



**T.C.  
HALIÇ ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE ENERJİ  
VERİMLİLİĞİNİN ÇOK KRİTERLİ ANALİZ  
YÖNTEMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hazırlayan  
Gökçe ÖZGÜNEL**

**Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ERKOÇ**

**İstanbul – 2019**

T.C.  
HALIÇ ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

**İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE ENERJİ  
VERİMLİLİĞİNİN ÇOK KRİTERLİ ANALİZ  
YÖNTEMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hazırlayan  
Gökçe ÖZGÜNEL**

**Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ERKOÇ**

**İstanbul – 2019**

## LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı Öğrencisi Gökçe ÖZGÜNEL tarafından hazırlanan **“İklimlendirme Sistemlerinde Enerji Verimliliğinin Çok Kriterli Analiz Yöntemleri ile Karşılaştırılması”** konulu çalışması jürimizce Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 18.09.2019

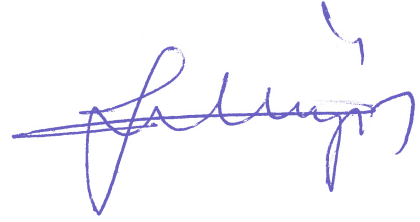
(Jüri Üyesinin Ünvanı, Adı, Soyadı ve Kurumu):

İmzası

Jüri Üyesi : Dr.Öğr.Üyesi Ahmet ERKOÇ  
: Haliç Üniversitesi (Danışman)



Jüri Üyesi : Dr.Öğr.Üyesi Üzeyir PALA  
: Haliç Üniversitesi

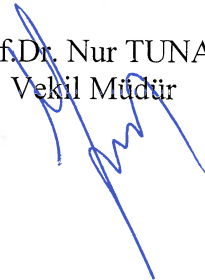


Jüri Üyesi : Doc.Dr.Serol BULKAN  
: Marmara Üniversitesi



Bu tez Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulunun kararıyla kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Nur TUNALI  
Vekil Müdür



# Gökçe Özgünel

ORIJINALLIK RAPORU

%**20**

BENZERLIK ENDEKSİ

%**17**

İNTERNET  
KAYNAKLARI

%**3**

YAYINLAR

%**13**

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1

[acikarsiv.ankara.edu.tr](http://acikarsiv.ankara.edu.tr)

İnternet Kaynağı

%**4**

2

[aera.com.tr](http://aera.com.tr)

İnternet Kaynağı

%**4**

3

[www.chiller.com.tr](http://www.chiller.com.tr)

İnternet Kaynağı

%**2**

4

[www.mtfteknik.com](http://www.mtfteknik.com)

İnternet Kaynağı

%**1**

5

[www.scemuhendislik.com](http://www.scemuhendislik.com)

İnternet Kaynağı

%**1**

6

[www.kipdasmuhendislik.com](http://www.kipdasmuhendislik.com)

İnternet Kaynağı

%**1**

7

[pompa-vana.com](http://pompa-vana.com)

İnternet Kaynağı

%**1**

8

Submitted to Beykent Üniversitesi

Öğrenci Ödevi

%**1**

9

[www.adamekanik.com](http://www.adamekanik.com)

İnternet Kaynağı

<%**1**


Dr. Öğretim Üyesi  
Ahmet ERKOÇ



10/10/2019

### TEZ ETİK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ÇOK KRİTERLİ ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Erkoç’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

  
Gökçe Özgünel

## ÖNSÖZ

Yaşadığımız dünyayı daha sürdürülebilir, doğayı gelecek nesillere en güzel şekilde bırakabilmek adına seçmiş olduğum enerji verimliliğinin önemini savunan tezim ile gelecek nesillere yol gösterebilen, teknolojiye ışık tutmasını dilediğim çalışmamı sizlere sunarım.

Tez çalışmamda büyük emeği geçen Hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Erkoç'a, her türlü teknik destekte bulunan Öğr. Gör. Çağrı Kibiroğlu hocama ve bu tez çalışmam sayesinde Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisansı yapmama olanak tanıyan T.C. Haliç Üniversitesi'ne sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisansa başladığım günden beri desteğini ve yardımlarını esirgemeyen sevgili babam Dr. Öğr. Üyesi Soner Özgünel'e, manevi desteği ile her zaman yanımda olan annem Pedagog Hatice Özgünel'e ve bu süreçte yardımlarını esirgemeyen kuzenim Elektronik ve Haberleşme Mühendisi Yiğitcan Malik'e çok teşekkür ederim.

Ekim, 2019

Gökçe Özgünel

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa No.
<b>TEZ ETİK BEYANI</b> .....	<b>II</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>III</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>IV</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>V</b>
<b>ŞEKİLLER</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÇİZELGELER</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IX</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. GENEL BİLGİLER</b> .....	<b>6</b>
2.1. Energy Related Product (ErP) Ecodesign .....	6
2.2. CE Deklerasyonu .....	7
2.3. Ecodesign Uygulama Kriterleri .....	7
<b>3. GEREÇ VE YÖNTEM</b> .....	<b>11</b>
3.1. Veri Zarflama Analizi .....	15
3.2. VZA Uygulama Süreçleri .....	15
3.2.1. Karar Verme Birimlerinin (KVB) Seçilmesi .....	16
3.2.2. Girdi ve Çıktıların Belirlenmesi.....	16
3.2.3. Verilerin Elde Edilebilmesi ve Güvenilirliği .....	16
3.2.4. Etkinlik Ölçme .....	17
3.2.5. Etkinlik Sınırı .....	17
3.2.6. Referans Grupları .....	18
3.2.7. Etkin Olmayan Karar Birimleri İçin Hedef Belirleme.....	18
3.2.8. Sonuç Değerlendirme.....	18
3.3. Kullanılan Program .....	19
<b>4. UYGULAMA: AYRIK VE MERKEZİ KLİMA SİSTEMLERİ</b>	
<b>KARŞILAŞTIRMASI</b> .....	<b>20</b>
4.1. Örnek Proje .....	20
4.2. Ayrık Klima Çözümü .....	21
4.3. Merkezi Sistem Klima Çözümü .....	24
4.4. Sistemlerin Karşılaştırılması .....	26
<b>5. BULGULAR</b> .....	<b>27</b>
<b>6. SONUÇLAR</b> .....	<b>47</b>
<b>7. KAYNAKLAR</b> .....	<b>50</b>
<b>8. ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>52</b>

## KISALTMALAR

- AHU** : Air Handling Unit (Klima Santrali)  
**BTU** : British Thermal Unit (İngiliz Isı Birimi)  
**BVU** : Bidirectional Ventilation Units (Çift Yönlü Havalandırma Cihazları)  
**CCR** : Charnes, Cooper, Rhodes (Girdi Odaklı Model)  
**CE** : European Conformity (Avrupa Uyumluluğu)  
**CH** : Chiller (Soğutma Grubu)  
**CRS** : Constant Returns to Scale (Ölçeğe Göre Sabit Getiri)  
**EER** : Energy Efficiency Ratio (Enerji Verimliliği Katsayısı, kapasite/çektığı güç)  
**EN** : European Norms (Avrupa Normları)  
**ERP** : Eco-design Directive on Energy related Products (Enerji ile İlgili Ürünler İçin Eko-Dizayn Gereklilikleri)  
**FCU** : Fan Coil  
**HP** : Horse Power (Beygir Gücü)  
**HRS** : Heat Recovery System (Isı Geri Kazanım Sistemi)  
**IGK** : Isı Geri Kazanım  
**KT** : Kuru Termometre  
**KVB** : Karar Verme Birimleri  
**NRVU** : Non-residential Ventilation Units (Evsel Olmayan Havalandırma Cihazları)  
**RH** : Relative Humidity (Bağıl Nem)  
**RVU** : Residential Ventilation Units (Evsel Havalandırma Cihazları)  
**SE** : Scale Efficiency (Ölçek Etkinliği)  
**SFP** : Specific Fan Power (Spesifik Fan Gücü)  
**UVU** : Unidirectional Ventilation Units (Tek Yönlü Havalandırma Cihazları)  
**VRS** : Variable Returns to Scale (Ölçeğe Göre Değişen Getiri)  
**VRV** : Variable Refrigerant Flow (Değişken Soğutucu Akışkan Debisi)  
**VSD** : Variable Speed Driver (Değişken Hız Sürücüsü)  
**VZA** : Veri Zarflama Analizi



## ŞEKİLLER

	Sayfa No.
Şekil 1.1. Fan Coil .....	2
Şekil 1.2. %100 Taze Havalı Klima Santrali .....	3
Şekil 1.3. Karışım Havalı Klima Santrali .....	3
Şekil 1.4. Plakalı Isı Geri Kazanımlı Klima Santrali .....	4
Şekil 1.5. Soğutma Grubu ve Tesisattaki Yeri.....	5
Şekil 2.1. Tek yönlü havalandırma üniteleri.....	8
Şekil 2.2. Çift yönlü havalandırma ünitesi .....	9
Şekil 4.1. Örnek proje olarak seçilen iki katlı villa.....	21
Şekil 4.2. Örnek proje olarak seçilen iki katlı villanın kat yerleşim planı.....	22
Şekil 4.3. Dış ünite ve iç ünitelerin yerleşim planı .....	23
Şekil 4.4. Klima santrali, soğutma grubu ve fan coillerin yerleşim planı .....	25
Şekil 5.1. Girdi ve çıktıların DEA’da yerleştirilmesi .....	30
Şekil 5.2. Zarflama yönteminin seçilmesi.....	30
Şekil 5.3. Zarflama yönteminin CRS’ye göre hesaplanması .....	31
Şekil 5.4. Merkezi ve ayrık sistem verimleri sonucu.....	31
Şekil 5.5. Zarflama yönteminin VRS’ye göre hesaplanması.....	32
Şekil 5.6. VRS’ye göre hesaplandığında ayrık ve merkezi sistemlerin sonucu.....	32
Şekil 5.7. İlk yatırım maliyetinin geri dönüş süresi çıkarıldığında CRS sonucu.....	33
Şekil 5.8. İlk yatırım maliyetinin geri dönüş süresi çıkarıldığında VRS sonucu..	34
Şekil 5.9. Ekonomik ömür çıkarıldığında CRS modeline göre sonucu .....	35
Şekil 5.10. Ekonomik ömür çıkarıldığında VRS modeline göre sonucu .....	36
Şekil 5.11. Yıllık enerji maliyeti çıkarıldığında CRS modeline göre sonucu.....	37
Şekil 5.12. Yıllık enerji maliyeti çıkarıldığında VRS modeline göre sonucu.....	38
Şekil 5.13. Güç girdisi çıkarıldığında sonuç.....	39
Şekil 5.14. Hitap ettiği alan girdisi çıkarıldığında sonuç.....	40
Şekil 5.15. İlk yatırım maliyeti girdisi çıkarıldığında sonuç... ..	41
Şekil 5.16. Bakım maliyeti girdisi çıkarıldığında sonuç.....	42
Şekil 5.17. Enerji verimliliği girdisi çıkarıldığında sonuç.....	43
Şekil 5.18. Bakım maliyeti, çektiği güç ve ekonomik ömür kaldırıldığında sonuç .....	45

## ÇİZELGELER

	Sayfa No.
Çizelge 2.1. Spesifik fan verimi ve gücü değerlerinin ErP2016 ve ErP2018 karşılaştırması .....	8
Çizelge 2.2. Spesifik fan verimi ve gücü değerlerinin ErP2016 ve ErP2018 karşılaştırması .....	9
Çizelge 3.1. Ayrık ve Merkezi Sistemler Veri Zarflama Analizi Yöntemi ile karşılaştırması İçin Girdiler .....	11
Çizelge 3.2. Ayrık ve Merkezi Sistemler Veri Zarflama Analizi Yöntemi ile karşılaştırması İçin Çıktılar .....	11
Çizelge 3.3. Ayrık sistem kapasite verilerinin hesaplanması .....	12
Çizelge 3.4. Ayrık sistem verilerinin hesaplanması .....	13
Çizelge 3.5. Merkezi sistem kapasite verilerinin hesaplanması .....	14
Çizelge 3.6. Merkezi sistem verilerinin hesaplanması .....	15
Çizelge 5.1. CRS modeli ilk hesaplaması sonucu .....	45
Çizelge 5.2. VRS modeli ilk hesaplaması sonucu .....	45
Çizelge 5.3. Güç girdisi çıkarıldığındaki sonuç .....	45
Çizelge 5.4. Hitap ettiği alan girdisi çıkarıldığındaki sonuç .....	45
Çizelge 5.5. İlk yatırım maliyeti girdisi çıkarıldığındaki sonuç .....	46
Çizelge 5.6. Bakım maliyeti girdisi çıkarıldığındaki sonuç .....	46
Çizelge 5.7. Enerji verimliliği girdisi çıkarıldığındaki sonuç .....	46
Çizelge 5.8. Çektiği güç ile ekonomik ömür çıkarıldığındaki sonuç .....	46
Çizelge 5.9. Modele ait ilk belirlenen girdi ve çıktılar .....	47
Çizelge 5.10. Ayrık ve merkezi sisteme göre ilk belirlenen girdi verileri .....	48
Çizelge 5.11. Ayrık ve merkezi sisteme göre ilk belirlenen çıktı verileri .....	48
Çizelge 5.12. Son durumdaki girdi ve çıktılar .....	49

## ÖZET

### İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ÇOK KRİTERLİ ANALİZ YÖNTEMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Bu çalışmada, iklimlendirme sistemlerindeki enerji verimliliğinin, merkezi ve ayrı sistemler için yenilenen regülasyonlara göre karşılaştırılması, veri zarflama analizi ile yapılmıştır. Karar verme birimleri ile girdi-çıktılar belirlendikten sonra Excel çözücüsü olan VZA (Veri Zarflama Analizi) ile çözümlenmiştir. VZA, doğrusal programlama ile matematiksel model çözümünü yapmaktadır. Karşılaştırılan merkezi ve ayrı sistemlerden hangisinin daha verimli olduğunu tespit etmek için VZA programı, CRS (Sabit Getirili Ölçek) ve VRS (Değişken Getirili Ölçek) yöntemlerinden ikisi ile de denenmiştir. Program, VRS yöntemi ile çalıştırıldığında her iki sistem için de eşit verimlilikte sonuçlar vermesi nedeniyle CRS yöntemi seçilmiştir. Girdi yönelimli CRS yönteminin matematiksel modeli, çıktıyı maksimize edecek şekilde oluşturulmuştur. Ardından veri zarflama yönteminin en önemli noktalarından biri olan etkin olmayan girdilerin belirlenmesi adımı uygulanmıştır. Bu noktada etkin olmayan girdiler modelden çıkarılarak, merkezi sistemlerin daha verimli olduğu sonucunu veren nihai matematiksel model oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** İklimlendirme Sistemleri, Enerji Verimliliği, Çok Kriterli Analiz, Veri Zarflama Analizi, Sabit Getirili Ölçek, Değişken Getirili Ölçek.

