



Farklı Gölgeleme Özelliğine Sahip Binaların Enerji İhtiyacına Bağlı Isı Yayma Sisteminin Ekserji İncelemesi

Exergy Analysis of Heat Dissipation System Based on Energy Requirement of Buildings with Different Shading Properties

Okan Kon^{1*}

¹ Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, okan@balikesir.edu.tr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5166-0258>

MAKALE BİLGİLERİ

ÖZ

Makale Geçmişi:

Geliş 12 Ağustos 2024
Revizyon 10 Ekim 2024
Kabul 11 Ekim 2024
Online 23 Aralık 2024

Anahtar Kelimeler:

Isıtma sistemi tesisatı, ısıtıcı, yakıt tüketimi, ekserji analizi, yakıt kimyasal ekserjisi

Çalışmada, ülkemizin farklı iklim bölgelerini temsilen seçilen Adana, Ordu, Nevşehir ve Bitlis şehirlerindeki farklı gölgeleme özelliğine sahip merkezi ısıtmalı binaların tesisatın dağıtıcı ve ısıtıcı özelliklerine bağlı ekserji yükleri tespit edilmiştir. Buna göre ilk olarak ayrı bina, ağaçlı bina ve bitişik bina olarak gölgeleme özellikleri tespit edilmiştir. Daha sonra gölgeleme ve iklim özelliklerine bağlı ısıtma enerji ihtiyacı hesaplanmıştır. Isıtma enerji ihtiyacına bağlı olarak doğal gaz, kömür ve fuel-oil yakıt için tüketim miktarları bulunmuştur. 90-70 ve 70-50 °C sıcaklık ile ısıtma yapan tesisatın ısı yayma (tesisat boruları ve kolon sistemi) ve ısıtıcı (radyatör) için gerekli parametrelerin değerleri hesaplanmıştır. Bu parametrelere bağlı ekserji yükleri tespit edilmiştir. Ekserji yüklerine bağlı farklı yakıtlar için tüketim miktarları tespit edilmiştir. Ekserji yüklerine bağlı yakıt tüketimleri hesaplarında doğal gaz, kömür ve fuel-oil için yakıtların kimyasal ekserjileri hesaplanmıştır. Sonuç olarak, en düşük 70-50 °C sıcaklıktaki tesisat dağıtım sistemi ve ayrı bina için 293.7 kg ile doğal gaz tüketimi, en yüksek ise 90-70 °C sıcaklıktaki tesisat dağıtım sistemi ve bitişik bina için 5321.3 kg ile kömür tüketimi hesaplanmıştır.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received 12 August 2024
Received in revised form 10 October 2024
Accepted 11 October 2024
Available online 23 December 2024

Keywords:

Heating system installation, heater, fuel consumption, exergy analysis, fuel chemical exergy

In the study, exergy loads depending on the distribution and heating properties of centrally heated buildings with different shading properties in Adana, Ordu, Nevşehir and Bitlis cities selected from different climate regions of our country were determined. First, the shading properties of detached buildings, buildings with trees and adjacent buildings were determined. Then, the heating energy requirement was calculated depending on the shading and climate characteristics. Fuel consumption for natural gas, coal and fuel-oil depended on the heating requirement. The necessary parameters for the heat distribution (installation pipes and column system) and heater (radiator) of the installation heating with 90-70 and 70-50 °C temperatures were calculated. Exergy loads depending on these parameters were determined. Fuel consumptions for different fuels were determined depending on the exergy loads. In addition, the chemical exergy of the fuels for natural gas, coal and fuel oil were found. As a result, the lowest natural gas consumption for the installation distribution system at 70-50 °C and the detached building type was calculated as 293.7 kg, and the highest consumption for coal was calculated as 5321.3 kg for the installation distribution system at 90-70 °C and the adjacent building.

Doi: 10.24012/dumf.1532106

* Sorumlu yazar

Giriş

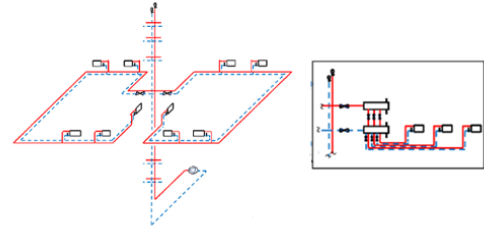
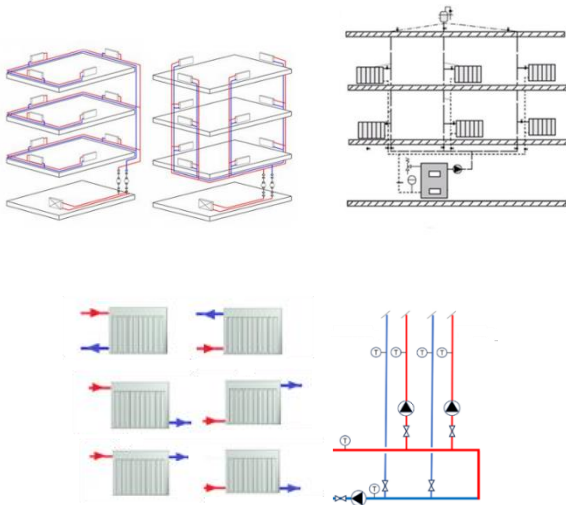
Isı enerjisi, sıcaklığı yüksek olan yerden düşük olan yere doğru akış yapar, bu binaların dış duvarının özelliklerine bağlı olarak, entropi ve ekserji değerlerini belirlemek için kullanılmaktadır. Isı geçişinin meydana geldiği yönde sıcaklık değeri sabit kalmaz ve azalır. Buna göre entropi artacağından, duvardaki gerçekleşen ekserji geçişi azalacaktır. Ekserjetik olarak, duvarlarda sıcaklık değişimlerine bağlı entropi meydana gelir ve bunun sonucu olarak ekserji yıkımına sebep olur [1-3]. Binalarda enerji ilgili incelemeler, ilk olarak termodinamiğin birinci kanuna göre yapılmaktadır. Bu durum, binaların enerji kullanımında eksiklik yaratmaktadır. Buna göre ekserji analizi hem termodinamiğin birinci hem de ikinci kanununa göre yapılmalıdır. Binalarda enerjinin akışı belirlenmesi ekipmanların tasarlanması ve kullanımında oldukça önemlidir [4].

