



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Bireysel ısıtma sistemlerinde tesisat temizliğinin enerji verimliliği açısından deneysel olarak değerlendirilmesi

## *Experimental evaluation of installation cleaning in terms of energy efficiency in individual heating systems*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Muhammet YÜRÜK<sup>1</sup>, Halil İbrahim VARIYENLİ<sup>1</sup>, Kerim MARTİN<sup>2\*</sup>, Ataollah KHANLARI<sup>3</sup>, İpek AYTAÇ<sup>4</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0001-6313-1786/ 0000-0003-4516-4386

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-1960-8070

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0001-9691-9799

ORCID<sup>4</sup>: 0000-0003-1213-8325

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Yürük M., Variyenli H.İ., Martin K., Khanları A. and Aytaç İ., "Bireysel ısıtma sistemlerinde tesisat temizliğinin enerji verimliliği açısından deneysel olarak değerlendirilmesi", *Politeknik Dergisi*, 25(3): 1375-1384, (2022).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.1025494

# Bireysel Isıtma Sistemlerinde Tesisat Temizliğinin Enerji Verimliliği Açısından Deneysel Olarak Değerlendirilmesi

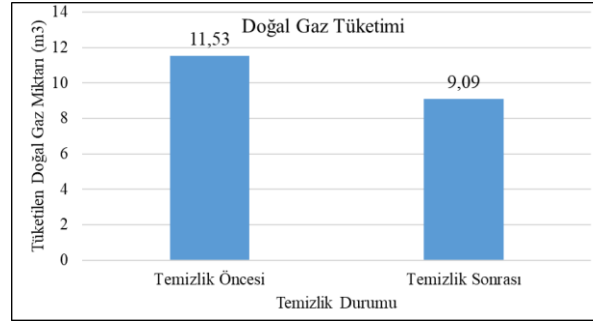
## Experimental Evaluation of Installation Cleaning in terms of Energy Efficiency in Individual Heating Systems

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Bireysel ısıtma sistemi olan bir binada tesisat temizliği yapılmıştır./ Heating installation of a building with an individual heating system was cleaned.
- ❖ Tesisat temizliği sayesinde doğal gaz tasarrufu sağlanmıştır./ Thanks to the cleaning of the installation, natural gas savings were achieved.
- ❖ CO<sub>2</sub> salınımında azalma sağlanmıştır./ A reduction in CO<sub>2</sub> emissions has been achieved.

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada bireysel ısıtma sistemi kullanılan bir binada tesisat temizliği yapılarak doğal gaz tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca çevreye salınan CO<sub>2</sub> miktarı da bir miktar azaltulmuştur./ In this study, natural gas savings were achieved by cleaning the heating installation in a building where an individual heating system is used. In addition, the amount of CO<sub>2</sub> released to the environment has been reduced.



**Şekil.** Temizlik öncesi ve sonrasında 24 saatlik sürede tüketilen doğal gaz miktarları /**Figure.** Amount of natural gas consumed in 24 hours before and after cleaning

### Amaç (Aim)

Isıtma tesisatı temizliği sayesinde hem enerji tasarrufu hem de CO<sub>2</sub> salınımında azalma sağlamak./ Ensuring both energy savings and a reduction in CO<sub>2</sub> emissions thanks to heating installation cleaning.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Bireysel ısıtma sisteminin kullanıldığı bir binada tesisat temizliği öncesi ve sonrasında meydana gelen doğal gaz kullanımı ve CO<sub>2</sub> salınım miktarları karşılaştırılmıştır./ In a building where an individual heating system is used, the amount of natural gas use and CO<sub>2</sub> emissions before and after the heating installation cleaning were compared.

### Özgünlük (Originality)

Tesisat temizliği sayesinde binalarda enerji verimliliği sağlanabileceği ortaya koyulmuştur./ It has been demonstrated that energy efficiency can be achieved in buildings thanks to installation cleaning.

### Bulgular (Findings)

Yapılan çalışmada yıllık 366 m<sup>3</sup> doğal gaz tasarrufu yapılabileceği ve dolayısıyla yıllık yaklaşık 630 TL tasarruf sağlanabileceği saptanmıştır./ In the study, it has been determined that 366 m<sup>3</sup> of natural gas can be saved annually and thus approximately 630 TL of annual savings can be achieved.

### Sonuç (Conclusion)

Binalarda enerji verimliliği açısından tesisat temizliği dikkate değer bir etkiye sahiptir./ In terms of energy efficiency in buildings, installation cleaning has a remarkable effect.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission

# Bireysel Isıtma Sistemlerinde Tesisat Temizliğinin Enerji Verimliliği Açısından Deneysel Olarak Değerlendirilmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Muhammet YÜRÜK<sup>1</sup>, Halil İbrahim VARIYENLİ<sup>1</sup>, Kerim MARTİN<sup>2,\*</sup>, Ataollah KHANLARI<sup>3</sup>, İpek AYTAÇ<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği

<sup>2</sup>Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi Elbistan Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği

<sup>3</sup>Tarsus Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği

<sup>4</sup>Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 18.11.2021 ; Kabul/Accepted : 08.12.2021 ; Erken Görünüm/Early View : 17.12.2021)

## ÖZ

Isıtma sistemlerinde zamanla kireçlenme başta olmak üzere çeşitli sorunlar ve kirlenme meydana gelmektedir. Bu kirlenme radyatörlerin ısı atmasını engelleyerek sistemin verimsiz çalışmasına ve enerji sarfiyatına neden olmaktadır. Bu çalışmada tesisat temizliğinin sağlayacağı enerji verimliliği üzerine deneysel bir araştırma yapılmıştır. Çalışmada tesisat temizliğinden önce ve sonra yapılan ölçüm ve hesaplamalar ile bu iki durum kıyaslanmıştır. Tesisat temizliğinin radyatörde oluşan sıcaklık dağılımını homojenize ettiği görülmüştür. Yapılan temizlik neticesinde radyatör sıcaklıklarında yaklaşık 5°C'lik artışlar elde edilmiştir. Ayrıca doğal gaz tüketiminde % 21.16'lık azalma sağlanırken radyatörlerde gerçekleşen taşınım ısı transfer mekanizmasında da %17.2'lik iyileşme sağlanmıştır. Ayrıca kullanılan doğalgaz miktarına bağlı olarak çevreye salınan zararlı gaz miktarlarında (NO, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub>) % 3.2 ile % 25 arasında değişen oranlarda azaltımlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bireysel ısıtma sistemi, tesisat temizliği, enerji verimliliği.

## Experimental Evaluation of Installation Cleaning in terms of Energy Efficiency in Individual Heating Systems

### ABSTRACT

Various problems and pollution occur in heating systems over time, especially calcification. This contamination prevents the radiators from dissipating heat, causing the system to operate inefficiently and consume energy. In this study, an experimental research was carried out on the energy efficiency of installation cleaning. In the study, these two situations were compared with the measurements and calculations made before and after the installation cleaning. It has been observed that the cleaning of the installation homogenizes the temperature distribution in the radiator. As a result of the cleaning, an increase of approximately 5°C was obtained in the radiator temperatures. In addition, while a 21.16% reduction was achieved in natural gas consumption, a 17.2% improvement was achieved in the convection heat transfer mechanism in the radiators. In addition, depending on the amount of natural gas used, reductions in the amount of harmful gases (NO, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>) released to the environment have been achieved, varying between 3.2% and 25%.

