

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**VERİ MERKEZLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİ ARTTIRICI
YÖNTEMLER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Emre ŞEN**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**VERİ MERKEZLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİ ARTTIRICI
YÖNTEMLER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Emre ŞEN
(301151029)**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Önder GÜLER

HAZİRAN 2019

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301151029 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Emre ŞEN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “VERİ MERKEZLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİ ARTTIRICI YÖNTEMLER” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Önder GÜLER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇAKAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Bedri KEKEZOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **30 Nisan 2019**
Savunma Tarihi : **11 Haziran 2019**



ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi'ndeki eğitim hayatım boyunca tüm samimiyetiyle bilgi ve birikimini benimle paylaşan sevgili hocam Prof. Dr. Önder GÜLER'e; enerji sektöründe kişisel gelişimime katkı sağlayan ve bir çok bilgi birikimini tarafıma aktaran Vertiv Güç Sistemleri ailesine teşekkür eder, minnetlerimi sunarım.

Bu süreçte bana güç veren, inancımı ve motivasyonumu sürekli yüksek tutmamı sağlayan biricik kız arkadaşım çok teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca her türlü desteğini benden esirgemeyen sevgili annemeve babama sonsuz teşekkür ederim.

İstanbul Teknik Üniversitesi ailesinin bir ferdi olmaktan her zaman gurur duydum ve duymaya devam edeceğim.

NİSAN 2019

Emre ŞEN
Elektrik-Elektronik Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Özeti	2
2. VERİ MERKEZLERİ	7
2.1 Veri Merkezlerine Genel Bakış.....	7
2.2 Veri Merkezlerinin Genel Yapısı	8
2.3 PUE Kavramı ve Hesaplanması	10
2.4 Güç Sistemleri	11
2.4.1 UPS sistemleri.....	11
2.4.1.1 UPS çift çevirim operasyonu	12
2.4.1.2 Akü modu	12
2.4.1.3 UPS statik bypass modu	12
2.4.2 Jeneratör sistemleri	16
2.4.2.1 Jeneratör-UPS sistemlerinin entegrasyonu	12
2.4.3 PDU.....	17
2.5 Geleneksel Veri Merkezi Soğutma Sistemleri	18
2.5.1 Hava soğutmalı sistemleri.....	18
2.5.2 Glikol soğutmalı sistemleri	20
2.5.3 Su soğutmalı sistemleri	21
3. VERİ MERKEZLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI	23
3.1 Uygun UPS Seçimi.....	23
3.1.1 Modüler UPS seçimi	23
3.1.2 Mevcut yük doğrultusunda uygun UPS seçimi.....	26
3.2 Uygun UPS Çalışma Modunun Seçilmesi	28
3.2.1 Geleneksel eco mod	28
3.2.2 Geliştirilmiş eco mod	30
3.2.3 Geleneksel eco mod ile geliştirilmiş eco mod karşılaştırılması	31
3.2.3.1 UPS modlarının çıkış gerilimlerinin karşılaştırılması	31
3.2.3.2 UPS modlarının verimlilik karşılaştırılması	32
3.2.3.3 UPS modlarının transfer karakteristiklerinin karşılaştırılması	35
3.3 Uygun UPS Topolojisinin Seçilmesi.....	36
3.4 Uygun Soğutma Sisteminin Seçilmesi	41

3.4.1 Yaygın veri merkezi soğutma yöntemi	41
3.4.2 Kapalı tip akıllı soğutma sistemleri	44
3.4.2.1 Basınç kontrollü kapalı tip soğutma sistemleri	46
3.4.2.2 Sıcaklık kontrollü kapalı tip soğutma sistemleri	47
3.5 Uygun PDU Seçimi	49
4. VAKA ANALİZİ	53
4.1 Vaka Analizi Kapsamı	53
4.2 Sistem Gereksinimi	53
4.3 Soğutma Yöntemi Seçimi	54
4.3.1 Gerekli hava akış hacminin hesaplanması	55
4.3.2 Hava akış hacminde gerçekleşen kaybın hesaplanması	56
4.3.2.1 Mekanik sistemlerde gerçekleşen kayıplar	56
4.3.2.2 Sunucular üzerinde gerçekleşen kayıplar	57
4.3.2.3 IT ortamda bulunması gereken toplam hava akış hacmi	59
4.3.3 EC fan analizi	60
4.3.4 Optimum soğutma yöntemi	61
4.4 UPS Sistem Tasarımı	63
4.4.1 UPS seçimi	63
4.4.2 UPS sistemlerinin maliyet analizler	64
4.4.2.1 Verimlilik maliyet analizi	64
4.4.2.2 İlk yatırım maliyet analizi	65
4.4.2.3 İşletme maliyet analizi	66
4.5 PDU Seçimi	69
4.6 PUE Hesaplanması	69
4.6.1 Sıcaklık kontrollü soğutma sistemi ve modüler UPS kullanıldığında	69
4.6.2 Basınç kontrollü soğutma sistemi ve monoblok UPS kullanıldığında	69
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR	73
EKLER	75
ÖZGEÇMİŞ	87

KISALTMALAR

AC	: Alternating Current
ATS	: Automatic Transfer Switch
CRAC	: Computer Room Air Conditioning
CRAH	: Computer Room Air Handler
DC	: Direct Current
IT	: Information Technology
kVA	: kilo VoltAmper
kW	: kiloWatt
kWh	: KiloWatt Saat
MW	: MegaWatt
PDU	: Power Distrubiton Unit
PUE	: Power Usage Effectiveness
RMS	: Root Mean Square
STS	: Statik Transfer Switch
UPS	: Uninterruptible Power Supply
W	: Watt



SEMBOLLER

A	: Alan
$f(h)$: Yardım Faktörü
H	: Deniz Seviyesinden Yükseklik
k	: Basınca Göre Değişen Hava Debisi Kayıpları
P	: Basınç
Q	: Isıl Yük
s	: Saniye
T	: Sunucuların Boşta Çalışma Yüzdesi
v	: Hız
V	: Hava Debisi [m^3/sa]
V_s	: Sunucular Üzerinde Gerçekleşen Hava Debisi Kayıpları
V_t	: Teorik Hava Debisi
$V_{giriş}$: Eco mod UPS şebeke giriş dalga formu
V_{filtre}	: Geliştirilmiş eco mod UPS çıkış gerilim dalga formu
°C	: Santigrat Derece
η	: Verim
ΔT	: İki Ortam Arası Sıcaklık Farkı
Δp	: Differensiyel Basınç



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Bölge bazlı veri merkezleri enerji tüketim oranları.....	3
Çizelge 3.1 : Farklı yük miktarlarında elde edilen UPS verimleri	27
Çizelge 3.2 : UPS çift çevirim mod giriş ve çıkış değerleri	33
Çizelge 3.3 : UPS geleneksel eco mod giriş ve çıkış değerleri	34
Çizelge 3.4 : UPS geliştirilmiş eco mod giriş ve çıkış değerleri	34
Çizelge 3.5 : Farklı üreticilere ait PDU enerji tüketimleri.....	51
Çizelge 4.1 : Mekanik sistemler üzerinde kayıpların gerçekleştiği alanlar	57
Çizelge 4.2 : Daniel Kennedy’i tarafından ortaya konulan hava akış kayıpları	58
Çizelge 4.3 : Basınç ve sıcaklık kontrollü sistemler için parametreler.....	59
Çizelge 4.4 : Liebert HPM L20EC CRAC ünitesine ait teknik veriler	62
Çizelge 4.5 : %100 tam kapasiteli konfigürasyon	62
Çizelge 4.6 : 6 CRAC üniteli konfigürasyon.....	62
Çizelge 4.7 : 7 CRAC üniteli konfigürasyon.....	62
Çizelge 4.8 : 8 CRAC üniteli konfigürasyon.....	62
Çizelge 4.9 : 9 CRAC üniteli konfigürasyon.....	63
Çizelge 4.10 : 10 CRAC üniteli konfigürasyon.....	63
Çizelge 4.11 : Vertiv EXL-S1 monoblok UPS verim tablosu	65
Çizelge 4.12 : UPS sistemi ilk yatırım maliyetlerinin karşılaştırılması.....	66
Çizelge 4.13 : Sprinter XP12V3000 boyutları.....	67
Çizelge 4.14 : UPS sistemi işletme maliyetlerinin karşılaştırılması	68



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : AutoCad ile hazırlanmış örnek veri merkezi projesi.....	9
Şekil 2.2 : Veri merkezi enerji akış şeması.....	10
Şekil 2.3 : Statik UPS blok diagram.....	12
Şekil 2.4 : UPS çift çevirim operasyonu.....	13
Şekil 2.5 : UPS akü modu operasyonu.....	13
Şekil 2.6 : UPS statik bypass operasyonu.....	14
Şekil 2.7 : Diesel jeneratör genel görünümü.....	14
Şekil 2.8 : Jeneratör-UPS sistemi entegrasyonu.....	16
Şekil 2.9 : PDU genel kullanım şekli.....	17
Şekil 2.10 : Hava soğutmalı direk genişmeli sistem örneği.....	19
Şekil 2.11 : CRAC ünite ve dış ortam soğutucusunun yapısı.....	19
Şekil 2.12 : Glikol soğutmalı sistem.....	21
Şekil 2.13 : Su soğutmalı sistem.....	21
Şekil 3.1 : 150kVA monoblok UPS önden görünüşü.....	24
Şekil 3.2 : 150kVA modüler UPS önden görünüşü.....	25
Şekil 3.4 : UPS çıkış aktif güç eğrisi.....	27
Şekil 3.5 : UPS giriş aktif güç eğrisi.....	27
Şekil 3.6 : CBEMA eğrisi.....	29
Şekil 3.7 : Geleneksel eco mod diagramı.....	30
Şekil 3.8 : Geliştirilmiş eco mod diagramı.....	31
Şekil 3.9 : UPS çıkış gerilim dalga formu.....	32
Şekil 3.10 : Verimlilik hesabı test düzeneği.....	33
Şekil 3.11 : Transfer karakteristikleri karşılaştırma test düzeneği.....	35
Şekil 3.12 : N monoblok UPS topolojisi.....	37
Şekil 3.13 : N+1 monoblok UPS topolojisi.....	38
Şekil 3.14 : 2(N+1) UPS topolojisi.....	39
Şekil 3.15 : 2(N+1) topolojiye sahip veri merkezi elektrik sistemi çizimi.....	40
Şekil 3.16 : Yaygın sıcak-soğuk hava koridoru tasarımı.....	42
Şekil 3.17 : Soğuk hava koridorunun termal kamera ile görüntüsü.....	42
Şekil 3.18 : Soğutma problemi örneklendirilmesi.....	43
Şekil 3.19 : Kapalı tip akıllı soğutma sistemi.....	44
Şekil 3.20 : Kapalı tip akıllı soğutma sistemi örneklendirilmesi.....	45
Şekil 3.21 : Basınç kontrollü kapalı tip soğutma sisteminin örneklendirilmesi.....	47
Şekil 3.22 : Sıcaklık kontrollü kapalı tip soğutma sistemlerinin örneklendirilmesi.....	48
Şekil 3.23 : Raflı kabinet içerisine yerleştirilmiş PDU düzeni.....	50
Şekil 4.1 : Her bir kapalı sistemin tepeden görünüşü.....	54
Şekil 4.2 : Ön görülen IT ortam krokisi.....	55
Şekil 4.3 : Hava akış kaybı-basınç grafiği.....	59
Şekil 4.4 : EC fan hava akış hacmi-anlık güç değeri grafiği.....	61
Şekil 4.5 : Vertiv Tcube modüler UPS verim grafiği.....	65
Şekil 4.6 : Vertiv EXL-S1 monoblok UPS üstten görünüş.....	66

Şekil 4.7 : Vertiv Tcube 1200kVA modüler UPS üstten görünüş.	68
Şekil A.1 : Çift çevirim modu L1 fazı transfer grafiği.....	77
Şekil A.2 : Çift çevirim modu L2 fazı transfer grafiği.....	78
Şekil A.3 : Çift çevirim modu L3 fazı transfer grafiği.....	79
Şekil A.4 : Geleneksel eco mod L1 fazı transfer grafiği.....	80
Şekil A.5 : Geleneksel eco mod L2 fazı transfer grafiği.....	81
Şekil A.6 : Geleneksel eco mod L3 fazı transfer grafiği.....	82
Şekil A.7 : Geliştirilmiş eco mod L1 fazı transfer grafiği.....	83
Şekil A.8 : Geliştirilmiş eco mod L2 fazı transfer grafiği.....	84
Şekil A.9 : Geliştirilmiş eco mod L3 fazı transfer grafiği.....	85



VERİ MERKEZLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİ ARTTIRICI YÖNTEMLER

ÖZET

Günümüzde hızla artan bulut bilişim teknolojilerinin ve mobil cihazların kullanımı sebebiyle, veri merkezi kavramı her geçen gün hayatımızdaki önemini arttırmakta ve teknoloji dünyasının vazgeçilmezleri arasında yükselmektedir. Her geçen gün veri merkezlerinin önemini arttırması; dünya üzerindeki veri merkezi sayısının ve veri depolanmasını hızlı bir şekilde arttırmaktadır.

Veri merkezleri, elektrik tüketiminin en yüksek olduğu tesislerin en başında gelmektedir. Dünya üzerinde sayıları çok hızlı bir şekilde artış gösteren veri merkezleri çok büyük miktarda elektrik tüketimine neden olmakta, şehirlerin elektrik şebekelerinin altyapısı için büyük sorunlar teşkil etmektedir. Enerjinin insanlık için büyük bir önem kazandığı günümüz dünyasında, veri merkezleri tarafından harcanan yüksek miktardaki enerji: araştırma merkezlerinin, teknoloji üreticilerinin ve çevrecilerin önem verdiği bir konu haline gelmiştir. Bu durum; veri merkezi verimliliği kavramını ortaya çıkarmış ve veri merkezi projelerinin en verimli hale getirilmesini zorunlu kılmıştır.

Günümüzde, hizmet ettiği amaç doğrultusunda en değerli binalar olarak gösterilen veri merkezleri için, dikkat edilmesi gereken diğer bir unsur ise veri merkezi sürekliliğidir. İnternet üzerinden gerçekleşen tüm işlemler (bankacılık, sağlık, turizm, telekomünikasyon vb.) veri merkezleri içerisinde bulunan IT ekipmanlar üzerinden gerçekleştirilmektedir. IT ekipmanlar üzerinde meydana gelebilecek yarım saniyelik bir enerji kesintisi bile, büyük çapta para ve bilgi kayıplarına neden olabilir. Veri merkezlerinde ön görülen bu riskler; veri merkezi tasarımcılarını, yedekli ve sürekli veri merkezi tasarımlarına zorlamaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında; veri merkezlerinin genel yapısı açıklanarak, veri merkezlerinde enerji verimliliğini arttıracak yöntemler; UPS, soğutma sistemleri, PDU açısından ve sürekliliği arttıracak yöntemler ise kullanılacak UPS sayısı ile elektriksel tasarım açısından incelenmiştir. Tez kapsamında; bir çok farklı üreticiye ait teknolojiler incelenerek, gereklilikleri ve kullanım amaçları açıklanmış, verimliliği en yüksek tasarımlar gerçek test düzeneklerinde test edilmiştir.

Tez kapsamında; ülkemiz sınırları içerisinde yapılması planlanan gerçek bir proje için vaka analizi gerçekleştirilmiştir. Vaka analizi kapsamında; UPS, soğutma ve PDU sistemleri incelenmiş, fiyat ve enerji verimliliği açısından en optimum çözüm önerisi sunulmuştur.



METHODS FOR IMPROVING DATA CENTERS ENERGY EFFICIENCY

SUMMARY

In today world, data center concept and importance of data center has been enhancing quickly due to increasing usage rate of cloud and mobile services and internet. In the past decades, internet access could be performed via only computers with slow connection speed. But in today world, every single electronic device can connect to internet with fascinating connection speed compared to last decades. For that reason; each day, number of data center all around the world is increasing in order to cover huge increasing demand.

Data centers are called as high consumption places whose electricity consumption level is one of the highest among all facilities. Data centers whose numbers is increasing rapidly have potential risk to cause high electricity consumptions for data center managers and huge amount of load for electricity grid. Especially data centers located in city center or city areas, may have risk to affect stabilization of electricity grid in negative way. In addition to negative effect for electrical grid, datacenters as major consumers of power which may cause low efficiency in grid or may enable highly efficient operation in electrical grid. In these days when energy becomes one of the important topic for globe, high energy consumed by data centers are pointed by research labs, technology companies and environmentalist in order to reduce consumption. This awareness has ascertained new term which is called Data Center Efficiency.

Today, data centers are called most valuable buildings and facilities in terms of their intended purposes. For these valuable buildings, there is one more important term which must be taken into account which is called Data Center Sustainability. All online process and data storage are done through servers located in data centers. Even half second electricity cut in data centers may cause millions of dollars damage and loss of huge data. These potential risks force to data center designers to design redundant and sustainable data centers.

In this thesis; general structure of data centers, methods for increasing data center efficiency and sustainability has been explained by examining energy efficiency in terms of UPS (Uninterruptible Power Supply), cooling systems, PDU (Power Distribution units) and data center structure in terms of electricity structure diagram of data centers and number of UPS which is used to supply electrical load of data center. To make better analysis, necessity and intended purposes of different technologies belong to different manufacturer has been examined in detail. Moreover, high efficiency technologies which is guaranteed by manufacturer has been tested with real test equipment to prove high efficient operations.

In the section of analyzing UPS system and topology for increasing efficiency of data centers; choosing suitable UPS type in terms design has been emphasized as first step. According to design and operation benefits, both modular and monoblock UPS types were compared. As second step for suitable and efficient UPS operations for data

centers, how important suitable UPS capacity choice has been emphasized by performing real UPS load test with 120kVA UPS. Within scope of applied regarding test, 120kVA UPS was tested in order to calculate UPS efficiency at different load level and efficiency was calculated for each load level. As a result of UPS load test, it is seen that UPS operation with higher load without exceeding UPS rated capacity enables higher UPS efficient operation.

In addition to choice for suitable type and capacity of UPS, making UPS to work with suitable UPS operation has been also emphasized. To see each characteristic of each UPS operation mode, 1200kVA UPS was tested with real load in double conversion, eco mode and enhanced eco mode in terms of output voltage waveform, transfer time to battery mode efficiency in case of power cut and. Each test outputs were examined to obtain maximum sustained and efficient UPS operation. Besides UPS choice for data center project, importance of UPS system topology and general term regarding topology are explained and exemplified.

In the section of analyzing cooling methods for data centers; basic structure and working principle of traditional cooling methods used in data center for decades has been presented, then their disadvantages and inefficient operations are explained. In the light of given information related to traditional data center cooling methods, new methods which is containment cooling are explained by eliminating root reasons that cause inefficient operations. Basic structures and working principle of containment cooling methods are presented in details and their advantages against to traditional methods are given.

In addition to theoretical part of thesis, case study for new data center project has been performed by examining cooling system, UPS system and PDU system in order to propose optimum solution in terms of energy efficiency and cost optimization. In the scope of case study, UPS system is analyzed to determine whether modular or monoblock UPS systems is appropriate for intended data centers. Regarding analyze is performed by comparing capital investment, 10 years maintenance cost and rent cost for area in facility where UPS system is installed for both UPS type. Within analysis for UPS system, how many battery is needed and capital cost of batteries for each system are calculated and compared.

In the section of case study related to cooling system, how to optimum solution can be chosen according to customer request (which determines that containment cooling system is only option to be used in intended project) is explained. By determining optimum solution for regarding project, each parameter and system requirement to satisfy customer requirement are calculated and explained step by step for both temperature and pressure controller containment cooling systems. According to obtained outputs of calculations and required heat capacity for cooling machines, once appropriate CRAC unit is proposed, then yearly energy consumption of different installed CRAC units, that can cover at least IT room heat capacity, are compared for both temperature and pressure control containment cooling systems. As a result of performed comparison; it is seen that temperature control containment cooling system is more efficient than pressure control containment cooling system. In addition to comparison between temperature and pressure control systems, it is seen that making cooling systems' EC fans to operate about 30% of full speed much more efficient than making them to operate at full speed for both temperature and pressure control cooling systems.

As a final section of case study; in order to evaluate how much data center is efficient,

PUE calculations for intended data center project is performed after optimum UPS system and cooling system are chosen. All necessary parameters except UPS losses, cooling system energy consumption and PDU losses are provided by customer in order to perform calculation of PUE.





1. GİRİŞ

İnternetin kullanılmaya başlanması dünya üzerinde büyük değişimlere yol açmıştır. Her geçen gün gelişen internet ağı, insanoğlunun hayatına yön vermekte ve insanoğlunu kendine bağımlı kılmaktadır. Bireysel düzeyde kullandığımız sosyal medya, online bankacılık, bulut teknolojileri, telekomünikasyon teknolojileri buna en büyük örnek olarak gösterilebilir. İnternet üzerinde beğendiğimiz her fotoğraf, izlediğimiz her video, gerçekleştirdiğimiz her para transferi ve internet üzerinden yaptığımız her alışveriş; kısaca internet üzerinde gerçekleştirilen her işlem, bir veridir. Bu verilerin dünya üzerinde transfer edilmesi, işlenmesi ve depolanması veri merkezlerinde gerçekleşmektedir.

Veri merkezleri, dünya üzerindeki her çeşit uygulama verilerinin transfer edildiği, depolandığı ve işlendiği enerji tüketimi yüksek ve gelişmiş teknolojilerle donatılmış tesislerdir. Bünyesinde birçok sunucu, ağ elemanı, güvenlik ve yangın sistemleri, jeneratör ve UPS sistemleri ile, soğutma üniteleri bulundurmaktadır. Veri merkezleri içerisinde bulunan tüm bu sistemler, veri merkezi içerisinde büyük bir enerji tüketimine yol açmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Veri merkezleri, elektrik tüketiminin en yüksek olduğu tesislerin başında gelmektedir. Dünya üzerinde sayıları çok hızlı bir şekilde artış gösteren veri merkezleri çok büyük miktarda elektrik tüketimine, şehirlerin elektrik şebekeleri için altyapısal sorunlara yol açmaktadır. Günümüzdeki tipik bir veri merkezinin enerji tüketiminin; %55'ini IT ürünler, %16'sını enerji bara kayıpları ile açma-kesme operasyonları, %29'unu ise soğutma sistemleri oluşturmaktadır [1,2]. Bu potansiyel sorunlar, veri merkezlerine yüksek teknoloji ürün sağlayan üreticileri, yüksek verimli ve kararlı teknolojiler üretmeye zorlayarak, veri merkezlerinin verimliliğini arttırmaya yönlendirmektedir.

Günümüzde; haberleşme ve bilgi teknolojileri tarafından tüketilen enerji miktarı tarih boyunca en yüksek seviyelerine ulaşmıştır ve her geçen gün enerji tüketim miktarı hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Son 10 yılda hızlı bir şekilde artış gösteren veri

merkezi sayısı ve enerji tüketim miktarları sebebiyle; veri merkezlerinin elektrik tüketimleri, globalde tartışılan en önemli konulardan biri haline gelmiştir. 2012 yılında dünya üzerindeki tüm veri merkezlerinin elektrik tüketimi yaklaşık olarak 270 TWh olarak hesaplanmıştır [3]. Bu oran, toplam dünya elektrik tüketiminin %1.4 'üne karşılık gelmektedir. Her geçen gün veri merkezlerine olan ihtiyacın artması göz önünde bulundurularak; 2030 yılındaki veri merkezlerinin enerji tüketimi, dünya toplam enerji tüketiminin %13'ü olacağı ön görülmektedir [4]. Bu analizlerin ve öngörülen tahminlerin ışığında, veri merkezlerinde enerji tüketiminin önümüzdeki 20 yıl için büyük bir problem yaratacağı kaçınılmaz bir gerçektir.

Günümüz teknoloji dünyası için veri merkezi yeni bir kavramdır. Özellikle Türkiye sınırları içerisinde; büyük veri merkezlerinin bulunmaması ve Türkiye'de faaliyet gösteren şirketlerin yurtdışında bulunan veri merkezlerinden alan kiralayarak veri merkezi ihtiyacını karşılaması gibi nedenlerden dolayı, ülkemiz bu alanda geri kalmıştır. Bu duruma ek olarak, Türkiye genelinde veri merkezi tasarımı ve kurulumu üzerine uzmanlığa sahip kalifiye personel sayısı batılı ülkelere oranla oldukça düşük kalmaktadır. Bu tez kapsamında; veri merkezi algısının ve farkındalığının yaratılması, veri merkezi enerji verimliliğinin ve sürekliliğinin öneminin belirtilmesi amaçlanmıştır. Tez kapsamında; öncelikle verim merkezi kavramı ve unsurları açıklanmış, veri merkezi verimliliği ve sürekliliği üzerinde durulmuştur. Veri merkezi verimliliğine direkt olarak etki eden ana teknolojik ekipmanların yapısı açıklanarak, günümüz teknolojisinin sunduğu yüksek verimli ekipmanların kullanım methodları detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

1.2 Literatür Özeti

Günümüz dünyasında; veri merkezlerinin enerji tüketimlerinin, doğaya ve elektrik şebekesine karşı yarattığı negatif etkilerin azaltılması gerektiği açıkça söylenebilir. Bunun sağlanabilmesi için, tüm ürün gruplarında enerji verimliliği göz önünde tutularak gerekli hesaplamaların ve tercihlerin yapılması gerekmektedir.

Dünya üzerinde veri merkezlerinde tüketilen enerji miktarları incelendiğinde, elektrik tüketim oranlarında özellikle 2000'li yılların başlarında büyük bir artış yaşandığı görülmektedir. 2005 yılına ait dünya geneli veri merkezi enerji tüketimleri, 2000 yılının verilerininin 2 katı olduğu görülmektedir [1]

Çizelge 1.1’de, bölgelere göre dünya üzerindeki veri merkezi enerji tüketimleri ve tüketim miktarlarındaki artış detaylı bir şekilde verilmiştir. Paylaşılan verilerde açıkça görüldüğü üzere; tüm dünya genelinde veri merkezi enerji tüketimlerinin 5 yıllık süreç içinde ikiye katlandığı görülmektedir.

Çizelge 1.1 : Bölge bazlı veri merkezleri kurulu güç oranları [1].

2000	Kurulu Güç [GW]	Toplam Kurulu Güce Oranı [%]
ABD	3,2	40
Batı Avrupa	2,1	26
Japonya	0,9	11
Asya Pasifik	0,8	10
Diğer Ükeler	1,0	13
Toplam	8,1	100
2005	Kurulu Güç [GW]	Toplam Kurulu Güce Oranı [%]
ABD	6,4	37
Batı Avrupa	4,7	27
Japonya	1,8	11
Asya Pasifik	2,3	13
Diğer Ükeler	2,2	13
Toplam	17,4	100

Dünya üzerinde enerji tüketim oranları hızlı bir şekilde artış gösteren veri merkezleri problemleri sebebiyle, veri merkezlerinde kullanılan temel ekipmanların verimlilikleri üzerine bir çok akademik ve gerçek vaka çalışmaları yapılmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmaların hepsi, veri merkezlerinde kullanılan ekipmanların elektrik tüketimlerine ve verimliliklerine odaklanmaktadır. Bu durum, veri merkezlerinin CO_2 emisyon oranlarına odaklanılmamasına sebebiyet vermektedir. CO_2 emisyon oranlarına dikkat edilmemesinin diğer bir nedeni ise, veri merkezleri CO_2 emisyon oranları için herhangi bir kısıtlayıcı regülasyon bulunmamasıdır [4].

Veri merkezlerinin verimliliklerinin analiz edilebilmesi için, veri merkezlerine ait PUE değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. PUE değeri kısaca; veri merkezinin toplam elektriksel yükünün, toplam IT yüke oranı olarak tanımlanabilir. Günümüzdeki veri merkezleri için, PUE değeri 1 ile 2 arasında değişiklik göstermektedir. PUE değeri büyüdükçe, veri merkezinin verimi azalmaktadır. Dünya üzerinde verimlilik açısından örnek gösterilebilecek veri merkezlerinde, PUE değerleri 1,1 ile 1,2 arasında değişiklik göstermektedir [5].

Neil Rasmussen çalışmasında; [6] veri merkezlerinde kullanılan ekipmanları genel olarak inceleyerek, veri merkezi içerisinde bulunan ekipmanlardan elde edilebilece

enerji kazançları üzerinde durmuştur. Rasmussen çalışmasında; kullanılacak teknolojiler hakkında detay vermeyerek, genel rakamlar üzerinden ve hiç bir teknolojiyi test etmeyerek çalışmasını ortaya koymuştur. Bu durum, veri merkezi tasarımlarında yapılabilecek en büyük hatadır. Veri merkezi enerji verimliliği kapsamında geçerli verilere ulaşabilmek için, verimlilik veri merkezi genelinde bütün olarak değerlendirilmelidir.

Veri merkezlerindeki enerji verimliliği çalışmaları; veri merkezlerinde kullanılan ekipmanların tekil verimlilikleri haricinde, sunucular üzerinde gerçekleştirilen optimizasyonlar ile de gerçekleştirilebilir. Bu tip çalışmalara örnek gösterilebilecek tutarlı çalışmalardan biri ise Uddin [7] tarafından gerçekleştirilen sunucu virtualizasyonu üzerine hazırlanmış çalışmadır. Uddin; sunucular üzerinde, sunucu virtualizasyonu gerçekleştirerek %47 oranında enerji verimliliği sağlamayı öngörmektedir. Veri merkezlerinde bulunan sunucular yılın her zamanı aynı yük miktarı ile çalışmaz. Örnek verilecek olursa; bir online alışveriş şirketine ait internet sitesi; normal zamanlarda, indirim günlerine kıyasla daha az kullanıcı tarafından erişimi sağlanır. Geçmiş yıllardaki verilere bakılarak, internet sitesinin erişim oranının yıllık trendleri ortaya çıkartılabilir. Bu sayede, yılın belirli zamanlarında kullanılması gerek olmayan miktarda sunucu kapatılarak enerji tasarrufu sağlanır. Uddin gerçekleştirdiği çalışmasında, bu virtualizasyon işlemi detaylı ve gerçek verilere dayandırarak, tutarlı bir çalışma gerçekleştirmiştir.

Veri merkezlerinde enerji verimliliği sağlamak için başvurulan popüler metodlardan bir diğeri ise, veri merkezlerinde yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımınıdır. Giori I., Katsak W. ve Nguyen, D tarafından ortaya konulan çalışmada; küçük çaplı veri merkezleri oluşturularak, enerji ihtiyacının yenilebilir kaynaklardan sağlanması öngörülmüştür [8]. Öne sürülen yöntem; küçük çaplı sistem odalarında uygulanabilirlik taşısa da, büyük ve kompleks yapıları veri merkezlerinde uygulanabilirlik taşımamaktadır. Büyük veri merkezlerinin en önemli özelliklerinden biri, sürekli ve yedekli enerji kaynağına sahip olmasıdır. Yenilebilir enerjilerin en büyük sorunu olan süreklilik, büyük çaplı veri merkezleri için büyük bir problem olma potansiyeline sahiptir. Günümüzde büyük çaplı bazı veri merkezlerinde; IT enerji dışındaki enerji ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik yenilebilir enerji sistemleri kullanıldığı görülmektedir. Fakat bu durum, ilk yatırım maliyetleri ve işletme maliyetleri açısından veri merkezleri için ekstra yük ve maliyet oluşturmaktadır.

Günümüzde; veri merkezlerinin kurulduğu lokasyonlar analiz edilerek, enerji verimliliğini arttırmaya yönelik çalışmalar da mevcuttur. Gerçekleştirilen verim hesapları, direk olarak soğutma sistemlerinin dış üniteleri üzerinde ortaya konulmaktadır. Song, Zhang ve Eriksson, gerçekleştirdikleri çalışmada; soğuk iklimli lokasyonlara kurulan veri merkezlerindeki soğutma sistemlerinin, daha az enerji tüketimi (Free Cooling) ile veri merkezlerinin soğutulması işleminin gerçekleştirildiğini ortaya koymuşlardır [9]. Gerçekleştirdikleri çalışma kapsamında; farklı iklim özelliklerine sahip iki farklı lokasyona kurulmuş veri merkezlerinde, aynı tip soğutma sistemi uygulayarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, soğuk iklimde kullanılan, dış ortam ekipmanlarının enerji tüketimlerinin düşük olduğu ortaya konmuştur. Ortaya konulan bu çalışma, veri merkezi soğutma sistemlerini tek yönlü değerlendirdiği için, veri merkezi dünyasında kabul görmemektedir. Veri merkezi soğutma sistemlerinde, tek unsur IT ortamı soğutmak değildir. IT ortamın soğutulmasına ilaveten; IT ortamların nem ve basınç kontrolleri de dikkate alınmalıdır. Soğuk iklimlerden kullanılan “Free Cooling” teknolojilerinde, nem ve basınç kontrolleri yetersiz kalmaktadır. Bu durum, IT ortamda bulunan ekipmanlar için optimum çalışma ortamı sağlayamamaktadır.

Veri merkezlerindeki en önemli ve pahalı ekipmanlar olarak gösterilen sunucular, IT ortam soğutma hesapları için önemli bir parametredir. IT ortam için en optimum soğutma kapasitesi için, ortamda bulunması gereken hava akış hacimlerinin hesaplanması gerekmektedir. Daniel Kennedy; kurduğu test düzeneği üzerinde, sunucular üzerindeki kaybolan hava akış hacimlerini farklı basınç değerlerine göre hesaplamıştır [10]. Bu çalışma, bir çok veri merkezi tasarımlarındaki gerçekleştirilen soğutma sistemleri hesaplamaları için referans olarak gösterilmektedir. Bu tez kapsamında gerçekleştirilen vaka analizi içerisinde de, referans değerler olarak Daniel Kennedy tarafından gerçekleştirilen çalışma baz alınmıştır.



2. VERİ MERKEZLERİ

2.1 Veri Merkezlerine Genel Bakış

Tarihte ilk veri merkezi konsepti, 1940-1950’li yıllarda ilk bilgisayarların kullanılması ile ortaya çıkmıştır. Bu yıllardaki bilgisayarlar, oldukça büyük ve devasa odalarda konumlandırılan sistemlerden oluşmaktaydı. Bu devasa bilgisayar sistemlerinin bulunduğu tesisler ise, veri merkezleri olarak adlandırılıyordu. 1970-1980’li yıllarda mikro-bilgisayarların icadı ile, bilgisayar boyutları küçülmeye başladı ve devasa bilgisayarların bulunduğu tesisler (veri merkezi kavramı) popülaritesini yitirdi. 1990’lı yılların başlarına doğru, internet kullanımının dünya üzerinde yaygınlaşması ve 2000’li yıllarda bulut teknolojilerinde patlama yaşanması sonucunda, veri merkezleri tekrar popülaritesini kazanmaya başladı ve her geçen zaman dilimi içerisinde popülaritesini katlayarak arttırdı.

