

# BİR ALIŞVERİŞ MERKEZİNİN İKLİMLENDİRME SİSTEMİNDE ENERJİNİN VERİMLİ VE ETKİN KULLANIMI İÇİN SİSTEM BİLEŞENLERİNİN SEÇİMİ

Barış YILMAZ  
Mustafa AYDIN  
Can ADIGÜZEL  
Ebru MANÇUHAN

## ÖZET

Enerjinin verimli ve etkin kullanımı, enerji fiyatlarının yükselişi ve enerji kaynaklarının azalmasıyla tüm dünyada ve ülkemizde son yıllarda giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu amaçla, cihazlar yeniden tasarlanmakta ve/veya kayıp olarak atılan ısının sistemde tekrar kullanımı sağlanarak cihazların verimleri arttırılmaktadır. Alışveriş merkezleri (AVM) gibi büyük yapılarda merkezi iklimlendirme sistemi ve bileşenleri seçilirken enerjinin en etkin ve verimli kullanılacağı şekilde bu sistemlerin seçilmesi gerekir. Diğer yandan, enerji verimi yüksek sistemler ilk yatırım maliyetlerini arttırmaktadır. Bu yüzden, bu tip sistemlerde maliyet analizlerinin yapılması ve elektrik enerjisinden sağlanan tasarruf göz önünde bulundurularak ilk yatırım maliyetleri arasındaki farkın ne kadar sürede kapatılacağı belirlenmesi gerekmektedir.

AVM'ler birçok fonksiyonu içerisinde bulunduran yapılardır. Bu nedenle, bu tür yapılarda ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri, bina içerisindeki farklı kullanım fonksiyonuna sahip her hacmin iklimlendirme ihtiyaçlarını karşılayacak özellikte olmalıdır. Bir AVM'de iklimlendirme cihazlarının harcadığı elektrik enerjisi, özellikle yaz dönemlerinde önemli paylara sahip olmaktadır. Elektrik tüketimini azaltmak için verimleri yüksek cihazların seçilmesi ve bu cihazların optimum güçte kullanılması gerekmektedir.

Bu çalışma için seçilen AVM; mağazalar, sinema ve kafeteryalar, ortak dolaşım alanları ve hipermarketin bulunduğu üç katlı bir yapıdan oluşmaktadır. Kullanım aktivitelerine ve iklimlendirme ihtiyaçlarına göre bu alanlar dört ana bölgeye ayrılarak merkezi iklimlendirme sisteminin ısı yükleri hesaplandı. Hesaplanan ısı yüklerine göre merkezi iklimlendirme sistemi ve bileşenleri, enerjinin en etkin kullanılacağı şekilde seçildi. Seçilen merkezi sistem ve bileşenlerinin ilk yatırım maliyetleri ve çalışma saatleri öngörülerek elektrik tüketimleri, fizibilite analizleri Net Bugünkü Değer (NPV) metodu uygulanarak hesaplandı.

## ABSTRACT

Efficient and effective use of energy is recently taken more into consideration all around the world due to rise of electricity prices and decrease of the energy sources. For this reason, the devices are redesigned and/or the efficiencies of them are increased by using waste heat from the system. It is necessary to choose more energy efficient components for the central heating and cooling system in big structures such as shopping centers. On the other hand, the energy efficient devices increase the investment cost of the system. Therefore, it is obligatory to examine the cost of these systems and compare the investment costs by taking the electrical energy save into account.

Shopping malls contain too many facilities having different functions. Therefore, the central heating, cooling and ventilation system must meet the air conditioning needs of all these facilities. The air-conditioning system and its components comprise main part of the electricity use of a shopping mall

especially in summer season. Choosing more efficient devices and optimizing them are required in order to decrease the electricity consumption.

In this study, a shopping center having three floors and containing stores, a cinema, cafeterias, common circulation areas and a hypermarket is examined. The thermal loads of the central heating system of the building are computed by dividing the whole volume into four different regions according to air conditioning needs and activities in those regions. Based on these computations, the energy efficient central heating system and its components are determined. The feasibility of the chosen system and its components is examined by applying Net Present Value (NPV) method.

