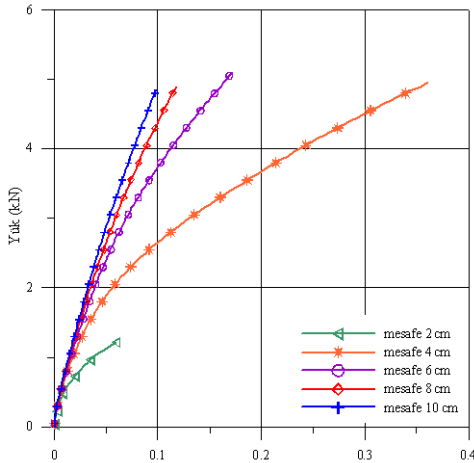
Şekil 7. Sonlu eleman analiz sonuçları

Sonlu elemanlar modelleriyle yapılan analizler neticesinde, modellerin maksimum noktadaki çekme gerilme-çekme şekil değiştirme, yük-deplasman ve

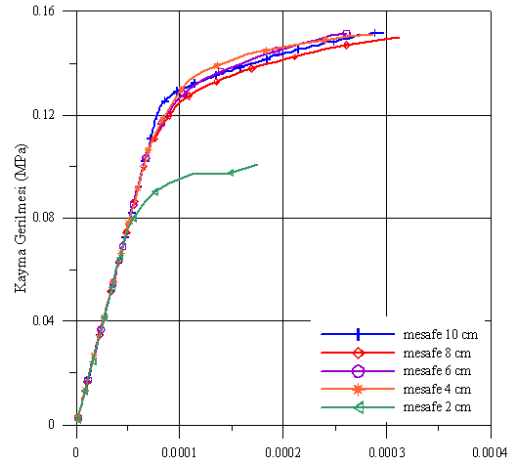
kayma gerilme-kayma şekil değiştirme grafikleri Şekil 8'da verilmiştir. Şekil 8 (a) ya bakıldığında batma mesafesi 20 mm ve 40 mm olan modellerin çekme gerilme değerleri birbirine yakınlık gösterirken diğer modellere oranla çekme gerilme değerleri düşüktür. Batma mesafesi 60 mm, 80 mm ve 100 mm olan modellerin çekme gerilme-çekme şekil değiştirme eğrileri birbirine çok yakın çıkmıştır. Yine aynı şekilde Şekil 8 (b) incelendiğinde 20 mm'lik model çok fazla yük taşıyamamıştır. Yük-deplasman eğrilerinde de 60 mm, 80 mm ve 100 mm'lik modeller benzer davranış gösterirken 40 mm'lik model farklı bir davranış sergilemiştir. Şekil 8 (c)'de batma mesafesi 20 mm olan model diğer modellere göre çok düşük kayma gerilmesi değerine sahiptir. Diğer modellerin kayma gerilme-kayma şekil değiştirme eğrileri birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır.



a) Çekme gerilmesi - çekme şekil değiştirme eğrileri



b) Yük - deplasman eğrileri



c) Kayma gerilmesi- kayma şekil değiştirme eğrileri

Şekil 8. Sonlu elemanlar modelleriyle yapılan analizler neticesinde elde edilen a) çekme gerilmesi- çekme şekil değiştirme eğrileri b) yük- deplasman eğrileri ve c) kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirme eğri modelleri.

4. Sonuçlar

Kenetlerin batma noktasının taşın kenarı arasındaki mesafe dikkate alınarak yapılan analizlere ait sonuçlar Tablo 2'de verilmektedir. Yapılan analiz sonuçları kenet batma noktasının taş kenarına olan mesafesine göre değişiklik göstermektedir. Bu analizlerden elde edilen sonuçlara bağlı olarak, restorasyon çalışmaları için bazı önerilerde bulunulmuştur.

Tablo 2. Kenet uygulamalarının analiz sonuçları

Analiz Durumu	Maksimum Çekme Gerilmesi (MPa)	Maksimum Çekme Şekil Değiştirme (mm/mm)	Maksimum Kayma Gerilmesi (MPa)	Maksimum Kayma Şekil Değiştirme (mm/mm)	Maksimum Yük (kN)	Maksimum Deplasman (mm)
Analiz 1 (100 mm)	0.312	0.000272	0.152	0.000297	4.85	0.098
Analiz 2 (80 mm)	0.311	0.000347	0.150	0.000312	4.90	0.116
Analiz 3 (60 mm)	0.314	0.000353	0.151	0.000261	5.10	0.172
Analiz 4 (40 mm)	0.299	0.000342	0.151	0.000287	4.95	0.360
Analiz 5 (20 mm)	0.258	0.000165	0.101	0.000174	1.21	0.059

Tarihi yapılarda zaman içerisinde bozulmalar meydana gelmekte ve yapı elemanları dayanımlarını kaybetmektedir. Bu yapıları gelecek nesillere daha sağlam ve güvenilir bir şekilde ulaştırmak için güçlendirmek gerekmektedir. Güçlendirme çalışmalarında metal bağlantı elemanı olarak kenetler kullanılmaktadır. Bu metal bağlantı elemanlarının nasıl tasarlanacağı ve ne şekilde uygulanacağı önemli bir çalışma konusudur.

- Kenetin batma noktasının taşın kenarına olan mesafesiyle ilgili literatürde herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Çalışma sonucunda, 20 mm batma mesafesine sahip modelin diğer modellere göre daha az yük taşıyabildiği belirlenmiştir. 40 mm'lik modelin taşıdığı yük fazla olmasına rağmen yük- deplasman ve çekme gerilmesi-çekme şekil değiştirmesi grafiklerindeki batma mesafesi, diğer modellere göre farklı bir davranış sergilediği tespit edilmiştir.
- Analiz sonucunda batma mesafesi 20 mm olan modelde çekme ve kayma gerilmeleri diğer modellere göre oldukça azdır. 60 mm, 80 mm ve 100 mm batma mesafesine sahip modellerin çekme gerilme değerleri birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Bunun yanında maksimum yüke karşılık gelen şekil değiştirme miktarları en fazla sırası ile 60 mm, 80 mm ve 100 mm batma mesafesine sahip modellerde görülmektedir.
- Yapılan analiz sonucunda 200x100x100 mm³ ebadındaki taşlar için kenet batma noktasının taşın kenarı arasındaki mesafenin 40 mm'den küçük olmaması gerektiği sonucuna varılmıştır.
- Bu çalışma ile kenetin batma noktasının taşın kenarına olan mesafesinin, taşın uzunluğuna oranı (h/b) 0.2 değerinden küçük olmaması gerektiği önerilmektedir. Yapılan bu çalışmanın onarım ve güçlendirme amacıyla yapılacak olan restorasyon uygulamalarına iyi bir referans olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Kosova'nın Prizren şehrinde 5 – 9 Eylül 2018 tarihinde düzenlenen Uluslararası Bilim ve Teknoloji Konferansı'nda tam metin olarak yayınlanmıştır.

Kaynaklar

[1] Tanrıverdi Ş, Çelik T, Ural A, Fırat FK. Investigation of the effect of the clamps with different immersion depth on the masonry wall's behaviour. *International Conference on Science and Technology*, Kosova, 5-9 Eylül 2018.

[2] Karabörk T, Çelik T, Ural A. Finite element analyses of historical bicakci arch bridge. *8 th International Conference on Arch Bridge*, Poland, 5-7 Ekim 2016.

[3] Ural A. *Yığma yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2009.

[4] Kurugöl S, Küçük SG. Tarihi eserlerde demir malzeme kullanım ve uygulama teknikleri. *5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, Erzurum, 1-3 Ekim 2015.

[5] Ural vd. Kenet ve zivanaların yığma duvarların kesme (kayma) davranışına etkisi. *5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, Erzurum, 1-3 Ekim 2015.

[6] Uslu S. *Tarihi yığma yapılarda kullanılan metal bağlantı elemanlarının deneysel metotlarda incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Aksaray, 2013.

[7] Koçak Y. *Yığma yapılarda kayma dayanımının artırılması amacıyla farklı bağlantı elemanı uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Aksaray, 2013.

[8] Demir C. *Seismic behaviour of historical stone masonry multi-leaf walls*. Phd thesis, Istanbul Technical University, Istanbul 2012.

[9] Toumbakari EE. The Athens Parthenon: Analysis and interpretation of the structural failures in the ortho state of the northern wall. *Proceedings of the Structural Analysis of Historical Construction*, Eds with D'Ayala & Fodde, 673-681, 2008.

[10] Papadopoulos KA. The restoration study of the connections between the stone blocks in the steps of the temple of Apollo Epikourios. *Proceedings of Structural Analysis of Historical Construction*, Eds with D'Ayala & Fodde, 1389-1396, 2006.

[11] Akçaözöğlü K, Akçaözöğlü, S. The Effect of Elevated Temperature on the Lightweight Concrete Produced by Expanded Clay Aggregate and Calcium Aluminate Cement, *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 1,2, 59-70, 2017.

[12] Lusas, *Finite element analysis software products*, Finite Element System FEA Ltd, 2013.

[13] Vermeer PA, Borst De R. Non-associated plasticity for soils, concrete and rock. *HERON*, 29, 3, 1984.