**Keywords:** Individual heating system, installation cleaning, energy efficiency.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünyadaki toplam birincil enerjinin çoğu binalarda tüketilmektedir [1]. Bu tüketim, dünyanın toplam nihai enerji tüketiminin yaklaşık %40'ını ve iklim değişiklikleri ve küresel ısınmaya sebep olan CO<sub>2</sub> salınımının yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır [2]. Bahsedilen enerji tüketiminin büyük bir kısmı binaların ısıtılması ve soğutulmasında harcanmaktadır [3]. Burada ısıtmada kullanılan enerjinin payı daha yüksektir [4].

Isınma ihtiyacı ve ısı konfor geçmişten günümüze insanların temel ihtiyaçlarından biri olmuştur. Isıl konfor kavramı "ısı çevreden hoşnut olunan düşünce hali" olarak tanımlanmaktadır [5]. İlk çağlardan bu yana insanlar çeşitli yöntemlerle ısı konforlarını sağlamak için uğraş vermişlerdir. İnsanlar doğal çevreden daha konforlu bir ortam oluşturmak için ateşin kontrollü kullanımından bu yana mahal ısıtması yapmaktadır [6]. Ateş ile başlayan bu ısınma tekniği, teknolojinin gelişmesiyle birlikte günümüzde kullanılan modern ısıtma sistemlerine dönüşmüştür.

Binaların ısıtmasında kullanılan ısıtma sistemleri enerji kaynağı, ekipmanların yerleşimi, ısı taşıyıcı mekanizma

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : martinkerim@gmail.com

ve ısı transfer metodu bakımından farklılık göstermektedir. Isıtma sistemleri ısı sağlayıcı ekipmanların yerleşimi bakımından bireysel, merkezi ve bölgesel olarak sınıflandırılabilir. Birçok sistemde enerji kaynağı olarak katı, sıvı, gaz yakıtlar ya da elektrik kullanılmaktadır. Isı taşıyıcılar olarak genellikle su, buhar ya da elektrik akımı kullanılmaktadır. Isı, taşınım ve radyasyonun yanı sıra odaya ısıtılmış hava üfleme yoluyla da transfer edilmektedir [4].

Bireysel ısıtma sistemleri, ısı ihtiyacı 10 kW ile 40 kW arasında olan mahallerde kullanılmaktadır [7]. Bireysel ısıtma sistemleri, bağımsız olarak konfor şartlarının belirlenebilmesi, cihaz seçiminin kullanıcıya ait olması, gaz kullanımı ve ödemelerdeki bağımsızlık, ısı kaybının az olması, kazan dairesine gerek olmaması gibi avantajlara sahiptir [8]. Bu avantajlardan dolayı bireysel ısıtma sistemleri geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Her alanda olduğu gibi ısıtma sistemlerinde de enerji verimliliği çalışmaları yapılmaktadır. Kullanım alanının fazla olması bu alanda yapılan tasarrufun önemini daha da artırmaktadır. Binalarda enerji verimliliği üzerine yoğunlaşmış araştırmacıların sayısı oldukça fazladır [9]. Bu anlamda ısıtma sistemleri ile alakalı olarak termostatik vana kullanımı [10], kojenerasyon ve yakıt pili teknolojisi [11], binalarda ısı yalıtım uygulamaları [12], jeotermal kaynak kullanımı [13], [14], güneş destekli ısıtma sistemleri [15] gibi enerji verimliliği yöntemleri kullanılmaktadır.

Isıtma sistemlerindeki iyileştirmelerin hem yakıt tüketimini hem de çevreye salınan zararlı gaz miktarını azaltacağı açıkça görülmektedir. Literatür incelendiğinde birçok enerji verimliliği uygulamaları karşımıza çıkmaktadır. Ancak ısıtma sistemlerinde tesisat temizliğinin sağlayacağı enerji verimliliği ile alakalı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Isıtma tesisatının kirli olması radyatörlerin homojen bir şekilde ısınmamasına ve radyatör alanından tam anlamıyla yararlanılamamasına sebep olmaktadır. Bunun yanında radyatörlerde dolaşan

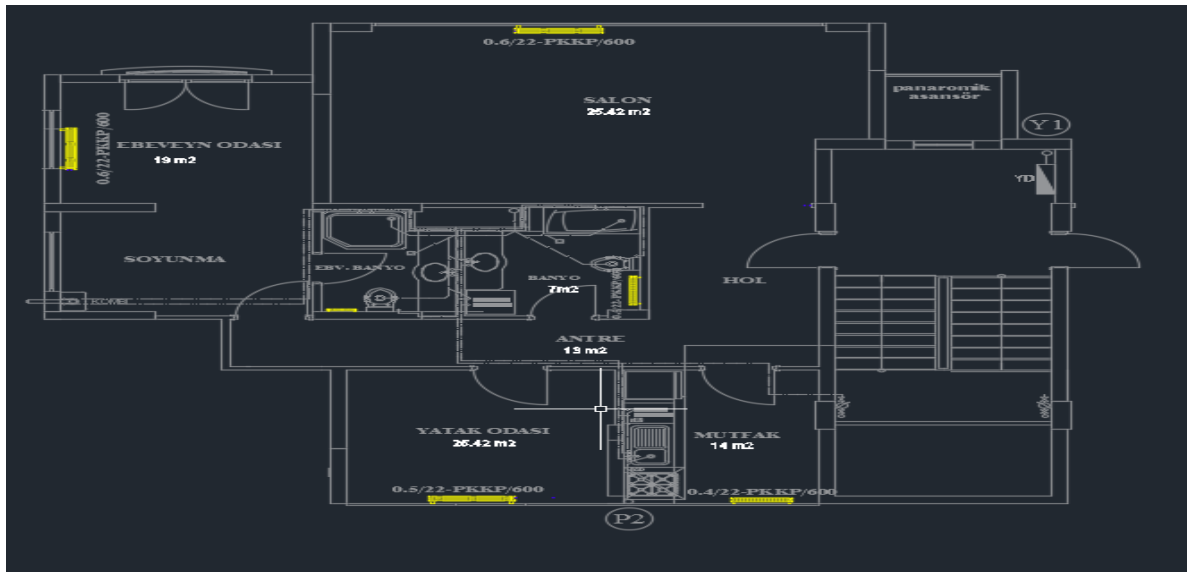
suyun ısısının iyi atılmamasından kaynaklı olarak dönüş suyunun yeterince soğuk olmamasına ve dolayısıyla cihazın (kombi ya da kazan) daha sık devreye girip çıkmasına sebep olmaktadır. Bu durumda yakıt sarfiyatı artmaktadır. Tesisat temizliği sayesinde bu problemlerin önüne geçmek mümkündür. Bu deneysel çalışmada bireysel ısıtma sisteminin kullanıldığı bir dairede yapılan ısıtma tesisatı temizliğinin yakıt tüketimi ve çevreye salınan zararlı gazlar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın özgün tarafı tesisat temizliğinin enerji verimliliği üzerindeki etkilerinin araştırılmış olmasıdır.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

### 2.1. Bireysel Isıtma Sistemi ve Dairenin Özellikleri (Individual Heating System and Features of the Apartment)

Deneylerin yapıldığı daire, mimari projesi şekil 1 de verilen, bireysel ısıtma sisteminin uygulandığı, 5 katlı (bodrum, zemin ve 3 kat) bir apartmanın kuzey-doğu cephesinde ve 3. katta yer almaktadır. Dairenin yüksekliği 2.8 m ve alanı 98 m<sup>2</sup> dir. Radyatörlerin yerleşimi şekil 1 de sarı renkte gösterilmiştir.