Çalışma ile ilgili literatür incelendiğinde; Kılıçlı A. yaptığı çalışmada, Ege Üniversitesindeki uluslararası Bilgisayar Enstitüsü binası için enerji incelemelerini yapmıştır. Binanın şuanadaki ve iyileştirilmiş halde hem enerji hem de ekserji analizleri yapılmıştır. Binanın enerji tasarruf potansiyeli tespit edilmiştir [1]. Yıldız ve Güngör yaptıkları çalışmada binalarda mekân ısıtma süreci için enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Analizlerde ısıtma yükü dikkate alınmıştır. Analizler, İzmir'de 720 m³ hacimli ve taban alanı 240 m² olan bir ofis için yapılmıştır. Tüm sistemdeki enerji ve ekserji kayıpları ölçülmüştür [2]. Yıldırım, yaptığı çalışmada enerji analizi için yakıtın yanma enerjisine bağlı olarak, ekserji analizi için ise optimum yalıtımlı ve yalıtımsız duvar için, yüzey sıcaklıkları kullanılarak yapmıştır [3]. Hepbaşlı v.d. çalışmalarında, binaların ekserji analizinde kullanılan farklı yöntemler incelenmiştir. HVAC mühendislerinin ekserjiye dayalı bina analizleri konusunda bilgi kazanılması sağlanmıştır. Böylece enerjetik ve ekserjetik değerlendirmeleri göz önüne almaları gerektiği vurgulanmıştır [4]. Karakaşlı çalışmasında, Elazığ bir Hastane'nin yılda yaklaşık 6795.6 kWh ısıtma enerjisine ihtiyaç duyan göz polikliniğinin ve hastane binasının farklı bölümlerinde enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Sistem termodinamiğin birinci ve ikinci yasasına göre odaların enerji ve ekserji analizi araştırılmıştır [5]. Balta v.d. yaptıkları çalışmada, enerji santralinden, toprak kaynaklı ısı pompasına ve bina kabuğuna kadar ısıtma sisteminin ekserjetik analizi ve değerlendirilme yapılmıştır. Binalardaki enerji akışının iyileştirilmesi ve binalarda enerji kullanılmasının iyileşme olanakları araştırılmıştır [6]. Özel v.d. çalışmalarında, boru sisteminin optimum yalıtım kalınlığı, Türkiye'nin Bilecik şehri için çevresel etki analizi kullanılarak araştırmışlardır. Boru sistemi için optimum yalıtım kalınlığı enerji, ekserji ve entransy yaklaşımı ile belirlenmiştir. Boru sisteminden enerji/ekserji/entransy kaybı, yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu hesaplanmıştır [7]. Shukuya çalışmasında, son 30 yılda yapılan ekserji araştırmalarının mevcut durumu hakkında genel bilgi vermiştir. Buna göre, termodinamiğin iki temel kanunu, sıcak ve soğuk ekserji kavramlarının kısa bir tanıtımını yapmıştır. Üç tipik uygulama gösterilmektedir; bunlar gölgeleme cihazları ile pencere sistemlerinin değerlendirmesi, yaz mevsimleri için insan vücudu ekserji analizi ve bir ısı pompası sisteminin ekserjetik değerlendirmesidir [8]. Omar çalışmasında, binaların ısı

enerji ihtiyacını karşılamak için yaygın kullanılan merkezi ısıtma sistemi ve bireysel ısıtma sistemleri incelenmiştir. Bunu için Kars ilindeki 10 dairesi 5 katlı bir binanın ısı kaybı ve enerji ihtiyacı TS 825 göre hesaplanmıştır. Her iki ısıtma sistem için ısıtıcı cihazların kapasiteleri tespit edilmiş, ısıtma sistemi elemanları belirlenmiş, yıllık yakıt tüketiminin miktarı ve maliyet hesapları yapılmıştır [9]. Yang v.d. yaptıkları çalışmada, büyük binalardaki hem mekân ısıtma hem de evsel sıcak su sistemlerinde bölgesel ısıtma sisteminin dönüş su borularında izlenemeyen arızaların özelliklerini ve potansiyel etkilerini araştırmışlardır. Tesisattaki arızalar ile binalarda eşit olmayan ısı dağılımı ve etkileri incelenmiştir [10]. Benakopoulos v.d. çalışmalarında, ısıtma tesisatının radyatör sistemlerinin düşük sıcaklıkta çalışmasını sağlanmasında, kullanımda olmayan radyatörleri belirlemek ve daha yüksek ısı taleplerine sahip kritik daireleri tespit etmek için yeni uygulama geliştirmişlerdir. Çalışmada, yetersiz ısınan komşu dairelere olan ısı kaybının artmasının, tesisatı yoğun şekilde etkilediğini ortaya çıkarmıştır [11]. Benakopoulos v.d. diğer bir çalışmasında, her dairedeki tüm radyatörlerinin kullanımını sağlamak için radyatör sisteminin besleme su sıcaklığını en aza indirme potansiyelini araştırmışlardır. Çalışmada, maksimum pompa çalışmasına göre gereken minimum besleme su sıcaklığını hesaplamak için örnek binanın radyatör sisteminin termal/hidrolik bir modeli oluşturulmuştur. Sonuç olarak, 44/30 °C'lik ortalama besleme gidiş ve dönüş sıcaklıklarıyla tüm radyatörlerin kullanıldığında en verimli ısıtma elde edildiği tespit edilmiştir [12]. Lammle v.d. yaptıkları çalışmada, ısı pompası sistemlerinin performansı ile mekân ısıtma su tesisatının sıcaklığı arasında ilişki araştırılmıştır. Sonuç olarak, hava ve yer kaynaklı ısı pompalarının uygulama verileri ve sistem simülasyonları, ortalama ısı pompası sıcaklığı arasında doğrusal bir korelasyon olduğu görülmüştür. İncelenen binada, tüm radyatörlerin yalnızca %7'sinin değiştirilmesi ile ısıtma sistemi su sıcaklıklarını 75/60 °C dan 55/45 °C'ye düşürmek için yeterli olduğu tespit edilmiştir [13]. Li ve Svendsen çalışmalarında Danimarka'da yürütülen bir pilot proje ile 30 müstakil konut için ısıtma sağlamak üzere 55/25 °C sıcaklıklı bölge ısıtma tesisatı analiz edilmiştir. Isıtma ihtiyacı banyoda yerden ısıtma ve diğer odalarda düşük sıcaklıklı radyatörler aracılığıyla karşılanmaktadır. Şebekenin termal ve hidrolik koşulları sabit durumda analizler yapılmıştır. Genel sistem enerjisi ve ekserji verimlilikleri hesaplanmış ve ısıtma sistemi bileşenleri için ekserji kayıpları belirlenmiştir [14]. Liu Z. yaptıkları çalışmada, seçilen bina için tesisat besleme suyu sıcaklığının ve akış hızının ortalama tepki hızı, güneş radyasyonu ve dış sıcaklığı ile değişimi incelenmiştir [15]. Wang v.d. çalışmalarında, farklı hidrolik bağlantılı tesisat dikkate alarak küçük bir ekipman monte edilerek mevcut radyatörün ısıtma gücünü iyileştirmek için optimum ve tekno-ekonomik bir yöntem geliştirilmiştir. Buna bağlı olarak Çin'deki bir yurt odası için bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) modeli önerilmiştir. Model, radyatörün en düşük besleme su sıcaklığını belirlemek için kullanılmıştır [16]. Ge v.d. çalışmalarında, ısıtma sisteminin giriş su sıcaklığıyla tanımlanan termal dirence dayalı olarak dinamik model geliştirmişleridir. Bu model, eş zamanlı ve kapsamlı bir şekilde, borulamanın ve binanın ısı transferi, ısı depolama ve gecikme özelliklerini yansıtmaktadır. Önerilen model ile tüm gün ısıtma sistemine kıyasla % 25.27'lik büyük bir enerji