Orijinal Makale/Research Article

ARIMA modeli kullanılarak Türkiye'deki iklim sıcaklıklarının geleceğe yönelik tahminlenmesi

Bekir AKSOY*¹, Osamah Khaled Musleh SALMAN¹

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

Anahtar Kelimeler

ARIMA
Zaman serileri
İklim sıcaklık değişimi
Yapay zekâ

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 16.07.2020
Kabul Tarihi: 29.09.2020

Özet: Son yıllarda küresel ısınma tüm dünyanın en önemli sorunlarından birisi olmuştur. Hemen hemen tüm ülkeler küresel ısınma ile ilgili birçok tedbir almaya çalışmaktadırlar. Çalışmada açık erişimli internet sitesinden (Kaggle) alınan 1777 Şubat ile 2013 Eylül ayları arasında toplam 2840 aya ait ortalama aylık sıcaklık verileri kullanılmıştır. Kullanılan veri setinin varyans ve ortalama değere ait grafiklerin birbirine benzerlik göstermesinden dolayı verinin durağan bir yapıya sahip olduğu belirlenerek ARIMA modelinin kullanılması uygun bulunmuştur. ARIMA modelinin parametreleri izgara arama ve Akaike bilgi ölçütü kullanılarak optimize edilmiştir. Optimize edilen parametreler kullanılarak ARIMA modeli üzerinde eğitim gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ARIMA modeli statik ve dinamik olmak üzere iki tahmin yöntemi kullanılmıştır. ARIMA modelinin Determinasyon katsayısı (R^2) performans değerlendirme ölçütüne göre dinamik değerlendirmede %96,68 ve statik değerlendirme de ise %97,19 doğruluk oranı elde edilmiştir.

Atıf için/To Cite:

Aksoy B. Khaled O. Salman M. ARIMA Modeli Kullanılarak Türkiye'deki İklim Sıcaklıklarının Geleceğe Yönelik Tahminlenmesi. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 12(2), 69-76, 2020.

Estimation of future climate temperature in Turkey using the ARIMA model

Keywords

ARIMA
Time series
Climate temperature change
Artificial intelligence

Article history:

Received: 16.07.2020
Accepted: 29.09.2020

Abstract: In recent years, global climate temperature change has been one of the most important problems of the world. Almost all countries are trying to take many prevent regarding global climate temperature change. In this study, monthly temperature data between February 1777 and September 2013 years are taken from the open-access website (Kaggle). The ARIMA model data set has been examined for its stability. Parameters of the ARIMA model are optimized by using grid search and Akaike information criterion. The training was carried out on the ARIMA model using the optimized parameters. The obtained ARIMA model has two prediction methods, static and dynamic. According to Coefficient of Determination (R^2) performance evaluation criterion of the ARIMA model, 96,68% accuracy in the dynamic evaluation, and 97,19% accuracy in the static evaluation were obtained.

1. Giriş

İklim değişiklikleri, gezegende meydana gelen atmosferik ya da astronomik değişikliklerdir. Küresel iklim değişikliklerine yol açan etkenler ve etkileri incelendiğinde şiddetli hava olaylarının sıklığı ile kuraklık, sel, kasırga olayları, okyanus ve deniz sularındaki yükselme, buzulların erimesi ve mahsul verimlerinde düşüş sonucu ekosistemin, bitkilerin, hayvanların ve insan topluluklarının ciddi risk altında olduğu görülmektedir [1,2]. Bahsi geçen hava

olaylarının düzensiz hale gelmesi ile iklim değişikliklerinin de devam edeceğini öngörülmektedir [3].

Geçen yüzyıl boyunca artan CO₂ seviyelerindeki değişim ile küresel sıcaklıklarda değişim göstermiştir. İklim değişikliğinin ana sebebi başta CO₂ ve CH₄ olmak üzere sera gazları emisyonlarındaki artışla birlikte ısınma eğilimi artmıştır [3]. Dünya nüfusunun yarısından fazlasının şehirselleşmesi ve kentsel yerleşim alanlarını kullandığını göz önünde bulundurulduğunda şehirler ve kentsel alanlar iklim değişikliğine yönelik

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

stratejik alanlar olarak kabul edilmektedir [4]. Enerji kullanımıyla atmosfere yayılan CO₂'in %75'i şehirselleşmiş ve kentsel alanlardan yayılmaktadır [5]. Bu doğrultuda sağlığın korunması ve iklim değişikliğinin azalması için bu alanlarda iklim değişikliği politikası yeniden yapılandırılmaktadır.

Günümüzde iklim ile ilgili verilerin modellenmesi, tahminlenmesi ve dünya sisteminin özelliklerini anlamak için sıklıkla yapay zekâ algoritmaları önerilmektedir [6]. Birçok alanda kullanılan yapay zekâ uygulamalarının iklim analizinde kullanılması ve dünya sisteminin davranışlarını, çeşitliliğini analiz ederek gelecekte ortaya koyacağı etkileri saptamak ve iklim değişikliği araştırmacılarına yardımcı olmak için yapay zekânın kullanılması umut vaat etmektedir [7].

1956 yılında Dartmouth konferansında John McCarthy ve arkadaşları tarafından ilk kez geçen yapay zekâ kavramı, akıllı makineler, özellikle akıllı bilgisayar programları yapma bilimi ve mühendisliği olarak ifade edilmiştir [8,9]. Yapay zekâ, karmaşık olan verileri insan beyninden ilham alan çeşitli algoritmik yaklaşımlar ile analiz etmekte ve daha anlaşılabilir olması için yorumlamaktadır [10,11]. Bir sistemde yapay zekâdan yararlanılmadan önce en önemli aşama anlamlı veri elde etmektir. Büyük ölçekli veri yığından faydalı ve anlamlı bilgiye ulaşmak için veri madenciliği tekniği kullanılmaktadır.

Veri madenciliğinin ana bileşeni olan veriler teknolojinin hızla ilerlemesi ile birlikte değişken formlarda karşımıza çıkmaktadır. Bu formlardan birisi de zaman serisi verileridir. Zaman serileri, düzenli zaman aralıklarıyla zamana bağlı değişimleri inceleyen

ve bir dizi veri noktalarının sıklığını ifade etmektedir. Zaman serisi, geçmiş dönemlere ait gözlem değerleri temel olarak geleceğe yönelik olaylarda tahminleme yapmayı amaçlamaktadır [12]. Zaman serileri analizinde karmaşık bir sistemin dinamik süreçlerinin karakterize edilmesi birçok alanda önemli bir sorun olmaktadır. Bu doğrultuda zaman serisi analizleri için farklı yöntemler geliştirilmiştir [13].

Çalışmada açık erişimli internet sitesi (Kaggle)'dan alınan 1777 Şubat ile 2013 Eylül ayları arasında toplam 2840 aya ait ortalama aylık sıcaklık verileri kullanılmıştır. Alınan sıcaklık verileri üzerinde ARIMA modeli kullanılarak statik ve dinamik tahminleme gerçekleştirilmiştir. ARIMA modelini, dinamik ve statik tahminleme de Mutlak Karekök Hata (İng. Mean Squared Error-MSE) ve Determinasyon katsayısı (İng. Coefficient of Determination-R²) performans değerlendirme ölçütlerine göre değerlendirilmiştir

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışmada açık erişimli internet sitesinde yer alan "Dünya yüzey sıcaklık verisi" veri setinden Türkiye için 1777 Şubat ayı ile 2013 Eylül ayları arasında toplam 2840 aya ait ortalama aylık sıcaklık verisi alınmıştır [14]. Tablo 1'de belirtilen yıllar arasındaki aylara ait istatistiksel bilgiler verilmiştir. Açık erişimli internet sitesinden alınan veri seti ARIMA yapay zekâ modeli kullanılarak modellenmiştir. ARIMA modeline ait detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan veri setine ait istatistiksel bilgiler

Ay	Minimum Değer	Maksimum Değer	Ortalama Değer	Ortanca Değer	Standart Sapma Değeri
Ocak	-4,523	4,536	0,342	0,377	1,827
Şubat	-3,416	6,618	1,632	1,718	1,815
Mart	0,413	10,318	5,354	5,347	1,688
Nisan	6,686	14,703	10,038	9,942	1,371
Mayıs	12,21	18,834	15,051	15,03	1,09
Haziran	16,83	21,947	19,397	19,37	0,925
Temmuz	19,84	25,538	22,603	22,62	0,965
Ağustos	20,44	26,273	22,669	22,63	0,978
Eylül	15,51	21,884	18,632	18,66	1,147
Ekim	9,953	17,112	13,306	13,36	1,323
Kasım	3,328	11,69	7,772	7,804	1,472
Aralık	-1,984	6,754	2,702	2,77	1,717

2.1.1 ARIMA modelleri

Box-Jenkins yöntemi olarak da bilinen ARIMA Modelleri, zaman serilerinin herhangi bir dönemindeki değer, serinin önceki döneme ait değerleri ve hata terimlerinin doğrusal bir kombinasyonu olarak açıklanmaktadır.

Modelin esası, ele alınan serinin durağan olması olarak açıklanmaktadır. Fakat zaman serilerinin birçoğunun ortalama ve varyanslarında zaman süresince değişim söz konusu olduğundan dolayı durağan olarak ifade edilmemektedir [15]. Durağan olmayan fakat fark alma yöntemiyle durağan hale dönüştürülmüş serilere

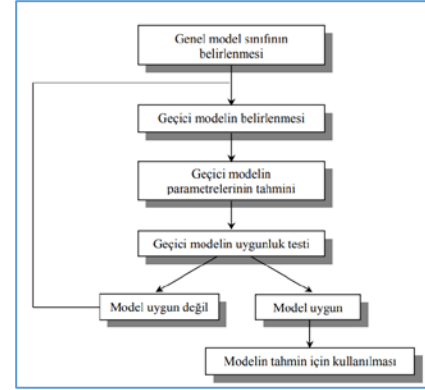
uygulanan ARIMA modelleri veya Box-Jenkins modelleri, “**Durağan Olmayan Doğrusal Stokastik Modeller**” olarak adlandırılmaktadır. Bu modeller d dereceden farkı alınmış serilere uygulanan, değişkenin t - dönemindeki değerinin belirli sayıdaki geri dönem değerleri ile aynı dönemdeki hata teriminin doğrusal bir fonksiyonu olarak ifade edildiği AR ve değişkenin t -dönemindeki değerinin aynı dönemdeki hata terimi ve belirli sayıda geri dönem hata terimlerinin doğrusal fonksiyonu olarak ifade edildiği MA modellerinin birer kombinasyonundan oluşmaktadır[16]. Modellerin genel gösterimi ARIMA (p, d, q) şeklindedir ve ‘otoregresif entegre hareketli ortalama modeli’ adını almaktadır. Burada, p , Oto regresif (AR) modelin derecesi, q , hareketli ortalama(MA) modelinin derecesini ve d ise fark alma derecesini vermektedir [16-17].