Isıtma sisteminde panel radyatörler kullanılmıştır. Çizelge 1 de radyatörlerin özellikleri yer almaktadır. Dairede toplam 6 adet radyatör bulunmaktadır. Piyasada kullanılan kombi çeşitleri bacalı, yarı hermetik, hermetik, yarı yoğuşmalı ve tam yoğuşmalı olarak sınıflandırılabilir. Bacalı, yarı hermetik ve hermetik kombilerin (Ülkemizde hermetik kombi üretimi vardır ancak Türkiye piyasasına girmemektedir) üretimleri artık olmasa da halen kullanıldığı yerler vardır. Çalışmada hermetik tip kombi kullanılmıştır. Kullanılan yakıt ise doğal gazdır.



Şekil 1. Deneylerin yapıldığı mahallin mimari projesi (Architectural project of the place where the experiments were

**Çizelge 1.** Panel radyatörün teknik özellikleri (Technical characteristics of the panel radiator) [16]

<b>Demirdöküm Plus Panel Radyatör Genel Özellikler</b>	
Tip	22
Hatve Mesafesi (mm)	25
Boya	Zirkonyum Kaplama ve Kataforez Boya
Test Basıncı (bar)	13
Garanti	10 Yıl
Kapasite	
300 mm (75 °C - 65 °C)watt	1.052
400 mm (75 °C - 65 °C)watt	1.315
500 mm (75 °C - 65 °C)watt	1.563
600 mm (75 °C - 65 °C)watt	1.798
900 mm (75 °C - 65 °C)watt	2.448
300 mm (75 °C - 65 °C)kcal/h	905
400 mm (75 °C - 65 °C)kcal/h	1.131
500 mm (75 °C - 65 °C)kcal/h	1.344
600 mm (75 °C - 65 °C)kcal/h	1.546
900 mm (75 °C - 65 °C)kcal/h	2.105
Boyutlar	
Yükseklik (mm)	300-400-500-600-900
Uzunluk ( Min. - Max.) (mm)	400 - 3000
Derinlik (mm)	105
Ağırlık (600 mm - 1 m için) (kg)	33.7
Diğer Özellikler	
Su Hacmi (lt)	5.6
Zemine Montaj Özelliği	Var

## 2.2. Tesiisat Temizliği (Installation Cleaning)

Sistemin suyu boşaltıldıktan sonra şekil 2'deki cihaz yardımıyla her radyatöre ayrı ayrı olmak üzere su basılır ve suyun dönüşü pis su giderine bağlanır. Çamurlu suyun tamamen boşaltılması için dönüş suyunun berrak bir şekilde akması beklenir. Daha sonra yine her radyatöre ayrı ayrı uygulamak koşulu ile suyun dönüşü temizleme cihazına bağlanarak su sirkülasyonu sağlanmış olur. Bu aşamada radyatörlerdeki kirecin ve pisliğin daha iyi atılması için bir petek temizleme kimyasalı temizleme cihazının haznesine dökülür. Daha iyi bir tepkime sağlanması açısından radyatörde dolaştırılan su 60° C' a kadar ısıtılarak su sirkülasyonu 15 dakika boyunca devam ettirilir. Bu işlem bütün radyatörler için ayrı ayrı tekrarlanır. Tüm radyatörlerin kimyasal ile muamelesi bittikten sonra her radyatörden 5 dakika boyunca temiz su sirküle ettirilerek radyatörlerin temizlenmesi sağlanmış olur. Son bir işlem olarak da sistemdeki asit kalıntılarının sisteme zarar vermemesi için nötralizasyon

işlemi uygulanır. Bu işlem radyatörlerde nötralize sıvısı dolaştırılması suretiyle yapılır.



**Şekil 2.** Radyatör temizliğinde kullanılan cihaz (Device used in radiator cleaning)

### 2.3. Baca Gazı Analiz Cihazı (Flue Gas Analyzer)

Yanma işlemi sonunda yakıt cinsine göre bazı atık gazlar meydana gelmektedir. Bu atık gazların cinsi ve miktarı yanmanın tam ya da eksik olduğu hakkında bilgi verir. Bu bilgiye göre cihazın ve sistemin verimli çalışıp çalışmadığı kontrol edilir. Tesisat temizliğinin etkinliğinin daha iyi anlaşılması için kombi farklı sıcaklıklarda çalıştırılmış ve her sıcaklık için baca gazı analizi yapılmıştır. Deneylerde kullanılan baca gazı analiz cihazına 6 adet sensör eklenebilmekte ve 6 farklı gazın varlığı tespit edilebilmektedir. Bu cihaza ait teknik veriler çizelge 2 te görülmektedir.

**Çizelge 2.** Baca gazı analiz cihazının özellikleri (Features of flue gas analyzer)

Ölçülen Değerler	Ölçüm Aralığı / Ölçüm Birimi
O <sub>2</sub>	% 0-21
COH <sub>2</sub> düzeltmeli	0-4000 ppm
CO % (opsiyonel)	0-63.000 ppm
NO ppm (opsiyonel)	0-5000 ppm
NO <sub>2</sub> ppm (opsiyonel)	0-1000 ppm
SO <sub>2</sub> ppm (opsiyonel)	0-5000 ppm
H <sub>2</sub> ppm (opsiyonel)	0-2000 ppm
CxHy (opsiyonel)	0-4 % VOL
Gaz sıcaklığı	0-500 °C
Yüksek gaz sıcaklığı (opsiyonel)	0-1100 °C
Ortam sıcaklığı	±99 °C
Basınç	±100 hPa
Fark basınç (opsiyonel)	±100 hPa
İslilik	0-9 İS
Ortam basıncı	300-1100 hPa
Hesaplanan Değerler	
CO <sub>2</sub> (Karbondioksit), CO (u) (CO seyreltilmemiş), Verim %0-120, Kayıp, Fazla Hava Katsayısı (Lambda), Çiğlenme Noktası, mg/m <sup>3</sup> , mg/kWh, O <sub>2</sub> -referans	

### 2.4. Termal Kamera (Thermal Camera)

Radyatörlerde oluşan sıcaklık dağılımının gözlemlenebilmesi için termal kamera yardımıyla görüntüler alınmış ve analiz edilmiştir. Deneylerde kullanılan cihaz 240\*180 görüntü kalitesi, -20 +650 C çalışma sıcaklık aralığı ve 0.5° hassasiyete sahip olup minimum, maksimum ve ortalama değerleri de gösterebilmektedir.