tasarrufu potansiyeline sahip olduğu görülmüştür [17]. Liu v.d. yaptıkları çalışmada, sirkülasyon suyu pompalarının değişken frekans kontrolünün kullanımı ve ısıtma yükündeki değişikliklere bağlı çalışma şartları sağlamak için gerekli incelemeler yapılmıştır. Çalışmada, sık meydana gelen su sıcaklığı dalgalanmaları nedeni ile oluşan döngüsel gerilim, yorulma sınırına ulaştığında tesisat boru hattının düşük döngüsel yorulma arızasına yol açtığı görülmüştür. Sonuçta, tesisat boru hattının su çalışma sıcaklığı ne kadar düşükse, sıcaklık farkı dalgalanması o kadar küçük olduğu görülmüştür. Sirkülasyon suyu pompasının değişken akış hızını düzenlerken boru hattı yorulma hasarının katkısının büyük olduğu tespit edilmiştir [18]. Rosa ve Bianco çalışmalarında, sıcak su taşıyan tesisat boru sistemleri için yalıtım katmanlarının optimum kalınlığını belirlemek için farklı optimizasyon yaklaşımlarını araştırmışlardır. Çalışmada, boru boyutu, yalıtım malzemeleri, yakıt, çalışma sıcaklığı, iklim koşulları, yakıt piyasa fiyatı, yalıtım katmanı vb. parametreler dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır [19].

Çalışmanın amacı, Türkiye'nin dört iklim bölgesini temsilen seçilen; Adana, Ordu, Nevşehir ve Bitlis şehirlerindeki; ayrı bina, ağaçlı bina ve bitişik bina olarak gölgelenme özelliğine sahip binaların merkezi ısıtmalı, ısıtma tesisatı dağıtıcı ve ısıtıcı özelliklerine bağlı enerji tüketimi ile ekserji yükleri ve bunlara bağlı yakıt tüketimlerini hesaplamaktır. Yakıt olarak, doğal gaz, kömür ve fuel-oil kullanıldığı kabul edilmiştir. Isıtma sistemi dağıtıcı ve ısıtıcı özelliği 90-70 ve 70-50 °C sistemli olarak alınmıştır. Isıtma sistemi dağıtıcı ve ısıtıcı özellikleri ve ekserji yüküne bağlı olarak yakıt tüketimi hesaplanmıştır. Bunun için yakıtların kimyasal ekserjileri tespit edilmiştir. Çalışma, ısıtma sisteminin tesisat özelliğine bağlı enerji ve ekserji incelemesiyle yakıt tüketiminin araştırmasıyla literatüre katkı sağlayacaktır. Çalışmada incelenen dağıtıcı ve ısıtıcıların Şekil 1'de görselleri verilmiştir. Binaların ısı yayma sistemi tesisat boru ve radyatörleri içeren tüm ekipmanlar şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1. Isı yayma sistemi tesisat boru, radyatör ve kolektör görselleri [9, 10, 15, 16]

Materyal ve Metod

Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Hesabı

Bina yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplanırken ısıtma yapılan aylar toplanır [20,21].

$$Q_h = \sum Q_{ay} \quad (1)$$

Isıtma yapılan aylar için ısıtma enerjisi ihtiyacı,

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

hesaplanır. Burada, T_i ve T_d sırası ile iç ve dış ortam sıcaklıkları, η_{ay} aylık ortalama kazanç kullanım faktörünü, Φ_{i-ay} iç kazanç, Φ_{s-ay} aylık ortalama güneş enerjisi kazançlarını göstermektedir. Toplam özgül ısı kaybı,