Box-Jenkins tekniğinin temeli, var olan verilerin yapısından yola çıkarak, çeşitli model alternatifleri arasından az sayıda ve optimum parametre içeren bir ARIMA modelinin seçilmesidir. ARIMA (p, d, q) modeli Eşitlik 1’de verilmiştir [18].

$$w_t = \vartheta_1 w_{t-1} + \dots + \vartheta_p w_{t-p} + e_t - \theta_1 e_{t-1} - \dots - \theta_q e_{t-q} \quad (1)$$

Denklemden p , otoregresif operatör için parametre değerlerini, e_t , hata terimi katsayısını, q , hareketli ortalama operatörü için parametre değerlerini ve w_t ise orijinal serinin d dereceden farkı alınmış zaman serisini ifade etmektedir. ARIMA modeli ile tahmin yapılırken Model belirleme işlemi dört aşamadan oluşmaktadır. Şekil 1’de Box-Jenkins yöntemi kullanılarak oluşturulan örnek bir model verilmiştir [16-18].

1. Model Belirleme: Zaman serisi için optimum Box-Jenkins modeli bu aşamada belirlenmektedir.
2. Parametre Tahmini: Model belirleme aşamasında belirlenen modele ait parametreler tahmin edilmektedir.
3. Uygunluk Testi: Modelin veri seti için uygun olup olmadığını belirlemek için istatistiksel yöntemler kullanılarak modelin test edildiği bu safhada model uygun olursa tahmin için kullanılabilir. Eğer model uygun değilse yeniden modelin belirlenmesi için ilk aşamaya geri dönmektedir.
4. Tahmin: Uygunluk testini geçen optimum model tahmin için kullanılmaktadır.



Şekil 1. Box-Jenkins yöntemiyle model belirleme aşamaları [18].

2.1.1.1. Oto regresif AR(p) modelleri

Bağımlı değişkenin gecikmeli değerleri otoregresif modellerde (AR) alınmakta ve p . dereceden otoregresif süreç Eşitlik 2’de belirtildiği gibi ifade edilmektedir [19].

$$y_t = a_1 y_{t-1} + a_2 y_{t-2} + \dots + a_p y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (2)$$

Eşitlikte verilen e_t , ifadesi beyaz gürültüyü temsil ederken, a_1 ile a_p arasında yer alan katsayılar bilinmeyen parametreleri temsil etmektedir.

2.1.1.2. Hareketli ortalama MA(q) modelleri

Hareketli ortalama MA(q) süreci bir zaman serisinin t dönemdeki değerini, rastgele bir değişken olan hatanın önceki dönemlere ait değerlerinin ağırlıklı ortalaması ile temsil edilen bir süreçtir ve Eşitlik 3’de gösterildiği gibi ifade edilmektedir [20].

$$y_t = \varepsilon_t + b_1 \varepsilon_{t-1} + b_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + b_q \varepsilon_{t-q} \quad (3)$$

Eşitlikte verilen b katsayıları bilinmeyen parametreleri temsil etmektedir.

2.1.1.3. ARMA (p,q) Modelleri

ARMA(p,q) modelleri en az parametre kullanımının gerçekleştirilmesi ile zaman serisi modellerinde esneklik sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu amaçla model üzerinde hem otoregresif (AR) hem de hareketli ortalama (MA) parametrelerinin ele alınması model için yararlı olmaktadır. Böylece ARMA(p,q) modeli oluşmaktadır. ARMA modeline ait matematiksel ifade Eşitlik 4’te verilmiştir [20].

$$y_t - a_1 y_{t-1} - \dots - a_p y_{t-p} = \varepsilon_t + b_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + b_q \varepsilon_{t-q} \quad (4)$$

2.1.2. Akaike bilgi ölçütü (AIC)

AKAIKE bilgi ölçütü (İng. AIC - Akaike Information Criterion) veri kümeleri için istatistiksel bir model ölçüsüdür [21]. AIC bilgi ölçütünün kullanılmasının en önemli sebeplerden birisi toplanan veriler ile gerçeğe en yakın olan modelin seçilmesidir. Belirli standart bir değeri olmamakla birlikte modelin uyumluluğu ile ters orantılıdır. AIC değeri ne kadar düşüğe modelin o derece uyumlu olduğu kabul edilmektedir. AIC, ARIMA modellerinin p derecesinin belirlenmesinde kullanılmaktadır [22]. AIC yönteminin matematiksel ifadesi Eşitlik 5'de verilmiştir [23].

$$AIC = -2L(\hat{\theta}) + 2k \quad (5)$$

Eşitlikte θ, k boyutunda bilinmeyen parametrelerin vektörü, $\hat{\theta}$ ise θ 'nın en çok olabilirlik belirleyicisi ve $L(\hat{\theta})$ da k bilinmeyenli olabilirlik fonksiyonudur.

2.1.3 Izgara Arama Yöntemi

Hiper parametre optimizasyonlarında ızgara araması ve manuel arama çok yaygın olarak kullanılan bir stratejidir [24]. Izgara araması, hiper parametre boşluğunun belirli alt kümesi aracılığıyla kapsamlı bir arama sunmaktadır [25]. Izgara araması, uygulanması ve anlaşılması en kolay yöntem olmakla birlikte düşük boyutlu alanlarda yüksek verimlilik ve güvenilirlik sağlamaktadır [26]. Bu yöntemin kullanılması ile birlikte minimum AIC değerine ulaşmak için elde edilen bütün kombinasyonlar detaylı bir şekilde araştırılmaktadır. Fakat bu durum gelecekteki verilerin tahmin edilmesinde oldukça zaman gerektirmektedir [27].

2.1.4 Statik –Dinamik Tahminleme

ARIMA modeli ile tahminleme de statik ve dinamik tahminleme yöntemleri de kullanılabilir. Dinamik tahminleme yöntemi, ilk örnekten başlayarak sonraki örnekler için çok adımlı tahminleri hesaplamaktadır. Bu yöntem n-adım önde tahminleme denir. Statik yöntem, bağımlı değişkenin tahmin edilen değerleri yerine gerçek olan değerlerini kullanır. Tahminleme de kullanılacak veriye göre gerçek veri tercih edilmişse statik, bir önceki tahmin değeri tercih edilmişse dinamik yöntem adı verilmektedir. Tahmin örneğindeki ilk gözlem s ise, dinamik tahminlemeye ait matematiksel ifade Eşitlik 6'de verilmiştir [28-30]. Diğer yandan statik tahmin etmeye ait matematiksel ifade ise Eşitlik 7'de verilmiştir [28,29].

$$\hat{y}_s = \hat{c}(1) + \hat{c}(2)x_s + \hat{c}(3)z_s + \hat{c}(4)y_{s-1} \quad (6)$$

$$\hat{y}_{s+k} = \hat{c}(1) + \hat{c}(2)x_{s+k} + \hat{c}(3)z_{s+k} + \hat{c}(4)y_{s+k-1} \quad (7)$$

Eşitliklerde \hat{y}_s dinamik tahmin değerini, \hat{y}_{s+k} statik tahmin değerini ifade etmektedir.

2.1.4 Performans Değerlendirme Ölçütleri

Çalışmada kullanılan ARIMA modeli için MSE ve R^2 performans değerlendirme ölçütleri kullanılmıştır. MSE ve R^2 performans değerlendirme ölçütlerine ait matematiksel ifadeler denklem 8 ve denklem 9'da verilmiştir [31-32].

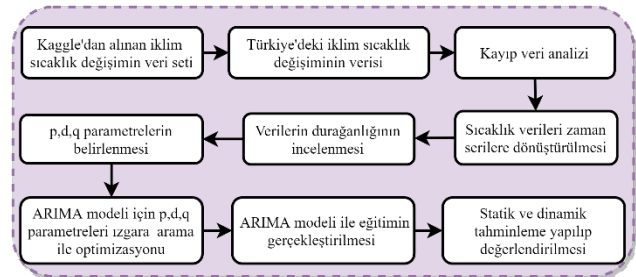
$$MSE = \frac{1}{h+1} \sum_{t=1}^h (\hat{y}_t - y_t)^2 \quad (8)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^h (\hat{y}_t - y_t)^2}{\sum_{t=1}^h (y_t - \bar{y})^2} \quad (9)$$

Denklemlerde t zaman aralığını, h örnek sayısını, y_t gerçek örnek değeri, \hat{y}_t tahmin edilen değeri, \bar{y} ise gerçek örneklerin ortalamasını ifade etmektedir.

2.2. Metot

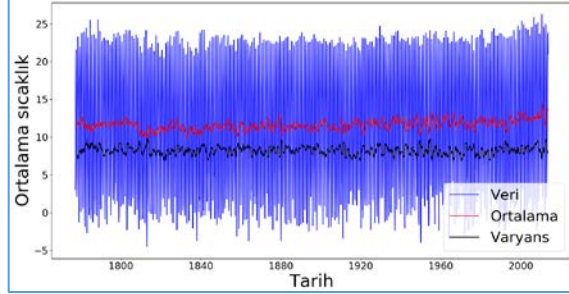
Çalışmanın iş akış diyagramı Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde ilk olarak açık kaynak erişimli internet sitesinden alınan veri setinden Türkiye'ye ait sıcaklık verileri alınarak diğer ülkelere ait veriler veri setinden çıkarılmıştır. İkinci aşamada ise kayıp veri analizi ile verilerde bulunan iki adet eksik sıcaklık değeri saptanarak veri seti düzeltilmiştir. Çalışmanın üçüncü aşamasında ARIMA modeli için sıcaklık ve tarih verileri zaman serilerine dönüştürülmüştür. Bir sonraki aşamada ise veri setinin ortalama, varyans ve artırılmış Dickey Fuller testi ile ARIMA modeli için durağan olup olmadığı belirlenmiştir. Altıncı aşamada ise ARIMA modeli için p , otoregresif (AR) modelinin derecesi, q , hareketli ortalama (MA) modelinin derecesi ve d ise fark alma derecesinin değerleri 0 ile 2 arasında seçilmiştir. Yedinci aşamada ise en uygun p, d, q değerlerinin tespiti için ızgara arama yöntemi ile optimizasyon işlemi gerçekleştirilerek AIC ölçütüne göre sonuçlar elde edilmiştir. Bir sonraki aşamada ise ARIMA modeli 2840 adet veri kullanılarak eğitilmiştir. Son aşamada ise elde edilen ARIMA modeli 2000 ile 2013 yılları arasındaki aylık sıcaklık değerlerini statik ve dinamik olarak tahminlenmiştir. Elde edilen sonuçlar gerçek verilerle test edilerek değerlendirilmiştir.



