

Bina soğutma kapasitesine etki eden parametrelerin yanıt yüzey yöntemi (YYY) kullanılarak incelenmesi

Investigation of the parameters affecting the building cooling capacity using the response surface method (RSM)

Kadir ÖZBEK*^{1,a}, Ömer ÖZYURT^{1,b}

¹*Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 14030, Bolu*

• Geliş tarihi / Received: 17.07.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 12.12.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 22.12.2021

Öz

Bu çalışmada Ankara iklim şartlarında yer alan örnek bir yapı için enerji analiz programı kullanılarak, binanın dış duvar yalıtım kalınlığının, cam özelliğinin ve tasarım sıcaklığının binanın soğutma kapasitesi üzerindeki etkileri matematiksel ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Değiştirilen bu parametreler ile yıllık soğutma yükleri hesaplanmış ve matematiksel bir model oluşturulmuştur. Analizler Carrier firması tarafından sunulan saatlik analiz programı (Carrier HAP) kullanılarak simüle edilmiştir. Oluşturulan modelin önemi varyans analizi (ANOVA) yapılarak incelenmiştir ve P-değeri 0.05'ten az çıkmıştır. Bu da modelin güvenilir olduğunu göstermektedir. Modelin doğrulaması yapılmış olup, hata oranı -0.27 ile 0.26 arasında değiştiği görülmüştür. Örnek yapı için minimum soğutma kapasitesinin, duvar ısı iletim katsayısının 0.46 ile 1.03 arasında değiştiği, cam ısı iletim katsayısının ise 2.48 ile 3.7 arasında değiştiği durumda elde edileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Carrier HAP, Soğutma kapasitesi, Yalıtım kalınlığı, Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY)

Abstract

In this study, the effects of the exterior wall insulation thickness, glass feature and design temperature on the cooling capacity of the building were investigated mathematically and statistically by using an energy analysis program for a sample building in Ankara climate conditions. With these changed parameters, annual cooling loads were calculated and a mathematical model was created. Analyzes were simulated using the hourly analysis program (Carrier HAP) offered by the Carrier company. The importance of the created model was examined by performing analysis of variance (ANOVA) and the p-value was less than 0.05. This shows that the model is reliable. The model was validated and the error rate was found to vary between -0.27 and 0.26. It has been concluded that the minimum cooling capacity for the sample structure will be obtained if the wall heat transmission coefficient varies between 0.46 and 1.03, and the glass heat transmission coefficient varies between 2.48 and 3.7.

Keywords: Carrier HAP, Cooling capacity, Insulation thickness, Response Surface Method (RSM)

*^a Kadir ÖZBEK; kadir.ozbek@ibu.edu.tr, Tel: (0374) 254 10 00, orcid.org/0000-0002-5475-8111

^b orcid.org/0000-0001-9148-3463

1. Giriş

1. Introduction

Uluslararası Enerji Ajansının 2018 yılı verilerine göre binalarda kullanılan soğutma sistemleri, binaların toplam elektrik enerji tüketiminin yaklaşık beşte birini; tüm küresel elektrik tüketiminin ise %10'unu oluşturmaktadır (IEA, 2018). Birçok ülkede enerji tüketimlerini azaltmak için bina yönetmelikleri oluşturulmuştur. Enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik çalışmalar olmasına rağmen, binaların toplam enerji tüketimleri giderek artış göstermektedir. Bu artış, insanların yaşam standartlarının ve konfor ihtiyaçlarının artmasından kaynaklanmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerin büyümesi ile konutlarda soğutma sistemlerinin tesis edilmesi artış göstermekte ve yaygın hale gelmektedir. Ayrıca binalarda uygulanan farklı tasarımlardan dolayı soğutma kapasiteleri, eski yapılara göre artmaktadır (Kharseh ve Al-Khawaja, 2016). Ülkemizde de enerjiye olan talep giderek artış göstermektedir. Bu nedenle son yıllarda binalardaki enerji tüketimlerini azaltmaya yönelik yapılan çalışmalarda artış görülmektedir. Daha önceki yapılan çalışmalar incelendiğinde, bina kabuğunda yapılacak olan iyileştirmeler ile termal yükte önemli bir azalmanın olacağı görülmektedir (Alaidroos ve Krarti, 2015; Aldawi vd., 2013; Huang vd., 1999). Dış kabuk özellikleri ile birlikte farklı parametrelerin soğutma kapasiteleri üzerindeki etkisi, iklim koşullarına ve bina tipine bağlıdır. Aynı zamanda farklı çözümlerinin uygulanabilirliği bölgesel koşullar dikkate alınarak, ekonomik olarak incelenmelidir. Ülkemizde binaların enerji değerlendirilmesi, "enerji kimlik belgesi" ile yapılmaktadır. Ayrıca enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli bir şekilde kullanılması için Enerji Verimliliği Kanunu (Enerji verimliliği kanunu, 2007) ve Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (Binalarda enerji performansı yönetmeliği, 2008) geçerlidir. Ülkemizde 1 Ocak 2020 tarihi itibarı ile yeni yapılacak olan binalarda enerji kimlik belgesinin alınması zorunlu hale getirilmiştir. Bu alanda yapılan çalışmaların yaygınlaşması ve teşvik edilmesi ile enerji tasarrufunun daha erişilebilir olacağını öngörmekteyiz. Literatürde binanın enerji tüketimine doğrudan etki eden parametreler ve modellemeler ile ilgili bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Binanın ısıtma ve soğutma yükleri üzerinde etki eden önemli parametreler, dış kabuk bileşenleri ve sızdırmazlığı, kabuğun toplam ısı transfer katsayıları, cam özellikleri ve dış kabuğun termal kütesidir (Kharseh ve Al-Khawaja, 2016).