Günümüzde ise, veri merkezleri birer ticari tesis konumuna gelmiştir. En ufak bir işletmenin veya şirketlerin bile kendilerine ait verileri bulunmaktadır. Bu verileri, bir veri merkezi üzerinden taşınmalı, işlenmeli ve depolanmalıdır. Bu işlemler günümüz dünyasında bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu duruma en güzel örnek olarak: “Günümüzdeki firmaların, veri merkezlerinde meydana gelen herhangi bir aksaklık durumunda, operasyonlarını durdurmak zorunda kalması” gösterilebilir.

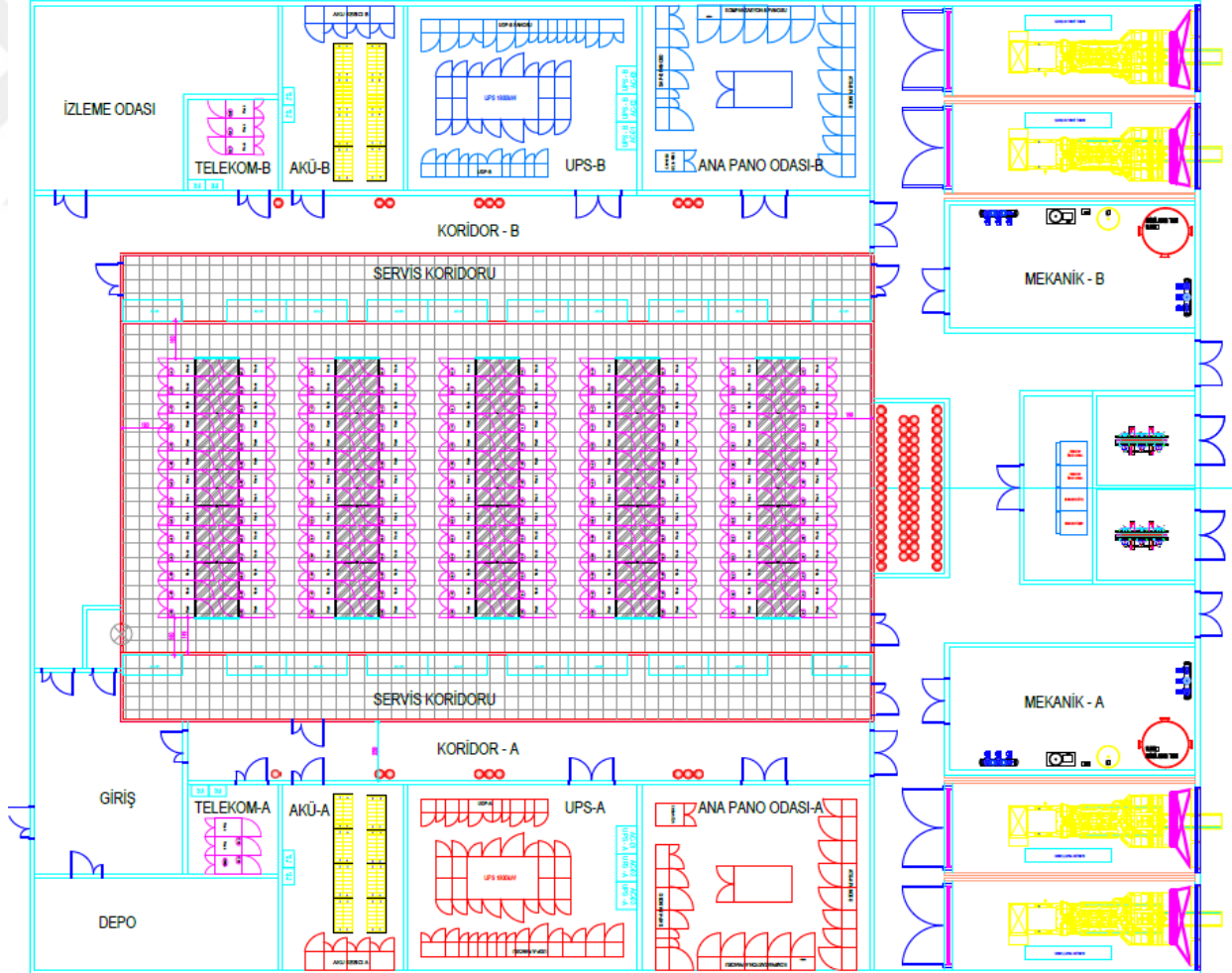
Veri merkezleri, işlem gerçekleştirebildikleri veri kapasitelerine göre farklı ölçeklerde değişkenlik gösterebilir. Küçük ölçekli veri merkezleri, büyük binaların tek bir odasında bulunabildiği gibi; büyük ölçekli veri merkezleri, veri merkezi olarak dizayn edilen tesislerde konumlandırılır. Veri merkezinin yapısını belirleyen en önemli unsur; veri merkezinin ne kadar önem taşıdığı yani ne kadar değerli verileri depoladığı, transfer ettiği ve işlediğidir. Veri merkezleri; belirli gereklilikler doğrultusunda, ”TIA (Telecommunications Industry Association)” ve “Uptime Institute” gibi kuruluşlar tarafından kategorize edilmektedir (TIER Certification). Örneklendirilecek olursak; Uptime Institute, veri merkezlerini “TIER 1” ‘den “TIER 4”kadar sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırma, veri merkezlerinin yıl içindeki operasyonda kaldıkları süre ve veri

merkezlerinin yedeklilikleri baz alınarak gerçekleştirilir. TIER 1 sertifikası verilmiş bir veri merkezi; yılın ortalama %99,671'lik süresi boyunca operasyondaiken, TIER 4 sertifikası verilmiş bir veri merkezi ise yılın ortalama %99,995'lik süresi boyunca operasyondadır [11]. Hesaplamalar yapıldığında, TIER 1 sertifikasına sahip veri merkezlerinin ortalama 28 saat, TIER 4 sertifikasına sahip veri merkezlerinin ise sadece 26 dakika operasyon dışında kaldığı görülmektedir. İki sınıfın arasında oluşan dakika farkı, direk olarak veri merkezinin ne kadar yedekli olduğuna bağlıdır.

2.2 Veri Merkezlerinin Genel Yapısı

Veri merkezleri ölçekleri, bina içerisindeki tek bir oda içerisinde konumlandırılan yapı ile bir çok binadan oluşan kompleks tesis yapısı arasında farklılık göstermesine rağmen; çalışma prensibi ve içerisinde bulundurduğu temel yapılar benzerlik göstermektedir. Kompleks bir veri merkezi içerisinde bulunan yapı, aşağıda maddeler halinde ve şekil 2.1'de verildiği gibi özetlenebilir:

- Bina
 - Güvenlik Sistemleri
 - Yangın Sistemleri
- IT Ekipmanlar
 - Sunucular
 - Veri Depolama
 - Ağ Elemanları
- Elektriksel Sistemler
 - UPS Sistemleri
 - PDU Sistemleri
 - ATS Sistemleri
 - Elektrik İletim Elemanları
 - Jeneratörler
- Mekanik Sistemler
 - Soğutma Sistemleri
 - Havalandırma Sistemleri



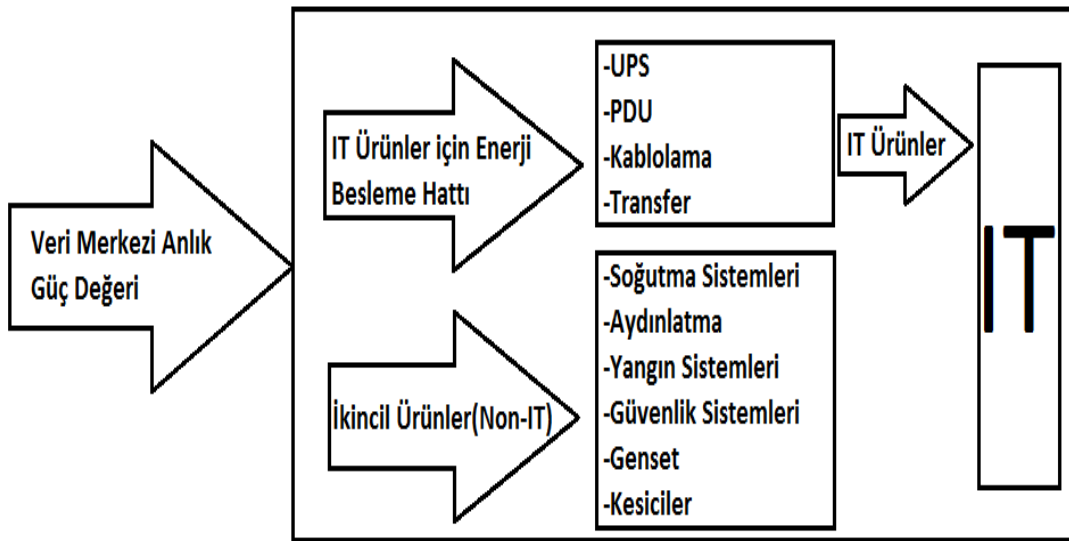
Şekil 2.1 :AutoCad ile tasarlanmış örnek veri merkezi projesi.

2.3 PUE Kavramı ve Hesaplanması

Veri merkezleri verimliliği hesaplamalarında kullanılan geleneksel modeller sonucunda elde edilen verimlilik değerleri, pratikte ortaya çıkan değerlerden büyük sapmalar göstermektedir. Bu durumun en büyük sebebi ise, veri merkezlerinde kullanılan her bir cihazın verimliliğinin ve kayıplarının teker teker ele alınarak, doğru bir şekilde veri merkezi sistemine entegre edilememesinden kaynaklanmaktadır. Geleneksel enerji verimliliği modellerindeki hataları ortadan kaldırmak ve etkin verimlilik hesaplarının ortaya konulabilmesi için, veri merkezi verimliliği olarak adlandırılan PUE (Power Usage Effectiveness) kavramı ortaya çıkmıştır.

$$(PUE) = \frac{\text{Toplam Veri Merkezi Elektriksel Gücü(Watt)}}{\text{Veri Merkezi IT Ekipmanların Elektriksel Gücü(Watt)}} \quad (2.1)$$

Temel amacını IT ekipmanların çalışması ve sürekliliği olan veri merkezleri için, enerji verimliliği hesaplanırken IT ürünlerin elektriksel güç değerleri baz alınır. Eğer veri merkezi %100 verimli ise, PUE değeri 1 olur. Bu durumda, veri merkezinin tüm elektriksel gücü, IT ürünler için harcanıyor demektir. Fakat pratikte; IT ürünlere ek olarak, veri merkezi içerisinde elektrik tüketimi olan IT sistemine ait olmayan ekipmanlar bulunmaktadır. Şekil 2.2’de veri merkezleri içerisindeki enerji akış şeması verilmiştir. Veri merkezlerinde gerçek hedef, enerjinin IT ürünlere ulaştırılmasıdır. IT ürünlerin dışındaki tüm elektrik tüketimleri kayıp olarak hesaba katılmaktadır.



Şekil 2.2 : Veri merkezi enerji akış şeması.

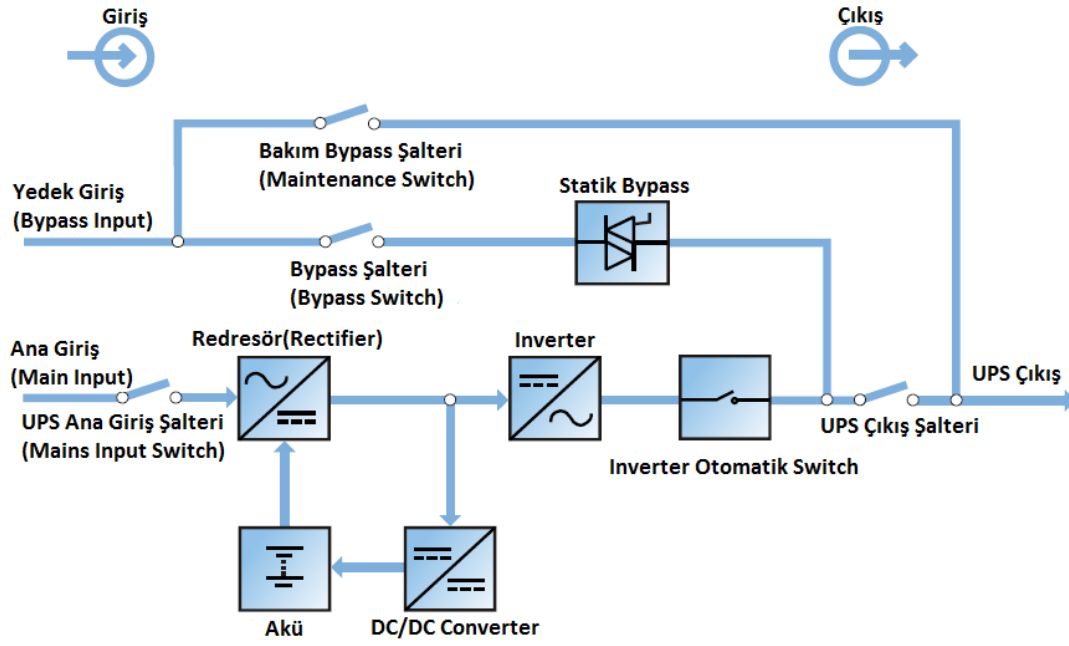
2.4 Güç Sistemleri

Veri merkezlerinin güç sistemlerinin, eş büyüklükteki ofislerin güç sistemlerine göre çok daha kompleks ve gereksinimleri fazladır. İçerisinde bulunan yüksek sayıdaki sunucu bilgisayarlarını ve ağ ekipmanlarını beslediği için, sağladığı enerjinin sürekli olması gerekmektedir. Bu sürekli enerjinin sağlanması için; UPS ve jeneratör sistemleri kullanılmaktadır.

2.4.1 UPS sistemleri

UPS sistemleri günümüzde, herhangi bir gerilim dalgalanmasının kabul edilemediği tüm sektörlerde kullanılmaktadır. UPS'ler, yüksek teknolojiye sahip güç elektroniği ürünleridir. Fakat UPS'lerin işlevini yerine getirebilmesi için beraberinde akülerde olmalıdır. Bu sebeple, UPS ve akülerden oluşan sistemlere "UPS Sistemleri" olarak genel bir ad verilir. UPS'lerin en önemli kullanım sebebi; gerçekleşebilecek herhangi bir elektrik kesintisi sırasında, yükü aküler üzerinden besleyerek enerjisiz kalma riskini ortadan kaldırmaktır. UPS'lerin diğer bir kullanım amacı ise; filtre görevi görerek, şebeke gerilimindeki dalgalanmaları ve bozuklukları ortadan kaldırarak, saf sinus dalgası ile yükü beslemektir. Veri merkezleri ortak şebekelerden beslendiği için, şebekeden aldığı enerjinin gerilimi her zaman düzgün değildir. Bu durum IT ekipmanları için büyük risk teşkil etmektedir. UPS kullanımı ile bu risk ortadan kaldırılmaktadır.

Günümüzde hemen hemen her sektörün ihtiyaçlarını karşılayabilen ve yüksek verimli kullanım imkanı sunabilen statik UPS'ler kullanılmaktadır. Bu tip UPS'ler, iki farklı hattan beslenecek şekilde tasarlanmıştır. Bu beslemelerin ilki ana giriştir ve direk olarak UPS'in redresörünü besler. UPS redresörüne giren AC şebeke gerilimi, redresörde DC gerilime çevirilerek, UPS'in iç dizaynında bulunan DC ara devreye aktarılır. DC ara devrenin bir ucu, DC/DC converter üzerinden akülere bağlanır. DC ara devrenin diğer ucu ise, UPS inverterinin beslemesini oluşturur ve inverter üzerinde AC dalgaya çevrilerek UPS'in çıkışını besler. Inverterin oluşturduğu saf ve sabit frekanslı AC sinus dalgasıyla UPS çıkışı beslenir. Şekil 2.3'te, statik UPS'lere ait genel diyagram verilmiştir. Inverter çıkışı ile statik bypass çıkışı arasında, thyristörlü otomatik anahtarlama devresi bulunmaktadır. Bu devre sayesinde, UPS'in inverter kısmında meydana gelebilecek herhangi bir arıza anında, yük statik bypass'a aktarılır.



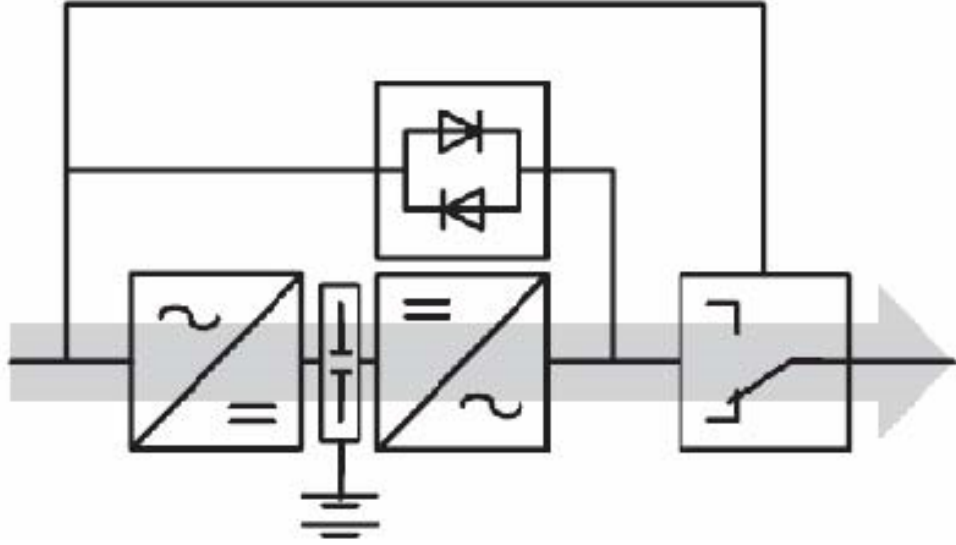
Şekil 2.3 : Statik UPS blok diyagramı.

UPS'in ikinci beslemesi "Bypass Beslemesi" olarak adlandırılır ve direk olarak tristor devresinden oluşan "Statik Bypass Modülüne" bağlanır. UPS içerisinde, statik bypass ve inverter birbirini izler. UPS ilk enerjilendirildiğinde, statik bypass üzerinden yük beslenir. Kullanıcı tarafından inverter çalıştırıldığı an; inverter, bypass kaynağını referans alarak PWM (Pulse Width Modulation) sinyalleri inverter çıkışında AC sinus dalga formunu oluşturur ve yükü inverter üzerinden beslemeye başlar.

UPS'in DC ara devresi, DC/DC konvertör üzerinden akülere bağlanır. Bu DC/DC konvertör devresi çift taraflı çalışır. Bu konvertör üzerinden, akülerin şarj işlemleri (Buck Converter) ve deşarj işlemleri (Boost Converter) gerçekleştirilir.

2.4.1.1 UPS çift çevirim operasyonu

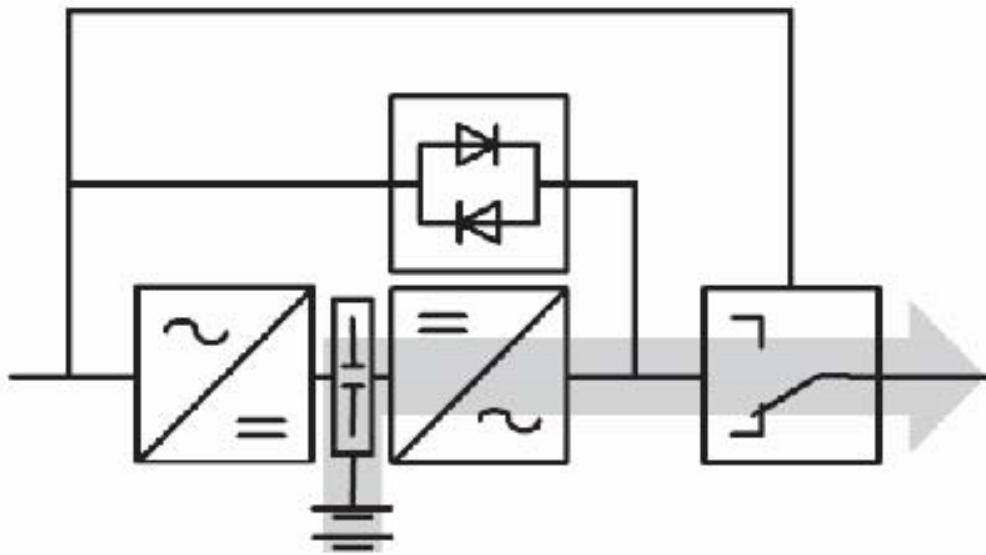
Bu operasyon türü, UPS'lerin normal çalışma modudur. UPS'in redresörü şebeke tarafından beslenir. Şebekeden çekilen AC sinus dalgası, redresör üzerinden doğrultulur, DC dalgaya çevrilir ve UPS'in içerisinde bulunan DC ara devreye iletilir. DC ara devrenin bir ucu "DC/DC buck converter" üzerinden aküleri şarj eder, diğer ucu ise inverteri besler. DC ara devreden çekilen DC enerji, inverter üzerinde AC sinüs dalgasına çevrilerek yük beslenir. Şekil 2.4'te diyagramı verilen çift çevirim operasyonu sayesinde; aküler şarj edilir, harmonikler temizlenir, sabit frekansa ve gerilime sahip saf AC sinüs dalgaları oluşturularak elektriksel yük beslenir.



Şekil 2.4 : UPS çift çevirim operasyonu.

2.4.1.2 Akü modu

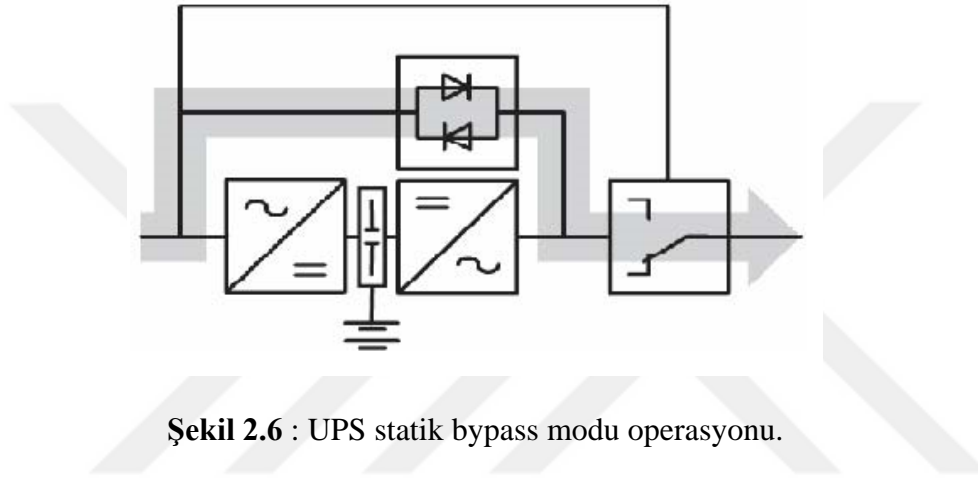
UPS, şekil 2.5'te diyagramı verilen çift çevirim modunda çalışırken meydana gelebilecek herhangi bir şebeke enerji kesintisi veya şebeke enerjisinin istenilen değerlerin dışına çıkması (Frekans, gerilim seviyesi, THD, DC bileşen) durumunda; UPS redresörü çalışmasını durdurur ve yük akülerden inverter üzerinde AC sinus dalgasına çevrilerek beslenir. Yükün akülere transfer işlemi kesintisiz bir şekilde gerçekleşir.



Şekil 2.5 : UPS akü modu operasyonu.

2.4.1.3 UPS statik bypass modu

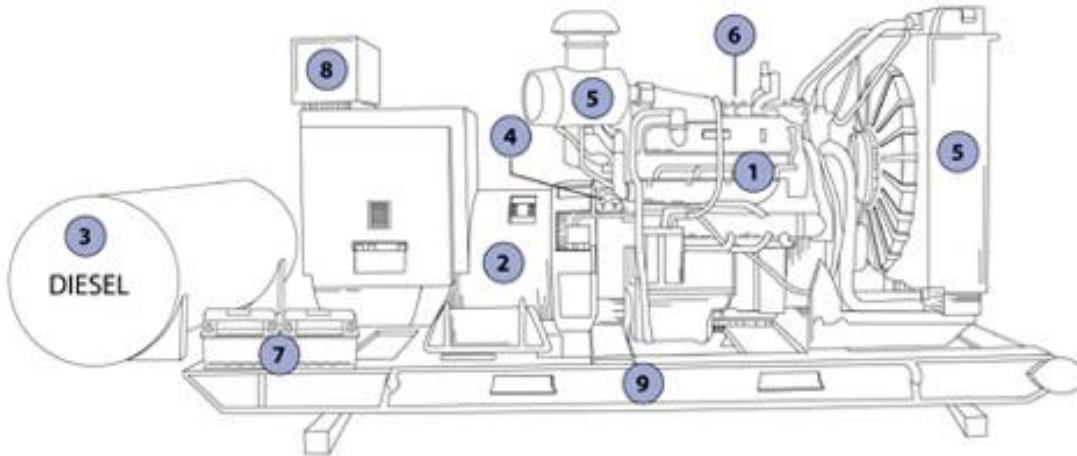
Şekil 2.6’ta diyagramı verilen statik bypass UPS modunda; yük direk olarak şebeke enerjisi tarafından, tristörlerden oluşan statik bypass modülü üzerinden beslenir. UPS çift çevirim modunda çalışırken; UPS’in inverter modülünde meydana gelebilecek herhangi bir istenmeyen durum anında (inverter aşırı yüklenme, arıza, yüksek sıcaklık vb.) inverter’in çalışmasını durdurur ve yükü statik bypass moduna transfer eder. Bu sayede, yük tarafında meydana gelebilecek herhangi bir enerji kesintisinin önüne geçilir.



Şekil 2.6 : UPS statik bypass modu operasyonu.

2.4.2 Jeneratör sistemleri

Şekil 2.7’de yapısı verilen jeneratörler, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren mekanik ekipmanlardır. Dönen elektriksel iletkenler ve manyetik alan sayesinde; diğer bir iletkenin üzerinde gerilim farkı oluşturarak, elektrik akımını ortaya çıkarırlar.



Şekil 2.7 : Dizel jeneratör genel görünümü [12].

Motor (1); jeneratörün elektrik enerjisine çevirdiği mekanik enerjinin kaynağını oluşturur. Motorun büyüklüğü ile, jeneratörün çıkış elektrik gücü direkt olarak bir doğru orantı vardır.

Alternatör (2) ; motor tarafından üretilen mekanik enerjinin, elektrik enerjisine çevirildiği kısımdır. Jeneratörün çıkış olarak verdiği elektrik enerjisi, burada bulunan dönen (Rotor) ve sabit parçalar (Stator) üzerinde oluşturulur. Rotor ve stator birlikte çalışarak; elektrik alan ile manyetik alan arasında “Bağıl Devinim (Relative Movement)” oluşturulur.

Dizel Yakıt Deposu (3) ; jeneratör için kullanılan dizel yakıt bu tanklar içerisinde tutulur. Tankların hacimleri, genellikle jeneratör sistemini 8-10 saat besleyecek şekilde seçilir.

Gerilim Regülatörü (4) ; jeneratörün çıkış gerilim değerini kontrol ederek, farklı yük seviyelerinde istenilen değerde kalmasını sağlar.

Soğutma ve Egzoz Sistemi (5) ; jeneratör içerisinde açığa çıkan ısının dışarı atılıp, jeneratörün mekanik parçalarının soğutulması zorunludur. Jeneratörlerin içerisinde bulunan sıcaklık sensörleri ile; sıcaklık sürekli olarak kontrol edilerek, soğutma sistemleri otomatik olarak kontrol edilir. Jeneratör sıcaklık değerleri istenilen değerlerin dışına çıktığı durumlarda, jeneratör yüksek sıcaklık uyarısı vererek otomatik olarak devre dışı kalmaktadır.

Jeneratör tarafından üretilen egzoz dumanı, yüksek miktarda toksik kimyasallar içermektedir. Bu sebeple, jeneratörün ön görülen performansına ulaşabilmesi için bu gazların sürekli olarak dışarı atılması gerekmektedir. Egzoz bacaları genellikle demir ve çelikten yapılır ve motordan bağımsız bir şekilde jeneratör üstünde konumlandırılır. Genellikle esnek maddeler ile motora bağlantısı yapılır ve bu sayede titreşimlerin motor üstünde oluşturabileceği hasarlar minimize edilir.

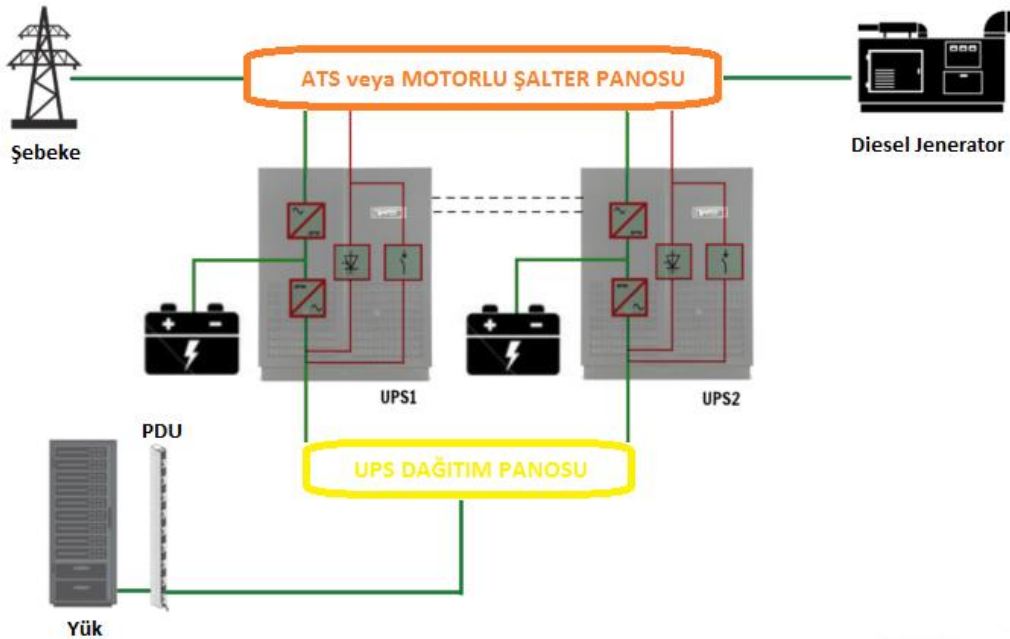
Yağlama Sistemi (6) ; jeneratör motoru içerisinde bulunan dönen parçaların uzun ömürlü olması ve düzgün bir hareket sağlaması için yağlama sistemleri kullanılır. Jeneratör üzerinde bir depo içerisinde bulunur ve pompa yardımıyla motora pompalanır. Genellikle her jeneratör operasyonunda yağ seviyesi ve yağ sıcaklığı kontrolleri yapılır. Yağ sıcaklığı yüksek seviyelerde ise, jeneratör operasyonuna izin verilmez.

Akü ve Şarj Sistemi (7) ; jeneratörün ilk start anında ihtiyacı olan enerji, aküler tarafından sağlanır. Akü gerilimi, akü şarj sistemi tarafında sürekli izlenir. Akü DC geriliminin azaldığı süre zarfında, aküye bağlı olarak bulunan şarj sistemi tarafında şarj işlemi uygulanır.

Kontrol Paneli (8) ; jeneratör üzerinde gerekli ayarların yapıldığı ve manual çalıştırma-durdurma işlemlerinin yapıldığı kullanıcı arayüzüdür.

2.4.2.1 Jeneratör-UPS sistemlerinin entegrasyonu

Jeneratör ve UPS sistemleri, tesislerin elektrik sistemlerinin ilk basamağında bulunur ve büyük önem taşır. Özellikle herhangi bir enerji kesintisinin kabul edilemez olduğu veri merkezlerinde, şekil 2.8’de örneklenen jeneratör-UPS sistemlerinin altyapı projeleri ve tasarımları titizlikle yapılmaktadır. Şebeke enerjisinde meydana gelen herhangi bir enerji kesintisi anında, jeneratörün otomatik olarak çalışması beklenir. Fakat, jeneratörün yükü beslemeye hazır olması yaklaşık olarak 30-50 sn arasında değişmektedir. Bu süre zarfında yük, UPS tarafındaki aküler üzerinden (UPS Akü Modu) beslenmektedir. Jeneratör yükü beslemeye hazır hale geldiğinde ve yükü beslemeye başladığında, UPS akülerden yükü beslemeyi durdurarak normal operasyonuna (UPS Çift Çevirim Modu) döner. Şebeke enerjisi geri geldiğinde, jeneratör otomatik olarak durarak, yükü şebekeye aktarır.

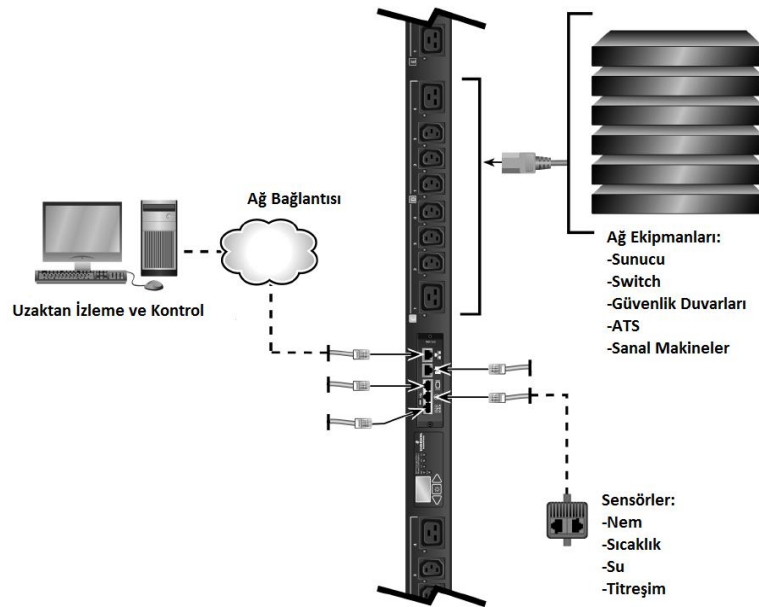


Şekil 2.8 : Jeneratör – UPS sistemi entegrasyonu.

2.4.3 PDU (Power Distribution Unit)

PDU'lar elektriksel yüklerin direk olarak bağlandığı 1 faz veya 3 faz güç dağıtım üniteleridir. PDU'lar akıllı prizler olarak da tanımlanır. Günümüzde son teknoloji PDU'lar, kullanıcıya ağ üzerinden; anlık değerlerin ölçülmesi (Gerilim, akım, frekans, harmonik vb.), uzaktan kontrol (istenilen her bir soketi açıp-kapatma imkanı) sağlar. Buna ilaveten, PDU'lara bağlanan sensörler sayesinde; ortamın fiziksel durumu (sıcaklık, nem, sıvı teması ve vibrasyon) sürekli olarak izlenerek, oluşabilecek herhangi bir istenmeyen durum önceden engellenebilmektedir.