### 2.5. Deneyin Yapılışı (Experimental Procedure)

Tesisat temizliğinin yakıt tüketimi ve baca gazı miktarları üzerindeki etkisinin gözlemlenmesi için deneyler ilk olarak tesisat kirli iken yapılmış daha sonra tesisat temizliği yapılarak deneyler aynı koşullar için

tekrarlanmıştır. Isıtma sisteminin aktif çalışmasının sağlanması için deneyler havanın soğuk olduğu şubat ayında yapılmış ve her iki durum için 24'er saat sürdürülmüştür. Kombinin farklı koşullar altındaki çalışmasının gözlemlenebilmesi için çalışma sıcaklıkları 45-50-55-60-65-70-75-80 °C olarak seçilmiştir. Her bir sıcaklık değerinde sıcaklıklar kararlı hale gelene kadar beklenmiş ve sistem kararlı hale gelince CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub> gazları ve baca gazı sıcaklık ölçümleri yapılmış, sonuçlar kıyaslanmıştır. Ayrıca deneyler boyunca her iki durumda tüketilen doğal gaz miktarı da hesaplanmıştır.

### 2.6. Belirsizlik Analizi (Uncertainty Analysis)

Deneyel çalışmalarda çeşitli sebeplerden dolayı meydana gelen belirsizlikler denklem 1 [17] yardımıyla hesaplanmıştır. Sıcaklık ve doğal gaz tüketimi ölçümündeki belirsizlikler ayrı ayrı hesaplanmış ve toplam belirsizlik değeri 0.96 olarak bulunmuştur. Bu değer literatürde kabul edilebilir aralıkta ([18], [19]) yer almaktadır.

$$W_F = \left[ \left( \frac{\partial F}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial F}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial F}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

Bu ifadedeki F değeri x bağımsız değişkenler ile tarif edilen bir fonksiyon, W ifadeleri de belirsizlik değerlerini göstermektedir.

Sıcaklık ölçümü hassasiyeti ±0.05 °C olan termal kamera ile yapılmış, ölçüm yerinin hassasiyeti 0.7 ve okuma hassasiyeti de 0.2 olarak dikkate alınmıştır. Sıcaklık ölçümündeki belirsizlik değeri denklem 2 ile ±0.73°C olarak bulunmuştur.

$$W_{sıcaklık} = \left[ (w_{termal\ kamera})^2 + (w_{ölçüm\ yeri})^2 + (w_{okuma})^2 \right]^{1/2} = 0.73 \quad (2)$$

Doğal gaz tüketimi, hassasiyeti ±0.6 m<sup>3</sup> olan sayaç üzerinden ölçülmüştür. Burada okuma hassasiyeti 0.2 olarak dikkate alınmış ve belirsizlik değeri denklem 3 yardımıyla ± 0.63 m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur.

$$W_{gaz\ tüketimi} = \left[ (w_{sayaç})^2 + (w_{okuma})^2 \right]^{1/2} = 0.63 \quad (3)$$

## 3. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME (RESULTS AND DISCUSSION)

Yanma olayında tam yanmanın sağlanabilmesi için hava-yakıt oranının belli değerlerde olması gerekmektedir. Doğal gaz için bu değer %5 ile %15 aralığındadır. İdeal yakıt/hava karışımı %9 dur [20]. Hermetik kombilerde hava yakıt karışımı atmosferik brülör üzerinde olmaktadır. Kombide meydana gelen yanma olayında kombinin yakılma sıcaklığı, dış hava sıcaklığı, kombi parçalarının durumu, bacanın durumu, ısıtma tesisatının durumu, radyatörlerin durumu gibi faktörler etkili olmaktadır.

Taşınım ile olan ısı transferi radyatör yüzeyi ile ona temas eden akışkan arasındaki ısı taşınım katsayısına (h), yüzey ile akışkan arasındaki sıcaklık farkına ve ısı transfer



yüzey alanına bağlıdır. Meydana gelen ısı taşınımı denklem 4 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$Q = hA\Delta T \quad (4)$$

Burada Q radyatörlerden havaya taşınımıyla geçen ısı miktarı, h ısı taşınım katsayısı, A ısı transfer yüzey alanı ve  $\Delta T$  yüzey ile hava arasındaki sıcaklık farkıdır. Bu denklemdeki h değerinin bulunması boyutsuz sayılar yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [21].

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} Pr \quad (5)$$

$$\beta = \frac{1}{T_s + T_\infty} \quad (6)$$

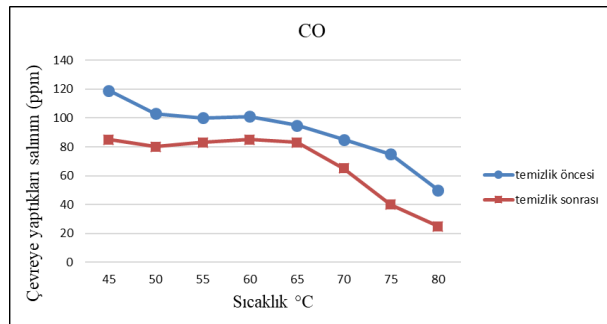
$$Nu = \left[ 0,825 + \frac{0,387 \cdot Ra_L^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2 \quad (7)$$

$$h = \frac{k}{L} Nu \quad (8)$$

Denklem 5 de yer alan  $Ra_L$  Rayleigh sayısını, g yer çekimi ivmesini,  $T_s$  yüzey sıcaklığını,  $T_\infty$  ortam havasının sıcaklığını,  $\nu$  havanın kinematik viskozitesini, Pr Prandtl sayısını, L karakteristik uzunluğu temsil etmektedir. 8. denklemdeki Nu Nusselt sayısını, k havanın ısı iletim katsayısını göstermektedir.

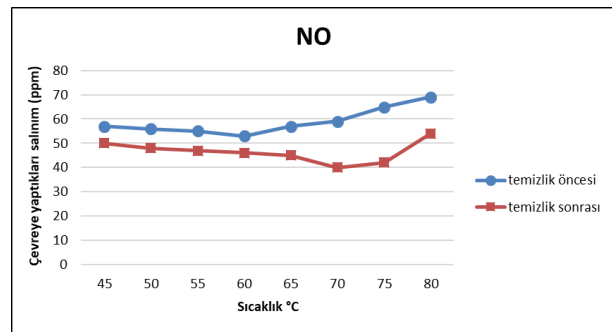
### 3.1. Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi (Evaluation of Experimental Results)

Bu deneysel çalışmada tesisat temizliğinin etkilerinin görülmesi için diğer koşullar sabit iken kirli tesisat ve temiz tesisatta deneyler yapılmıştır. Sonuçların karşılaştırılması için her iki durumda da baca gazı içindeki CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub> gazlarının miktarları ve baca gazı sıcaklıkları ölçülmüş ve grafikler yardımıyla yorumlanmıştır. Ayrıca kombinin 24 saatlik çalışması sonucunda tüketilen doğal miktarları da hesaplanarak yapılan tesisat temizliğinin yakıt tüketimine etkisi değerlendirilmiştir.