Binaların ısıtma ve soğutma yüklerinin büyük bir kısmını duvarlar, çatı ve pencerelerden olan ısı kazanç ve kayıpları oluşturmaktadır (Aldawi vd., 2013; Dabaieh vd., 2015). Dabaieh vd. (2015), bir binanın çatısında pasif bir soğutma sisteminin, toplam soğutma yükü üzerindeki etkisini incelemiştir. Geleneksel izole edilmemiş bir yapı ile karşılaştırıldığında soğutma kapasitelerinde %53'lük bir azalma meydana geleceği sonucuna ulaşmışlardır. Alaidroos ve Krarti (2015), özellikle soğutma sistemlerinin oldukça fazla tercih edildiği sıcak iklim ülkelerinde konutların dış kabuklarının güçlendirilmesi ile enerji tüketimlerinde %40'lık bir azalma olacağı görülmüştür. Suleiman (2011), yaptığı çalışmada dış kabuğun ısı iletkenlik katsayısının değiştirilmesi ile soğutma kapasitelerinde %42'lik bir azalma meydana geleceği sonucuna ulaşmıştır. Bichiou ve Krarti (2011), yapmış oldukları çalışmada bina kabuğunun güçlendirilmesi ile ısıtma ve soğutma yüklerinde azalma meydana gelmesinin yanında, optimum sistemin seçilmesi ile yaşam döngüsü maliyetlerinde %25'lik iyileşme olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Aldawi vd. (2013), yapmış oldukları çalışmada iklim bölgesine göre farklı duvar bileşenlerinin kullanılması ile binaların soğutma performanslarında %47'ye varan bir azalma olabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Geliş ve Yeşildal (2020), yapmış oldukları çalışmada, Türkiye'de 4 derece gün bölgesindeki farklı duvar yapı elemanları için minimum yalıtım kalınlıklarını belirlemişlerdir. Yapılarda kullanılması gereken optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi ile enerji kayıplarını azaltacağı sonucuna ulaşmışlardır.

Binalar için yapılan farklı güçlendirmelerin termal yükler üzerindeki etkisi iklim koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Önerilen güçlendirmenin bölgesel olarak belirlenmesi önem arz etmektedir. Eskin ve Türkmen (2008), yapmış oldukları çalışmada dış duvarlarda yalıtım yapılması ile sıcak ve nemli iklimde %23, soğuk iklimde %30 enerji tasarrufu sağlanacağı sonucuna ulaşmışlardır. Florides vd. (2002), düşük yayınlı camların kullanılması ile soğutma kapasitelerinde %24'e varan azalma meydana geleceği sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca son zamanlarda yapılan çalışmalarda binalar için en uygun kabuk bileşenlerinin ve sistemlerin seçilebilmesi için optimizasyon tabanlı yaklaşımlar kullanılmıştır. Binanın şekilleri (Wang vd., 2006; Yi ve Malkawi, 2009), duvar-çatı bileşenleri ve yalıtım seviyeleri (Wang vd., 2005), diğer bina kabuk özellikleri (Wright vd., 2002) için farklı yaklaşımlar önerilmiştir. Wong ve Baldwin (2016), yapmış oldukları çalışmada, örnek bir binanın dış kabuğunun yeşil ile kaplanmasının enerji tüketim

maliyetleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yıllık soğutma kapasitelerinde %76 azalma olacağı sonucuna ulaşmışlardır. [Giovanardi vd. \(2008\)](#), İtalya'da izolasyon kalınlıklarının ısıtma ve soğutma yükleri üzerindeki etkileri incelendiğinde, izolasyonun artışının ısıtma yükleri üzerindeki etkisinin soğutma yüklerine göre daha fazla olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Soğutma yüklerinin azaltılmasında tek başına yalıtım kalınlığının azaltılmasının yetersiz olacağı sonucuna ulaşmışlardır.

Binaların performanslarının değerlendirilmesi, değişkenler ile çıktılar arasında modellerin oluşturulabilmesi için birçok istatistiksel yöntem kullanılmaktadır. Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY) bu değerlendirmelerde kullanılan ve değişkenler arasındaki ilişkiyi modelleyen en köklü tekniklerden biridir ([Samruamphianskun vd., 2012](#)). [Mao vd. \(2018\)](#), yapmış oldukları çalışmada farklı istatistiksel yöntemler kullanarak konutların işletme parametrelerinin havalandırma sistemi enerji tüketimindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada yapının enerji tüketimlerinin hesaplanması için YYY yöntemi kullanılarak matematiksel bir model oluşturmuşlardır. YYY yönteminin optimum işletme parametrelerinin tahmin edilmesinde daha iyi olduğu sonucuna ulaşmışlardır. [T. Liu ve Lee \(2019\)](#), yapmış oldukları çalışmada YYY yönteminin tasarım parametreleri ve çıktılar arasındaki ilişkiyi kurmada uygun olabileceğini belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada YYY kullanarak konut havalandırma sistemleri için matematiksel model geliştirilmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada, kullanıcıların termal konforu, üretkenliği ve iç ortam parametreleri arasındaki ilişki YYY kullanılarak belirlenmiştir ([Kaushik vd., 2020](#)). Literatürde YYY kullanılarak yapılan çalışmalar incelendiğinde, birçok çalışmanın bina sistemlerinin tasarım parametreleri ve performansları arasındaki ilişkiyi incelemek üzere yapıldığı görülmüştür. Enerji tüketimlerinin tahmin edilebildiği sınırlı sayıda çalışmanın olduğu görülmüştür. [Kim ve Suh \(2021\)](#), yapmış oldukları çalışmada, konutların tasarım parametreleri ile ısıtma ve soğutma yükleri arasındaki ilişkiyi YYY kullanarak belirlemişlerdir. Binanın ısı yükleri, enerji simülasyon programında basitleştirilmiş geometriler kullanılarak hesaplanmıştır. YYY ile oluşturulan model, farklı şehirlerde yer alan yapılar için uygulanmış ve hata oranı kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmıştır. Oluşturulan modelin konutlarda enerji tüketiminin hesaplanması amacıyla kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde binanın dış kabuk özelliklerinin, cam türlerinin ve tasarım parametrelerinin soğutma kapasiteleri üzerindeki etkisi üzerine birçok çalışma yapıldığı görülmüştür. Fakat binaların soğutma yüklerinin modellendiği sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmada örnek bir yapı için analiz programı kullanılarak, binanın dış duvar yalıtım kalınlığının, cam özelliğinin ve tasarım sıcaklığının binanın soğutma kapasitesi üzerindeki etkileri matematiksel ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Yapılan analizler istatistiksel analiz yöntemlerinden, Yanıt Yüzey Yöntemine (YYY) dayalı olarak elde edilen plana uygun olarak tamamlanmış ve elde edilen matematiksel model, farklı parametreler seçilerek doğrulanmıştır.