## ABSTRACT

### COMPARISON OF ENERGY EFFICIENCY IN AIR CONDITIONING SYSTEMS WITH MULTI-CRITERIA ANALYSIS METHODS

In this study, the comparison of energy efficiency in air conditioning systems according to the renewed regulations for central and discrete systems was done by data envelopment analysis. After determination of input-outputs with decision-making units, they were analyzed with DEA (*Data Envelopment Analysis*) which is an Excel solver. DEA performs mathematical model solution with linear programming. DEA program was checked with both CRS (*Fixed Return Scale*) and VRS (*Variable Return Scale*) methods to determine which of the central and discrete systems compared was more efficient. The CRS method was chosen because the program yielded equally efficient results for both systems when run with the VRS method. The mathematical model of the input-oriented CRS method was designed to maximize the output. Then the step of identifying ineffective inputs, which is one of the most important points of data enveloping method, was applied. At this point, ineffective inputs were removed from the model and a final mathematical model was created which concluded that centralized systems were more efficient.

**Keywords:** Air Conditioning Systems, Energy Efficiency, Multi Criteria Analysis, Data Envelopment Analysis, Constant Return of Scale, Variable Return of Scale

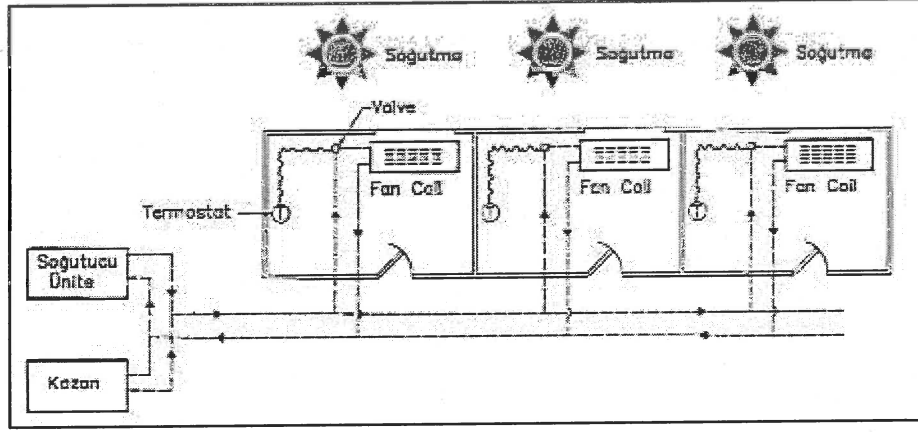
## 1. GİRİŞ

Bu çalışmada, iklimlendirme sistemlerindeki enerji verimliliğinin ayrıık sistemlerle karşılaştırılıp, yenilenen regülasyonlara göre sistem verimliliklerinin karşılaştırılması yapılmaktadır. Bu karşılaştırma sonucunda enerji verimliliği, yenilenen regülasyonunun sistemlerdeki ilk yatırım maliyetine, çevreye faydasına, enerji tüketimine etkileri incelenmektedir. Bu karşılaştırmalarda veri zarflama analiz yöntemi kullanılmaktadır. Veri zarflama analizi yönteminde sisteme girecek girdi ve çıktıları belirlemede etkisi olacak ayrıık ve merkezi sistemlerin açıklamalarını girdi ve çıktıların neye göre belirlendiğini anlamak için önem taşımaktadır.

Karşılaştırmının yapılacağı sistemler ayrıık ve merkezi olarak ikiye ayrılmıştır. Ayrıık sistemlerde kullanılan VRF sistemleri, Değişken Soğutucu Akışkan Debisi anlamına gelir. Bir dış üniteye birden fazla iç ünitenin kontrol edildiği klima sistemlerine denir. Bir VRF Klima Sistemi, yapılarıdaki (rezidans, okul vs.) değişen kapasite ihtiyaçlarına bağlı olarak soğutucu akışkanın akışını kontrol etmektedir. VRF Klima Sistemi bina dışında bulunan dış ünite ve bina içindeki yaşam alanlarını soğutmak ve ısıtmak veya aynı anda ikisini birden yapabilmek amacı ile kullanılan iç ünitelerden oluşur.

Karşılaştırmada kullanılan merkezi sistemleri oluşturan başlıca ekipmanlardan fan coil; temel prensip olarak içerisine sıcak su girdiğinde sıcak, soğuk su girdiğinde soğuk üfleyen cihazlardır. Havayı dışa üflemeyi de içindeki fanın yardımıyla yapar. İçeri giren akışkan ince borulardan geçerken ardında bulunan fan da üflemeyi yapar. Şekil 1.1'de fan coillerin tesitattaki yeri gösterilmektedir. Bir diğer anlamda da fan coil ünitesi FCU (Fan Coil Unit ), bir odayı kanal sistemine bağlamadan ısıtmak veya soğutmak için bir fan ve bir serpantin kullanan bir cihazdır diye açıklanabilir. İç mekandan gelen hava, serpantin üzerinden geçer ve odayı dışarı üflemeden önce havayı ısıtır veya soğutur. Serpantin içinden geçen su sıcak ise sıcak üfler, soğuk ise soğuk üfler. Bu sayede odanın havası istenilen şartlara gelir. Fan coiller iki tipe ayrılır. **2 Borulu Fan coiller:** İçinde tek serpantin bulunan fan coil tipidir. Başlıca tercih sebebi daha uygun fiyatlı olmasıdır. Ancak 2 borulu fan coiller ya ısıtma ya da soğutma yapabilirler. Bu tip fancoiller özellikle geçiş dönemlerinde işletmede ısıtma veya soğutmadan birini yapabildikleri için sıkıntılara sebep olur.

**4 Borulu Fan coiller:** İçinde iki serpantin bulunan fan coil tipidir. Isıtma ve soğutmayı aynı anda yapabilirler. Bu sebeple otel, ofis, rezidanslarda daha fazla tercih sebebidir. Özellikle bu tip binaların kuzey ve güney cephesinde odalar varsa bir taraf ısıtma yaparken, diğer taraf soğutma yapabilir.



Şekil 1.1. Fan Coil

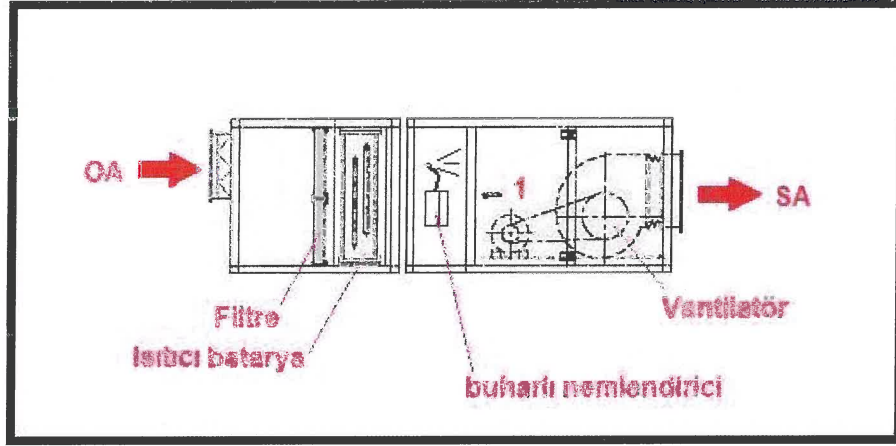
Klima Santrali, dışarıdan alınan taze havanın farklı şartlandırma metodları ardından iç ortama iletilmesine yardımcı olan cihazdır. Klima santralleri istenilen alana taze hava veya karışım havası verilmesini, sıcaklık ve nem oranının ayarlanmasını, havanın toz ve partiküllerden kademeli filtrasyon sistemleri ile ayrıştırılmasını sağlar.

Klima santrali bir çok tipte üretilir ve genellikle aşağıdaki komponentlere sahiptir:

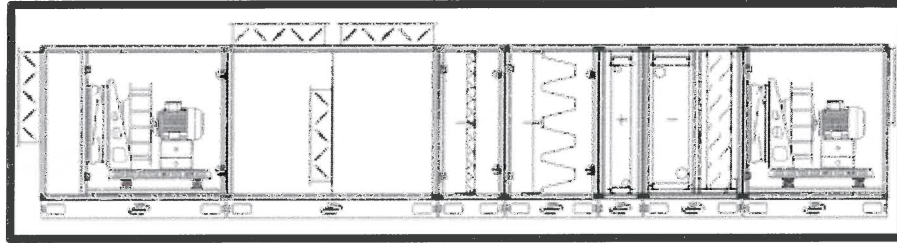
- Damper Motoru ( Taze Hava ve Egzoz veya Karışım)
- Filtre
- Isıtma Serpantini
- Soğutma Serpantini
- Vantilator
- Aspirator

Bunların dışında farklı üniteler de olabilir. Santralin tipine ve kullanım amacına göre santralde bulunur ancak temel olarak yukarıda listelenen ekipmanlar standart olarak her klima santralinde bulunur. Klima santralleri kullanım amacına göre 3'e ayrılır:

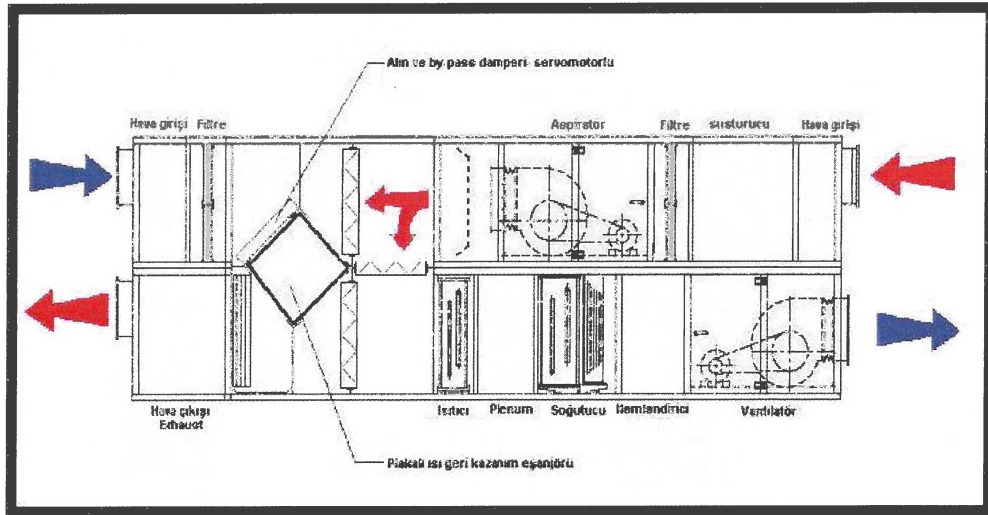
- Taze Havalı Klima Santrali (Şekil 1.2)
- Karışım Havalı Klima Santrali (Şekil 1.3)
- Isı Geri Kazanımlı Klima Santrali (Şekil 1.4)



Şekil 1.2. %100 Taze Havalı Klima Santrali



Şekil 1.3. Karışım Havalı Klima Santrali



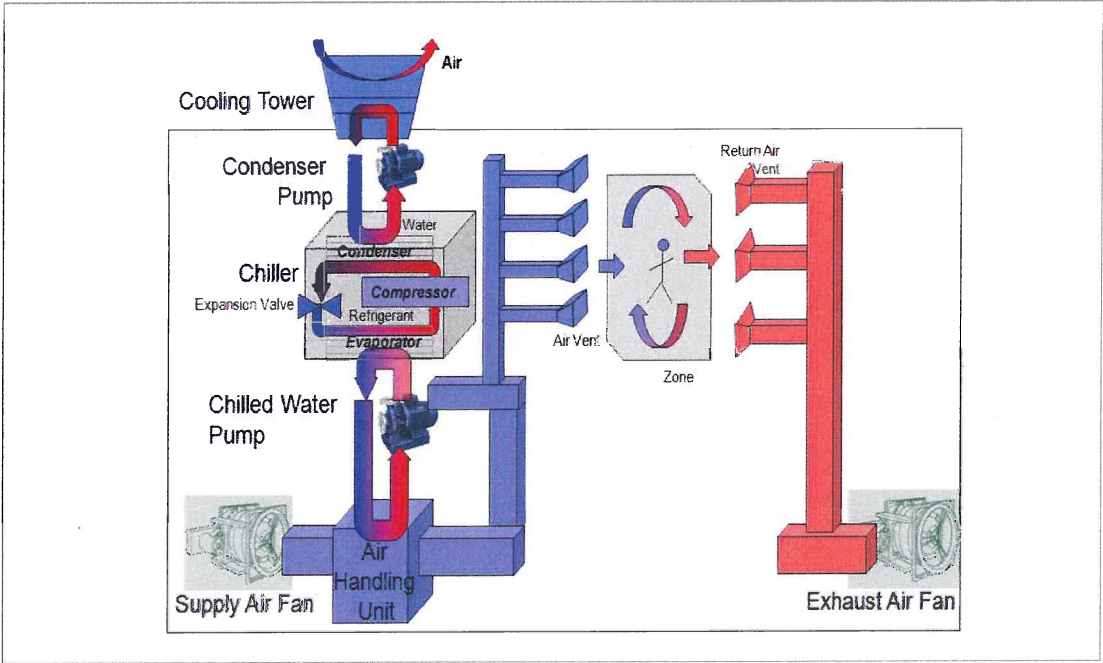
Şekil 1.4. Plakalı Isı Geri Kazanımlı Klima Santrali

Soğutma grupları (Chiller - CH); İngilizce’de chiller olarak adlandırılan ve Türkçe’ye soğutma grubu olarak çevrilen chiller, ısıyı bir kaynaktan alarak başka bir kaynağa transfer eden, içinde bulunan kompresör vasıtasıyla soğutucu akışkanı sıkıştırarak soğutmayı sağlayan sistemlerdir. Kompresör, kondanser, genişleme vanası ve evaporatörden oluşan soğutma grupları, kompresörde sıkıştırılan ve ısınan soğutucu akışkanın kondanserde soğutulması ile çalışır. Daha sonra genişleme vanasından geçen gazın basıncı sayesinde sıcaklık azalır ve sıvı hale geçer. Evaporatörden geçerken soğutulmak istenen sıvının üzerinden ısıyı alır alçak basınçta gaz olarak kompresöre gelir ve yeniden sıkıştırılır. Çalışma sistemi bu döngüde devam eder. Buna da karnot çevrimi denir

Soğutma grubu sistemi;

- Su soğutmalı soğutma grubu (Şekil 1.5)
- Hava soğutmalı soğutma grubu olarak ikiye ayrılır.