Bu güç dağıtım üniteleri direk olarak sunucu, güvenlik duvarı ve sanal makineler gibi ağ ekipmanlarını besledikleri için; ağ ekipmanlarına yakın bir konumda, raflı kabinetleri içerisinde konumlandırılır. PDU'ların sunduğu elektriksel değerlerin ve ortamın fiziksel durumunun anlık ölçümleri sayesinde, raflı kabinet içerisinde bulunan ağ elemanları için oluşabilecek herhangi tehlikeli bir durum önceden tespit edilerek engellenebilir. Örneğin, bir raflı kabineti içerisinde bulunan sunucu, yine aynı kabinet içerisinde bulunan PDU tarafından beslenmektedir. Sunucular, yüksek sıcaklığa karşı hassas ekipmanlardır. Kabinet içerisinde meydana gelebilecek herhangi bir sıcaklık artışı; PDU sensörleri sayesinde, tehlikeli olmayan değerlerde farkedilerek yüksek sıcaklık sebebiyle sunucuların kapanma riski ortadan kaldırmaktadır. Bu koruma mekanizmaları yüksek-düşük nem, sıvı teması veya aşırı akım durumları içinde geçerlidir. Şekil 2.9'da, genel PDU kullanımını verilmiştir.



Şekil 2.9 : PDU genel kullanım şekli [13].

2.5 Geleneksel Veri Merkezi Soğutma Sistemleri

Veri merkezlerinde bulunan soğutma sistemlerinin 2 temel amacı vardır. Bunlar; veri merkezi içerisinde oluşan ısıyı ortadan kaldırmak ve soğuk havayı etkili bir şekilde veri merkezine dağıtmaktır.

Elektrik ile çalışan tüm ekipmanların tükettiği elektriksel bir güç değeri mevcuttur. Bu güç değerleri, ekipmanların büyüklüklerine göre W (Watt) veya kW (KiloWatt=1000Watt) birimleri ile ölçülür. Elektrik ekipmanlarının tükettiği bu güç değerlerinin bir kısmı, bu ekipmanlar tarafından ısı olarak ortama salınır. Bu sebeple, soğutma sistemleri seçilirken; soğutacağı ortamdaki elektriksel ekipmanlar göz önünde bulunarak tüketimleri hesaplanır ve bu ortaya çıkan ısı değerini soğutabilecek güçte soğutma sistemleri seçilir.

Günümüzde veri merkezleri projelerinde kabul edilen ideal ortam sıcaklığı 20-25 °C arasındadır [14]. 25 °C üstü ortam sıcaklıkları yüksek sıcaklık (az soğutulmuş), 20 °C altı ortam sıcaklıkları ise düşük sıcaklık (aşırı soğutulmuş) olarak değerlendirilir. Bu her iki durum da veri merkezlerinde istenmeyen durumların başında gelir ve IT sistemlerin çalışmasını engelleyecek potansiyele sahiptir.

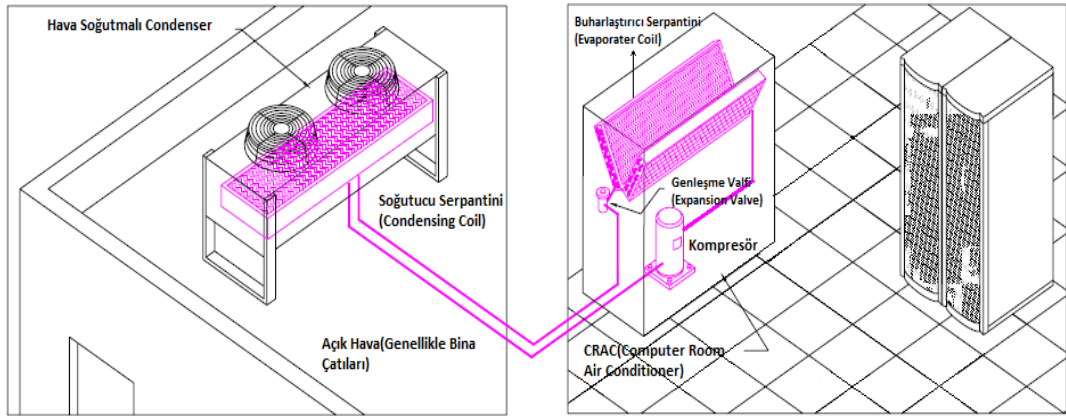
Günümüzdeki IT sistemlerde kullanılan, ortamdaki istenmeyen sıcak havayı içeriden dışarı atarak ve IT ortam iklimlendirmesi yapabilen birçok temel soğutma yöntemleri mevcuttur. Bunlardan sadece birkaçı kritik IT odalarında ve veri merkezlerinde kullanılır. Bu methodlardan hepsi, soğutucu akışkan (refrigerant cycle) döngüsü kullanarak, veri merkezlerindeki veya IT ortamlardaki istenmeyen sıcak havayı dış ortama taşırlar. Bazı yöntemlerde; IT ortamlarından ayrı lokasyonlara yerleştirilen harici soğutucu akışkan döngü ekipmanları kullanılır. Bu sistemlerde, soğutma sistemlerinin kendi boruları sayesinde bağımsız kapalı devre soğutma sistemleri (self-contained pipelines) oluşturulur. Bu borulardaki su ve diğer akışkanlar maddeler sayesinde, soğuma döngüsü işlemi kolaylaştırılır.

2.5.1 Hava soğutmalı sistemler

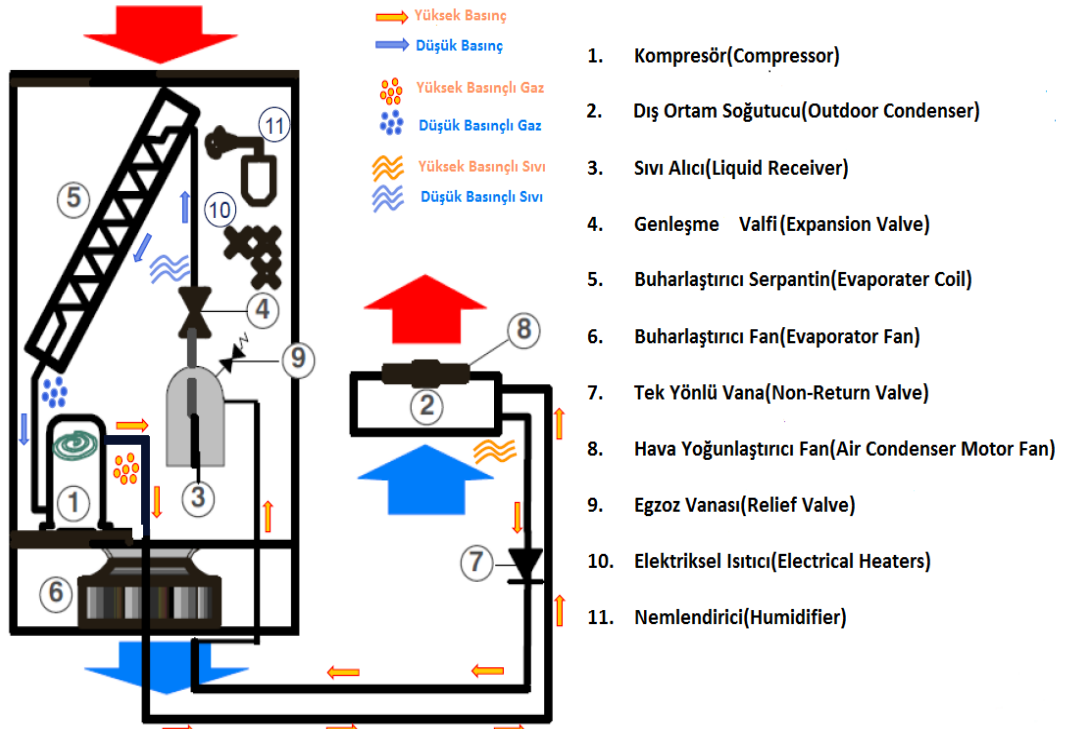
Hava soğutmalı sistemler, küçük ve orta çaplı (ortam hacminin ve ısı üretiminin yüksek olmadığı ortamlar) IT sistemlerde yaygın bir oranda kullanılır. Bu sistemler, kullandıkları teknoloji sebebiyle direk genişmeli (Direct Expansion, DX) sistemler

olarak da adlandırılmaktadır. Genel bir tabir ile direk genişmeli sistem; yapısında soğutucu akışkan (Refrigerant) ve buharlaştırıcı serpantin (Evaporater Coil) bulunduran sistemlere verilen genel isimdir.

Hava soğutmalı sistemler 2 ayrı ekipman içermektedir. Bu iki ayrı ekipmanlar; IT ortamların içerisine yerleştirilen CRAC (Computer Room Air Conditioner) ve açık havaya yerleştirilen soğutuculardır (Condenser). Şekil 2.10 'da görüldüğü üzere, hava soğutmalı direk genişmeli sistemler; CRAC (Computer Room Air Conditioner), condenser ve basit boru sistemlerinden oluşmaktadır.



Şekil 2.10 : Hava soğutmalı direk genişmeli sistem örneği.



Şekil 2.11 : CRAC ünite ve dış ortam soğutucusunun yapısı.

Şekil 2.11’de gösterildiği üzere; IT ortamda bulunan sıcak hava, CRAC ünitesinin içerisinde bulunan fanlar sayesinde ünitenin içerisine alınır. Ünitenin içerisine alınan hava filtreden geçirilerek toz ve parçacıklardan temizlenir. Ünite içerisine alınan sıcak hava; genişleme valfinden (Expansion Valve) gelen düşük sıcaklık ve düşük basınçdaki soğutucu akışkan ile ısı alışverişi yaparak soğutulur. Soğutulan bu hava, fanlar yardımıyla CRAC ünitesinden ortama verilir. Bu sayede ortamın soğutması gerçekleşmiş olur.

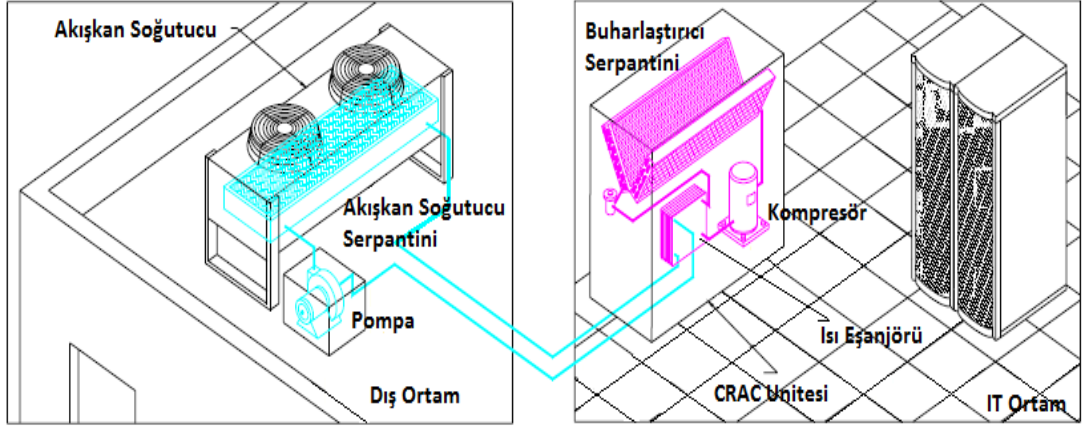
Ortamda bulunan sıcak havayı soğutmak için; akışkan ve ortamdan alınan sıcak hava arasında gerçekleşen ısı difüzyonu sonucunda, akışkanların sıcaklığı yükselir. Bu akışkanların kompresör yardımı ile basıncı yükseltilir ve kondenser’e gönderilmek üzere yüksek basınçlı ve yüksek sıcaklıklı (Örneğin, 70 °C ve 24 bar) akışkan ortaya çıkar. Bu akışkan, kondenser ve CRAC üniteler arasındaki borular sayesinde kondenser’e gönderilir. Dış ortamda bulunan kondenser’de, dış ortam ile gerçekleşen difüzyon sonucunda akışkanın sıcaklığı düşürülür (örneğin 70 °C’den 40 °C’a). Daha sonra akışkan, tek yönlü vanadan geçerek genişleme valfine (Expansion Valve) gelir. Genişleme valfinden, akışkanın basıncı ve sıcaklığı düşürülerek (6 °C 8 bar), IT ortamdan gelen sıcak havanın soğutulması için ideal difüzyon ortamı oluşturulur.

2.5.2 Glikol soğutmalı sistemler

Glikol soğutmalı sistemler, akışkanlarını kapalı döngü içerisinde kullanarak soğutma gerçekleştirir (Self Containment). Farklı olarak ise, ısı eşanjörü bulundurlar. Isı eşanjörü; akışkan glikol’u kullanarak, IT ortamdaki ısıyı alır ve dış üniteye taşıyarak sistemden uzaklaştırır. Akışkan glikol, su ve etilen glikol’den oluşan bir karışımdır ve bir çok sektörde “donma önleyici” sıvı olarak kullanılır. Glikol maddesinin entalpi değerleri yüksek olduğu için; hava soğutmalı sistemlere kıyasla daha fazla miktarda sıcak havayı toplama ve taşıma özelliği vardır. Şekil 2.12’de genel yapısı verilmiştir.

IT ortamda bulunan sıcak hava, CRAC ünitesinin içerisinde bulunan fanlar sayesinde ünitenin içerisine alınır. Ünitenin içerisinden alınan hava filtreden geçirilerek toz ve parçacıklardan temizlenir. Ünite içerisine alınan sıcak hava; ısı eşanjöründe, dış ortam soğutucusundan gelen düşük sıcaklık ve düşük basınçdaki soğuk glikol ile ısı alışverişi yaparak soğutulur. Soğutulan bu hava, fanlar yardımıyla CRAC ünitesinden ortama verilir. Bu sayede ortam soğutması gerçekleşmiş olur.

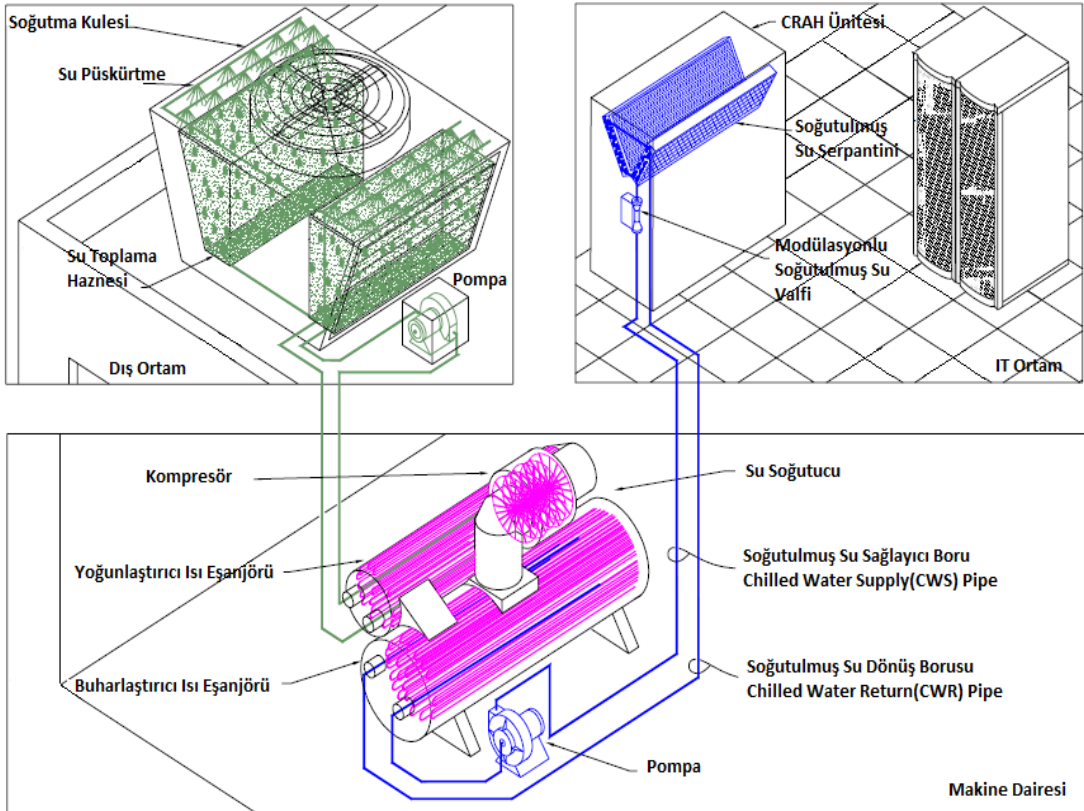
Isı eşanjörü içerisinde; IT ortamdan alınan sıcak hava ile ısınan glikol, CRAC ünitesi ve dış ünite arasındaki borular sayesinde, dış ortam soğutucusuna taşınır. Serpantin üzerinde; fanlar yardımıyla dış ortamın soğuk havası ile glikol soğutulur. Soğutulan glikol, pompa yardımıyla tekrar ısı eşanjörüne gönderilir.



Şekil 2.12 : Glikol soğutmalı sistem.

2.5.3 Su soğutmalı sistemler

Şekil 3.13'te genel yapısı verilen bu tip sistemler; CRAH ünitesi, soğutma kulesi ve su soğutucularından oluşmaktadır.



Şekil 2.13 : Su soğutmalı sistemler.

Soğutma çevrimi CRAC ünitelerde değil, su soğutucu ünitelerde (Water Chiller Unit) gerçekleşmektedir. Bu ünitelerin görevi, sisteme soğutulmuş su (Chilled Water) sağlamaktır. Burada soğutulan su, borular yardımıyla IT ortamda bulunan CRAH ünitesine gönderilir (CRAH üniteler ile CRAC ünitelerin çalışma prensipleri tamamen farklıdır.) CRAH ünitelerin içinde “soğutulmuş su serpantini” (Cooled Water Coil) bulunmaktadır. Bu serpantin içinde, chiller’den gelen soğutulmuş su dolaşmaktadır. IT ortamdan alınan sıcak hava, bu serpantin üzerinden geçerek soğutulur. Ortamın havası soğutulurken, serpantin üzerinde dolaşan soğutulmuş su ısınır. Isınan su, CRAH ünitesinden tekrar soğutulmak üzere chiller’a gönderilir (Return Chilled Water). Chiller üzerinde; CRAH ünitesinden getirilen ısı, kondenser su çevrimine aktarılır. Kompresör üzerinde basıncı yükseltilerek, dış ortama atılmak için soğutma kulesine gönderilir. Soğutma kulesinin tepesinde bulunan su püskürtücüler ile sıcak su aşağı doğru püskürtülür. Püskürtülen sudan bir kısmı buharlaşır ve kalan kısmı su toplama haznesinde toplanır. Buharlaşan sıcak su kütlesi sayesinde, haznede toplanan su soğutulur. Soğutma kulesinin tepesinde bulunan fanlar sayesinde, buharlaşma işlemi hızlandırılır ve su toplama haznesinde soğutulmuş su toplanır. Haznede toplanmış soğutulmuş su, pompa yardımıyla tekrar chiller’a gönderilir.

3. VERİ MERKEZLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI

3.1 Uygun UPS Seçimi

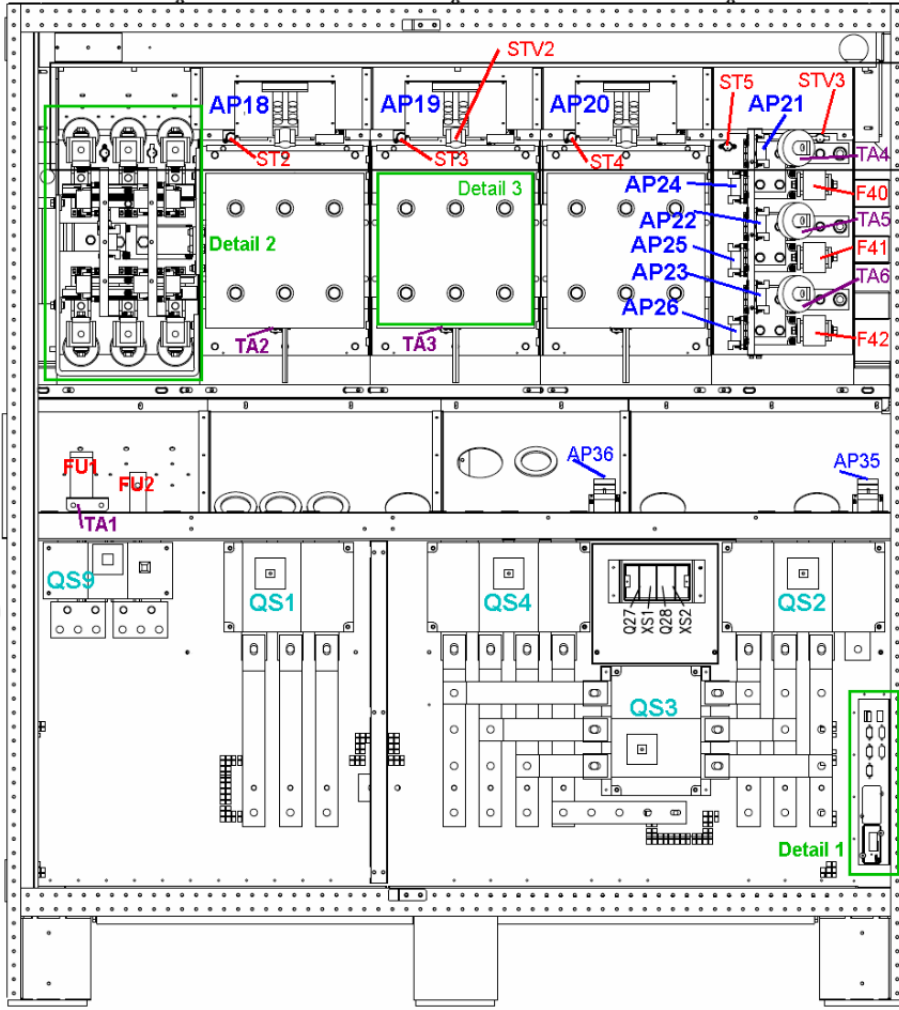
UPS Sistemleri, veri merkezlerinin en temel ve en önemli ekipmanlarının başında gelmektedir. UPS sistemlerinin doğru bir şekilde seçilmesi, veri merkezlerinde sürekliliği ve yüksek verimliliği sağlamak için büyük bir önem taşımaktadır. UPS sistemlerinin tarihine bakıldığında; UPS teknolojisi ilk olarak geniş hacim kaplayan ve monoblok olarak adlandırılan sistemlerden oluşmaktaydı. Büyük UPS boyutları, geniş kullanım alanına sahip UPS kullanıcılar için sorun teşkil etmekteydi. Artan piyasa talepleri ve gelişen teknoloji doğrultusunda UPS'lerin boyutları her geçen sene küçülmeye başlamıştır. Günümüzde ise monoblok UPS'lerin yerine; daha az yer kaplayan, bakım ve arıza süreçleri çok daha kolay olan modüler UPS'lerin popüleritesi ve kullanım oranı artmaktadır.

3.1.1 Modüler UPS kullanımı

Monoblok olarak adlandırılan UPS'ler; güç kapasitelerine göre sınıflandırılır ve bu güç kapasitesi donanımsal ve yazılımsal olarak arttırılamaz. Bu duruma ilaveten; monoblok UPS'ler operasyonda iken, UPS'ler üzerinde hiçbir şekilde servis faaliyetleri uygulanamaz. Bu durum; UPS'de meydana gelecek herhangi bir arıza anında; ilgili UPS'in tam kapasitesinin devre dışı kalarak, işletmelerin kesintisiz enerjini tehlikeye sokmaktadır.

Monoblok UPS'lerin tamamı kapasitesine göre dizayn edilmiş olup, UPS içerisinde bulunan tüm ekipmanlar UPS'in kapasitesini karşılamak için kullanılmaktadır. Şekil 3.1'de 150 kVA herhangi bir monoblok UPS ait önden görünüş verilmiştir.

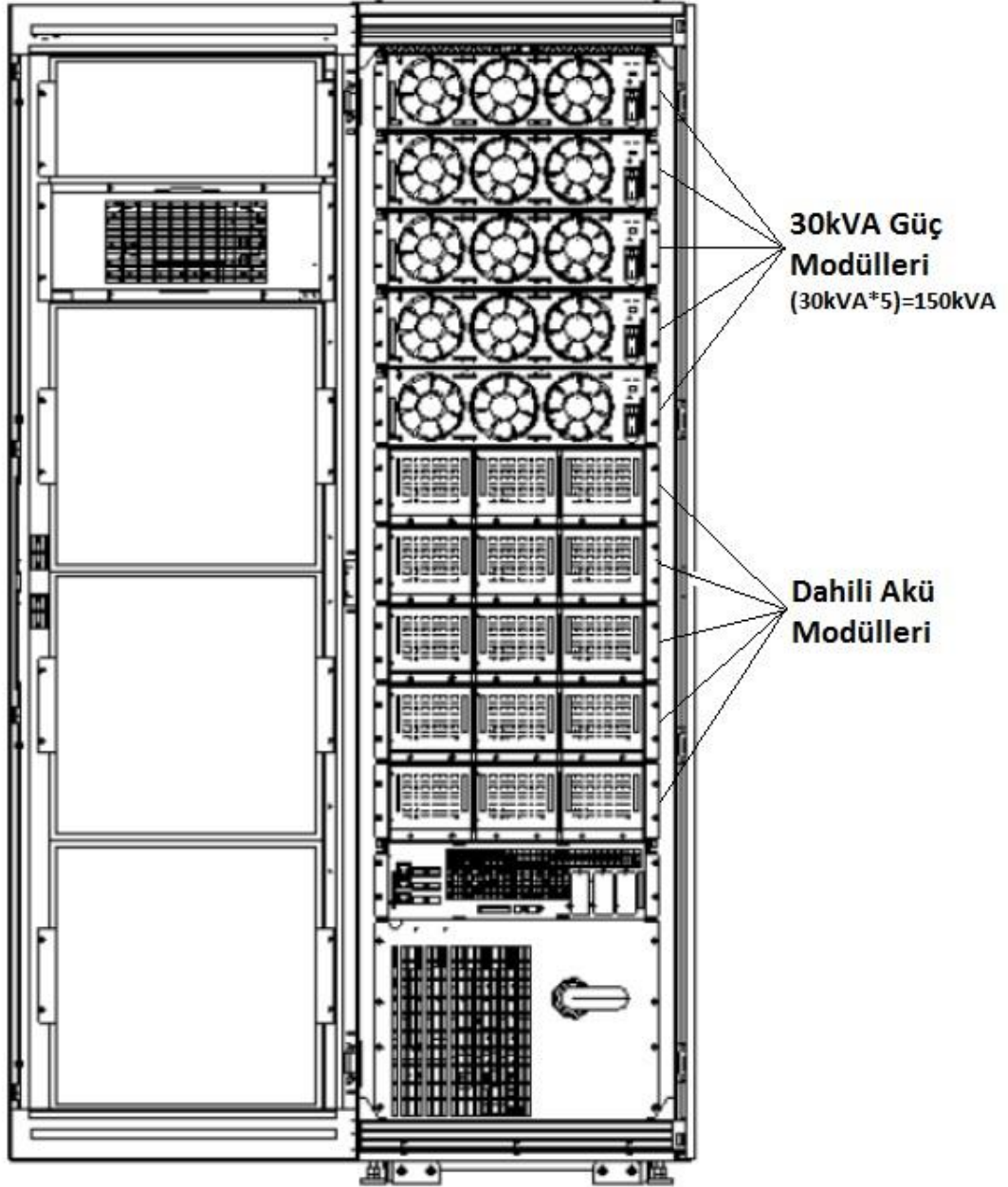
Modüler UPS'lerde ise; UPS'lerin kapasitelerine göre farklı sayıda güç modülleri bulunmaktadır. Bu sayede, müşteri talebi doğrultusunda UPS'lerin kapasiteleri azaltılıp arttırılabilmektedir. Bu durum; kullanıcılar için anlık ihtiyaç duyulan güç kapasitesine göre, UPS'in güç kapasitesinin her an değiştirilebilmesi kolaylığı sağlamaktadır.



Şekil 3.1 : 150kVA monoblok UPS önden görünüşü [15].

Artan piyasa talepleri ve gelişen teknoloji doğrultusunda UPS'lerin boyutları her geçen sene küçülmeye başlamıştır. Günümüzde ise monoblok UPS'lerin yerine; daha az yer kaplayan, bakım ve arıza süreçleri çok daha kolay modüler UPS'lerin popülaritesi ve kullanım oranı artmaktadır.

Örneğin; şekil 3.2'de verilen 30 kVA güç modüllerinden oluşan, 150 kVA modüler UPS'i ele alalım. Bu yapıya sahip bir UPS; içerisinde maksimum 5 adet güç modülü bulundurabilmektedir. Bu sayede aynı UPS'in kapasitesi, içerisinde bulunan güç modülü sayısına bağlı olarak 30 kVA-60 kVA-90 kVA-120 kVA-150 kVA olacak şekilde çalışabilmektedir. Modüler UPS'lerin büyük çoğunluğu çekmece tip güç modüllerine sahip olması sayesinde, güç modülleri bir kaç saniye içerisinde UPS'ten sökülebilmekte veya eklenebilmektedir. Bu durum UPS kullanıcıları için, bakım ve arıza durumlarında büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Fiziksel müdahale kolaylığı, veri merkezleri için önemli olan hızlı tamirat süreçlerini kolaylaştırmaktadır.



Şekil 3.2 : 150kVA (5*30kVA) modüler UPS [16].

Tek modüler UPS kullanılan sistemlerde; yedeklilik oluşturmak için, elektriksel yükün maksimum anlık yükünü karşılayacak güç modül sayısından 1 adet fazla güç modülü kullanılır. Örneğin; 115kVA maksimum anlık güç öngörülen bir lokasyonda, 120 kVA (4 güç modülü) UPS yerine 150 kVA'lık (5 güç modüllü) UPS kullanılır. Bu tip sistemlerde; lokasyonun maksimum anlık yükü 4 güç modülü tarafından karşılanabildiği halde, 5 güç modülü aynı anda çalıştırılır. Herhangi bir güç modülünde meydana gelebilecek bir arıza anında, sistem kapasitesi 150 kVA'dan 120 kVA'ya düşecek ve yükün maksimum anlık gücünü karşılanmaya devam edilecektir.

Yeni teknoloji modüler UPS'lerin bazılarında; UPS tarafından beslenen anlık güç değerleri, UPS kapasitesinin altında ve o an operasyonda olan güç modülü sayısından daha az bir sayıdaki güç modülü tarafından karşılanabiliyor ise, fazlalık olan güç modülleri otomatik olarak uyku moduna geçerek gereksiz enerji tüketimi ortadan kaldırılır. Bu sayede, verimli UPS operasyonları sağlanmaktadır.

3.1.2 Mevcut yük doğrultusunda uygun UPS seçimi

Günümüzde statik UPS sistemleri olarak adlandırılan ve veri merkezleri uygulamalarında kullanılan UPS'lerin kapasiteleri 600 VA ile 8 MVA arasında değişmektedir. Veri merkezlerinde bulunan UPS'lerin yüksek verimli operasyonlarını sağlamak için, uygun kapasitede UPS seçmek büyük önem taşımaktadır.

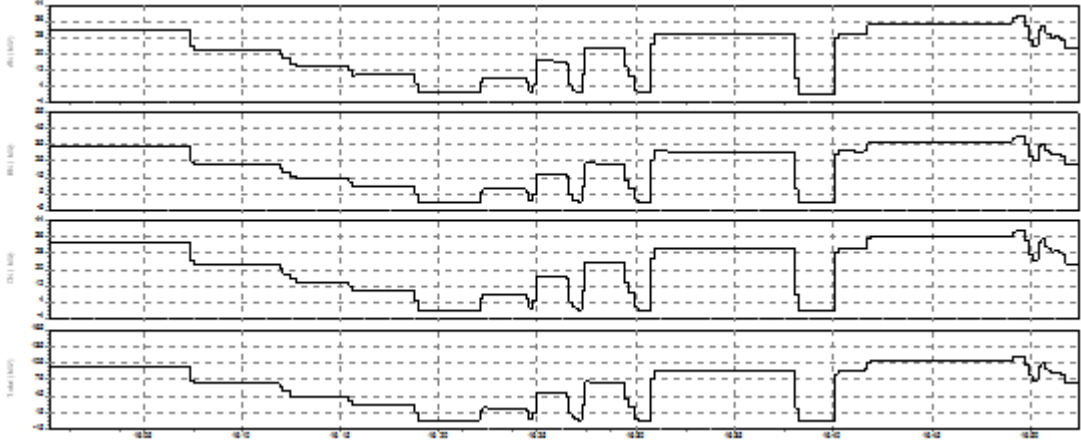
Veri merkezi uygulamaları için kullanılacak UPS seçiminde yapılması gereken ilk adım, UPS tarafından beslenecek tahmini elektriksel yükün belirlenmesidir. Buna ek olarak, ilerleyen dönemlerde UPS tarafından beslenecek elektriksel yükte meydana gelebilecek artışlar da göz önünde bulundurulmalıdır.

UPS operasyonu içerisinde, konvertörler tarafından AC/DC, DC/DC ve DC/AC dönüşümler olması sebebiyle bir takım elektriksel kayıplar mevcuttur. Bu kayıplar, yapısında trafo bulunan UPS'lerde daha yüksek olmaktadır. Veri merkezlerinde düşük PUE değerinin tutturulabilmesi için, yüksek verimli UPS'lerin kullanılması gerekmektedir.

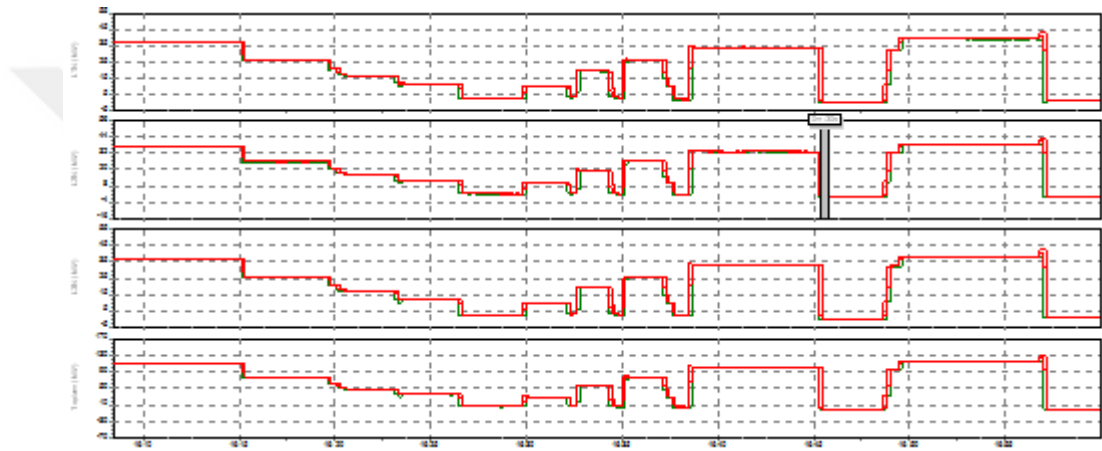
UPS verimi kısaca; anlık UPS çıkış gücünün, UPS anlık giriş gücüne oranıdır.

$$UPS_{\eta} = \frac{W_{\text{çıkış}}}{W_{\text{giriş}}} \quad (3.1)$$

UPS verimliliği sabit değildir ve anlık güce direk olarak bağlıdır. UPS'lerin verimlilikleri, UPS'in anlık yük durumuna göre değişmektedir. Veri merkezlerinde verimli UPS operasyonları gerçekleştirebilmek için, kullanılacak UPS'lerin verimliliğinin hangi yük yüzdesinde en yüksek değerlerde olduğu belirlenmelidir ve bu doğrultuda UPS elektriksel olarak yüklenmelidir. UPS'lerin yüke bağlı genel verim oranlarının belirlenmesi amacıyla; Vertiv APM 120 kVA UPS'in giriş ve çıkışına güç analizörü bağlanarak testler gerçekleştirilmiştir. İlgili UPS, farklı resistif (GF=1) yük miktarlarında yüklenerek anlık olarak verim hesapları gerçekleştirilmiş ve şekil 3.4 ve 3.5'te paylaşılmıştır. Şekil 3.4 ve şekil 3.5 nolu grafikler gerçek zamanlı olup, anlık olarak UPS giriş ve çıkış değerlerinin karşılaştırılma imkanı sunmaktadır.