2. Materyal ve yöntem

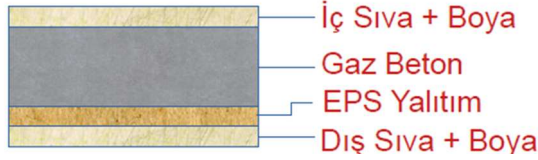
2.1. Material and method

Yapılan çalışmada örnek bir yapı için, belirlenen üç parametrenin (yalıtım kalınlığı, cam özellikleri ve tasarım sıcaklıkları) yapının soğutma kapasitesi üzerindeki etkisi analiz edilmiş ve bir model oluşturulmuştur. Yapının soğutma kapasitesi Carrier firması tarafından sunulan Saatlik Analiz Programı (HAP) kullanılarak yapılmıştır. Çıkan sonuçlar istatistiksel olarak Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY) kullanılarak analiz edilmiştir. YYY metodunu kullanarak belirlenen parametrelerin çıktılar üzerindeki etkileri verilebilir ve oluşturulan model ile performans özellikleri arasında korelasyonlar kurulabilir. Yalıtım kalınlığı, cam özelliği ve tasarım sıcaklıkları, bir yapının soğutma kapasitelerini etkileyen önemli parametrelerdendir. Bu nedenle yapılan çalışmada bu üç parametrenin etkileri analiz edilmiş ve matematiksel bir model oluşturulmuştur.

2.1. Örnek yapı

2.1.1. Sample building

Yapılan çalışma 400 m² taban alanına sahip, birbirinin aynısı dört dış duvar ve pencerelerin olduğu ayrık nizam bir bina seçilmiştir. Analizler TS 825 standardında belirtilen 3. Bölgede yer alan Ankara için yapılmıştır. Yapı tek bir ısıl bölge olarak ele alınmış ve düz bir çatısı olduğu varsayılmıştır. Binanın duvar kesiti olarak içten dışa doğru sırasıyla iç sıva, gaz beton, yalıtım malzemesi (EPS)- dış sıva olacak şekilde belirlenmiştir. Duvar kesiti Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Duvar kesiti
Figure 1. Wall section

Simüle edilen yapının özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Tabloda yer alan kişi başı taze hava

miktarları konutlar için gerekli olan minimum havalandırma debisi dikkate alınarak belirlenmiştir (Atalay, 2018). Aydınlatma ve ekipmanlardan gelen yükler ise bu tür yapılar için ASHRAE standartları dikkate alınarak belirlenmiştir (Standartds ASHRAE, 2019). Yalıtım malzemesi olarak Türkiye’de yaygın olarak kullanılan EPS için analiz yapılmıştır. Duvar ve cam bileşenlerinin ısı geçirme katsayıları analiz programı kullanılarak hesaplanmıştır. Simüle edilecek olan yapının seçilen duvar ve cam parametrelerin özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Örnek yapının özellikleri
Table 1. Sample building properties

Yapı türü	Betonarme	Toplam kapı alanı	3.3 m ²
Bina taban alanı	400 m ²	Taze hava miktarı	2.5 l/s/kişi
Bina hacmi	1200 m ³	Tasarım dış hava sıcaklığı	32.2 °C
Bina yüksekliği	3 m	Aydınlatma yükü	10 W/m ²
Toplam duvar alanı	240 m ²	Ekipmanlardan gelen yük	6 W/m ²
Toplam pencere alanı	40 m ²	Boş olduğu durumdaki iç ortam sıcaklığı	27 °C

Tablo 2. Yapının duvar ve cam parametrelerin özellikleri
Table 2. Properties of the wall and window of sample building

	Duvar özellikleri			Cam özellikleri		
	1 cm EPS	3 cm EPS	5 cm EPS	A tipi cam	B tipi cam	C tipi cam
U (W/m ² K)	1.1	0.7	0.3	2.4	3.4	4,4
			Çerçeve tipi	Aluminyum	Aluminyum	Aluminyum
			Termal boşluk	Var	Var	Yok
			Cam türü	5 mm low-e	6 mm standart	5 mm standart