Şekil 2. İş akış diyagramı

3. Araştırma Bulguları

Çalışmada ilk olarak açık erişimli internet sitesinden alınan veri setinde kayıp analizi yapılmıştır. Sonrasında ise Python programlama dilinde hazırlanan bir yazılım ile verinin ARIMA modeli için durağanlığı incelenmiştir. Veriye ait ortalama ve varyans değerlerine ait sonuçlar Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Verinin ARIMA modeli için durağanlık test sonuçları

Şekil incelendiğinde varyans ve ortalama değere ait grafiklerin birbirine benzerlik gösterdiği görülmektedir. Bu da verinin durağan bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bu nedenle çalışmada ARIMA modeli tercih edilmiştir. Sonrasında ise veri setine Arttırılmış Dickey Fuller testi uygulanarak sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir:

Tablo 2. Arttırılmış Dickey Fuller test sonuçları

Arttırılmış Dickey Fuller değeri	p-değeri	Kritik değerler		
		%1	%5	%10
-5,80	$4,72 \cdot 10^{-7}$	-3,43	-2,86	-2,56

Tablo 2 incelendiğinde verinin durağan olması için; p değerinin 0,05 değerinden daha küçük olması gerekmektedir. Elde edilen p değeri bu değerden daha da küçük olması verinin durağanlığının bir göstergesidir. Diğer bir durağanlık göstergesi ise Arttırılmış Dickey Fuller değerinin %1, %5 ve %10 olarak belirlenen kritik değerlere yakın olmasıdır. Tabloda verilen Arttırılmış Dickey Fuller değerinin kritik değerlere yakın olduğu görülmektedir.

Verinin durağanlık testi tamamlandıktan sonra Python programlama dilinde hazırlanan bir yazılım ile ızgara arama yöntemi kullanarak p, d ve q parametreleri optimize edilerek en uygun parametreler AIC değerine göre belirlenmiştir. En küçük AIC değeri veren parametreler Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Izgara arama yöntemine göre optimize edilmiş p, d ve q değerleri

ARIMA Parametreleri			ARIMA Mevsimsel Bileşenleri			
p	d	q	P	D	Q	Mevsimdeki dönem sayısı
1	1	1	0	1	1	12

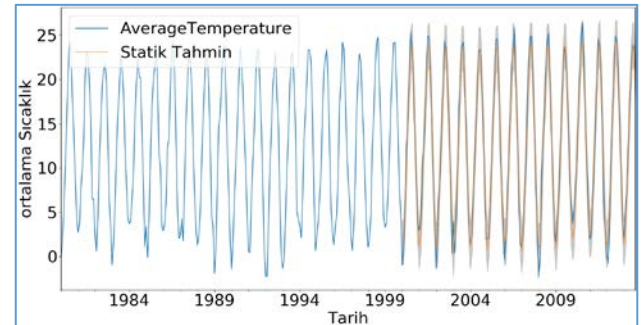
Sonraki aşamada ise Tablo 3'de verilen parametreler kullanılarak ARIMA modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan ARIMA modeli 2840 veri ile eğitilerek modele ait parametreler Tablo 4'de verilmiştir

Tablo 4. ARIMA modeli parametreleri

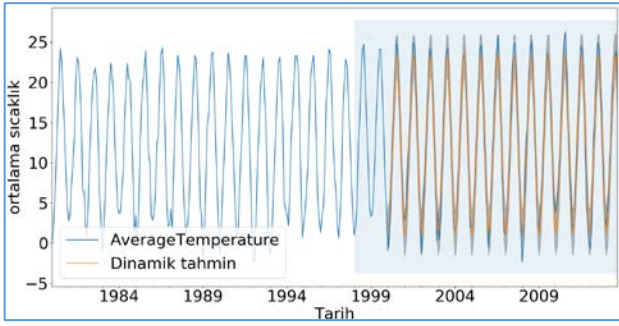
Özellik	Coef (katsayı)	Std-hata	Z değeri	$P > Z $
AR.L1	0,3091	0,017	18,676	0,000
MA.L1	-1,0143	0,004	-288,757	0,000
MA.S.L12	-0,9866	0,005	-211,937	0,000
Sigma2	1,5943	0,039	41,399	0,000

Tabloda katsayı sütunu özelliklerin ağırlıklarını ifade etmektedir. Kısaca katsayı değeri ile özelliğin önemi ya da zaman serisini ne kadar etkilediğini ifade edilmektedir. Std-hata sütunu ise modeldeki standart hata değerini vermektedir. $P > |Z|$ sütunu ise olasılık değerini ifade etmektedir. Bu sütunda yer alan tüm sonuçlar 0 olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların 0,05 değerine yakın veya küçük bir değer olması özellik ağırlığının model için uygun olduğunu göstermektedir.

Çalışmanın bir sonraki aşamasında ise ARIMA modeli için dinamik ve statik tahminleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. ARIMA modeli için 1993 sonrası veriler için örnek statik ve dinamik tahminleme sonuçlarının grafikleri Şekil 4 ve Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 4. ARIMA modeli için örnek statik tahminleme grafiği



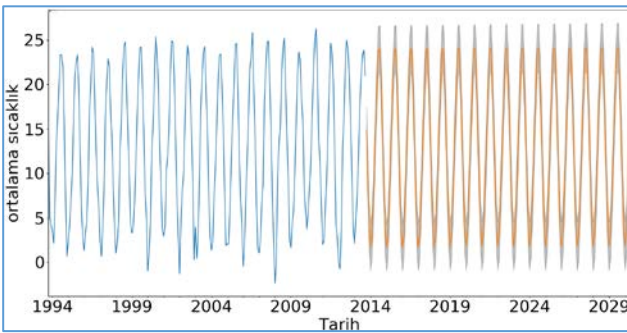
Şekil 5. ARIMA modeli için örnek dinamik tahminleme grafiği

Şekil 4 ve Şekil 5 incelendiğinde gerçek ve tahmin edilen değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu da oluşturulan ARIMA modelinin başarısını göstermektedir. Tablo 5'de oluşturulan ARIMA modelinin MSE ve R^2 performans değerlendirme ölçütlerine göre statik ve dinamik değerlendirme sonuçları verilmiştir.

Tablo 5. ARIMA modeli için statik ve dinamik değerlendirme sonuçları

Model	MSE	R^2 (%)
Statik	1,92	97,19
Dinamik	2,26	96,68

Tablo incelendiğinde ARIMA modelinin statik ve dinamik tahminleme değerlerinin %97,19 ve %96,68 olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar ARIMA modelinin ortalama sıcaklık tahminleme de oldukça başarılı olduğunun bir göstergesidir. Çalışmanın son aşamasında ise 2013 ile 2030 yılları arasında oluşturulan ARIMA modelinin tahmin ettiği sıcaklık değerlerine ait grafik Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Oluşturulan ARIMA modelinin 1994-2030 yılları arası sıcaklık tahminleri

4. Sonuçlar

Küresel ısınma günümüzün en önemli sorunlarından birisidir. Küresel ısınma ile ilgili birçok önlem alınmasına rağmen bu sorunun önüne geçilememektedir. Çalışmada açık erişimli internet

sitesinden (Kaggle) 1777 ile 2013 yılları arasında Türkiye'ye ait olan aylık sıcaklık verileri alınmıştır. Çalışmada alınan veri setinin durağanlığı incelenerek ARIMA modeli kullanmanın uygun olacağı belirlenmiştir. Veri seti üzerinde uygulanan ARIMA modelinde sıcaklık tahminin %97.19 olarak belirlenmesi modelin oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Modelden elde edilen yüksek doğruluk oranı sayesinde geleceğe dönük sıcaklık tahminlerinin yüksek doğruluk oranında tahminlenebileceği belirlenmiştir.

İlerideki çalışmalarda çalışmada kullanılan ARIMA modeli yerine farklı yapay zekâ modelleri kullanılarak sonuçların kıyaslanabileceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Çalışmada kullanılan "Dünya yüzey sıcaklık verisini" sağlayan açık erişimli internet sitesine (Kaggle) yükleyip kullanıma açan Berkeley Earth'e teşekkürü bir borç biliriz.

Kaynaklar

- [1] Seidl R, Thom D, Kautz M, Martin-Benito D, Peltoniemi M, Vacchiano G, ve Lexer, M J. Forest Disturbances Under Climate Change, *Nature Climate Change*, 7(6), 395-402, 2017.
- [2] Pittock A B. *Climate Change: Turning Up The Heat*. 1st Ed. Routledge, London, UK, 2107.
- [3] Jansson J. K, ve Hofmockel K. S. Soil Microbiomes And Climate Change. *Nature Reviews Microbiology*, 18, 35-46, 2020.
- [4] Broto V. C. Urban Governance And The Politics Of Climate Change. *World development*, 93, 1-15, 2017.
- [5] Edenhofer O. *Climate Change 2014: Mitigation Of Climate Change*. 1st Ed. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2015.
- [6] Balbi S, Giupponi C. Agent-Based Modelling of Socio-Ecosystems: A Methodology For The Analysis of Adaptation To Climate Change. *International Journal of Agent Technologies and Systems (IJATS)*, 2(4), 17-38, 2010.
- [7] Huntingford C, Jeffers E. S, Bonsall M. B, Christensen H. M, Lees T, Yang H. Machine Learning And Artificial Intelligence To Aid Climate Change Research And Preparedness. *Environmental Research Letters*, 14(12), 124007, 2019.