Şekil 3.4 : UPS çıkış aktif güç eğrisi.



Şekil 3.5 : UPS giriş aktif güç eğrisi.

Farklı yük miktarlarında verimler hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.1 : Farklı yük miktarlarında elde edilen UPS verimi.

Yük Miktarı (%)	Giriş Gücü (kW)	Çıkış Gücü (kW)	UPS Verimi (%)
90	116,1	108,12	93
83	110,8	99,27	90
56	77,3	67,78	87
34	49,4	41,09	83
23	35,8	27,96	78

Yukarıdaki ölçümlerde görüldüğü üzere; UPS'lerin yük miktarı azaldıkça, UPS verimliliği de azalmaktadır. Veri merkezlerinde, yüksek verimli UPS operasyonları gerçekleştirebilmek için, UPS'lerin potansiyel yük yüzdeleri belirlenmeli ve UPS seçimi bu doğrultuda gerçekleştirilmelidir.

3.2 Uygun UPS Çalışma Modunun Seçilmesi

Geleneksel UPS'lerin normal çalışma prensibi olan çift çevirim moduna ek olarak, günümüzde geleneksel eco mod ve geliştirilmiş eco mod olarak adlandırılan daha yüksek verimli UPS modları da bulunmaktadır.

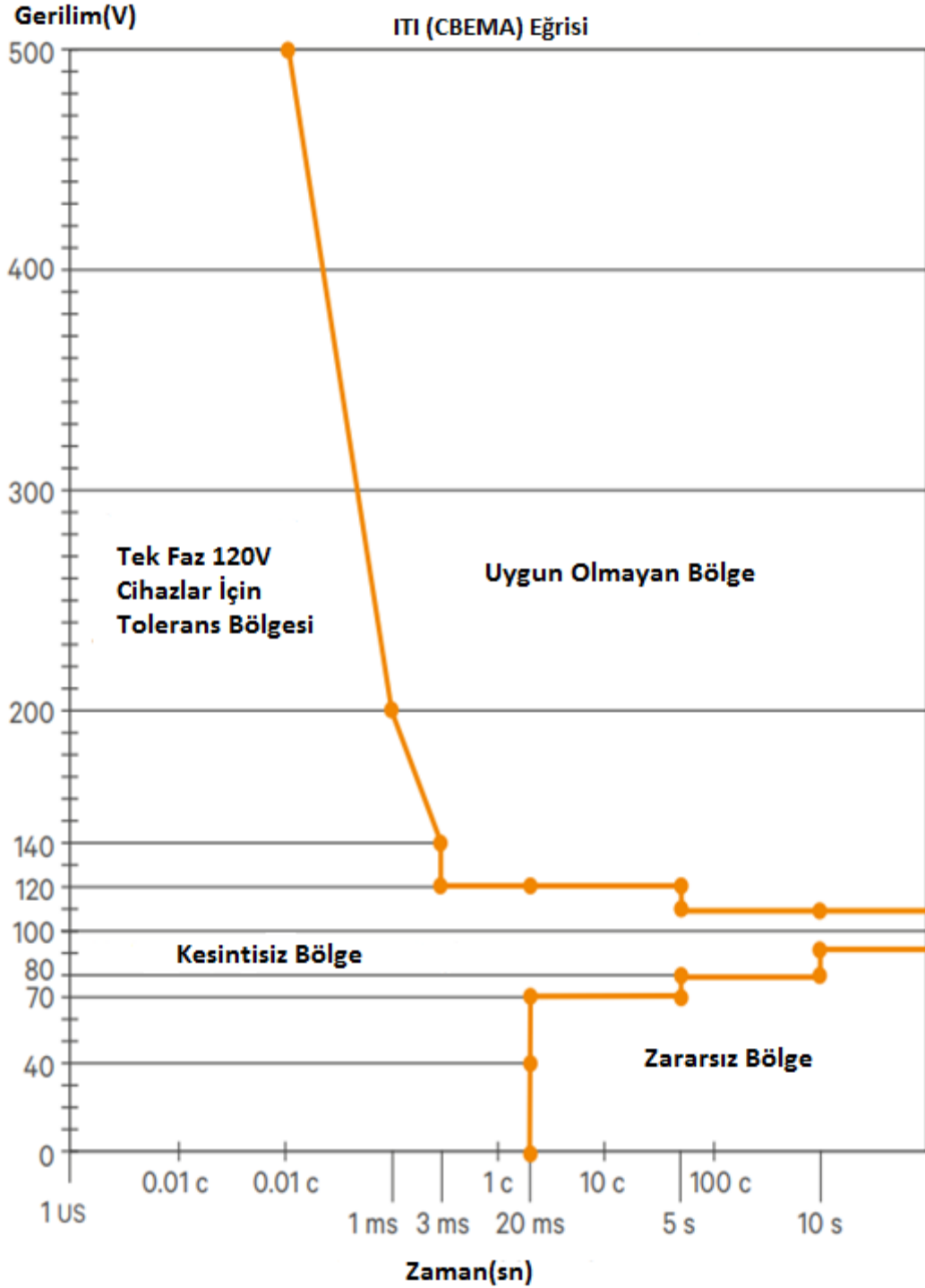
Günümüzde en yaygın şekilde kullanılan UPS operasyonu, çift çevirim modudur (Double Conversion Mod). Bu modda UPS; şebekenin frekans ve gerilim değerine bağlı olmaksızın yükü ideal frekans ve gerilim değeri ile besler ve güvende tutar. Çift çevirim modu; elektriksel yük için en güvenli mod olmasına karşın, bir takım kayıplar barındırmaktadır. Çift çevirim modunda; şebekeden alınan AC gerilim redresör (rectifier) üzerinde DC gerilime, DC ara devreden alınan DC gerilim inverter üzerinde AC gerilime çevrilir. Bu çevrim esnasında, AC/DC- DC/AC konvertör kayıpları ortaya çıkar. Ortaya çıkan bu konvertör kayıpları, UPS sistemlerinden maksimum verimliliği elde etmeyi engeller. Bu sebeplerden dolayı; UPS üreticileri ECO mod topolojileri üreterek, UPS verimliliğini arttırmaya amaçlamaktadırlar.

Her bir elektronik cihazın kendine özgü bir karakteristiği vardır; veri merkezlerinde bulunan IT cihazlar için CBEMA eğrisi referans alınabilir. CBEMA eğrisi, IT ürünlerin beslenebildiği (herhangi bir kesinti, veri kaybı olmadan) AC gerilimin sınırlarını belirtir. Elektronik cihazların, CBEMA eğrisinde gösterilen uygun gerilim değerlerinde normal bir şekilde çalışması beklenir. Eğrinin sağ-alt kısmında gösterilen durağan durum (Steady-State), AC gerilimin sabit olduğu veya yavaş bir şekilde değişiklik gösterdiği aralığı belirtir. Burada izin verilen aralık anma gerilimi (Nominal Voltage) üzerinden +/- %10'dur.

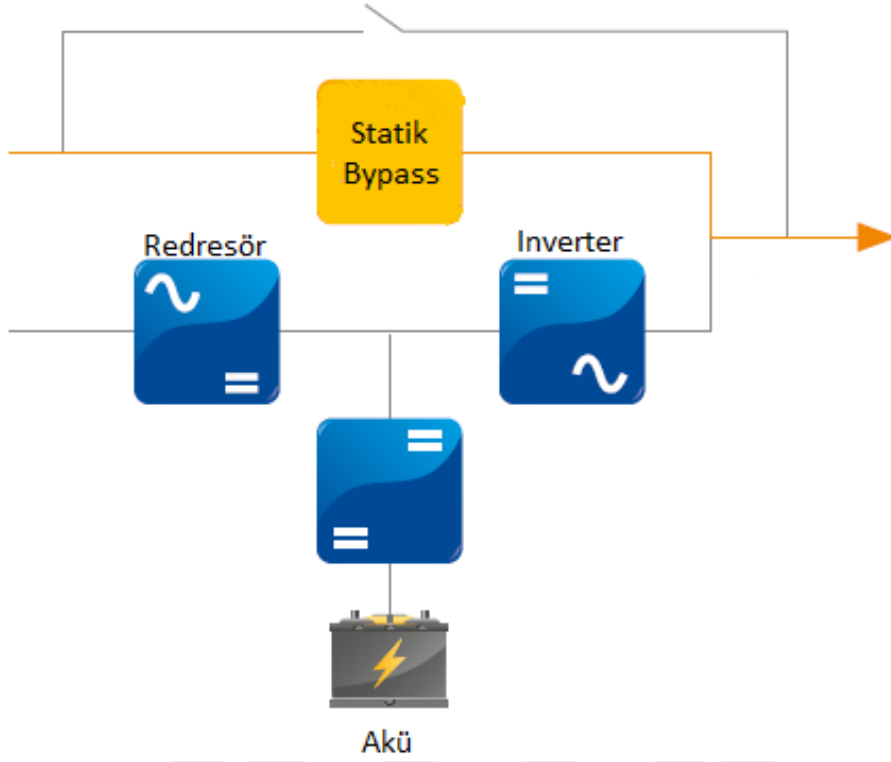
3.2.1 Geleneksel eco mod

Eco mod operasyonlarında ilk düşünülmesi gereken nokta; şebeke geriliminde meydana gelebilecek herhangi bir dalgalanma veya kesinti anında, UPS'in yükü bypass'tan çift çevirim moduna ya da akü moduna transfer süresidir. Bir çok UPS üreticisi bu süreyi 1-3 ms arasında bir değer olarak vermektedir. Bu transfer süresi boyunca; yük şebeke gerilimlerindeki dalgalanmalara, kesintilerine ve enerji kalitesizliklerine karşı korumasızdır. Şekil 3.6'da gösterilen CBEMA eğrisinde belirtildiği üzere, yüksek gerilime karşı koruma 0.1ms altında sağlanması beklenmektedir. 10 ms'lik transfer süresi, CBEMA eğrisinde izin verilen 0.1 ms'lik

transfer süresine göre yüksek kalmaktadır ve yükün güvenliği için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Bu duruma ilaveten, şebeke üzerinden direk olarak beslenen yükler (Şekil 3.7’de blok diyagramı verilen ECO Mod), şebeke geriliminde bulunan harmonik değerlerine maruz kalmaktadır. Yüksek harmonik değerleri, yükün güvenliği açısından sorun teşkil etmektedir.



Şekil 3.6 : CBEMA eğrisi [17].



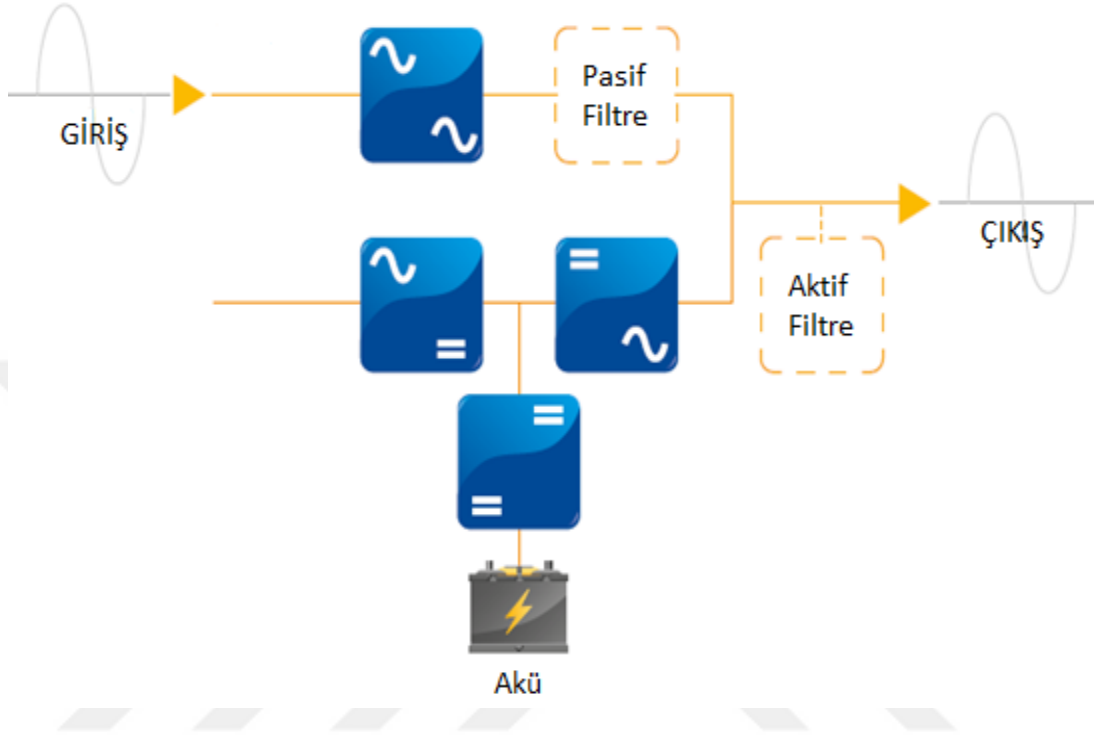
Şekil 3.7 : Geleneksek eco mod diagramı.

3.2.2 Geliştirilmiş eco mod

Veri merkezlerinde olduğu gibi; verinin çok değerli olduğu ve en ufak bir enerji kesintisinin bile kabul edilemediği sistemlerde, şebeke enerjisi (Eco Mod) ile sistemlerin beslenmesi kabul görmemektedir. Günümüzde; hem veri merkezlerinin güvenlik ve stabilizasyon kaygılarını ortadan kaldırmak hem de maksimum enerji verimliliğine ulaşmak amacıyla yeni metodlar ortaya çıkmaktadır. Bunun en büyük örneği olarak, Vertiv tarafından geliştirilen ve günümüzde bir çok önemli veri merkezlerinde kullanılan şekil 3.8’de blok diyagramı verilen “Geliştirilmiş ECO Mod” gösterilebilir.

UPS’ler eco mod üzerinden (şebeke enerjisi ile direk olarak yükün beslendiği) yükü beslerken; şebekede mevcut olan herhangi bir güç kalite problemi (Yüksek THD, düşük frekans) yük tarafında hissedilecek, hatta beslediği elektriksels ekipmanlara zarar verecektir. Güç kalitesi problemlerine ek olarak; meydana gelebilecek herhangi bir elektrik kesintisi anında yükün 1-3 ms gibi bir sürede akü moduna transferi, hassas yükler tarafından hissedilebilecektir. Geleneksel ECO mod operasyonlarında bulunan bu gibi negatif etkenleri ortadan kaldırmak amacıyla; UPS bypass hattına pasif filtre ve UPS çıkışına aktif filtre eklenerek yüksek harmonik değerleri düşürülebilir ve güç

faktörü (GF) kompanze edilebilir. Meydana gelebilecek herhangi bir enerji kesintisi anında; 1-3 ms'lik transfer süresi (ECO moddan akü moduna) inverter sürekli olarak hazır bekletilerek 0,1ms'ye altına düşürülebilir [12].

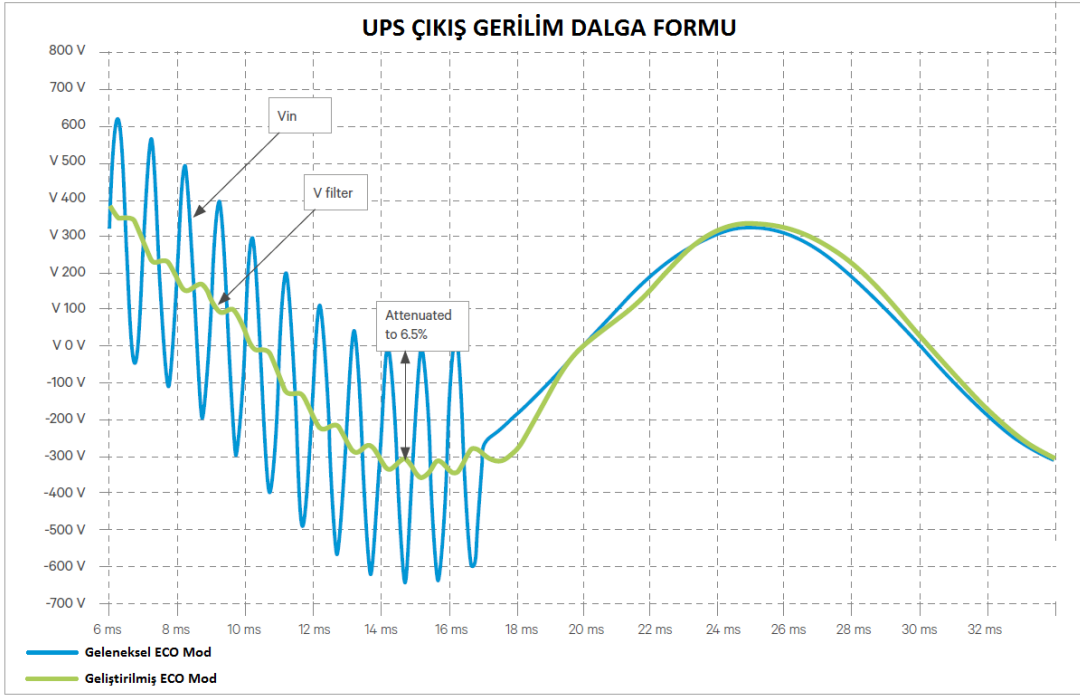


Şekil 3.8 : Geliştirilmiş eco mod diagramı.

3.2.3 Geleneksel eco mod ile geliştirilmiş eco mod karşılaştırılması

3.2.3.1 UPS çıkış gerilimlerinin karşılaştırılması

Geliştirilmiş ECO mod ve geleneksel ECO mod özelliği bulunan, aynı şebekeden beslenen Vertiv 1600kVA Trinergy Cube UPS kullanılarak test düzeneği oluşturulmuştur. UPS ilk olarak geleneksel ECO modda, daha sonra ise geliştirilmiş ECO modda çalıştırılmıştır. UPS'in çıkışına bağlanan osiloskop ile her iki modda da UPS'in L1 fazı gerilim dalga formları incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Özdeş test ortamında; UPS'in giriş şebekesinde meydana gelen gerilim harmoniklerinin, UPS'lerin çıkışı üzerindeki etkisini gözlemlemek ve karşılaştırmak amaçlanmıştır. Bu sebeple, frekansı 1000Hz olan bir sinus dalga kaynağından sisteme test sinyali gönderilmiştir (1000Hz'lik sinyal 20.gerilim harmoniği olarak simule edilmiştir). Şekil 3.9'da; geliştirilmiş eco mod ve geleneksel eco mod çıkış gerilim dalga formu test sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.9 : UPS çıkış gerilim dalga formu.

Yukarıdaki gerilim dalga formu grafiğinde:

$V_{giriş}$ = Eco mod UPS şebeke giriş dalga formu = Eco mod UPS çıkış dalga formu

Not: Geleneksel eco modda, giriş şebeke enerjisi direk olarak statik bypass üzerinden çıkış verilerek elektriksel yük beslenir.

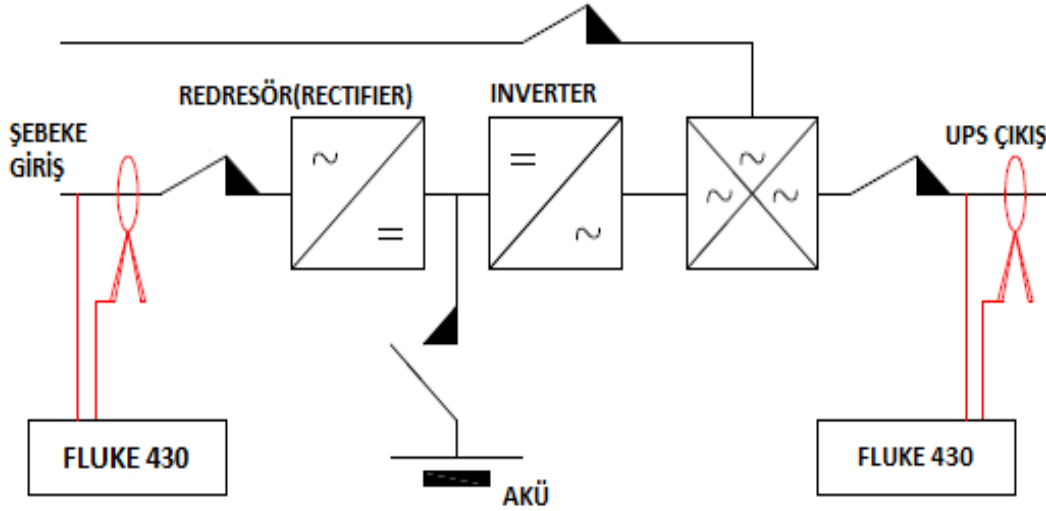
V_{filtre} = Geliştirilmiş eco mod UPS çıkış gerilim dalga formu

görüldüğü üzere; geleneksel eco modda çalışan UPS (Mavi gerilim dalga formu), UPS girişinde meydana gelen gerilim harmoniği, UPS çıkışında da görülmektedir. Bu durum, UPS tarafından beslenen elektriksel yükler için büyük bir risk teşkil etmektedir. Geliştirilmiş eco modda çalışan UPS’de ise; UPS girişinde meydana gelen 20. gerilim harmoniği, UPS yapısında bulunan aktif ve pasif filtreler sayesinde sönmülmüştür. Şekil 3.9’da görüleceği üzere; geliştirilmiş eco mod, UPS tarafından beslenen elektriksel yükler için çok daha güvenli bir operasyon sağlamaktadır.

3.2.3.2 Çift çevirim mod, geleneksel ve geliştirilmiş eco mod verimlilik karşılaştırılması

Her iki modun verim karşılaştırılması için; 1600 kVA Vertiv Trinergy Cube aynı şebekeden beslenerek ilk olarak geleneksel eco modda, daha sonra ise geliştirilmiş eco modda çalıştırılmıştır. Her iki modda yapılan test esnasında, UPS’in giriş ve çıkışlarına

güç analizörleri, şekil 3.10'daki gibi ölçüm alınmak için bağlanmıştır. UPS güç faktörü 1 olan yük ile yüklenerek verim hesapları gerçekleştirilmiştir. Hassas UPS verim ölçümlerinde; akü şarj ve konvertör kayıplarını devre dışı bırakmak için, UPS-akü bağlantısı yapılmaz.



Şekil 3.10 : Verimlilik hesabı test düzeneği.

İlgili test düzeneğindeki UPS; çift çevirim modunda çalıştırıldığında giriş-çıkış güç değerleri ve çıkış güç faktörü çizelge 3.2'de paylaşılmıştır.

Çizelge 3.2 : UPS çift çevirim modu giriş ve çıkış değerleri.

UPS Giriş Değerleri			
Faz	Görünür Güç (kVA)	Aktif Güç (kW)	Güç Faktörü (GF)
U fazı	321,470	339,932	0,995
V fazı	343,446	341,918	0,995
W fazı	347,706	346,149	0,995
Toplam	1032,872	1027,999	0,995
UPS Çıkış Değerleri			
Faz	Görünür Güç (kVA)	Aktif Güç (kW)	Güç Faktörü (GF)
U fazı	325,854	325,839	0,9999
V fazı	320,630	320,614	0,9999
W fazı	350,076	348,586	0,9999
Toplam	996,560	995,039	0,9999

UPS çift çevirim mod verimliliği çizelge 3.1'de verilen değerler baz alınarak;

$$UPS_{verim} = \frac{UPS \text{ Çıkış Aktif Güç}}{UPS \text{ Giriş Görünür Güç}} = \frac{995,039kW}{1027,999kW} = 0,967 = \%96,7 \quad (3.2)$$

İlgili test düzeneğindeki UPS; geleneksel eco modunda çalıştırıldığında giriş-çıkış güç değerleri ve çıkış güç faktörü çizelge 3.3’de paylaşılmıştır.

Çizelge 3.3 : UPS geleneksel eco mod giriş ve çıkış değerleri.

UPS Giriş Değerleri			
Faz	Görünür Güç (kVA)	Aktif Güç (kW)	Güç Faktörü (GF)
U fazı	340,390	340,221	0,9995
V fazı	346,252	346,174	0,9997
W fazı	352,002	351,935	0,9998
Toplam	1038,644	1037,593	0,9990
UPS Çıkış Değerleri			
Faz	Görünür Güç (kVA)	Aktif Güç (kW)	Güç Faktörü (GF)
U fazı	342,155	341,984	0,9995
V fazı	340,958	340,856	0,9997
W fazı	341,614	341,511	0,9997
Toplam	1024,727	1024,351	0,9996

Geleneksel eco mod verimliliği çizelge 3.3’de verilen değerler baz alınarak;

$$UPS_{verim} = \frac{UPS \text{ Çıkış Aktif Güç}}{UPS \text{ Giriş Görünür Güç}} = \frac{1024,351kW}{1037,593kW} = 0,987 = \%98,7 \quad (3.3)$$

İlgili test düzeneğindeki UPS; geliştirilmiş eco modunda çalıştırıldığında giriş-çıkış güç değerleri ve çıkış güç faktörü çizelge 3.4’te paylaşılmıştır.

Çizelge 3.4 : UPS geliştirilmiş eco mod giriş çıkış değerleri.

UPS Giriş Değerleri			
Faz	Görünür Güç (kVA)	Aktif Güç (kW)	Güç Faktörü (GF)
U fazı	333,891	331,915	0,994
V fazı	340,804	338,479	0,993
W fazı	344,013	341,386	0,992
Toplam	1018,708	1011,780	0,993
UPS Çıkış Değerleri			
Faz	Görünür Güç (kVA)	Aktif Güç (kW)	Güç Faktörü (GF)
U fazı	332,981	332,962	0,9999
V fazı	331,721	331,702	0,9999
W fazı	333,668	333,406	0,9999
Toplam	998,370	998,070	0,9996

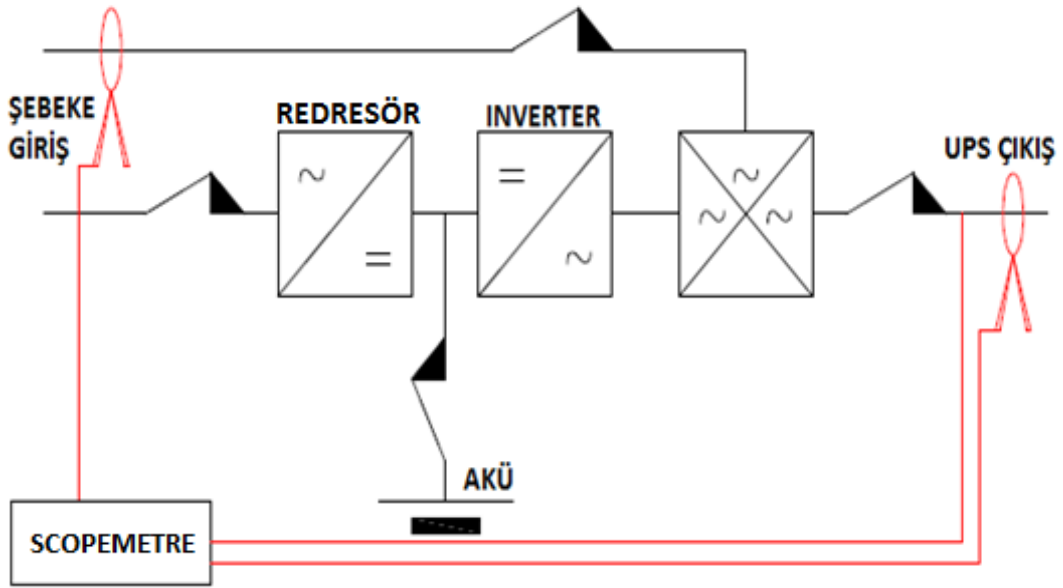
Geliştirilmiş eco mod verimliliği çizelge 3.3’te verilen bilgiler baz alınarak;

$$UPS_{verim} = \frac{UPS \text{ Çıkış Aktif Güç}}{UPS \text{ Giriş Aktif Güç}} = \frac{998,070kW}{1011,780kW} = 0,976 = \%97,6 \quad (3.4)$$

3.2.3.3 Transfer karakteristiklerinin karşılaştırılması

Her üç modun elektrik kesintisi anındaki akü moduna transfer karakteristiklerinin karşılaştırılması için; 1600 kVA Vertiv Trinergy Cube aynı şebekeden beslenerek, normal modda, geleneksel eco modda ve geliştirilmiş eco modda çalıştırılmıştır. Uygulanan her bir test adımında, UPS'in giriş ve çıkışlarına şekil 3.11'deki gibi osiloskop bağlanarak gerilim dalga formları kayıt altına alınmıştır. UPS, güç faktörü 1 (resistive yük) olan yük ile yüklenerek testler gerçekleştirilmiştir. Elektrik kesintisi anında, UPS'ler akü moduna geçeceği için, aküler UPS'lere bağlanarak testler gerçekleştirilmiştir.

UPS'lerin çalışma modlarından akü moduna geçiş anlarında, 5 farklı örnekleme alınarak, bu noktadaki gerilim dengesizlikleri yüzde olarak kayıt altına alınarak test sonuçlarında paylaşılmıştır.



Şekil 3.11 : Transfer karakteristikleri karşılaştırma test düzeneği.

Transfer karakteristikleri, her faz için ayrı ayrı değerlendirilerek paylaşılmıştır

lgili test düzeneğindeki UPS; çift çevirim modunda çalıştırıldığında, her bir faz için transfer karakteristiği sırasıyla:

L_1 fazına ait transfer grafiği Şekil A.1'de, test sonuçları ise Çizelge A.1'de;

L_2 fazına ait transfer grafiği Şekil A.2'de, test sonuçları ise Çizelge A.2'de;

L_3 fazına ait transfer grafiği Şekil A.3'te, test sonuçları ise Çizelge A.3'te verilmiştir.

İlgili test düzeneğindeki UPS; geleneksel eco modunda çalıştırıldığında, her bir faz için transfer karakteristiği sırasıyla:

L_1 fazına ait transfer grafiği Şekil A.4'te, test sonuçları ise Çizelge A.4'te;

L_2 fazına ait transfer grafiği Şekil A.5'te, test sonuçları ise Çizelge A.5'te;

L_3 fazına ait transfer grafiği Şekil A.6'da, test sonuçları ise Çizelge A.6'da verilmiştir.

İlgili test düzeneğindeki UPS; geliştirilmiş eco modunda çalıştırıldığında, her bir faz için transfer karakteristiği sırasıyla:

L_1 fazına ait transfer grafiği Şekil A.7'de, test sonuçları ise Çizelge A.7'de;

L_2 fazına ait transfer grafiği Şekil A.8'de, test sonuçları ise Çizelge A.8'de;

L_3 fazına ait transfer grafiği Şekil A.9'de, test sonuçları ise Çizelge A.9'da verilmiştir.

3.3 Uygun UPS Topolojisinin Seçilmesi

Veri merkezlerinde enerji verimliliği analiz edilirken; genel bir algı olarak veri merkezlerinde kullanılan ekipmanların ayrı ayrı enerji tüketimleri ele alınmaktadır. Bu genel bir algı olup doğru değildir. Veri merkezlerindeki optimum operasyon ortamı sağlanması için, sistemlerin süreklilikleri ve verimlilikleri bir bütün olarak hesaba katılması gerekmektedir. Veri merkezlerinin sürekliliğinin sağlanması için ise, veri merkezini besleyen UPS-Jenerator topolojisinin doğru bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Örneğin; yüksek verimli fakat plansız kesintilerin gerçekleştiği bir veri merkezinde, enerji verimliliğinden bahsedilemez. Saniyelik meydana gelen kesintilerin yol açtığı maddi kayıpları, veri merkezinin sağladığı enerji kazançlarından karşılamak mümkün olmamaktadır.

Veri merkezlerinde bulunan UPS sistemlerinde meydana gelen herhangi bir arıza durumunda; veri merkezinin sürekliliğini sağlamak amacıyla, yedekli UPS sistemleri kullanılması zorunludur. Bu yedekli UPS sistemleri N, N+1, N+2 ya da 2(N+1) şeklinde ifade edilmektedir.

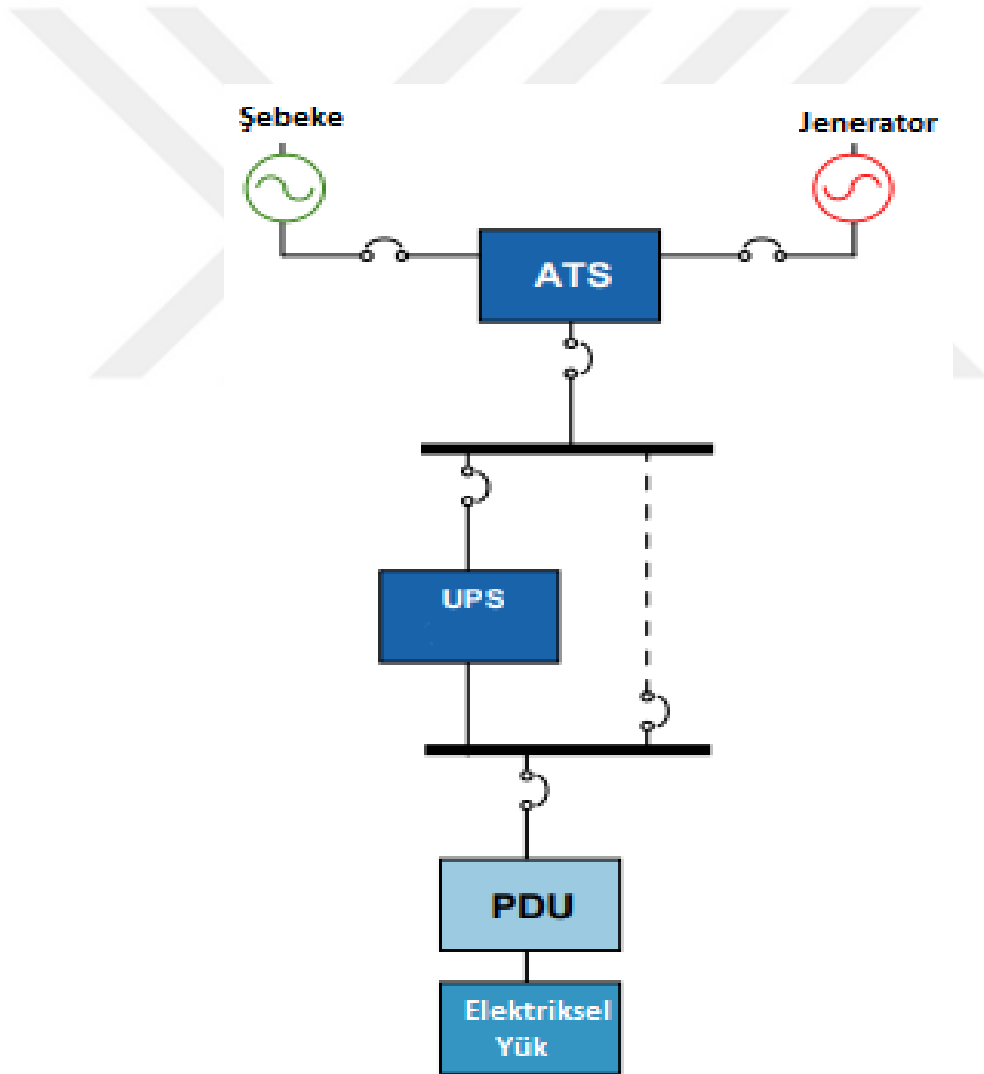
N: Veri merkezinin elektriksel yükünü karşılamak için gereken UPS sayısı

N+x: Buradaki 'x' ifadesi, veri merkezinin elektriksel yükünü karşılamada herhangi bir problem olmadan, devre dışı bırakılabilecek UPS sayısını ifade eder.