2.2. Soğutma yükü hesaplamaları

2.2. Cooling load calculations

Soğutma yükü hesaplamaları Carrier Saatlik Analiz Programı kullanılarak yapılmıştır (Carrier Corporation, 2015). Isıtma ve soğutma yük hesaplamaları için ASHRAE standartları birçok yöntem sunmuştur. Carrier HAP programı ise Transfer Fonksiyon yöntemini kullanmaktadır. Transfer Fonksiyonu Yöntemi ile, bir odadaki her bir ısı kazancı bileşeni için ısıtma ve soğutma yükü, ısı kazancı ve zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlayan genel bir matematiksel ilişki belirlenir. Bu ilişki daha sonra her saat için yükleri hesaplamak için kullanılır. Matematiksel ilişki, Denklem 1’de verilen Oda Transfer Fonksiyonu Denklemi ile ifade edilir.

$$Q_0 = v_0q_0 + v_1q_1 + v_2q_2 - w_1Q_1 - w_2Q_2 \quad (1)$$

Bu eşitlikte; toplam yük, (Q), alt indisler belirli bir zamanı ifade eder, alt simge (0) geçerli saattir, alt simge (1), 1 saat önceki saattir ve alt simge (2), 2

saat önceki saattir. Isı kazancı, (q), transfer fonksiyonu katsayıları, (v₀, v₁, v₂, w₁, w₂) olarak ifade edilmiştir. Bu katsayıların değerleri her bir ısı kazancı türü ve oda için değişmek ile birlikte her tür ısı kazancını bir yüke dönüştürmede kullanılmaktadır. Oda Transfer Fonksiyonu Denklemi, mevcut saat için yükün (Q) mevcut ve önceki iki saat için ısı kazancının ve yüklerinin bir fonksiyonu olduğunu belirtmektedir.

2.3. Yanıt yüzey yöntemi (YYY)

2.3. Response surface method (RSM)

YYY yöntemi ilk olarak 1951 yılında Box ve Wilson (Box ve Wilson, 1951) tarafından önerilen deneysel bir tasarım yöntemidir. Temsili noktalar üzerinde deneyler ve regresyon yapmak için kullanılır. Ayrıca geniş bir çerçevede faktörler ve sonuçlar arasındaki ilişkiyi belirlemektedir (Cao ve Shen, 2019). YYY analiz edilecek olan sürecin denklemine uygun olan bir regresyon oluşturur ve kontur haritasını çizerek her faktör seviyesine karşılık gelen değeri tahmin eder. Deneysel

koşulların yanıt değerleri, her bir faktöre göre ayrı ayrı belirlenir. Son olarak, sonuçları etkileyen faktörleri ve bunların etkileşimlerini değerlendirmek için deneyler yoluyla değişken bir yüzey modeli kurulur. Geleneksel optimizasyon yöntemleri ile karşılaştırıldığında daha doğru deneysel sonuçlar elde edilmektedir (Yu ve Leng, 2020). Ayrıca oluşturulan modellerin doğrulamalarının yapılabilmesi için çeşitli test yöntemlerinin uygulanması gereklidir. ANOVA analizlerinin yapılması ve sonuçların model denklemleri ile uyum kalitesi yakınsama katsayısı (R^2) kullanılarak ifade edilmiştir (Raymond H. Myers vd., 2016). Araştırmacılar bir modelin doğruluğunu ölçmek için (R^2) değerini kullanırlar. Modelin R_{adj}^2 değeri ise R^2 katsayısının değiştirilmiş halidir. Modele etkisi olmayacağı bilinen faktörlerin eklenmesi R_{adj}^2 değerini azaltmaktadır (Vahedi Torshizi vd., 2020).

YYY genellikle iki aşamaya ayrılabilir. Birinci aşama yanıt yüzey tasarım aşaması olarak ve ikinci aşama ise yanıt yüzey optimizasyon aşaması olarak adlandırılabilir. Yanıt yüzey tasarım aşamasında incelenecek çok sayıda faktör varsa, her bir faktörün önemini belirlemek için tarama deneyleri yapılır ve son olarak daha fazla araştırma için en büyük etkiye sahip olan faktör seçilir. Tarama deneyleri kısmi faktöriyel tasarım deneylerini içerir. İlk aşamanın ana hedefi mevcut deneysel koşullar ile yanıt yüzeyinin arasındaki ilişkiyi incelemektir. Test koşulları optimal konumdan uzak olduğunda, yanıt yüzeyinin optimal konumuna birinci dereceden yaklaşım modeli uygulanmalıdır (Liu vd., 2021). Test koşulları optimal bölgeye yakın veya bölgede olduğunda ikinci aşamaya geçilir. Yaklaşım için ikinci dereceden bir model kullanılır (Liu vd.,

2021). En yaygın olarak kullanılan model Taylor serisi açılımına dayalı olan polinomdur ve aşağıdaki gibi ifade edilir (Han vd., 2015);

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j}^k \beta_{ij} X_i X_j \quad (2)$$

Burada, x_i ve x_j dizayn parametreleri, β ayar parametresi ve k parametre sayısıdır. Birçok ikinci dereceden model tasarımı türü vardır bunlar arasından en yaygın olanları merkezi kompozit tasarım (CCD), Box-Behnken tasarımıdır (BBD). Yapılan çalışmada ikinci dereceden model oluşturmada en iyi sonuçları veren istatistiksel tasarım metodu olan (CCD) kullanılmıştır.

3. Bulgular

3. Results

3.1. Yanıt yüzey yöntemi (YYY) bulguları

3.1. Response surface method (RSM) results

Bu bölümde yapıların soğutma yüklerini doğrudan etkileyen üç parametrenin (duvar yalıtımı, cam özeliği ve tasarım sıcaklığı), binanın toplam soğutma yüküne üzerindeki etkileri istatistiksel bir YYY modeli kullanılarak incelenmiştir.