Bunların haricinde ısı pompalı soğutma grubu, serbest soğutmalı soğutma grupları da kullanılmaktadır.



Şekil 1.5. Soğutma Grubu ve Tesisattaki Yeri



Bütün bu sistemlerin kullanılacağı örnek proje Veri Zarflama Analizi yöntemine göre incelenmiştir. Veri Zarflama Analizi'nin hesaplandığı program Excel eklentisi olan DEA (Data Envelopment Analysis) ile çözümlenmiştir.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Energy Related Products (ErP) Ecodesign

Ecodesign ve enerji etiketlemesi ile ilgili mevzuat, ürünlerin enerji verimliliğini artırmak için etkili bir araçtır. Avrupa Birliği'nin 2020 enerji verimliliği hedefine önemli ölçüde katkıda bulunan, piyasadaki az gelişmiş ürünleri ortadan kaldırmaya yardımcı olmaktadır. Eko-tasarım ve enerji etiketleme yönetmeliği ile ilgili enerji tasarruflarının, 2020 yılına kadar yılda 800 Terra-watt saat (TWh) mertebesinde olacağı tahmin edilmektedir. Ecodesign, aynı zamanda, Şirket içi ürünlerin daha iyi çevresel performansına teşvik ederek endüstriyel rekabet gücünü ve inovasyonu desteklemektedir.

CE işaretlemesi için yeni yaklaşım direktifleri, söz konusu sektörlerin her birinden ürünler için kendi uygulama alanlarındaki tüm şartları kapsayacak şekilde Avrupa Birliği tarafından tasarlanmıştır.

Ecodesign Direktifi (2009/125/EC), ürünlerinin CE işareti taşıması için üreticilerin karşılaması gereken çevresel parametrelerle ilgili eko tasarım gereksinimlerini belirleyen bir direktiftir.

2009/125/EC sayılı direktif, kullanım sırasında enerji tüketimini etkileyen ürünleri, enerji kullanan, üreten, aktaran ya da ölçen ürünleri ve enerji tüketen diğer ürünleri, örneğin pencere, yalıtım malzemeleri veya tüketen bazı ürünleri kapsar.

Direktifin amacı, bir ürünün tüm yaşam döngüsündeki sürdürülebilir kalkınma ilkelerine odaklanarak, kaynak tüketimi ve kirleticilerin emisyonu dahil olmak üzere ürünlerin genel çevresel etkisini azaltmaktır.

Direktifin ek kapsamı, ilgili ürünlerin Avrupa pazarında serbest dolaşımını sağlamaktır. Yönerge, kişiler veya mallar ve nakliye araçları için geçerli değildir. Ekolojik tasarım gereksinimlerini belirleme metodolojisi ve prosedürleri direktifte belirtilmiştir (ürüne özgü tasarım ve yapım gereksinimleri).

## 2.2. CE Deklerasyonu

Türkiye, Avrupa Gümrük Birliği'ne üye ülke olduğundan tüm cihazların CE işareti taşıması ve buna uygun üretilmesi, dizayn edilmesi zorunludur. 2016 itibariyle EcoDesign Direktifi CE kapsamına girdiğinden dolayı CE deklarasyonunda aşağıdaki direktiflere uyum zorunludur.

- **Makine Direktifi** 2006/42/EC
- **Alçak Gerilim Direktifi** 2006/95/EC
- **EMC Direktifi** 2004/108/EC
- **Ecodesign Direktifi** 2009/125/EC - EU 1253/2014

Bu nedenle, CE taşıması gereken tüm cihazların EcoDesign Direktifine uygun dizayn edilmiş olması gerekmektedir.

## 2.3. Ecodesign Uygulama Kriterleri

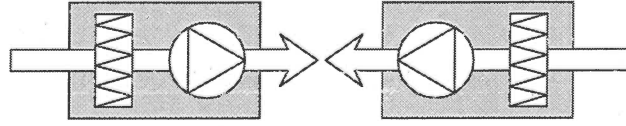
Ecodesign direktifi iç ortamdaki insanların hareket etmeleri/aksiyonları ya da binalardan salınan gazlar ve dumanlar nedeni ile kirlenen havanın bir kısmının veya tamamının, dışarıdan alınan taze hava ile yer değiştirdiği havalandırma cihazları ve klima santralleri için oluşturulmuştur. Cihazlar bu kapsamda kendi içlerinde üçe ayrılarak sınıflandırılır. (Q: debi)

- Evsel Havalandırma Cihazları (Residential Ventilation Units-RVU)  $Q_{max} \leq 250 \text{ m}^3/\text{h}$
- Evsel Olmayan Havalandırma Cihazları (Non-residential Ventilation Units-NRVU)  $Q_{max} > 250 \text{ m}^3/\text{h}$
- Evsel Havalandırma Cihazları (Üreticinin evsel kullanım için belirttiği durumlar için geçerlidir)  $1000 \text{ m}^3/\text{h} > Q_{max} > 250 \text{ m}^3/\text{h}$

### **Tek yönlü havalandırma üniteleri (Unidirectional Ventilation Units-UVU)**

İlgili cihaz direktifte Şekil 2.1'deki gibi tanımlanmıştır.

- Hava akışı tek yöne doğrudur (sadece taze hava veya egzoz havası).
- Taze hava girişi veya egzoz hava emişi tarafında F sınıfı ve üzeri bir filtre bulunmalıdır.
- Cihaz içerisinde aynı hava akışında olmak kaydıyla bir veya birden fazla fan olabilir.



Şekil 2.1. Tek yönlü havalandırma üniteleri

Direktifte, minimum fan verimi ve spesifik fan gücü (specific fan power - SFP<sub>ic</sub>) için limit değeri Çizelge 2.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 2.1. Spesifik fan verimi ve gücü değerlerinin ErP2016 ve ErP2018 karşılaştırması

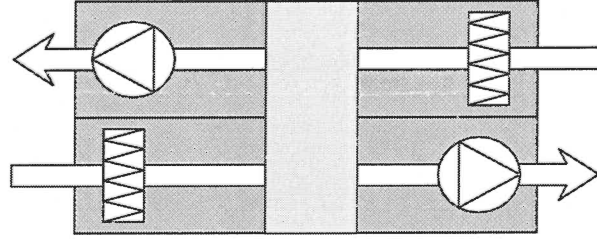
		ErP 2016	ErP 2018
Minimum Fan Verimi $\eta_s$ (%)	P $\leq$ 30 kW	6,2xln(P*)+35	6,2xln(P)+42
	P<30 kW	56,1	63,1
Model Cihaz için izin verilen Maksimum SFP <sub>ic</sub> [W/( m <sup>3</sup> /s)] değeri		250	230
Değişken devirli sürücü (VSD) zorunluluğu		Evet	Evet
Filtreler için basınç düşümü izleme zorunluluğu		Hayır	Evet

\* Nominal elektriksel güç beslemesi (kW), fan motorları ve motorların sürücüleri dahil, nominal dış basınç ve hava debisi noktasındaki efektif güç beslemesi.

### Çift yönlü havalandırma üniteleri (Bidirectional Ventilation Units-BVU)

İlgili cihaz direktifte Şekil 2.2’deki gibi tanımlanmıştır.

- Hava akışı çift yönlüdür (taze hava ve egzoz hava hattı bir arada bulunmalıdır).
- Taze hava girişinde F sınıfı, egzoz hava giriş tarafında da M sınıfı bir filtre bulunmalıdır.
- Cihazda bir ısı geri kazanım sistemi bulunmalıdır (HRS/IGK) ve verimi EN 308 koşullarında ölçülmelidir.



Şekil 2.2. Çift yönlü havalandırma ünitesi

Direktifte, minimum fan verimi ve SFP<sub>iç</sub> için limit değeri Çizelge 2.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 2.2. Spesifik fan verimi ve gücü değerlerinin ErP2016 ve ErP2018 karşılaştırması

		ErP 2016	ErP 2018
Isıl By-pass özellikli ısı geri kazanım sistem zorunluluğu		Evet	Evet
Isıl verim (EN308)*1 <sub>nt</sub> [%]	Plakalı / Rotorlu IGK	67	73
Model Cihaz için izin verilen maksimum SFP <sub>iç</sub> [W/(m <sup>3</sup> /s)] değeri	Plakalı / Rotorlu IGK	$q \leq 2 < 2 \text{ m}^3/\text{s}$	1.10 0 + E - 300 x q / 2 - F
		$q \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$	800 + E - F
IGK verimlilik eklentisi, E [W/(m <sup>3</sup> /s)]	Plakalı / Rotorlu IGK	$(\eta_t - 67) \times 30$	$(\eta_t - 73) \times 30$
Filtre düzeltme katsayısı, F [W/m <sup>3</sup> /s]	Model cihaz	0	0
	M5 Filtre yoksa	160	150
	F7 Filtre yoksa	200	190
	M5 + F7 filtre yoksa	360	340
Değişken devirli sürücü zorunluluğu		Evet	Evet
Filtreler için basınç düşümü izleme zorunluluğu		Hayır	Evet

\*1 EN 308 koşulları yoğuşmanın gerçekleşmediği i ve dış hava koşulları olup aşağıdaki şekilde alınmalıdır.

Dış hava koşulları: 5 °C Oda koşulları: 25 °C, % 28 RH (relative humidity-bağıl nem)

\*2 çalışma noktasındaki cihazın hava debisi (m<sup>3</sup>/s)

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

Ayrık ve merkezi sistemlerin enerji verimliliklerinin Ecodesign ErP2018 direktiflerine göre kıyaslamasını yapabilmek adına kullanılacak olan yöntem Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemidir. Ele alınan ayırık ve merkezi sistemler için incelenen örnek projenin tüm verileri kullanılarak, girdiler ve çıktılar oluşturulmuş olup, sırasıyla Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. Çıktılar kısmı, ayırık ve merkezi sistemler olarak ikiye ayrılmış şekilde yer almıştır.

**Çizelge 3.1.** Ayırık ve Merkezi Sistemler Veri Zarflama Analizi Yöntemi ile Karşılaştırması İçin Girdiler

	Guc (kw)	Hitap Ettigi Alan (m2)	Ilk Yatirim Maliyeti (USD)	Bakim Maliyeti (USD/yil)	Enerji Verimliliği (EER)	Cektigi Guç (W)	Kapladigi Alan ihtiyaci (m2)	Daha Büyük Hacimlerde Etkisi	Uygulama Zorluğu
Ayrık	27	79	8500	750	3.8	3780	5	50	100
Merkezi	27	79	10000	1500	3.5	8648	5	100	50

**Çizelge 3.2.** Ayırık ve Merkezi Sistemler Veri Zarflama Analizi Yöntemi ile Karşılaştırması İçin Çıktılar

	Ekonomik Omur (yil)	Ilk Yatirim Maliyetinin Geri Donus Suresi (yil)	Yillik Enerji Maliyeti USD (0.15 USD/kwh)
Ayrık	6	0.6	2225.664
Merkezi	12	0.26	5116.608

Çıktıları oluşturan ayırık sistemdeki verilerin hesaplanması Çizelge 3.3. ve Çizelge 3.4’te gösterilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Ayırık sistem kapasite verilerinin hesaplanması

Ayırık		btu	kw
	ic unite	18000	5.27
ic unite	2x7000	4.1	
ic unite	12000	3.52	
dis unite	48000	14	
		<b>27</b>	

Çizelge 3.4. Ayrık sistem verilerinin hesaplanması

ayrık	tip	model	cektigi güc (W)	ses basıncı (dBA) (y-o-d)	net boyut (g-y-d) mm	net ağırlık (kg)	cektigi güc (kw)	günlük çalışma süresi (saat)	haftalık kullanım (defa)	yılda kaç ay kullanılıyor	aylık tüketim (kwh)	aylık tüketim (usd)	yıllık tüketim (kwh)	yıllık tüketim (usd)
	ic unite	Samsung AM056FNTDEH/EU	45	40/35/30	1065x298x218	13	3.68	12	7	12	1236.48	185.472	14837.76	2225.664
		2x Samsung AM022FNTDEH/EU	25	32/28/23	825x285x189	8								
		Samsung AM036FNTDEH/EU	30	36/30/23	825x285x189	8								
	dis unite	Samsung AM050FXMDGH	3680	51	940x1210x330	100								



Çıktıları oluşturan merkezi sistemdeki verilerin hesaplanması Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

**Çizelge 3.5.** Merkezi sistem kapasite verilerinin hesaplanması

		btu	kw
	Merkezi	ic unite	18000
ic unite		2x7000	4.1
ic unite		12000	3.52
dis unite			14
			<b>27</b>

Çizelge 3.6. Merkezi sistem verilerinin hesaplanması

tip	model	cektigi güc (W)	ses basinci (dBA) (y-o-d)	net boyut (g-y-d) mm	net ağırlık (kg)	cektigi güc (kw)	günlük çalışma süresi (saat)	haftalık kullanım (defa)	yılda kaç ay kullanılıyor	aylık tüketim (kwh)	aylık tüketim (usd)	yıllık tüketim (kwh)	yıllık tüketim (usd)
merkezi	ic unite	103	44/44.5/45.5	1168x542x262	41	8.46	12	7	12	2842.56	426.384	34110.72	5116.608
	2x YORK YGFC05VE	37	36/37/39	906x542x262	32								
	YORK YGFC03VE	48	36/38/41	1026x542x262	35								
chiller	YORK YLCA15 TP	8460	43	905x1270x460	164								

### 3.1. Veri Zarflama Analizi (VZA)

Araştırmalarda bulunan girdiler kullanılarak, girdilerden çok çıktı sayısına ierlerinden birini referans noktası belirleyerek, faydalı olan seçeneğin hangisi olduğunun bulunmasına yardımcı olan bir analiz türüdür.

Etkinlik analizinde karşılaşılan zorlukları ortadan kaldıracabilecek bu çözümler, öncelikle kâr amacı gütmeyen işletmelerin karşılaşırmalı verimliliklerinin ölçülmesinde kullanılmış, daha sonra kâr amaçlı üretim ve hizmet sektörlerinde de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Yolalan, 1993).

Literatür taraması yapıldığı zaman VZA için birçok farklı tanım bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; “VZA, birden fazla girdi ve çıktı bulunan elemanlar kümesinde, hem girdilerin, hem de çıktıların nesnel biçimde bir etkinlik birimi içinde birleştirilemediği olaylarda göreceli etkinlik ölçümü için kullanılan bir yöntemdir” şeklinde tanımlanabilir (Kavuncubaşı, 1995), (Ersen, 1999). VZA’yı “VZA, bir karar verme şeklinin verimliliği açısından matematiksel olarak ağırlıklandırılmış çıktıların toplamının ağırlıklandırılmış girdilerin toplamına oranının en iyi performansı belirlediği sınıra göre pozisyonudur” şeklinde tanımlamıştır.

Veri Zarflama Analizi’nin kullanılmasındaki en büyük neden, girdi ve çıktıların ortak bir birimle ifade edilmediği durumlarda, ortak bir birim belirleyip kullanıcıya yardımcı olabilmesidir.

VZA’nın en sık kullanıldığı yerler bankacılık sektörü, kamu kuruluşları, eğitim, imalat, hastane uygulamalarıdır.

### 3.2. VZA Uygulama Süreçleri

Bir durumu ölçmek için VZA’ya başvurulduğunda konu ile ilgili yeterli sayıda girdi ve çıktının bulunması gerekmektedir. Yeterli girdi ve çıktıya sahip durum var ise VZA yöntemi uygulanabilir, ancak bu girdi ve çıktıların niteliği önem taşımaktadır. Eğer elde bulunan girdiler uygulama için elverişsizse durumun gereklilikleri tekrar gözden geçirilerek yeni girdi ve çıktılar belirlenmelidir.

Kısaca VZA uygulama süreçleri sekiz aşamada tamamlanabilir:

- Karar verme birimlerinin seçilmesi
- Girdi ve çıktılarının belirlenmesi
- Verilerin elde edilebilmesi ve güvenilirliği
- Etkinlik ölçme
- Etkinlik sınırı
- Referans grupları
- Etkin olmayan karar birimleri için hedef belirleme
- Sonuç değerlendirme

### **3.2.1. Karar Verme Birimlerinin (KVB) Seçilmesi**

Karar verme birimleri girdileri çıktılarına dönüştürebilecek birimlerdir. VZA’da ilk kademe olarak bu yapılmalıdır. Doğru sonuçları elde edebilmek adına atılan ilk adım birimlerle başlar, bu sebeple çıktıya dönüşme olasılığı yüzde yüz olan birimler belirlenmelidir. Karar verme birimlerinin birbiri ile olan ilintisi aynı örnek havuzunda bulunuyor ise mantıklı çıktılar elde edilmesini sağlar.

### **3.2.2. Girdi ve Çıktıların Belirlenmesi**

KVB’lerin belirlenmesinden sonraki en önemli adımlardan biri de girdi ve çıktıların belirlenmesi aşamasıdır. Girdi ve çıktıların belirlenmesinin önemli olmasının sebebi sonucu etkileyecek değişkenlerin bu aşamada belirleniyor olmasıdır. Girdi ve çıktıların sayısı VZA’nın verimliliğini düşürmemek için çok fazla olmamakla birlikte çok az da olmamalıdır. Böylelikle doğru sonuca ulaşmak için makul sayıda belirlenen girdi ve çıktılar yeterli olmaktadır.

Belirlenen girdi ve çıktıların nicel olması tercih sebebi olmakla birlikte, nitel girdilerin de nicel verilere dönüştürülebilmesi sağlıklı sonuçlar elde edilmesini sağlar. Makul sayıda girdi ve çıktılar belirlendikten sonra VZA yaptığı hesaplama ile doğru sonuçların elde edilerek çalışmaya ışık tutacaktır.

### **3.2.3. Verilerin Elde Edilebilmesi ve Güvenilirliği**

KVB’ler için kullanılacak girdi, çıktı ve verilerin belirlenmesi VZA’da kullanılabilmesi için önemlidir. KVB için veriler elde edilemediği takdirde, bu veriler denklemden çıkarılması gerekmektedir. VZA’da bir veri çıkartıldığında, kalan veriler

yüksek görünebilir ve bu da yanıltıcı sonuçlar doğurabilir. Eğer bir girdi veya çıktı için verilere ulaşılamıyorsa, daha kolay veri elde edilebilecek ve bu ilişkiyi açıklayabilecek yeni girdi ve çıktılarını bulunarak eklenmesi gerekmektedir. Verilerin bir araya getirilebilmesi kadar güvenilirlikleri de önem teşkil etmektedir. Doğru olmayan veriler ait oldukları birimin etkinlik değerini etkiler ve diğer tüm verileri de etkileyip sonucu yanlış verebilir. Bu sebeple tüm birimler iyi bir şekilde gözden geçirilmeli ve güvenilirlikleri sorgulanmalıdır (Yavuz, 2001).

#### 3.2.4. Etkinlik Ölçme

VZA ile değerlendirme aşaması, karşılaştırmalı olarak değerlendirilecek olan karar birimlerinden oluşan incelenecek kümenin belirlenmesi, doğru girdi ve çıktı veri kümelerinin belirlenmesi ve bu veri kümelerinin elde edilip güvenilirliklerinin gözden geçirilmesiyle başlar. Daha sonra, incelenen konu ile ilgili uygun bir model kurulur. Ve bu modelleme ile birlikte çözüm kümelerine ulaşılması kolaylaşır (Yolalan, 1993). Sistemdeki girdi ve çıktılarla matematiksel model oluşturulur ve hastane uygulamalarında çok fazla değişken ile kurulan model sağlıklı sonuç vermede başarı sağlayabilir (Bilsel, Davutyan, 2011).

Yolalan (1993) VZA'nın etkinliğinin nasıl ölçüldüğünü; "Herhangi bir inceleme kümesi içinde en az girdi bileşimini kullanarak en çok çıktı bileşimini üreten "en iyi" incelemeleri belirler" şeklinde tanımlar.

#### 3.2.5. Etkinlik Sınırı

Charnes, Cooper ve Rhodes'un etkinlik tanımlamalarında, bir karar birimi için yüzde yüz etkinliğin tanımı;

- Çıktı Yönelimi: Bir ya da birden fazla girdinin sayısının çoğaltılması veya diğer çıktılardan bazılarının sayısının düşürülmesi durumları dışında hiçbir çıktı arttırılamıyorsa veya
- Girdi Yönelimi: Çıktılardan bazılarının sayısının düşürülmesi veya diğer bazı girdilerin sayısının çoğaltılması durumları dışında hiçbir girdi azaltılamıyorsa durumlarında söz konusudur (Charnes vd., 1981).

### 3.2.6. Referans Grupları

VZA yöntemindeki kıyaslama tekniği incelendiğinde, etkin KVB'lerin bulunması ve etkin olmayan KVB'lerin de göreceli olarak verimli birimlerin uyguladığı yöntemleri uygulayarak, aynı verimlilik seviyesine ulaşabilme ihtimali olduğu görülür. Bu ihtimal, etkin olmayan bir karar biriminin aynı girdi ve çıktı kombinasyonlarını kullanarak daha iyi bir performans tutturulabileceğini KVB'lerin olması sayesinde kanıtlar (Aydemir, 2002).

### 3.2.7. Etkin Olmayan Karar Birimleri İçin Hedef Belirleme

İnceleme kümesinde bulunan KVB benzerlikleri VZA'daki karşılaştırma için büyük önem taşır. Elde edilebilir hedefler, etkin olmayan KVB'lerin inceleme kümelerinin belirlenmesiyle fayda sağlar. Bu hedefler genellikle etkin olmayan KVB'ler ile etkin olan KVB'lerin ağırlıklandırılmış ortalamasıyla ortaya çıkar. Hesaplamalarda ortaya çıkan veriler, etkin KVB'lerin elde edilebilir bir teknoloji kullandıkları varsayımıyla, etkin olmayan KVB'ler için de ulaşılabilir kabul edilmektedir. Fakat pratikte bu çoğunlukla gerçekleşemez. Etkin olmayan birimlerde bazı kısıtlar veya kontrol edilmeyen girdiler olabilir (Yavuz, 2001).

### 3.2.8. Sonuç Değerlendirme

VZA uygulama sürecindeki son adımda, bütün KVB'ler için konulan girdi ve çıktılar değerlendirilir. Daha sonra ortaya çıkan sonuçlar KVB'ye göre değerlendirilip yorumlanır. Bütün hepsi incelendikten sonra, tüm girdi ve çıktıların göz önünde bulundurulduğu genel değerlendirme aşamasına geçilir. VZA ile belirlenen hedeflere bazı durumlarda erişilemese de, elde edilen bilginin daha sonra değerlendirilebilmesi, iyileştirmelere açık olunması önem taşımaktadır. VZA'nın farkında olmadan yardımcı olduğu konular vardır. Bunlar etkinlik stratejilerinin kontrol edilebilmesi, kaynakların araştırılıp paylaşılabilmesi, nasıl etkin çalışılabilir konusunda araştırmaların yapılması, amaçların oluşturulması gibi konulardır (Bousofiane vd., 1991; Aydemir, 2002). Ulucan (2000) çalışmasında VZA uygulandıktan sonra, yapılan araştırmadaki performans ölçümünde özet olarak;

- Etkin karar birimleri,

- Etkin olmayan karar birimleri,
- Etkin olmayan karar birimleri tarafından kullanılan fazla kaynak miktarı,
- Etkin olmayan karar birimlerinin eldeki girdilerle olması gereken çıktı seviyesinin belirlenmesini elde etmiştir.

### 3.3. Kullanılan Program

Veri zarflama analizinin sağlıklı sonuçlarını elde edebilmek için kullanılan farklı programlar bulunmaktadır. Araştırmadaki verilerin girilip, yöntem kısmında anlatılan süreçleri gerçekleştirebilmek adına tüm basamakların açık bir şekilde görülebildiği DEA (Data Envelope Analysis) Frontier Analysis yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde Excel içindeki çözücü ile lineer programlama tekniği ile hesaplama yapmaktadır. Bu program Microsoft Excel programına eklenti olarak yüklenerek çalıştırılır. Başlıca belirlenen girdi ve çıktılar oluşturulduktan sonra çözücü çalıştırılarak modelin girdiye göre mi, çıktıya göre mi incelenmesi gerektiğini kullanıcıya sunar. Excel çözücü doğrusal programlama mantığıyla çalışmaktadır.

Doğrusal programlama; karşılıklı ilişkileri doğrusal nitelikte olan ve sınırları kısıtlı kaynaklarla çevrili iki veya daha fazla değişkenlerin, belirlenen amacı en iyi hale getirecek (maksimize veya minimize) şekilde miktarlarının bulunması yöntemidir. Yani maksimize veya minimize edilecek bir amaç fonksiyonu, bu amacın kısıtları ve amaca ulaşmak için alternatif modeller kurulur. Bu üç öge doğrusal programlama tekniğinin ana çerçevesini oluşturmaktadır. Doğrusal programlama; oluşturulan amaç fonksiyonunu gerçekleştirmek için kısıtlı kaynakların etkin kullanımını sağlayan matematiksel bir tekniktir.

#### 4. UYGULAMA: AYRIK VE MERKEZİ KLİMA SİSTEMLERİ KARŞILAŞTIRMASI

Bu uygulamada, iki katlı bir villanın ayırık sistemler ve merkezi sistemler kullanılarak ilk yatırım maliyeti, bakım maliyeti, enerji verimliliği, çektiği güç, kapladığı alan ihtiyacı, ekonomik ömrü, ilk yatırım maliyetinin geri dönüş süresi, yıllık enerji maliyeti, sağladığı fayda ve uygulama zorluğunun karşılaştırılması incelenmektedir.

##### 4.1. Örnek Proje

Bu çalışma için seçilmiş olan örnek proje, iki katlı bir villa olup (Şekil 4.1), kat yerleşim planı Şekil 4.2’de verilmektedir.