2N: Her biri kendi başına veri merkezinin elektriksel yükünü karşılayabilecek, 2 farklı UPS sistemini ifade eder.

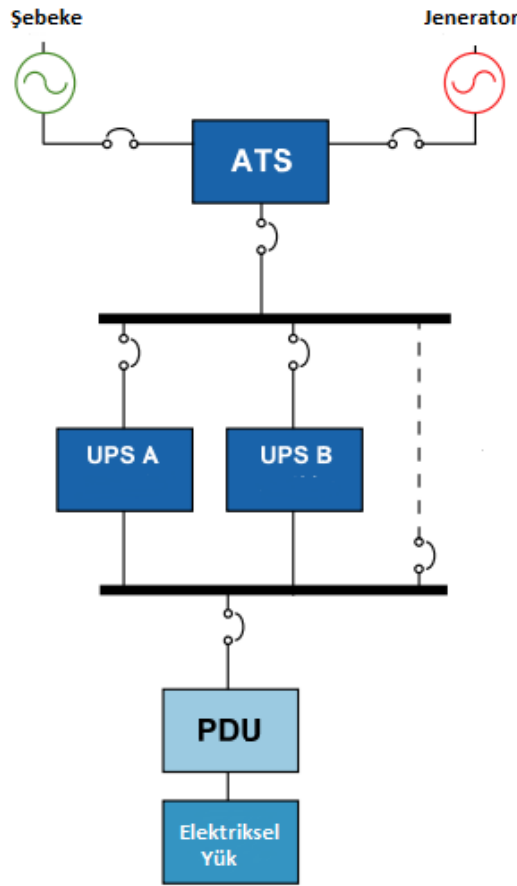
2(N+1): Her biri kendi başına veri merkezinin elektriksel yükünü karşılayabilecek, 2 farklı kendi içinde yedekli UPS sistemini ifade eder.

Şekil 3.12’de verilen N topolojiye sahip sistemler, veri merkezlerinde kullanılmamaktadır. Genellikle ofisleri besleyen UPS’lerde tercih edilir. UPS gücü, beslenecek elektriksel yükü karşılamak zorundadır. Bu sistem yapısında herhangi bir yedeklilik söz konusu olmadığı için, UPS’in mevcut yüküne bağlı olarak yüksek UPS verimliliğinin mümkün kılmaktadır. Yüksek UPS verimliliğine karşın; süreklilik söz konusu olmadığı için bu tip sistemler veri merkezlerinde tercih edilmemektedir.



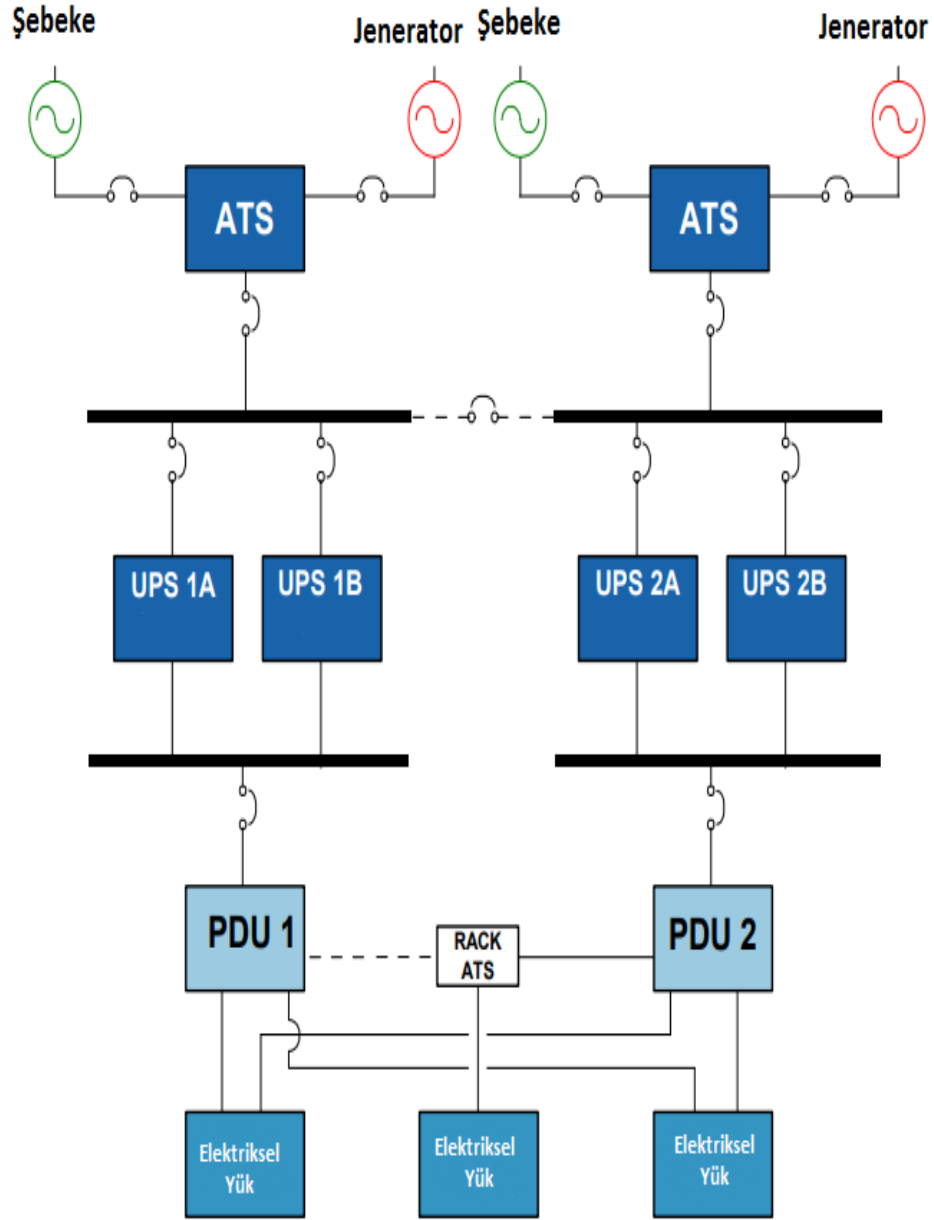
Şekil 3.12 : N monoblok UPS topolojisi.

N+1 topoloji, küçük ve orta büyüklükteki veri merkezlerinde tercih edilir. Şekil 3.13'te gösterilen her bir UPS, kendi başına elektriksel yükü karşılaması gerekmektedir. Aksi takdirde yedeklilik sağlanamamaktadır. N+1 topolojisi, her iki UPS'in aynı anda çalıştığı ve yükün eşit bir şekilde iki UPS tarafından paylaşıldığı durumdur. Bu durumun sağlanması için; normal operasyonda her iki UPS'in %50'den düşük bir yük ile yüklenmesi gerekmektedir. Bu operasyon; çoğu UPS modelleri için, verimliliğinin düşük olmasına sebebiyet vermektedir.



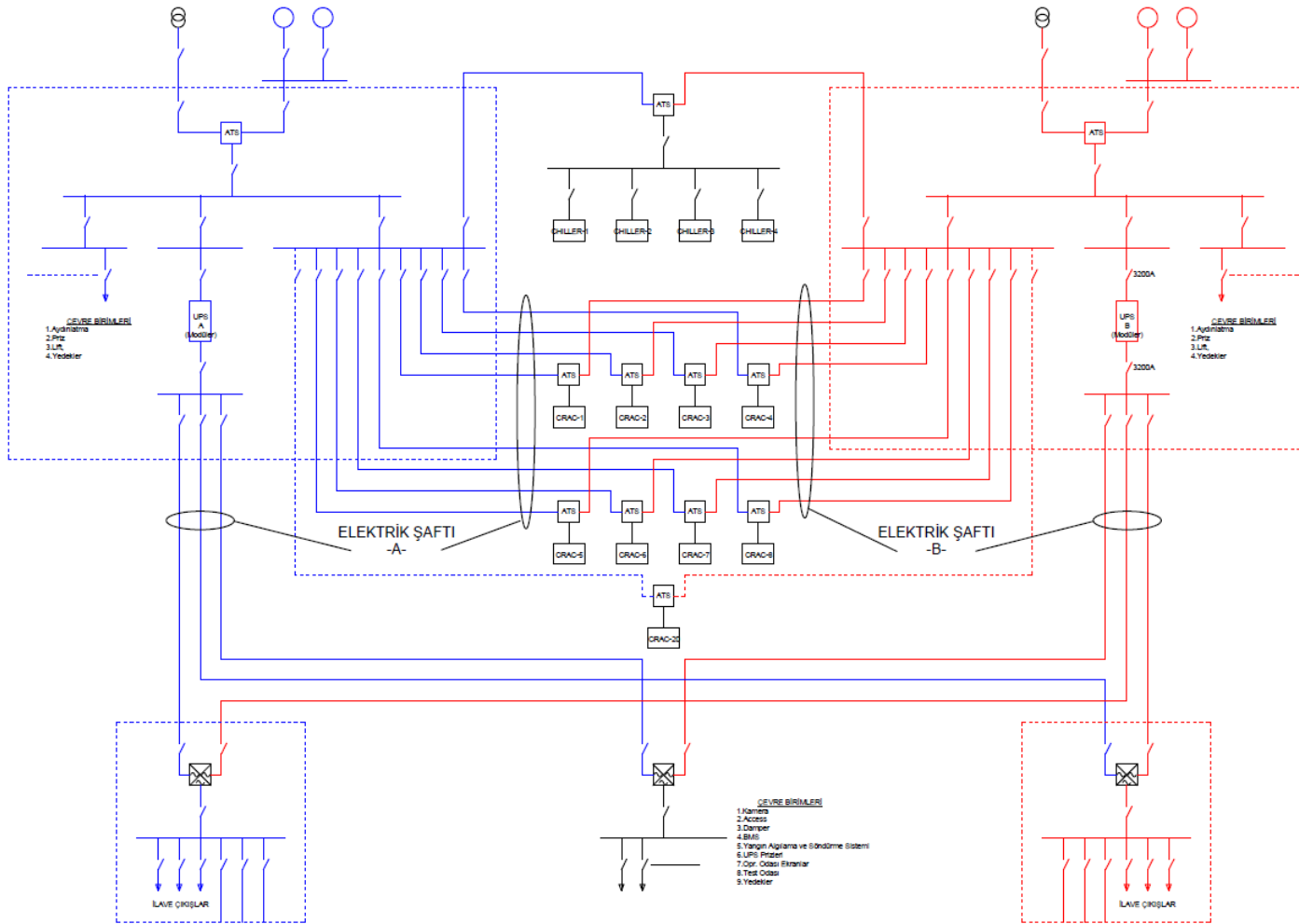
Şekil 3.13 : N+1 monoblok UPS topolojisi.

Şekil 3.23'te verilen 2(N+1) sistem topolojisi, büyük çaplı veri merkezlerinde tercih edilen sistemlerin başında gelmektedir. Ülkemizde de bankacılık ve telekomünikasyon sektörlerinin önde gelen firmalarının veri merkezlerinde bu yapı kullanılmaktadır. Bu sistemlerde; her bir hat farklı trafo ve jeneratörlerden beslenmektedir. Her bir hat içerisinde bulunan UPS'ler; paralel çalışabildiği gibi, çıkışlarına STS konularak ayrı operasyonda da tutulabilir. STS kullanıldığında, her iki UPS'de çalışır durumda olacak ve yük 1 UPS üzerinden beslenecektir. Bu sistemlerde her bir enerji hattı, veri merkezi için ayrı bir kaynak olacaktır.



Şekil 3.14: 2(N+1) UPS topolojisi.

Elektriksel yük olarak tanımlanan IT yüklerin büyük bir çoğunluğunda çift enerji girişleri bulunmaktadır. 2(N+1) sistemlerde; her bir farklı hattan farklı PDU'lar beslenerek, IT ekipmanlar için iki farklı kaynak oluşturulmaktadır. Kaynaklardan herhangi birinde meydana gelebilecek kesinti durumunda; sistemde bulunana ATS veya STS yardımıyla, veri merkezinde bulunan toplam IT yük canlı enerji sistemine transfer edilmektedir. Şekil 3.14'te görüldüğü üzere, her bir IT yük her iki farklı kaynaktan beslenmekte ve enerji yollarında meydana gelebilecek arızalara karşı yedeklilik sağlanmaktadır.



Şekil 3.15 : 2(N+1) topolojiye sahip veri merkezi elektrik sistemi çizimi.

Şekil 3.15'te, 2019 yılında projeye çıkan yeni bir 2(N+1) topolojiye sahip veri merkezi için hazırlanmış ve proje aşamasında sunulacak detaylı elektrik hat çizimi verilmiştir. İlgili projede; veri merkezi 2 farklı elektrik hattından beslenerek 2(N+1) yedeklilik sağlanmaktadır. İlgili projede görüldüğü üzere, her bir hatta tek bir UPS bulunmaktadır. Her bir hatın kendi için (N+1) yedekliliği sahip olması, tek bir modüler UPS kullanılarak sağlanmıştır. Bu tasarımda, modüler UPS'ler içerisinde bulunan güç modüllerinden bir tanesi yedek olarak seçilerek (N+1) topoloji sağlanmıştır.

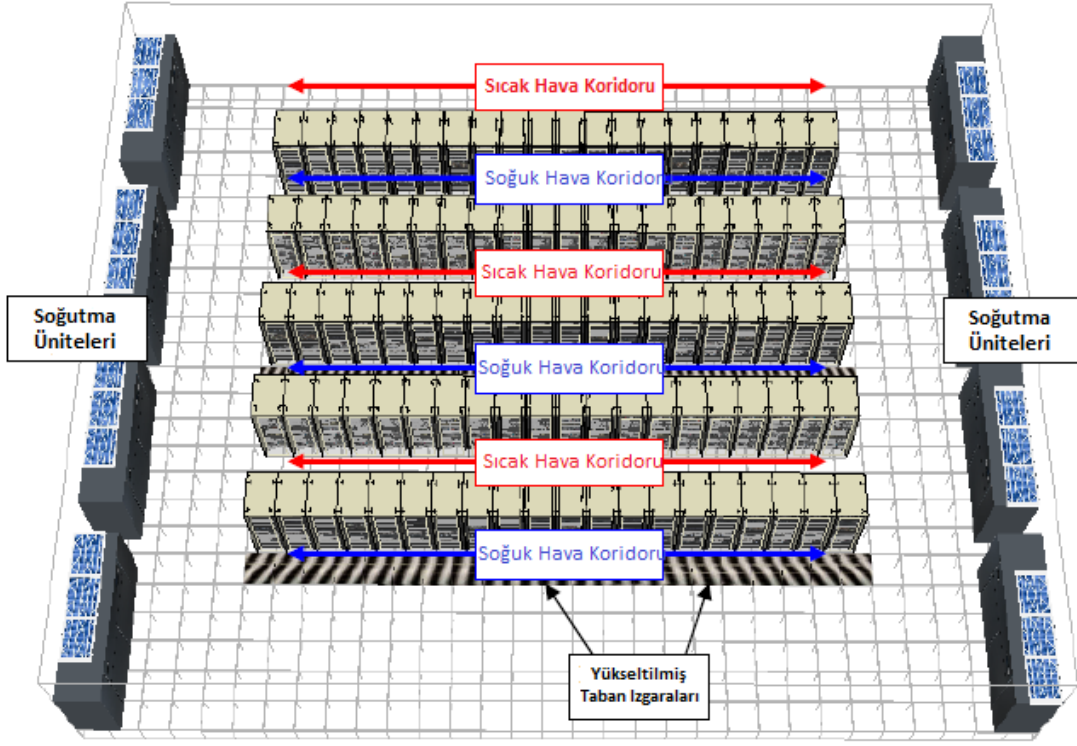
3.4 Uygun Soğutma Sisteminin Seçilmesi

3.4.1 Yaygın veri merkezi soğutma yöntemi

Geleneksel soğutma olarak sistemlerde, CRAH ve Chiller'den oluşan soğutma ekipmanları bulunmaktadır. Bu sistemlerde; chiller'dan gelen soğutulmuş su (Chill water) CRAH ünitesine gönderilerek, IT ortamın sıcak havası ile ısı alışverişi yapması sağlanmaktadır. Bu ısı alışverişi sayesinde ortamdaki sıcak hava soğutulmakta ve soğutulan hava IT ortama geri verilmektedir. Bu soğutma tiplerinde; soğutma sistemleri veri merkezlerinin en önemli ekipmanları olan IT ürünleri soğutmak yerine, direk olarak ortamdaki havayı soğutmayı amaçlamaktadır.

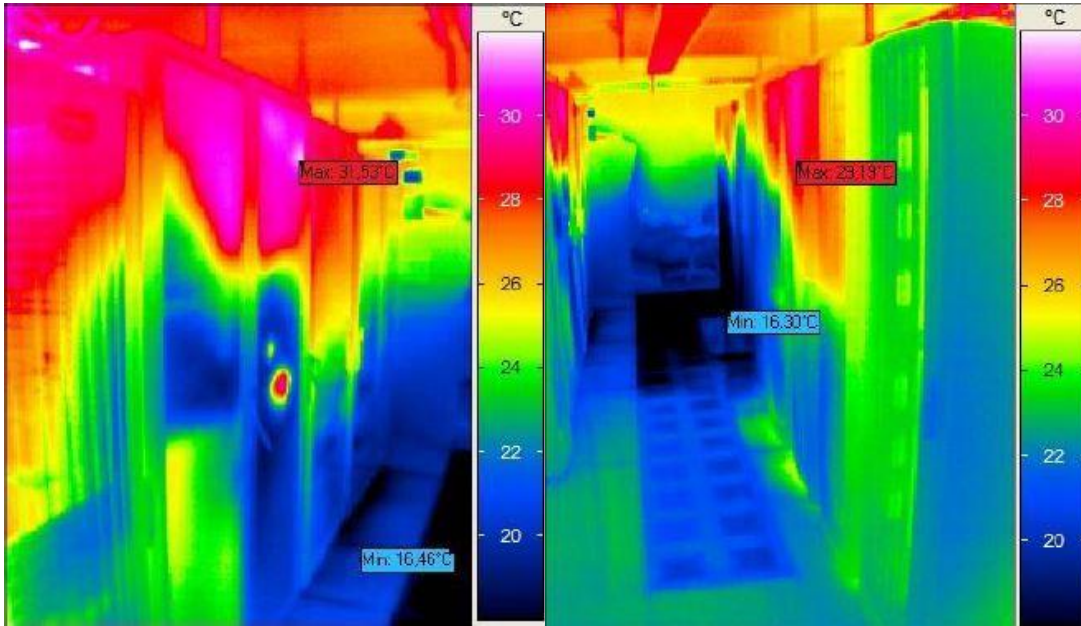
Kullanılan ekipmanlara ek olarak, IT ortamın yerleşim düzeni de etkili soğutma için büyük bir önem taşımaktadır. IT ortamlarda, sıcak ve soğuk havanın karışmasını engellemek için, IT ekipmanların bulunduğu kabinetler birbirine bakacak şekilde yerleştirilmektedir. Bu yerleşim; raflı kabinetler içerisinde bulunan IT ekipmanların kendi bünyesinde bulunan fanlar sayesinde, soğuk havayı ekipmanların ön tarafından ekipmanın içine doğru çekmesini ve IT ekipmanların oluşturduğu sıcak havayı ekipmanın arkasından dışarı atmasını sağlamaktadır.

Bu tip sistemlerde genellikle IT ekipmanlar yükseltilmiş döşeme üzerine yerleştirilir. Tüm kablolama işlemleri yükseltilmiş döşeme altında kalacak şekilde yapılmaktadır. Şekil 3.16'da Trellis DCIM ile modellenen örnekte görüldüğü üzere; soğutma üniteleri (CRAC ve CRAH), soğuk havayı yükseltilmiş döşeme altından soğuk koridora; yükseltilmiş döşeme yok ise direk olarak soğuk koridorlara doğru tabana yakın olacak şekilde üfleemektedir. (IT ekipmanların kendi bünyesinde bulunan fanların ön taraflarına doğru.) IT ekipmanlar öntaraflarından soğuk havayı alarak, arka taraflarından sıcak havayı atmaktadır.



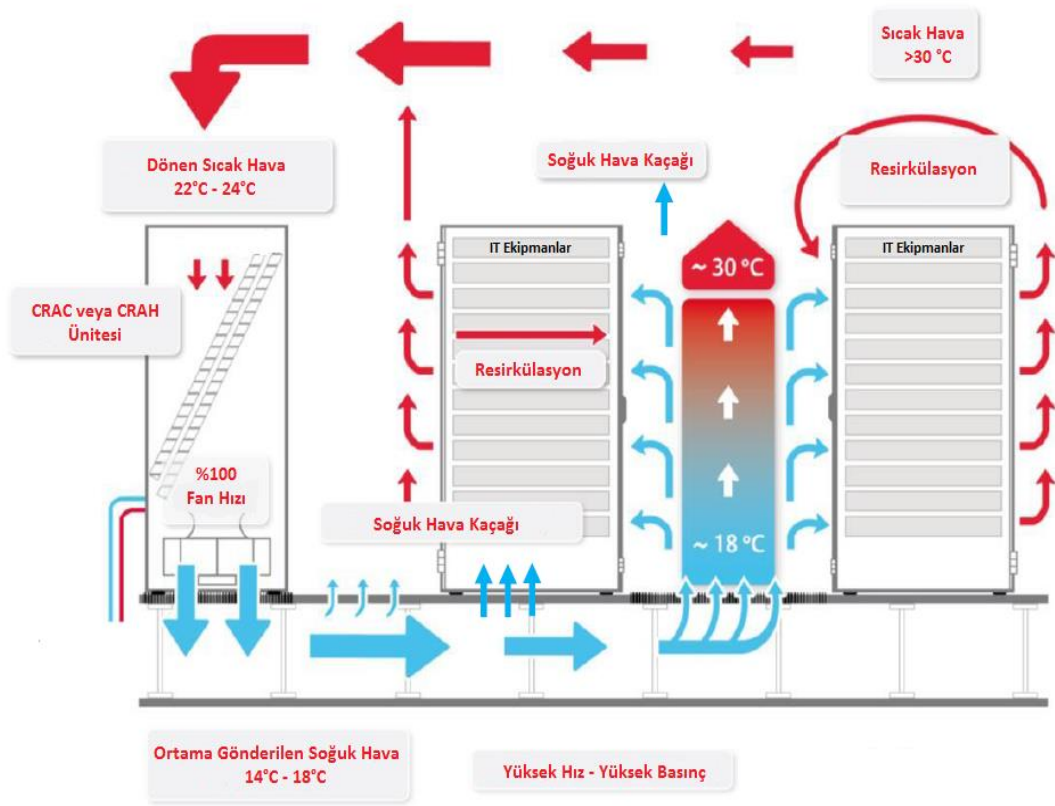
Şekil 3.16 : Yaygın sıcak-soğuk hava koridoru tasarımı.

Sıcak-soğuk hava koridoru tasarımlarında amaç her ne kadar sıcak ve soğuk havanın karışmasını engelleyip soğutma verimini arttırmak olsa da, bu tip yapılarda sıcak ve soğuk hava birbirine karışarak, soğutma verimini düşürmektedir.



Şekil 3.17 : Soğuk hava koridorunun termal kamera ile görüntüsü.

Şekil 3.17’ de verilen termal görüntü, Türkiye sınırları içerisinde bulunan uluslararası bir havalimanına ait CRAC (Computer Room Air Conditioner) üniteler ile soğutulan veri merkezinin bir adet soğuk koridoruna aittir. Termal camera kayıtlarında açıkça görüldüğü üzere, IT ortam içerisinde ısı dengesiz bir şekilde dağılmaktadır. Kabinetlerin alt tarafında bulunan IT ürünler düzgün bir şekilde soğutulurken, üst raflarda bulunan IT ürünler soğutulamamaktadır. Bu durum direk olarak kabinetlerin üst taraflarında bulunan IT ürünlerin yüksek sıcaklıktan kendini kapatması hatta arızalanması riskini doğurmaktadır. Ortaya çıkan dengesiz soğutma probleminin nedenleri, şekil 3.18’de gösterilmiştir.



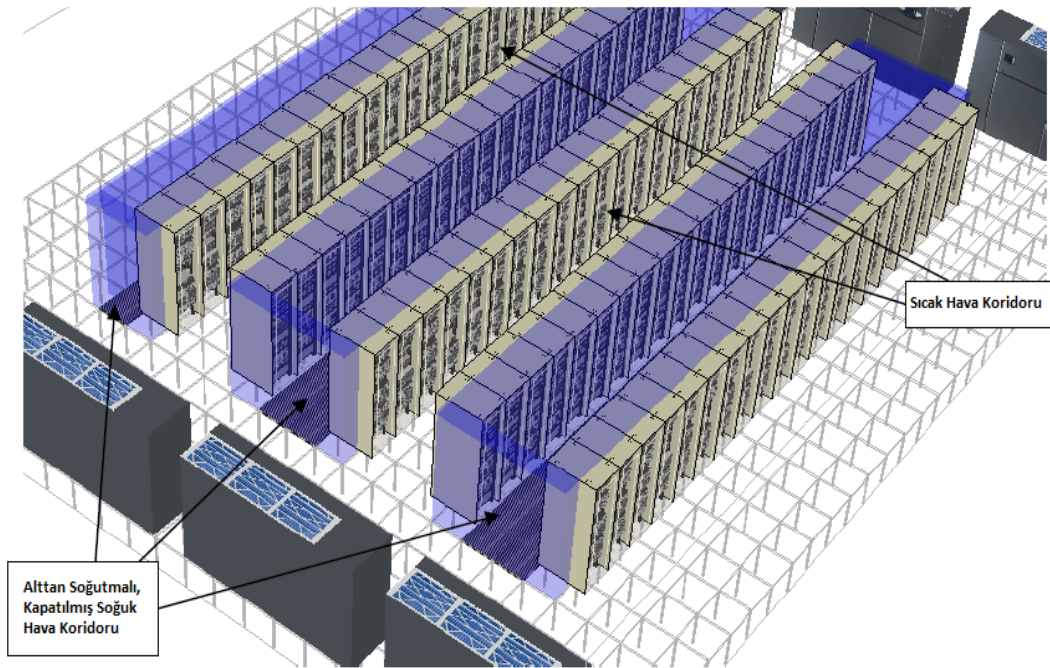
Şekil 3.18 : Soğutma problemi örneklendirilmesi.

Şekil 3.18’de görüldüğü üzere, tabana yakın noktalar soğuk ve tavana yakın noktalar ise sıcak kalarak, heterojen bir ısı dağılımı söz konusu olmaktadır. IT ortam içerisinde oluşan heterojen ısı dağılımı; soğutma ünitelerinden gelen soğuk havanın tamamının IT ekipmanların soğutulması için kullanılmamasına neden olmaktadır. Ayrıca bu durum, soğutma ünitesi tarafından ortamda bulunan yüksek sıcaklıktaki ısının dışarı atılmamasına da sebebiyet vermektedir (En yüksek IT ortam sıcaklığı 30°C iken, soğutma ünitesinde dönen havanın sıcaklık değeri 22°C-24°C).

Bu duruma ek olarak; ortamın istenilen sıcaklıkta olmaması ($\sim 20^{\circ}\text{C}$) ve heterojen ısı dağılımına sahip olması nedeniyle, soğutma ünitelerinin fanları tam güçte çalışarak yüksek elektrik tüketimine neden olmaktadır.

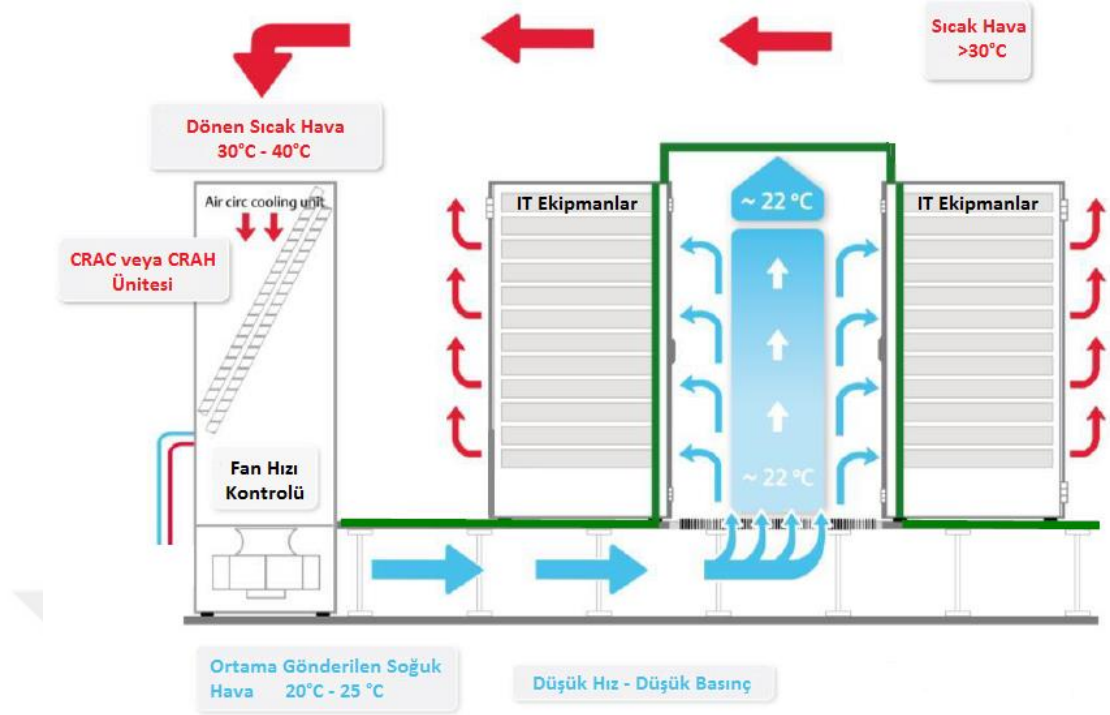
3.4.2 Kapalı tip akıllı soğutma sistemleri

Kapalı tip akıllı soğutma sistemleri ve geleneksel soğutma sistemleri; sıcak ve soğuk koridor yapısı açısından benzerlik göstermektedir. Her iki sistemde de; kabinetler birbirine bakacak şekilde yerleştirilerek, soğuk ve sıcak hava koridorları yaratılmaktadır. Kapalı tip akıllı soğutma sistemlerinde; verimlilik açısından fark yaratan nokta, soğuk hava koridorunun tamamen izole edilerek sıcak havadan arındırılmasıdır. Bu sayede; IT ortamın soğutulması yerine, soğuk hava direk olarak IT ürünlerin soğutulması için kullanılmakta ve yüksek verim sağlanmaktadır.



Şekil 3.19 : Kapalı tip akıllı soğutma sistemi.

Şekil 3.19’da kapalı tip soğutma sistemlerinin DCIM yazılımında modellenmiş hali verilmektedir. Kabinetler ve soğutma üniteleri yükseltilmiş döşeme üstüne yerleştirilerek; soğuk hava yükseltilmiş döşemenin altından soğuk hava koridorlarına taşınmaktadır. Soğuk hava koridorlarında bulunan ızgaralar sayesinde, soğuk hava direk olarak IT ekipmanların soğutulması için kullanılmaktadır. Soğuk hava koridorları tamamen sıcak havadan izole edilerek, soğuk havanın sıcak havaya karışması engellenmektedir.



Şekil 3.20 : Kapalı tip akıllı soğutma sistemi örneklendirilmesi.

Şekil 3.20’de belirtildiği üzere, kapalı soğutma sistemlerinde soğuk hava direk olarak soğuk koridor içerisinde gönderilmekte ve burada toplanmaktadır. Soğuk hava, IT ekipmanların ortaya çıkardığı sıcak havadan tamamen izole olduğu için, sıcak hava ile hiçbir şekilde temas etmez. Bu sayede heterojen bir ısı dağılımı söz konusu değildir.

Kapalı tip soğutma sistemlerindeki soğutma ünitelerinin oluşturduğu soğuk havanın sıcaklığı, geleneksel sistemlerdeki ünitelerin çıkışındaki soğuk havanın sıcaklığından daha yüksektir. Geleneksel soğutma sistemlerinde; soğutma ünitesi çıkışındaki soğuk havanın, sıcak hava ile difüzyonundan dolayı ısı olarak sıcaklığı yükselir. Bu nedenle 20°C-25°C IT ortam sıcaklığını sağlayabilmek için, soğutma ünitesi 14°C-18°C derece soğuk hava üflemetedir. Bu durum fanın yüksek kapasite çalışmasına neden olarak elektrik tüketimine yol açmaktadır.

Kapalı tip soğutma sistemlerinde ise; soğuk ve sıcak hava arasında herhangi bir ısı alışverişi olmadığı için ve 20°C-25°C IT ortam sıcaklığını yakalayabilmek için, soğutma ünitelerinin 20°C-25°C derecede soğuk hava üflemesi yeterli olmaktadır. Bu sayede, fan düşük kapasitede çalışarak enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Kabinet sayısı fazla olan veri merkezlerinde (ısı yükü fazla olan veri merkezleri), kapalı soğuk hava koridorları birden fazla soğutma ünitesi ile soğutulmaktadır. Bu soğutma ünitelerinin kontrol devreleri, kendi aralarında haberleşebilmektedir. Soğuk

koridorun sıcaklığına göre, ünitelerin hepsi aynı anda da çalışabileceği gibi, ihtiyaca göre ünitelerden bir kaç tane veya tek bir tane de çalışabilmektedir.