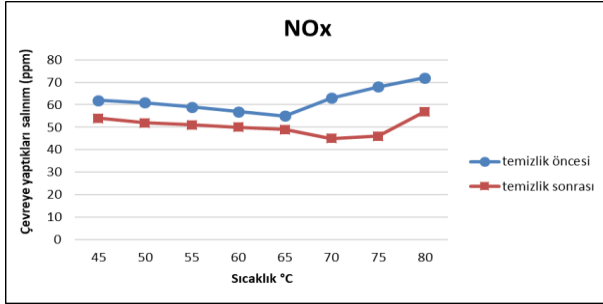
Şekil 3. Temizlik öncesi ve sonrasında salınan CO miktarı  
(Amount of CO emitted before and after cleaning)

Şekil 3'teki grafik kombinin kalorifer konumunda kalorifer suyu sıcaklığına göre dış ortama atılan CO gazı miktarını göstermektedir. CO, eksik yanma sonucu ortaya çıkan bir gazdır. Yanma için gerekli olan oksijen miktarının istenilen seviyede olmadığını gösterir. Radyatör temizliğinin her ne kadar yanmaya doğrudan bir etkisi olmasa da temiz bir kombi ve temiz bir tesisat, tüketilen gaz miktarını azaltarak çevreye daha az CO salınımı sağlayacaktır. Şekil 3 incelendiğinde radyatör temizleme işlemi öncesinde 45 °C'de 119 ppm olan CO miktarının aynı sıcaklıkta 85 ppm'e kadar düştüğü görülmektedir. Bu da yaklaşık olarak CO miktarında % 28'lik bir azalma meydana geldiğini göstermektedir. Kombinin toplam çalışma süresinde temizlik öncesi toplam 728 ppm olan CO salınımının temizlik sonrasında toplam 546 ppm'e düştüğü söylenebilir. Bu durumda ise tesisat temizliği sayesinde ortalama CO salınım miktarının % 25 azaldığı görülmektedir.



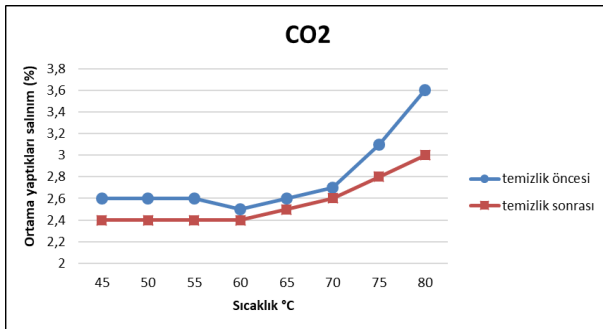
Şekil 4. Temizlik öncesi ve sonrasında salınan NO miktarı  
(The amount of NO released before and after cleaning)

Şekil 4'teki grafik radyatör temizliği öncesi ve sonrasında meydana gelen NO salınımını göstermektedir. NO çevre kirliliğine neden olan bir gazdır ve suda kolayca çözünmediğinden suya karışma ihtimali vardır. Bunun yanında havadaki su buharıyla karışarak asit yağmurlarına da neden olabilmektedir. Şekildeki grafikten tesisat temizliği sayesinde kullanılan gaz miktarındaki azalmaya bağlı olarak, NO miktarının da azaldığı görülmektedir. Grafik incelendiğinde, temizlik işleminin bütün çalışma koşulları için NO miktarında bir azalma sağladığı görülmektedir. Örneğin temizlik öncesinde 45 °C'de 57 ppm olan NO salınım miktarının aynı sıcaklıkta 50 ppm'e düştüğü görülmektedir. Bu da yaklaşık olarak % 12'lik bir azalmaya denk gelmektedir. Toplam NO miktarı ise 471 ppm'den 372 ppm'e düşerek %21'lik bir azalma göstermiştir.



Şekil 5. Temizlik öncesi ve sonrasında salınan NO<sub>x</sub> miktarı (The amount of NO<sub>x</sub> released before and after cleaning)

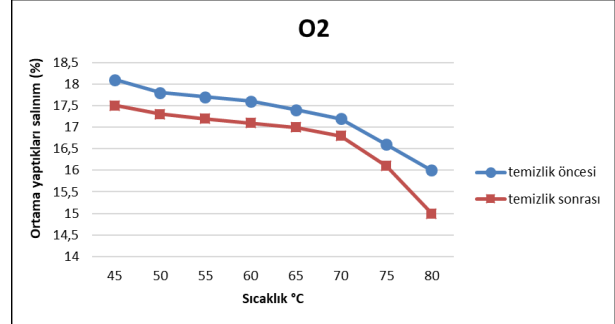
Şekil 5'teki grafik, radyatör temizliğinin NO<sub>x</sub> salınımına etkisini göstermektedir. NO<sub>x</sub> de NO gibi asit yağmurlarına ve ciddi çevre kirliliğine neden olan bir gaz türüdür. İçme sularına bulaşması halinde canlılar açısından zehirleyici olabilmektedir. Ayrıca solunması durumunda ciğerlerde nem ile birleşerek asit meydana getirebilmektedir. Temizlik öncesi ve sonrasında meydana gelen toplam NO<sub>x</sub> salınımı miktarı sırasıyla 497 ppm ve 404 ppm olmuştur. Dolayısıyla %18'lik bir azalma söz konusudur. Tesisat temizliği NO<sub>x</sub> salınımında bir azalma sağlamıştır.



Şekil 6. Temizlik öncesi ve sonrasında salınan CO<sub>2</sub> miktarı (The amount of CO<sub>2</sub> released before and after cleaning)

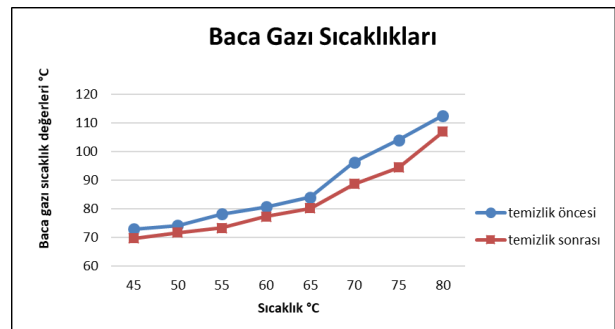
Şekil 6'da yer alan grafik kombinin yanma sıcaklığına göre baca gazı içindeki CO<sub>2</sub> miktarını % cinsinden göstermektedir. CO<sub>2</sub> gazı yanma sonucu oluşan gazlardan biridir. Kullanılan yakıtın cinsine göre miktarı farklılık göstermektedir. Doğal gaz için %11 seviyesinde CO<sub>2</sub> gazı normal olarak kabul edilmektedir [22]. Yanma sonucu CO gazının oluşması yerine CO<sub>2</sub> gazının oluşması arzu edilen bir durumdur. Çünkü CO gazının oluşması yanmanın eksik olduğunu dolayısıyla yakıtın ısı değerinden tam anlamıyla yararlanılmadığını göstermektedir. Bunun yanı sıra CO zehirli bir gaz olduğu için ortama yayılması durumunda ciddi zehirlenme olaylarında da sebebiyet verebilmektedir. Yanma sonucu ürünler kısmında CO<sub>2</sub> miktarının CO miktarından fazla olması yanmanın kalitesi açısından olumlu bir durum olsa da çevre açısından CO<sub>2</sub> oldukça zararlı bir gazdır. Bunu azaltmanın yolu daha az yakıt kullanmaktır.