İki katlı villa projesi, İstanbul  
Ortalama kat yüksekliği: 2.5 metre

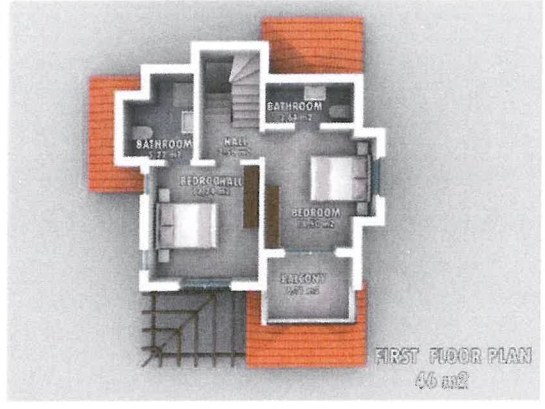


Şekil 4.1. Örnek proje olarak seçilen iki katlı villa  
(<http://www.kibrismimarlik.com/projeler/villa/ornek-villa/ornek-villa-tasarimi-81.html>)





Giriş Katı



1. Kat



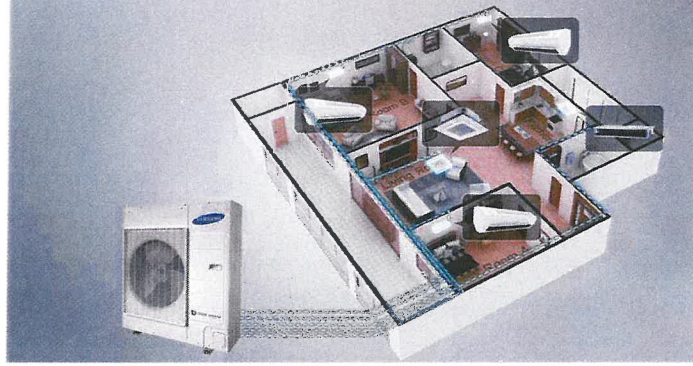
Çatı Katı

**Şekil 4.2.** Örnek proje olarak seçilen iki katlı villanın kat yerleşim planı (<http://www.kibrismimarlik.com/projeler/villa/ornek-villa/ornek-villa-tasarimi-81.html>)

#### 4.2. Ayrık Klima Çözümü

Öncelikli olarak bireysel klima çözümü olan ayrık sistemin incelenmesi için katlara ilgili ürünler yerleştirilmiş olup, hesaplama kabulleri yapılmıştır. Bu kabullere

göre ayrı sistemlerin ilk yatırım maliyeti, enerji maliyet hesabı ve bakım maliyetleri bulunmuştur.



**Şekil 4.3.** Dış ünite ve iç ünitelerin yerleşim planı

(<https://www.caldaiemurali.it/climatizzatore-condizionatore-samsung-inverter-dual-split-maldives-quantum-r-32-12000-12000-btu-con-aj050ncj-12-12-a-a-new.html>)

Soğutma sistemi;

Çok iç üniteli VRV Klima

Dizayn Sıcaklıkları;

Yaz Dış Hava Sıcaklığı; 34 C KT (kuru termometre)

Yaz İç Ortam Dizayn Sıcaklığı: 27 C KT

Hesaplama Kabulleri;

İstanbul il sınırları içerisinde yer alan villa projesi için, iklimlendirme gereken odalarda m<sup>3</sup> başına gerekli soğutma kapasitesi çarpanı için 200 Btu/h/m<sup>3</sup> kabulü yapılmıştır.

(ASHRAE HANDBOOK 2000, HVAC Systems and Equipment. Chapter 20 (HUMIDIFIERS))

(<http://mmoteskon.org/wp-content/uploads/2014/12/1997-05.pdf>)

Bu kabullere göre yaklaşık soğutma kapasitesi ihtiyacı kat bazında ;

Giriş Katı;

- $35 \times 2,5 \times 200 = 17.500$  Btu/h

1.Kat;

- $(12 + 12) \times 2,5 \times 200 = 12.000$  Btu/h

Çatı Katı;

- $20 \times 2,5 \times 200 = 10.000$  Btu/h

Seçilen iç üniteler;

- Giriş Katı: 18.000 Btu/h Duvar tipi – Samsung AM056FNTDEH/EU
- 1. Kat: 2 x 7.000 Btu/h Duvar tipi– Samsung AM022FNTDEH/EU
- Çatı Katı: 12.000 Btu/h Duvar tipi– Samsung AM036FNTDEH/EU

(<https://www.samsungvrfurkiye.com/samsung-vrf-detay/samsung-vrf-neo-forte-am056fntdeh-duvar-tipi-ic-unite/>)

(<https://www.samsungvrfurkiye.com/samsung-vrf-detay/samsung-vrf-neo-forte-am022fntdeh-duvar-tipi-ic-unite/>)

Seçilen Dış Ünite: VRV Dış Ünite 5 HP – 48.000 Btu/h – Samsung

AM050FXMDGH

(<https://www.samsungvrfurkiye.com/samsung-vrf-detay/samsung-vrf-dvm-s-eco-mini-am050fxmdgh-dis-unite/>)

İlk Yatırım Maliyet Hesabı;

- İç üniteler :  $4 \times 500 = 2.000,-$  USD
- Dış ünite :  $1 \times 5 \text{ HP} = 4.500,-$  USD
- Bakır borulama ve işçilik : 2.000,- USD
- Toplam yatırım maliyeti = 8.500,- USD

Enerji Maliyet Hesabı;

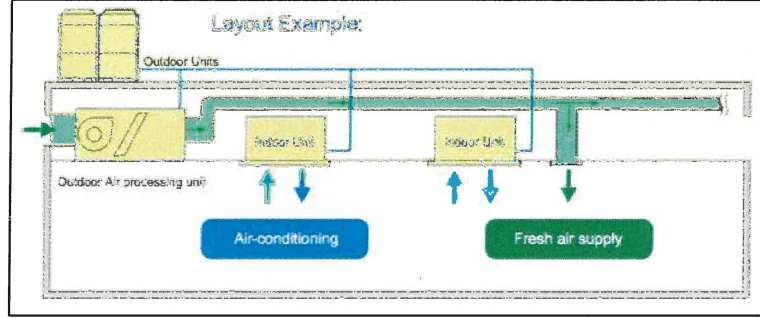
- Enerji verimliliği katsayısı : 3.8 EER

Bakım Maliyetleri;

- Senelik : 750,- USD

### 4.3. Merkezi Sistem Klima Çözümü

İkinci olarak merkezi sistem klima çözümü ile aynı villa hesaplama kabulleri ile değerlendirilmiştir. Bu kabullere göre merkezi sistemlerin ilk yatırım maliyeti, enerji maliyet hesabı ve bakım maliyetleri bulunmuştur.



Şekil 4.4. Klima santrali, soğutma grubu ve fan coillerin yerleşim planı

Soğutma sistemi;

Sulu bataryalı döşeme tipi fancoil, taze hava ısı geri kazanım cihazı, hidronik paketli soğutma grubu

Dizayn Sıcaklıkları;

Yaz Dış Hava Sıcaklığı; 34 C KT

Yaz İç Ortam Dizayn Sıcaklığı: 27 C KT

Hesaplama Kabulleri;

İstanbul il sınırları içerisinde yer alan villa projesi için, iklimlendirme gereken odalarda m<sup>3</sup> başına gerekli soğutma kapasitesi çarpanı için 200 Btu/h/m<sup>3</sup> kabulü yapılmıştır.

Taze Hava Oranı;

- 3.5 l/s -kişi başı (ASHRAE 62.2)
- 15 l/s -100 m<sup>2</sup> başına (ASHRAE 62.2)

Bu duruma göre yaklaşık soğutma kapasitesi ihtiyacı kat bazında;

Giriş Katı;

- 35 x 2,5 x 200 = 17.500 Btu/h

1. kat;

- $(12 + 12) \times 2,5 \times 200 = 12.000 \text{ Btu/h}$

Çatı Katı;

- $20 \times 2,5 \times 200 = 10.000 \text{ Btu/h}$

Seçilen iç üniteler ;

- Giriş Katı : 18.000 Btu/h Döşeme Tipi Fancoil – YORK YGFC05VE
- 1. Kat : 2 x 7.000 Btu/h Döşeme Tipi Fancoil – YORK YGFC02VE
- Çatı Katı : 12.000 Btu/h Duvar tipi– Döşeme Tipi Fancoil – YORK YGFC03VE

([https://www.johnsoncontrols.com/en\\_au/-/media/jci/be/australia/air-systems/fancoil-units/product\\_catalog\\_ygfcme\\_en\\_publ7074\(0915\).pdf?en](https://www.johnsoncontrols.com/en_au/-/media/jci/be/australia/air-systems/fancoil-units/product_catalog_ygfcme_en_publ7074(0915).pdf?en))

Seçilen Soğutma Grubu: 14 kW – YORK YLHA15TP

(<http://frostyleice.co.uk/wp-content/uploads/2016/08/York-Water-Chiller.pdf>)

Taze hava miktarı;

- Kişi sayısı x 7,5 x 3,6 = 6 x 3,5 x 3,6 = 75 m<sup>3</sup>/h
- 100 m<sup>2</sup> x 15 x 3,6 = (46+46+37)/100 x 15 x 3,6 = 70 m<sup>3</sup>/h
- Toplam taze hava oranı = 145 m<sup>3</sup>/h

Seçilen Taze Hava Isı Geri Kazanım Cihazı : 600 m<sup>3</sup>/h (ERP2018 Uyumlu) – Trox XCube600

İlk Yatırım Maliyet Hesabı;

- Fancoil: 4 x 250 = 1.000,- USD
- Soğutma grubu: 1 x 14 kW = 5.000,- USD
- Isı geri kazanım cihazı: 1.000,- USD
- Hava kanalı, su tesisatı ve işçilik : 3.000,- USD
- Toplam yatırım maliyeti: 10.000,- USD

Enerji Maliyet Hesabı;

- Enerji verimliliği katsayısı: 3.5 EER

Bakım Maliyetleri;

- Senelik: 1.500,- USD

#### **4.4. Sistemlerin Karşılaştırılması**

Ayrık Sistem ile Merkezi Sistemler için elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, merkezi sistemlerin daha verimli olduğu görülmektedir. Bu sistemlere eklenen girdi ve çıktılarının yanı sıra insan sağlığı açısından ancak sadece nitel bir şekilde değerlendirilebilen hususların da merkezi sistemler sayesinde minimuma indirilebildiği görülmektedir. İnsanın kapalı bir ortamda yüzde yüz taze havaya ihtiyacı vardır ve bunun da bakımları düzenli yapıldığı takdirde merkezi sistemler sayesinde yüzde yüz taze havalı bir şekilde iklimlendirme ile sürdürmesi uygundur.

## 5. BULGULAR

Ölçeğe göre sabit getiri (CRS) varsayımına dayalı, Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR) girdi odaklı model, karar birimlerinin ölçeğe göre getiri durumunu niteliksel tanımlamak için kullanılır.

VZA'da amaç; KVB'lerin etkinliklerini ölçmektir. Karar birimi, ya etkinsiz bir şekilde işletilirse ya da çalışma şartları içerisinde dezavantajlı bir duruma sahip olursa etkinsiz olur (Kutlar ve Babacan, 2008). Bunu belirleyebilmek için de CRS etkinlik skorunun VRS etkinlik skoruna bölümü ile elde edilen ölçek etkinliğine başvurulur. CRS ve VRS modelleri de girdi ya da çıktı odaklı olarak kurulabilirler.

Durumlara göre birçok VZA modeli kurulabilir. Bu modeller girdiye ve çıktıya bağlı olmak üzere ikiye ayrılır.

- Girdiye bağlı olanlar; herhangi bir çıktı düzeyi için etkin olmayan karar birimlerinin girdilerini ne derece azaltmaları gerektiğini araştırırlar.
- Çıktıya bağlı olanlar; herhangi bir girdi bileşimi için etkin olmayan karar birimlerinin etkin duruma getirilebilmesi amacıyla çıktıları ne kadar artıracabilecekleri üzerinde dururlar.

Eğer modelleme girdi üzerine kurulduysa, çıktı düzeyini sabit tutarak böylece çıktının teknik olarak etkin olmadığını ölçmeye çalışır. Eğer modelleme çıktı üzerine kurulduysa tam tersi kullanılarak etkinsizlik ölçümü yapılır. İki modelleme değerinin CRS altında aynı değeri verdiği ve VRS altında biraz farklı olduğu izlenmiştir. Yapılan çalışmalarda öncelikli girdi miktarı olarak ortaya çıkan sonuç olduğundan genellikle girdi odaklı modellemeler seçildiği görülmüştür. Tam tersinin gerçekleştiği durumlar da söz konusudur ve böyle bir durumda da çıktı odaklı model daha uygundur. Modelin seçimi, elde edilen skor değerleri üzerinde küçük bir etkiye sahiptir (Coelli ve Perelman, 2000).

Bir karar biriminin etkinsizliğinin kaynağı, karar biriminin etkinsiz faaliyetlerinden mi kaynaklı yoksa karar biriminin faaliyet gösterdiği dezavantajlı koşullardan mı kaynaklı olduğu belirlenebilir. VRS modeli bütün kombinasyonların

üretim olanakları kümesini oluşturduğu düşünülür. Bu yüzden VRS skoru lokal saf teknik etkinlik olarak adlandırılmaktadır. CRS modelinde ise ölçeye göre sabit getirili üretim olanakları kümesi varsayılır. Bir karar birimi hem CRS hem de VRS skorlarında tam etkinse en verimli ölçek büyüklüğünde faaliyet gösteriyor demektir. Fakat karar birimi tam VRS skorlu buna karşın düşük CRS skoruna sahipse o zaman lokal olarak etkin olup ölçek büyüklüğünden dolayı global olarak etkin olmadığı sonucuna varılır. Bu yüzden iki skor değeri oranlanarak Ölçek Etkinliği (Scale Efficiency-SE) elde edilir (William W. Cooper ve diğerleri, 2011).

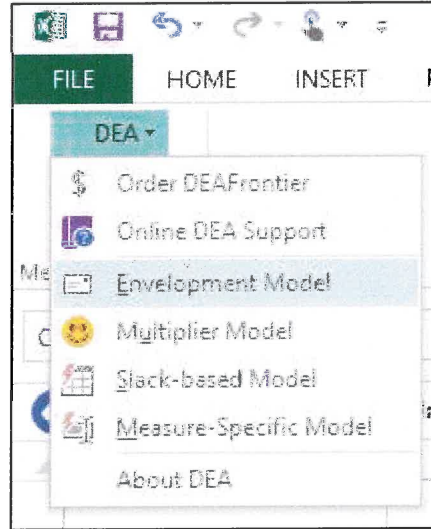
CRS modelinde etkin bulunan bir karar birimi VRS modelinde de etkin ve ölçeye göre sabit getirilidir (William W. Cooper ve diğerleri, 2011). Ama bunun tersi her zaman doğru değildir. Yani VRS etkinliği CRS etkinliğine göre daha olumlu sonuçlara sahiptir. Bu yüzden ülkelerin etkinlik değerlendirmesinde CRS modeli dikkate alınmaktadır. VRS skorları ise ölçek etkinliğinin hesabında kullanılmaktadır. Çünkü ölçek etkinsizliği, operasyonel olmayan tamamen yönetimin dışındaki etkenlere bağlıdır. Bir karar biriminin ölçek büyüklüğü, ya ölçeye göre artan getiri ya da ölçeye göre azalan getiri özelliğindedir. Ölçek etkinsizliği olmayan bir karar birimi sabit ölçek özelliğine sahiptir. Ölçeye göre artan getiri özelliğini sergileyen ve etkin olmayan karar birimi, aynı girdi ile fazla çıktı üretebilecekken daha az çıktı üretmektedir. O halde bu karar birimi potansiyelini daha iyi kullanıp daha fazla çıktı üretebilir demektir. Potansiyelini iyi kullanamama sebebi tamamen dış etkilerden kaynaklanmaktadır. Kapasite kullanımının yetersizliği anlamına gelen bu nedenler etkinsizliği artırmaktadır. Bazen de bir karar biriminde bir birimlik girdi ile bir birimden daha az çıktı üretilebilir. Ölçeye göre azalan getiri sergileyen ve etkin olmayan bu karar birimleri, aynı girdi ile fazla çıktı üretmesi beklenirken bu fazla çıktıyı üretemez konuma gelmiştir. Bu karar birimlerinin etkinsiz bir şekilde işletildiği anlamına gelir. Bu karar birimlerinin etkinliğinin artması için kaynaklarını daha iyi kullanması yani ölçeklerini küçültmeleri gerekir. Ayrık ve merkezi sistemlerin karşılaştırılması için belirlenen girdi ve çıktıların VZA yöntemi ile incelendiğinde sabit getiri ve değişken getirilerden hangisine göre daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Şekil 5.1'de, girdi ve çıktıların DEA'da yerleştirilmesi görülmektedir.



	Guc	Hirap ettigi alan	Ilk yatırım maliyeti	Bakım Maliyeti	Enerji Verimliliği	Cektiği Güc	Kapladığı Alan İhtiyacı	Daha Büyük Hacimlerde Etkisi	Uygulama Zorluğu	Ekonomik Omur	İlk Yatırım Maliyetinin Geri Dönüş Süresi	Yıllık Enerji Maliyeti
Merkezi	27	79	10000	1500	3.5	8648	5	100	50	12	0.26	2225.66
Ayrık	27	79	8500	750	3.8	3780	5	50	100	6	0.6	5116.61

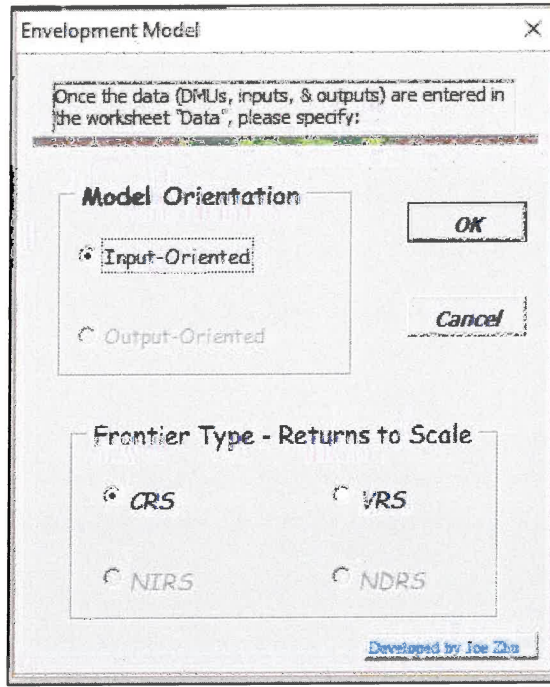
Şekil 5.1. Girdi ve çıktıların DEA’da yerleştirilmesi

Hesaplama da kullanılan zarflama yöntemi modelinin seçilmesi ise, Şekil 5.2’de verilmektedir.



Şekil 5.2. Zarflama yönteminin seçilmesi

Zarflama yönteminin CRS’ye göre hesaplanması, Şekil 5.3’te gösterilmekte olup, elde edilen sonuca göre, merkezi ve ayrık sistem verimlerinin aynı olduğu Şekil 5.4’te görülmektedir.

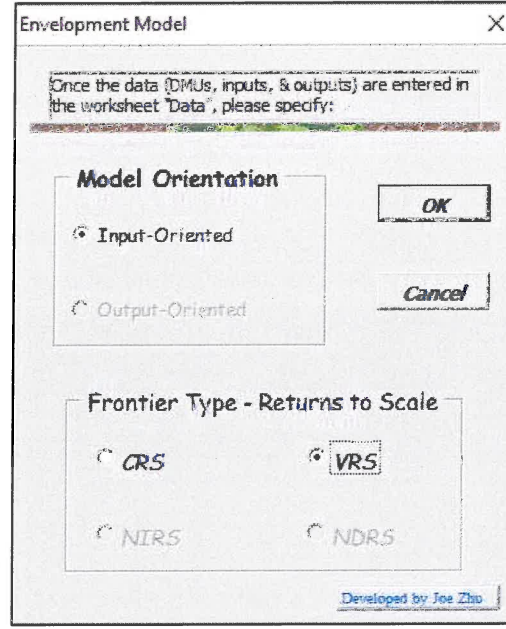


Şekil 5.3. Zarflama yönteminin CRS'ye göre hesaplanması

DMU No	DMU Name	Efficiency	Sum of lambdas	RTS	Optimal Lambdas with Benchmarks
1	Merkezi	1.00000	1.000	Constant	1.000 Merkezi
2	Ayrık	1.00000	1.000	Constant	1.000 Ayırık

Şekil 5.4. Merkezi ve ayırık sistem verimleri sonucu

Zarflama yönteminin VRS'ye göre hesaplanması, Şekil 5.5'te gösterilmekte olup, yapılan hesaplama sonucunda ayırık ve merkezi sistemlerin verimliliğinin eşit çıktığı, Şekil 5.6'da görülmektedir.



Şekil 5.5. Zarflama yönteminin VRS'ye göre hesaplanması

DMU No.	DMU Name	Efficiency	Optimal Lambda with Benchmark
1	Merkezî	1.00000	1.000 Merkezî
2	Ayırık	1.00000	1.000 Ayırık

Şekil 5.6. VRS'ye göre hesaplandığında ayırık ve merkezi sistemlerin sonucu

Çıktılarda yapılan değişimlerde CRS veya VRS getirilerinden hangisinin etkin olduğu aşağıdaki şekillerde incelenmiştir.

İlk yatırım maliyetinin geri dđnüş süresi çıkarıldığında CRS modeline göre değişim Şekil 5.7’de gösterilmiştir. Her iki sistemin değerleri de aynı çıktığı görölmektedir.

DMU No	DMU Name	Efficiency	Sum of lambdas	RTS	Optimal Lambdas with Benchmarks
1	Merkezi	1.00000	1.000	Constant	1.000 Merkezi
2	Ayrik	1.00000	1.000	Constant	1.000 Ayrik

Şekil 5.7. İlk yatırım maliyetinin geri dđnüş süresi çıkarıldığındaki CRS sonucu

İlk yatırım maliyeti çıkarıldığında VRS modeline göre değişim Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Her iki sistemin de eşit çıktığı görölmektedir.

DMU No.	DMU Name	Efficiency	Optimal Lambdas with Benchmarks
1	Merkezi	1.00000	1.000 Merkezi
2	Ayrik	1.00000	1.000 Ayrik

Şekil 5.8. İlk yatırım maliyetinin geri dönüş süresi çıkarıldığında VRS sonucu

Ekonomik ömür çıkarıldığında CRS modeline göre değişim Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Merkezi sistemlerin 0,86997 oranında artırılması gerektiğini göstermektedir.

DMU No.	DMU Name	Efficiency	Sum of lambda	Optimal Lambdas
1	Merkezi	0.86997	0.435 Increasing	0.435 Ayrik
2	Ayrik	1.00000	1.000 Constant	1.000 Ayrik

Şekil 5.9. Ekonomik ömür çıkarıldığında CRS modeline göre sonucu

Ekonomik ömür çıkarıldığında VRS modeline göre değişim Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Her iki sistemin de eşit çıktığı görülmektedir.

DMU No.	DMU Name	Efficiency	Optimal Lambdas with Benchmark:
1	Merkezi	1.00000	1.000 Merkezi
2	Ayrik	1.00000	1.000 Ayrik

Şekil 5.10. Ekonomik ömür çıkarıldığında VRS modeline göre sonucu

Yıllık enerji maliyeti çıkarıldığında CRS modeline göre değişim Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Her iki sistemin değerleri de aynı çıktığı görülmektedir.

DMU No.	DMU Name	Efficiency	Sum of lambdas	CRS	Optimal Lambdas with Benchmark:
1	Merkezi	1.00000	1.000	Constant	1.000 Merkezi
2	Ayrik	1.00000	1.000	Constant	1.000 Ayrik

Şekil 5.11. Yıllık enerji maliyeti çıkarıldığında CRS modeline göre sonucu

Yıllık enerji maliyeti çıkarıldığında VRS modeline göre değişim Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Her iki sistemin de eşit çıktığı görülmektedir.

DMU No.	DMU Name	Efficiency	Optimal Lambda with Benchmarks
1	Merkezi	1.00000	1.000 Merkezi
2	Ayrik	1.00000	1.000 Ayrik

Şekil 5.12. Yıllık enerji maliyeti çıkarıldığında VRS modeline göre sonucu

VRS (değişken getiri) modeli kullanıldığında gerek girdilerin, gerekse çıktılarının değiştirilmesi esnasında etkinlik bakımından sonuçlarda herhangi bir fark görülmediğinden farklı sonuçların gözlemlenebildiği CRS (sabit getiri) modeli seçilmiştir. Bununla beraber CRS modeli seçildiğinde girdiler arasında yapılan değişiklikler sonucunda, hangi girdinin etkin veya etkin olmadığını tespit etmek mümkün olduğundan analiz için CRS modeli tercih edilmiştir.

### CRS Modelinde Etkin Olmayan Birimlerin Sistemden Çıkarılması

Veri zarflama analizinde sonuçları doğrudan veya dolaylı olarak bile etkilemeyen birimlerin sistemden çıkarılması, yapılan araştırmanın daha sağlıklı bir sonuç vermesine imkan sağlar. Bu noktada DEA ile yapılan zarflama modelinde sisteme etkisi olmayan, sonucunu varlığı ile değiştirmeyen girdiler çıkarılmıştır.

Öncelikli olarak ‘Güç’ girdisi modelden çıkarılmış olup, sonucu Şekil 5.13’te gösterilmiştir.

DMU No.	DMU Name	Efficiency	Sum of lambdas	RTS	Optimal Lambdas with Benchmarks
1	Merkezi	1.00000	1.000	Constant	1.000 Merkezi
2	Ayrik	1.00000	1.000	Constant	1.000 Ayrik

Şekil 5.13. Güç girdisi çıkarıldığındaki sonuç

Burada çıkan sonuç, 'Güç' girdisi bulunduğundaki sonuç ile aynıdır. Bunun sebebi ise merkezi sistemin de, ayrik sistemin de güç (kapasite) değeri aynıdır. Bu sebeple, bu girdi sistemden çıkarılabilir.

Daha sonra 'Hitap Ettiği Alan' girdisi modelden çıkarılmış olup, sonucu Şekil 5.14'te gösterilmiştir.



Input-Oriented		CRS		Sum of lambdas		Optimal Lambdas with Benchmarks	
DMU No.	DMU Name	Efficiency			RTS		
1	Merkezi	1.00000		1.000	Constant	1.000	Merkezi
2	Ayrık	1.00000		1.000	Constant	1.000	Ayrık

**Şekil 5.14.** Hitap ettiği alan girdisi çıkarıldığındaki sonuç

Burada çıkan sonuç ‘Hitap Ettiği Alan’ girdisi bulunduğu sonuç ile aynıdır. Bunun sebebi ise merkezi sistemin de, ayrık sistemin de hitap ettiği alan değeri aynıdır. Bu sebeple, bu girdi sistemden çıkarılabilir.

‘İlk Yatırım Maliyeti’ girdisi modelden çıkarılmış olup, sonucu Şekil 5.15’te gösterilmiştir.

DMU No.	DMU Name	Efficiency	Sum of lambdas	RTS	Optimal Lambdas with Benchmarks
1	Merkezi	1.00000	1.000	Constant	1.000 Merkezi
2	Ayrık	1.00000	1.000	Constant	1.000 Ayrık

Şekil 5.15. İlk yatırım maliyeti girdisi çıkarıldığındaki sonuç

Burada çıkan sonuç 'İlk Yatırım Maliyeti' girdisi bulunduğundaki sonuç ile aynıdır. Bunun sebebi ilk yatırım maliyeti her iki sistemde birbirine yakın ve sonucu etkileyecek kadar bile bir değerinin olmamasıdır. Bu sebeple, bu girdi sistemden çıkarılabilir.

'Bakım Maliyeti' girdisi modelden çıkarılmış olup, sonucu Şekil 5.16'da gösterilmiştir.

DMU No.	DMU Name	Efficiency	Sum of lambdas	RTS	Optimal Lambdas with Benchmarks
1	Merkezi	1.00000	1.000	Constant	1.000 Merkezi
2	Ayrik	1.00000	1.000	Constant	1.000 Ayrik

**Şekil 5.16.** Bakım maliyeti girdisi çıkarıldığındaki sonuç

Burada çıkan sonuç ‘Bakım Maliyeti’ girdisi bulunduğundaki sonuç ile aynıdır. Bunun sebebi ilk yatırım maliyeti her iki sistemde birbirine yakın ve sonucu etkileyecek kadar bile bir değerinin olmamasıdır. Bu sebeple, bu girdi sistemden çıkarılabilir.

‘Enerji Verimliliği’ girdisi modelden çıkarılmış olup, sonucu Şekil 5.17’de gösterilmiştir.

Inputs	Outputs
Guc	Ekonomik Ömür
Hitap ettigi alan	İlk Yatırım Maliyetinin Geri Dönüş Süresi
İlk yatırım maliyeti	Yıllık Enerji Maliyeti
Bakım Maliyeti	
Çektigi Güç	
Kıpladığı Alan İhtiyacı	
Daha Büyük Hacimlerde Etkisi	
Uygulama Zorluğu	

DMU No.	DMU Name	Efficiency	Sum of lambdas	RTS	Optimal Lambdas with Benchmarks
1	Merkezi	1.00000	1.000	Constant	1.000 Merkezi
2	Ayrık	1.00000	1.000	Constant	1.000 Ayrık

Şekil 5.17. Enerji verimliliği girdisi çıkarıldığındaki sonuç

Burada çıkan sonuç ‘Enerji Verimliliği’ girdisi bulunduğu sonuç ile aynıdır. Bunun sebebi ilk yatırım maliyeti her iki sistemde birbirine yakın ve sonucu etkileyecek kadar bile bir değerinin olmamasıdır. Bu sebeple, bu girdi sistemden çıkarılabilir.

Bakım maliyeti ve çektiği güç aynı anda çıkarıldığında ve çıktılar arasında değişimde sadece değişiklik gösteren ekonomik ömür de kaldırıldığında değişim Şekil 5.18’deki gibi olmaktadır. Buradan ekonomik ömrün aslında girdi – çıktı uyumundan ötürü alternatiflerin değerlendirilmesinde denge sağlamıyor sonucuna varılmaktadır.

DMU No.	DMU Name	Efficiency	Sum of lambdas	RTS	Optimal Lambdas with Benchmarks
1	Merkezi	0.86997	0.435	Increasing	0.435 Ayrik
2	Ayrik	1.00000	1.000	Constant	1.000 Ayrik

Şekil 5.18. Bakım maliyeti, çektiği güç ve ekonomik ömür kaldırıldığında sonuç

Birbiri ile aynı veya yakın kabul edilen girdi değerleri sistemde hangi girdinin etkin olmadığını, sistemden çıkarılabileceğini göstermektedir. Bütün analizlerin sonucu aşağıdaki matrislerde özetlenmiş bir şekilde gösterilmiştir.

CRS modeline göre ilk incelenen sonuçta verimliliklerin eşit olduğu Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. CRS modeli ilk hesaplaması sonucu

	Girişler								Çıktılar			
	Güç (kw)	Hitap Ettiği Alan (m <sup>2</sup> )	İlk Yatırım Maliyeti (USD)	Bakım Maliyeti (USD/yıl)	Enerji Verimliliği (EER)	Çektiği Güç (W)	Kapladığı Alan İhtiyacı (m <sup>2</sup> )	Uygulama Zorluğu	Daha Büyük Hacimlerde Etkisi	Ekonomik Ömür (yıl)	İlk Yatırım Maliyetinin Geri Donus Süresi (yıl)	Yıllık Enerji Maliyeti USD (0.15 USD/kwh)
Ayrik	1											
Merkezi	1											

VRS modeline göre ilk incelenen sonuçta verimliliklerin eşit olduğu Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.2. VRS modeli ilk hesaplaması sonucu**

	Girdiler									Çıktılar		
	Güç (kw)	Hitap Ettiği Alan (m2)	İlk Yatırım Maliyeti (USD)	Bakım Maliyeti (USD/yıl)	Enerji Verimliliği (EER)	Çektığı Güç (W)	Kapladığı Alan İhtiyacı (m2)	Uygulama Zorluğu	Daha Büyük Hacimlerde Etkisi	Ekonomik Omur (yıl)	İlk Yatırım Maliyetinin Geri Donus Süresi (yıl)	Yillik Enerji Maliyeti USD (0.15 USD/kwh)
Ayrık						1						
Merkezi						1						

Daha sonra etkin olmayan birim olan güç girdisi çıkarıldığındaki sonuç Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

**Çizelge 5.3. Güç girdisi çıkarıldığındaki sonuç**

	Girdiler								Çıktılar		
	Hitap Ettiği Alan (m2)	İlk Yatırım Maliyeti (USD)	Bakım Maliyeti (USD/yıl)	Enerji Verimliliği (EER)	Çektığı Güç (W)	Kapladığı Alan İhtiyacı (m2)	Uygulama Zorluğu	Daha Büyük Hacimlerde Etkisi	Ekonomik Omur (yıl)	İlk Yatırım Maliyetinin Geri Donus Süresi (yıl)	Yillik Enerji Maliyeti USD (0.15 USD/kwh)
Ayrık						1					
Merkezi						1					

Hitap ettiği alan girdisi çıkarıldığındaki sonuç Çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

**Çizelge 5.4. Hitap ettiği alan girdisi çıkarıldığındaki sonuç**

	Girdiler							Çıktılar		
	İlk Yatırım Maliyeti (USD)	Bakım Maliyeti (USD/yıl)	Enerji Verimliliği (EER)	Çektığı Güç (W)	Kapladığı Alan İhtiyacı (m2)	Uygulama Zorluğu	Daha Büyük Hacimlerde Etkisi	Ekonomik Omur (yıl)	İlk Yatırım Maliyetinin Geri Donus Süresi (yıl)	Yillik Enerji Maliyeti USD (0.15 USD/kwh)
Ayrık								1		
Merkezi								1		

İlk yatırım maliyeti girdisi çıkarıldığındaki sonuç Çizelge 5.5'te gösterilmiştir.

**Çizelge 5.5. İlk yatırım maliyeti girdisi çıkarıldığındaki sonuç**

	Girdiler						Çıktılar		
	Bakım Maliyeti (USD/yıl)	Enerji Verimliliği (EER)	Çektığı Güç (W)	Kapladığı Alan İhtiyacı (m2)	Uygulama Zorluğu	Daha Büyük Hacimlerde Etkisi	Ekonomik Omur (yıl)	İlk Yatırım Maliyetinin Geri Donus Süresi (yıl)	Yillik Enerji Maliyeti USD (0.15 USD/kwh)
Ayrık							1		
Merkezi							1		

Bakım maliyeti girdisi çıkarıldığındaki sonuç Çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

**Çizelge 5.6.** Bakım maliyeti girdisi çıkarıldığındaki sonuç

	Girdiler					Çıktılar		
	Enerji Verimliliği (EER)	Çektığı Güç (W)	Kapladığı Alan İhtiyacı (m <sup>2</sup> )	Uygulama Zorluğu	Daha Büyük Hacimlerde Etkisi	Ekonomik Omur (yil)	İlk Yatırım Maliyetinin Geri Donus Süresi (yil)	Yıllık Enerji Maliyeti USD (0.15 USD/kwh)
Ayrik				1				
Merkezi				1				

Enerji verimliliği girdisi çıkarıldığında sonuç Çizelge 5.7’de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.7.** Enerji verimliliği girdisi çıkarıldığında sonuç

	Girdiler				Çıktılar		
	Çektığı Güç (W)	Kapladığı Alan İhtiyacı (m <sup>2</sup> )	Uygulama Zorluğu	Daha Büyük Hacimlerde Etkisi	Ekonomik Omur (yil)	İlk Yatırım Maliyetinin Geri Donus Süresi (yil)	Yıllık Enerji Maliyeti USD (0.15 USD/kwh)
Ayrik				1			
Merkezi				1			

Çektığı güç ile ekonomik ömür denklemden çıkarıldığında çıkan sonuç Çizelge 5.8’de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.8.** Çektığı güç ile ekonomik ömür çıkarıldığında sonuç

	Girdiler			Çıktılar	
	Kapladığı Alan İhtiyacı (m <sup>2</sup> )	Uygulama Zorluğu	Daha Büyük Hacimlerde Etkisi	İlk Yatırım Maliyetinin Geri Donus Süresi (yil)	Yıllık Enerji Maliyeti USD (0.15 USD/kwh)
Ayrik			0.86997		
Merkezi			1		

Modele ait ilk başta belirlenen girdi ve çıktılara ait durum Çizelge 5.9’da gösterilmiştir.

**Çizelge 5.9.** Modele ait ilk belirlenen girdi ve çıktılar

Girdi	Çıktı
Güç (kw)	Ekonomik Omur (yil)
Hitap Ettiği Alan (m <sup>2</sup> )	İlk Yatırım Maliyetinin Geri Donus Süresi (yil)
İlk Yatırım Maliyeti (USD)	Yıllık Enerji Maliyeti USD (0.15 USD/kwh)
Bakım Maliyeti (USD/yil)	
Enerji Verimliliği (EER)	
Çektığı Güç (W)	
Kapladığı Alan İhtiyacı (m <sup>2</sup> )	
Daha Büyük Hacimlerde Etkisi	
Uygulama Zorluğu	

**Güç:** Her bir sistemin btu değerlerinden kw değerlerine ulaşarak hesaplanmıştır.

**Hitap Ettiği Alan:** Örnek projedeki kapladığı m<sup>2</sup> bazındaki alan.

**İlk Yatırım Maliyeti:** Örnek projede bulunan iç ünite, dış ünite, işçilik ve yıllık bakım maliyeti bedelleri ile hesaplanmıştır.

(<https://www.statista.com/statistics/263492/electricity-prices-in-selected-countries/>)

(<https://www.ckcamlibel.com.tr/tr/tuketim-hesaplama>)

**Bakım Maliyeti:** Her bir sistemin yıllık bakım maliyetleri eklenmiştir.

**Enerji Verimliliği:** Örnek projedeki ürünlerin katalog değerleri ile EER değerleri girdi olarak eklenmiştir.

**Çektiği Güç:** Örnek projedeki ürünlerin kw değerleri girdi olarak eklenmiştir.

**Kapladığı Alan İhtiyacı:** Örnek projede bulunan ürünlerin boyutları hesaplanarak kapladığı alan hesaplanmıştır.

**Ekonomik Ömür:** Ayrık ve merkezi sistemlerin kullanım süreleri baz alınarak, bu değerler girdi olarak eklenmiştir.

**Daha Büyük Hacimlerde Etkisi:** Nitel olan bu veri; ayrık sistemlerin en fazla hitap ettiği alan büyüklüğü 38m<sup>2</sup> iken, merkezi sistemlerde bu büyüklük 57m<sup>2</sup>'ye kadar çıkabilmektedir. Bu nedenle nicel bir veriye dönüştürebilmek adına merkezi sisteme 100, ayrık sisteme de 50 verisi atanmıştır.

**Sağladığı Fayda:** Nitel olan bu veri; ayrık sistemlerin taze hava olmadan çalıştığı, merkezi sistemlerin ise yüzde yüz taze hava ile çalışması avantajı ile birlikte merkezi sistemlere 100, ayrık sistemlere ise 50 verisi atanmıştır.

**Uygulama Zorluğu:** Nitel olan bu veri; bakır borulama işçiliğinin zorluğu daha fazla olan ayrık sistemlerin 50 verisi girilerek, sadece hava kanalı ve su tesisatı kurulması gereken merkezi sistemlerine 100 verisi girilerek nicel verilere dönüştürülmüştür.



Ayrık ve merkezi sisteme göre ilk belirlenen girdi verileri Çizelge 5.10'da ve çıktı verileri Çizelge 5.11'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.10.** Ayrık ve merkezi sisteme göre ilk belirlenen girdi verileri

	Guc (kw)	Hitap Ettigi Alan (m2)	Ilk Yatirim Maliyeti (USD)	Bakim Maliyeti (USD/yil)	Enerji Verimliliği (EER)	Cektigi Guç (W)	Kapladigi Alan Ihtiyaci (m2)	Daha Büyük Hacimlerde Etkisi	Uygulama Zorluğu
Ayrık	27	79	8500	750	3.8	3780	5	50	100
Merkezi	27	79	10000	1500	3.5	8648	5	100	50

**Çizelge 5.11.** Ayrık ve merkezi sisteme göre ilk belirlenen çıktı verileri

	Ekonomik Omur (yil)	Ilk Yatirim Maliyetinin Geri Donus Suresi (yil)	Yillik Enerji Maliyeti USD (0.15 USD/kwh)
Ayrık	6	0.6	2225.664
Merkezi	12	0.26	5116.608

Modelin ilk belirlenen kısıtları merkezi sistemler ve ayrık sistemler için alttaki gibi gösterilmiştir. Analiz sırasında tüm çıktıların bileşkesi olan amaç fonksiyonu maksimize edilecektir.

V: Girdi

U: Çıktı

V,U ≥ 0

**Merkezi sistemler;**

Amaç fonksiyonu;  $\max Z = 0,26u_1 + 5116,61u_2 + 12u_3$

$$(1) 0,26u_1 + 5116,61u_2 + 12u_3 -$$

$$(27v_1 + 79v_2 + 10000v_3 + 1500v_4 + 3,5v_5 + 8648v_6 + 5v_7) \leq 0$$

$$(2) 0,60u_1 + 2225,66u_2 + 6u_3 -$$

$$(27v_1 + 79v_2 + 8500v_3 + 750v_4 + 3,8v_5 + 3780v_6 + 5v_7) \leq 0$$

$$(3) 27v_1 + 79v_2 + 10000v_3 + 1500v_4 + 3,5v_5 + 8648v_6 + 5v_7 = 1$$

### Ayrık sistemler;

Amaç fonksiyonu;  $\max Z = t = 0,60u_1 + 2225,66u_2 + 6u_3$

$$(1) 0,60u_1 + 2225,66u_2 + 6u_3 -$$

$$(27v_1 + 79v_2 + 8500v_3 + 750v_4 + 3,8v_5 + 3780v_6 + 5v_7) \leq 0$$

$$(2) 0,26u_1 + 5116,61u_2 + 12u_3 -$$

$$(27v_1 + 79v_2 + 10000v_3 + 1500v_4 + 3,5v_5 + 8648v_6 + 5v_7) \leq 0$$

$$(3) 27v_1 + 79v_2 + 8500v_3 + 750v_4 + 3,8v_5 + 3780v_6 + 5v_7 = 1$$

Nihai durumda elde edilen girdi ve çıktılar Çizelge 5.12'deki gibi özetlenmiştir.