Yanıt yüzey yönteminde yapı için optimal parametreler elde edilir ve bu parametreler arasındaki ilişki incelenir (Geliş ve Akyurek, 2021). Yanıt yüzey yönteminde bu parametreler üç düzeyde seçilmiştir. Tablo 3'te analizlere kullanılmak üzere seçilen parametreler ve seviyeleri verilmiştir. Bu değerler en düşük, orta ve en yüksek değerleri belirtmektedir.

Tablo 3. Araştırmada ele alınan parametreler ve değerleri
Table 3. Parameters and their level values of study

Parametre adı	Sembol	Seviyeler		
		-1	0	1
Duvar ısı iletim katsayısı	x_1	0.3	0.7	1.1
Cam ısı iletim katsayısı	x_2	2.4	3.4	4.4
Dizayn sıcaklığı	x_3	22	23	24

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi parametreler farklı düzeylerde incelenmiştir. Yanıt yüzey yönteminde bu parametrelere uygun olarak CCD modeli kullanılarak 20 analiz yapılmıştır. Tablo

4'te YYY yöntemi ile oluşturulan kombinasyonlar ve bu kombinasyonların analiz sonuçları verilmiştir. Soğutma yükleri Carrier HAP saatlik analiz programı kullanılarak elde edilmiştir.

Tablo 4. Kombinasyonlar ve hesaplama sonuçları**Table 4.** Combinations and calculation results

Sıra no	Duvar ısı iletim katsayısı (W/m ² .K)	Pencere ısı iletim katsayısı (W/m ² .K)	Tasarım sıcaklığı (°C)	Soğutma yükü (kWh)
1	0.7	3.4	23	48537
2	0.7	3.4	23	48540
3	0.7	3.4	23	48535
4	0.3	2.4	22	49407
5	0.7	3.4	22	49152
6	0.7	4.4	23	48901
7	0.3	4.4	24	48480
8	0.7	3.4	23	48536
9	1.1	2.4	22	49408
10	0.3	4.4	22	49665
11	0.3	3.4	23	48724
12	0.7	3.4	23	48541
13	0.7	2.4	23	48625
14	1.1	4.4	24	48331
15	0.3	2.4	24	48328
16	1.1	2.4	24	48082
17	0.7	3.4	23	48537
18	0.7	3.4	24	47954
19	1.1	3.4	23	48677
20	1.1	4.4	22	49776

Yapıların soğutma yükleri ile belirlenen dizayn parametreleri arasındaki matematiksel ilişkiyi doğrudan veren bir bağıntı bulunmaktadır. YYY kullanılarak bağımsız değişkenler ve sonuçlar arasında matematiksel bir model oluşturmak mümkündür.

Denklem 3'te soğutma kapasitesi için oluşturulmuş ikinci dereceden model verilmiştir. Belirlenen parametrelerin bu sonuçlar üzerindeki etkileri incelenmiş olup, Tablo 5'te istatistiksel analiz sonuçları verilmiştir.

$$\text{Soğutma Kapasitesi} = 67815 + 1938x_1 - 784x_2 - 1013x_3 + 1002.8x_1 * x_1 + 222.95x_2 * x_2 + 12.95x_3 * x_3 + 64.7x_1 * x_2 - 158.4x_1 * x_3 - 28.12x_2 * x_3 \quad (3)$$

Modelin önemi varyans analizi (ANOVA) yapılarak incelenmiştir. Bu çalışmada YYY için güven aralığı %95 olarak seçilmiştir. Tablo 5'e göre, oluşturulan matematiksel modelin F değerinin 2742.46; P-değerinin ise 0.05'ten küçük olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar modelin güvenilir olduğunu ve analizlerde kullanılabileceğini belirtmektedir. Tablo 5'te $x_3 * x_3$ 'ün p-değerinin 0.05'ten büyük olduğu için model için anlamlı olmadığı göstermektedir.

Tablo 6'da ise oluşturulan modellerin R² değerleri verilmiştir. Soğutma kapasitesi hesaplamaları için oluşturulan matematiksel modelin R² değeri %99.96 olarak bulunmuştur. Bu da modelin hesaplama kullanımlarında uygun olduğunu göstermektedir. Ayrıca R²_{adj} değeri de diğer bir karşılaştırma metodu olup, 100'e yakın olması matematiksel modelin girdi ve çıktı parametreleri arasındaki ilişkinin iyi olduğunu göstermektedir.

Tablo 5. Soğutma kapasitesi için ANOVA tablosu**Table 5.** ANOVA table for cooling capacity