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

bulunur. Burada H_T , iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı ve H_V , havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybının göstermektedir. Hem iletim hem de taşınım yoluyla ısı kaybı,

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

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

tespit edilir. Burada, U_d , U_p , U_k , U_{ta} , $U_{dö}$ sırası ile dış duvarın, pencerenin, dış kapının, tavanın, zemine outtran tabanın ısı geçirgenlik katsayısını göstermektedir. A_d , A_p , A_k , A_{ta} , $A_{dö}$ sırası ile dış duvarın, pencerenin, dış kapının, tavanın ve döşemenin alanlarını ifade etmektedir. Havalandırma ile meydana gelen ısı kaybı,

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

hesaplanır. Burada, n_h hava değişim oranıdır ve değeri çalışmada 0.7 h^{-1} alınmıştır. Isıtılan tüm hacmi $V_{brüt}$ ve V_h havalandırılan hacmi ($V_h = 0.7 \cdot V_{brüt}$) göstermektedir. A_n bina kullanım alanı;

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

bulunur. TS 825 e göre konutlarda iç kazançlar olarak birim kullanım alanı başına 5 W/m² alınmaktadır. İç kazançlar A_n bağlı olarak aşağıdaki denklem ile tespit edilir [20, 21].

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

Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı,

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

Burada, “i” yönü göstermektedir. r_{i-ay}, saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgeleme faktörünü, g_{i-ay}, güneş enerjisi geçirme faktörünü, I_{i-ay}, aylık ortalama güneş ışınımı ve A_i, pencere alanını göstermektedir. Hem iç kazançlar hem de güneş enerjisi kazançları yararlanma faktörü ile kullanılır. Bu faktör kazançlara ve kayıplara bağlıdır. Kazanç / kayıp oranı,

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

hesaplanır. Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü aşağıdaki formül ile bulunur [9,10].

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

Bina Isı Enerjisi Yayma (Oda Isıtma) Sistemi için Ekserji Hesabı

Isı enerjisi yayılma sistemi, ısının alana yayıldığı bir alan ısıtıcısıdır. Tipik ısıtma yayılma sistemleri radyatörler, yerden ısıtma sistemleri ve fan coil üniteleridir. Isı enerjisi yayılma sistemi, dağıtım sisteminin bir alt sistemidir. Bu nedenle yayılma alt sistemi olarak adlandırılır. Oda ısıtma sisteminin enerji ve ekserji taleplerini karşılayacak şekilde tasarlanmıştır ve radyatörün ısı enerjisi dağıtım sistemine ek enerji talebi meydana gelmektedir [2,4,6]. Farklı yakıtlar ve farklı sıcaklık değerinde ısıtıcıyla (radyatör) ısıtma yapılan bina için verim değeri η_r (çalışmada 0.95 alınmıştır [2,4]). Isı enerjisi yayma (alan ısıtma sistemi) ısıtıcı (radyatör) ısı kaybı,

$$Q_r = Q_h \cdot \left(\frac{1}{\eta_r} - 1\right) \quad (12)$$

hesaplanır. Burada, Q_h bina ısıtma enerjisi ihtiyacıdır. Isıtıcı (radyatör) yüzey sıcaklığı (T_{ısıtıcı}), yayılma sisteminin giriş ve dönüş sıcaklıkları ile iç ortamın logaritmik ortalama sıcaklığı kullanılarak bulunmaktadır. Giriş su sıcaklığı T_{iç} ve dönüş su sıcaklığı T_{dönüş} ekserji analizi için çok önemlidir.

$$T_{ısıtıcı} = \left(\frac{T_{giriş} - T_{dönüş}}{\ln\left(\frac{T_{giriş} - T_{iç}}{T_{dönüş} - T_{iç}}\right)} \cdot \frac{1}{2} \right) + T_{iç} \quad (13)$$

Isıtıcı (radyatör) ekserji yükü.

$$E_{ks-ısıtıcı} = Q_h \cdot \left[1 - \frac{T_{çevre}}{T_{ısıtıcı}} \right] \quad (14)$$

tespit edilir. Isıtıcı (radyatör) için ısı enerjisi yayılma sisteminin ekserji yükü,

$$\Delta E_{ks-yayılma} = \frac{(Q_h + Q_r)}{(T_{giriş} - T_{dönüş})} \cdot \left\{ (T_{giriş} - T_{dönüş}) - T_0 \cdot \ln\left(\frac{T_{giriş}}{T_{dönüş}}\right) \right\} \quad (15)$$

$$E_{ks-Tüm yayılma} = E_{ks-ısıtıcı} + \Delta E_{ks-yayılma} \quad (16)$$

bulunur. Dağıtım sisteminin ısı kaybı (η_D, çalışmada dağıtım sistemi verimi 0.96 alınmıştır [2,4]),

$$Q_{Dkayıp} = (Q_h + Q_r) \cdot \left(\frac{1}{\eta_D} - 1\right) \quad (17)$$

hesaplanır. Dağıtım sisteminin ekserji yükü;

$$\Delta E_{ks-dag} = \frac{Q_{Dkayıp}}{\Delta T_{dag}} \cdot \left\{ T_{dag} - T_0 \cdot \ln\left(\frac{T_{dag}}{T_{dag} - \Delta T_{dag}}\right) \right\} \quad (18)$$

$$E_{ks-Tüm dag} = E_{ks-ısıtıcı} + \Delta E_{ks-dag} \quad (19)$$

tespit edilir. Burada T_{dag} ısıtma sistemi dağıtıcı sıcaklığıdır.

Bina Isıtma Enerjisi Yayma (Oda Isıtma) Sistemi için Ekserji Yüküne Bağlı Yakıt Tüketimi

Kömür için kimyasal ekserji [22-25],

$$\gamma_{Y_K} \cong 1.0438 + 0.0158 \frac{H}{C} + 0.0813 \frac{O}{C} + 0.0471 \frac{N}{C} \quad (20)$$

Fuel-oil için kimyasal ekserji,

$$\gamma_{Y_S} \cong 1.0374 + 0.0159 \frac{H}{C} + 0.0567 \frac{O}{C} + 0.05985 \frac{S}{C} (1 - 0.1737 \frac{H}{C}) \quad (21)$$

Doğal gaz için kimyasal ekserji,

$$\gamma_{Y_G} \cong 1.0334 + 0.0183 \frac{H}{C} - 0.0694 \frac{1}{C} \quad (22)$$

hesaplanır. Ekserji kaybına bağlı yıllık yakıt tüketimi [7],

$$Y_{Ekskayıp} = \frac{E_{ks-Tüm yayılma} + E_{ks-Tüm Dag}}{\eta_Y \cdot H_u} \quad (23)$$

bulunur. Burada, H_u yakıtın alt ısıl değerini, η ısıtma sistemi verimini, γ_Y yakıtın kimyasal ekserji değerini göstermektedir.

Bina Enerji İhtiyacı Hesaplamalarında Kullanılan Parametreler

Hesaplamalarda kullanılan örnek binanın, Tablo 1 de tüm yapı kabuğu bileşenlerinin kalınlıkları ve ısı iletim katsayıları verilmiştir. Tablo 2’de yapı kabuğu için yalıtım kalınlıkları gösterilmiştir. Enerji ihtiyacı, yakıt tüketimi ve ekserji yükü hesaplarında kullanılan tüm değerler Tablo 3 de verilmiştir.

Tablo 1. Örnek binanın yapı kabuğu bileşenleri ve özellikleri [21]

Yapı Bileşeni	Eleman	Kalınlık (m)	Isı İletim Katsayısı (W/m.K)
Dış Duvar	Çimento harcı dış sıva	0.030	1.600
	Poliüretan sert köpük	x	0.031
	Düşey delikli tuğla	0.190	0.330
	Alçı harcı iç sıva	0.020	0.700
Kolon	Çimento harcı dış sıva	0.030	1.600
	Poliüretan sert köpük	x	0.031
	Donatılı Beton	0.250	2.500
	Alçı harcı iç sıva	0.020	0.700
Tavan	Cam Yünü	x	0.040
	Genleştirilmiş perlit	0.050	0.350
	Hafif agregalar kullanılarak yapılmış beton	0.250	0.460
	Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0.020	0.700
Taban	Sentetik malzemeden kaplamalar	0.010	0.230
	Çimento harcı sıva	0.030	1.600
	Poliüretan sert köpük	x	0.040
	Genleştirilmiş perlit	0.070	0.350
	Hafif agregalar kullanılarak yapılmış beton	0.250	0.460
	Alçı harcı iç sıva	0.020	0.700
Pencere	Çift camlı		1.9 (W/m ² . K)
Dış Kapı			4 (W/m ² . K)

Tablo 2. Dört iklim bölgesini temsilen seçilen şehirlerin yapı kabuğunun farklı yalıtım malzemelerine bağlı yalıtım kalınlıkları

Bölge	Yapı Elemanı	Yalıtım Malzemesi	Yalıtım Kalınlığı
1.Bölge (Adana)	Dış Duvar	Poliüretan sert köpük	0.060
2.Bölge (Ordu)			0.080
3.Bölge (Nevşehir)			0.095
4.Bölge (Bitlis)			0.110
1.Bölge (Adana)	Kolon-Kiriş	Poliüretan sert köpük	0.075
2.Bölge (Ordu)			0.095
3.Bölge (Nevşehir)			0.110
4.Bölge (Bitlis)			0.120
1.Bölge (Adana)	Tavan	Cam Yünü	0.110
2.Bölge (Ordu)			0.150
3.Bölge (Nevşehir)			0.170
4.Bölge (Bitlis)			0.200
1.Bölge (Adana)	Taban/Döşeme	Poliüretan sert köpük	0.100
2.Bölge (Ordu)			0.140
3.Bölge (Nevşehir)			0.160
4.Bölge (Bitlis)			0.190

Tablo 3. Farklı yakıtların özellikleri [22-24] [26]

Parametre	Kömür	Doğal Gaz	Fuel-Oil
Kimyasal Formül	C _{7.074} H _{5.149} O _{0.521} S _{0.01} N _{0.086}	C _{1.269} H _{4.516} O _{0.024} N _{0.012}	C _{7.3125} H _{10.407} O _{0.04} S _{0.026} N _{0.02}
Alt Isıl Değer Verim	29.295 10 ⁶ J/kg	34.526 10 ⁶ J/m ³	40.594 10 ⁶ J/kg
Yoğunluk (kg/m ³)	1200	0.76	950
Kimyasal Ekserji (Çalışmada Hesaplanan)	1.06	1.04	1.07

Bulgular ve Tartışma

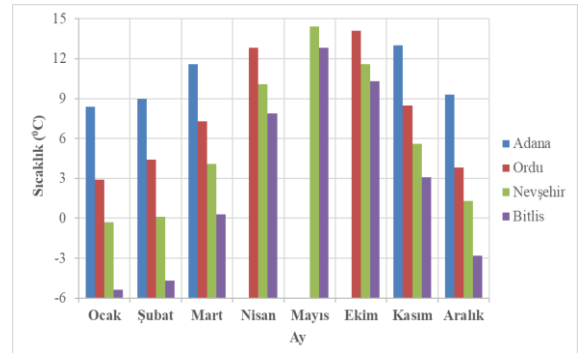
Çalışmada, birinci iklim bölgesini temsilen seçilen Adana şehri için ocak, şubat, mart, kasım ve aralık aylarında beş aylık ısıtma döneminde dış ortam sıcaklığı 10.3 °C, ikinci iklim bölgesini temsilen seçilen Ordu şehri için ocak, şubat, mart, nisan, ekim, kasım ve aralık aylarında yedi aylık ısıtma döneminde dış ortam sıcaklığı 7.7 °C, üçüncü iklim bölgesini temsilen seçilen Nevşehir şehri için ocak, şubat, mart, nisan, mayıs, ekim, kasım ve aralık aylarında sekiz aylık ısıtma döneminde dış ortam sıcaklığı 5.9 °C ve dördüncü iklim bölgesini temsilen seçilen Bitlis şehri için ocak, şubat, mart, nisan, mayıs, ekim, kasım ve aralık aylarında sekiz aylık ısıtma döneminde dış ortam sıcaklığı 2.7 °C kabul edilmiştir. Bu değerler Şekil 2 de verilmiştir. Birinci bölgeden dördüncü bölgeye ilerledikçe dış ortam sıcaklığı azalmaktadır. Dış ortam sıcaklık değerleri ekserji yükü hesaplarında en önemli parametrelerdendir. Ekserji yükü hesapları için çalışmada, ölü hal sıcaklığı Adana şehri için 10.3 °C, Ordu şehri için 7.7 °C, Nevşehir şehri için 5.9 °C ve Bitlis şehri için 2.7 °C kabul edilmiştir.

Çalışmada, farklı gölgelenme özelliğine (gölgelenme faktörü) göre ayrıık bina, ağaçlı bina ve bitişik bina olarak üç farklı sınıfta değerlendirilmiştir. Ayrıık bina özelliğine göre farklı iklim bölgesindeki şehirler için 13761-50874 kWh, ağaçlı bina özelliğine göre 15346-53754 kWh ve bitişik bina özelliğine göre 16064-55316 kWh arasında değişmektedir. Bu değerler Şekil 3 de gösterilmiştir. Ortalama gölgelenme faktörü değeri, ayrıık bina için 0.8, ağaçla kaplı bina 0.6 ve bitişik bina için 0.5 dir [TS 825]. Bu nedenle gölgelenme faktörü önemli parametredir. Diğer önemli bir parametreler ise güneş radyasyonu değeridir.

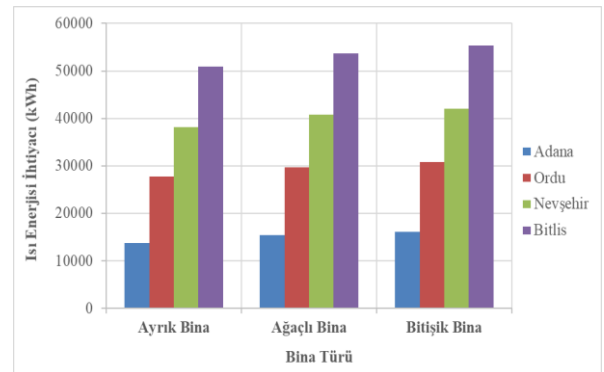
Çalışmada, ısıtma sistemi doğal gaz, kömür ve fuel-oil yakıt olarak kullanıldığı kabul edilmiştir. Isıtma sisteminde sıcak su sirkülasyon sıcaklığı 90-70 ve 70-50 °C olarak düşünülmüştür. Ekserji yükü değeri, tüm gölgelenme özelliklerine göre doğal gaz için, 90-70 ve 70-50 °C sıcaklık özelliğine göre; 3467.8-20135.0 kWh, kömür için 4417.3-25611.3 kWh, fuel-oil için 3825.6-22181.7 kWh arasında hesaplanmıştır. Bu ve diğer tüm ekserji yükü değerleri binaların gölgelenme özelliğine göre Şekil 4 te verilmiştir. 90-70 °C sıcaklıktaki ısıtma sistemi dağıtıcı ve ısıtıcı özelliği için daha yüksek enerji ihtiyacı ve ekserji yükü meydana gelmektedir. Çalışmada, T_{ısıtıcı} değeri 90-70 °C

ısıtma sistemi dağıtıcı özelliği için 49.222 °C ve 70-50 °C için 39.080 °C hesaplanmıştır.

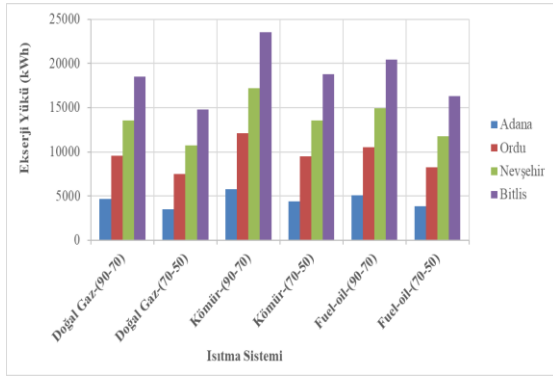
Çalışmada, ayrıık bina, ağaçlı bina ve bitişik bina özelliğine bağlı olarak ısıtma dönemi için doğal gaz tüketimi 1212.1-4872.4 kg, fuel-oil tüketimi 1526.0- 6134.3 kg, kömür tüketimi 3036.4- 12205.8 kg arasında hesaplanmıştır. Bu ve diğer tüm yakıtların tüketim miktarları Tablo 4 te gösterilmiştir. Aynı özelliklerine göre ekserji yüküne bağlı olarak yakıt tüketimi, 90-70 ve 70-50 °C sıcaklık için doğal gaz tüketimi 293.7-1705.4 kg, kömür tüketimi 917.8-5321.3 kg ve fuel-oil tüketimi 396.5-2298.9 kg arasında hesaplanmıştır. Bu ve diğer yakıt miktarları Tablo 5 de verilmiştir. Ekserji yüküne bağlı yakıt tüketimi, binaların gölgelenme özelliği, yakıtların kimyasal ekserjisi (doğal gaz için 1.04, kömür için 1.6 ve fuel-oil için 1.07), yakıtların alt ısıl değeri ile ısıl verimleri ve dış ortam sıcaklıklarına bağlı olarak değişmektedir.