## 1. GİRİŞ

Binalar, özellikle iş ve alışveriş merkezleri, enerji tüketimi açısından değerlendirildiğinde ilk sıralarda yer almaktadır. Gelişmiş ülkelerde, toplam enerji tüketiminin %30 ila %40'ı binalarda gerçekleşmektedir. Ülkemizde ise bu oran yaklaşık olarak %40 civarındadır [1]. Giderek artan nüfus ve yeni alışveriş merkezlerinin sayıca artması nedeniyle bu oranın giderek artacağı düşünülmektedir.

Binalarda, enerji en fazla aydınlatma ve iklimlendirme sistemlerinde harcanmaktadır. Yapılan çalışmalarda, iklimlendirme sisteminin harcadığı enerjinin binalardaki toplam enerji tüketimine oranı binanın tipine göre %10 ile %60 arasında değiştiği hesaplanmıştır[2]. Modern binalar ve bu binaların ısıtma, soğutma ve iklimlendirme (HVAC) sistemlerinin enerji verimliliği yüksek bileşenlerden oluşması günümüzde bu sistemler için aranan en önemli gerekliliktir. Bunun yanında, bu sistemlerin seçiminde sistemin çevreye olan etkileri ve maliyet analizlerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir [2].

Binalarda HVAC sistemlerinin elektrik tüketimleri ile ilgili pek çok çalışma mevcuttur[3-5]. Mathews ve arkadaşları [3] bir konferans merkezinde kullanılan iklimlendirme sisteminde enerji tüketiminin nasıl azaltılabileceğini çalışmışlardır. Buys ve Mathews'ın çalışmasında[4] ise HVAC sistemlerinde yatırım maliyetleri incelenmiştir. Adıgüzel [5] yaptığı yüksek lisans çalışmasında bir iş merkezinde enerjinin etkin ve verimli kullanımının nasıl sağlanabileceği üzerinde çalışmıştır.

Bu çalışmada bir AVM'nin merkezi iklimlendirme sisteminin bileşenleri enerji verimliliği en iyi olacak şekilde alternatif senaryolar karşılaştırılarak seçilmiştir. Seçilen sistemin maliyet analizi yapılarak ilk yatırım maliyetinin ne kadar sürede geri ödeyeceği hesaplanmıştır.

## 2. BİNA BİLGİLERİ

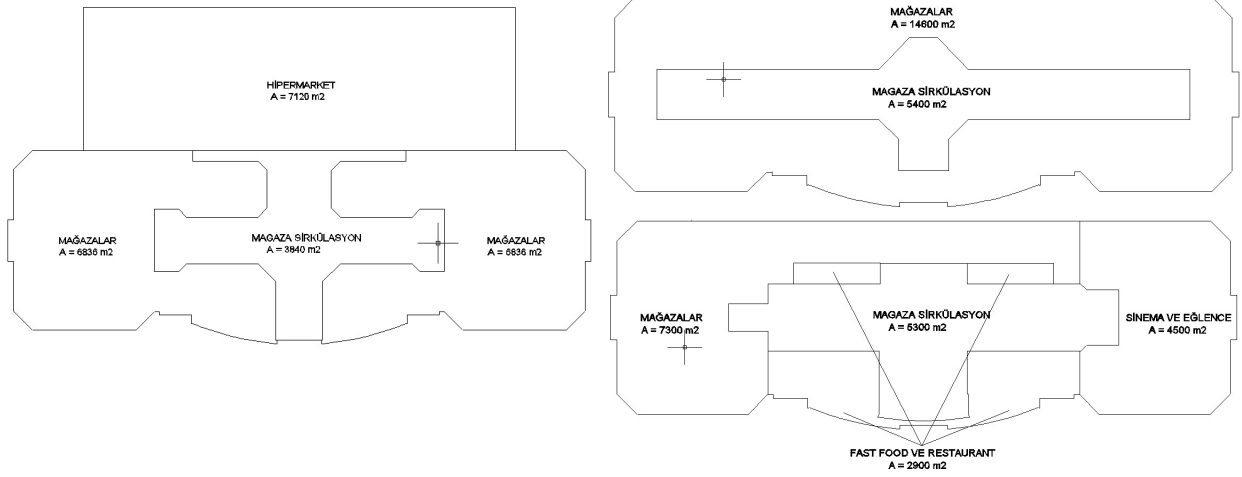
Çalışma için seçtiğimiz bina; İç Anadolu bölgesinde yer alan, mağazalar, sinema ve kafeteryalar, ortak dolaşım alanları ve hipermarketin bulunduğu üç katlı bir alışveriş merkezidir. Alışveriş merkezinin basitleştirilmiş kat planları Şekil 1' de verilmiştir. İlk aşamada kullanım aktivitelerine ve iklimlendirme ihtiyaçlarına göre bu alanlar dört ana bölgeye ayrılarak merkezi iklimlendirme sisteminin ısı yükleri hesaplandı.