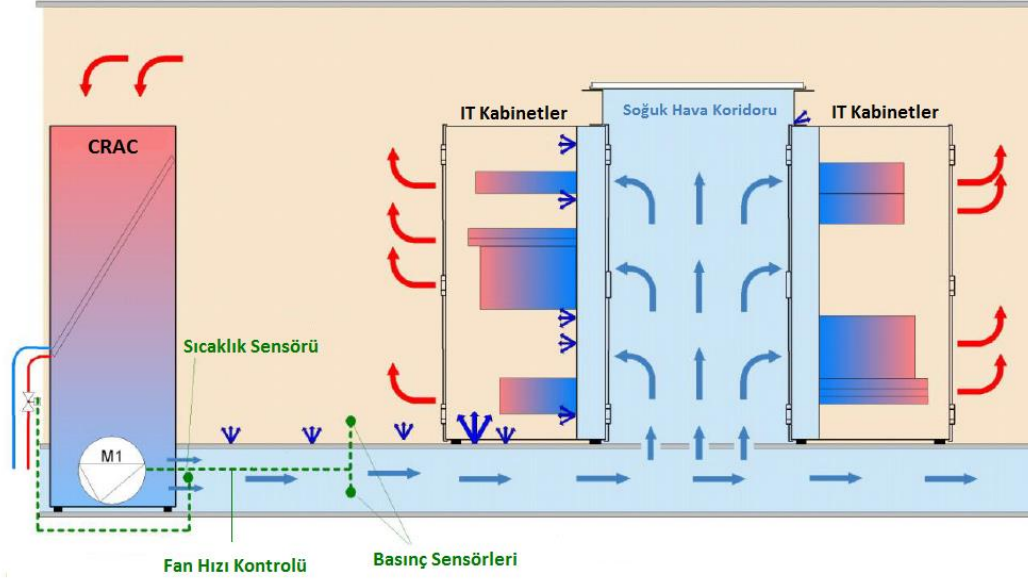
Soğuk iklimli lokasyonlara kurulan veri merkezlerinde; soğuk koridor sıcaklığı istenilen değerlere ulaştığı anda, soğutma üniteleri belirli bir süre zarfında sırasıyla devreden çıkararak(ortamın sıcaklığı istenilen değerlerde olmaya devam etmeli), tüm üniteler kapalı duruma gelebilir. Bu sayede yüksek enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Tüm cihazlar kapalı durumda iken; soğuk hava koridorundan meydana gelebilecek bir sıcaklık artışı anında, ilk ünite otomatik olarak tekrar çalışmaya başlamakta ve ihtiyaç anında diğer üniteler de sırası ile otomatik olarak çalışmaya başlayarak ortamı istenilen derecelere getirmektedir.

Kapalı tip soğutma sistemleri, 2 farklı şekilde uygulanabilmektedir. Bunlar, sıcaklık kontrollü kapalı tip soğutma sistemleri ve basınç kontrollü kapalı tip soğutma sistemleridir.

3.4.2.1 Basınç kontrollü kapalı tip soğutma sistemleri

Temel çalışma prensibi, soğuk koridor ile sıcak koridor arasındaki basınç farkını ölçmeye dayanmaktadır. Sıcak ve soğuk koridora konumlandırılan basınç sensörleri sayesinde, IT ortamın soğutmasını gerçekleştiren hassas soğutma ünitelerine sürekli olarak ortamın basınç bilgileri aktarılmaktadır. Bu iki ortam arasındaki basınç farkının sürekli olarak 20Pa değerinde sabit tutulması amacıyla; sensörlerden gelen basınç farkı bilgisine göre, soğutma üniteleri içerisinde bulunan fanların hızı soğutma ünitelerinin kontrol yazılımları tarafından otomatik olarak ayarlanmaktadır.

Kabinetler içerisinde bulunan sunucuların ısı tüketimi arttığı anlarda; sunucular normalde olduğundan daha fazla soğuk hava hacmine ihtiyaç duymaktadır. Bu durum anında soğuk hava koridorundan kabinetlerin içine doğru olan soğuk hava kütlesi artmakta ve bu durum soğuk koridor içerisinde basıncın düşmesine yol açmaktadır. Bu basınç değişimi sensörler tarafından algılanarak, soğuk koridorun tekrar istenilen basınç değerine ulaşması için fan hızını otomatik olarak arttırılmaktadır. Bu durumun tam zıttı olarak ise; sunucuların daha düşük kapasitede çalıştığı ve daha az soğuk hava hacmine ihtiyaç duyduğu anlarda, soğuk koridordan alınan hava kütlesi azalmakta ve soğuk hava koridorunun basıncı yükselmektedir. Bu durum sensörler tarafından algılanmakta, soğuk koridorun istenilen basınç değerine ulaştırmak için fan hızını düşürmektedir. Şekil 3.21’de basınç kontrollü sistem örneği verilmiştir.



Şekil 3.21 : Basınç kontrollü kapalı tip soğutma sisteminin örneklendirilmesi.

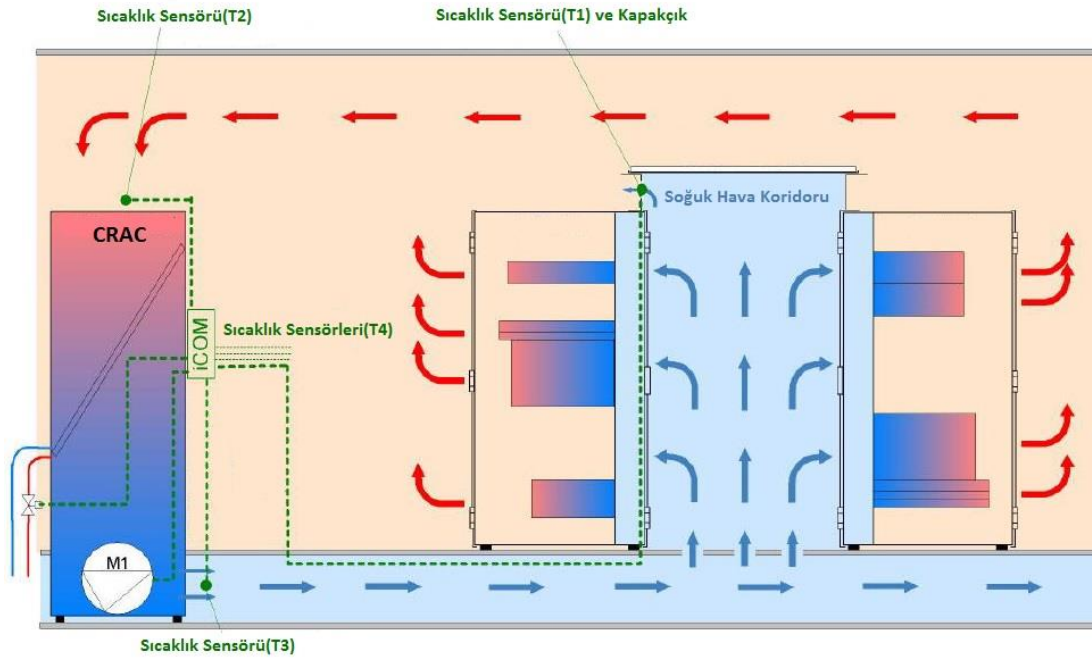
3.4.2.2 Sıcaklık kontrollü kapalı tip soğutma sistemleri

Temel çalışma prensibi, soğuk koridorda bulunan sıcaklık sensörlerinden gelen bilgilere dayanmaktadır. Sıcaklık sensörlerden sürekli gelen sıcaklık değerleri doğrultusunda, CRAC ünitesinde bulunana fanın hızı, CRAC ünitesinin kontrol yazılımı tarafından otomatik olarak ayarlanmaktadır. Bu sistemlerde yükseltilmiş taban ve soğuk hava koridoru, basıncı düşük soğuk hava ile doldurulmaktadır. Soğuk koridorun üst tarafına konumlandırılmış, çift taraflı hava giriş çıkışına imkan kılan hava çıkış kapakçıkları bulunmaktadır. Kapakçıklardan gerçekleşen tüm hava akışını kontrol etmek için ise, kapakçıkların üstüne sıcaklık sensörleri konumlandırılmıştır (Şekil 3.22’de T1 ile gösterilmiştir).

Kabinetler içerisinde bulunan sunucuların ısıl tüketimi arttığı anlarda; sunucular normalde olduğundan daha fazla hava hacmine ihtiyaç duymaktadır. Bu durumlarda, soğuk koridor üst tarafında bulunan kapakçıkların pozisyonu değişmekte, sıcak koridor tarafından soğuk koridor tarafına sıcak hava girişi gerçekleşmektedir. Soğuk koridora geçiş yapan sıcak hava, kapakçık üzerinde bulunan sensör tarafından ölçülmekte ve sıcaklık bilgisi CRAC ünitesinin kontrol yazılımına gönderilmektedir. Sıcaklık sensörü tarafından okunan sıcaklık değeri istenilen değerin üstünde olduğu için, CRAC ünitenin kontrol yazılımı tarafından fan hızı arttırılmaktadır. Bu durumun tam zıttı olarak ise; sunucuların daha düşük kapasitede çalıştığı ve daha az soğuk hava hacmine ihtiyaç duyduğu anlarda, kapakçıklar açılarak soğuk koridordan sıcak

koridora soğuk hava geçişi olmaktadır. Kapakçıklar üzerinde bulunan sıcaklık sensörleri, soğuk havanın sıcaklık değerini okuyarak CRAC ünitesinin kontrol yazılımına gönderilmektedir. Sıcaklık sensörü tarafından okunan değer istenilen değerlerin altında olduğu için, CRAC ünitesinin kontrol yazılımı tarafından fan hızı düşürülmektedir.

Sıcaklık Kontrollü Akıllı Kapalı Tip Soğutma Sistemlerinde diğer bir sıcaklık kontrol işlemi ise, soğuk hava koridorlarının çeşitli noktalarına konumlandırılmış sıcaklık sensörleri sayesinde gerçekleştirilmektedir. Soğuk hava koridorunun farklı noktalarında bulunan sıcaklık sensörleri sayesinde, soğuk koridorun anlık sıcaklık bilgisi sürekli olarak soğutma ünitesinin kontrol kartına gönderilmektedir. Ortam istenilen set değerlerine ulaştığı anda, soğutma ünitesi fan hızını düşürerek gereksiz enerji tüketimini ortadan kaldırılmaktadır (Ortam sıcaklığı istenilen set değerlerinin üstüne çıktığı anda ise, soğutma ünitesi fan hızını artırarak ortamın istenilen sıcaklık değerlerine gelmesini sağlamaktadır).



Şekil 3.22 : Sıcaklık kontrollü kapalı tip soğutma sisteminin örneklendirilmesi.

T1= Kapakçık üzerinde bulunan sıcaklık sensörü

T2= CRAC ünitesine dönen havanın sıcaklığını ölçen sensör

T3= CRAC ünitesinde fan çıkışında bulunan soğuk havanın sıcaklığını ölçen sensör

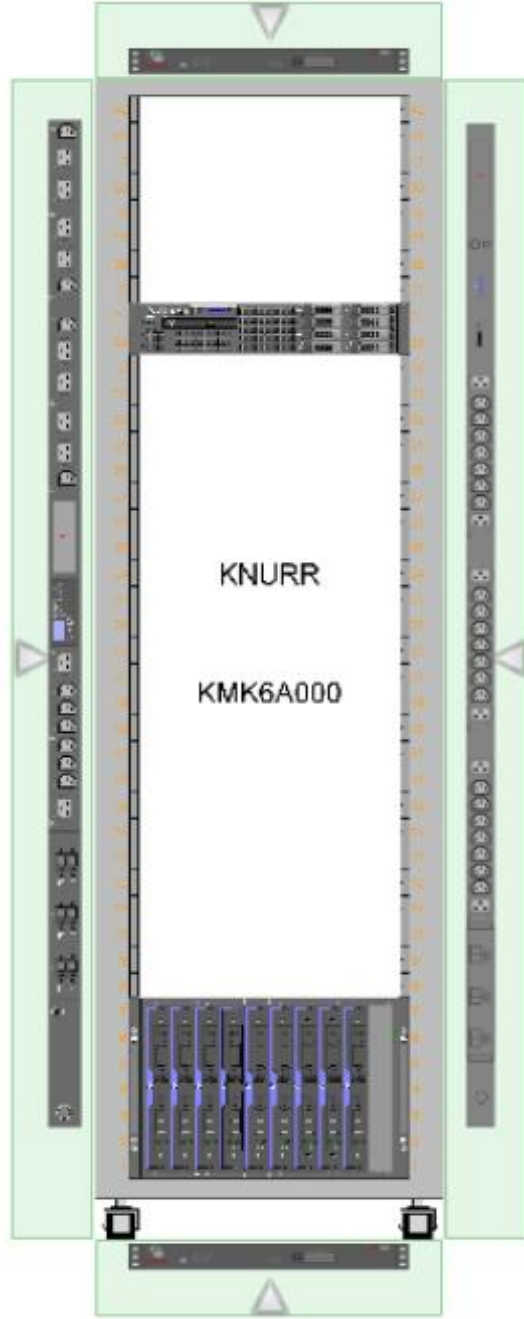
T4= Soğuk hava koridorunda konumlandırılmış

3.5 Uygun PDU Seçimi

PDU (Power Distribution Unit)'lar IT ürünlerin direk olarak bağlı olduğu, raflı kabinetlerin içerisinde bulunan enerji dağıtımını sağlayan elektronik ekipmanlardır. PDU'lar IT ürünlerin beslendiği enerji akışında son halkada ve IT ürünlerler aynı kabinetlerde bulunduğu için büyük önem taşımaktadır. Günümüzde yeni nesil PDU'lar sayesinde; anlık olarak akım, gerilim, sıcaklık ve nem gibi çok önemli bilgiler kullanıcı tarafından veya DCIM yazılımları tarafından izlenebilmektedir. Ayarlanabilir eşik değerleri sayesinde; IT kabinet içerisinde meydana gelebilecek anormal durumlar önceden sezilerek, olası enerji kesintileri ortadan kaldırılmaktadır. Anlık alınan değerlere ilaveten; geliştirilmiş son teknoloji PDU'lar sayesinde, veri merkezi operatörleri ağ üzerinden PDU'ların enerji çıkışları kontrol edilebilmektedir. PDU'lar üzerinde birden çok enerji çıkışı olduğu ve her bir çıkışın farklı bir IT ürünü beslediği düşünülürse, bu durumun veri merkezi kullanıcılarına büyük kolaylık sağladığı ortadadır.

Veri merkezleri, yılın her zaman diliminde tam kapasitede çalışmazlar. Yılın belirli günlerine veya günün belirli saatlerine göre, veri merkezlerinin yük miktarı değişiklik göstermektedir. Örnek verilecek olursa; internet üzerinden satış yapan bir e-ticaret firması, yoğun talebin olduğu indirim günlerinde veya saatlerinde (Black Friday), tam kapasite çalışmak zorundadır. Günün geri kalan saatlerinde veya yılın geri kalan günlerinde tam kapasite çalışmasına gerek duyulmamaktadır. Bu gibi durumlarda, veri merkezleri operatörleri tarafından, operasyonda olunan IT ürünler kapatılarak enerji tasarrufu sağlanmaktadır (Data Center Utilization). Bu enerji açma kapatma işlemleri genellikle PDU'lar üzerinden, ağ bağlantısı ile uzaktan gerçekleştirilmektedir.

Veri merkezlerinde sürekliliği sağlamanın en önemli noktalarından birisi ise, yedeklilik ilkesine göre seçilen PDU'lardır. PDU'larda yedekliliği sağlamak için, her bir raflı kabinette en az iki adet PDU kullanılmaktadır. Şekil 3.23'te görüldüğü üzere, 2 adet PDU kabinetin sağına ve soluna yerleştirilmiştir. IT ürünlerin büyük bir çoğunluğu, çift enerji girişine sahiptir. Enerji girişlerinden biri soldaki PDU'ya, diğer enerji girişi ise sağdaki PDU'ya bağlanmaktadır. Bu sayede, PDU'lardan birinde meydana gelebilecek herhangi bir arıza anında IT ürünlerin operasyonu etkilenmemektedir. Bu enerji altyapısı sayesinde, IT yüklerin enerji beslemeleri yedeklenmektedir.



Şekil 3.23 : Raflı kabine içerisine yerleştirilmiş PDU'lar.

Bir PDU üzerinde birden çok enerji çıkışı bulunmaktadır. Bu sayede, PDU üzerine ilgili kabinetteki tüm IT ürünlerinin bir enerji girişi bağlanabilmektedir. PDU üzerindeki her bir enerji çıkışı uzaktan izlenebildiği (Anlık akım-gerilim değerleri) ve kontrol edilebildiği için, veri merkezi operatörüne büyük bir operasyon kolaylığı sağlanmaktadır. PDU üzerinde bulunan her bir enerji çıkışı etiketlenerek hangi IT

ürünü beslediği belirlenebilmekte, operasyon ve manevra hataları ortadan kaldırılmaktadır.

PDU'lar diğer veri merkezi ekipmanlarıyla karşılaştırıldığında, elektronik olarak basit bir yapıya sahip olmasına rağmen, veri merkezleri için büyük önem taşımaktadırlar. Bu sebeple enerji verimlilikleri de, veri merkezlerinde büyük önem taşımaktadır. PDU'larda enerji tüketimine neden olan ekipmanlar rölelerdir. Röleler, uzaktan PDU'nun enerji çıkışlarını kontrol etmek için kullanılmaktadır. Günümüzdeki son teknoloji PDU'larda; Bi-Stable (Latching) röleler kullanılarak, %75 oranında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir [15]. Çizelge 3.5'te, farklı üreticilere ait PDU'lar ait enerji tüketim değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.5 : Farklı üreticilere ait PDU anlık güç değerleri [18].

Model	Enerji Tüketimi (W)
Vertiv MPH2	3-7
Bachmann	15
Raritan	24
ServerTech	30
Rittal	15
APC	18
Eaton	37



4. VAKA ANALİZİ

4.1 Vaka Analizi Kapsamı

Bu bölüm; Türkiye sınırları içerisinde faaliyet gösteren bir bankaya ait, yapımı planlanan veri merkezinin gerçek verilere dayanan vaka analizini kapsamaktadır. Vaka analizi kapsamında; müşteri taleplerini karşılayacak şekilde çözümler önerilecek, maliyet minimum tutularak maksimum enerji verimliliği ve sürekliliği sağlanacaktır. Çözüm önerileri, veri merkezi enerji verimliliği için ana noktalar olan; soğutma sistemleri, UPS seçimi ile PDU seçimi üzerine verilecek ve tüm enerji verimliliği ile maliyet hesaplamaları bu teknolojiler üzerinden gerçekleştirilecektir.

Vaka analizi gerçekleştirilirken:

Uygun soğutma sistemi seçimi için; IT kabinetlerin ısı yükleri, IT kabinet sayısı, CRAC üniteler soğutma kapasiteleri,

uygun UPS seçimi için; müşterinin beyan ettiği anlık yükler ve yedeklilik prensibi,

uygun PDU seçimi için; her bir PDU üreticisinin beyan ettiği enerji tüketimleri göz önünde bulundurularak hesaplamalar ve karşılaştırmalar gerçekleştirilecektir

4.2 Sistem Gereksinimi

Öngörülen IT yükler belirlenmiş olup, ilgili kişiler tarafından paylaşılmıştır. Gerçekleştirilecek vaka analizi çalışması, aşağıda verilen müşteri talepleri doğrultusunda gerçekleştirilecektir.

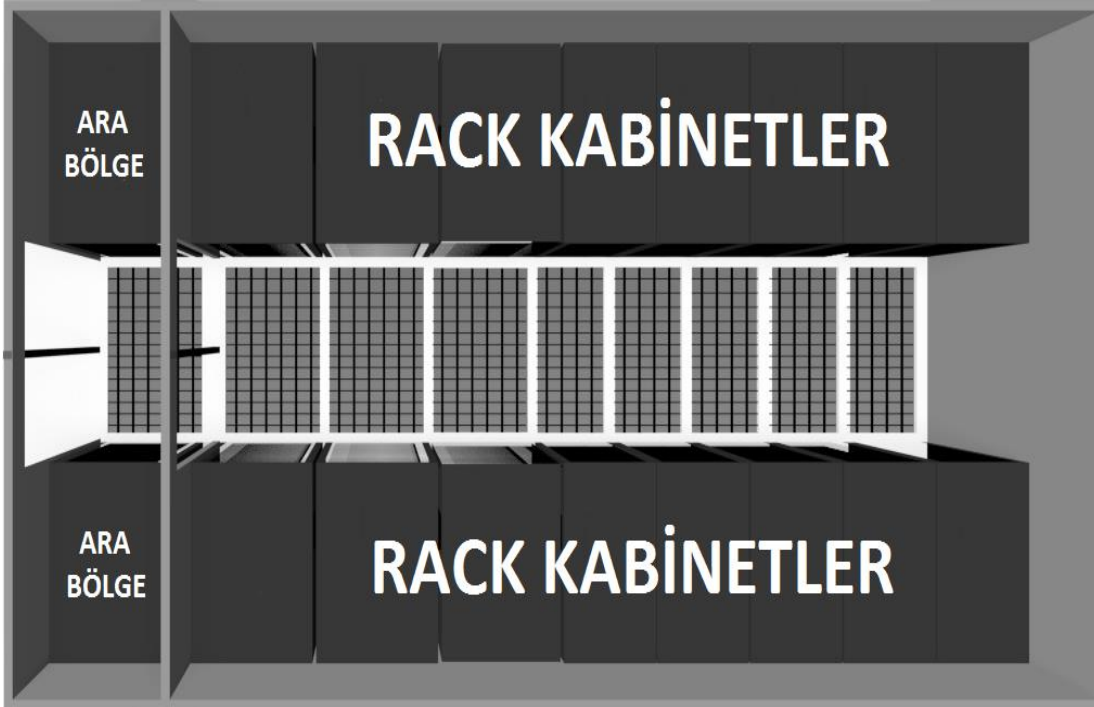
- 48 Adet Raflı Kabinet
- Raflı Kabinet Başına Enerji Tüketimi 15kW
- IT Yükler Haricindeki Elektriksel Yük 220kW
- $\Delta t=15K$ (Soğuk Hava Koridoru ile Sıcak Hava Koridoru Arasındaki Sıcaklık Farkı)
- Raflı Kabinetler yükseltilmiş taban üzerine yerleştirilecek

- Ticarethaneler için birim elektrik fiyatı 0,72 TL/kWh (2019 Ocak güncel fiyat baz alınmıştır)
- IT ortam soğutma yöntemi, kapalı tip soğutma sistemi olacak
- Sistem yedekliliği (N+1) olacaktır.
- h (Planlanan veri merkezinin denizden yüksekliği)=332 metre
- Veri merkezinin yerleştirileceği lokasyonun aylık kira maaliyet 20 €/m²

4.3 Soğutma Yöntemi Seçimi

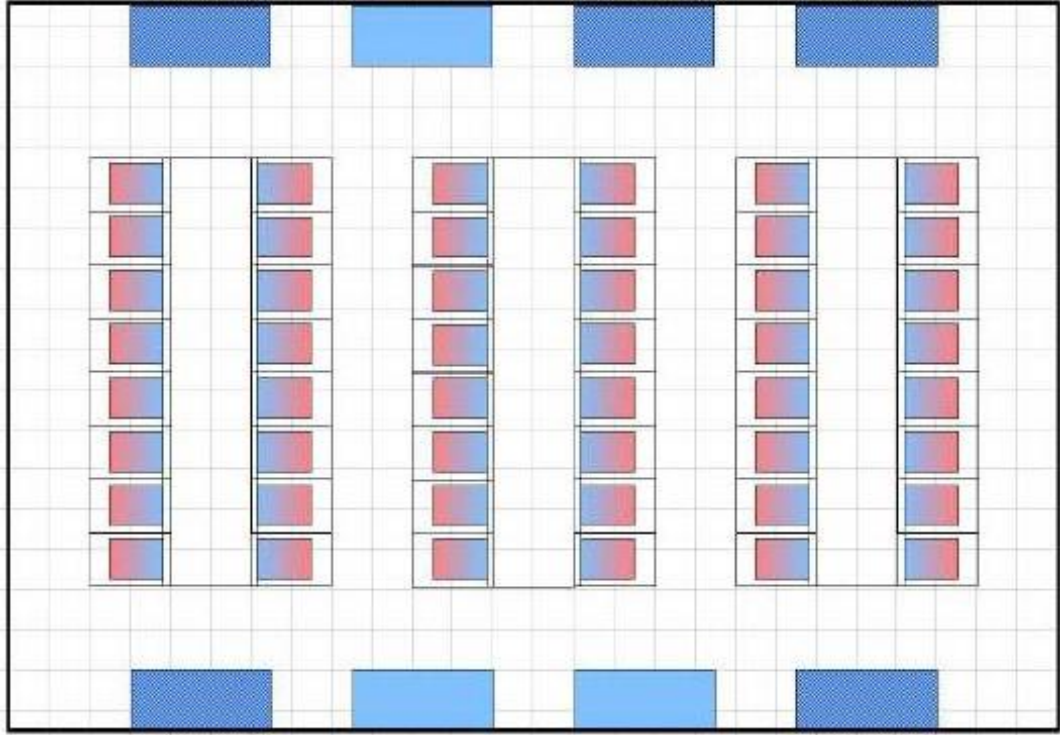
Banka talebi doğrultusunda, veri merkezinde kapalı tip soğutma sistemi kullanılacaktır. Bu doğrultuda, kapalı tip soğutma sistemleri çeşitleri olan; sıcaklık kontrollü ve basınç kontrollü kapalı tip soğutma sistemleri karşılaştırılarak, enerji verimliliği ve maliyet yönünden optimum analizi gerçekleştirilecektir.

IT ortamda bulunması öngörülen 48 adet raflı kabineti kapsayan sistem için, her biri kendisine ait soğuk koridora sahip Şekil 4.1’de modellenmesi verilen 3 adet özdeş kapalı tip sistem önerilmiştir. Her bir kapalı tip sistem 16 (8*2) raflı kabinetine sahiptir. Bu sistemler; IT ortamın kurulacağı alan kısıtlaması sebebiyle, maximum 8 CRAC ünite ile soğutulması gerekecek şekilde tasarlanacaktır. Bu üniteler odanın çeşitli noktaların yerleştirilerek şekilde, sistem yerleşimi gerçekleştirilecektir.



Şekil 4.1: Her bir kapalı tip sistemin üstten görünüşü.

Şekil 4.1’de, 16 adet raflı cabinet için, AutoCad program ile hazırlanmış kapalı tip systemin modellemesi verilmektedir. Toplamda 48 adet raflı cabinet için, 3 adet kapalı tip soğutma sistemi kullanılacaktır. IT ortamın, üstten modellenmiş şekli, Şekil 4.2’de verilmektedir.



Şekil 4.2: Ön görülen IT ortamının krokisi.

Veri merkezlerinde bulunan IT ortamların soğutma sistemleri seçilirken, ortamdaki ısı yüküne ilaveten, ortam için gerekli hava akış hacimlerinin ve kayıplarının hesaplanması gerekmektedir.

4.3.1 Gerekli hava akış hacminin hesaplanması

Uygun soğutma sistemi seçerken, gereken hava akış hacmi hesaplamaları büyük önem taşımaktadır. Gerekli hacim hesaplamaları, kullanılacak yöntemden bağımsız olarak, açık sistemler için olan enerji denklemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Gerekli hava debisi hesaplanırken 4.1 nolu denklem kullanılmaktadır.

$$\text{Gerekli hava debisi (hava akış hacmi)} = V = \frac{(f(h)*Q)}{\Delta T} \quad (4.1)$$

Bu denklemde;

$f(h)$ değerleri belirli yükseklikler için sabit kabul edilerek; denklem 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6’daki hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

$$f(0 - 100m) = 3,1[(m^3 K)/Wh] \quad (4.2)$$

$$f(100 - 250m) = 3,2[(m^3 K)/Wh] \quad (4.3)$$

$$f(250 - 500m) = 3,3[(m^3 K)/Wh] \quad (4.4)$$

$$f(500 - 750m) = 3,4[(m^3 K)/Wh] \quad (4.5)$$

$$f(750 - 1000m) = 3,5[(m^3 K)/Wh] \quad (4.6)$$

Yapımı öngörülen veri merkezinin, deniz seviyesinden yüksekliği 332 metre olarak, toplam ön görülen ısı yük ise raflı kabinet başına 15kW olarak paylaşılmıştır. Veri merkezinde 48 adet raflı kabinet yer alacağı göz önünde bulundurulduğunda, toplam ısı yük kapasitesi 720kW olmaktadır. Öngörülerin ısı yük doğrultusunda; denklem 4.7’de, ortam için gerekli teorik have debisi hesaplanmıştır.

$$\text{Gerekli hava debisi} = V = \frac{(f(h)*Q)}{\Delta T} = \frac{(3,3*720000)}{15} = 158.400 \left[\frac{m^3}{sa} \right] \quad (4.7)$$

4.3.2 Hava akış hacminde (hava debisinde) gerçekleşen kaybın hesaplanması

Gerçek uygulamalarda soğutma sistemleri tarafından sağlanan hava akışında; raflı kabinetlerin, kapalı sistem soğuk koridorların, yükseltilmiş döşemelerin üzerinde bulunan boşluklardan sızıntılar gerçekleşmektedir. Bu sızıntılar, soğutma sistemlerinin enerji tüketimini arttırmaktadır. Hassas hesaplamalarda; bu kayıplar göz önünde bulundurularak sistemlerin verim ve enerji tüketim hesaplamaları gerçekleştirilmelidir.

4.3.2.1 Mekanik sistemlerde gerçekleşen kayıplar

IT ortamlarda gerçekleşen hava kaybının hesaplanması için, hava kaybının gerçekleştiği tüm yüzeylerin alan bilgilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu bilgiler, üreticiler tarafından yaklaşık olarak paylaşılmaktadır. Planlanan IT ortama ait, her bir kapalı sistemde bulunan ve hava sızıntısı olan yüzeylerin alan bilgileri hesaplanarak, üreticinin sağladığı bilgiler Çizelge 4.1’de verilmiştir [16]. Mekanik yüzeylerin alan bilgileri, sıcaklık kontrollü ve basınç kontrollü sistemlerde değişiklik göstermektedir. Her iki sistemdeki mekanik yüzeylerin alanları arasında büyük bir fark olmasa da, hesaplamalar her iki sistem için ayrı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1, denklem 4.2, 4.3 ve 4.4 kullanılarak, sıcaklık kontrollü ve basınç kontrollü sistemlerdeki mekanik sistemlerde gerçekleşen hava debisi kayıpları hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1 : Mekanik sistemler üzerinde kayıpların gerçekleştiği alanlar [16].

Gerçekleşen Yer	Basınç Kontrollü (m ²)	Sıcaklık Kontrollü (m ²)
Rafli Kabinetler Üzerinde	0,529	0,529
Soğuk Hava Koridoru Üzerinde	0,093	0,121
Yükseltilmiş Döşeme Üzerinde	0,454	0,454
Toplam Alan	1,076	1,104
3 Kapalı Sistemdeki Toplam Alan	3,228	3,312

Hava debi kayıpları hesaplanırken aşağıda verilen:

Hava akış hızını veren 4.8 nolu denklem ,

Differensiyel basınç farkını veren 4.9 nolu denklem,

Hava debisini veren 4.10 nolu denklem kullanılmaktadır.

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad (4.8)$$

$$\Delta p = \frac{(v^2 \cdot \rho)}{2} \quad (4.9)$$

$$V = v \cdot A \quad (4.10)$$

Denklem 4.11 'de; basınç kontrollü sistemlerde hava debisi kaybı hesaplanırken:

Basınç kontrollü sistemlerde minimum differansiyel basınç farkı 20 Pa kullanılır.

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 20}{1,1839}} [m/s] = 5,81 [m/s] = 20.916 [m/sa] \quad (4.11)$$

Basınç kontrollü sistemlerde hava debisi kaybı 67.516 [m³/sa] 'dir. (Havanın hızı ile, toplam alanın çarpılması ile elde edilir.)

Denklem 4.12'deki gibi sıcaklık kontrollü sistemlerde hava akış hızı 1 m/s'dir.

$$\Delta p = \frac{(1^2 \cdot 1,1839)}{2} [Pa] = 0,59 [Pa] \quad (4.12)$$

Sıcaklık kontrollü sistemlerde hava debisi kaybı 11.923 [m³/sa]'dir. (Havanın hızı ile, toplam alanın çarpılması ile elde edilir.)

4.3.2.2 Sunucular üzerinde gerçekleşen kayıplar

Günümüzde üretilen modern sunucu sistemleri, basınçtan bağımsız bir şekilde hava sirkülasyonunu sağlayacak şekilde dizayn edilmektedir. Sunucular içerisinde bulunan

fanlar, sunucuların girişlerinde ve çıkışlarında herhangi bir pozitif veya negatif statik basınç oluşturmayacak şekilde seçilmekte ve dizaynı gerçekleştirilmektedir [19]. Buna rağmen, sunucular üzerinde hava kayıpları gerçekleşmektedir. Bu hava kayıpları, verimli sistemler dizayn edilirken göz önünde bulundurulmalıdır.

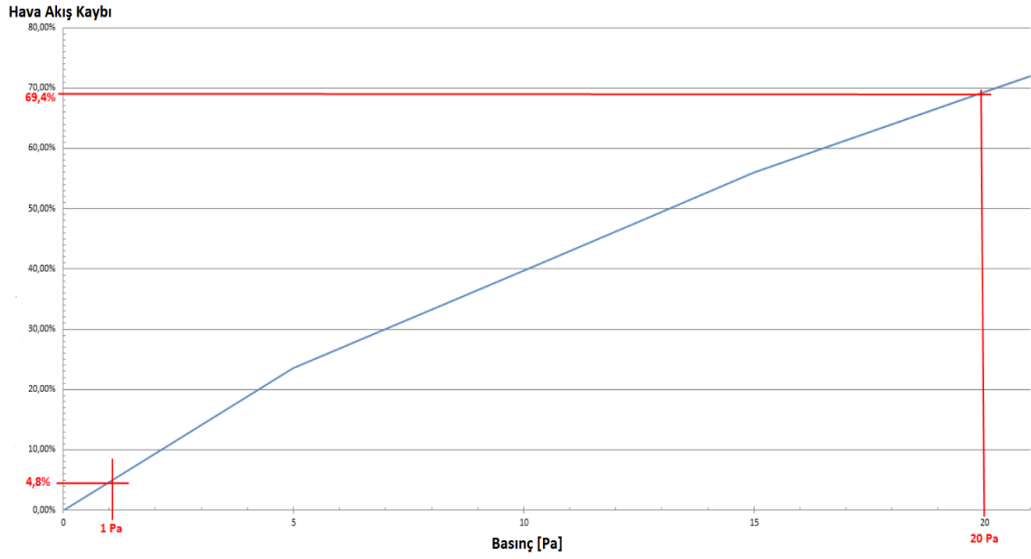
Vaka analizi gerçekleştirilen veri merkezinin; sunucular üzerinde oluşan hava kayıplarını hesaplamak için, Daniel Kennedy'in gerçekleştirdiği çalışmalardan yararlanılarak, sistem için yaklaşık hava kayıpları hesaplanmıştır. Daniel Kennedy, sunucuların farklı basınç altındaki karakteristiklerini inceleyerek, sunucu üzerinde gerçekleşen hava kayıplarını belirlemiştir. Gerçekleştirdiği çalışmada, sunucuların %50 'lik zamanda boşta çalıştığını kabul ederek gerçekleştirmiştir. Bu karşılaştırmadan yararlanılarak, basınç kontrollü ve sıcaklık kontrollü kapalı tip soğutma sistemlerindeki sunucular üzerinde oluşan hava kayıpları karşılaştırılmıştır.