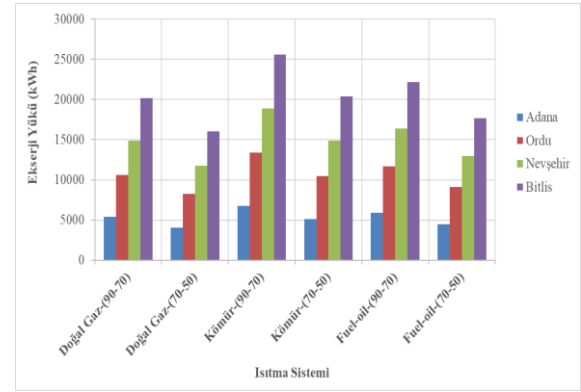
Şekil 2. Farklı iklim bölgelerindeki şehirlerin ısıtma yapılan dönem için aylık dış ortam sıcaklık değerleri



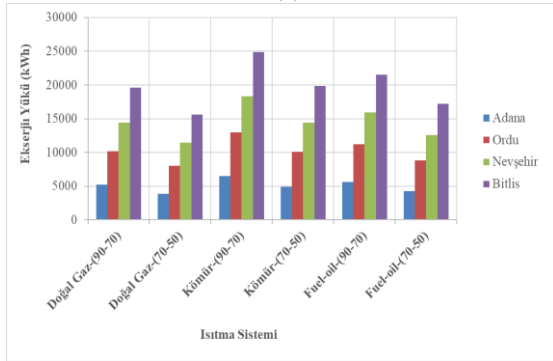
Şekil 3. Farklı iklim bölgelerindeki şehirler için bina ısıtma enerji ihtiyacı



(a)



(c)



(b)

Şekil 4. Farklı iklim bölgelerindeki şehirler için a) Ayrık Bina, b) Ağaçlı Bina, c) Bitişik Bina tipine göre ekserji yükü

Tablo 4. Farklı iklim bölgeleri bina türleri ve ısıtma sistemi için enerji ihtiyacına (enerji yüküne) göre farklı yakıtların tüketim miktarları (kg)

Şehir	Kömür			Fuel-oil			Doğal gaz		
	Ayrık Bina	Ağaçlı Bina	Bitişik Bina	Ayrık Bina	Ağaçlı Bina	Bitişik Bina	Ayrık Bina	Ağaçlı Bina	Bitişik Bina
Adana	3036.4	3386.2	3544.6	1526.0	1701.8	1781.4	1212.1	1351.7	1415.0
Ordu	6123.0	6545.7	6786.5	3077.3	3289.7	3410.7	2444.2	2613.0	2709.1
Nevşehir	8433.4	8989.9	9284.7	4238.5	4518.1	4666.3	3366.6	3588.7	3706.4
Bitlis	11225.6	11861.1	12205.8	5641.7	5961.1	6134.3	4481.2	4734.9	4872.4

Tablo 5. Farklı iklim bölgeleri, bina türleri ve ısıtma sistemi için ekserji yüküne bağlı farklı yakıtların tüketim miktarları (kg)

Şehir	Ayrık Bina					
	Doğal Gaz (90-70)	Doğal Gaz (70-50)	Kömür (90-70)	Kömür (70-50)	Fuel-oil (90-70)	Fuel-oil (70-50)
Adana	393.9	293.7	1203.7	917.8	524.8	396.5
Ordu	808.5	632.2	2513.8	1966.0	1090.0	851.3
Nevşehir	1145.9	906.4	3565.6	2811.1	1544.9	1220.0
Bitlis	1568.4	1249.6	4894.0	3900.4	2114.3	1687.2
Ağaçlı Bina						
Adana	439.3	327.5	1342.4	1023.5	585.3	442.2
Ordu	864.3	675.9	2687.3	2101.8	1165.2	910.1
Nevşehir	1221.5	966.2	3800.8	2996.6	1646.8	1300.5
Bitlis	1657.2	1320.3	5171.1	4121.2	2234.0	1782.8
Bitişik Bina						
Adana	459.9	342.9	1405.2	1071.4	612.7	462.8
Ordu	896.1	700.7	2786.2	2179.1	1208.1	943.5
Nevşehir	1261.6	997.9	3925.5	3094.9	1700.8	1343.2
Bitlis	1705.4	1358.7	5321.3	4241.0	2298.9	1834.6

Sonuç

Adanadan Bitlis'e doğru gidildikçe, yani birinci iklim bölgesinden dördüncü iklim bölgesine gidildikçe enerji tüketimi artmaktadır. Bina gölgelenme durumu dikkate alındığında, ayrı bina en az enerji tüketimi, ağaçlı binalı ortalama enerji tüketimi ve bitişik binalarda en fazla enerji tüketimi meydana gelmektedir. Buna bağlı olarak tüm yakıtlar için tüketim miktarı en düşük ayrı bina ve en yüksek bitişik binada tespit edilmiştir. Enerji ihtiyacına bağlı yakıt tüketimi, en yüksek 12205.8 kg ile bitişik bina özelliğinde kömürde ve en düşük ise 1212.1 kg ile ayrı bina özelliğinde doğal gazda meydana gelmiştir. Kömür tüketimi en fazla iken doğal gaz tüketimi en az seviyede olduğu görülmüştür. Ekserji yüküne bağlı, ısıtma tesisatı dağıtım ve ısıtıcı özelliği bağlı olarak 90-70 °C sıcaklıktaki dağıtım sistemi yüksek ve 70-50 °C sıcaklıktaki düşük enerji ihtiyacı, ekserji yükü ve yakıt tüketimleri meydana geldiği hesaplanmıştır. En düşük 70-50 °C sıcaklıktaki tesisat dağıtım sistemi ve ayrı bina için 293.7 kg ile doğal gaz tüketimi, en yüksek ise 90-70 °C sıcaklıktaki tesisat dağıtım sistemi ve bitişik bina için 5321.3 kg ile kömür tüketimi hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, enerji ihtiyacı, ekserji yüküne ve yakıt tüketimine bağlı olarak 70-50 °C sıcaklıktaki ısıtma tesisatı dağıtım sistemi ve gölgelenme özelliği olarak ayrı bina için en düşük seviyede hesaplandığından en uygun bina özelliği olduğu tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] A. Kılıçlı, "Ege Üniversitesi bünyesindeki mevcut bir binanın enerji-ekserji analizi ve iyileştirme önerileri", Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye, 2018.
- [2] A. Yıldız and A. Güngör, "Energy and exergy analyses of space heating in buildings", *Applied Energy*, vol. 86, pp. 1939–1948, 2009.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.12.010>
- [3] E. Yıldırım, "Bina dış duvar yalıtımının enerji ve ekserji analizi yöntemiyle optimize edilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye, 2015.
- [4] A. Hepbaşlı, H. G. Özcan, H. Günerhan ve N. Yıldırım, "Binaların ekserji bazlı termodinamik analizleri ve değerlendirmeleri", *14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, Türkiye, 17-20 Nisan 2019.
- [5] E. Karakaşlı, "Değişik iklim bölgelerindeki binaların performansının ekserjetik açıdan değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, Türkiye, 2012.
- [6] M. T. Balta, Y. Kalıncı and A. Hepbaşlı. "Evaluating a low exergy heating system from the power plant through the heat pump to the building envelope", *Energy and Buildings*,