Birinci bölge; zemin kat, 1. kat ve 2. katta bulunan mağazalar ve 2. katta mevcut sinemadan oluşmaktadır. Toplam kullanım alanı yaklaşık 40,000 m<sup>2</sup>'dir. Bu bölgenin ihtiyacı doğrultusunda ısıtılması ve/veya soğutulması 4 borulu fancoil üniteleri ile yapılmakta ve taze hava ihtiyacı, taze havalı klima santrallerinden karşılanmaktadır. Mağazalar ve sinemanın günde 13 saat faaliyet gösterdiği kabul edilmiştir ve çalışma saatleri aralığı 9:00-22:00 ve kişi sayısı ortalama 5400 olarak kabul edilmiştir.

İkinci ve üçüncü bölgeler ise AVM'nin zemin kat, 1. kat ve 2. katında bulunan mağazaların sağ ve sol tarafındaki dolaşım alanlarından oluşmaktadır. 2. ve 3. bölge toplam kullanım alanı 14,500 m<sup>2</sup>'dir. Bu bölgelere gönderilen havanın ihtiyaç doğrultusunda ısıtılması ve/veya soğutulması karışım havalı

klima santralleri ile yapılmaktadır. Mağaza sirkülasyon alanlarının günde 14 saat faaliyet gösterdiği ve çalışma saatleri aralığı 9:00-23:00 ve kişi sayısı ortalama 5800 olarak kabul edilmiştir.

Dördüncü bölge ise toplam kullanım alanı 7100 m<sup>2</sup> olan hipermarketten oluşmaktadır. Bu bölgenin iklimlendirilmesi için ikinci ve üçüncü bölgelerde olduğu gibi karışım havalı klima santralleri kullanılacaktır. Hipermarketin günde 12 saat faaliyet gösterdiği, çalışma saatleri aralığı 10:00-22:00 ve kişi sayısı ortalama 570 olarak kabul edilmiştir.



**Şekil 1.** Bu çalışmada incelenen AVM'nin basitleştirilmiş kat planları ve toplam kullanım alanları. (Sol taraf: giriş kat, sağ taraf: üstte 1.kat altta ise 2. kat planları yer almaktadır).

### 3. ISIL YÜK HESABI

AVM'nin ısı yük hesapları ısıtma-soğutma sektöründe sıkça kullanılan ve Carrier firması tarafından geliştirilmiş HAP(Hourly Analysis Program) programı kullanılarak yapıldı [6].

**Tablo 1.** Klima santrali toplam ısı yükleri

		Soğutma Yükleri (kW)	Isıtma Yükleri (kW)	Taze Hava Debisi (L/s)	Toplam Hava Debisi (L/s)
1. Bölge	Zemin Kat –Mağazalar	562.7	-	16183	16183
	Birinci Kat –Mağazalar	515.9	-	14839	14839
	İkinci Kat –Mağazalar	831.4	-	23911	23911
	Sinema	816.2	-	23474	23474
	Toplam	2726.2	-(*)	78407	78407
2. Bölge	Mağaza Dolaşım Alanları - Sol Bölüm	1045.8	576,6	10783	69981
3. Bölge	Mağaza Dolaşım Alanları - Sağ Bölüm	1021.1	545.1	10671	69717

4. Bölge	Hipermarket	1044.4	547,5	4808	87069
Toplam	AVM	5837.5	1669.2	104669	305174

(\*) Birinci bölgede, ısıtma yükleri hesabında soğutma yüküne göre seçilen fankoillerin ısıtma kapasiteleri esas alınmıştır.

HAP programı ile yukarıda bahsedilen bölgelerin toplam soğutma ısı yükleri ayrı ayrı hesaplandı. Bu hesaplamalarda bina yapı malzemelerinin ısı özellikleri programın kütüphanesinden, kütüphanede bulunmayan malzemelerin özellikleri ise araştırılarak dışarıdan, programa girildi. Bina içerisinde bulunan alanların kullanım özellikleri, bu alanlarda bulunacak maksimum kişi sayısı ve gerekli taze hava oranları gibi veriler için ASHRAE 2004[7] standartları kullanıldı. Bölgelere göre hesaplanan toplam ısı yükleri Tablo 1'de listelenmiştir.