Şekil 6'daki grafik incelendiğinde, radyatör temizleme işlemi öncesinde 45 °C'de %2.6 olan CO<sub>2</sub> salınımı miktarının aynı sıcaklıkta %2.4'e düştüğü görülmektedir. Deney boyunca diğer çalışma sıcaklıklarında meydana gelen ortalama CO<sub>2</sub> salınımı dikkate alındığında %2.78 olan salınımın, temizlik sayesinde %2.56'ya düştüğü görülür ki bu da %8'lik bir azalmaya tekabül etmektedir. Bu azalma temelde temizlik sayesinde azaltılan yakıt miktarı ile alakalıdır.



Şekil 7. Temizlik öncesi ve sonrasında salınan O<sub>2</sub> miktarı (The amount of O<sub>2</sub> released before and after cleaning)

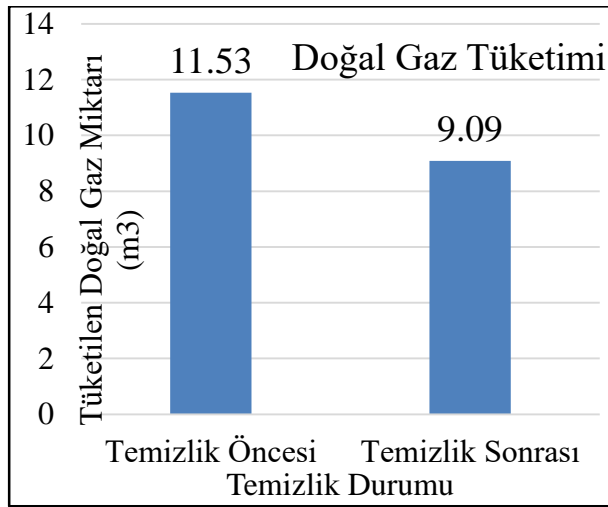
Şekil 7'deki grafik kombinin baca gazı içindeki O<sub>2</sub> miktarını göstermektedir. Baca gazındaki O<sub>2</sub> miktarının fazla olması yanma için gereken havanın fazla olduğu dolayısıyla tepkimeye girmeden bacadan atıldığı anlamına gelir. Bu durum yanma veriminde kayıp olarak değerlendirilir. Şekildeki grafikten de görüldüğü gibi tesisat temizliği, kullanılan yakıt miktarını azalttığı ve kombinin kararlı halde çalışmasını sağladığı için baca gazı içerisindeki O<sub>2</sub> miktarında bir azalma sağlamıştır. Radyatör temizleme işlemi öncesinde 45 °C'de %18.1 olan O<sub>2</sub> miktarının aynı sıcaklıkta %17.5'e düştüğü görülmektedir. Bu da yaklaşık olarak O<sub>2</sub> yüzdesinde 3.3 puanlık bir azalma meydana geldiğini göstermektedir. Yine çeşitli sıcaklıklarda ölçülen değerlere göre ortalama %17.3 olan O<sub>2</sub> salınım yüzdesinin temizlik sonrasında %16.75'ye düştüğü söylenebilir. Bu durumda ise ortalama O<sub>2</sub> salınım miktarının % 3.17 azaldığı görülür. Ayrıca bu grafikten, kombinin çalışma sıcaklığının artmasının O<sub>2</sub> miktarını daha da azalttığı sonucu da çıkarılabilir.



Şekil 8. Temizlik öncesi ve sonrasında baca gazı sıcaklıkları (Flue gas temperatures before and after cleaning)



Şekil 8'deki grafik kombinin çalışma sıcaklıklarına göre baca gazı sıcaklıklarını göstermektedir. Temizlikten önce ve sonra ölçülen baca gazı sıcaklıklarına bakıldığında, temizliğin olumlu bir etkisi olduğu görülmektedir. Grafikten görüleceği gibi kombinin bütün çalışma sıcaklıklarında temizlik öncesi baca sıcaklığı temizlik sonrası baca sıcaklığından yüksek değerlerdedir. Ortalama baca gazı sıcaklıklarına bakılacak olursa baca gazı sıcaklıklarının temizlik öncesi ve sonrası sırasıyla 87.9 °C ve 82.8 °C olduğu görülmektedir. Bu iki değer arasında yaklaşık %6'lık bir fark söz konusudur. Baca gazı sıcaklığı bacadan atılan O<sub>2</sub> miktarı ile de ilişkilendirilebilir. Bacadan atılan O<sub>2</sub> yanma esnasında ısındığı için baca gazı sıcaklığını da yükselterek ısı verimi olumsuz etkilemektedir. Bu durum göz önüne alınırsa Şekil 7 ve 8'deki grafiklerin birbirleri ile uyumlu olduğu görülebilir.



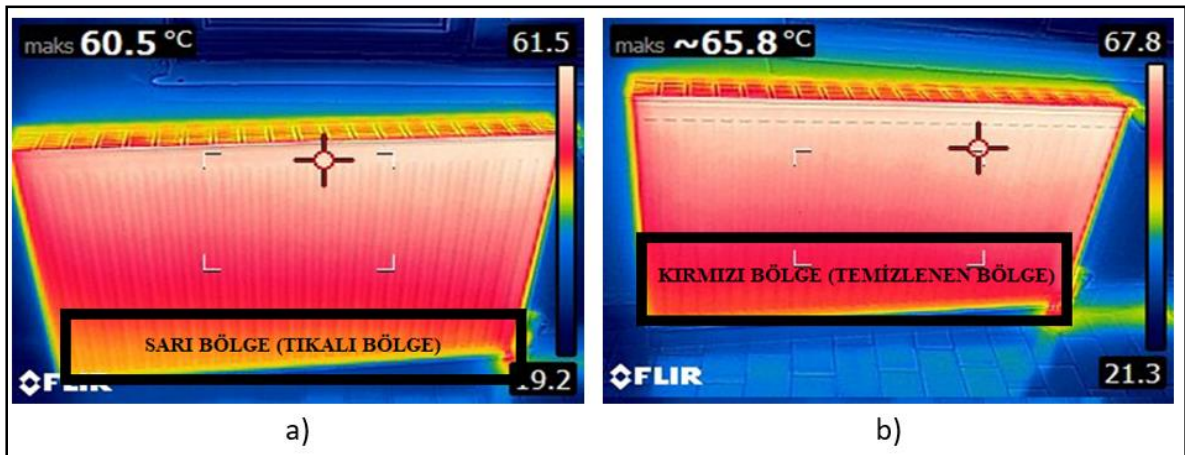
Şekil 9. Temizlik öncesi ve sonrasında 24 saatlik sürede tüketilen doğal gaz miktarları (Amount of natural gas consumed in 24 hours before and after cleaning)

Tesisat temizliğinden önce radyatörlerdeki pislik ve tıkanıklıklardan dolayı kombinin dönüş suyu sıcaklığı normalden yüksek olduğu için cihaz ayarlanılan sıcaklığa

kısa sürede ulaşmakta ve durmaktadır. Su sıcaklığının düşmesiyle cihaz tekrar devreye girmektedir. Deneyler sırasında devreye girme ve durma sıklığının temizlik öncesinde daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Devreye girme ve durma sıklığı temizlik sayesinde en aza indirilmiş ve kombi daha stabil bir çalışma rejimine ulaşmıştır. Her devreye girişte ve kararlı hale gelme süresince cihaz bir miktar yakıt sarfiyatına neden olmaktadır. Kombi, radyatör temizliği sayesinde daha kararlı bir çalışma sergilemiş ve devreye girip devreden çıkma sıklığı azalmıştır. Dolayısıyla kullanılan yakıt miktarı şekil 9'dan da görüldüğü gibi azalmıştır.

Şekil 9'daki grafik incelendiğinde, temizlik yapılmadan önce, 24 saatlik doğal gaz tüketimi 11.53 m<sup>3</sup> iken temizlik yapıldıktan sonra bu değer 9.09 m<sup>3</sup> olmuştur. Burada günlük doğal gaz kullanımında 2.44 m<sup>3</sup>'lük bir azalma söz konusudur. Bu miktar ayda 73.2 m<sup>3</sup> ve yılda 5 aylık bir kullanım dikkate alınır 366 m<sup>3</sup> doğal gaz tasarrufu anlamına gelir. 2021 Ocak ayında Ankara'da doğal gaz fiyatının 1.72 TL/m<sup>3</sup> olduğu hesaba katılırsa tesisat temizliği yapılarak yıllık yaklaşık 630 TL gibi bir tasarruf sağlamak mümkündür. 2021 yılı tesisat temizleme maliyetinin ortalama 500 TL olduğu dikkate alınır geri ödeme süresinin bir yıldan kısa bir süre olduğu görülmektedir. Bu tasarruf çevresel açıdan değerlendirildiğinde ise, 366 m<sup>3</sup> doğal gazın sebep olacağı 366 m<sup>3</sup>'lük CO<sub>2</sub> salınımının engellendiği görülmektedir. Bu azaltımın tek bir konutta sağlandığı dikkate alınır, engellenen CO<sub>2</sub> salınımı miktarının azımsanacak bir seviyede olmadığı açıkça görülür.

Şekil 10'da görülen termal kamera görüntülerinden de anlaşılacağı üzere radyatör temizliğinden önce radyatörlerin alt tarafları tıkalı durumdaydı. Temizlik işleminden sonra tıkalı bölgenin açıldığı ve sıcaklık dağılımının daha iyi olduğu görülmektedir. Temizlikten önce radyatör sıcaklığı 60.5 °C olmuş ve bu durumda ısı taşınım katsayısı (h) ve taşınım ile transfer olan ısı miktarı (Q) sırasıyla 4.17 W/m<sup>2</sup>K ve 111.4 W olarak hesaplanmıştır. Temizlik yapıldıktan sonra ise radyatör sıcaklığı 65.8 °C olmuş ve bu durumda h ve Q sırasıyla 4.32 W/m<sup>2</sup>K ve 130.6 W olarak hesaplanmıştır. Radyatör



Şekil 10. a) Temizlik öncesi ve b) temizlik sonrası termal kamera görüntüleri (a) before cleaning and b) after cleaning thermal camera images)

sıcaklığındaki yaklaşık 5°C'lik artış radyatörün bir yüzeyinden oda havasına taşınım ile geçen ısı miktarında %17.2'lik bir artış sağlamıştır. Dolayısıyla aynı radyatörden elde edilecek olan ısıtma miktarı temizlik sayesinde %17.2 gibi ciddi bir oranda artırılmıştır.

- Radyatörden taşınım ile geçen ısı miktarında %17.2'lik artış sağlanmıştır.
- Günlük doğal gaz tüketiminde %21.16'lık bir azalma sağlanmıştır. Bu azalma ile mevcut doğal gaz fiyatları dikkate alınarak yıllık 630 TL civarında bir tasarruf

**Çizelge 3.** Sonuçların literatürle karşılaştırılması (Comparison of the results) [23]

Uygulamanın Yapıldığı İl	Yapılan İyileştirmeler	Sağlanan Tasarruf Miktarı
Erzurum	Dış cephe ısı yalıtımı, ek çatı yalıtımı, termostatlı vana ve otomatik kontrol sistemi	%51.7
Erzurum	Dış cephe ısı yalıtımı	%37
Ankara	Dış duvarlar ve çatıda yalıtım, termostatik radyatör vanalarının montajı ve pencerelerin ikiyüzlü PVC kaplaması	%50
Ankara	Optimum yalıtım, fotovoltaik paneller, güneş duvarı, ısı pompası ve trijenerasyon sistemleri	%80
Samsun	İlave duvar ve çatı yalıtımı, kapı pencere değişiklikleri, ısıtma sisteminde değişiklik, ısı pompası, gölgeleme	%60
Ankara	İlave duvar ve çatı yalıtımı, kapı pencere değişiklikleri, ısıtma sisteminde değişiklik, ısı pompası	%55

### 3.2. Sonuçların literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılması (Comparison of the results with similar studies in the literature)

Bu deneysel çalışmada günlük %21.16'lık bir doğal gaz tasarrufu sağlanmıştır. Bu değer sadece tesisat temizliği ile elde edilen bir değerdir. Literatürde konuyla alakalı yapılan proje ve çalışmalar dikkate alındığında gerçekleşen bu tasarruf değerinin azımsanamayacak kadar önemli seviyede olduğu görülmektedir. Çizelge 3 yapılan bazı uygulamaları ve elde edilen tasarruf miktarlarını göstermektedir.

## 4. SONUÇLAR (RESULTS)

Isıtma tesisatı temizliğinin sağlayacağı enerji verimliliğinin araştırıldığı bu deneysel çalışmada bireysel ısıtma sisteminin kullanıldığı 98 m<sup>2</sup>'lik bir dairenin analizi yapılmıştır. Bulunan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Tesisat temizliği radyatörlerin tıkalı yerlerini açarak radyatörler üzerindeki sıcaklık dağılımının daha homojen olmasını sağlamıştır.
- Yapılan temizlik sayesinde aynı koşul altında radyatör sıcaklığında yaklaşık 5°C'lik artış sağlanmıştır.
- Radyatör sıcaklığındaki artış sayesinde ısı taşınım katsayısı 4.17 W/m<sup>2</sup>K'den 4.32 W/m<sup>2</sup>K'ye yükselmiştir. Taşınım ile geçen ısı miktarı ise 111.4 W'tan 130.6 W'a yükseltilmiştir.

sağlanabileceği görülmektedir.