- [8] El Naqa I, Haider MA, Giger ML, Ten Haken RK. Artificial Intelligence: Reshaping The Practice Of Radiological Sciences In The 21st Century. *The British Journal of Radiology*,93(1106), 1-15.2020
- [9] Russell SJ, Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 3rd Ed. Pearson Education Inc, New Jersey, USA, 2016.
- [10] Lu H, Li Y, Chen M, Kim H, Serikawa S. Brain Intelligence: Go Beyond Artificial Intelligence. *Mobile Networks and Applications*,23(2),368-375, 2018.
- [11] Jaakkola H, Henno J, Mäkelä J, Thalheim B. Artificial Intelligence Yesterday, Today And Tomorrow. *42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO*. Opatija, Croatia, 20-24 may 2019.
- [12] Weigend, A S. *Time series Prediction: Forecasting The Future And Understanding The Past*. 1st Ed. Routledge, London, UK, 2018.
- [13] Gao Z. K, Small M, Kurths J. Complex Network Analysis Of Time Series. *EPL (Europhysics Letters)*, 116(5), 50001, 2017.
- [14] Kaggle (2020), <https://www.kaggle.com/berkeleyearth/climate-change-earth-surface-temperature-data> (Erişim tarihi: 25.06.2020).
- [15] Solak A O. Türkiye'nin Toplam Petrol Talebi ve Ulaştırma Sektörü Petrol Talebinin Arıma Modeli ile Tahmin Edilmesi. *Suleyman Demirel University Journal of Faculty of Economics & Administrative Sciences*, 18(3),2013.
- [16] Kaynar O, Taştan S. Zaman Serisinalizinde Mlp Yapay Sinir Ağları Ve Arıma Modelinin Karşılaştırılması. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (33), 161-172,2009.
- [17] Tortum A, Gözcü O, Çodur M Y. Türkiye'de Hava Ulaşım Talebinin Arıma Modelleri ile Tahmin Edilmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(2), 39-54,2013.
- [18] Yaman K, Sarucan A, Mehmet A. T. A. K, Aktürk N. Dinamik Çizelgeleme İçin Görüntü İşleme Ve Arıma Modelleri Yardımıyla Veri Hazırlama. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16(1),2001.
- [19] Bal E T, Çalışır V. Konteyner Elleçleme İçin Ekonometrik Tahminleme: Arma Modeli Uygulaması. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 9(16), 2067-2096,2018.
- [20] Ataseven B. Yapay Sinir Ağları ile Öngörü Modellemesi. *Marmara Üniversitesi dergisi*, 101-115,2013.
- [21] Baran T, Bacanlı Ü G. Uygun Stokastik Model Seçim Ölçütlerinin Değerlendirilmesi. *Teknik Dergi*, 17(84), 3987-4002,2006.
- [22] Mohammed A A, Naugler C, Far B H. *Emerging Business Intelligence Framework For a Clinical Laboratory Through Big Data Analytics. Emerging Trends In Computational Biology, Bioinformatics, And Systems Biology: Algorithms And Software Tools*. 1st Ed. Elsevier/Morgan Kaufmann, New York, USA, 577-602, 2006.
- [23] Gazeloğlu C. *Yapısal Eşitlik Modellemesinde Sıralı Kategorik Verilerin Ağırlıklandırılmış ve Ağırlıklandırılmamış Parametre Tahmin Yöntemleri ve Bilgi Kriterlerinin Örneklem Hacimlerine Göre Karşılaştırılması*. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2016.
- [24] Bergstra J, Bengio Y. Random Search For Hyper-Parameter Optimization. *The Journal of Machine Learning Research*, 13(1), 281-305, 2012.
- [25] Syarif I, Prugel-Bennett A, Wills G. SVM Parameter Optimization Using Grid Search And Genetic Algorithm To Improve Classification Performance. *Telkomnika*, 14(4), 1502, 2016.
- [26] Dufour J M, Neves J. *Finite-Sample Inference And Nonstandard Asymptotics With Monte Carlo Tests And R*. Editors: Hrishikesh D. Vinod, C R Rao. *In Handbook of Statistics*, Elsevier 41, 3-31,2019.
- [27] Yaacob A H, Tan I K, Chien S F, Tan H K. ARIMA Based Network Anomaly Detection. *In 2010 Second International Conference on Communication Software and Networks*, Singapore, Singapore, 205-209, 26-28 Feb. 2010.
- [28] Flores C. Forecasting the UK Unemployment Rate: Model Comparisons. *International Journal of Applied Econometrics and Quantitative Studies*, 2(4), 57-72, 2005.
- [29] Valipour M, Banihabib M E, Behbahani S M R. Comparison Of The ARMA, ARIMA, And The Autoregressive Artificial Neural Network Models In Forecasting The Monthly Inflow Of Dez Dam Reservoir. *Journal of hydrology*, 476, 433-441, 2013.

[30] Paulin M G. A Method For Constructing Data-Based Models Of Spiking Neurons Using A Dynamic Linear-Static Nonlinear Cascade. *Biological Cybernetics*, 69(1), 67-76, 1993.

[31] Tüzemen A, Yıldız Ç. Holt-Winters Tahminleme Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi: Türkiye İşsizlik Oranları Uygulaması. *Ataturk University Journal of Economics & Administrative Sciences*, 32(1), 2018.

[32] Zhang D. A Coefficient Of Determination For Generalized Linear Models. *The American Statistician*, 71(4), 310-316, 2017.

Orijinal Makale/Research Article

R32 Soğutkanlı bir ısı pompasının termodinamik analizi

Arif Emre Özgür¹, Melih Manır²

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 32200, Isparta, Türkiye

²Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 53100, Rize, Türkiye

Anahtar Kelimeler

R32
Isı Pompası
Enerji
Ekserji

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 03.09.2019
Kabul Tarihi: 30.09.2020

Özet: Yüksek küresel ısınma etkisine sahip soğutkanların, çevresel kriterler göz önüne alınarak, uluslararası ölçekte kullanımları sınırlandırılmaktadır. Avrupa Birliğinin uyguladığı F-gaz yönetmeliği gibi ülkemizde F-Gaz kullanımına sınırlama getiren bir yönetmelik hazırlamıştır. Bu kapsamda, R32 soğutkanı nispeten düşük küresel ısınma potansiyeli ile ön plana çıkmaktadır. R32, R410A soğutkanına kıyasla daha düşük küresel ısınma potansiyeline sahiptir. Bunun yanında yüksek enerji verimliliği ve düşük yanıcılığa sahip olduğundan birçok uygulamada güvenle kullanılabilmesi düşünülmektedir. Geri dönüşümü açısından değerlendirildiğinde tek bileşenli bir soğutkan olduğu için ısı pompaları için cazip bir alternatif olabileceği değerlendirilmektedir. Bu sebeple ısı pompası uygulamalarında R32 kullanımı giderek artmaktadır. Bu çalışmada R32 soğutkanlı hava-su-hava kaynaklı bir ısı pompasının termodinamiğin 1. ve 2. kanununun analizi EES programı kullanılarak yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar grafikler ve tablolar halinde sunulmuştur. Grafiklerden buharlaşma sıcaklığının -10°C ' den $+5^{\circ}\text{C}$ ' ye çıkmasıyla ve yoğunlaşma sıcaklığının 45°C ' den 35°C ' ye düşmesiyle COP_{IP} değerinin arttığı görülmüştür. Artan buharlaşma sıcaklığıyla ve azalan yoğunlaşma sıcaklığıyla kompresörde, kondanserde, evaporatörde ve genleşme valfinden tersinmezliklerin azaldığı görülmüştür. İkinci yasa veriminin bu koşullarda arttığı görülmüştür.

Atif için/To Cite:

Özgür A.E. Manır M. R32 Soğutkanlı Bir Isı Pompasının Termodinamik Analizi. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 12(2), 77-83, 2020.

Thermodynamic Analysis of a Heat Pump Using R32

Keywords

R32
Heat Pump
Energy
Exergy

Article history:

Received: 03.09.2019
Accepted: 30.09.2020

Abstract: Refrigerants with a high global warming effect are limited in their use on an international scale, taking into consideration environmental criteria. Like the F-gas regulation implemented by the European Union, a regulation has been drafted in our country that restricts the use of F-Gas. In this context, R32 refrigerant is at the forefront with its relatively low global warming potential. R32 has a lower global warming potential compared to R410A refrigerant. In addition, it is considered that it can be used safely in many applications since it has high energy efficiency and low flammability. It is considered that it can be an attractive alternative to heat pumps since it is a single component refrigerant when it is evaluated in terms of recycling. Therefore, the use of R32 in heat pump applications is gradually increasing. In this study, the analysis of the first and second laws of thermodynamics of a R32 refrigerated air-water-air source heat pump was performed using the EES program and the results obtained are presented in graphs and tables. Graphs show that the COP_{IP} value increases with the evaporation temperature rising from -10°C to $+5^{\circ}\text{C}$ and falling to 45°C to 35°C at the condensation temperature. With increasing evaporation temperature and decreasing condensation temperature, irreversibility has decreased in compressor, condenser, evaporator and expansion valve. The efficiency of the second law is seen to increase under these conditions.