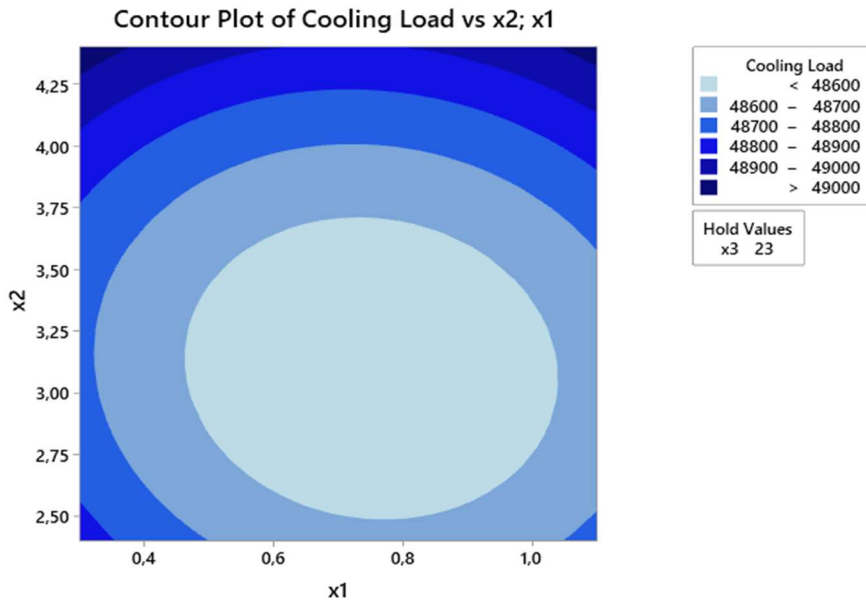
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	4732072	525786	2742.46	0.000
Linear	3	4065700	1355233	7068.79	0.000
x ₁	1	10890	10890	56.80	0.000
x ₂	1	169781	169781	885.56	0.000
x ₃	1	3885029	3885029	20264.01	0.000
Square	3	622557	207519	1082.40	0.000
x ₁ *x ₁	1	70801	70801	369.29	0.000
x ₂ *x ₂	1	136699	136699	713.01	0.000
x ₃ *x ₃	1	462	462	2.41	0.152
2-Way Interaction	3	43815	14605	76.18	0.000
x ₁ *x ₂	1	5356	5356	27.94	0.000
x ₁ *x ₃	1	32131	32131	167.59	0.000
x ₂ *x ₃	1	6328	6328	33.01	0.000

Tablo 6. Soğutma kapasitesi için R² değerleri**Table 6.** R² values for cooling capacity

Analiz	S	R ²	R ² _{adj}	R ² (pred)
Soğutma kapasitesi	13.8463	99.96%	99.92%	99.68%

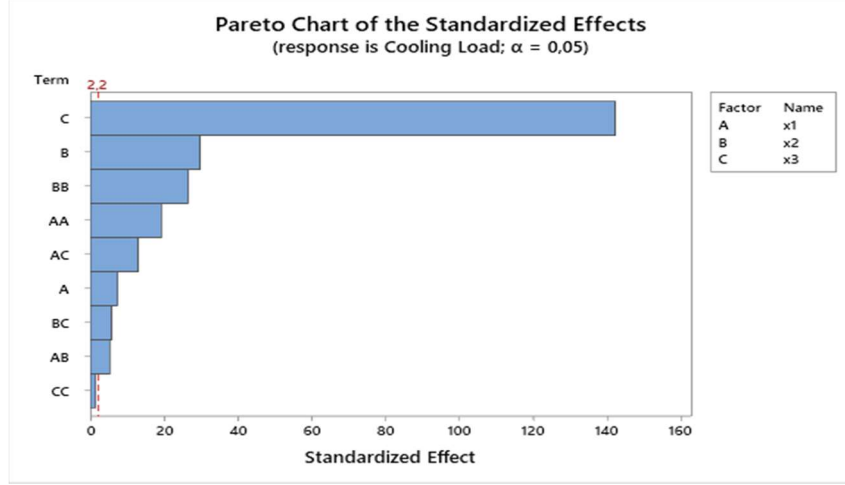
Şekil 2’de yer alan kontur grafiği Minitab 19 uygulaması kullanılarak oluşturulmuştur. Bu şekil analiz programına girilen veriler ve varyans analizinin birlikte değerlendirilmesi ile oluşmaktadır. Bir yapı için optimum sistemlerin ve yapı bileşenlerinin belirlenebilmesi, bu parametrelerin kapasiteler üzerindeki etkilerine bağlıdır. Şekil 2’ye göre yapı için soğutma yüklerinin az olduğu durumlar duvar ve cam ısı

iletim katsayısı değerine göre verilmiştir. Bu tabloya göre örnek yapı için, soğutma kapasitesinin 48600 kWh’den daha az olması, duvar ısı iletim katsayısının 0.46 ile 1.03 arasında değiştiği, cam ısı iletim katsayısının ise 2.48 ile 3.7 arasında değiştiği durumda elde edilebilecektir. Bu şekil kullanılarak yapı için en uygun duvar yalıtım kalınlığı ve cam özelliklerinin seçilmesi mümkün olacaktır.

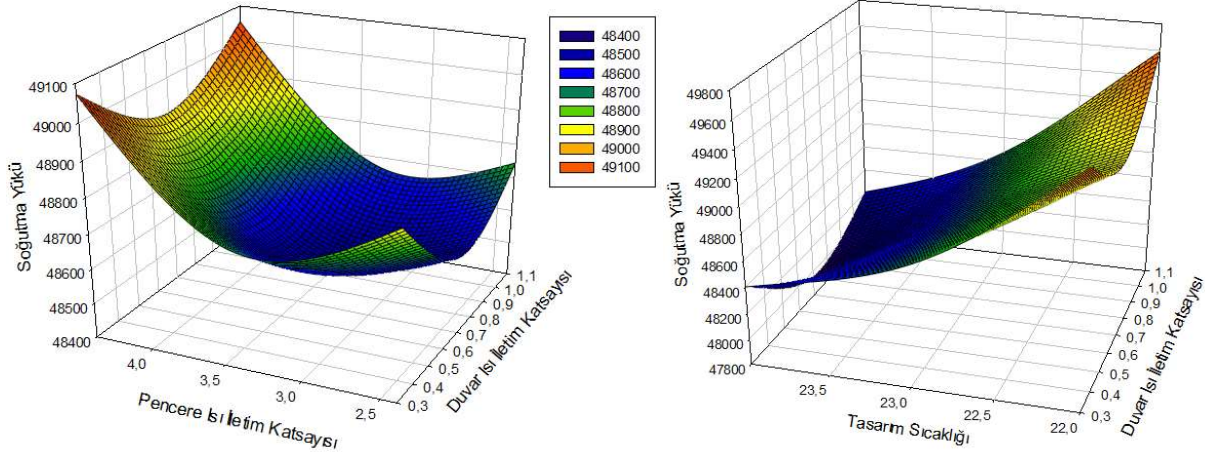
**Şekil 2.** Soğutma kapasitesi için kontur grafiği**Figure 2.** Contour chart for cooling capacity

Şekil 3’de yer alan grafikler Minitab 19 uygulaması kullanılarak oluşturulmuştur. Pareto diyagramı parametrelerin çıktılar üzerindeki önem derecelerini belirlemek için kullanılmaktadır. Pareto diyagramına göre soğutma kapasitesine etkisi en yüksek olan parametre tasarım sıcaklığı olduğu görülmüştür.

Şekil 4’te belirlenen parametrelerin binanın soğutma kapasitesi üzerindeki etkileri 3 boyutlu olarak sunulmuştur. Şekil 4’e göre binanın soğutma yükünün duvar ve pencere ısı iletim katsayısı artışı ile artış gösterdiği; tasarım sıcaklığı artışı ile azaldığı görülmüştür.



Şekil 3. Soğutma kapasitesi için YYY analiz sonuçları
Figure 3. RSM analysis results for cooling capacity



Şekil 4. Parametrelerin soğutma yükleri üzerindeki etki grafikleri
Figure 4. Effects of parameters on cooling loads

3.2. YYY model doğrulaması

3.2. RSM model validation

YYY analizlerinin tamamlanmasının ardından, oluşturulan modelin doğru sonuçlar verdiğini ölçmek için doğrulama analizleri yapılmıştır. YYY ile belirlenen deneylere ek olarak, rastgele parametreler belirlenmiş ve her iki yöntem ile elde edilen sonuçlar Tablo 7’de verilmiştir.

Matematiksel model ve analiz sonuçları doğrultusunda elde edilen soğutma kapasitelerinin aralarındaki hata oranı kabul edilebilir bir aralıkta çıkmıştır. Tablo 7’e göre soğutma kapasitesi hesaplamalarında analiz programı ile model arasındaki hata oranı 0.27 ile 0.26 arasında olduğu görülmüştür. Bu da gösteriyor ki matematiksel model, bağımsız değişkenler ve çıktılar arasındaki ilişkiyi yüksek oranda temsil etmektedir.

Tablo 7. Model hata oranı**Table 7.** Model error rate

Tasarım parametreleri			Soğutma kapasitesi (kWh)		
X ₁	X ₂	X ₃	Analiz sonucu	Model	Hata (%)
0.42	2.4	22	49236	49314	0.15
0.35	3.4	23	48559	48690	0.26
0.71	4.4	24	48281	48151	-0.27

4. Sonuçlar

4. Conclusions

Bu çalışmada örnek bir yapı için soğutma kapasitesi hesap tahmini için istatistiksel bir çalışma yapılmıştır. Yapının soğutma kapasitesine doğrudan etkileyen dış duvar yalıtım kalınlığı, cam özelliği ve tasarım sıcaklığı bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir. Bu parametrelerin soğutma kapasiteleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve matematiksel bir model oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Soğutma kapasitesi için oluşturulan modelin P-değeri 0.05'ten az çıkmıştır. Bu da oluşturulan modelin güvenilir olduğunu göstermektedir.
- Modelin doğrulaması yapılmış olup, hata oranı 0.27 ile 0.26 arasında değiştiği görülmüştür.
- Modelin R² değeri 100'e yakın çıkmıştır. Bu da oluşturulan modelin hesaplamalarda kullanılmasının uygun olduğunu belirtmektedir.
- Bu sayısal model kullanılarak benzer yapılar için farklı analizlerin yapılması mümkün olacaktır.

Örnek yapı için soğutma kapasitesinin 48600 kWh'den daha az olması, duvar ısı iletim katsayısının 0.46 ile 1.03 arasında değiştiği, cam ısı iletim katsayısının ise 2.48 ile 3.7 arasında değiştiği durumda elde edilebilecektir.

Yazar katkısı

Author contribution

Kadir ÖZBEK, Fikir, literatür taraması, makale yazımı; Ömer ÖZYURT: Analiz ve yorum, eleştirel inceleme

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Alaidroos, A. & Krarti, M. (2015). Optimal design of residential building envelope systems in the Kingdom of Saudi Arabia. *Energy and Buildings*, 86, 104–117. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.083>
- Aldawi, F., Alam, F., Date, A., Alghamdi, M. & Aldhawi, F. (2013). A new house wall system for residential buildings. *Energy and Buildings*, 67, 403–418. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.08.019>
- Atalay, D. (2018). Avrupa ve Amerikan standartlarına göre bina konfor havalandırması sistemlerinde kullanıcılara sağlanması gereken taze hava miktarlarının karşılaştırılması. *TTMD Dergisi*, 115.
- Bichiou, Y. & Krarti, M. (2011). Optimization of envelope and HVAC systems selection for residential buildings. *Energy and Buildings*, 43(12), 3373–3382. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.08.031>
- Binalarda enerji performansı yönetmeliği. (2008). *T.C. Resmî Gazete* (27075, 5 Aralık 2008)
- Box, G. E. P. & Wilson, K. B. (1951). On the Experimental Attainment of Optimum Conditions. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 13(1), 1–38. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1951.tb00067.x>
- Cao, Y. & Shen, D. (2019). Contribution of shared bikes to carbon dioxide emission reduction and the economy in Beijing. *Sustainable Cities and Society*, 51. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101749>
- Carrier Corporation. (2015). *Hourly Analysis Program Quick Reference Guide*.

- Dabaieh, M., Wanas, O., Hegazy, M. A. & Johansson, E. (2015). Reducing cooling demands in a hot dry climate: A simulation study for non-insulated passive cool roof thermal performance in residential buildings. *Energy and Buildings*, 89, 142–152. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.034>
- Enerji verimliliği kanunu. (2007). *T.C. Resmî Gazete* (26510, 18 Nisan 2007)
- Eskin, N. & Türkmen, H. (2008). Analysis of annual heating and cooling energy requirements for office buildings in different climates in Turkey. *Energy and Buildings*, 40(5), 763–773. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.05.008>
- Florides, G. A., Tassou, S. A., Kalogirou, S. A. & Wrobel, L. C. (2002). Measures used to lower building energy consumption and their cost effectiveness. *Applied Energy*, 73(3–4), 299–328. [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(02\)00119-8](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(02)00119-8)
- Gelis, K. & Akyurek, E. F. (2021). Entropy generation of different panel radiator types: design of experiments using response surface methodology (RSM). *Journal of Building Engineering*, 41, 102369. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102369>
- Geliş, K. & Yeşildal, F. (2020). Klasik ve modern yapı elemanları kullanılması durumunda ısı iletim katsayısının değişimi ile minimum yalıtım kalınlığının tayini. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10, 869–877. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.725909>
- Giovanardi, A., Troi, A., Sparber, W. & Baggio, P. (2008). Dynamic simulation of a passive house in different locations in Italy. *25th Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA)* (pp. 1–5). Dublin.
- Gunst, R. F., Myers, R. H. & Montgomery, D. C. (1996). Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. *Technometrics*, 38(3), 285. <https://doi.org/10.2307/1270613>
- Han, H. Z., Li, B. X., Wu, H. & Shao, W. (2015). Multi-objective shape optimization of double pipe heat exchanger with inner corrugated tube using RSM method. *International Journal of Thermal Sciences*, 90, 173–186. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2014.12.010>
- Huang, J., Hanford, J. & Yang, F. (1999). Residential heating and cooling loads component analysis. *Lawrence Berkeley National Laboratory*, 44636.
- IEA. (2018). The future of cooling: opportunities for energy-efficient air conditioning. in *the future of cooling: opportunities for energy-efficient air conditioning*. Erişim adresi www.iea.org/t&c/
- Kaushik, A., Arif, M., Tumula, P. & Ebohon, O. J. (2020). Effect of thermal comfort on occupant productivity in office buildings: response surface analysis. *Building and Environment*, 180, 107021. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107021>
- Kharseh, M. & Al-Khawaja, M. (2016). Retrofitting measures for reducing buildings cooling requirements in cooling-dominated environment: residential house. *Applied Thermal Engineering*, 98, 352–356. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.12.063>
- Kim, D. D. & Suh, H. S. (2021). Heating and cooling energy consumption prediction model for high-rise apartment buildings considering design parameters. *Energy for Sustainable Development*, 61, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.01.001>
- Liu, T. & Lee, W. L. (2019). Using response surface regression method to evaluate the influence of window types on ventilation performance of Hong Kong residential buildings. *Building and Environment*, 154, 167–181. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.043>
- Liu, Y., Wang, X. jia, Zhou, S. & Chen, H. (2021). Enhancing public building energy efficiency using the response surface method: an optimal design approach. *Environmental Impact Assessment Review*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106548>
- Mao, N., Song, M., Pan, D. & Deng, S. (2018). Comparative studies on using RSM and TOPSIS methods to optimize residential air conditioning systems. *Energy*, 144, 98–109. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.160>
- Samruamphianskun, T., Piumsomboon, P. & Chalermisinsuwan, B. (2012). Effect of ring baffle configurations in a circulating fluidized bed riser using CFD simulation and experimental design analysis. *Chemical Engineering Journal*, 210, 237–251. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.08.079>
- Standartds, ASHRAE. (2019). *Energy standard for buildings except low-rise residential buildings (ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2019)*. Erişim adresi ASHRAE Online
- Suleiman, B. M. (2011). Estimation of u-value of traditional North African houses. *Applied Thermal Engineering*, 31(11–12), 1923–1928. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.02.038>

- Vahedi Torshizi, M., Azadbakht, M. & Kashaninejad, M. (2020). Application of response surface method to energy and exergy analyses of the ohmic heating dryer for sour orange juice. *Fuel*, 278. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118261>
- Wang, W., Rivard, H. & Zmeureanu, R. (2006). Floor shape optimization for green building design. *Advanced Engineering Informatics*, 20(4), 363–378. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2006.07.001>
- Wang, W., Zmeureanu, R. & Rivard, H. (2005). Applying multi-objective genetic algorithms in green building design optimization. *Building and Environment*, 40(11), 1512–1525. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.11.017>
- Wong, I. & Baldwin, A. N. (2016). Investigating the potential of applying vertical green walls to high-rise residential buildings for energy-saving in sub-tropical region. *Building and Environment*, Vol. 97, pp. 34–39. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.11.028>
- Wright, J. A., Loosemore, H. A. & Farmani, R. (2002). Optimization of building thermal design and control by multi-criterion genetic algorithm. *Energy and Buildings*, 34(9), 959–972. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00071-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00071-3)
- Yi, Y. K. & Malkawi, A. M. (2009). Optimizing building form for energy performance based on hierarchical geometry relation. *Automation in Construction*, 18(6), 825–833. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.03.006>
- Yu, F. & Leng, J. (2020). Multivariable interactions in simulation-based energy-saving glass roof designs. *Solar Energy*, 201, 760–772. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.02.095>