- Doğal gaz kullanımının azaltılması aynı zamanda çevreye salınan NO, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> miktarlarının da azalmasını sağlamıştır.
- Tesisat temizliği sayesinde sağlanan yıllık 366 m<sup>3</sup> doğal gaz tasarrufu aynı zamanda yıllık CO<sub>2</sub> salınımının 366 m<sup>3</sup> daha az olmasını sağlamıştır. CO<sub>2</sub> salınımındaki bu azalma sadece bir konutta sağlanmıştır. Ülkemizde bireysel ısıtma sisteminin kullanıldığı konut sayısının oldukça fazla olduğu dikkate alınır ise yapılan tasarrufun ne kadar önemli olduğu daha net anlaşılabilir. Ayrıca bu çalışmada, 2021 yılı tesisat temizleme maliyetinin yaklaşık 500 TL olduğu dikkate alınarak, temizleme işleminin geri ödeme süresinin 1 yıldan daha az olacağı gözlemlenmiştir.
- Tesisat temizliği 5-7 yılda bir yapılmalıdır. Daha erken yapılması, kullanılan asitten dolayı aşınmalara neden olabilmektedir

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### (NOMENCLATURE)

<b>Q:</b> Radyatörlerden havaya taşınım ile geçen ısı miktarı
<b>h:</b> Isı taşınım katsayısı
<b>A:</b> Isı transferi yüzey alanı
<b>ΔT:</b> Isı transferi yüzeyi ile ortam arasındaki sıcaklık farkı
<b>Ra:</b> Rayleigh sayısı

**k:** Havanın ısı iletim katsayısı  
**g:** Yer çekimi ivmesi  
**T<sub>s</sub>:** Yüzey sıcaklığı  
**T<sub>o</sub>:** Ortam havasının sıcaklığı  
**v:** Havanın kinematik viskozitesi  
**Pr:** Prandtl sayısı  
**L:** Karakteristik uzunluk  
**Nu:** Nusselt sayısı  
**ppm:** Milyondaki parçacık sayısı

### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Muhammet YÜRÜK:** Deneylerin yapılması, grafik çizimi, veri analizi, hesaplamalar ve grafiklerin analizinde görev almıştır.

**Halil İbrahim VARIYENLİ:** Deneylerin yapılması, analiz ve hesaplamaların kontrolü ve makale yazımında görev almıştır.

**Kerim MARTİN:** Hesaplamalar, grafik çizimi ve analiz ile makale yazımında görev almıştır.

**Ataollah KHANLARI:** Deneylerin yapılmasında ve makale yazımında görev almıştır.

**İpek AYTAÇ:** Deneylerin yapılması, analiz ve hesaplamaların kontrolü ve makale yazımında görev almıştır.

### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Caliskan H., "Thermodynamic and environmental analyses of biomass, solar and electrical energy options based building heating applications," *Renew. Sustain. Energy*, 43:1016–1034, (2015).
- [2] Wang Y., Kuckelkorn J. ve Liu Y., "A state of art review on methodologies for control strategies in low energy buildings in the period from 2006 to 2016," *Energy Build.*,147: 27–40, (2017).
- [3] Aslani A., Bakhtiar A. ve Akbarzadeh M. H., "Energy-efficiency technologies in the building envelope: Life cycle and adaptation assessment," *J. Build. Eng.*, 21:55–63, (2019).
- [4] Martinopoulos G., Papakostas K. T. ve Papadopoulos A. M., "A comparative review of heating systems in EU

countries, based on efficiency and fuel cost," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 90:687–699, (2018).

- [5] Özsoy A., "Merkezi Isıtma Sistemlerinde Isınma Problemleri ve Yakıt Paylaşımı," *SDU Int. Technol. Sci.*, 1: 10–17, (2009).
- [6] Kuehn T. H., Ramsey J. W. ve Threnkeld J. L., "Thermal Environmental Engineering", *New Jersey*, (1998).
- [7] Oğuz Y., "Bartın İlinde Kullanılan Isıtma Sistemlerinin Ekonomik ve Çevresel Etkilerinin İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2013).
- [8] Türkeri A., "Bireysel ve Merkezi Isıtma Sistemlerinin Tanıtımı ve Karşılaştırılması", 8. *Ulusal Tesiisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir, 181–188, (2007).
- [9] Yao J. ve Zhu N., "Enhanced supervision strategies for effective reduction of building energy consumption -- A case study of Ningbo," *Energy Build.*,43:2197–2202 (2011).
- [10] Kırbaş İ., "Binalarda Enerji Verimliliği Uygulamaları : MAKU Mühendislik Mimarlık Fakültesi Örneği," *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, 10:141–149, (2019).
- [11] Yılmazoğlu M., Timoçin A., Şenlik A., Al K. ve Ünver Ü., "Enerji Verimli Binalar İçin Yakıt Pili Kojenerasyon Sistemlerinin İncelenmesi," *EL-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8:766–781 (2021).
- [12] Bayraktar D. ve Bayraktar E. A., "Mevcut Binalarda Isı Yalıtımı Uygulamalarının Değerlendirilmesi," *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Dergisi*, 7:59–66 (2016).
- [13] Kozak M., "Geothermal District Heating In the Investigation of Use of Renewable Energy Sources," *Süleyman Demirel Üniversitesi Yekarum e-Dergi*, 3:33–40 (2016).
- [14] Özkaya M. G., Variyenli H. İ. ve Yonar G., "Jeotermal Enerji İle Isıtılan Kütahya İli Simav İlçesindeki Isıtma Sisteminin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi ve Uygulanması Gereken Yenilikler," *Cumhur. Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilim. Derg.*,29:1–18, (2008).
- [15] Elghamry R. ve Hassan H., "Impact a combination of geothermal and solar energy systems on building ventilation, heating and output power: Experimental study," *Renew. Energy*, 152:1403–1413 (2020).
- [16] İnternet, "Demir Döküm panel radyatör özellikleri," 2021. <https://www.demirdokum.com.tr/urunler/demirdokum-radyator-14592.html>. Son Erişim Tarihi: 18.11.2021
- [17] Martin K., Boran K., "Isı borulu havadan havaya ısı değiştiricisinde CuO+Fe/Saf Su ve CuO/Saf su nano akışkanlarının kullanımının ısı performansına etkisinin incelenmesi", *Politeknik Dergisi*, 24(3): 763-770, (2021).
- [18] Çiftçi E., Sözen A., ve Karaman E., "TiO 2 İçeren Nanoakışkan Kullanımının Isı Borusu Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi Experimental Investigation of Nano fluid Usage Including TiO 2 on The Effect of Heat Pipe Performance," *Politeknik Dergisi*, 19(3): 367–376, (2016).
- [19] Sözen A., Gürü M., Khanlari A., ve Çiftçi E., "Experimental and numerical study on enhancement of heat transfer characteristics of a heat pipe utilizing

- aqueous clinoptilolite nanofluid,” *Appl. Therm. Eng.*, 160: 114001, (2019).
- [20] İnternet, “Doğal Gaz Nedir,” 2021. <https://www.corumgaz.com.tr/page.aspx?SayfaIcerik=7>. Son Erişim Tarihi: 18.11.2021
- [21] Çengel Y. A. ve Ghajar A. J., "Heat And Mass Transfer: Fundamentals & Applications, Fifth Edition", *McGraw-Hill Education*, New York, (2015).
- [22] Bilgin A., “Kazanlarda Enerji Verimliliği ve Emisyonlar,” MMO Doğal Gaz Semineri. [https://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/c676cb12b9a742f\\_ek.pdf](https://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/c676cb12b9a742f_ek.pdf)
- [23] Aydın Ö., “Binalarda Enerji Verimliliği Kapsamında Yapılan Projelerin Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği,” *Kocaeli Üniversitesi Mimar. ve Yaşam Derg.*, 4(1): 55–68, (2019)