1. Giriş

Günümüzde enerjinin verimli kullanımı ve çevreye olan zararın minimum düzeyde tutulması önem kazanmıştır. Bu nedenle araştırmacılar enerjinin verimli kullanılacağı ekipmanlar geliştirmektedir. Klima, soğutma ve ısı pompası uygulamaları enerjinin yoğun tüketildiği alanlar olduğu için dikkat çekmektedir. İlk başlarda soğutucu akışkan olarak karbondioksit, hava ve amonyak gibi maddeler soğutucu olarak kullanılmıştır. Daha sonraları yapay olarak elde edilen kloroflorokarbon (CFC) ve hidrokloroflorokarbonlar (HCFC) yoğun şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Kloroflorokarbonlar (CFC) ve hidrokloroflorokarbonlar (HCFC) 1920' lerden itibaren klima ve soğutucu sanayinde yaygın olarak kullanılmıştır [1]. Ancak CFC' ler strotosferde ozon tabakasının tükenmesine neden olabileceği belirtilmiştir [2]. Yoğun kullanımlar sonucu CFC ve HCFC soğutucu akışkanları atmosfere karışarak küresel ısınmaya neden olmaktadır [3]. Sera gazı emisyonları dünya sıcaklığını 2100 yılına kadar ortalama 5°C' ye kadar artıracakı düşünülmektedir [3]. CFC soğutucu akışkanlar kimyasal yapılarını koruyarak 75 ila 120 yıl atmosferde kalabilirler [4]. CFC' ler gibi HCFC' lerde klor içerdikleri için ozon tabakasıyla reaksiyona girer. Bu sebeple 1987' de Montreal Sözleşmesinin yürürlüğe girmesiyle CFC' lerin kullanımına sınırlama [5]. 1997 yılında küresel ısınma potansiyeli yüksek maddelerle mücadele için Kyoto Protokolü hazırlanmıştır [5]. R410A, Montreal Protokolünün ardından piyasaya sürülmüş ve yaygın olarak kullanılmıştır. Ancak R410A' nın GWP' si 2088 gibi yüksek bir değer olduğu için alternatifleri araştırılmaktadır [5].

Avrupa Birliği (AB) tarafından yayınlanan ve 01/01/2015 tarihinde yürürlüğe giren Florlu Gazlar Yönetmeliği (F-Gaz), hidroflorekarbon (HFC) türü sera gazları bulunduran cihazlar için bir dizi kontrol ve düzenlemeler getirmektedir. Florlu gazların küresel ısınmaya katkısının, olağan bir yaklaşımla toplam antropojenik CO₂ emisyonunu yaklaşık %1.3 den (2004) %7.9' a (2050) çıkacağı belirtilmiştir [6]. Sera gazları olarak tanımlanan R22 ve R410A buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerinden sızarak iklim değişikliğine büyük ölçüde katkı sağlar [7]. F-Gaz Yönetmeliği gereği 2025 yılından geçerli olmak üzere 3 kg dan daha az soğutkan bulunduran split klimalarda, küresel ısınma potansiyeli (GWP) değerinin 750' den küçük olması gerektiği için R410A kullanılmayacaktır. Bunun için R410 için alternatifler aranmaktadır.

R410A' ya alternatif olarak R32 soğutucu akışkanı kullanılmaya başlanmıştır. Bunun nedeni R410A 'nın GWP' si 2088 iken R32' nin 675 olmasıdır [8]. Xu vd., 2013, buhar enjeksiyonlu ısı pompasında R410A ve

R32' yi karşılaştırmıştır ve R32 kullanıldığında kapasitede %10 ve Isıtma Performans Katsayısı (COP_{IP}) değerinde %9 a varan iyileşmeler görülmüştür. R410A ve R32' yi bir klima sisteminde karşılaştırmış ve R32' nin R410' dan %25 daha düşük yüke sahip olduğunu görmüştür [9]. Bir konut ısı pompası sisteminde kullanılan üç soğutucu akışkanın (R32, R410A ve R410B) performanslarının R22 ile karşılaştırıldığı bir çalışmayı değerlendirmişlerdir. R32' nin en iyi performans sergilediğini görmüştür [10]. Cho vd. (2016), yaptıkları çalışmada buhar enjeksiyonlu R410A ve R32 soğutkanlı çoklu ısı pompalarının performansını dış ortam sıcaklığı, kompresör hızı ve enjeksiyona bağlı olarak incelemişlerdir. Optimum şarj miktarının R32 soğutkanlı ısı pompasında R410A' ya kıyasla %26 daha düşük olduğu görülmüştür [11].

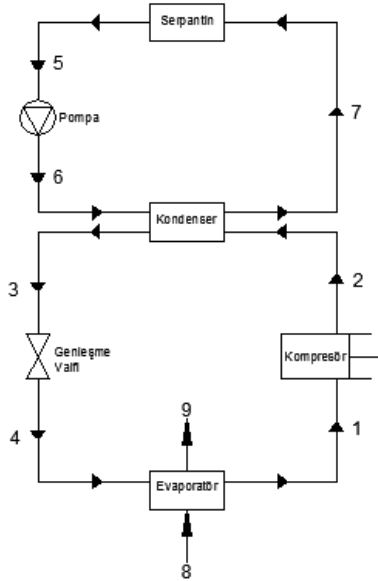
Bu çalışmada düşük küresel ısınma potansiyeline sahip R32 soğutkanı kullanılan hava-su-hava kaynaklı bir ısı pompasının termodinamik analizi yapılmış ve elde edilen veriler 3 boyutlu grafikler ile sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

Analizi yapılan hava-su-hava kaynaklı buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimine göre çalışan ısı pompası Şekil 1'de gösterilmiştir. Isı pompasında düşük basınçtaki soğutucu akışkan, buharlaştırıcıda buharlaşarak düşük sıcaklıktaki bir havadan ısı çeker. Böylece havayı soğutmuş olur. Buharlaştırıcı çıkışında kızgın buhar fazına gelen soğutucu akışkan, kompresörde sıkıştırılarak basıncı ve sıcaklığı artmış bir şekilde yoğunlaştırıcıya gönderilir. Sulu yoğunlaştırıcıda yüksek basınçtaki soğutucu akışkan, soğutma suyuna ısınıp aktarır ve yoğunlaşır. Sulu yoğunlaştırıcıda ısınan su, serpentine gönderilir. Serpantinden geçen sıcak su, ısınıp dışarı atarak havanın ısıtılmasını sağlar [12].

Temel bir buhar sıkıştırımlı ısı pompası elemanları kompresör, yoğunlaştırıcı (kondenser), genleşme valfi ve buharlaştırıcıdır (evaporatör). İdeal çevrim hesaplarında kompresörde izentropik sıkıştırma, yoğunlaştırıcıda sabit basınçta ısı transferi, genleşme valfinden sabit entropide genişleme ve yoğunlaştırıcıda sabit basınçta ısı transferi olduğu kabul edilir. Gerçek durumda ise basınç kayıpları ve kompresörün izentropik verimi nedeniyle durum farklılık göstermektedir. Kompresör girişindeki hal 1 olarak numaralandırılırsa ideal çevrimde 2, yoğunlaştırıcı çıkışı 3, genleşme valfi çıkışı 4 ve buharlaştırıcı çıkışı 1 olacaktır. Bu durumda ideal çevrimde kompresör girişi ve çıkışındaki özgül entropiler denklem 1' de görüldüğü gibi eşit olacaktır. Kompresörün izentropik verimi ise denklem 2'de belirtildiği gibi ideal kompresör işinin

gerçek kompresör işine orandır. Bu durumda gerçek çevrimde kompresör çıkışında entalpi, h_2 , denklem 2 ile hesaplanabilir [13].



Şekil 1. Hava-su-hava kaynaklı ısı pompası sistemi

$$s_1 = s_{2s} \quad (1)$$

$$\eta_k = \frac{(h_{2s} - h_1)}{(h_2 - h_1)} \quad (2)$$

İzentropik verim denklem 3' de gösterildiği gibi deneysel verilerden elde edilmiş şekli ile hesaplanabilir [14].

$$\eta_{is} = 1,41 \left(1 - e^{-\frac{P_2/P_1 - 0,30}{0,21}} \right) - 0,52 \ln \left(\frac{P_2}{P_1} + 1 \right) \quad (3)$$

Burada P_2 kompresör çıkış basıncını, P_1 ise kompresör giriş basıncını göstermektedir.

2.1. Kütlein Korunumu

Bu kanun bir hal değişimi süresince sistemde olan net kütle geçişinin, aynı hal değişiminde sistemde meydana gelen toplam kütle değişimine eşit olduğunu gösterir. Genel olarak kütle dengesi denklem 4' de ifade edilmiştir [15].

$$\sum \dot{m}_{giren} - \sum \dot{m}_{çıkan} = \Delta \dot{m}_{sistem} \quad (4)$$

Burada, \dot{m} kütsel debiyi göstermektedir. Sürekli akışlı açık sistem için, $\Delta \dot{m}_{sistem} = 0$ olur ve Denklem 5 elde edilir.

$$\sum \dot{m}_{giren} = \sum \dot{m}_{çıkan} \quad (5)$$

2.2. Enerjinin Korunumu

Buhar sıkıştırmalı bir soğutma sisteminde sürekli akışın olduğu elemanlar bulunur, bu sebeple çevrimi meydana getiren dört hal değişimi de sürekli akışlı açık sistem olarak değerlendirilebilir. Soğutucu akışkanın potansiyel ve kinetik enerji değişimleri, ısıya ve işe kıyasla küçük olduğu için ihmal edilebilir. Buna göre sürekli akışlı açık sistemin enerji korunumu denklemi birim akışkan kütsel için gösterilirse denklem 6 elde edilir.

$$q - w = h_c - h_g \quad (6)$$

Enerjinin korunumu kanununu termodinamiğin birinci yasası ile ifade edilmektedir. Bir hal değişimine uğrayan sistemin genel enerji dengesi denklem 7'de gösterildiği gibidir [16].

$$\dot{Q} + \sum (\dot{m}h)_{giren} = \dot{W} + \sum (\dot{m}h)_{çıkan} \quad (7)$$

Bir ısı pompasının performansı, COP_{IP} ile ifade edilir. Isı pompasının amacı, ılık ortama ısı vermektir (\dot{Q}_H). Bu amacı gerçekleştirmek için bir iş yapılması gerekir ($\dot{W}_{net,giren}$). Bu durumda soğutma (soğutma) kimesinin etkinlik katsayısı denklem 8' deki gibi ifade edilir.

$$COP_{IP} = \frac{\text{elde edilmek istenen}}{\text{harcanması gereken}} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}_{net,giren}} \quad (8)$$

Kondanser ve evaporatörde iş etkileşimi meydana gelmez. Kompresör adyabatik olarak kabul edilebilir. Buna göre buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimine göre çalışan ısı pompasının etkinlik katsayısı denklem 9' deki gibi yazılabilir.

$$COP_{IP} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}_{el}} \quad (9)$$

Denklem 9' da \dot{W}_{el} kompresörün elektrik motor gücünü ifade etmektedir ve denklem 10' da gösterildiği şekilde bulunur.

$$\dot{W}_{el} = \frac{\dot{W}_c}{\eta_{mech} \eta_{el}} \quad (10)$$

İdeal çevrimde, h_1 evaporatör basıncında doymuş buharın entalpisi, h_3 ise kondanser basıncında doymuş sıvının entalpisi olur. Carnot ısı pompası etkinlik katsayısı denklem 11' den hesaplanır.

$$COP_{IP,Carnot} = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}} \quad (11)$$

2.3. Termodinamiğin 2.Kanun Analizi

Termodinamiğin ikinci kanunu, tersinmezlikler sebebiyle daima azalan ekserji kavramını türetmektedir. Ekserji, değişime neden olan bir akımın faydalılığının, kalitesinin veya potansiyelinin ölçüsü ve çevreyi etkileyecek bir maddenin potansiyelinin etkili bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır [17].

Isı pompası sisteminin, ekserji analizi yapılırken potansiyel, kinetik ve kimyasal ekserji terimleri ihmal edilir ise denklem 12 aşağıdaki gibi yazılabilir [18, 19].

$$Ex_Q - Ex_W = \sum(\dot{m}\varepsilon)_c - \sum(\dot{m}\varepsilon)_g + T_0 * \dot{S}_{\text{üretim}} \quad (12)$$

Burada;

$$\dot{Ex}_{yokolan} = T_0 * \dot{S}_{\text{üretim}} \quad (13)$$

şeklindedir.

Kinetik ve potansiyel enerji terimlerinin ihmal edildiği durumda, bir akışkanın spesifik ekserjisi ise denklem 14' de ifade edilmiştir.

$$e = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (14)$$

Denklem 15'de \dot{Ex}_Q ısının ekserjisini, denklem 16'da \dot{Ex}_W , işin ekserjisini ve denklem 17'de ε ise termomekanik ekserji olarak da gösterilen akış ekserjisidir [15].

$$\dot{Ex}_Q = \dot{Q} * \left(\frac{T - T_0}{T} \right) \quad (15)$$

$$\dot{Ex}_W = \dot{W} \quad (16)$$

$$\varepsilon = (h - T_0 * s) - (h_0 - T_0 * s_0) \quad (17)$$

Burada 0 indisi referans şartları göstermektedir.

Isı pompası için ekserji verimi Denklem 18 ile hesaplanır [15].

$$\eta_{U_I} = \frac{\text{Geri kazanılan ekserji}}{\text{Sağlanan ekserji}} \quad (18)$$

Isı pompasının ekserji verimi denklem 19' dan bulunur [13].

$$\eta_{ex,IP} = \frac{\dot{Ex}_{isl}}{W_{el}} \quad (19)$$

Burada \dot{Ex}_{isl} denklem 20' den bulunur.

$$\dot{Ex}_{isl} = \left(1 - \frac{T_0}{T_H} \right) * Q_k \quad (20)$$

Tablo 1 de ısı pompası sisteminin kütle, enerji, ekserji denge denklemleri ile ekserji verimi denklemleri çıkarılmıştır.

Isı pompası sistemi için yapılan (12) hesaplama ve analizlerde aşağıda ifade edilen kabuller yapılmıştır:

- Kompresörde adyabatik sıkıştırma yapılmaktadır.
- Sistemde dolaşan soğutkanın debisi sabittir.
- Evaporatör etkinliği 0,80 alınmıştır.
- Serpantin etkinliği 0,80 alınmıştır.
- Boru hatlarındaki ve kompresördeki basınç kayıpları ihmal edilmiştir.
- 4 °C aşırı soğutma yapılmıştır.
- 3°C aşırı kızdırma yapılmıştır.
- Yoğuşturucudan çıkan soğutma suyu sıcaklığı 30°C'dir.
- Evaporatöre hava giriş sıcaklığı 4 °C ile - 10 °C aralığında değişkendir.
- $T_0=20^\circ\text{C}$ alınmıştır.
- $\dot{Q}_{\text{evap}} = 100 \text{ kW}$ alınmıştır.

3. Bulgular

Tablo 2' de R32 soğutkanlı ısı pompasının her bir noktasındaki basınç, sıcaklık, entalpi, entropi ve kütleli debi değerleri görülmektedir.

R32 soğutkanlı hava-su-hava kaynaklı ısı pompasının ekserji analizi EES programı kullanılarak yapılmıştır. Isıtma kapasitesi 157 kW olan ısı pompası sisteminde kullanılan kompresörün elektrik verimi 0,97, mekanik verimi 0,96 alınmıştır. Kompresörün izentropik verimi 0,496 ve volümetrik verimi 0,90 olarak hesaplanmıştır. 35 ile 45°C arasındaki yoğuşma ve -10 °C ile +5 °C arasındaki buharlaşma sıcaklıklarında yapılan

incelemeler sonucu COPIP, η_{II} ve toplam tersinmezlik (ΣI) değerlerinin değişimi grafiksel olarak verilmiştir.

Tablo 1. Isı Pompası Sistemi Denge Denklemleri

Sistem Elemanları	Kütle Denge Denklemleri	Enerji Denge Denklemleri	Ekserji Denge Denklemleri	Ekserji Verimi
Kompresör	$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_r$	\dot{W}_{komp} $= \dot{m}_r(h_2 - h_1)$	$\dot{E}x_1 + \dot{W}_C$ $= \dot{E}x_2 + \dot{E}x_{yokolan,komp}$	$\eta_{UI,komp}$ $= \frac{(Ex_2 - Ex_1)}{W_{komp,elek}}$
Kondanser	$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \dot{m}_r$ $\dot{m}_6 = \dot{m}_7 = \dot{m}_w$	\dot{Q}_{kond} $= \dot{m}_r(h_2 - h_3)$	$\dot{E}x_2 + \dot{E}x_6$ $= \dot{E}x_3 + \dot{E}x_7$ $+ \dot{E}x_{yokolan,kond}$	$\eta_{UI,kond}$ $= \frac{(Ex_7 - Ex_6)}{(Ex_2 - Ex_3)}$
Genleşme Valfi	$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_r$	$h_3 = h_4$	$\dot{E}x_3 = \dot{E}x_4 + \dot{E}x_{yokolan,gv}$	$\eta_{UI,gv} = \frac{(Ex_4)}{(Ex_3)}$
Evaporatör	$\dot{m}_4 = \dot{m}_1 = \dot{m}_r$ $\dot{m}_8 = \dot{m}_9 = \dot{m}_{air}$	\dot{Q}_{evap} $= \dot{m}_r(h_1 - h_4)$	$\dot{E}x_4 + \dot{E}x_8$ $= \dot{E}x_1 + \dot{E}x_9$ $+ \dot{E}x_{yokolan,evap}$	$\eta_{UI,evop}$ $= \frac{(Ex_8 - Ex_9)}{(Ex_4 - Ex_1)}$
Sirkülasyon Pompası	$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 = \dot{m}_w$	\dot{W}_{pompa} $= \dot{m}_w(h_6 - h_5)$	$\dot{E}x_5 = \dot{E}x_6 + \dot{E}x_{yokolan,pompa}$	$\eta_{UI,pompa}$ $= \frac{(Ex_6 - Ex_5)}{W_{pompa}}$
Serpantin	$\dot{m}_7 = \dot{m}_5 = \dot{m}_w$	$\dot{Q}_{serpantin}$ $= \dot{m}_w(h_7 - h_5)$	$\dot{E}x_7$ $= \dot{E}x_5 + \dot{E}x_{yokolan,serpantin}$	

Tablo 2. R32 soğutkanı termodinamik özellikleri

Referans Noktası	P (kPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	m (kg/s)
1	582,6	-7	516,4	2,204	0,4184
2	2795	149,3	651,6	2,378	0,4184
3	2795	41	277,4	1,257	0,4184
4	582,5	-10	277,4	1,296	0,4184
5	100	30	125,8	0,4365	0,03
6	100	30,1	126,2	0,4379	0,03
7	100	125,4	2727	7,494	0,03
8	100	-4	269,5	5,597	19,66
9	100	-8,8	264,4	5,579	19,66
0	100	20	556	2,615	-

Tablo 3' de hesaplanan tersinmezlik değerleri ve ekserji verimleri görülmektedir.

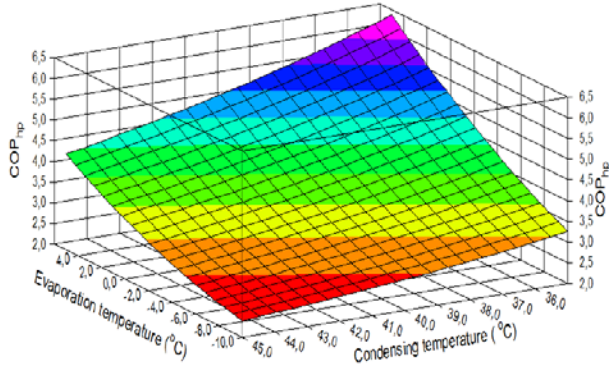
Tablo 3. Hesaplanan tersinmezlik değerleri ve ekserji verimleri

Sistem Elemanı	Tersinmezlik Değeri	Ekserji Verimi
Kompresör	32,16	0,219
Kondanser	19,06	0,838
Genleşme Valfi	4,86	0,903
Evaporatör	2,474	0,3551
Pompa	0,04044	0,03315

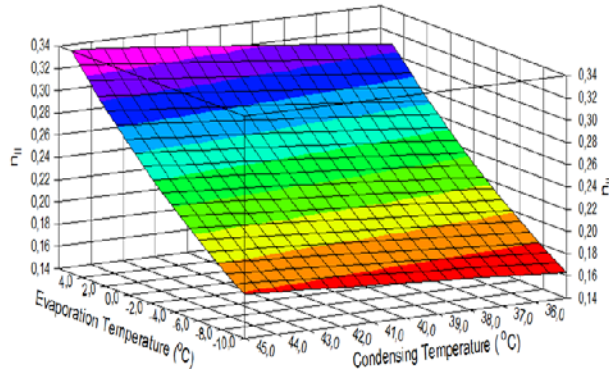
Termodinamik analizlerde ve hesaplamalarda EES (Engineering Equation Solver) programı kullanılmıştır [20]. EES, belirlenen çalışma şartlarındaki sistemin akışkan özelliklerini kendi veri tabanından almaktadır. R32 soğutucu akışkanı için çalışma basıncı ve sıcaklığına karşılık gelen, entropi ve entalpi değerleri EES programında otomatik olarak elde edilmiştir. Sistemdeki tüm elemanların tersinmezliği, ekserji verimi ve sistemin COP değeri hesaplanmıştır. Ayrıca sistem elemanları tersinmezlik açısından değerlendirildiğinde, en büyük tersinmezlik değerinin kompresörde olduğu görülmüştür. Kompresörü, kondanser, kısma valfi ve evaporatör takip etmektedir.

Isı pompasının performansının, buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıkları ile değişimi, 3 boyutlu grafikler ile sunulmuştur. Elde edilen bulgulara göre azalan yoğuşma sıcaklığında ve artan buharlaşma sıcaklığında COPIP değeri Şekil 1'de görüldüğü gibi artmaktadır. Isı pompası sistemlerinde buharlaşma sıcaklığı arttıkça COPIP değeri artmakta ve yoğuşma sıcaklığı arttıkça da

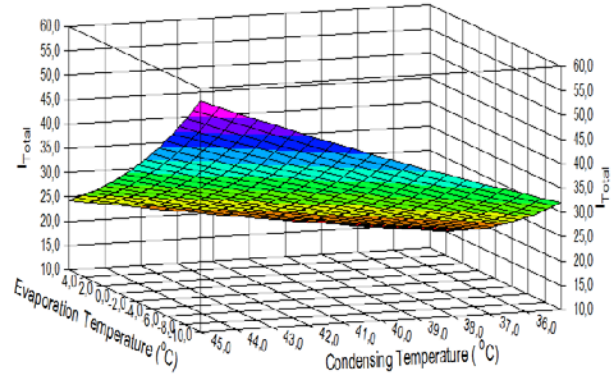
COPIP değeri azalmaktadır. Sistemin ekserji verimi ise azalan yoğuşma sıcaklığında ve artan buharlaşma sıcaklığında Şekil 2' de görüldüğü gibi artmaktadır. Isı pompası sistemlerinde buharlaşma sıcaklığı arttıkça ikinci yasa verimi artmakta ve yoğuşma sıcaklığı arttıkça da ikinci yasa verimi azalmaktadır. Aynı Şekilde azalan yoğuşma sıcaklığında ve artan buharlaşma sıcaklığında Şekil 3' de görüldüğü gibi sistemin toplam tersinmezliğinin azalmaktadır. Isı pompası sistemlerinde buharlaşma sıcaklığı arttıkça tersinmezlikler azalmakta ve yoğuşma sıcaklığı arttıkça da tersinmezlikler artmaktadır.



Şekil 1. Artan buharlaşma sıcaklığında ve azalan yoğuşma sıcaklığında COP_{IP} değişimi



Şekil 2. Artan buharlaşma sıcaklığında ve azalan yoğuşma sıcaklığında η_{II} değişimi



Şekil 3. Artan buharlaşma sıcaklığında ve azalan yoğuşma sıcaklığında I_{Toplam} değişimi

4. Sonuçlar

Sonuç olarak R32 soğutkanlı hava-su-hava kaynaklı bir ısı pompasının termodinamik analizi EES programı kullanılarak yapılmış ve elde edilen veriler DataFit programı kullanılarak 3 boyutlu grafikler olarak sunulmuştur. Bu çalışmada, kompresörün tükettiği güç, kompresör giriş-çıkış basıncı, iç ünitenin ısıtma kapasitesi, tek kademeli ısıtma durumunda çalışan ısı pompasının COPIP değeri, dış ünite, iç ünite, kompresör, genişleme vanası tersinmezliği ile toplam tersinmezlik değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca iç ünite, dış ünite, kompresör ve genişleme vanası ikinci yasa verimleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlardan buharlaşma sıcaklığının -10°C' den +5°C' ye çıkmasıyla ve yoğuşma sıcaklığının 45°C' den 35°C düşmesiyle COPIP değerinin %178 arttığı görülmüştür. Artan buharlaşma sıcaklığı ve azalan yoğuşma sıcaklığıyla toplam tersinmezliğin %75 azaldığı görülmüştür. İkinci yasa verimi ise artan buharlaşma sıcaklığı ve azalan yoğuşma sıcaklığıyla %73 arttığı görülmüştür.

Hesap sonuçlarından ve grafiklerden görüldüğü üzere buharlaşma sıcaklığı arttıkça ve yoğuşma sıcaklığı azaldıkça COP_{IP} ve η_{II} değerinin arttığı ve herbir elemanın tersinmezliğinin azaldığı görülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Xu X, Radermacher R, Pham MH. Performance Measurement of R32 in Vapor Injection Heat Pump System. *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*, 2328, 110, 2012.
- [2] Monica M], Rowland FS. Stratsperic Sink for Chlorofluoromethanes: Chlorinme Atom Catalysed Distraction of Ozone. *Nature*, 249, 810-812, 1974.
- [3] Berchin II, Valduga BI, Garcia J, Osorio SBJ, Guerra A. Climate Change and Forced Migrations: *An Effort Towards Recognizing Climate Refugees*. *Geoforum*, 84, 147-150, 2017.

- [4] Yıldırım C, Özkan BD, Onan C. Theoretical Study of R32 to Replace R410A in Variable Refrigerant Flow Systems. *International Journal of Ambient Energy*, 39(1), 87-92, 2017.
- [5] Alabdulkarem A, Eldeeb R, Hwang Y, Aute V, Radermacher R. Testing, Simulation and Soft Optimization of R410A Low-GWP Alternatives in Heat Pump System. *International Journal of Refrigeration*, 60, 106-107, 2015.
- [6] Gschrey B, Schwarz W, Elsner C, Engelhardt R. High increase of Global F-gas Emissions Until 2050. *Greenhouse Gas Measurement & Management*, 1(2), 85-92, 2011.
- [7] United Nations (UN). *Kyoto protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. New York, NY, USA, 1997.
- [8] Belchi LA, Gomez IF. Evaluation of a Condenser Based on Mini-Channels Technology Working with R410A and R32. *Experimental Data and Performance Estimate. Applied Energy*, 202, 112-124, 2017.
- [9] Tu X, Liang X, Zhuang R. Study of R32 Refrigerant for Residential Air-conditioning Applications. *The International Congress of Refrigeration*, Paris, 2011.
- [10] Xu X, Hwang Y, Radermacher R. Performance Comparison of R10A and R32 in Vapour Injection Cycles. *International Journal of Refrigeration*, 36, 892-903, 2013.
- [11] Cho IY, Seo H, Kim D, Kim Y. Performance Comparison Between R410A and R32 Multi-Heat Pumps with a Sub-Cooler Vapor Injection in the Heating and Cooling Modes. *International Journal of Refrigeration*, 112, 179-187, 2016.
- [12] Erdoğan Ş, Karaçaylı İ, Mutlu İ. Farklı Koşullardaki Hava-Su-Hava Kaynaklı Isı Pompasının Farklı Soğutucu Akışkanlarla Termodinamik Analizi. *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 112, 2017.
- [13] Çifci M, Yılmazoğlu MZ. Hava Kaynaklı Bir Isı Pompasının Deneysel Termodinamik Analizi. 11. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 17-20 Nisan, İzmir, 1015-1022, 2013.
- [14] Redon A, Peris-Navara E, Pitarch M, Macia-Gonzalvez J, Corberan MJ. Analysis and Optimization of Subcritical Two-Stage Vapor Injection Heat Pump Systems. *Applied Energy*, 124, 231-240, 2014.
- [15] Çengel YA, Boles MA. *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*. Güven Bilimsel Yayınevi (Beşinci Baskı), 946s, İzmir, 2007.
- [16] Hepbaşlı A, Kalıncı Y. A Review of Heat Pump Water Heating Systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1211-1229, 2009.
- [17] Dincer I. *Refrigeration Systems and Applications*. Wiley: UK, 26, 2003.
- [18] Bejan A. *Advanced Engineering Thermodynamics*. John Wiley and Sons, 896p, New York, 1997.
- [19] Bejan A. Fundamentals of Exergy Analysis, Entropy Generation Minimization, and The Generation of Flow Architecture. *International Journal of Energy Research*, 26, 545-565, 2002.
- [20] Klein SA. *Engineering Equation Solver*. F-ChartSoftware, V10-644-3D, 2019.