**Çizelge 5.12.** Son durumdaki girdi ve çıktılar

Girdi	Çıktı
Kapladığı Alan İhtiyacı (m <sup>2</sup> )	İlk Yatırım Maliyetinin Geri Dönüş Süresi (yıl)
Daha Büyük Hacimlerde Etkisi	Yıllık Enerji Maliyeti (USD) (0.15 USD/kwh)
Uygulama Zorluğu	

CRS modeli ile elde edilen bu sonuçlara göre amaç fonksiyonu yeniden oluşturulmuştur.

### Merkezi sistemler;

Amaç fonksiyonu;  $\max Z = t = 0,26u_1 + 5116,61u_2$

$$(1) 0,26u_1 + 5116,61u_2 - (5v_1 + 100v_2 + 50v_3) \leq 0$$

$$(2) 0,60u_1 + 2225,66u_2 - (5v_1 + 50v_2 + 100v_3) \leq 0$$

$$(3) 5v_1 + 100v_2 + 50v_3 = 1$$

### Ayrık sistemler;

Amaç fonksiyonu;  $\max Z = t = 0,60u_1 + 2225,66u_2$

$$(1) 0,60u_1 + 2225,66u_2 - (5v_1 + 50v_2 + 100v_3) \leq 0$$

$$(2) 0,26u_1 + 5116,61u_2 - (5v_1 + 50v_2 + 100v_3) \leq 0$$

$$(3) 5v_1 + 50v_2 + 100v_3 = 1$$

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, iklimlendirme sistemlerindeki enerji verimliliğinin, merkezi ve ayırık sistemler için yenilenen regülasyonlara göre karşılaştırılması, Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemi ile yapılmıştır.

Yapılan çalışmada, VZA yöntemi kullanılarak CRS (Sabit Getirili Ölçek) ve VRS (Değişken Getirili Ölçek) modellerinden hangisinin uygun olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada seçilen özel örnek için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu çalışma, her uygulama için yeniden bir çalışma yapılması gerektiğinden, özelden genelleştirilemez.

Burada ele alınan örnek projede kullanılan sistem girdi ve çıktıları belirlenirken, etkin veya etkin olmadığı DEA Excel eklenti programıyla anlaşılmıştır. Kurulan model VRS'ye göre çalıştırıldığında çıkan sonuçlarla, hangi girdi veya çıktının sisteme katkı sağlayıp sağlamadığı gözlemlenmiştir. Burada, girdi yönelimli CRS ve VRS modellerinden, CRS modeli ile devam etmeye karar verilmiştir.

Yapılan çalışmada, ilk belirlenen girdi ve çıktıları dayanarak, çıktıyı maksimize eden amaç fonksiyonu ve sistemin modeli oluşturulmuştur.

CRS modelinde sistemde etkin olmayan birimler tek tek çıkarılarak program adım adım tekrarlanmıştır. Ekonomik ömür çıktısının, sistemde girdi-çıkıtı uyumundan dolayı alternatifleri değerlendirecek dengeyi sağlayamadığı için, ekonomik ömür çıkarıldığında ilk yatırım maliyetinin geri dönüş süresi ve yıllık enerji maliyetinin çok daha büyük önem taşıdığı sonucuna varılmıştır.

Ekonomik ömür ve girdilerden; güç, hitap ettiği alan, çektiği güç, bakım maliyeti ve enerji verimliliği çıkarıldığında, merkezi sistemlerin verimli olduğu sonucuna varılmıştır.

Ayrık sistemlerin, merkezi sistemler verimine ulaşmak için 0,86 (%14) kadar artırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuca bakılarak yeni amaç fonksiyonu ve sistemin güncel modeli oluşturulmuştur.

Yapılan tüm çalışmalarda, merkezi sistemlerin, büyük hacimlerde daha verimli olduğu ve uygulama kolaylığının bulunduğu sonucuyla birlikte, sürdürülebilir bir dünya için merkezi sistemlerin tercih edilmesinin daha uygun olduğu görülmüştür.

İç ortam hava kalitesi düşük, yani havasız ve kötü kokuların olduğu yerler, oldukça sağlıksız yerlerdir. Aynı zamanda, kullanıcı konforunun azalmasına, çalışma performanslarının düşmesine neden olur. Nefes alma zorluğu, gözlerde yanma, hava yoluyla yayılabilen hastalıklardaki artış ve göğsün sıkışması gibi sorunları da beraberinde getirir. Kronik ya da sonradan çıkan sağlık sorunları, genelde zor teşhis edilir veya çok uzun zaman sonra ortaya çıkar. Akut belirtiler daha kolay teşhis edilebilmektedir. Ancak gerçek nedenin öğrenilmesi zaman alabilmektedir. Araştırmalarda, düşük hava kalitesi nedeniyle bazı kullanıcıların, geçici veya kalıcı sağlık sorunlarıyla karşılaştıkları görülmektedir. Karşılaşılan sorunların çoğu, yetersiz ya da uygun olmayan havalandırmadan ve ısıtma-soğutma-iklimlendirme sistemlerinin yetersizliklerinden dolayı olmaktadır.

Böylelikle ısıtma-soğutma-iklimlendirme sistemlerinin, sağlık ve performansla ilişkisi kolaylıkla anlaşılabilir. Alınabilecek önlemlerden en önemlilerinden biri de, düzenli bakım ve temizliklerinin yapılmasıdır. Her ne kadar filtrasyon sistemleri bulunan cihazlar kullanılıyor olsa da, bunların hayati öneminin farkına varılarak düzenli bakımlarla, değişimlerinin ve temizliklerinin yapılması gerekmektedir.

İç ortam kalitesi kontrol edilmeden, ayırık sistemler ile iklimlendirme yapılması, ekonomik görünen bu sistemlerin, taze hava tedarigi sağlayarak iç ortam kalitesinin belirlenen standartlarda olmasını sağlayan merkezi sistemlere karşı daha çok tercih edilmesine neden olabilmektedir. Ancak daha ekonomik olarak görülen bu çözüm, sürdürülebilir bir dünya ve sağlıklı ömür süresini azaltmaktadır.

İç hava kalitesini iyileştirmek için ayırık sistemlerde iyonizer opsiyonu bulunmaktadır. Ancak merkezi sistemlerde isteğe bağlı olarak ultraviyole ışık, elektrostatik filtre, daha küçük partikül tutan torba filtre kullanılarak daha hijyenik ortam sağlanabilir. Ayrıca kullanılacak iç hava kalitesi sensörü opsiyonu ile iç ortamdaki karbon monoksit seviyesi sürekli kontrol edilerek, verilen standartların da üstüne çıkmaya, taze hava ile birlikte mahale daha temiz ve kaliteli bir hava vermeye olanak sağlanmış olur.

Merkezi sistemler, bu konuda da ayırık sistemlere göre daha verimli ve temiz hava kalitesi imkanı sunmaktadır. Ayırık sistemlerde sadece panel filtre ile filtrasyon yapılabilir ve bu da küçük partikülleri tutmaya yetmez. Sistemlerin mahallere temiz hava vermesini sağlamanın en önemli yollarından biri filtrasyon sistemidir. Temiz bir sistem için de minimum iki kademeli filtrasyon kullanılmalıdır.

Bir ameliyathanede ayırık sistemler yerine, merkezi sistemlerin tercih edilmesinin de en önemli nedeni, filtrasyon kabiliyetidir. Hijyenik klima santrali uygulamaları, doğru bir şekilde projelendirilip üretildiği takdirde, ortamda oluşabilecek her türlü hastalığı engellemeye yardımcı olur.

Küreselleşen dünyada, enerji verimliliğinin; evlerdeki buzdolabı, çamaşır makinası, bulaşık makinası gibi en basit ev eşyalarına kadar uygulanmaya başlandığı düşünüldüğünde, daha büyük hacimlere hitap eden merkezi sistemlerin seçimlerinde de enerji verimliliği göz önünde bulundurulmalıdır.

Günümüz dünyasında enerji verimliliği ve çevreci çözümleri, insan sağlığını olumlu yönde etkileyecek etmenler hesaba katılarak incelendiğinde, merkezi sistemleri tercih eden yapıların, daha uzun ömürlü, ekonomik olarak daha verimli olduğu sonucuna varılmaktadır.

Yüzde yüz taze havalı sistemle, insan sağlığı ve enerji verimliliği göz önüne alınarak yapılacak yatırım için, merkezi sistemlerin tercih edilmesinin gerekli olduğu, ayırık sistemlerin ise, apartman dairelerinde, küçük çaplı ofislerde kullanılmasının, yani taze havanın pencereden bile alınabileceği ortamlarda kullanılmasının daha uygun olduğu önerisinde bulunulabilir.

**Öneriler:** Daha sonra yapılacak çalışmalarda, merkezi ve ayırık sistem karşılaştırılmalarında, farklı girdiler ve çıktılar ele alınıp, farklı programlar kullanarak bu araştırma geliştirilebilir. Bu çalışma, Excel eklentisi DEA kullanılarak yapılmıştır. Ancak MatLab gibi farklı bir yazılım ile denenerek geliştirilmesi yapılabilir. İncelenen merkezi sistemler ve ayırık sistemlerin karşılaştırılması, ayırık sistemlere ait olan VRF ünitesi ve fan coil karşılaştırılması ile birlikte, verimleri ve maliyetleri ele alınarak değerlendirilebilir. Hastane, büyük binalar, otel gibi yapıların çok fazla ayırık sistem ve merkezi sistemlerin kıyaslanması yapılarak ilk yatırım maliyetinin geri dönüş süresi, verimlilikler ve diğer girdi çıktı analizlerinin karşılaştırılmasıyla daha farklı sonuçlar alınabilir.

## 7. KAYNAKLAR

ASHRAE HANDBOOK 2000, HVAC Systems and Equipment. Chapter 20 (HUMIDIFIERS)

Aydemir, Z.C. (2002) "Bölgesel Rekabet edebilirlik Kapsamında İllerin Kaynak Kullanım Görece Verimlilikleri: Veri Zarflama Analizi Uygulaması", DPT Yayınları, No:2667.

Bilsel, M., Davutyan N. (2011) "Hospital Efficiency with Risk Adjusted Mortality as Undesirable Output: The Turkish Case"

Boussofiene, A., Dyson, R. ve Rhodes, E. (1991) "Applied Data Envelopment Analysis", European Journal of Operational Research, Vol.: 52, No: 6, 1-15.

Charnes, A., Cooper, W.W. ve Rhodes, E. (1981) "Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to *Program Follow Through*", Management Science, Vol.: 27, No: 6, 668-697.

Coelli, T. and Perelman, S. (2000). Technical Efficiency of European Railways: A Distance Function Approach. Applied Economics, 32: p. 1967-1976.

Ersen, H.M. (1999) "Veri Zarflama Analizinin Skolâstik Değişiklikler Altında Geçerliliği Gürültünün Verimsizlik Bileşeni," Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara

<http://frostyice.co.uk/wp-content/uploads/2016/08/York-Water-Chiller.pdf>

<https://www.caldaiemurali.it/climatizzatore-condizionatore-samsung-inverter-dual-split-maldives-quantum-r-32-12000-12000-btu-con-aj050ncj-12-12-a-a-new.html>

<http://www.kibrismimarlik.com/projeler/villa/ornek-villa/ornek-villa-tasarimi-81.html>

<https://www.ckcamlibel.com.tr/tr/tuketim-hesaplama>

[https://www.johnsoncontrols.com/en\\_au/-/media/jci/be/australia/air-systems/fan-coil-units/product\\_catalog\\_ygfcme\\_en\\_publ7074\(0915\).pdf?la=en](https://www.johnsoncontrols.com/en_au/-/media/jci/be/australia/air-systems/fan-coil-units/product_catalog_ygfcme_en_publ7074(0915).pdf?la=en)

<https://www.samsungvrfurkiye.com/samsung-vrf-detay/samsung-vrf-dvm-s-eco-mini-am050fxmdgh-dis-unite/>

<https://www.samsungvrfurkiye.com/samsung-vrf-detay/samsung-vrf-neo-forte-am056fntdeh-duvar-tipi-ic-unite/>

<https://www.samsungvrfurkiye.com/samsung-vrf-detay/samsung-vrf-neo-forte-am022fntdeh-duvar-tipi-ic-unite/>

<https://www.statista.com/statistics/263492/electricity-prices-in-selected-countries/>

Kavuncubaşı, Ş. (1995) “Hastanelerde Görelî Verimlilik Ölçümü: Veri Çevreleme Analizinin Uygulanması”, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Kutlar, A. ve A. Babacan, (2008), “Türkiye’deki Kamu Üniversitelerinde CCR Etkinliği-Ölçek Etkinliği Analizi: DEA Tekniğı Uygulaması”, Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi (15)/ 1, s. 148-172.

Ulucan, A. (2000) “Şirket Performanslarının Ölçülmesinde Veri Zarflama Analizi Yaklaşımı: Genel ve Sektörel Bazda Değerlendirmeler”, Hacettepe Üniversitesi, İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt: 18, Sayı: 1, 405-418.

William W Cooper, Seiford ve Zhu, Handbook on Data Envelopment Analysis, Springer, 2011, ISBN 978-1-4020-7798-2

Yavuz, İ. (2001) “Sağlık Sektöründe Etkinlik Ölçümü: Veri Zarflama Analizine Dayalı Bir Uygulama”, MPM Yayınları, Yayın No: 654, Ankara.

Yavuz, İ. (2001) “Sağlık Sektöründe Etkinlik Ölçümü: Veri Zarflama Analizine Dayalı Bir Uygulama”, MPM Yayınları, Yayın No: 654, Ankara.

Yolalan, R. (1993) “İşletmeler Arası Görelî Etkinlik Ölçümü”, MPM Yayınları, No: 483, Ankara.

## 8. ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında İstanbul'da doğdum. Eğitim hayatıma 1996 yılında Zühtüpaşa İlköğretim Okulu'nda başladım. 2008 yılında İstek Semiha Şakir Lisesi'nden mezun oldum. 2013 yılında T.C. Yeditepe Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldum. 2013 yılında başladığım T.C. Haliç Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisans eğitimim halen devam etmektedir.