Daniel Kennedy'nin gerçekleştirdiği çalışmaya göre basınç-hava kaybı grafiği çizdirilerek, sıcaklık kontrollü (1 Pa) ve basınç kontrollü (20 Pa) sistemlerdeki sunucu üzerinde gerçekleşen yaklaşık hava kaybı değerleri belirlenmiştir [10]. Çizelge 4.2'de belirtildiği üzere; teorik olarak gereken hava akışının %4.8 sıcaklık kontrollü sistemlerde, %69.4 lük kısmı ise basınç kontrollü sistemlerde sunucular üzerinde akış kaybı oluşturmuştur.

Çizelge 4.2 : Daniel Kennedy'i tarafından ortaya konulan hava akış kayıpları.

Basınç [in/H ₂ O]	Basınç (P)	Boşta Olan Sunucuların Hava Debisi Gereksinimi (%)
0	0	0,0
0,02	5	23,5
0,04	10	39,7
0,05	12,5	47,8
0,06	15	56,0
0,08	20	69,4
0,1	25	82,6
0,12	30	93,5
0,14	35	105,1
0,16	40	116,9
0,18	45	126,5
0,2	50	136,5

Daniel Kennedy tarafından ortaya konan, farklı basınç değerlerine göre sunucular üzerinde gerçekleşen hava kayıpları çalışması referans alınarak, şekil 4.3'teki hava debisi kaybı-basınç grafiği oluşturulmuştur.



Şekil 4.3: Hava debisi kaybı-basınç grafiği.

Sunucular üzerindeki gerçekleşen hava akış kayıpları aşağıda verilen 4.13 nolu denklem ile hesaplanmaktadır.

$$V_s = k * t * V_t \quad (4.13)$$

Basınç kontrollü sistemlerde sunucular üzerinde kayıp olacak hava debisi, denklem 4.14'te verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$V_s = 0,694 * 0,5 * 158.400 = 54.947 [m^3/sa] \quad (4.14)$$

Sıcaklık kontrollü sistemlerde sunucular üzerinde kayıp olacak hava debisi, denklem 4.15'te verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$V_s = 0,048 * 0,5 * 158.400 = 3.801 [m^3/sa] \quad (4.15)$$

4.3.2.3 IT ortamda bulunması gereken toplam hava debisi

Çizelge 4.3 : Basınç ve sıcaklık kontrollü sistemler için parametreler.

Birim	Basınç Kontrollü	Sıcaklık Kontrollü
Basınç	20 [Pa]	0,6-1,0 [Pa]
Hava akış hızı	5,81 [m/sn]=20.916 [m/sa]	1,00 [m/sn]=3600 [m/sa]
Teorik hava debisi	158.400 [m ³ /sa]	158.400 [m ³ /sa]
Mekanik sistemlerdeki hava kayıpları	67.516 [m ³ /sa]	11.923 [m ³ /sa]
Sunucular üzerindeki hava kayıpları	54.947 [m ³ /sa]	3.801 [m ³ /sa]
IT ortamda bulunması gereken toplam hava debisi	280.823 [m ³ /sa]	174.124 [m ³ /sa]

Çizelge 4.3'te; sıcaklık kontrollü ve basınç kontrollü kapalı tip soğutma sistemleri için, tüm parametreler ve IT ortamda bulunması gereken toplam hava debileri verilmektedir.

Basınç kontrollü sistemler için gerekli hava debisi 280.823 [m^3/sa] iken, sıcaklık kontrollü sistemler için 174.124 [m^3/sa] 'dir. Yüksek hava debisi gerektiren sistemlerde, daha büyük soğutma üniteleri veya daha fazla sayıda soğutma ünitesi kullanılması gerekmektedir.

4.3.3 EC fan analizi

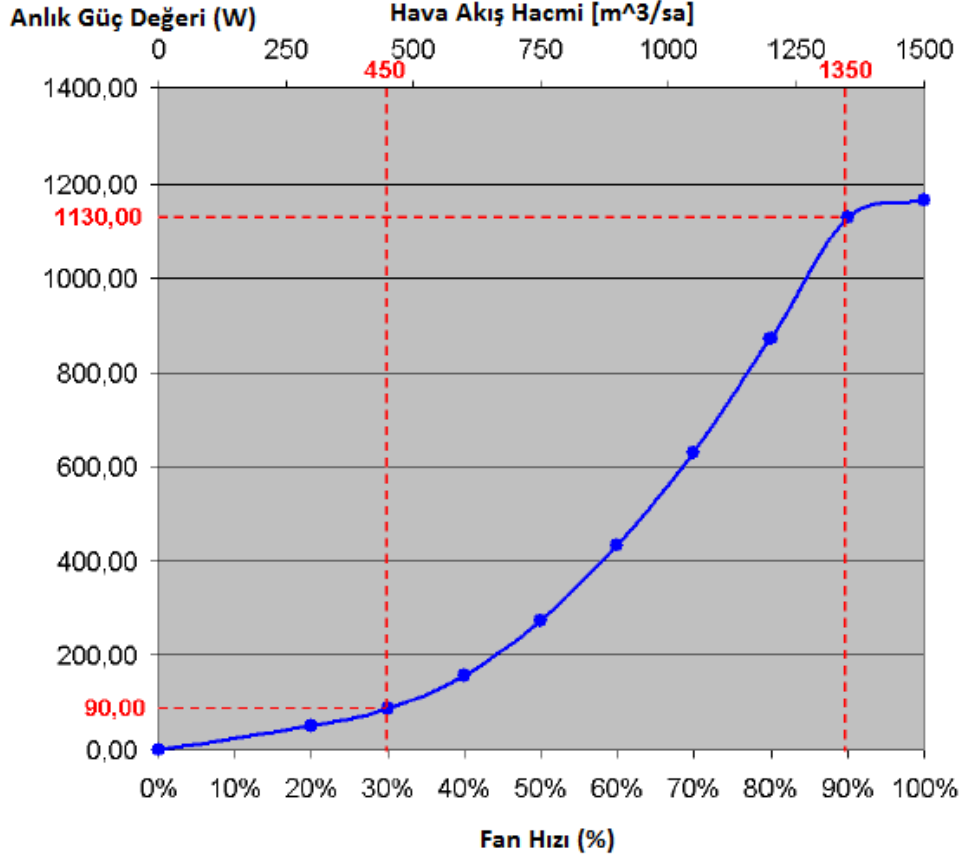
Veri merkezlerindeki hassas klima (CRAC-CRAH üniteler) seçimleri maliyet ve enerji tüketimi açısından büyük bir önem taşımaktadır. Geleneksel veri merkezi projelerinde gerçekleştirilen, IT ortamdaki ısı yükü karşılayacak kapasitedeki hassas klima seçimleri yüksek verimli ve düşük maliyetleri operasyonlar sağlayamamaktadır.

Hassas klime seçimlerinde ısı yük kapasitesinin yanı sıra, hassas klimalar içerisinde bulunan EC fanların enerji tüketimi göz önünde bulundurulmalıdır. EC fanların enerji tüketimleri, fanın hızına göre büyük değişiklik göstermektedir. Tipik EC fanlara ait enerji tüketim ve fan hızı grafikleri incelendiğinde, EC fanların düşük hızda operasyonlarında enerji verimliliğinin daha yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır.

Soğutma ünitelerinde bulunan EC fanların enerji tüketimleri, soğutma sistemlerinin enerji tüketimlerinin büyük bir kısmına karşılık gelmektedir. Düşük enerjili veri merkezi soğutma operasyonları için; EC fanların optimum seviyelerde çalışabileceği sistemlerde tasarlanmalıdır.

EC fanların optimum verimlilik seviyelerinde çalıştırılabilmesi için; ortamda ihtiyaç duyulan hava debisi miktarı ve fanların sağlayabileceği birim güçteki hava akış debisi miktarları göz önünde tutularak, ortama yerleştirilecek gerekli soğutma ünitesi sayısı belirlenmesi gerekmektedir.

Gerçekleştirilen EC fan analizleri sonucunda, farklı sayılardaki soğutma ünitelerinin enerji tüketimleri ve yıllık enerji maliyetleri çizelge 4.5 (IT ortamda gerekli hava debisini tam olarak karşılayabilen soğutma ünitesi için), 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10 detaylı bir şekilde verilmiştir.



Şekil 4.4: EC fan hava debisi - anlık güç değeri grafiği [20].

Şekil 4.4'te görülen grafik üzerinden 2 nokta seçilerek fanlara birim hava akış hacimlerine karşılık gelen enerji tüketimleri aşağıdaki denklemlerde karşılaştırılmıştır.

$$\text{EC Fan \%90 Hızda çalışırken,} = \frac{1130}{1350} = 0,837 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^3/\text{sa}} \right] \quad (4.16)$$

$$\text{EC Fan \%30 Hızda çalışırken} = \frac{90}{450} = 0,20 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^3/\text{sa}} \right] \quad (4.17)$$

Denklem 4.16 ve 4.17'de görüldüğü üzere; %30 hızda çalışan fan, %90 hızda çalışan fana göre 4 kat daha fazla verimlidir.

4.3.4 Optimum soğutma yöntemi

Vaka analizi gerçekleştirilen veri merkezinde kullanılacak hassas klimalar olarak; IT ortam için gerekli soğutma kapasitesi ve hava akış hacmi göz önünde bulundurularak, Liebert HPM L20EC CRAC ünite seçilmiştir. Liebert HPM L20EC CRAC ünitesinin teknik bilgileri çizelge 4.4' te verilmiştir. IT ortam için gerekli hava debisi ve CRAC ünitenin teknik değerleri göz önünde bulundurularak; soğutma sistemlerinin enerji tüketimleri ve yıllık enerji maliyetleri, 4.5-4.10 nolu çizelgelerde hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4 : Liebert HPM L20EC CRAC ünitesine ait teknik veriler [18].

Değerler	Liebert HPM L20EC Extended DOWN
Net soğutma kapasitesi [kW]	152
Güç değeri [kW]	10,48
Hava debisi [m^3/sa]	45,120
SHR	1

CRAC ünite seçimi esnasında, farklı sayıdaki CRAC ünite konfigürasyonları değerlendirilmiş ve maliyet analizi toplam yıllık enerji tüketimi üzerinden gerçekleştirilmiştir. Fan hızı değeri bulunurken, ünitelerin hava akış hacim kapasitesi ve IT ortam için gereken hava akış hacmi göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5 : % 100 tam kapasite.

Birimler	Basınç Kontrollü	Sıcaklık Kontrollü
CRAC ünite sayısı	5	4
Fan hızı	%100	%91
Yıllık enerji tüketimi	459.024 kWh	334.129 kWh
Yıllık enerji maliyeti	330.497 TL	240.602 TL

Çizelge 4.6 : 6 CRAC üniteli konfigürasyon.

Birimler	Basınç Kontrollü	Sıcaklık Kontrollü
CRAC ünite sayısı	6	6
Fan hızı	%85	%61
Yıllık enerji tüketimi	466.864 kWh	183.609 kWh
Yıllık enerji maliyeti	331.473 TL	132.198 TL

Çizelge 4.7 : 7 CRAC üniteli konfigürasyon.

Birimler	Basınç Kontrollü	Sıcaklık Kontrollü
CRAC ünite sayısı	7	7
Fan hızı	%75	%50
Yıllık enerji tüketimi	374.869 kWh	160.658 kWh
Yıllık enerji maliyeti	269.906 TL	115.673 TL

Çizelge 4.8 : 8 CRAC üniteli konfigürasyon.

Birimler	Basınç Kontrollü	Sıcaklık Kontrollü
CRAC ünite sayısı	8	8
Fan hızı	%64	%45
Yıllık enerji tüketimi	262.299 kWh	122.406 kWh
Yıllık enerji maliyeti	188.855 TL	88.132 TL

Çizelge 4.9 : 9 CRAC üniteli konfigürasyon.

Birimler	Basınç Kontrollü	Sıcaklık Kontrollü
CRAC ünite sayısı	9	9
Fan hızı	%57	%40
Yıllık enerji tüketimi	240.987 kWh	123.936 kWh
Yıllık enerji maaliyeti	173.511 TL	89.234 TL

Çizelge 4.10 : 10 CRAC üniteli konfigürasyon.

Birimler	Basınç Kontrollü	Sıcaklık Kontrollü
CRAC ünite sayısı	10	10
Fan hızı	%51	%34
Yıllık enerji tüketimi	229.512 kWh	76.504 kWh
Yıllık enerji maaliyeti	165.248 TL	55.082 TL

Sıcaklık kontrollü ve basınç kontrollü kapalı tip sistemlerin farklı ünite sayılarına göre hesaplamalı karşılaştırmaları gerçekleştirilmiştir. Ünite sayısında bağımsız olarak; sıcaklık kontrollü kapalı tip soğutma sistemleri enerji maliyetlerinin daha düşük olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu duruma ilaveten; IT ortamın soğutma ihtiyacı 4 CRAC ünite ve 3 kapalı soğuk koridor ile sağlanabilirken, bu durumun en verimli dizayn olmadığı ortaya çıkmıştır. Yapılması öngörülen IT ortam için en verimli dizayn, 10 CRAC ünite ve 3 kapalı soğuk koridor içermektedir. Fakat, IT ortamındaki alan yetersizliği sebebiyle; projeye önerisi olarak 8 CRAC ünite ve 3 kapalı tip soğuk koridor önerilerek, en verimli soğutma operasyonu öngörülmüştür.

4.4 UPS Sistem Tasarımı

Vaka analizi UPS seçimi kapsamında, sadece IT ortamda bulunan elektriksel yükü besleyecek UPS seçimleri yapılacaktır. En verimli UPS proje önerisini ortaya koyma amacıyla, geliştirilmiş ECO Mod özelliğine sahip Modüler ve Monoblok UPS'ler karşılaştırılacak ve gerekli maliyet analizleri gerçekleştirilecektir.

4.4.1 UPS seçimi

Banka yöneticileri tarafından sağlanan verilere göre, IT ortamda ön görülen en yüksek elektriksel yük 720kW'dır. Belirtilen elektriksel yük değerini karşılayabilmek için: her biri 400kVA olan 3 adet güç modülüne sahip Vertiv 1200 kVA Trinergy Cube Modüler UPS ve 2 adet 800 kVA Vertiv EXL-S1 Monoblok UPS ele alınmıştır. Her iki sistem de, müşteri tarafından talep edilen yedeklilik ilkesi karşılanmaktadır.

3 adet güç modülünden oluşan 1200kVA modüler UPS sistemi, 2 adet güç modülü ile öngörülen 720kW IT yükü ve 70kW harici yükü karşılayabilmektedir. UPS güç modülü üzerinde meydana gelebilecek herhangi bir arıza anında, 1 adet güç modülü devre dışı kalsa dahi, kalan 2 güç modülü istenilen güç kapasitesi sağlanabilecektir. Önerilen Modüler UPS sisteminde 9 grup VRLA tip akü kullanımı öngörülmüştür. Her bir akü grubu, 44 adet 93Ah VRLA tip aküler ile oluşturulmuştur.

2 adet 800kVA monoblok UPS sistemi ise; UPS'lerden biri devreden çıkarsa dahi, iki UPS'ten sadece biri öngörülen 720 kW yükü karşılayacak şekilde seçilmiştir. Önerilen monoblok UPS projesinde, 18 grup(Her bir monoblok UPS için 9 grup) VRLA tip akü kullanımı öngörülmüştür. Monoblok UPS'lerden herhangi biri devre dışı kaldığı durumlarda; bir adet monoblok UPS'in, modüler UPS'ler aynı akü kapasitesine sahip olması amacıyla her bir monoblok UPS için 9 grup akü önerilmesi gerekmektedir.

4.4.2 UPS sistemleri maliyet analizleri

4.4.2.1 Verimlilik karşılaştırılması

Vertiv Trinerger Cube modüler UPS ve Vertiv EXL-S1 monoblok UPS, elektronik dizayn ve verimlilik özellikleri bakımından tamamen benzerlik göstermektedir. Önerilen sistemlerde; Trinerger Cube modüler UPS % 60 yükte ve geliştirilmiş eco mod ile, her bir Vertiv EXL-S1 monoblok UPS ise % 45 yük ile çift çevirim modunda Çizelge 4.11'de verim değeri verildiği üzere % 96,6 verimle çalışacak şekilde öngörülmüştür. Trinerger Cube cihazına ait üretici tarafından paylaşılan değerlerde; Şekil 4.5'te geliştirilmiş eco mod için verilen verim değeri %98 olmasına karşın, tez kapsamında yapılan testlerde, Trinerger Cube modüler UPS'in %60 yüklenme esnasında verimliliği %97,6 olarak hesaplanmıştır. Gerçek test sonucu baz alınarak gerçekleştirilen hesaplamalara göre;

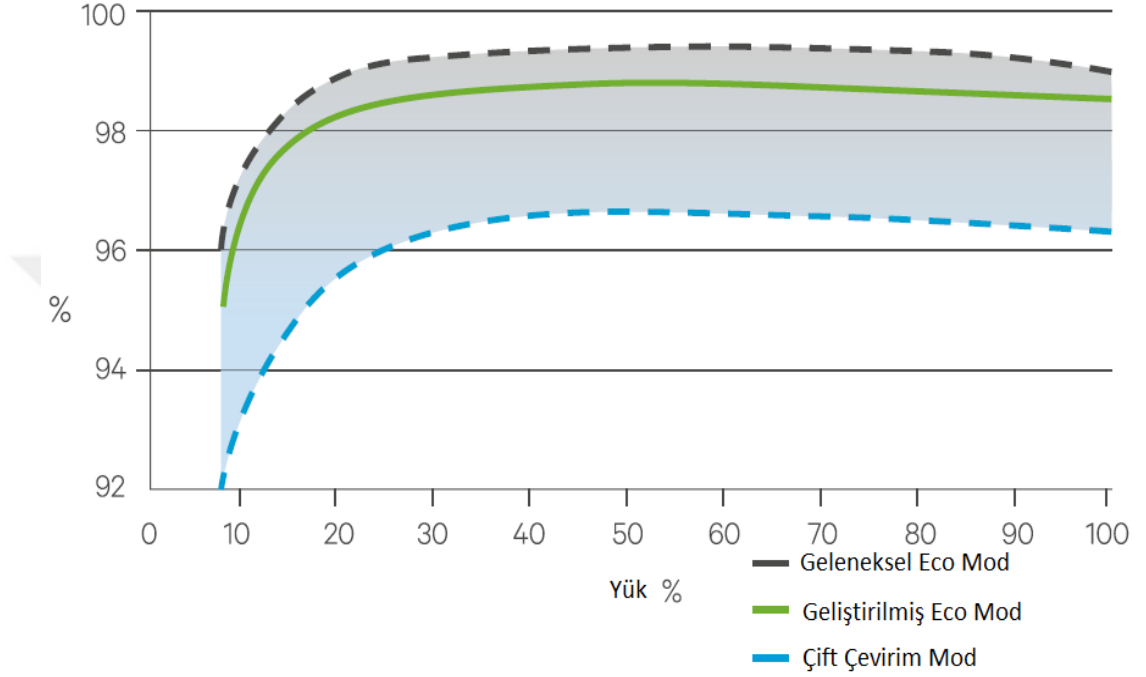
Trinerger Modüler UPS'in deki elektriksel kayıp 17,28 kW,

EXL-S1 monoblok UPS'lerdeki kayıp elektriksel kayıp 24,48 kW olmaktadır.

Trinerger Modüler UPS'i kullanıldığında; yıllık 63.072 kWh ve 45.411 TL enerji kazancı sağlanmaktadır. Veri merkezlerindeki PUE değerlerinin istenilen seviyelerde tutulabilmesi için, UPS'ler üzerindeki enerji kayıplarının düşük olması, büyük bir önem taşımaktadır. Veri merkezlerinde kullanılan UPS'lerin güç kapasiteleri yüksek değerlerde olduğu için, düşük enerji kayıpları sunan UPS'ler tercih edilmektedir.

Çizelge 4.11 : Vertiv EXL-S1 monoblok UPS verim tablosu [19].

Yük Yüzdesi	Mevcut Yüke Göre AC/AC Verim [%]
%25	96,4
%50	96,6
%75	96,5
%100	96,1
Eco mod	98,6



Şekil 4.5: Vertiv Tcube modüler UPS verim grafiği [20].

4.4.2.2 İlk yatırım maliyet analizi

UPS sistemleri ilk yatırım maliyetleri kapsamında; şalter , akü ve UPS olmak üzere bir çok kalem açısından karşılaştırılmıştır. İlk yatırım maliyet karşılaştırılması, üreticiler tarafından liste fiyatı üzerinden alınan teklifler referans alınarak gerçekleştirilmiştir.

Veri merkezi projesinde akü modeli olarak Sprinter XP12V3000 VRLA akü kullanılması öngörülmüştür. Akü üreticisinden alınan fiyat teklifine istinaden birim akü fiyatı 132 € olarak kabul edilmiştir. Modüler UPS sisteminde 392 adet, monoblok UPS sistemi önerisinde 792 adet akü kullanılması öngörülmüştür.

Modüler sistemde birer adet giriş ve çıkış enerji panosu gerekirken, monoblok sistemde ise ikişer adet (her bir monoblok UPS için birer adet) giriş ve çıkış enerji panosu gerekmektedir.

Modüler sistemde birer adet giriş,bypass ve çıkış şalterleri gerekirken, monoblok sistemde ise ikişer adet(her bir monoblok UPS için birer adet) giriş, bypass ve çıkış enerji şalterleri gerekmektedir. Çizelge 4.11’da üreticilerden alınan liste fiyatları verilmiştir.

Çizelge 4.12 : UPS sistemi ilk yatırım maliyetlerinin karşılaştırması.

Kalemler	Modüler UPS Maaliyeti (€)	Monoblok UPS Maaliyeti (€)
UPS maaliyeti	286.000	140.000 €*2 = 280.000
Akü maaliyeti	396*132 € =52.272	792*132 € = 104.544
Enerji panoları	8.014	13.534
Şalterler	4.500	8000
Toplam	350.786	406.078

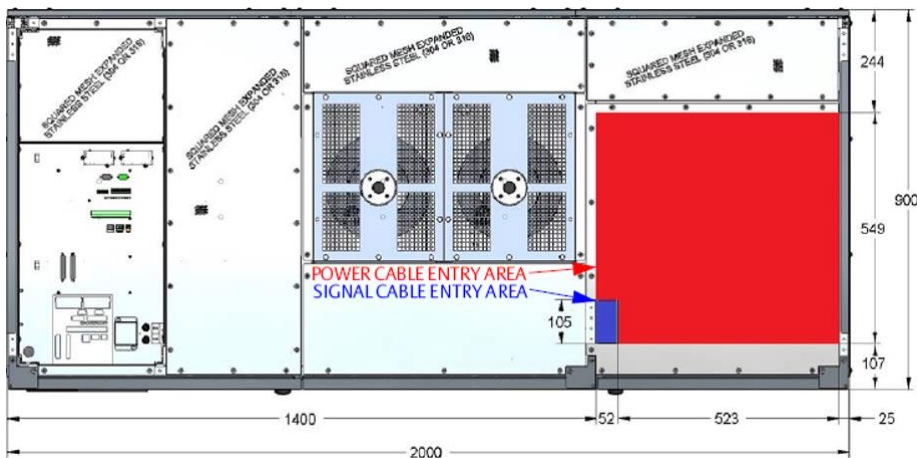
4.4.2.3 İşletme maliyet analizi

UPS sistemleri işletme maliyetleri kapsamında, UPS-Akü bakım maliyetleri ile UPS ve akülerin kapladıkları alanların kira maliyetleri göz önünde bulundurularak 10 yıllık süreç için hesaplanmıştır.

Devreye alma, arıza, bakım ve temizlik gibi satış sonrası hizmetlerin yerine getirilebilmesi için; UPS ve akülerin yerleştirileceği odaların alanları, UPS ve akülerin kapladıkları gerçek alanın minimum 2 katı olacak şekilde seçilmesi gereklidir.

UPS – akü bakım sözleşme fiyatları, üretici firmanın sunduğu fiyatlar üzerinden referans alınarak hesaplanmıştır.

Monoblok UPS sistemi için; Şekil 4.8’de üreticinin verdiği kullanıcı kitapçıklıkları referans alınarak, her bir UPS sisteminin kapladığı alan hesaplanmıştır.



Şekil 4.6: Vertiv EXL-S1 monoblok UPS üstten görünüş [21].

Monoblok sistemde 2 adet 800kVA EXL S1 UPS bulunduğundan toplam alan 2 adet UPS'in kapladığı alana göre hesaplanır.

Tek bir monoblok UPS'in kapladığı alan $1,8 m^2$ 'dir. (UPS'in eni ve boyu çarpılarak hesaplanır)

İki adet monoblok UPS'in kapladığı alan $3,6 m^2$ 'dir.

2 adet monoblok UPS ile birlikte 792 adet Sprinter XP12V3000 tipi akü kullanılması öngörülmektedir. Akülerin kapladığı alan, Çizelge 4.11'de verilen akü üretici kullanıcı kitapçığı referans alınarak hesaplanmıştır. Akülerin kapladığı alanın azaltılması için, aküler 3 raflı dolaplara yerleştirilecektir.

Çizelge 4.13 : Sprinter XP12V3000 boyutları [22].

Akü Tipi	Uzunluk [mm]	Derinlik [mm]	Yükseklik [mm]
XP12V3000	309	172	223

Tek bir akünün kapladığı alan $0,0531 m^2$ 'dir. (Akü'nün eni ve boyu çarpılarak hesaplanır)

792 adet akünün kapladığı alan $42,0932 m^2$ 'dir.

792 adet akünün 3 raflı dolaplarda kapladığı alan $14,031 m^2$ 'dir. (792 adet toplam akünün kapladığı alanın 3'e bölünmesi ile hesaplanır)

UPS ve akülerin toplam kapladığı alan $17,631 m^2 \sim 25 m^2$ 'dir. (UPS ve akülerin kapladığı alan toplanarak hesaplanır)

UPS ve akü odalarının aylık kiralama maaliyeti 500€'dur. (Toplam alanın, birim m^2 maaliyeti ile çarpımı sonucunda hesaplanır)

UPS ve akü odalarının 10 yıllık kiralama maaliyeti 60.000 € 'dur.

Modüler UPS sistemi için; şekil 4.10'da üreticinin verdiği kullanıcı kitapçıkları referans alınarak, modüler UPS sisteminin kapladığı alan hesaplanmıştır. Öngörülen modüler UPS'in alanı; tepeden görünüş baz alınarak, modüler UPS'in en ve genişlik değerleri çarpılarak hesaplanır. Hesap sonucunda elde edilen UPS alan değeri, yaklaşık olarak 1,5 katsayısı ile çarpılır. Bu uygulanmanın nedeni, UPS'in ön ve arka tarafından servis müdahale boşluklarının ve kapak açma mesafelerinin hesaba katılması gerektiğidir. Bu alan katsayısının göz ardı edildiği veri merkezlerinde, UPS yerleşimleri ve UPS bakım onarım süreçlerinde büyük sıkıntılar yaşanmaktadır.

4.5 PDU Seçimi

Veri merkezi projesi kapsamında, 48 adet raflı kabinet bulunmaktadır. Kabinetler içerisinde bulunan her bir sunuculara çift enerji kaynağı sağlanabilmesi için, her bir kabinet içerisinde 2 adet PDU bulunması gerekmektedir. Veri merkezi içerisinde kullanılacak 96 adet PDU, Knurr MPH2 model olacak şekilde ön görülmüştür. Üreticinin paylaştığı veriler referans alınarak, her bir PDU'nun enerji tüketimi 7 Watt olarak hesaplanmıştır. Diğer PDU markalarının enerji tüketimlerinin ortalama değeri alındığında ise, ortalama anlık güç değerleri 23W olarak ortaya çıkmaktadır. Knurr MPH2 model PDU'lar kullanıldığında yıllık enerji tasarrufu denklem 4.18'de 13.445kWh, yıllık maddi kazanç ise denklem 4.19'da 9.687 TL hesaplanmıştır.

$$(23 - 7) * 96 * 365 * 24 = 13.455 kWh \quad (4.18)$$

$$13.455 kWh * 0,72 \left(\frac{TL}{kWh} \right) = 9.687 TL \quad (4.19)$$

4.6 PUE Hesaplanması

Veri merkezleri projelerinde; genel verim ölçütü olan PUE hesapları büyük önem taşımaktadır.

Ele alınan vaka analizi kapsamında; toplam veri merkezi elektriksel gücü hesaplanırken denklem 4.20 verildiği üzere; IT yük toplamı, UPS kayıpları, soğutma sistemlerinin enerji tüketimleri, veri merkezi bünyesinde bulunan IT yük haricindeki elektriksel yükler, PDU enerji tüketimleri dikkate alınmaktadır. Denklem 4.21'de, sıcaklık kontrollü soğutma sistemi ve modüler UPS kullanılan tasarımda PUE değeri 1,34 olarak hesaplanmıştır. Denklem 4.22'de ise, basınç kontrollü soğutma sistemi ve monoblok UPS kullanılan tasarımda PUE değeri 1.39 olarak hesaplanmıştır.

4.6.1 Sıcaklık kontrollü soğutma sistemi ve modüler UPS kullanıldığında

$$(PUE) = \frac{\text{Toplam Veri Merkezi Elektriksel Gücü (W)}}{\text{Veri Merkezi IT Ekipmanların Elektriksel Gücü (W)}} \quad (4.20)$$

$$(PUE) = \frac{720kW + 17,28kW + 14kW + 220kW + 0,6kW}{720kW} = 1,34 \quad (4.21)$$

4.6.2 Basınç kontrollü soğutma sistemi ve monoblok UPS kullanıldığında

$$(PUE) = \frac{720kW + 24,48kW + 30kW + 220kW + 0,6kW}{720kW} = 1,39 \quad (4.22)$$

Veri merkezlerinin PUE değerleri, $1 \leq PUE \leq 2$ aralığında olmalıdır. Bu aralığın dışında olan PUE değerine sahip veri merkezi projeleri hayata geçirilmemektedir. PUE değeri 1'e yaklaşıkça, veri merkezlerinin verimliliği yükseliş göstermektedir. Yukarıda her iki durum için verilen PUE değerlerine bakıldığında; sıcaklık kontrollü soğutma sistemi ve modüler UPS sistemi kullanıldığında, PUE değerinin 1'e daha çok yaklaştığı ortaya çıkmaktadır. Bu durum, sıcaklık kontrollü soğutma sistemi ve modüler UPS kullanılan veri merkezi projesinin daha verimli olduğunun kanıtıdır.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında veri merkezlerinin verimliliğine direk olarak etki eden anahtar terimler açıklanarak, veri merkezlerinin verimliliğini ve sürekliliğini arttıracak yöntemler ortaya konulmuştur. Verimliliği artırıcı yöntemler, gerçek test ortamlarında test edilerek, gerçek bir proje üzerinde vaka analizi olarak çalışılmıştır. Tez kapsamında, veri merkezlerinin temel verimlilik unsurları olan UPS sistemleri, soğutma sistemleri ve PDU'lar üzerinde yoğunlaşmış, güncel teknolojiler ile öneriler yapılmıştır.

Veri merkezleri operasyonlarında güvenilmeyen operasyon modu olarak anılan eco mod üzerindeki algıyı yıkmak için testler ortaya konulmuş ve geliştirilmiş eco mod tanıtılmıştır. Gerçekleştirilen testler referans gösterilerek; geliştirilmiş eco mod özelliğinin veri merkezleri için güvenilir bir operasyon olduğu ortaya konulmuştur. Gerçekleştirilen çalışmalar ve testler sonucunda; veri merkezleride yüksek verimlilik sağlanabilmesi için, geliştirilmiş eco mod kullanılmasının gerektiği ispatlanmıştır.

Soğutma sistemleri kapsamında; veri merkezlerinde kullanılan geleneksel ve yeni teknoloji soğutma sistemleri tanıtılmış ve karşılaştırılmıştır. Yeni teknoloji olarak adlandırılan kapalı tip soğutma sistemleri basınç kontrollü ve sıcaklık kontrollü olarak ele alınarak detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Vaka analizi kapsamında; sıcaklık kontrollü ve basınç kontrollü sistemler ele alınarak, veri merkezleri için uygun soğutma sisteminin seçilebilmesi için gereken tüm adımlar açıklanmış ve tüm hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Uygun soğutma sistemleri seçilirken; IT ortamdaki ısı yükü tam karşılayabilecek ünite sayısının seçilmemesi gerektiği ve soğutma ünitelerinin enerji tasarrufu açısından düşük kapasitelerde çalıştırılmasının uygun olacağı vurgulanmıştır. Vaka analizi kapsamında; sıcaklık kontrollü ve basınç kontrollü kapalı tip soğutma sistemleri karşılaştırılarak, ön görülen veri merkezi için en düşük maliyetli ve yüksek verimli soğutma sistemi seçilmiştir. Analiz sonucunda görüldüğü üzere; sıcaklık kontrollü sistemlerin yıllık enerji tüketimi açısından ele alınan vaka için 139.893 kWh (%53), enerji maliyeti açısından ele alınan vaka için 100.723TL avantajlı olduğu ortaya konmuştur.

Vaka analizi kapsamında; veri merkezleri için uygun UPS seçimi için gereken tüm adımlar açıklanmış ve hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. UPS sistemleri için opsiyon olarak sunulan modüler ve monoblok UPS sistemleri karşılaştırılarak, verimli ve düşük maliyetli veri merkezleri yaratabilmek için modüler UPS'lerin kullanılması gerekliliği vurgulanmıştır. Gerçekleştirilen vaka analizi sonucunda görüldüğü üzere; modüler UPS kullanımı ile, ilk yatırım maliyetleri açısından 55.292 €; 10 yıllık toplam işletme maliyetleri açısından 68.920 € ve 10 yıllık UPS kayıpları açısından da 454.110 TL avantaj sağlanmaktadır.