#### 4. MERKEZİ İKLİMLENDİRME SİSTEMİ VE BİLEŞENLERİ

Bu çalışmada, AVM'de kullanılacak merkezi iklimlendirme sisteminin alternatifleri yukarıda hesaplanan soğutma sistem yükleri ve bileşenleri esas alınarak oluşturuldu.

Birinci bölgede, 317 adet ve 5 farklı tipte tavan tipi, 4 borulu fancoil ünitesi kullanıldı. Isıl yükler esas alınarak kataloglardan seçilen fancoil ünitelerinin toplam ısıtma kapasitesi 3260 kW, toplam soğutma kapasitesi ise 3490 kW olarak hesaplandı. Bu bölge için gerekli taze hava ise AVM'nin çatı katının sağ ve sol tarafına yerleştirilen dış havayı yaz-kış koşullarına göre şartlandıran temiz hava klima santrallerinden sağlanmaktadır. AVM'nin havalandırma ihtiyacı için ise 4 adet temiz havalı klima santrali kullanıldı. İkinci ve üçüncü bölgelerde iklimlendirme gereksinimleri 6 adet karışım havalı klima santrali ile karşılandı. Bu santrallerin üçü AVM çatısının sağ tarafına (ısıtma kapasitesi: 692 kW, soğutma kapasitesi: 398 kW) diğer üçü ise sol tarafına (ısıtma kapasitesi: 610 kW, soğutma kapasitesi: 369 kW) gelecek şekilde yerleştirildi. Dördüncü bölge ise çatıya yerleştirilen 4 adet karışım havalı klima santrali tarafından iklimlendirildi. Merkezi Sistemin ısıtma ihtiyacı bodrum katına yerleştirilen doğal gaz ile çalışan, 90/70 °C gidiş-dönüş sıcaklığında ve 1950 kW güçte 3 adet çelik kazan ile karşılandı.

Merkezi İklimlendirme sisteminin enerji verimliliği ve maliyet açısından iyileştirilmesi için birinci bölgede kullanılan taze havalı klima santralleri ve soğutma grupları için iki alternatif senaryo üzerinde çalışma yapıldı.

##### 4.1. Taze Havalı Klima Santrali Alternatifleri:

Enerji verimliliğini iyileştirmek amacıyla birinci bölgede kullanılan taze havalı klima santrallerinde ısı geri kazanım bileşeni iki farklı şekilde seçildi: karşıt akışlı ve rotatif tip. AVM'nin rotatif tip ve karşıt akışlı ısı geri kazanımlı klima santrali fan üniteleri elektrik tüketimleri karşılaştırılması Tablo 2'de görülebilir. Klima santrali için seçilen alternatiflerin işletme maliyetleri, santralin yılın her günü ve günlük 13 saat çalıştığı varsayılarak enerji verimi analizi yapıldı. Analiz sonucunda rotatif tip ısı geri kazanımlı klima santrali tercih edildiğinde elektrik tüketiminde yıllık **10,914 €** tasarruf sağlanacağı hesaplandı.

Taze havalı klima santrali alternatifleri için ilk yatırım maliyeti karşılaştırılması da yapıldı. Karşıt akışlı ısı geri kazanımlı 4 adet klima santrali için toplam hava debisi **282,300 m<sup>3</sup>/h (78407 L/s)** ve alınan tekliflere göre toplam maliyeti **287,263 €** hesaplandı (Tablo 1). Rotatif tip ısı geri kazanımlı 4 adet

klima santralinde ise aynı hava debisi için toplam maliyet **338,253 €** olmaktadır. İki alternatif karşılaştırıldığında ilk yatırım maliyeti rotatif tip için **50,990 €** fazla olmaktadır.

İki alternatifin ilk yatırım maliyet karşılaştırması Net Bugünkü Değer Metodu (NPV) kullanılarak analiz edildi. Bu metot ile enerji verimli yatırımların proje ömrü boyunca getirdiği parasal değer ve yatırımın geri ödeme süresi kolaylıkla hesaplanabilir. Ayrıca, ilk yatırım maliyetine ek olarak bakım maliyeti de hesaba katıldı. Bakım maliyeti; yıllık yakıt, bakım ve onarım maliyetlerini kapsamaktadır. Yatırım ömrü sonunda eğer var ise hurda değeri de hesaba ilave edilir. Bu analiz yapılırken santral başına bakım maliyeti yıllık 300 € (300 € x 4 Adet =1200 €), santral başına hurda değeri 1500 € (1500 € x 4 Adet= 6000 €) ve yıllık faiz oranı %11 olarak kabul edildi. NPV ile yapılan analiz sonucunda rotatif tip ısı geri kazanımlı klima santralinin ilk yatırım maliyeti yüksek olsa da (**50,990 €**) **9 yıl** sonunda maliyet farkını karşıladığı hesaplandı. Tablo 3'te ise **20 yıl** sonunda toplam tasarrufun **27,109.97 €** olduğu görülmektedir.

**Tablo 2.** Taze havalı klima santrali alternatifleri için enerji tüketim değerleri ve yıllık tasarruf

	Zemin Kat	1. Kat	2. Kat	Sinema
Yıllık çalışma gün sayısı	365	365	365	365
Günlük çalışma saati	13	13	13	14
Tüketim Farkı (kWh)	75920	33215	0	0
Aylık Tasarruf (€)	7592	3321,5	0	0
<b>Yıllık Tasarruf (€)</b>	<b>7592</b>	<b>3321,5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Rotatif Tip Isı Geri kazanımlı Klima santrali için Elektrik Tüketim Değerleri</b>				
Üfleme Fanı (kW)	37	30	45	55
Emiş Fan (kW)	22	22	22	37
<b>Toplam (kW)</b>	<b>59</b>	<b>52</b>	<b>67</b>	<b>92</b>
<b>Karşıt akışlı tip ısı geri kazanımlı Klima santrali için Elektrik Tüketim Değerleri</b>				
Üfleme Fanı (kW)	45	37	37	55
Emiş Fan (kW)	30	22	30	37
<b>Toplam (kW)</b>	<b>75</b>	<b>59</b>	<b>67</b>	<b>92</b>

Yapılan analizler sonucunda seçilen AVM için rotatif tip ısı geri kazanımlı taze hava klima santralinin kullanılmasının enerji verimliliği ve toplam maliyet (ilk yatırım + bakım maliyeti) açısından daha uygun olduğu belirlendi.

**Tablo 3.** Rotatif tip ve karşıt akışlı ısı geri kazanım ünitelerinin NPV analizi ile maliyet karşılaştırılması.

Yıl	Yatırım Farkı (€)	Yıllık Tasarruf (€)	Bakım Maliyeti (€)	Hurda Değeri (€)	Net Nakit Akışı (NNA) (€)	NP V	NNA x NPV (€)	Toplam (€)
0	-50.990,00	0,00	0,00	0,00	-50.990,00	1,00	-50.990,00	-50.990,00
1	0,00	10.914,00	-1.200,00	0,00	9.714,00	0,90	8.751,35	-42.238,65
2	0,00	10.914,00	-1.200,00	0,00	9.714,00	0,81	7.884,10	-34.354,55
...	...	...	...	...	...	...	...	...
8	0,00	10.914,00	-1.200,00	0,00	9.714,00	0,43	4.215,16	-1.000,56
<b>9</b>	<b>0,00</b>	<b>10.914,00</b>	<b>-1.200,00</b>	<b>0,00</b>	<b>9.714,00</b>	<b>0,39</b>	<b>3.797,44</b>	<b>2.796,88</b>
...	...	...	...	...	...	...	...	...
20	0,00	10.914,00	-1.200,00	6.000,00	15.714,00	0,12	1.949,07	27.109,97

					<b>Toplam</b>	<b>27.109,97</b>	
						€	

#### 4.2. Soğutma Grubu Alternatifleri:

Klima santrali için gerekli soğutma gereksinimleri, enerji verimliliği yüksek soğutma grubunu (chiller) belirlemek amacıyla hava ve su soğutmalı olmak üzere iki alternatif oluşturuldu. Sistemde kullanılan soğutma grubu alternatifleri enerji verimliliği ve toplam maliyet (ilk yatırım + bakım maliyeti) açısından karşılaştırıldı.

**Tablo 4.** Soğutma grubu alternatiflerinin elektrik tüketim değerleri

		Cihazlar	Adet	Cihaz Elektrik Tüketimi (kW/Ad.)	Toplam Elektrik Tüketimi (kW)
<b>Alternatif 1</b> (Hava Soğutmalı Sistem)	<b>1. Bölge</b>	<b>Mağazalar Sol Kısım Chiller - 730 kW</b>	3	223,9	671,7
		<b>Mağazalar Sağ Kısım Chiller - 960 KW</b>	4	290	1160
	<b>2. ve 3. Bölge</b>	<b>Mağaza Sirkülasyon Chiller - 700 kW</b>	3	206,5	619,5
	<b>4. Bölge</b>	<b>Hipermarket Chiller - 530 kW</b>	2	152,3	304,6
<b>Alternatif 2</b> (Su Soğutmalı Sistem)	<b>1. Bölge</b>	<b>Mağazalar Sol Kısım Chiller - 730 kW</b>	3	160,1	480,3
		<b>Mağazalar Sağ Kısım Chiller - 960 KW</b>	4	211	844
		<b>Mağazalar Su Soğutma Kulesi Pompası</b>	2	37	74
			2	22	44
	<b>2. ve 3. Bölge</b>	<b>Mağazalar Su Soğutma Kulesi</b>	4	22	88
		<b>Mağaza Sirkülasyon Chiller - 700 kW</b>	3	155,2	465,6
		<b>Mağaza Sirkülasyon Su Soğutma Kulesi Pompası</b>	2	22	44
	2		22	44	
	<b>4. Bölge</b>	<b>Hipermarket Chiller - 530 kW</b>	2	116,2	232,4
		<b>Hipermarket Su Soğ. Kulesi Pompası</b>	1	37	37
<b>Hipermarket Su Soğ. Kulesi</b>		1	22	22	

Hava soğutmalı ve su soğutmalı chiller gruplarının tüm bölgeler için elektrik tüketim değerleri ve karşılaştırılması Tablo 4'de görülebilir. Bu tablodaki değerler mağazaların ve sinemanın günde 13 saat, mağaza sirkülasyon alanının günde 14 saat ve hipermarketin ise günde 12 saat çalıştığı kabul edilerek hesaplanmıştır. Her iki soğutma grubu alternatifi için enerji verimliliği analizi yapıldı. Bu analizde öncelikle soğutma işleminin yapıldığı düşünülen 6 ay için çalışma gün sayısı belirlendi. Hava ve su soğutmalı (Chiller+su kulesi+ekstra pompa) sistemlerin harcadığı güç kW bazında hesaplandı. Öngörülen saat ve gün sayısı ile çarpılınca hava ve su soğutmalı sistemler için kWh bazında yıllık elektrik tüketimleri hesaplandı. Bu hesaplamalar sonucunda iki sistem arasındaki yıllık elektrik tüketim farkı belirlendi. Bulunan değer Euro para birimi (€) esas alınarak (0,1 €/kWh) tasarruf maliyeti hesaplandı. Soğutma grubu için alternatiflerin karşılaştırılması sonucunda enerji verimliliği açısından

merkezi iklimlendirme sisteminde su soğutmalı soğutma grubu kullanıldığında yıllık elektrik tüketiminde yaklaşık olarak **75,988€** tasarruf yapıldığı görülmektedir (Tablo 5).

**Tablo 5.** Soğutma grubu alternatiflerinin elektrik enerjisi tasarrufu

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
<b>Soğutma Yapılan İş günü</b>	20	20	30	31	31	20
<b>Hava Soğ. Sistem Elek. Tüketimi (kWh/Ay)</b>	722806	722806	1084209	1120349,3	1120349,3	722806
<b>Su Soğ. Sistem Elek. Tüketimi (kWh/Ay)</b>	622822	622822	934233	965374,1	965374,1	622822
<b>Aylık Tüketim Farkı (kW/Ay)</b>	99984	99984	149976	154975,2	154975,2	99984
<b>Aylık Tasarruf Bedeli (€)</b>	9998,4	9998,4	14997,6	15497,5	15497,5	9998,4
<b>Toplam Yıllık Tasarruf (€)</b>	<b>75,988</b>					

Soğutma grubu alternatifleri için ilk yatırım maliyeti karşılaştırılması da yapıldı. Alınan teklifler sonucunda hava soğutmalı 12 adet soğutma grubu için toplam sistem maliyeti **1.253.000 €**'dur. Su soğutmalı 12 adet chiller ile 6 adet su soğutma kulesi, kule pompaları ve bunlara ait ek borulamanın toplam maliyeti ise **1.579.000 €**'dur. İki alternatif karşılaştırıldığında ilk yatırım maliyeti su soğutmalı chiller için **326.000 €** fazla olduğu görülmektedir.

**Tablo 6.** Soğutma grubu alternatiflerinin NPV analizi ile maliyet karşılaştırılması

Yıl	Yatırım Farkı (€)	Yıllık Tasarruf (€)	Bakım Maliyeti (€)	Hurda Değeri (€)	Net Nakit Akışı (NNA) (€)	NP V	NNA x NPV (€)	Toplam (€)
0	-326.000,0	0,00	0,00	0,00	-326.000,00	1,00	-326.000,00	-326.000,00
1	0,00	75.988,00	-4.800,00	0,00	71.188,00	0,90	64.133,33	-261.866,67
2	0,00	75.988,00	-4.800,00	0,00	71.188,00	0,81	57.777,78	-204.088,89
...	...	...	...	...	...	...	...	...
6	0,00	75.988,00	-4.800,00	0,00	71.188,00	0,53	38.060,01	-24.836,47
<b>7</b>	<b>0,00</b>	<b>75.988,00</b>	<b>-4.800,00</b>	<b>0,00</b>	<b>71.188,00</b>	<b>0,48</b>	<b>34.288,30</b>	<b>9.451,83</b>
...	...	...	...	...	...	...	...	...
20	0,00	75.988,00	-4.800,00	12.000,00	83.188,00	0,12	10.318,13	242.381,81
					<b>Toplam</b>		<b>242.381,81</b>	<b>€</b>

İki farklı soğutma sistem grubunun ilk yatırım maliyet karşılaştırması NPV metodu ile yapılırken ilk yatırım maliyetine ek olarak bakım maliyeti de hesaba katıldı. Ayrıca yatırım ömrü sonunda hurda değeri de hesaba ilave edildi. Bu analiz yapılırken soğutma kulesi başına bakım maliyeti yıllık 600 € (600 € x 6 Adet = 3600 €), pompa başına bakım maliyeti yıllık 100 € (100 € x 12 Adet = 1200 €), toplam 4800 €; soğutma kulesi başına hurda değeri 1000 € (1000 € x 12 Adet = 12000 €) ve yıllık faiz oranı %11 olarak kabul edildi. NPV ile yapılan analiz sonucunda su soğutmalı soğutma grubunun ilk yatırım maliyeti yüksek olsa da **yedinci yıl** sonunda maliyet farkını kapattığı Tablo 6'dan görülebilir. **20 yıl** sonunda ise toplam tasarrufun **242.381,81 €** olduğu görüldü.

## SONUÇ

Bu çalışmada bir AVM'nin merkezi iklimlendirme sisteminin bileşenleri enerji verimliliği en iyi olacak şekilde seçilmiştir. Bu amaçla, ilk aşamada tüm bina kullanım işlevlerine göre dört ayrı bölgeye ayrılmış ve toplam ısıtma ve soğutma yükleri HAP programı kullanılarak hesaplanmıştır. Isıl yük hesaplama sonuçlarına göre toplam 317 adet ve 5 farklı tipte fankoil ünitesinin kullanılmasına karar verilmiş ve toplam ısıtma kapasitesi 3260 kW ve toplam soğutma kapasitesi ise 3490 kW olarak hesaplanmıştır.

İkinci aşamada ise fankoillerin iklimlendirme gereksinimlerini karşılayacak toplam klima santrali adedi belirlenmiştir. Buna göre, birinci bölge için 4 adet temiz havalı klima santrali, ikinci ve üçüncü bölgelerde 6 adet karışım havalı klima santrali ve dördüncü bölgede 4 adet karışım havalı klima santrali kullanılması gerektiği hesaplanmıştır.

Klima santrallerinde sistemin enerji verimliliği açısından iyileştirilmesi amacıyla taze havalı klima santrallerinde iki farklı tip, rotatif ve karşıt akışlı, ısı geri kazanım ünitesi karşılaştırılmıştır. Rotatif tip ısı geri kazanımlı santralin enerji tüketimi açısından yıllık 10,914 € tasarruf sağlanacağı hesaplanmıştır. Daha sonra bu sistemin maliyet analizi yapılmış ve karşıt akışlı sisteme göre dokuzuncu yılın sonunda aradaki ilk yatırım maliyet farkını kapattığı ve 20 yıl sonunda ise toplam tasarrufun 27,109.97 € olacağı NPV metodu kullanılarak gösterilmiştir.

Son aşamada ise klima santrallerinin soğutma gereksinimlerini karşılayacak soğutma grupları, enerji verimliliği açısından ele alınmıştır. Bu amaçla, iki farklı, hava ve su soğutmalı, soğutma grubu için verimlik ve maliyet analizleri yapılmıştır. Bu analiz sonucunda enerji verimliliği açısından su soğutmalı grubun enerji tasarrufu açısından yaklaşık olarak yıllık 76.000 € tasarruf sağladığı hesaplanmıştır. Bu gruplar ilk yatırım maliyeti açısından da incelenmiş ve su soğutmalı grubun yedinci yıl sonunda aradaki maliyet farkını kapattığı NPV metodu ile hesaplanmıştır. Su soğutmalı sistem ile 20 yıl sonunda toplam elektrik tasarrufunun 242.381,81 € olacağı görülmüştür.

Merkezi iklimlendirme sistemlerine otomasyon ve bina yönetim sistemlerinin eklenmesi sistemin elektrik enerjisi tüketimini azaltmakta ve dolayısıyla enerji verimliliğini önemli ölçüde arttırmaktadır. Bu çalışmada merkezi otomasyon sistemleri incelenmemiştir. Bu çalışmanın devamı olarak, otomasyon sistemlerinin de merkezi iklimlendirme sistemine eklenmesi sonucunda sistemin enerji verimliliği ve maliyet açısından değerlendirilmesi planlanmaktadır.

## KAYNAKLAR

[1] <http://www.enerji.gov.tr/>

[2] Ellis M.W., Mathews E.H., Needs and trends in building and HVAC system design tools, Building and Environment 37 (2002) 461-470.

[3] Mathews E.H, Arndt D., Geysler M.F., Reducing the energy consumption of a conference center-a case study using software, Building and Environment 37 (2002) 437-444.

[4] Buys J. H., Mathews E.H., Investigation into capital costs of HVAC systems, Building and Environment 40 (2005) 1153-1163.

[5] Adıgüzel, C., Enerjinin verimli ve etkin kullanımına yönelik verimlilik artırıcı proje geliştirilmesi ve bir iş merkezine uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, 2011.

[6] Overview of the hourly analysis program, CARRIER, 1992.

[7] ASHRAE HVAC Systems and Equipments Handbook, 2004

## ÖZGEÇMİŞ

### Barış YILMAZ

Hacettepe Üniversitesi, Nükleer Mühendislik Bölümünden 1999 yılında mezun olmuştur. Marmara Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimini 2002 yılında tamamlamıştır. Doktora çalışmasını ise ortaklaşa doktora programı kapsamında Marmara Üniversitesi ve Orleans



Üniversitesinde (Fransa) 2010 yılında tamamlamıştır. Halen Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak görevine devam etmektedir.

### **Mustafa AYDIN**

Ön lisans eğitimine 2003 yılında Balıkesir Üniversitesi Gönen Meslek Yüksek Okulu Doğalgaz Isıtma ve Sıhhi Tesisat Teknolojisi Programında başlamış, 2005 yılında Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Doğalgaz Isıtma ve Sıhhi Tesisat teknolojisi Programında tamamlamıştır. Lisans eğitimini ise 2011 yılında Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde tamamlamıştır. Kariyerine Atakar Tesisat Ticaret Limited Şirketine Jr. Designer olarak devam etmektedir.

### **Can ADIGÜZEL**

Lisans Eğitimini 2007 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Müh. Fak., Makine Müh. Bölümünde, yüksek lisans eğitimini 2011 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Üniversitesi, Makine Müh. Bölümü, Isı Proses Programında tamamlamıştır. Halen "ee İstanbul Proje ve Danışmanlık Ltd. Şirketi", Teknik Projelendirme ve Proje Yönetim Bölümünde Kontrol Mühendisi olarak çalışmaktadır.

### **Ebru MANÇUHAN**

Lisans eğitimini 1981 yılında Uludağ Üniversitesi, Balıkesir Müh. Fak., Makine Müh. Bölümünde, yüksek lisans eğitimini 1985 yılında Uludağ Üniversitesi, Makine Müh. Bölümünde, doktora eğitimini ise 1997 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Müh. Bölümünde tamamlamıştır. Halen Marmara Üniversitesi Makine Müh. Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.