40, pp1799–1804, 2008.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.03.008>

[7] G. Özel, E. Açıkcalp, T. H. Karakoç, A. Hepbaşlı, "Novel method for determining optimum insulation thickness of a piping system", *1th International Conference on Energy (ICOE 2014) Colombo*, Sri Lanka, 2014.

[8] M. Shukuya, "Exergetic approach to the understanding of built environment—state-of-the-art review", *Japan Architectural Review*, pp. 1–10, 2019.
<https://doi.org/10.1002/2475-8876.12082>

[9] M. A. Omar, "Comparison of central and individual heating systems used for heating housings", *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, vol. 12, no 2, pp 8-16, 2023.
<https://doi.org/10.46810/tdfd.1235610>

[10] Q. Yang, R. Salenbien, K. M. Smith, M. Tunzi, "Identifying untraced faults associated with high return temperatures from heating systems in buildings connected to district heating networks", *Energy*, Vol 309, 133097, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133097>

[11] T. Benakopoulos, M. Tunzi, R. Salenbien, K. K. Hansen, S. Svendsen, "Implementation of a strategy for low-temperature operation of radiator systems using data from existing digital heat cost allocators", *Energy*, Vol 251, 123844, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123844>

[12] T. Benakopoulos, M. Tunzi, R. Salenbien, S. Svendsen, "Strategy for low-temperature operation of radiator systems using data from existing digital heat cost allocators", *Energy*, Vol 231, 120928, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120928>

[13] M. Lammle, C. Bongs, J. Wapler, D. Günther, S. Hess, M. Kropp, S. Herkel, "Performance of air and ground source heat pumps retrofitted to radiator heating systems and measures to reduce space heating temperatures in existing buildings", *Energy*, Vol 242, 122952, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122952>

[14] H. Li, S. Svendsen, "Energy and exergy analysis of low temperature district heating network", *Energy*, Vol 45, no 1, pp237-246, 2012.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.03.056>

[15] Z. Liu, H. Zhang, Y. Wang, S. You, T. Dai, Y. Jiang, "Evaluation of the controllability of multi-family building with radiator heating systems: A frequency domain approach", *Energy*, Vol 294, 130895, 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.130895>

[16] H. Wang, Y. Zhou, X. Li, X. Wu, H. Wang, A. Elnaz, K. Granlund, R. Lahdelma, E. Teppo, "Study on the performance of a forced convection low temperature radiator for district heating", *Energy* Vol 283, 129036, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129036>

[17] Z. Ge, W. Fang, S. Wang, J. Hao, Y. Yang, L. Tian, J. Sun, F. Dong, "Dynamic modeling and intelligent heating strategies of district heating system based on the standardized thermal resistance", *Applied Thermal Engineering*, vol 222, 119919, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119919>

- [18] F. Liu, C. Song, W. Pan, G. Wang, H. Zhang, Y. Lei, "Thermal fatigue analysis of district heating pipeline under variable frequency regulation of circulating water pump", *Applied Thermal Engineering*, Vol 242, 122535. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.122535>
- [19] M. D. Rosa, V. Bianco, "Optimal insulation layer for heated water pipes under technical, economic and carbon emission constraints", *Energy*, Vol 270, 126961, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126961>
- [20] O. Kon ve K. Sandal, "Binaların Dış Duvarlarının Yüzey Özelliklerine Bağlı Enerji Tüketim Analizleri ve Sıcaklık Sönüm Faktörü, Binaların Dış Duvarlarının Yüzey Özelliklerine Bağlı Enerji Tüketimi", *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, vol. 5, no:2, sayfa: 49-69, 2023. <https://doi.org/10.60093/jiciviltech.1381812>
- [21] *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*, TS 825, Standart 2008.
- [22] O. Kon ve B. Yüksel, "Kazanlarda yakıt ve yanma havasına bağlı yanma gazlarının özelliklerindeki değişim", *13. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, Bursa/Türkiye, 9-11 Eylül 2015.
- [23] D. B. Özkan and C. Onan, "Optimum of insulation thickness for different glazing areas in buildings for various climatic regions in Turkey", *Applied Energy*, vol. 88, no. 4, pp.1311-1342,2011. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.10.025>

[24] H. Aydın, "Ticari uçakların ekserjetik sürdürülebilirlik indikatörlerinin geliştirilmesi", Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sivil Havacılık Anabilim Dalı, Eskişehir, Türkiye, 2012.

[25] Y. A. Çengel, "Isı ve kütle transferi pratik bir yaklaşım", Palme Yayıncılık, Ankara, Türkiye, 2011.

[26] ISISAN Yayınları, "Doğal Gaz-LPG Tesisatı ve Bacalar", No: 345.

Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Çıkar taşması beyanı

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Yazar Katkısı

Kon O., çalışma konsepti ve tasarım, literatür, hesaplamalar, analiz, yazım, yorum ve diğer katkılar tarafından yapılmıştır.