Veri merkezi verimliliğini ve sürekliliğini arttırmaya yönelik ortaya konulan tez çalışması; veri merkezlerinin yapısının açıklanması, ilgili testlerin gerçekleştirilmesi ve vaka analizi ile gerçek bir olay üzerinde analiz edilmesi ile, veri merkezlerinin değerlendirilebilmesi için farklı bir bakış açısı ortaya koymuştur. Ortaya konulan tez çalışması kapsamında veri merkezleri verimliliği elektriksel sistemler ve soğutma sistemleri açısından ele alındığı için farklı açılardan ele alınarak verimlilik hesaplarının ortaya konulmasına açıktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Koomey, G.** 2007: Estimating Total Power Consumption by Servers in the U.S. and the World Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency, Public Law 109-431, United States Code 2008.
- [2] **Koomey, G.** 2011: Growth in Data Center Electricity Use 2005 to 2010 Oakland, CA, *Analytics Press*, August 1, 2011.
- [3] **Colle, D., Demeester, P., Lannoo, B.,** 2014: Trends in Worldwide ICT Electricity Consumption from 2007 to 2012. *Comput. Commun (ISSN:0140-3664)* 50 (2014) 64-76.
- [4] **Bertoldi, P.,** 2014: A Market Transformation Programme for Improving Energy Efficiency in Data Centres, ACEEE Summer Study on Energy Efficiency, CA,USA. August 22, 2014
- [5] **Sharma, M., Arunachalam, K., Sharma, D.,** 2015: Analyzing the Data Center Efficiency by Using PUE to make Data Centers More Energy Efficient by Reducing the Electrical Consumption and Exploring New Strategies, ICCS, ScienceDirect, 2015.
- [6] **Rasmussen N.,** 2016: Implementing Energy Efficient Data Centers. *APC White Paper Rev1.*
- [7] **Uddin, M., Shah, A., Raed, A.,** 2013: Implementation of Virtualization in Data Centers to Increase Proficiency and Performance, *Energy of Theoretical and Applied Information Technology*, 2013.
- [8] **Giori, I., Katsak, W., Nguyen, D.,** 2013: Managing Datacenters Powered by Renewable Energy, Parasol and GreenSwitch, ASPLOS, 2013.
- [9] **Eriksson, C., Song, Z., Zhang, X.,** 2015: Data Center Energy and Cost Saving Evaluation. *The 7th International Conference on Applied Energy*, *Energy Procedia* 75 (2015) 1255-1260.
- [10] **Kennedy, D.,** 2012: Ramification of Server Airflow Leakage in Data Centers with Aisle Containment.
- [11] **Stansbery, M.,** 2014: Explaining The Uptime Institute's Tier Classification System, September 11, 2014 from < <https://journal.uptimeinstitute.com/explaining-uptime-institutes-tier-classification-system/>>
- [12] **Url-1** <<https://dieselgeneratordirect.uk/how-does-a-diesel-generator-work.html>>, alındığı tarih 25.03.2019.
- [13] **Url-2** <<https://www.vertiv.com/globalassets/products/critical-power/power-distribution/mph2-rack-pdu-user-guide.pdf>>, alındığı tarih 25.03.2019.

- [14] **Robin, A., Schmidt, R.**, 2011: Thermal Guidelines for Data Processing Environments 2nd Edition, *ASHRAE*.
- [15] **Url-3** < http://post.desitek.dk:8080/docushare/dsweb/Get/Document-767/90-NET_U_Rev.5_05_2008.pdf>, alındığı tarih 25.03.2019.
- [16] **Url-4** < <https://www.vertiv.com/globalassets/products/critical-power/uninterruptible-power-supplies-ups/liebert-apm-30kw---150kw/liebert-apm-150-user-manual-v1.6.1.pdf>>:http://post.desitek.dk:8080/docushare/dsweb/Get/Document-767/90-NET_U_Rev.5_05_2008.pdf>, alındığı tarih 25.03.2019
- [17] **Url-5** < <http://www.powerqualityworld.com/2011/04/itic-power-acceptability-curve.html>>, alındığı tarih 25.03.2019
- [18] **Hofbauer, T.**, 2015: Rack Power Distribution.
- [19] **Matthias, A.**, 2007: The Flow Characteristics of Labyrinth Seals With Different Operating Conditions.
- [20] **Url-6** < <https://www.vertiv.com/en-emea/products-catalog/thermal-management/room-cooling/liebert-hpm/>>, alındığı tarih 25.03.2019.
- [21] **Url-7** < https://www.vertiv.com/globalassets/products/critical-power/uninterruptible-power-supplies-ups/liebert-exl-s1-UPS-operation--maintenance-manual---single--multi-module_00.pdf>, alındığı tarih 25.03.2019
- [22] **Url-6** < https://www2.exide.com/Media/files/Downloads/IndustEuro/Sprinter_P_XP_en.pdf>, alındığı tarih 25.03.2019
- [23] **Url-8** < <https://www.vertiv.com/globalassets/products/critical-power/uninterruptible-power-supplies-ups/trinergy-cube-150-kw-3.4-mw-interactive-brochure-english.pdf>>, alındığı tarih 25.03.2019

EKLER

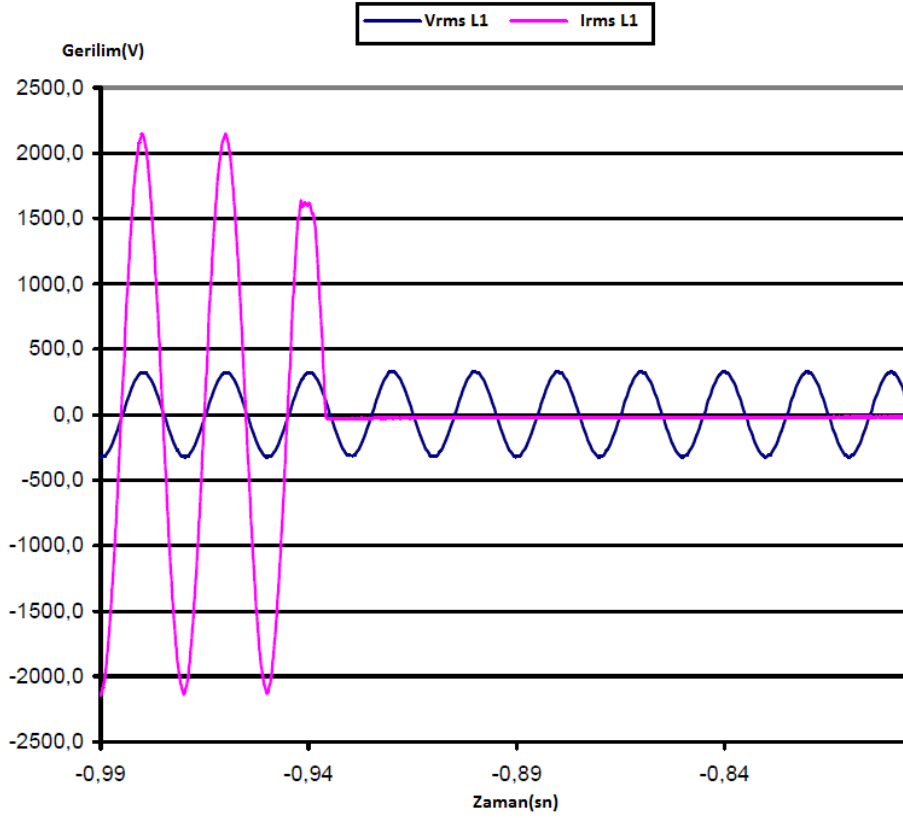
- EK A.1** : UPS çift çevirim modu L_1 fazına ait transfer karakteristiği
- EK A.2** : UPS çift çevirim modu L_2 fazına ait transfer karakteristiği
- EK A.3** : UPS çift çevirim modu L_3 fazına ait transfer karakteristiği
- EK A.4** : UPS eco modu L_1 fazına ait transfer karakteristiği
- EK A.5** : UPS eco modu L_2 fazına ait transfer karakteristiği
- EK A.6** : UPS eco modu L_3 fazına ait transfer karakteristiği
- EK A.7** : UPS geliştirilmiş eco modu L_1 fazına ait transfer karakteristiği
- EK A.8** : UPS geliştirilmiş eco modu L_2 fazına ait transfer karakteristiği
- EK A.9** : UPS geliştirilmiş eco modu L_3 fazına ait transfer karakteristiği



EK A.1

$V_{rms L_1}$ = UPS çıkış L_1 fazı gerilim dalga formu

$I_{rms L_1}$ = UPS çıkış L_1 fazı akım dalga formu



Şekil A.1 : Çift çevirim modu L_1 fazı transfer grafiği.

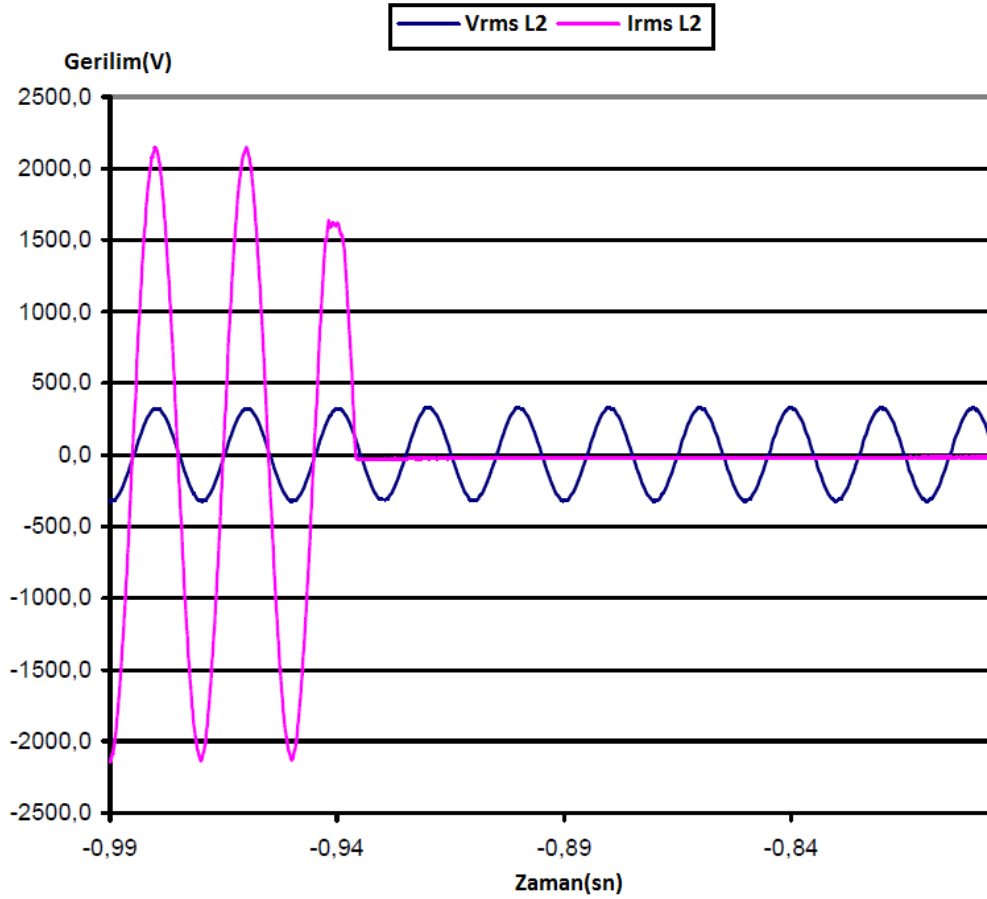
Çizelge A.1 : Çift çevirim modu L_1 test sonuçları.

Ölçüm	Faz	Değer
t_0 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_1	% 1,703
t_1 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_1	% 1,696
t_2 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_1	% 1,552
t_3 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_1	% 1,589
t_4 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_1	% 1,595
Transfer Süresi (Δt)	L_1	0 ms

EK A.2

$V_{rms L_2}$ = UPS çıkış L_2 fazı gerilim dalga formu

$I_{rms L_2}$ = UPS çıkış L_2 fazı akım dalga formu



Şekil A.2 : Çift çevirim modu L_2 fazı transfer grafiği.

Çizelge A.2 : Çift çevirim modu L_2 fazı test sonuçları.

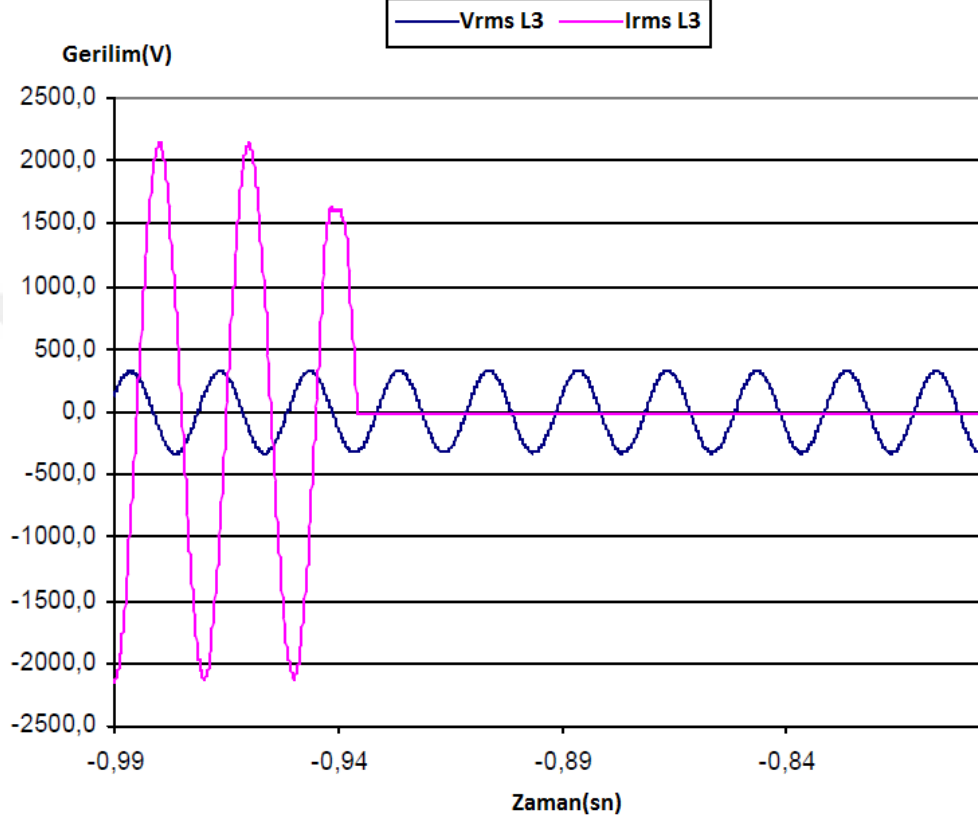
Ölçüm	Faz	Değer
t_0 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_2	% 0,228
t_1 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_2	% 1,445
t_2 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_2	% 1,559
t_3 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_2	% 1,599
t_4 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_2	% 1,498
Transfer Süresi (Δt)	L_2	0 ms

EK A.3

L_3 fazına ait transfer grafiği Şekil 3.14'te, test sonuçları ise Çizelge 3.6'da verilmiştir.

$V_{rms L_3}$ = UPS çıkış L_3 fazı gerilim dalga formu

$I_{rms L_3}$ = UPS çıkış L_3 fazı akım dalga formu



Şekil A.3 : Çift çevirim modu L_3 fazı transfer grafiği.

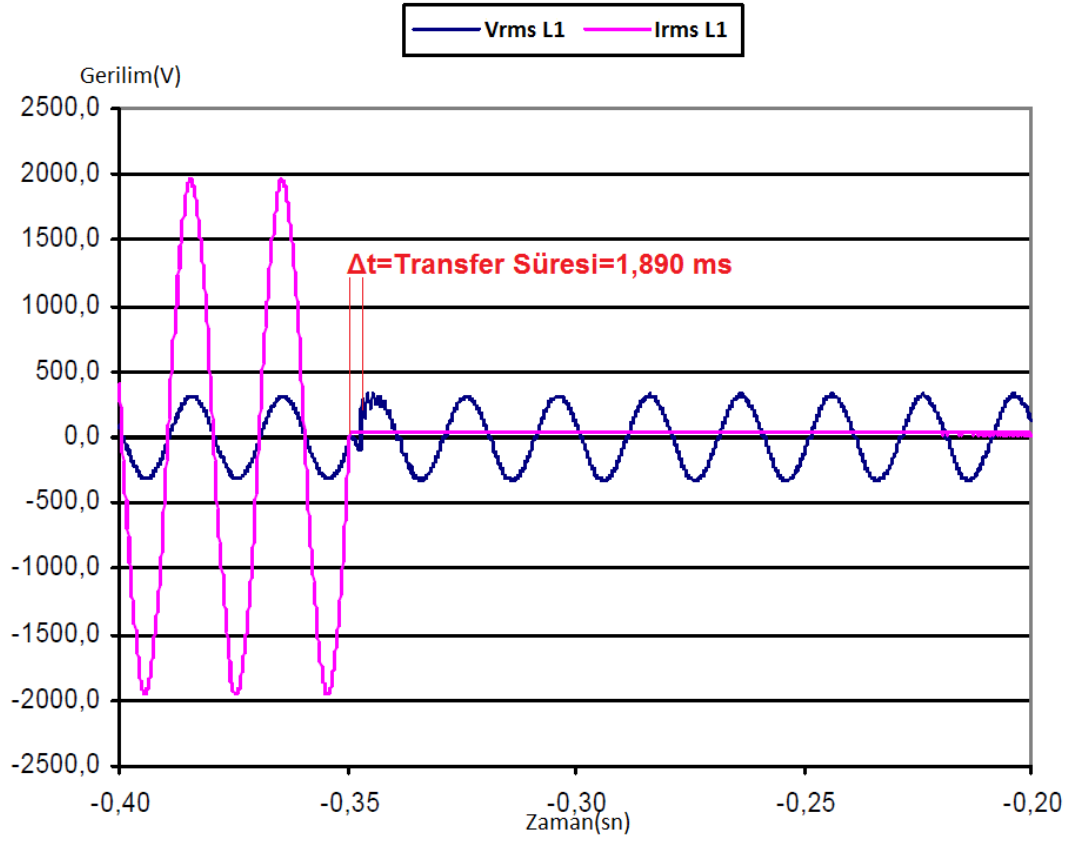
Çizelge A.3 : Çift çevirim modu L_3 fazı test sonuçları.

Ölçüm	Faz	Değer
t_0 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_3	% 1,347
t_1 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_3	% 1,426
t_2 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_3	% 1,483
t_3 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_3	% 1,558
t_4 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_3	% 1,552
Transfer Süresi (Δt)	L_3	0 ms

EK A.4

$V_{rms L_1}$ = UPS çıkış L_1 fazı gerilim dalga formu

$I_{rms L_1}$ = UPS çıkış L_1 fazı akım dalga formu



Şekil A.4 : Geleneksel eco mod L_1 fazı transfer grafiği.

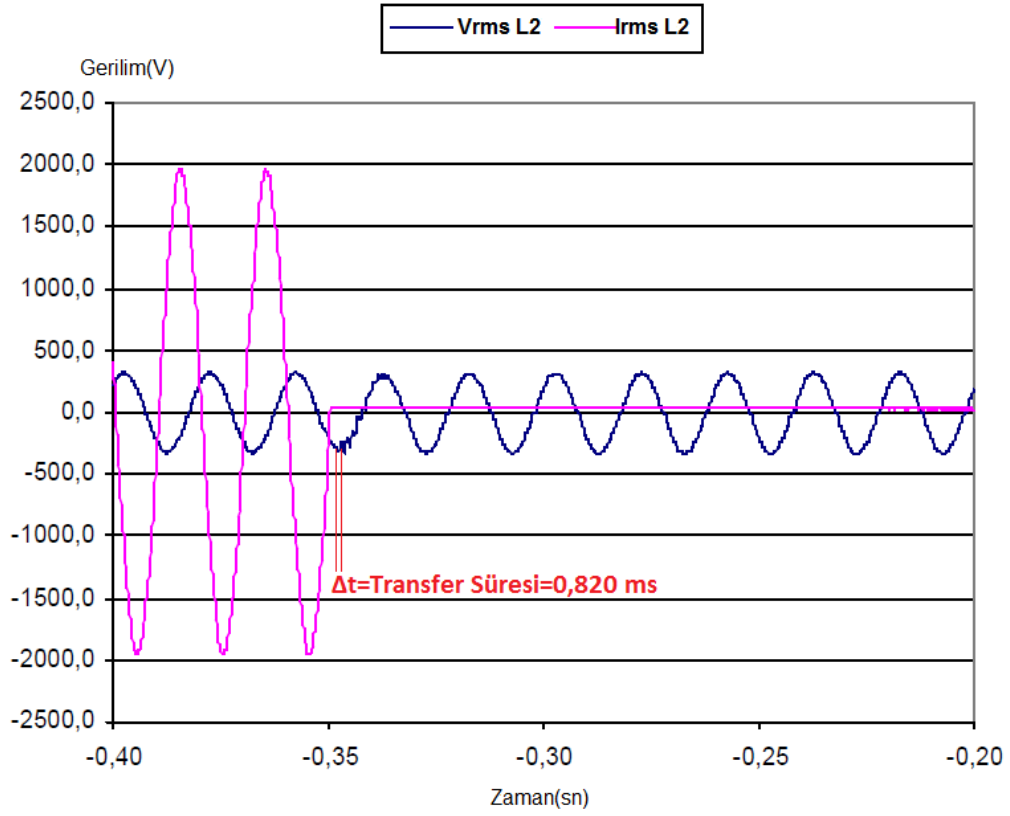
Çizelge A.4 : Geleneksel eco mod L_1 fazı test sonuçları.

Ölçüm	Faz	Değer
t_0 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_1	% 9,012
t_1 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_1	% 3,066
t_2 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_1	% 1,631
t_3 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_1	% 0,951
t_4 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_1	% 0,562
Transfer Süresi (Δt)	L_1	1,890 ms

EK A.5

$V_{rms L_2}$ = UPS çıkış L_2 fazı gerilim dalga formu

$I_{rms L_2}$ = UPS çıkış L_2 fazı akım dalga formu



Şekil A.5 : Geleneksel eco mod L_2 fazı transfer grafiği.

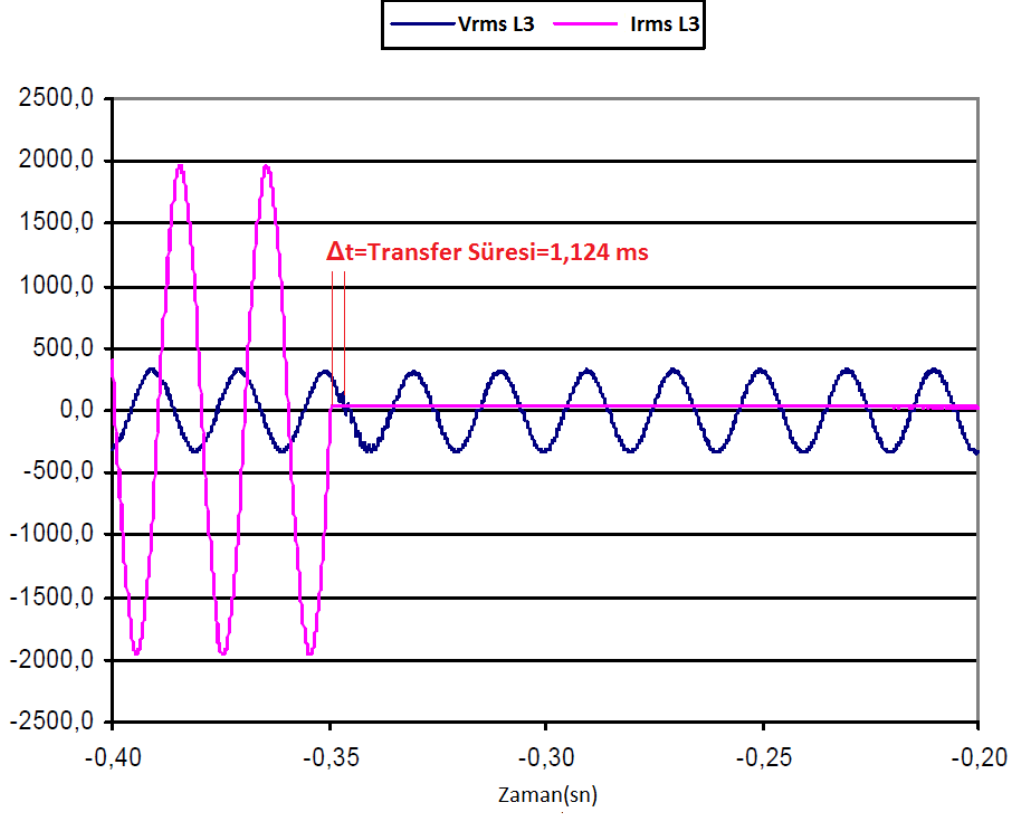
Çizelge A.5 : Geleneksel eco mod L_2 fazı test sonuçları.

Ölçüm	Faz	Değer
t_0 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_2	% 7,047
t_1 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_2	% 2,584
t_2 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_2	% 1,481
t_3 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_2	% 0,944
t_4 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_2	% 0,520
Transfer Süresi (Δt)	L_2	0,820 ms

EK A.6

$V_{rms L_3}$ = UPS çıkış L_3 fazı gerilim dalga formu

$I_{rms L_3}$ = UPS çıkış L_3 fazı akım dalga formu



Şekil A.6 : Geleneksel eco mod L_3 fazı transfer grafiği.

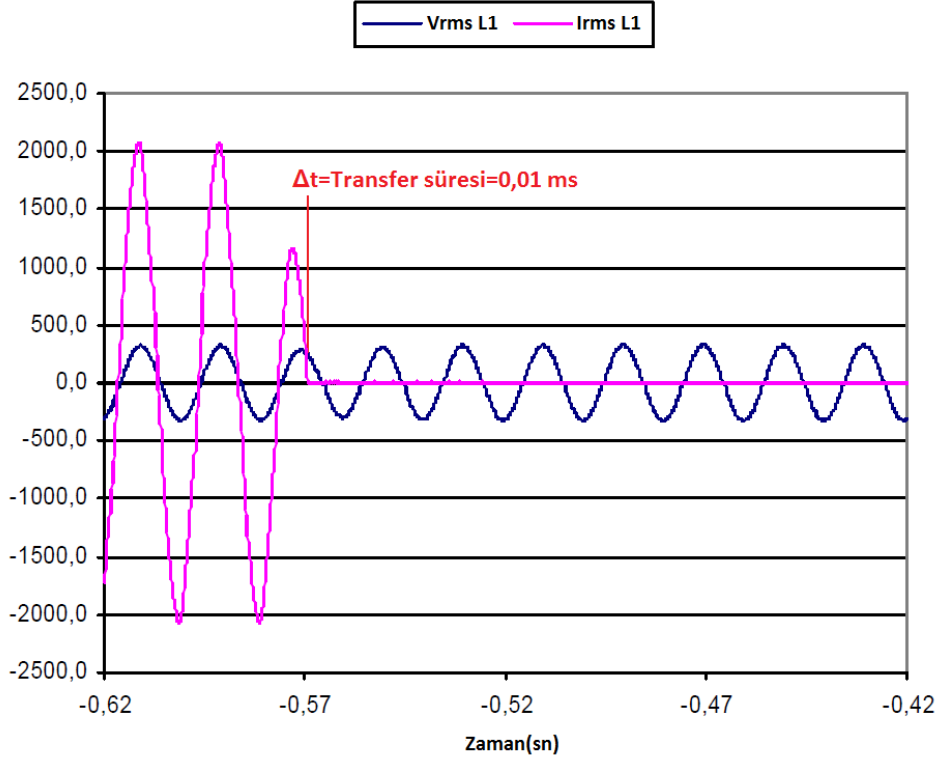
Çizelge A.6 : Geleneksel eco mod L_3 fazı test sonuçları.

Ölçüm	Faz	Değer
t_0 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_3	% 0,579
t_1 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_3	% 1,905
t_2 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_3	% 2,970
t_3 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_3	% 3,537
t_4 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_3	% 4,018
Transfer Süresi (Δt)	L_3	1,124 ms

EK A.7

$V_{rms L_1}$ = UPS çıkış L_1 fazı gerilim dalga formu

$I_{rms L_1}$ = UPS çıkış L_1 fazı akım dalga formu



Şekil A.7 : Geliştirilmiş eco mod L_1 fazı transfer grafiği

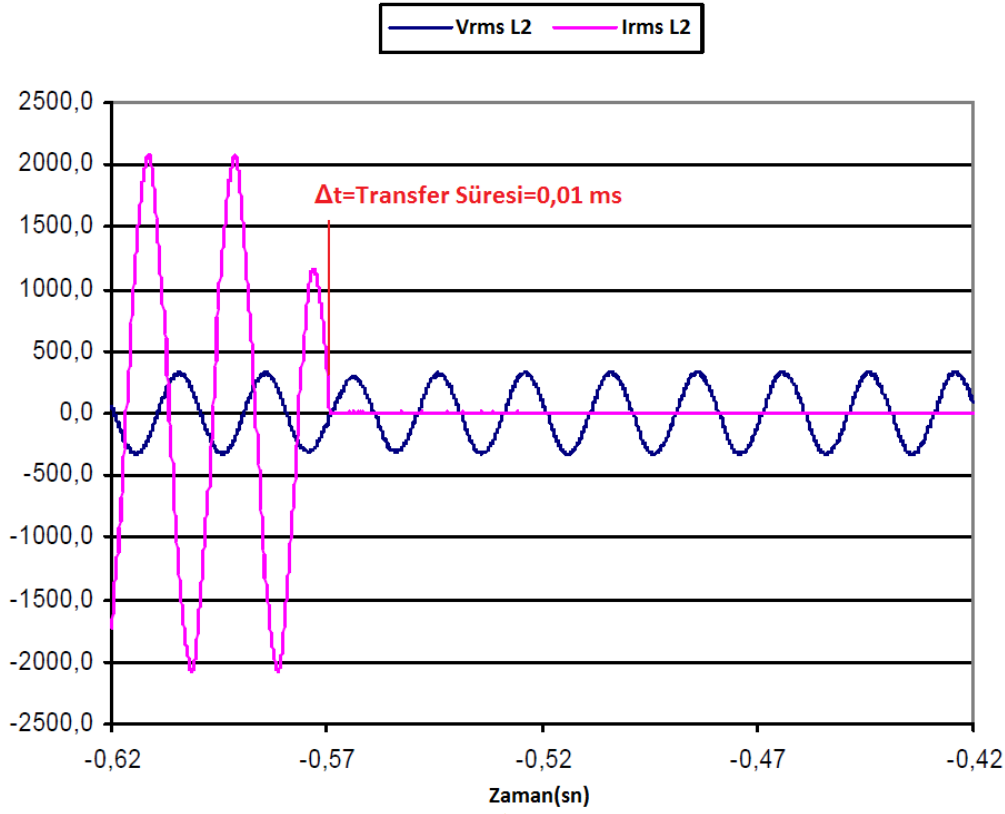
Çizelge A.7 : Geliştirilmiş eco mod L_1 test sonuçları

Ölçüm	Faz	Değer
t_0 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_1	% 10,787
t_1 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_1	% 3,260
t_2 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_1	% 0,015
t_3 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_1	% 1,200
t_4 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_1	% 1,697
Transfer Süresi (Δt)	L_1	0,01 ms

EK A.8

$V_{rms L_2}$ = UPS çıkış L_2 fazı gerilim dalga formu

$I_{rms L_2}$ = UPS çıkış L_2 fazı akım dalga formu



Şekil A.8 : Geliştirilmiş eco mod L_2 fazı transfer grafiği.

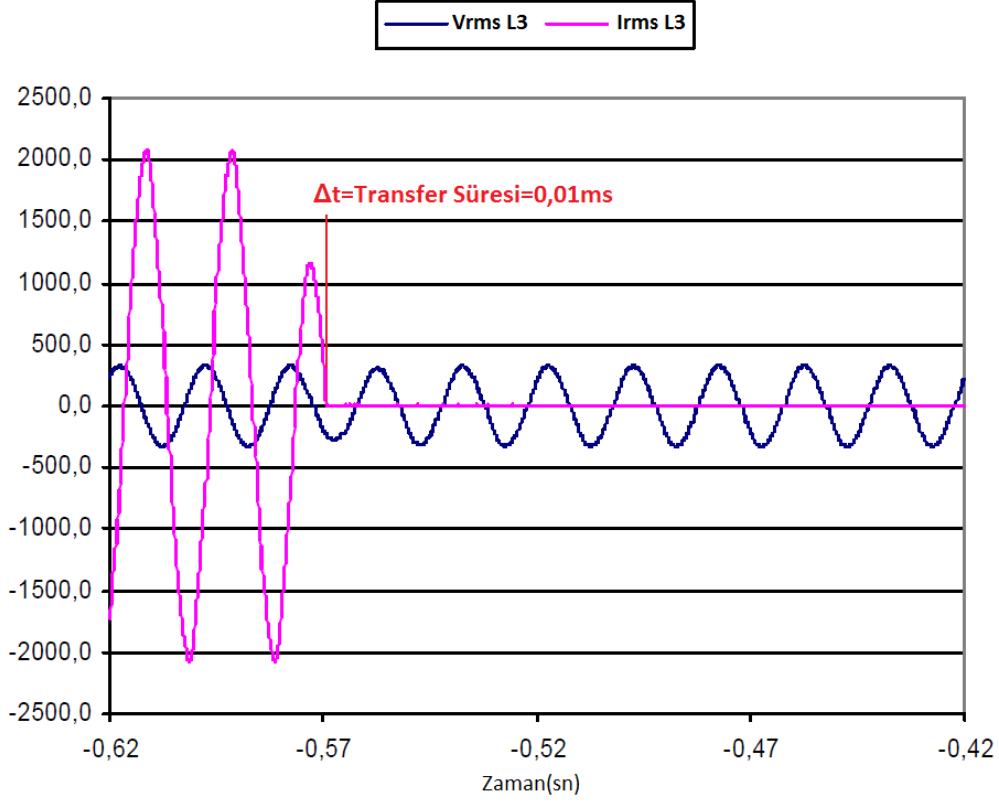
Çizelge A.8 : Geliştirilmiş eco mod L_2 fazı test sonuçları.

Ölçüm	Faz	Değer
t_0 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_2	% 0,003
t_1 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_2	% 8,893
t_2 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_2	% 2,068
t_3 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_2	% 0,257
t_4 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_2	% 1,021
Transfer Süresi (Δt)	L_2	0,01 ms

EK A.9

$V_{rms L_3}$ = UPS çıkış L_3 fazı gerilim dalga formu

$I_{rms L_3}$ = UPS çıkış L_3 fazı akım dalga formu



Şekil A.9 : L_3 Fazı Transfer Grafiği

Çizelge A.9 : Geliştirilmiş eco mod L_3 fazı test sonuçları.

Ölçüm	Faz	Değer
t_0 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_3	% 0,433
t_1 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_3	% 6,176
t_2 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_3	% 1,581
t_3 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_3	% 0,125
t_4 Anındaki Gerilim Dengesizliği	L_3	% 0,410
Transfer Süresi (Δt)	L_3	0,01 ms



ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: EMRE ŞEN
Doğum Yeri ve Tarihi: Samsun, 30.04.1992
Adres: Maltepe/İstanbul
Lisans Üniversitesi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği