**T.C.**
**ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ**
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

# SÜRDÜRÜLEBİLİR VERİ MERKEZİ TASARIMI VE ENERJİ ANALİZİ

**Muhammed Burak OYACI**

**Danışman**
**Prof. Dr. Önder KIZILKAN**

**ISPARTA - 2023**

© 2023 [Muhammed Burak OYACI]

## İÇİNDEKİLER

**Sayfa**

İÇİNDEKİLER ..... i
ÖZET ..... iii
ABSTRACT ..... iv
TEŞEKKÜR ..... v
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... vi
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... viii
1. GİRİŞ ..... 1
1.1. Veri Merkezi ..... 4
1.2. Veri Merkezlerinde Kullanılan Aktif ve Pasif Bileşenler ..... 4
1.2.1. Aktif bileşenler ..... 5
1.2.2. Pasif bileşenler ..... 8
1.3. Veri Merkezi Verimlilik Arttırıcı Yöntemler ..... 11
1.3.1. Veri merkezinde tercih edilen soğutma ekipmanları ..... 11
1.3.2. Yükseltilmiş döşeme ve menfez ..... 12
1.3.3. Sıcak ve soğuk koridor kapama ..... 13
1.4. Veri Merkezi Türleri ..... 15
1.4.1. Kurumsal veri merkezi ..... 15
1.4.2. Çok kiracılı veri merkezleri (Kolokasyon veri merkezi) ..... 15
1.4.3. Hiper ölçekli veri merkezleri ..... 16
1.4.4. Mikro veri merkezleri ..... 16
1.4.5. Modüler veri merkezleri ..... 16
1.5. Veri Merkezi Standartları ..... 17
1.5.1. Uptime Institute standartları ..... 17
1.5.2. Veri merkezi tasarımında kullanılan ASHRAE standartları ..... 19
1.6. Güneşten Elektrik Üretimi ..... 20
2. KAYNAK ÖZETLERİ ..... 22
3. MATERYAL VE YÖNTEM ..... 27
3.1. Veri Merkezi Güç Kullanım Etkinliği ..... 27
3.2. Tasarımı Yapılan Veri Merkezi Bilgileri ..... 28
3.2.1. ASHRAE tarafından önerilen iklimlendirme şartları ..... 29
3.2.2. Veri merkezi beyaz alan tasarımı ..... 31
3.3. Beyaz Alan Isı Kazancı Hesabı ..... 32
3.4. UPS Yük Hesaplama ..... 35
3.4.1. UPS'ten beslenmesi gereken yükler ..... 36
3.5. UPS Odası Isı Kazancı Hesabı ..... 37
3.6. UPS Yöntem Seçimi ..... 39
3.7. Jeneratör Sistem Seçimi ..... 42
3.8. Trafo Seçimi ..... 44
3.9. Yangın Algılama ve Söndürme Sistemi Ekipman Seçimi ..... 45
3.10. Enerji İletim ve Transfer Seçimi ..... 46
3.11. Veri Merkezi Soğutma Sistem Seçimi ..... 50
3.12. Fotovoltaik Sistem Seçimi ..... 51
4. BULGULAR VE TARTIŞMA ..... 56
4.1. Veri Merkezi Beyaz Alan Crah Cihaz Seçimi ve Konumlandırılması ..... 56
4.2. UPS Cihaz Seçimi ..... 59

4.3. UPS Odası Crah Seçimi ve Konumlandırılması ..... 59
4.4. Chiller Cihaz Seçimi ..... 60
4.4.1. Chiller pompa seçimi ve tesisatı ..... 61
4.5. Jeneratör, Yakıt Hazırlama Sistemi ve Trafo Seçimi ..... 63
4.6. Yangın Algılama Sistem Yerleşimi ..... 68
4.7. Veri Merkezi Yönetim Yazılımı ve Otomasyon Sistem Seçimi ..... 69
4.7.1. Veri merkezi soğutma sistemi akış şeması ..... 70
4.7.2. Veri merkezi tek hat şeması ..... 71
4.8. Fotovoltaik Panel Uygulaması ..... 72
4.8.1. Çatı tipi fotovoltaik panel uygulaması ..... 73
4.8.2. Arazi tipi fotovoltaik panel uygulaması ..... 74
5. SONUÇ VE ÖNERİLER ..... 76
KAYNAKLAR ..... 79
ÖZGEÇMİŞ ..... 87

# ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

## SÜRDÜRÜLEBİLİR VERİ MERKEZİ TASARIMI VE ENERJİ ANALİZİ

**Muhammed Burak OYACI**

**Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi**
**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**
**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Önder KIZILKAN**

Gün geçtikçe gelişen ve değişen teknolojiler, insanların veri merkezlerine olan ihtiyaçlarını arttırmıştır. Artan bu ihtiyaç doğrultusunda veri merkezi gereksinimlerine karşılık verilmelidir. Sürdürülebilir veri merkezleri için verimlilik arttırıcı tasarımların ve çalışmaların artması veri merkezlerinin geleceği için önemlidir. Veri merkezleri içerisinde barındırdıkları bilgi teknoloji cihazlarının sağlıklı bir şekilde çalışmasını sağlamalıdırlar. Olası arıza veya kesinti durumlarında bilgi teknoloji cihazları kesintiye uğramamalıdır. Sürdürülebilirlik için bilgi teknoloji cihazları, iklimlendirme sistemleri, elektrik sistemleri, otomasyon sistemleri ve güvenlik sistemleri birbiriyle koordine şekilde çalışmalıdır. Bu sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için veri merkezleri çok fazla enerji tüketmektedir. Bu enerji tüketiminin azaltılması önemlidir.

Bu tez çalışmasında uluslararası kuruluşların belirlediği standartlara bağlı olarak sürdürülebilir veri merkezi tasarımı yapılmıştır. Tasarım aşamasında iklimlendirilecek odaların ısı kazancı hesabı yapılmış ve yapılan ısı kazancı hesabına göre odaların iklimlendirme ihtiyacı belirlenmiştir. Belirlenen ihtiyaçlar doğrultusunda, kesintilerden etkilenmeyecek şekilde veri merkezi tasarlanmış ve uygun cihazlar seçilmiştir. Tasarım aşamasından sonra bu veri merkezinin enerji maliyetini düşürmek için ve karbon emisyonlarını azaltmak amacıyla güneş enerji sistemi entegre edilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda 500 $m^2$ alana sahip veri merkezinin enerji ihtiyacının karşılanması için çatı tipi fotovoltaik uygulamasının senelik 727 102 TL tasarruf sağladığı ve tesis enerji tüketiminin %2.07'ye karşılık geldiği hesaplanmıştır. Arazi uygulamasının ise senelik 35 066 455 TL tasarruf sağladığı hesaplanmıştır. Bu çalışmanın, veri merkezi kurulumu yapacak kişi ve kurumlar için yol gösterici bir çalışma olacağı değerlendirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Veri merkezi, Tasarım, Sürdürülebilirlik, Güneş enerjisi

**2023, 87 sayfa**

## ABSTRACT

**Master's Thesis**

**DESIGN OF SUSTAINABLE DATA CENTER AND ENERGY ANALYSIS**

**Muhammed Burak OYACI**

**Isparta University of Applied Sciences**
**The Institute of Graduate Education**
**Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Önder KIZILKAN**

Technologies that develop and change day by day have increased the needs of people for data centers. In line with this increasing need, data center requirements should be met. Increasing productivity-enhancing designs and studies for sustainable data centers is important for the future of data centers. They should ensure that the information technology devices they house in their data centers operate in a healthy way. Information technology devices should not be interrupted in case of possible failure or interruption. For sustainability, information technology devices, air conditioning systems, electrical systems, automation systems and security systems should work in coordination with each other. In order to ensure this sustainability, data centers consume a lot of energy. Reducing this energy consumption is important.

In this thesis, a sustainable data center design has been made by adhering to the standards set by international organizations. In the design phase, the heat gain calculation of the rooms to be air-conditioned was made. According to the heat gain calculation, the air-conditioning requirement of the rooms has been determined. In line with the identified needs, the data center was designed in a way that would not be affected by the interruptions, and the appropriate devices were selected. After the design phase, a solar energy system was integrated to reduce the energy cost of this data center and to reduce carbon emissions. In line with the data obtained, it has been calculated that the roof type photovoltaic application for a data center with 500 $m^2$ base area provides an annual saving of 727 102 TL and this value corresponds to 2.07% of total energy consumption of the facility. It has been calculated that with the land application, an annual saving of 35 066 455 TL has been obtained. It is considered that this study will be a guiding study in order to construct a data center for people and corporations.



**Key Words:** Data center, Design, Sustainability, Solar energy

**2023, 87 pages**

**TEŞEKKÜR**

Tezimin yürütülmesinde desteğini ve emeğini hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım sayın Prof. Dr. Önder KIZILKAN'a ve çalışma süresince bana desteklerinden dolayı sayın iş arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

**Muhammed Burak OYACI**
ISPARTA, 2023

## ŞEKİLLER DİZİNİ

**Sayfa**


Şekil 1.1. Türkiye 2022 yılı enerji kaynak dağılımı ..... 2
Şekil 1.2. 465 $m^2$ tipik veri merkezi analizi ..... 3
Şekil 1.3. Modüler ağ anahtarı ..... 5
Şekil 1.4. Yönlendirici ..... 6
Şekil 1.5. Raf tipi sunucu ..... 7
Şekil 1.6. Depolama alanı ..... 8
Şekil 1.7. Crac ile Crah farkı ..... 12
Şekil 1.8. Veri merkezi yükseltilmiş döşeme uygulaması ..... 13
Şekil 1.9. Veri merkezi soğuk koridor uygulaması ..... 14
Şekil 1.10. Veri merkezi sıcak koridor uygulaması ..... 14
Şekil 1.11. Veri merkezi tier sertifikasyonları ..... 18
Şekil 1.12. Fotovoltaik sistemlerin temel bileşenleri ..... 21
Şekil 3.1. Bilgi tekoloji cihazları için önerilen çevresel sınıflar ..... 30
Şekil 3.2. Veri merkezi kabin yerleşimi ve soğuk koridor kapama uygulaması ..... 31
Şekil 3.3. Beklemeli UPS diyagramı ..... 39
Şekil 3.4. Hat etkileşimli UPS diyagramı ..... 40
Şekil 3.5. Aktif çift çevrimli UPS diyagramı ..... 40
Şekil 3.6. Yakıt hazırlama sistemi ..... 43
Şekil 3.7. Güç üçgeni ..... 44
Şekil 3.8. Yangın paneli Crah modül bağlantısı ..... 46
Şekil 3.9. ATS bağlantı şeması ..... 46
Şekil 3.10. Busbar ..... 48
Şekil 3.11. Busbar çıkış kutuları ..... 48
Şekil 3.12. PDU kabin montajı ..... 49
Şekil 3.13. Ankara güneşlenme süreleri ..... 52
Şekil 3.14. Ankara global radyasyon değerleri ..... 52
Şekil 4.1. Stulz marka CyberAir model Crah ..... 57
Şekil 4.2. Crah beyaz alan yerleşimi ve soğuk koridor kapama ..... 58
Şekil 4.3. Schneider electric marka Galaxy V model 625 kW/kVA ..... 59
Şekil 4.4. UPS odası Crah ve UPS yerleşimi ..... 60
Şekil 4.5. Schneider marka Chiller ..... 60
Şekil 4.6. Mekanik oda tasarımı ve beyaz alan bağlantı şeması ..... 63
Şekil 4.7. MTU 4000 serisi jeneratör ..... 64
Şekil 4.8. Yakıt hazırlama otomasyonu ..... 66
Şekil 4.9. Kuru Tip Trafo ..... 66
Şekil 4.10. Trafo ve ADP odası yerleşim planı ..... 67
Şekil 4.11. Çatı cihaz yerleşim planı ..... 67
Şekil 4.12. Veri merkezi ve UPS odası dedektör konumlandırılması ..... 68
Şekil 4.13. Veri merkezi kabin sensör yerleşimi ..... 70
Şekil 4.14. Soğutma sistemi akış diyagramı ..... 71
Şekil 4.15. Veri merkezi elektrik tek hat şeması ..... 71
Şekil 4.16. Çatı tipi fotovoltaik panel uygulaması ..... 74
Şekil 4.17. Panel inverter bağlantısı ..... 75

## ÇİZELGELER DİZİNİ

**Sayfa**

Çizelge 1.1. 1973-2022 yılları arası Dünya'da kaynaklara göre enerji tüketimi ..... 2
Çizelge 3.1. Ankara ili sıcaklık ve bağıl nem değerleri ..... 29
Çizelge 3.2. Veri merkezi referans sıcaklık ve nem değerleri ..... 30
Çizelge 3.3. Isı geçirgenlik katsayıları ve ısı yükleri ..... 33
Çizelge 3.4. Beyaz alan hesapları ..... 34
Çizelge 3.5. Beyaz alan toplam ısı kazancı ..... 34
Çizelge 3.6. UPS oda alanları ..... 37
Çizelge 3.7. UPS verimsizlik yükü ..... 38
Çizelge 3.8. UPS odası toplam ısı kazancı ..... 38
Çizelge 4.1. Jeneratör yük hesabı ..... 64
Çizelge 4.2. Fotovoltaik panel özellikleri ..... 72
Çizelge 4.3. İnverter özellikleri ..... 72

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|---|---|
| AC | Alternatif Akım |
| ADP | Ana Dağıtım Panosu |
| ATS | Automatic Transfer Switch |
| ASHRAE | American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers |
| BICSI | Building Industry Consulting Services International |
| BMS | Building management Systems |
| BT | Bilgi Teknolojileri |
| CFD | Computational Fluid Dynamics |
| $CO_2$ | Karbondioksit |
| CPU | Computer Processes Unit |
| CRAC | Computer Room Air Conditioner |
| CRAH | Computer Room Air Handler |
| DAS | Direct Attached Storage |
| DC | Doğru Akım |
| DCIM | Data Center Infrastructure Management |
| DNS | Domain Name System |
| EF | Emniyet Faktörü |
| FV | Fotovoltaik |
| GEPA | Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına |
| IP | Internet Protocol Address |
| mSS | Metre Su Sütunu |
| NAS | Network Attached Storage |
| OECD | Organisation for Economic Co-operation and Development |
| OG | Orta Gerilim |
| PDU | Power Distribution Unit |
| PMS | Power Monitoring Systems |
| PUE | Power Usage Effectiveness |
| PV | Fotovoltaik panel |
| RAM | Random Access Memory |
| SAN | Storage Area Network |
| SNMP | Simple Network Management Protocol |
| STS | Static Transfer Switch |
| TIA | Telecommunications Industry Association |
| TTMD | Türkiye Tesisat Mühendisleri Dergisi |
| UPS | Uninterruptible Power Supply |
| UV | UltraViolet |

# 1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte; internet kullanımının artması, bulut bilişimin yaygınlaşması, dijital hizmet talebinin artması ve veri depolamanın önem kazanmasıyla günümüzde bu ihtiyaçların karşılanmasına hizmet veren veri merkezleri yaygınlaşmıştır. Ancak, bu veri merkezlerin enerji tüketimi oldukça yüksek olduğundan, çevresel etkileri ve enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği konularında endişeler ortaya çıkmıştır (Kocakuşak, 2018).

Enerji verimliliği, bu noktada kritik bir öneme sahiptir. Bir veri merkezinin enerji verimliliği, tüketilen enerji miktarının gerçekleştirilen işe oranıyla belirlenir. Daha yüksek bir enerji verimliliği, aynı işi yaparken daha az enerji tüketilmesi anlamına gelir. Bu da hem çevresel etkileri azaltır hem de işletme maliyetlerini düşürür.

Son yıllarda, veri merkezlerinin artmasıyla birlikte veri tasarımlarında enerji verimliliği odaklı yenilikler yapılmıştır. Yüksek verimli soğutma sistemleri, ışık ve enerji yönetimi gibi teknolojiler kullanılmaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı da artmaktadır. Bu sayede, veri merkezlerinin enerji tüketimi ve çevresel etkileri azaltılmaktadır.

Tüketim sürecinde kullanılan en saf enerji kaynağı olarak elektrik görülmektedir. Elektrik üretim sürecinde kullanılan birincil enerji kaynakları kömür, doğal gaz, ham petrol gibi fosil yakıtlardan; nükleer enerjiden ve rüzgâr, güneş, su, biokütle ve biyogaz gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır (Szlazak ve Szlazak, 2017).

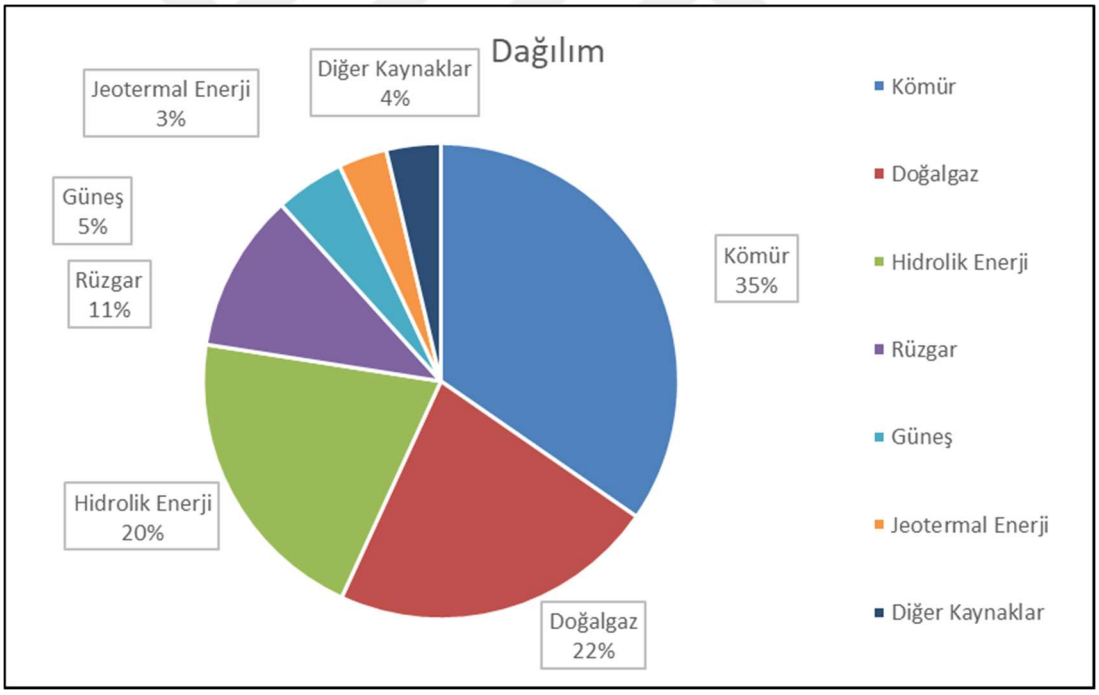
Dünya'da enerji tüketiminin 1973-2022 yılları arasında kaynaklara göre dağılımı Çizelge 1.1'de verilmiştir (BP, 2022; Eİ, 2023). Çizelgede görüldüğü üzere yıllara göre enerji kaynaklarının tüketim oranları değişiklik göstermiştir. Teknolojinin gelişmesi ve farkındalığın seneler içinde artmasıyla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanan enerji miktarı yaklaşık olarak ikiye katlanmıştır. Bu olumlu bir gelişme olarak görülse bile hala yetersizdir. Yenilenebilir enerji, yerel enerji kaynaklarından elde edildiği için ülkelerin ekonomisi adına dışa bağımlılık

konusunda oldukça büyük katkı sağlamakla birlikte karbon emisyonlarını azaltarak doğanın korunmasında da oldukça etkilidir.

Çizelge 1.1. 1973-2022 yılları arası Dünya'da kaynaklara göre enerji tüketimi (BP, 2022; Eİ, 2023)

| | **1973 (%)** | **2022 (%)** |
|---|---|---|
| **PETROL** | 49.25 | 31.76 |
| **KÖMÜR** | 26.75 | 27.03 |
| **DOĞALGAZ** | 17.22 | 23.25 |
| **NÜKLEER** | 0.88 | 4.25 |
| **YENİLENEBİLİR** | 5.9 | 13.71 |

Ülkemizde ise Şubat 2023 tarihinde elektrik kurulu gücümüz 104.136 MW'a ulaşmıştır. Gelişen enerji politikalarıyla birlikte 2035 yılında toplamda kurulu gücümüzün 510.5 TWh seviyesine ulaşması beklenmektedir (ETKB, 2023a). Şekil 1.1'de Türkiye'nin 2022 yılındaki enerji kaynak dağılımı verilmiştir (ETKB, 2023b).

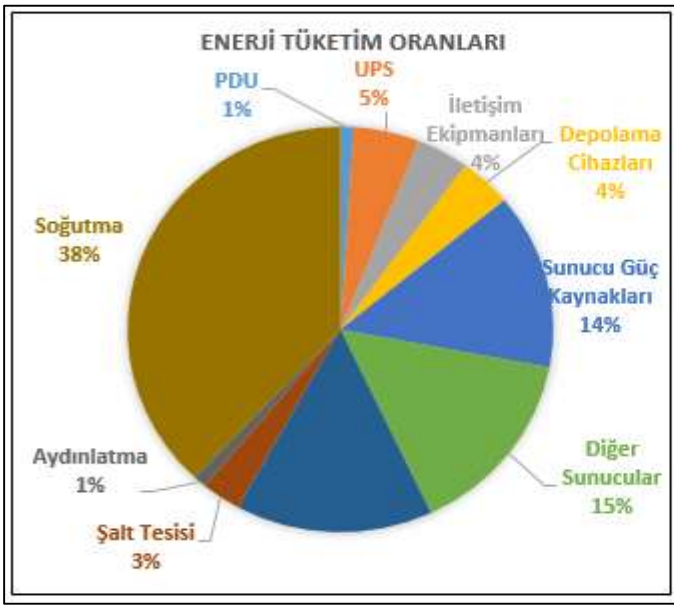



Şekil 1.1. Türkiye 2022 yılı enerji kaynak dağılımı (ETKB, 2023a)

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle güneş ışınlarını oldukça verimli şekilde almaktadır. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre ortalama yıllık güneş ışınlarını alma süresi 2 741 saattir. Metre kare başına düşen ortalama yıllık ışınım miktarı ise 1 527.46 kWh'tir (ETKB, 2023b). Bu denli yüksek potansiyele sahip olan ülkemizde kullanılmayan her bir foton taneciği kayıp olarak görülüp

günümüzün olmazsa olmazı enerjinin çeşitlendirilmesi için güneş enerjisine yönelimin gün geçtikçe daha da artması gerekmektedir. Güneşten elektrik enerjisi üretimi; çevresel sürdürülebilirlik, enerji bağımsızlığı ve ekonomik faydalar gibi birçok nedenden dolayı büyük önem taşır. Güneş, tüm dünyada yaygın olarak bulunan ve sınırsız bir enerji kaynağıdır. Güneşten elektrik enerjisi üretimi, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltırken, sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltarak iklim değişikliğiyle mücadeleye yardımcı olur.

Enerji tüketiminde veri merkezleri gün geçtikçe önemli hale gelmiştir. Veri merkezlerinin yüksek güç tüketimlerinden dolayı veri merkezlerine fotovoltaik panel kurulumu, işletme maliyetlerini düşürerek enerji maliyetlerini önemli ölçüde azaltabilir. Ayrıca, enerji tüketiminin artan taleplerine karşılık vermek için güvenilir bir kaynak sağlar ve enerji bağımsızlığını artırır. Güneş enerjisinden elektrik üretiminin artmasıyla birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı bir enerji sistemi oluşturularak enerji güvenliği sağlanır. Tüm bu faktörler, güneş enerjisinden elektrik üretiminin önemini vurgular ve yenilenebilir enerji geleceğinin önündeki en kritik unsurlardan biri olduğunu gösterir. Veri merkezi enerji tüketim değerleri iyi analiz edilmelidir. İyi bir enerji analizi enerji verimliliği ve enerji yönetimine temel oluşturur. Şekil 1.2'de 465 $m^2$ tipik bir veri merkezi analizi verilmiştir (Vasques vd., 2017).




| | GÜÇ |
|---|---|
| Kritik Cihazlar | 588 kW |
| Aydınlatma | 10 kW |
| UPS Kayıpları | 72 kW |
| Soğutma Kayıpları | 429 kW |
| Şalt Kayıpları | 28 kW |
| Total | 1 127 kW |

Şekil 1.2. 465 $m^2$ tipik veri merkezi analizi (Vasques vd., 2017)

## 1.1. Veri Merkezi

Web sayfalarının sayısı, bilgi teknolojilerinin (BT) gelişmesiyle dünyadaki insan sayısını aşmış durumdadır. Bu da daha fazla veri, daha geniş bant genişliği ve daha fazla disk alanı ihtiyacı doğurur. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, erişim hızındaki artışlar bilgi kaynaklarının daha da çeşitlenmesine yol açmıştır. Bu da büyük verilerin saklanması ve analiz edilmesinin önemini artırmıştır (Tanrıkulu, 2002).

Veri merkezleri kullanım amacına göre değişiklik göstermesine karşın genellikle sunucular, depolama cihazları ve ağ anahtarları bulundurur. Veri merkezleri bu cihazlarının güvenli bir şekilde çalışmalarına olanak sağladığı, verilerin işlenip saklandığı, bu verilerin korunduğu ve düzenli aralıklarla yedeklendiği yerlerdir. İhtiyaç anında ise kullanıcıların hızlı ve eksiksiz bir şekilde verilere ulaşması için gerekli tüm alt yapının oluşturulduğu fiziksel odalardır.

BT haberleşme ekipmanlarının kablolu ya da kablosuz olarak iletişimini sağlayıp, verimli şekilde kullanılmasına Network (iletişim ağı) denilmektedir. Network; veri, yazılım ve ekipman paylaşımının adıdır. Ağ bileşenleri; pasif (iklimlendirme sistemleri, yangın algılama ekipmanları, güvenlik ekipmanları, enerji sistemleri, kablo, bağlantı kutuları, soket, konnektör vb.) ve aktif (uygulama yazılımları, ağ anahtarları, kablosuz yayın noktaları, güvenlik duvarları, yönlendiriciler vb.) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Veri merkezlerinin içerisi beyaz alan ve gri alan olarak ikiye ayrılır. Beyaz alanda sunucular, depolama alanları, ağ anahtarları vb. cihazları barındıran kabinler bulunurken gri alanda ise beyaz alanın verimli şekilde çalışabilmesini sağlayan pano, trafo, jeneratör, UPS (Uninterruptible Power Supply, Kesintisiz Güç Kaynağı) ve iklimlendirme cihazları gibi ekipmanlar bulunur.

Veri merkezleri kendi içinde barındırdıkları BT cihazlarının sorunsuz ve kesintisiz çalışmasını sağlamakla yükümlüdür.

## 1.2. Veri Merkezlerinde Kullanılan Aktif ve Pasif Bileşenler

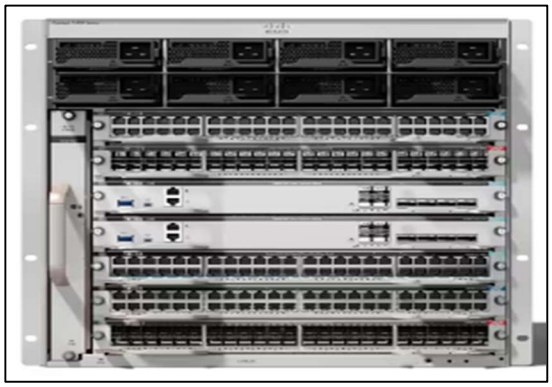
Veri Merkezinde bulunan aktif veya pasif bileşenlerden herhangi birisinin çalışmaması veri merkezinin kesintiye uğramasına sebebiyet verebilir. Bu

istenmeyen bir durum olmakla beraber aktif ve pasif bileşenlerin birbirleriyle uyumlu ve sistematik çalışması sürdürülebilir ve güvenilir bir veri merkezi için temel unsurdur. Aktif ve pasif bileşen seçimi veri merkezleri için oldukça önemli ve maliyetlidir.

### 1.2.1. Aktif bileşenler

Aktif bileşenler, veri merkezlerinde yüksek performanslı işlemler yapabilen ve ağ trafiğini yönlendirebilen cihazları içerir. Bu bileşenler arasında switchler (ağ anahtarları), routerlar (yönlendiriciler), serverlar (sunucular), storageler (depolama sistemleri) vb. bulunur. Aktif bileşenler, veri merkezi altyapısında yüksek hızlı veri iletimi, esneklik ve karmaşık işlemler için kritik bir rol oynar. Bununla birlikte, yüksek enerji tüketimi, ısı üretimi ve maliyet gibi dezavantajları da bulunur. Aşağıda bazı aktif bileşenler verilmiştir.

Switch (Ağ anahtarı): Bilgisayarlar, yazıcılar, sunucular ve depolama cihazları gibi ekipmanların birbirine bağlanabilmesi ve birbirleriyle haberleşerek kendi kaynaklarında bulunan veri alışverişinin verimli bir şekilde yapılması için köprü ve kontrol özelliği sağlayan ağ ortamını oluşturmak için kullanılan anahtar cihazlardır. Ağ anahtarları yönetilebilen veya yönetilemeyen olmak üzere ikiye ayrılır. Yönetilemeyen ağ anahtarları genellikle ev ortamında kullanılan basit yapılıdır, yönetilebilenler ise profesyonel iş ortamında (veri merkezleri, iş yerleri, vb.) bulunan yetki ve erişim gibi bazı kontrollerin, ayarlamaların ve izlemelerin yapılabildiği gelişmiş cihazlardır (Moral, 2016). Şekil 1.3'de veri merkezlerinde kullanılan modüler bir ağ anahtarı verilmiştir (Cisco, 2023).



Şekil 1.3. Modüler ağ anahtarı (Cisco, 2023)

Router (Yönlendirici): Farklı iki ağın birbirleriyle haberleşmesini sağlayan donanımlardır. İletişimi kurmak için veri paketlerini amaçlanan IP adreslerine (Internet Protocol Address) göndererek ağlar arasında trafiği yönetir ve farklı cihazların aynı internet bağlantısını kullanmasını sağlar (Grigorik, 2013). Şekil 1.4'te veri merkezlerinde kullanılan yönlendirici verilmiştir (Huawei, 2023).



Şekil 1.4. Yönlendirici (Huawei, 2023)

Server (Sunucu): Bilgisayarlardan daha gelişmiş özelliklere sahip 7/24 çalışma ilkesine uygun şekilde tasarlanmış içerisinde RAM (Random Access Memory), CPU (Computer Processes Unit), fan, power supply (güç kaynağı), disk, iletişim kartı, ekran kartı vb. bileşenler bulunan cihazlardır. Büyük kuruluşların, web (world wide web) barındırma şirketlerinin ve diğer işletmelerin ağ yönetimi için kritik bir bileşendir. Ağa bağlı bilgisayarlar tarafından kullanılan dosyaları, yazıcıları, veri tabanlarını, e-posta sistemlerini, web sitelerini ve diğer kaynakları yönetirler. Sunucular ihtiyaç doğrultusunda aldıkları rollere göre veri sunucuları, mail sunucuları, oyun sunucuları, DNS (Domain Name System) sunucuları, uygulama sunucuları vd. çeşitli amaçlara yönelik eylemler gerçekleştirilebilir (Purnama, 2020). Sunucular donanımsal olarak kendi içinde dörde ayrılır.

- Mainframe (Ana Bilgisayar) Sunucular
- Tower (Kule Tipi) Sunucular
- Rack (Raf Tipi) Sunucular
- Blade (Modüler Yapılı) Sunucular

Günümüzde en çok tercih edilen sunucu tipi 1U, 2U ve 4U raf tipi sunuculardır. U ifadesi; Unit kelimesinin kısaltılmasıdır ve 1U raf, 1.75 inç yüksekliğe sahip demektir (Wikipedia, 2023). Şekil 1.5'te veri merkezlerinde kullanılan 2U boyutunda raf tipi sunucu verilmiştir (HPE, 2023a).



Şekil 1.5. Raf tipi sunucu (HPE, 2023a)

Storage (Depolama Sistemleri): Veri merkezlerinde büyük miktarda veri depolamak için depolama sistemleri kullanılır. Veri akışı zaman geçtikçe artar (Hoang, 2020). Artan bu verilerin yedeklenmesini ve ihtiyaç duyulduğunda ise verinin işlenerek kullanıcıya sunulmasını sağlayan erişilebilir ve yüksek hızlı sistemlerdir. Artan ihtiyaçlara göre veri depolama sistemleri de gelişmiştir. En yaygın kullanılan veri saklama teknolojileri aşağıdaki gibidir.

- Sunucuya Doğrudan Bağlı Veri Depolama (DAS, Direct Attached Storage): Depolama cihazlarının doğrudan sunuculara bağlanmasıyla çalışır. Bu sistem, yüksek performans gerektiren uygulamalar için idealdir (Ono vd., 2015).
- Ağa Bağlı Depolama (NAS, Network Attached Storage): Ağ üzerinde paylaşılan depolama alanını yönetir. Bu sistem, dosya paylaşımı için özellikle uygun olup birden fazla kullanıcının aynı depolama alanına erişmesine olanak tanır (Katz, 1992).
- Depolama Alan Ağı (SAN, Storage Area Network ): Veri merkezleri için en yaygın depolama teknolojilerinden biridir. Sanal bir ağ üzerinde depolama sistemlerini birbirine bağlar ve birden fazla sunucunun aynı depolama alanını kullanmasına olanak tanır. Bu sayede, depolama alanının kaynak kullanımı ve yönetimi kolaylaşır (Khattar vd., 1999).
- Nesne Depolama (Object Storage): Verilerin depolanması için nesne tabanlı bir yaklaşım sunan bu teknoloji, büyük ölçekli depolama ihtiyaçlarına yöneliktir. Veriler, veri nesneleri olarak depolanır ve bu nesnelere ayrı ayrı erişilebilir. Bu depolama teknolojisi genellikle büyük veri uygulamaları için tercih edilir (Factor vd., 2005).
- Kaset Depolama (Tape Storage): Geleneksel bir depolama teknolojisi olan kaset depolama, yedekleme ve arşivleme işlemleri için popülerdir. Bu sistem, verileri bant kasetleri olarak depolar (Bogard, 1995).

Her teknoloji kurumların ihtiyaçları doğrultusunda tercih edilir. Şekil 1.6'da veri merkezlerinde kullanılan depolama alanı verilmiştir (HPE, 2023b).



Şekil 1.6. Depolama alanı (HPE, 2023b)

### 1.2.2. Pasif bileşenler

Pasif bileşenler, verinin anlamlandırılması için gereken ortam koşullarını sağlayan ekipmanları ve veri için gereken sinyal geçişine izin veren bileşenleri ifade eder. Bu bileşenler arasında kablolama sistemleri, kabinler, iklimlendirme sistemleri, yangın algılama ve söndürme sistemleri, güç kaynağı sistemleri ve yönetim yazılımları yer alır. Pasif bileşenler, veri merkezi ağının fiziksel bağlantılarını sağlamak ve yönetmek için kullanılır. Maliyet, etkinlik ve basitlik gibi avantajları vardır. Ancak, sinyal kaybı ve gecikme gibi dezavantajlar da göz önünde bulundurulmalıdır (Dağaşan vd., 2022). Aşağıda bazı pasif bileşenler verilmiştir.

Kablolama sistemleri: Veri merkezlerinde veri iletimini sağlamak için yüksek performanslı kablolama sistemleri kullanılır. Bu sistemler, fiber optik kablolar, bakır

kablolar, güç kabloları, güç dağıtım üniteleri (Power Distribution Unit, PDU) ve kablo konnektörlerini-jakları içerir.

- Bakır kablolar genellikle sunucular, anahtarlar ve yönlendiriciler arasında bağlantı oluşturmak için kullanılır.
- Fiber kablolar; bakır kabloların ötesine geçerek daha yüksek hız, mesafe ve güvenilirlik sağlamaktadır.
- Güç kabloları; sunucular, depolama cihazları ve diğer aktif cihazların güç kaynağı bağlantılarını sağlar. Bu kablolar, yüksek voltaj akım taşıyabilen özel olarak tasarlanmış kablolar olup kesintisiz güç sağlamak için uygundur. Güç dağıtımı için veri merkezlerinde son yıllarda daha çok busbar sistemleri tercih edilmeye başlamıştır (Busbar İngilizce bir kelime olup Türkçe karşılığı baradır. Teknik olarak busbar olarak bilindiği için bundan sonra busbar şeklinde tanımlanacaktır). Busbarlar kablolara göre yüksek performans, hızlı montaj, düşük maliyet ve yangına dayanıklılık gibi avantajlar sağlarlar.
- PDU (Güç dağıtım üniteleri); Aktif bileşenlerin çalışması ve yönetilebilmesi için birden fazla cihaza güç sağlanması gerekir. PDU ana güç kaynağından aldığı yüksek voltajlı giriş enerjisini, birden fazla düşük voltajlı güç çıkışına dönüştürmek için kullanılır. Bu çıkışlar, aktif bileşenlerin güç kaynaklarına yönlendirilir. PDU'lar, elektriksel dalgalanmaları önlemek ve sunucuların her birinin maksimum enerji ihtiyacını karşılamak için özel olarak tasarlanmıştır. Çeşitlerine göre aktif cihazların bağlı olduğu çıkışları uzaktan açma ve kapama imkanı sağlar (Wang vd., 2009). Bununla birlikte enerji tüketim verilerinin izlenmesine ve raporlanmasına olanak tanır.
- Kablo konnektörleri-jaklar; Güç kabloları, bakır kablolar ve fiber optik kabloların uçlarındaki konnektörleri ve jakların doğru şekilde bağlanması, veri merkezleri için oldukça önemlidir. Doğru kablo yönetimi ve jakların etkili bir şekilde takılması, kablolardan gelen elektromanyetik parazit sinyallerini azaltarak daha iyi performans ve düşük gecikme süreleri sağlar (Dağaşan vd., 2022).

Kabinler: Sunucuların ve diğer ekipmanların düzenli bir şekilde yerleştirilmesi için kabinler kullanılır. Kabinler, düzenli bir yapı oluşturarak hava akışını yönetir ve

ekipmanların korunmasını sağlar. Veri merkezlerinde genellikle 42U-45U-47U boyutunda kabinler tercih edilir (Estap, 2023). Kabin seçimi yaparken aktif cihazların kablo güzergahları için uygun tasarım boşluklarının olmasına ve hava akışının kolay emilip, tahliye edilmesine olanak sağlayan geniş gözenekli kapak açıklığına sahip olması önem arz eder. Ayrıca aktif cihazlar kütlece ağır cihazlardan oluştuğu için toplam ağırlığa dayanıklı olacak şekilde tasarımı yapılan kabinleri tercih edilmelidir.

İklimlendirme sistemleri: Veri merkezi beyaz alan yüksek miktarda ısı üreten cihazlarla doludur. Bu cihazların maksimum verimlilikte çalışması ve uzun süre hizmet verebilmeleri için ürün üreticilerinin belirlediği uygun sıcaklık ve nem değerlerinde çalışması gerekmektedir. İklimlendirme sistemleri, veri merkezindeki sıcaklık ve nem seviyelerini sürekli olarak kontrol ederek, otomatik ayarlamaları yapıp cihazların etkin bir şekilde iklimlendirilmesini sağlar.

Yangın algılama ve söndürme sistemleri: Veri merkezlerinde fazla yoğunlukta ısı yükü olan cihazlar kullanıldığı için yangın riski yüksektir. Bu yüzden olası yangınlara erken müdahale edebilmek için yangın algılama sistemleri ve gelişmiş söndürme sistemleri kullanımı yangının daha büyük sorunlara yol açmasını önler. Bu da hem personel hem ekipman güvenliğine katkıda bulunur.

Güç kaynağı sistemleri: Veri merkezlerinde güç kaynağı sistemleri kesintisiz çalışma ve hizmet kesintilerini en aza indirme amacıyla oldukça önemlidir. Bu nedenle, veri merkezlerinde kullanılan güç kaynağı sistemleri yüksek güvenilirlikte, yedekli ve uygun bir enerji dağıtımı sağlamalıdır. Veri Merkezi tasarımında güç kaynağı sistemleri mutlaka trafo, jeneratör ve UPS sistemlerini içermelidir.

Yönetim yazılımları: Veri merkezi işletilirken sahadan toplanan veriler insan eliyle de toplanabilir ve yorumlanabilir ancak tüm verilerin noksansız olarak grafiğe ve tabloya aktarılması sırasında insan hatası olabileceği için riske edilmemelidir. Veri merkezleri baştan aşağıya kritik yerler olduklarından dolayı sıfır hata ile yönetmek elzemdir (Demir, 2017). Bu yüzden merkezi bir yerden veri merkezinin yönetilebilir olması sistem güvenliği ve izlenebilirliği açısından önemlidir.

## 1.3. Veri Merkezi Verimlilik Arttırıcı Yöntemler

Veri merkezleri yüksek enerji tüketim değerlerine sahip olduğundan dolayı en ufak bir iyileştirme bile işletmeler adına büyük kazanımlar getirebilir. Enerji verimliliği için en önemli şeylerden birisi yalıtımdır. İyi bir yalıtım, enerji kayıplarını en aza indirir. İyi yalıtılmış duvarlar, tavanlar ve zeminler, iç ortamın dış sıcaklıktan daha az etkilenmesini sağlar ve soğutma ihtiyacını azaltır. Bunun ardından iyi cihaz ve yöntem seçimi uzun vadede yüksek enerji verimliliği sağlar.

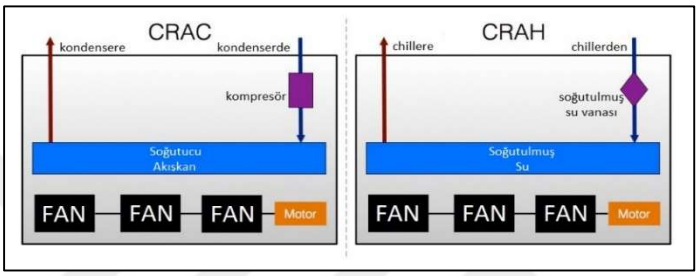
Veri merkezlerinde en yaygın kullanılan soğutma sistemleri Bilgisayar Odası klimaları (CRAC), Bilgisayar Odası Hava İşleyici (CRAH), Kuru Soğutucular (Dry Cooler) ve Serbest Soğutma (Free cooling) sistemleridir. Verimlilik artırmak için ise beyaz alana yükseltilmiş döşeme ile delikli karo sistemi (VanGilder ve Schmidt, 2005) ve sıcak-soğuk koridor kapama yapılmaktadır (Niemann vd., 2011). En verimli soğutma sistemini elde etmek için ihtiyaç doğrultusunda düzgün bir kombinasyon yapılması enerji tüketimi açısından faydalı olmaktadır.

### 1.3.1. Veri merkezinde tercih edilen soğutma ekipmanları

İç ve dış ünitede olmak üzere iki farklı cihaz kullanılmaktadır. İç ünitede soğutucu akışkan BT ekipmanlarının atık ısısını üzerine alır. Sıcaklığı artan akışkan dış üniteye taşınır. Dış üniteye taşınan akışkan ortama ısısını bırakarak soğur. Soğuyan soğutucu akışkan döngüye devam eder. Bu döngüyü sağlayan cihazlar aşağıdaki gibidir;

- Bilgisayar Odası Klimaları (CRAC, Computer Room Air Conditioners); Veri merkezlerinde kullanılan en yaygın eski soğutma teknolojilerinden biridir (Akın, 2010). CRAC, veri merkezinden gelen sıcak havayı alır, soğutur ve ardından ekipman özelliğine uygun şekilde havalandırarak veri merkezindeki sıcaklığı ve nem düzeyini kontrol eder. İçerisinde direkt genleşme kompresörü bulunur. Kompresör içerisinde bulunan soğutucu akışkan vasıtasıyla soğutma işlemini yaparken dış ünitede bulunan fanlar vasıtasıyla da ısısını ortama bırakır.

- Bilgisayar Odası Hava İşleyici (CRAH, Computer Room Air Handler); Soğutulmuş su bazlı sistem olarak bilinen bu cihazlar büyük kapasite ihtiyacı olan yerlerde daha çok tercih edilir (Akın, 2010). İçerisinde CRAC'ten farklı olarak genleşme kompresörü yerine soğutulmuş su vanası bulunur. Dışarıdaki ünitede soğutulan su, ihtiyaca göre vananın açılıp kapanmasıyla ve fan yardımıyla ortam soğutması yapar. Serbest soğutma sistemlerine kolay entegre edilebilen Crah'ler daha çok tercih sebebidir. Şekil 1.7'de Crac ile Crah sistem farklılığı gösterilmiştir (Anonim, 2017).



Şekil 1.7. Crac ile Crah farkı (Anonim, 2017)

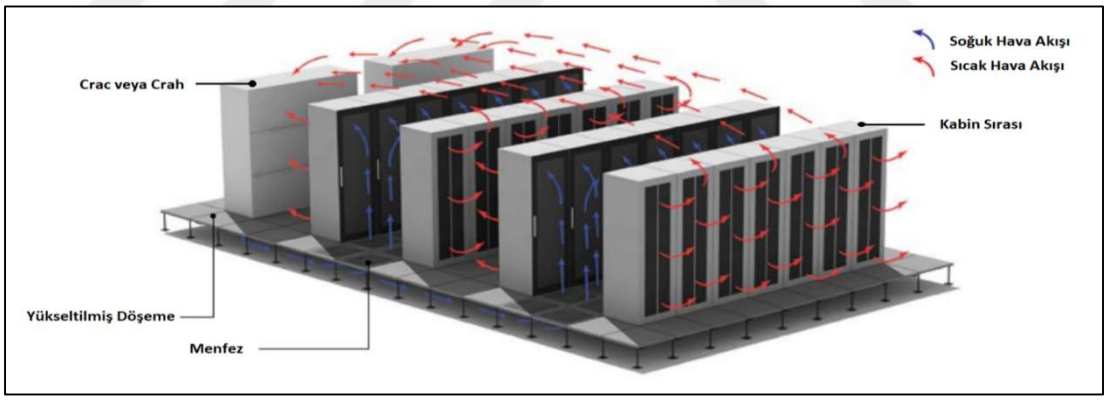
- Kuru Soğutucu (Dry Cooler); Sistem kapalı devre çalıştığı için yaş termometre sıcaklığından etkilenmez. Bu nedenle kuru soğutucu adını almıştır (Bolazar ve Acül, 2006). Sistemde dolaşan soğutucu akışkan dış ünite bulunan kanatçıklar ve fanlar vasıtasıyla ortama ısı bırakır. Düşük enerji tüketimi sebebiyle tercih edilir.
- Serbest Soğutma Sistemleri; Dış hava sıcaklığının veri merkezini soğutabilecek durumda olduğu durumlarda serbest soğutma (free cooling) teknolojileri kullanılabilir. En yaygın teknoloji ise Chiller'dir (Türkçe karşılığı soğutma grubudur). Chiller'ler su veya hava akışkanları yardımıyla çalışarak ortamdaki sıcak havayı soğutmak için suyun buharlaşmasını kullanarak çalışır. Kuru soğutuculardan farkı performans olarak daha etkin değerler verebilir ve daha yüksek soğutma ihtiyacı olduğu durumlarda tercih edilir.

### 1.3.2. Yükseltilmiş döşeme ve menfez

Yükseltilmiş Döşeme; veri merkezlerinde yükseltilmiş döşeme kullanımı, kablo yönetimi, havalandırma, uyumluluk ve esneklik sağlamak gibi birçok avantaj sunar

(Patankar ve Karki, 2004). En önemli avantajlarından biri ise veri merkezi içindeki soğuk hava ve sıcak hava akımlarını ayrı tutarak soğuk havanın kritik bilgi teknoloji ekipmanlarına ulaşmasını sağlayarak iyi bir hava dolaşımı sağlamasıdır. Ayrıca döşeme altına yerleştirilecek sızıntı tespit araçlarıyla herhangi bir su kaçağı algılayıcıları, cihazların kesintiye uğramaması için erken tespit sağlar. Yükseltilmiş döşeme uygulamalarında dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlar yangına dayanıklı malzeme seçimi, ağırlık taşıma kapasitesi ve kolay müdahale için tasarımıdır. Yükseltilmiş döşemeye uygun menfez seçimi cihazlara verimli hava sirkülasyonu sağlaması açısından önemlidir ve mümkün olduğunca açılır-kapanır kanatçıklı menfezler seçilmelidir.

Yükseltilmiş döşeme yapılmadan önce zemine epoksi boya kullanılması önem arz etmektedir. Epoksinin toz tutmama özelliği bulunduğundan dolayı iklimlendirme daha sağlıklı şekilde yapılır ve zemin mukavemetini arttırıcı özelliği bulunur (Günel, 2014). Şekil 1.8'de veri merkezi yükseltilmiş döşeme uygulaması gösterilmiştir (Anonim, 2023a).

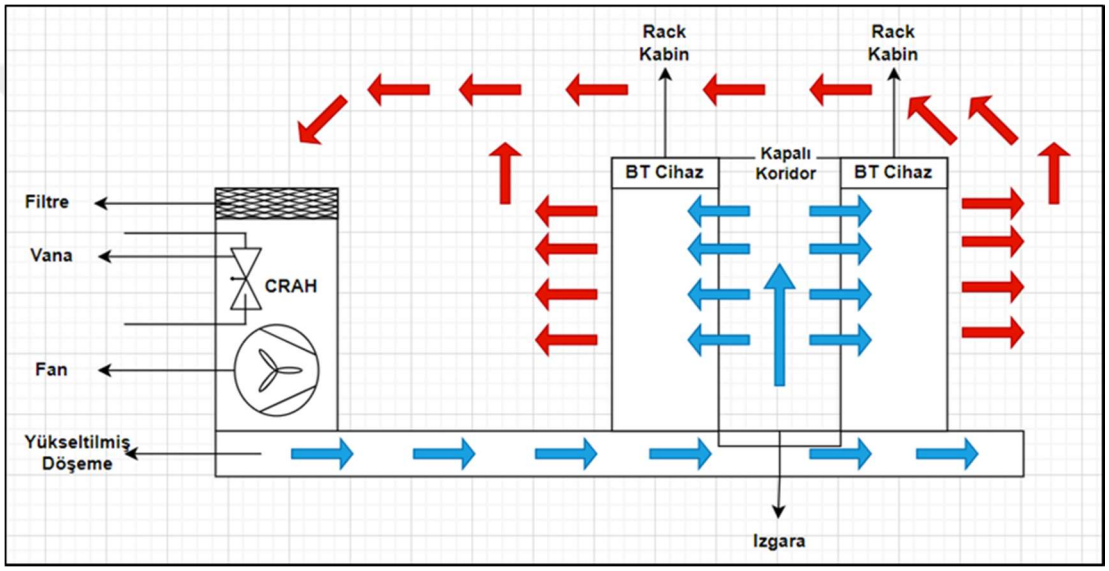



Şekil 1.8. Veri merkezi yükseltilmiş döşeme uygulaması (Anonim, 2023a)

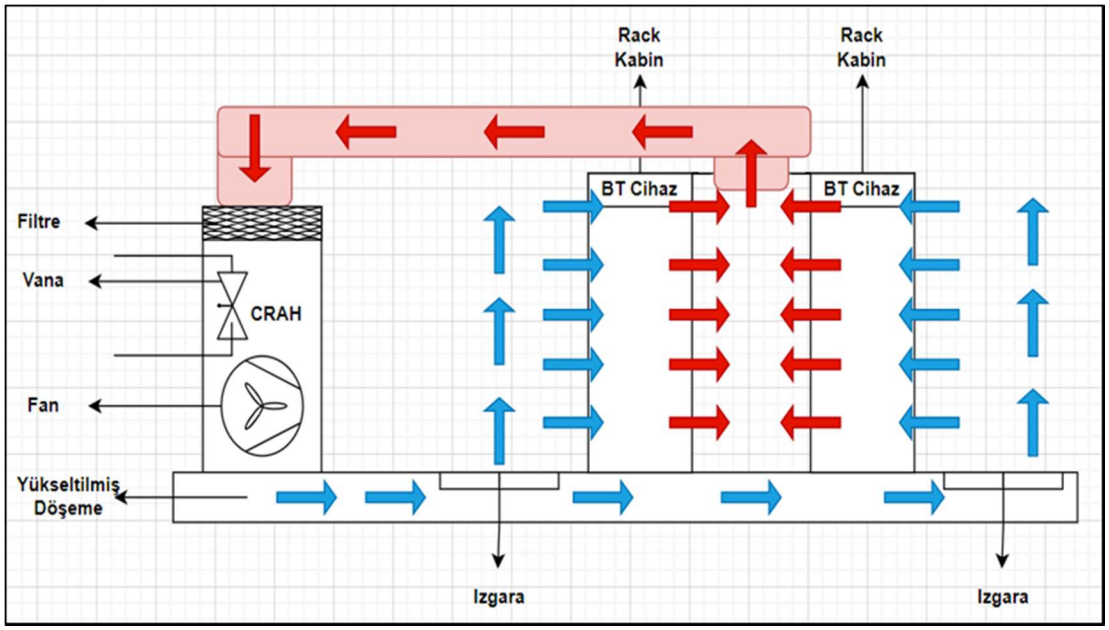
### 1.3.3. Sıcak ve soğuk koridor kapama

Sıcak-Soğuk Koridor Kapama; Veri merkezlerinde yüksek soğutma verimliliği ve düşük enerji tüketimi için soğuk koridor kapama veya sıcak koridor kapama uygulamaları tercih edilmektedir. Günel (2014), çalışmasında network (iletişim ağ) kabini ve barındırma kabinlerinin olduğu odalar için sıcak ve soğuk koridor kapama tasarımlarında, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD, Computational Fluid Dynamics) programıyla farklı sonuçlar elde etmiştir. Elde ettiği verilere göre

kabinlerdeki yükün zamanla arttığı durumlarda network tarafında soğuk hava koridorunun, barındırma tarafında ise sıcak hava koridorunun daha verimli olduğuna değinmiştir. Bu veriler neticesinde sıcak-soğuk koridor kapama yapmadan önce kullanılacak cihazların ve büyüme oranının tespit edilip detaylı CFD analizi yapılması sağlıklı olacaktır. BT cihazları kabinlere konumlandırıldıktan sonra kapalı koridorlardan açık koridora hava kaçışı olmaması gerekmektedir. Kabin içinde BT cihazı konumlandırılmayan yerlerden hava kaçışını önlemek için kapaklarla kapatılmalı ve verimlilik sağlanmalıdır. Şekil 1.9'da ve Şekil 1.10'da sırasıyla soğuk koridor kapama ve sıcak koridor kapama uygulamaları verilmiştir (Anonim, 2022b).




Şekil 1.9. Veri merkezi soğuk koridor uygulaması (Anonim, 2022b)




Şekil 1.10. Veri merkezi sıcak koridor uygulaması (Anonim, 2022b)

## 1.4. Veri Merkezi Türleri

Veri merkezlerinin tasarımları, ağ yapıları, bilgi işlem depolama altyapılarıyla destekledikleri uygulamalar ve işledikleri veriler genelde birbirinden tamamen farklıdır. Veri merkezleri paylaşımlı veya paylaşımsız olarak sınıflandırılabilir. Paylaşımlı olanlar barındırma hizmetleri için iken paylaşımsız olanlar tek bir şirkete veya kuruma aittir. Paylaşımlı veri merkezleri kabinleri veya rafları kiralayarak ek ücret talep ederler. Paylaşımsız veri merkezleri de şirketlerin veya kurumların güvenlik politikalarıyla ilgili olarak bünyesine herhangi bir dış kaynak bilgi teknoloji ekipmanı barındırmaz. Günümüzde kullanılan beş yaygın veri merkezi türü aşağıdaki gibidir (Sechrist, 2022).

### 1.4.1. Kurumsal veri merkezi

Kurumsal veri merkezi, kritik işletmeler için kullanılabilirlik ve ölçeklenebilirlik göz önündedir. Fiziksel bilgisayar ekipmanları ve depolama cihazlarının yanı sıra felaket kurtarma merkezi ve yedekleme de dahil olmak üzere sorunsuz iş operasyonlarını sürdürmek için gereken her şeyi sağlarlar. Kurumsal veri merkezleri, kuruluşun kendine özgü kurumsal uygulamaları ve süreçleriyle uyumlu olacak şekilde özel olarak oluşturulmuştur (Tang vd., 2007).

### 1.4.2. Çok kiracılı veri merkezleri (Kolokasyon veri merkezi)

Veri merkezi hizmeti sunan çok kiracılı veri merkezleri (ortak yerleşim veri merkezleri olarak da bilinir), işletmelerin bilgi işlem cihazlarını ve sunucularını tesis dışında barındırmak istemesi durumunda veri merkezi alanı sağlar. Bu tesisler, gerekli veri merkezi bileşenlerini (güç, soğutma, güvenlik ve ağ ekipmanı) sağlar. Kendi kurumsal veri merkezini kurmak veya yönetmek için yeterli alana sahip olmayan şirketler genellikle paylaşımlı bir yerleşik veri merkezini tercih eder (Islam vd., 2015). Böylece, veri merkezi hizmeti sunan sağlayıcının alt yapısını kullanarak işlerini sürdürebilirler. Bu, finansal ve personel kaynaklarını diğer girişimlere yönlendirmelerine olanak tanır. Bir kuruluş, verilerini barındırmak için ihtiyaç duyduğu alan miktarını kiralayabilir ve ihtiyaçları değiştikçe hızla büyüyebilir veya küçülebilir. Sağlık ve bankacılıktan üretim ve devlet kurumlarına kadar her tür sektör

çok kiracılı veri merkezlerinden yararlanır. Bu tip tesislere talep yoğundur. Müşteriler, sürekli çalışma süresi, geniş bant genişliği kapasitesi ve verilere hızlı ve anında erişim olanağı bekler (Guo ve Pan, 2017). Artan bu baskılara ayak uydurmak için, çok kiracılı veri merkezleri genellikle donanımlarını ve teknolojilerini bir kurumsal veri merkezinden daha sık yeniler.

### 1.4.3. Hiper ölçekli veri merkezleri

Hiper ölçekli veri merkezleri, büyük ölçekli veri işleme ve depolamanın gerektiği devasa veri merkezleridir. Bu tür veri merkezleri genellikle yüksek performans, yüksek kapasite ve büyük ölçekli işleme gücü sağlamak için özel olarak tasarlanır. Genellikle büyük teknoloji şirketleri veya büyük veri yoğunluğu olan işletmeler tarafından kullanılır. Bu veri merkezleri, yüzlerce hatta binlerce sunucuyu ve depolama birimini barındırabilir (Nooruzzaman ve Fernando, 2021). Amazon, Microsoft ve Google veri merkezleri bu tip veri merkezlerine örnektir.

### 1.4.4. Mikro veri merkezleri

Mikro veri merkezleri, geleneksel büyük ölçekli veri merkezlerinin aksine daha küçük boyutlarda olan ve yerel olarak kullanılan veri merkezleridir. Bu tür veri merkezleri, genellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler, şubeler, ofisler veya belli bir bölgeye yönelik hizmet sunmak için kullanılır. Genellikle tesis içerisinde veya tesis yakınında yer alır. Akıllı cihazlarla düşük gecikmeli iletişimi mümkün kılar. Nesnelerin internetine olan ilgi arttıkça buna bağlı olarak anlık bağlantı taleplerindeki artışın karşılanması için bu tür veri merkezi çözümleri de artış göstermektedir (Bilal vd., 2018).

### 1.4.5. Modüler veri merkezleri

Modüler veri merkezi, bileşenlerin önceden tasarlanmış hazır, tak ve çalıştır olarak inşa edildiği, genellikle yerinde birleştirilen ve hızlı bir şekilde ölçeklendirebilen bir veri merkezi yapısıdır. Bu modüller, genellikle konteyner veya raf benzeri bir yapıya sahiptir ve önceden yapılandırılmış sunucular, soğutma sistemleri, güç dağıtımı ve diğer altyapı bileşenlerini içerir. İhtiyaç duyulan kapasitelerin daha hassas bir şekilde

ölçeklendirilebilmesini sağlar. İhtiyaç arttıkça, yeni modüller eklenerek kapasite kolayca genişletilebilir. Aynı şekilde, gereksinimler azaldığında modüller kaldırılabilir veya geçici olarak devre dışı bırakılabilir. Bu ölçeklenebilirlik avantajı, işletmelere kaynakların daha etkili bir şekilde kullanılmasını sağlar. Büyüme beklentileri olan işletmeler, geçici veya özel proje ihtiyaçları olan kuruluşlar için ideal bir çözümdür (Hamilton, 2006).

## 1.5. Veri Merkezi Standartları

Veri merkezleri, BICSI (Building Industry Consulting Services International), TIA (Telecommunications Industry Association), ve Uptime Institute gibi kuruluşlar tarafından belirlenen standartlara uygun olarak sertifikalandırılır. Türkiye'de, Uptime Institute tarafından belirlenen tier (seviye) sertifikasyonu en çok tercih edilen standarttır. ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), veri merkezinin güvenli ve verimli şekilde iklimlendirilmesi için gereken standartları belirler.

### 1.5.1. Uptime Institute standartları

Uptime Enstitüsü, veri merkezlerine sertifikasyon hizmetini sunarak, Tasarım Belgeleri (Design Documents), Operasyonel Sürdürülebilirlik (Operational Sustainnability) ve İnşa Edilmiş Tesis (Constructed Facility) olmak üzere üç temel alanda değerlendirme yapmaktadır.

Tasarım belgeleri sertifikasyonunda, veri merkezi tesisinin kapasitesi, tesis performansı ve mühendislik gereklilikleri üzerinde durulur. Elektrik ve mekanik sistemlerin yanı sıra saha detayları ve mimari de incelenir. Bu değerlendirme, yüklenici ve satıcıdan bağımsız üçüncü taraflar tarafından yapılır, böylece tasarım belgelerinin tamamına ilişkin bir inceleme gerçekleştirilir.

Operasyonel sürdürülebilirlik sertifikasyonunda, tier sertifikalı tesisin yönetim ve operasyon uygulamalarının kapsamlı bir değerlendirmesini içerir. Bu süreçte, güvenilirlik ve performansı olumsuz etkileyebilecek yönetimsel ve operasyonel

riskler ele alınır. Ayrıca, verimli çalışma için en iyi operasyonel uygulamaları ortaya koymaya yönelik adımlar atılır.

İnşa edilmiş tesis sertifikasyonu ise tesisin hangi tier sertifika tasarım belgesi kılavuz alınarak inşa edildiği tespit edilir. Üçüncü taraflar tarafından yapılan detaylı bir incelemenin sonucunda, tesisin performansı gerçek hayat senaryoları üzerinde test edilerek doğrulanır.

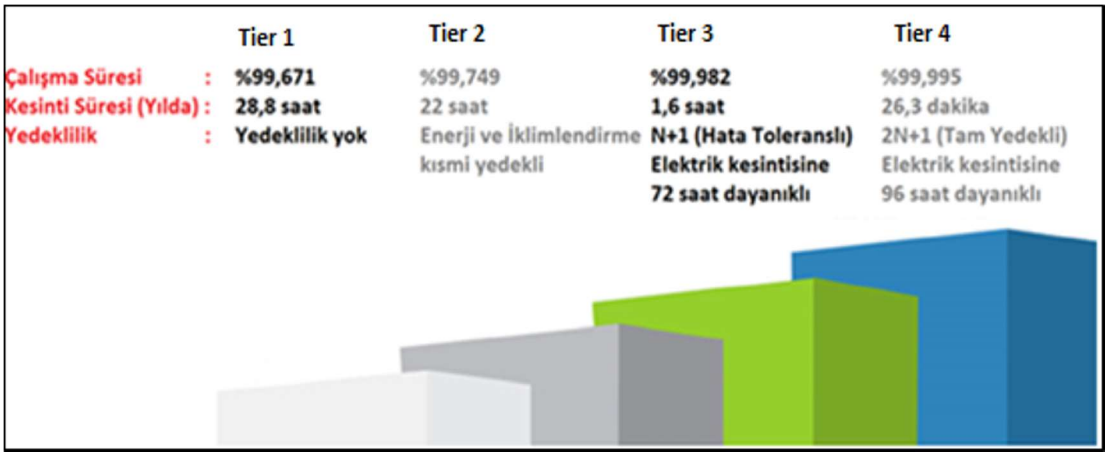
Bu sertifika koşullarının ana amacı veri merkezlerinin altyapısına ait iklimlendirme sistemleri, enerji verimliliği, yangından koruma, güvenlik ve ortam izleme gibi sistemlerin sürdürülebilir bir seviyede tutularak erişilebilirliklerini ve kesintisizliklerini ölçmektir (Anonim, 2017). Şekil 1.11'de veri merkezi tier sertifikasyonları verilmiştir.

Tier 1: Bunlar en temel veri merkezi türleridir ve planlı kesintiler için UPS içerirler. Bu veri merkezleri yedekli sistemler sağlamaz ancak en az %99.671 çalışma süresi garanti etmelidir.

Tier 2: Bu veri merkezleri sistem, güç ve soğutma yedekliliğini içerir ve en az %99.749 çalışma süresini garanti eder.

Tier 3: Bu veri merkezleri, kısmi hata toleransı, 72 saat kesinti koruması, tam yedeklilik ve %99.982 çalışma süresi garantisi sağlar.

Tier 4: Bu veri merkezleri, %99.995 çalışma süresinin veya yılda en fazla 26.3 dakika kesinti süresinin yanı sıra tam hata toleransı, sistem yedekliliği ve 96 saat kesinti koruması garanti eder.




Şekil 1.11. Veri merkezi tier sertifikasyonları

Veri merkezi tasarımı yapılırken maliyet, veri merkezinin kurulacağı coğrafi alan, sismik ve meteorolojik durum, ulaşım kolaylığı ve enerjiye ulaşılabilirlik gibi birçok kriter göz önünde bulundurulmalıdır. Tüm bu sorunlara, istenen veri merkezi seviyesinin kullanılabilirliği ve verimlilik hedefleri rehberlik eder.

Tier sertifikalarının seviyesi veri merkezinin iyiliği ve kalitesi ile alakalı değildir. Her veri merkezinin ihtiyacı farklı olmakla birlikte ayırdıkları bütçe miktarı da farklıdır. Dolayısıyla her veri merkezinin kendi ihtiyacı olan gerekliliği karşılaması yeterlidir. Her veri merkezlerinin tier sertifikasyonlarını alma zorunluluğu yoktur. Ülkemizde çoğu kamu kurumunda resmi belgelendirme mevcut değildir. Daha çok halka açılması planlanan veri merkezleri için önemli bir belge niteliği taşımaktadır. Şirkete yatırım yapacak yatırımcılar yatırdıkları paranın güvenilir bir yere gittiğinden emin olmak isterler. Bu yüzden belge alınsın veya alınmasın veri merkezi tasarımı yapılırken bu sertifikasyon gerekliliklerinden yararlanarak tasarım yapılmalıdır.

### 1.5.2. Veri merkezi tasarımında kullanılan ASHRAE standartları

ASHRAE standartları, veri merkezlerindeki sıcaklık, nem, enerji verimliliği ve ısı yönetimi gibi faktörleri yönlendirmekte ve veri merkezlerinin güvenli, verimli ve çevre dostu bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır. Bu standartlar, endüstri tarafından geniş çapta kabul görmekte ve veri merkezi tasarımı ve işletme süreçlerinde kullanılmaktadır.

ASHRAE, ısıtma sistemleri, soğutma sistemleri, havalandırma sistemleri ve klima sistemleri için çeşitli standartlar belirleyen bir Amerikan mühendislik derneğidir. ASHRAE standartları, yüksek performans değerleri ve enerji verimliliği gibi özellikleri dikkate alarak, klima sistemlerinin dizaynı, kurulumu, test edilmesi ve bakımı için gereksinimleri belirleyen kılavuzlardır.

Klima sistemlerinin doğru şekilde tasarlanmaması, veri merkezi sisteminin sağlıklı çalışmasını ve üretkenliğini etkileyebilir. Bu nedenle, ASHRAE, veri merkezleri için değişen gereksinimleri karşılamak üzere çeşitli standartlar oluşturmuştur (ASHRAE, 2022).

ASHRAE standartları, veri merkezinin kabul edilebilir sıcaklık ve nem derecelerini belirler. ASHRAE Standard 90.1, veri merkezlerinde enerji verimliliğini iyileştirmeye odaklanan bir standarttır. ASHRAE Standard 90.4, daha açık hava soğutma sistemleriyle ilgilidir. ASHRAE Standard 90.2, veri merkezlerinin toplam enerji tüketimini yönetmek ve en iyi verimliliği sağlamak için tasarlanmış bir standarttır (ASHRAE, 2022).

### 1.6. Güneşten Elektrik Üretimi

Güneş enerjisi sınırsız ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Sınırsız ve yenilenebilir bir kaynaktan maksimum verim elde etmek amacıyla elektrik üretimi yapılmalıdır. Güneşten enerji üretimi oldukça basit ve uygulanabilir bir yöntemdir. Fotovoltaik paneller vasıtasıyla güneş enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülebilir.

Fotovoltaik paneller, güneş enerjisini doğrudan elektriğe dönüştüren sistemlerdir. Bu paneller, fotovoltaik etki olarak bilinen bir fiziksel olayı kullanarak, güneş ışığını elektrik enerjisine çevirir.

Her fotovoltaik panel hücrelerin birleşmesiyle oluşur. Güneş ışınları bu panelin üzerinde bulunan hücrelere çarparak hücre içerisindeki yarı iletken malzemenin atomlarını uyarır ve atomlar enerji alır. Bu enerji, malzemenin içerisindeki elektronları hareketlendirir ve elektronlar atomdan kopar. Hareketlenen bu elektronlar, malzemenin yapısında bulunan elektriksel alan tarafından toplanır ve elektrik akımı oluşturacak şekilde yönlendirilir. Oluşan bu elektrik enerjisi doğru akım (DC, Direct Current)'dır. Bir inverter tarafından günlük kullanıma uygun alternatif akıma (AC, Alternative Current) dönüştürülür. Bu; evlerde, iş yerlerinde veya enerji şebekesine bağlı olmayan sistemlerde kullanılabilecek elektrik enerjisi sağlar. Fotovoltaik panellerin ana maddesi silisyumdur. Silisyum, doğada yaygın olarak bulunan ve en çok kullanılan yarı iletken malzemelerdendir. Fotovoltaik paneller kendi içerisinde tek kristalli (monokristal) paneller, çoklu kristalli (polikristal) paneller ve ince film paneller olmak üzere ayrılır (Gökce, 2020). Fotovoltaik sistemlerin genel bileşenleri şunlardır;

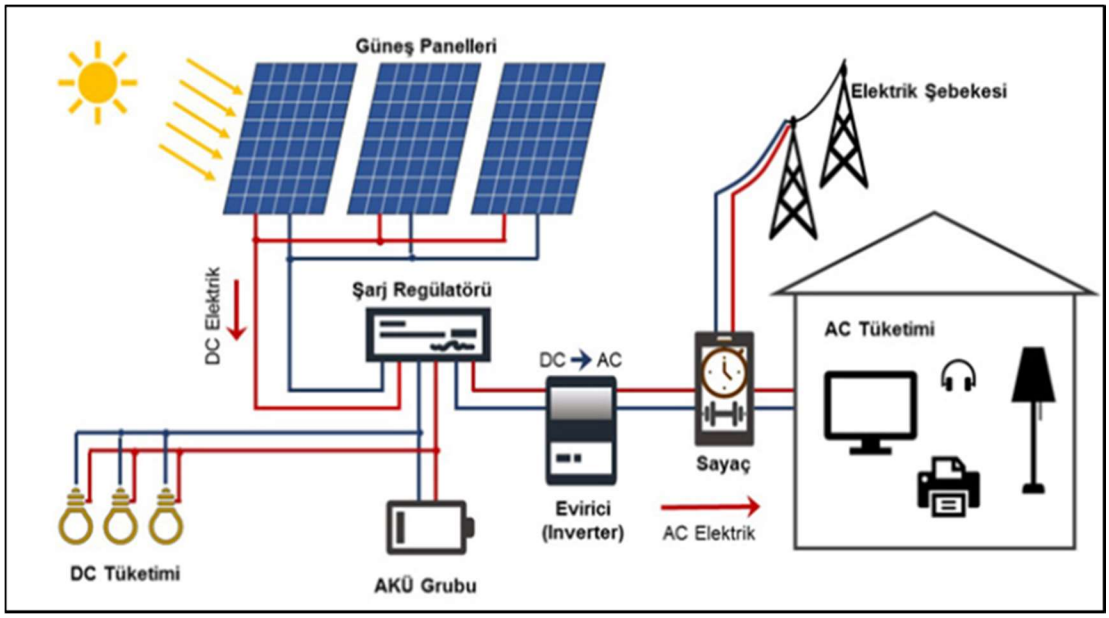
Güneş Panelleri (FV panelleri): Güneş ışığından elektrik enerjisi üretmek için kullanılan panellerdir. Tipik olarak silikon tabanlı hücrelerden oluşurlar ve güneş ışınını alarak elektrik akımı üretirler.

Şarj Kontrol Cihazı: Fotovoltaik sistemlerde, panellerden gelen elektrik akımını doğru şekilde yöneten cihazlardır. Şarj kontrol cihazları, batarya şarjını düzenler, bataryaların güvenli bir şekilde şarj olmasını sağlar ve aşırı şarjı önler.

Batarya: Fotovoltaik sistemlerde enerji depolaması için kullanılan bataryalar, güneş enerjisinin depolanması ve güneşin olmadığı zamanlarda kullanılması için gereklidir. Bataryalar, enerjiyi depolayarak gece veya bulutlu günlerdeki elektrik enerjisi taleplerini karşılamak için kullanılır.

İnverter (Evirici): Güneş hücrelerinden gelen doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) dönüştüren cihazdır. Bu dönüşüm, evde veya işyerinde kullanılan standart elektrik sistemine uygun elektrik enerjisi sağlar.

Kablo ve Bağlantılar: Fotovoltaik panellerden, inverter ve bataryalara enerji iletimini sağlayan kablolar ve bağlantılar, elektrik akımının düzgün bir şekilde iletilmesini sağlar. Şekil 1.12'de fotovoltaik sistemlerin temel bileşenleri verilmiştir (Anonim, 2023c).




Şekil 1.12. Fotovoltaik sistemlerin temel bileşenleri (Anonim, 2023c)

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Greenberg vd. (2006), yaptıkları çalışmada 22 adet veri merkezi binasını incelenmiştir. Bu çalışmada veri merkezleri enerji verimliliği için en iyi uygulamalar derlenmiştir. Bu uygulamalar arasında; iyileştirilmiş hava yönetimi, doğru boyutta merkezi tesis ve havalandırma sistemleri seçimi, optimize edilmiş merkezi soğutma grupları, fan verimli merkezi klima santralleri, ekonomizörler ile serbest soğutma, kontrollü nemlendirme veya nem alma işlemi, iyileştirilmiş kesintisiz güç kaynakları ve yüksek verimli bilgisayar güç kaynakları olduğu belirlenmiştir.

Pan vd. (2008), yaptıkları çalışmada Çin'de daha önceden kurulmuş olan iki adet veri merkezinin enerji maliyetinden tasarruf elde etmek için, ASHRAE standartlarını kapsayan yüksek performanslı bina izolasyonu, aydınlatma ve HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) sistemlerini kapsayan çoklu enerji verimliliği stratejilerini kullanmıştır. Bina enerji simülasyonu sonuçlarına göre, önerilen tasarımın yıllık enerji maliyeti tasarrufunun %21 olduğunu hesaplanmıştır.

Dörterler vd. (2012), çalışmalarında Gazi Üniversitesi sistem odasının yenilenmesi amacıyla günümüz gerekliliklerine uygun tasarım yapılması amaçlamıştır. Çalışmanın sonunda fiziki şartlara uygun olarak kabin ihtiyacı, kabinlerin ihtiyaç duyduğu güç miktarı ve iklimlendirme ihtiyacı ele alınarak tasarım yapılmıştır. Her bölümümün iklimlendirme, enerji ve kablolama ihtiyacı hesaplanarak yangın ve güvenlik politikaları doğrultusunda organizasyon yapılmıştır. Teknik ekip tarafından belirlenen güvenlik öncelikleri mevcut bütçe doğrultusunda planlanarak bir tasarım uygulanmıştır. Bu kriterlere göre sistem odası yenilenmesi süreçlerinden bahsedilmiştir.

Çavdar ve Alagöz (2013), yaptıkları çalışmada veri merkezlerinin tasarım aşamasında enerji verimliliğine etki edecek formülleri özetlemişlerdir.

Woodruff vd. (2014), yaptıkları çalışmada bina enerji tüketimleri artan veri merkezlerinde aynı oranda atık ısı oluştuğundan ve bu atık ısının mevsimsel olarak diğer mahallerin veya suyun ısınması için kullanılması üzerine araştırma yapmıştır. Mevsimsel olarak alan ısısına karşı sabit su ısısı gerektiren binalarda atık ısının

binalara entegre edilmesinin minimum %10 oranında enerji verimliliğine fayda sağladığı gözlemlenmiştir.

Büyümeyle beraber artan enerji maliyetlerinin veri merkezi verimliliklerine dikkat çekilmesine sebep olmuştur. Sharma vd. (2015), bu çalışmada veri merkezleri için verimlilik arttırıcı mimari, elektrik sistemi ve soğutma sistemleri hakkında genel bilgilere değinilmiştir. Yapılan çalışma PUE'nin (Power Usage Effectiveness) hesaplanması veri merkezlerinin tüm parametreleri dikkate alınarak genelleştirilmiştir. Elde edilen incelemeler neticesinde veri merkezi verimliliğinin mimari projede başladığı ve kurulum aşamasındaki doğru ekipman ve cihaz seçimleriyle alakalı olduğu sonucuna varılmıştır.

Yüzgeç ve Günel (2015), çalışmalarında son yıllarda oldukça yaygınlaşan veri merkezlerinin planlama aşamasında enerji altyapısında önemli olan hususlar, referans alınması gereken sertifikalar hakkında bilgiler vermiştir. Örnek çalışma üzerinde elde edilen verileri uygulamalı olarak incelenmiştir. Uygulama sonunda tasarımın veri merkezlerinde önem arz eden enerji kesintisizliği bakımından yeterli olduğu, arıza ve bakım senaryolarında başarılı olup kesintinin minimum seviyede olduğu sonucuna varılmıştır.

Nada vd. (2016), çalışmalarında farklı çalışma ve geometrik koşullar için veri merkezindeki hava akış ve sıcaklık dağılımının CFD analiziyle araştırmasını yapmışlardır. Yükseltilmiş döşeme üzerindeki menfez miktarının, Crac-Crah konumlarının veri merkezi performansını etkileyebileceği üzerine deneysel çalışmalar yapılmıştır. Soğuk koridor kapama işleminin CFD analizi sonucu verimli olduğu ve veri merkezlerinde soğuk koridor ile Crac-Crah arası mesafenin uygun mesafede seçilmesinin performansı arttırdığı gözlemlenmiştir.

Sürücü (2016), çalışmasında son yıllarda oldukça yaygınlaşan konteyner tip veri merkezlerinin tasarımı tier 3 sertifikasyon şartlarına göre ele almıştır. Trafo, jeneratör, UPS, ATS (Automatic Transfer Switch, Otomatik Transfer Şalteri), STS (Static Transfer Switch, Statik Transfer Şalteri) ve PDU'lar Siemens simaris paket programıyla seçilmiş çizimleri autocad programıyla yapılmıştır. Konteyner tip veri merkezleri fabrika koşullarında üretilip çalışabilirliği test edildiğinden bina tip

uygulamalara kıyasla %40 a varan zaman tasarrufu sağlamıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda kurulum ve test işlemleri birlikte yapıldığından dolayı güvenilirdir ve kısa sürede kullanıma hazır hale geldiği, bu durumun bazı uygulamalarda ve zaman koşullarında bina tip uygulamaların önüne geçmesine sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir.

Demir (2017), çalışmasında veri merkezi otomasyon sistemlerinin entegrasyonu hakkında genel bilgiler vermiştir. Veri merkezlerinde beyaz alanların ve yardımcı sistemlerin işletimi için en gelişmiş teknolojilerin kullanılması gerekmektedir. Bu teknolojiler, sistemlerin sorunsuz çalışmasını sağlamak ve enerji kayıplarını en aza indirmek için zorunludur. Veri merkezi yönetim yazılımları, sistemlerin izlenmesi ve verilerin kaydedilmesi gibi önemli görevleri üstlenir. Bu yazılımlar, toplanan verileri analiz ederek anlamlı raporlar haline getirebilir. Bu da her bir sistem için gerçek zamanlı kontrol imkanı sağlar. Beyaz alanlarda iklimlendirme koşullarının değişmesine bağlı olarak mekanik ekipman yük durumlarının ayarlanması, orta gerilim (OG) ekipmanlarından başlayarak güç dağıtım ünitelerindeki (PDU) enerji birimlerinin taleplerine göre yönetilmesi ve UPS yüklerinin kontrolü gibi birçok konu, veri merkezi yazılımları tarafından hatasız bir şekilde kontrol edilebilir. Bu teknolojiler sayesinde, enerji verimliliği artırılır, enerji tüketimi optimize edilir ve sistem yönetimi daha etkin hale getirilir. Bu da veri merkezlerinin daha güvenilir ve verimli çalışmasına yardımcı olduğu gözlemlenmiştir.

Zhang vd. (2017), veri merkezlerinde kullanılan serbest soğutma teknolojilerine rehberlik etmek için dört farklı serbest soğutma sistemi analizi üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında doğal serbest soğutma kaynağından tam olarak yararlanarak elektrikli soğutma gruplarının yük oranını azaltabilen ve buna bağlı olarak soğutma enerjisi tüketiminden tasarruf edebilen teknolojileri inceleyip birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Doğrudan taze hava soğutması, döner çarklı ısı eşanjörü, plakalara entegre ısı borusu ve su bazlı serbest soğutma sistemlerinde gerçek hava koşullarında incelemeler yapmışlardır. Dört farklı sisteminde sistem PUE değerine katkı sağladığı ancak en fazla katkıyı su bazlı serbest soğutma sisteminin iklim şartlarına göre farklı modlarda çalışmasıyla katkı yaptığı sonucuna ulaşmışlardır.

Ali vd. (2019), düşük voltajlı (~30V) fotovoltaik panellerin, yüksek voltajlı (~380V) dağıtım yapılan sisteme entegre edebilmek için yüksek yükseltme oranlarına (10 kattan fazla) sahip yüksek frekanslı trafo izoleli bir DC-DC dönüştürücü kullanmıştır. Doğru akımla çalışan veri merkezi transformatörün alçak gerilim tarafında artan iletim kaybından dolayı, yüksek gerilim artışı kazancı gerektirir. Bu da dönüştürücünün verimini tehlikeye atar. Bu çalışmada minimum bileşen sayısıyla hem yüksek voltaj kazancı hem de yüksek verimlilik sağlayan GaN tabanlı izole edilmiş bir DC-DC dönüştürücü laboratuvar ortamında test edilerek %95.56'lık verim edilmiştir.

Anonim (2019**),** yapılan çalışmalarda, veri merkezi rehberi ile sektörde bilinmesi gereken tüm bilgi teknoloji hizmetleri bir araya getirilmiştir. Uluslararası kuruluşlar, danışmanlık firmaları ve farklı ülkelerdeki standartlar incelenerek kısa orta ve uzun vadeli çözüm önerileri sunulmuştur. Elde edilen yetkinlikler sektörde yol gösterici olabilmesi için kitap haline getirilmiştir.

Türkmen (2019), Enerji verimliliğini arttırmak için bir veri merkezinde iyileştirme çalışmaları yapmıştır. Bu kapsamda soğuk koridor kapama yapılmış, dağınık haldeki BT ekipmanları soğuk koridorlara taşınmış, CRAC fan hızları sınırlandırılmış ve sızıntı akışı izolasyonu ve klima derece ayarları yapılmıştır. Yapılan iyileştirme çalışmaları sonucunda kalibre edilmiş CFD analiziyle ölçüm parametreleri izlenmiştir. CRAC fanları %50'ye sınırlandırıldığı zaman PUE değeri 1.95'ten 1.57'ye kadar gerilemiştir. Buna ek olarak koridor kapatma, sızıntıların giderilmesi, BT ekipmanlarının bir yere toplanması ve sıcaklık ayarlarının yükseltilmesiyle PUE değeri 1.40'a kadar düşmesi sağlanmıştır.

Erden ve Türkmen (2022), çalışmalarında veri merkezlerinde enerji tasarrufu için CRAH By-Pass yönteminin oda içerisinde akış ağı modellemesi kullanmışlar. Daha önce ki çalışmalar CRAH By-Pass modelinin soğutma altyapı gücünü tahmin etmekte başarılı olmuşlardır ancak deneysel anlamda çalışmanın olmadığı, enerji ve ekonomik analiz sonucunda çeşitli uygulamalar yapılarak fizibilitenin fan sayısına doğrudan bağlı olduğu anlaşılmıştır. Bu uygulama sonucunda örnek bir veri merkezinde her menfez için bir fan kullanılarak 28 adet fan kullanıldığında 3-4 sene içerisinde kendini amorti ettiği hesaplanmıştır.

Yukarıda incelenen kaynak özetlerinden de görüleceği üzere, literatürde veri merkezi tasarımı konusunda çeşitli çalışmalar mevcut olup bu çalışmalarda tasarlanan sistem verimliliği için ve veri merkezi tasarım süreçleri incelenmiştir. Fakat, veri merkezi tasarımında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla ilgili bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu tez çalışmasında literatürden farklı olarak, sürdürülebilir veri merkezi tasarımı yapılarak sistem enerji gereksinimlerinin fotovoltaik panellerden karşılanması sağlanacaktır.

# 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Veri merkezi tasarımı, özenli planlama ve dikkatli mühendislik hesaplamaları gerektiren bir süreçtir. İlk adım, veri merkezi için gereksinimleri belirlemektir. Bu; kapasite ihtiyaçlarını, güç gereksinimlerini, soğutma gereksinimlerini, güvenlik gereksinimlerini, yedeklilik ihtiyaçlarını ve gelecekteki büyüme potansiyelini içerebilir. Bu gereksinimlerin belirlenmesi, tasarım sürecini yönlendirecektir. Veri merkezi hesaplarken bir çok parametre göz önünde bulundurulmalıdır. Geçmişten günümüze teknolojinin ve mühendislik yetkinliklerinin gelişmesiyle daha düzgün veri merkezleri tasarlanmaktadır.

Bu çalışmada kurulması planlanan orta ölçekli bir veri merkezinin tasarımı Ankara ili şartları için yapılacaktır. Genellikle veri merkezlerinde kabin başı tüketim referans alınarak tasarım yapılır. Tipik olarak bir kabin yaklaşık 2 kW ila 16 kW arasında güç tüketir (Wu, 2008). Bazı büyük veri merkezlerinde gelişmiş teknoloji uygulamalarıyla beraber daha yüksek elektrik güçlerine ulaşılmaktadır (Rolander, 2005). Bu projede iklimlendirilecek odaların ısı kazancı hesapları yapılacaktır ve tercih edilen çözümlerin hangi kriterlere göre belirlendiği açıklanacaktır. Elde edilen veriler doğrultusunda sistem ihtiyacına uygun fotovoltaik panellerle desteklenecektir.

## 3.1. Veri Merkezi Güç Kullanım Etkinliği

Veri merkezi Güç Kullanım Etkinliği (Power Usage Effectiveness- PUE), bir veri merkezinin toplam enerji tüketiminin IT ekipmanları tarafından tüketilen enerjiye oranını ifade eder. PUE, veri merkezinin enerji verimliliğini ölçmek ve izlemek için kullanılan bir metriktir.

PUE değeri, 1 ile sonsuz arasında bir değer alabilir. İdeal durumda, PUE değeri 1'e yakın olmalıdır. PUE'nin düşük olması, veri merkezinin tam anlamıyla daha verimli çalıştığı anlamına gelir. Denklem (3.1)'e göre veri merkezi güç kullanım etkinliği formülü verilmiştir.

$$PUE = \frac{Toplam\ Enerji\ Tüketimi}{BT\ Ekipmanları\ Enerji\ Tüketimi} \tag{3.1}$$

Yukarıdaki denklemde; Toplam enerji tüketimi: Veri merkezinde kullanılan cihazların toplam enerji tüketim miktarı ve BT ekipmanları enerji tüketimi: Bilgi teknoloji cihazları tarafından kullanılan toplam güç miktarıdır.

PUE değeri aynı koşullar altında ne kadar düşük olursa, veri merkezinin enerji kullanımı o kadar verimli olur. Antalya'da bulunan PUE değeri 1.5 olan bir veri merkeziyle Erzurum'da bulunan PUE değeri 1.48 olan bir veri merkezini kıyasladığımız zaman. Erzurum'da ki veri merkezinin daha verimli çalıştığı anlamına gelmez. Dolayısıyla iklim koşulları PUE ile ilişkilidir. İyi bir veri merkezi tasarımı, enerji yönetimi stratejileri ve teknolojik yenilikler PUE değerinin düşürülmesine yardımcı olabilir. Enerji tasarrufu sağlayan soğutma sistemleri, BT ekipmanları sanallaştırma teknolojileri, enerji geri kazanımı ve etkin enerji yönetimi uygulamaları gibi faktörler PUE değerinin azaltılmasına katkı sağlayabilir.

Büyük veri merkezleri düşük PUE değerlerine ulaşabilmek için genellikle soğuk iklim bölgeleri seçerler. Örneğin;

Verne Global'in Keflavik, İzlanda'da bulunan veri merkezi serbest hava soğutma ve buzul nehirlerinden elde ettiği soğuk sudan ve hidroelektrikten yararlanarak 1.06'lık bir PUE elde etmiştir.

Microsoft'un deneysel bir su altı veri merkezi olan Project Natick, BT ekipmanlarını soğutmak için deniz suyu kullanarak 1.07'lik bir PUE elde etmiştir.

Linkedin'in Hilltop veri merkezi, serbest soğutma için doğal olarak soğuk iklimden yararlanmak üzere dış hava sensörleriyle iletişim kuran bir su kenarı ekonomizörü kullanarak 1.06'lık bir PUE elde etmiştir (Sunbird, 2022).

### 3.2. Tasarımı Yapılan Veri Merkezi Bilgileri

Ankara ili şartlarında kurulması planlanan orta ölçekli sürdürülebilir bir veri merkezi 45U boyutunda 60 kabin barındırabilen ve kabin başı enerji tüketimi 7 kW olacak şekilde 500 $m^2$ alana kurulacağı öngörülmüştür. Tüm sistem minimum tier 3 sertifikasyon koşulları referans alınarak ve Ankara ili için en sıcak iklim değerleri

göz önünde bulundurularak hesaplanacaktır. Enerji verimliliği ön planda tutularak yükseltilmiş döşeme uygulaması ve soğuk koridor kapama uygulaması yapılacaktır. Çizelge 3.1'de Ankara ili sıcaklık ve bağıl nem değerleri verilmiştir (Küçükçalı ve Arısoy, 2001).

Çizelge 3.1. Ankara ili sıcaklık ve bağıl nem değerleri (Küçükçalı ve Arısoy, 2001)

| | |
|---|---|
| Ankara kuru termometre sıcaklığı (˚C) | 34 |
| Ankara bağıl nem değeri (%) | 40 |
| Zemin sıcaklığı (˚C) | 15 |

### 3.2.1. ASHRAE tarafından önerilen iklimlendirme şartları

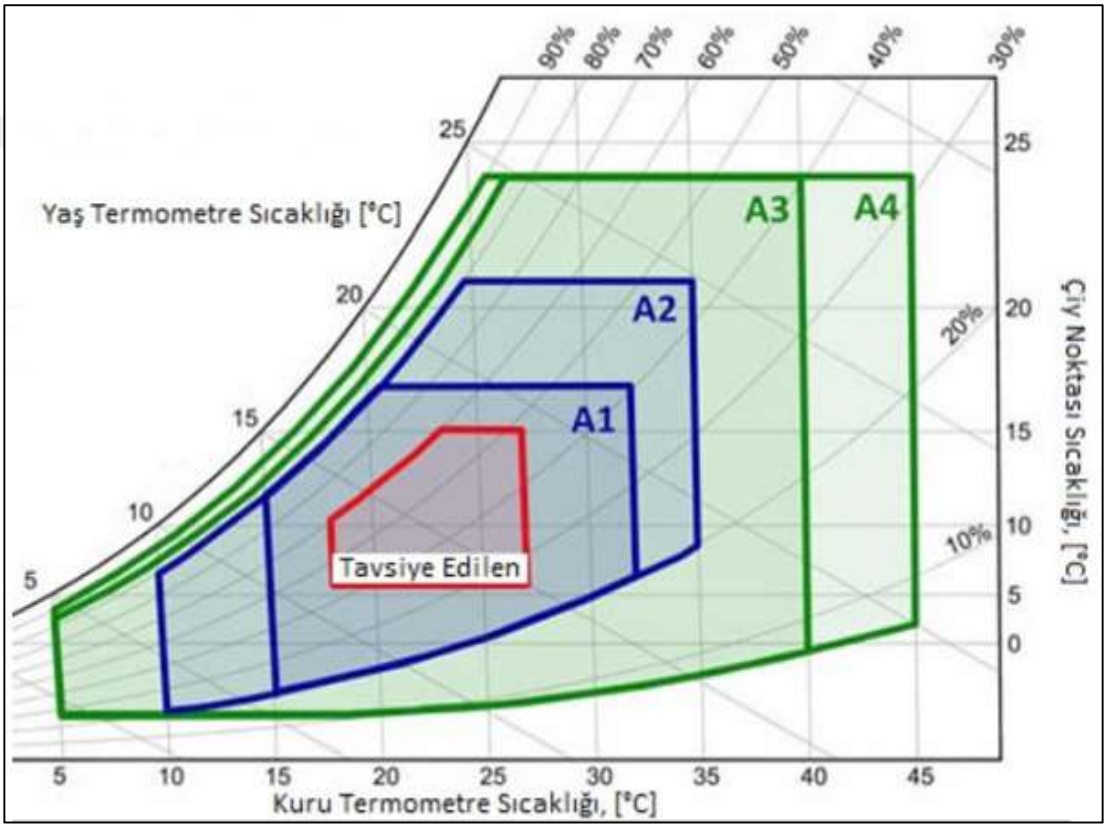
Veri merkezinin verimli şekilde işletilebilmesi için bilgi teknoloji cihazlarının belirli sıcaklık ve nem değerlerinde tutulması gerekmektedir. ASHRAE 2016 ve sonrasında yayımlanan standartlara göre, önerilen değerler aşağıdaki gibidir (ASHRAE, 2022);

Sıcaklık: ASHRAE ısı dengesi sınıfı A1 olan BT ekipmanları için önerilen sıcaklık aralığı 18 ila 27 derece Celsius'dir. Bunlar tipik olarak sunucular ve diğer ağ ekipmanlarını içerir. Ancak, ASHRAE ısı dengesi sınıfı A2 olan BT ekipmanları için önerilen sıcaklık aralığı 10 ila 35 derece Celsius'dir. Örneğin depolama ekipmanları bu sınıfa dahildir. ASHRAE önerilerine göre, veri merkezlerinde cihazlar uygun sıcaklık aralığı arasında olmalıdır. ASHRAE sınıf A1 veri merkezleri için sıcaklık aralığı 15 ila 32 dereceye genişletmiştir.

Nem: ASHRAE'ye göre, veri merkezlerinde önerilen bağıl nem seviyesi genellikle %40 ila %60 arasıdır. Bu aralık, elektronik cihazların sağlıklı bir şekilde çalışmasını sağlamak için nemin yeterli olmasını ve aşırı nemin elektrik arızalarına veya korozyona yol açmamasını hedefler.

Yoğuşma Sıcaklığı: ASHRAE'nin 2021 sürümünde, veri merkezleri için yoğuşma sıcaklığının, %60 bağıl nemde 8 dereceye kadar çıkmaması gerektiği belirtilmektedir. Bu, yoğuşmanın oluşmasını engelleyerek ekipmanlara zarar vermesini önler.

Bu değerler, genel olarak ASHRAE standartlarına dayalı olarak verilmiştir. Ancak, belirli bir veri merkezi veya BT ekipmanı için üretici tarafından belirlenen özel talimatlar ve gereksinimler dikkate alınmalıdır. Üretici tarafından belirtilen sınırlar ve öneriler, müşteri belgelerinde veya üretici web sitesinde bulunmaktadır. Örneğin; üretici tarafından yayınlanan cihaz bilgilerinde A4 standardına göre iklimlendirme uygunken cihazın içerisinde kullanılan işlemci A3 standardına göre iklimlendirme yapılması önerilmektedir (ASHRAE, 2022). Şekil 3.1'de bilgi teknoloji cihazları tarafından önerilen çevresel sınıflar gösterilmiştir (TTMD, 2019).




Şekil 3.1. Bilgi teknoloji cihazları için önerilen çevresel sınıflar (TTMD, 2019)

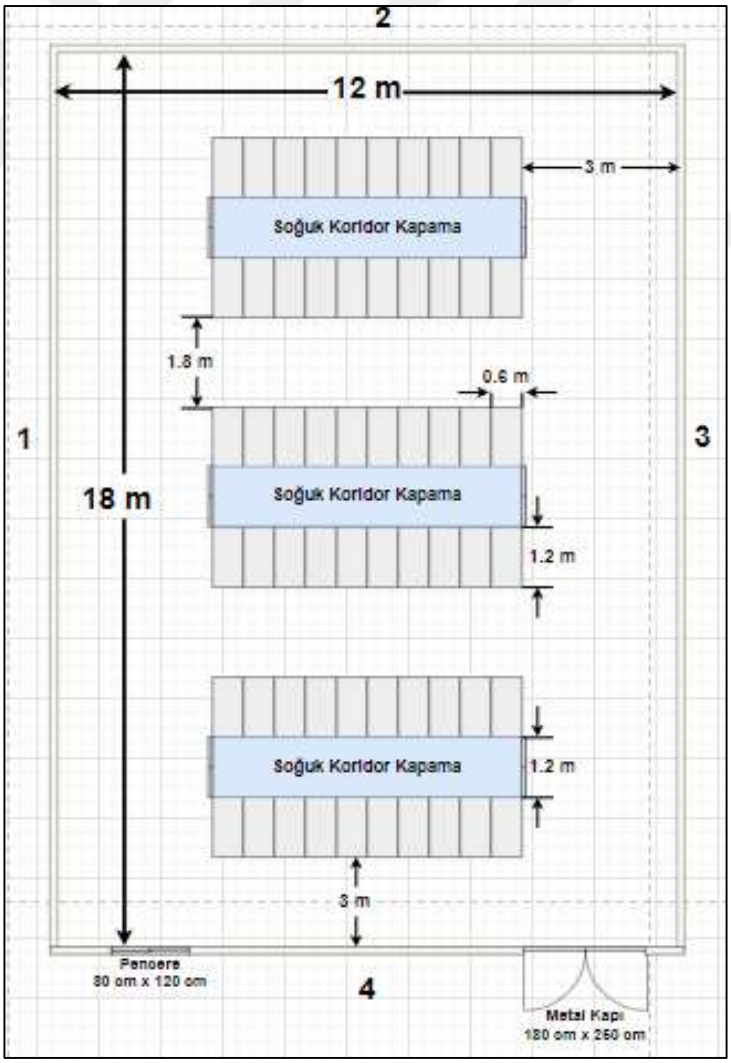
Çizelge 3.2'de ASHRAE standartlarına uygun veri merkezi için referans sıcaklık ve nem değerleri verilmiştir (ASHRAE, 2022).

Çizelge 3.2. Veri merkezi referans sıcaklık ve nem değerleri (ASHRAE, 2022)

| | |
|---|---|
| Mahal içi istenen sıcaklık (˚C) | 22 |
| Mahal içi istenen bağıl nem değeri (%) | 50 |
| UPS odası istenen mahal sıcaklığı (˚C) | 24 |
| UPS odası istenen bağıl nem değeri (%) | 50 |

### 3.2.2. Veri merkezi beyaz alan tasarımı

Veri merkezi beyaz alan için 12 m x 18 m alan içerisine 60 cm x 120 cm boyutlarında kabinler yerleştirilerek yükseltilmiş döşeme ve soğuk koridor kabin kapama uygulaması yapılmıştır. Kabinlerin ve duvarların birbirlerine olan uzaklıkları standart karo ölçüsü olan 60 cm ve katları olarak belirlenmiştir. Bu mesafe statik yük dağılımının düzgün olmasını sağlar. Kabinlerin duvara olan uzaklıkları hava sirkülasyonu göz önünde tutularak 3 m olacak şekilde konumlandırılmıştır. Kabin yerleşiminde sıcak koridorlar birbirlerine bakmakta ve iki kabin arası mesafe 1.8 m olarak ayarlanmıştır. Soğuk koridorlarda ise bu mesafe 1.2 m olarak tayin edilmiştir. Tüm veri merkezi için 180 cm × 250 cm boyutlarında tek tip kapı ve 80 cm × 120 cm tek tip pencere kullanılacaktır. Şekil 3.2'de veri merkezi kabin yerleşimi verilmiştir.




Şekil 3.2. Veri merkezi kabin yerleşimi ve soğuk koridor kapama uygulaması

### 3.3. Beyaz Alan Isı Kazancı Hesabı

Bir binanın ısı kazancı hesabı, binanın içerisindeki ısı kaynaklarının ve dışarıdan gelen ısı transferlerinin değerlendirilmesini içermektedir. Bu hesaplamalar, binada kullanılacak cihazların kapasite tayini ve uygun HVAC sistemlerinin belirlenmesi için önemlidir.

Basit bir şekilde, bir binanın ısı kazancı hesabı aşağıdaki adımları içermektedir;

- Duvarlar, çatı, zemin, kapı ve pencere gibi dış cephe bileşenlerinin ısı geçirgenlik katsayıları (U değerleri) belirlenir. Bu değerler, malzemenin ısı transfer yeteneğini ifade eder.
- Binanın dışarıyla temas eden yüzeylerinin alanları ölçülür.
- Kapı alanları ve cam yüzeylerin alanları belirlenir.
- İç ortamda bulunan insanlar, aydınlatma, bilgisayarlar ve diğer elektrikli cihazlar gibi iç kaynaklardan kaynaklanan ısı kazançları tahmin edilir. Bu veriler genellikle cihazların teknik özelliklerinden veya standart referans kaynaklarından elde edilmektedir.
- Binanın ısı geçirgenlik özelliklerine, dış hava sıcaklığına ve iç kaynaklardan kaynaklanan ısı kazançlarına dayanarak, bir hesaplama yöntemi kullanılarak binanın toplam ısı kazancı hesaplanmaktadır.

Bu basit ısı kazancı hesabı, cihazların kapasite tayini için bir temel sağlar. Ancak, daha karmaşık ve ayrıntılı hesaplama yöntemleri çeşitli programlar aracılığıyla yapılabilir. Bu nedenle, bir binanın detaylı bir ısı kazancı hesabının yapılması gerekiyorsa, bir mühendislik firması veya uzmana danışmak önemlidir. Bu şekilde, daha doğru sonuçlar elde edilebilir ve HVAC sistemlerinin doğru şekilde boyutlandırılması sağlanabilir.

Duvarlardan gelen ısı kazancını hesaplamak için duvar yön ve büyüklüklerinin çıkarılması gerekir ve duvarın yapı bileşenlerinin bilinmesi gerekir. Duvar yapı bileşenleri biliniyorsa aşağıdaki Denklem (3.2) ve Denklem (3.3)'e göre hesaplama yapılır;

$$R = \frac{1}{K} + \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \cdots + \frac{1}{\alpha_d} \quad (3.2)$$

$$U = \frac{1}{R} \quad (3.3)$$

Yukarıdaki denklemlerde; K: Isı geçirgenlik katsayısı (W/m$^2$K), d: Malzeme kalınlığı (m), λ: Isı iletkenliği hesap değeri (W/mK), $\alpha$: Duvar kalınlığı (m), alt indisler i ve d ise iç ve dış duvar, R: Isı geçirgenlik direnci (m$^2$K/W) ve U: Isı geçirgenlik kat sayısı (W/m$^2$K)'dır.

Isı geçirgenlik katsayısı için pratik olarak hesap yapabilmek için bazı değerler referans alınabilir (Küçükçalı ve Arısoy, 2001). Bu değerler Çizelge 3.3'de verilmiştir (Küçükçalı ve Arısoy, 2001).

Çizelge 3.3. Isı geçirgenlik katsayıları ve ısı yükleri (Küçükçalı ve Arısoy, 2001)

| | |
|---|---|
| 20 cm izobims/ytong duvar | U = 0.75 (W/m$^2$K) |
| İzoleli (5 cm) düz veya eğimli çatılar | U = 0.6 (W/m$^2$K) |
| Özel birleşlitirilmiş çift camlı pencere (iki cam arası 12 mm) | U = 3.61 (W/m$^2$K) |
| Kasalı çift kanatlı dış kapı | U = 2.56 (W/m$^2$K) |
| İnsandan gelen ısı kazancı | 200 (W/kişi) |
| Aydınlatmadan gelen ısı kazancı | 20 (W/m$^2$) |

Isı kazanım formülü Denklem (3.4)'te verilmiştir.

$$\dot{Q} = (U \times A \times \Delta T) \quad (3.4)$$

Yukarıdaki denklemde; U: Isı geçirgenlik katsayısı, A: Alan, ΔT: Sıcaklık farkı (K)'dır.

İnsanlardan gelen ısı kazanım formülü Denklem (3.5)'te verilmiştir. Veri merkezinin içerisinde sürekli olarak insanlar bulunmayacağı için günlük ortalama olarak insanların bulunduğu süreyi gün saatinden çıkararak ortalama değer alınabilir.

$$\dot{Q}_{insan} = \text{İ}nsandan\ gelen\ ısı\ kazancı\ \times\ kişi\ sayısı \quad (3.5)$$

Yukarıdaki denklemde; $Q_{insan}$: İnsanlardan gelen toplam ısı kazanım miktarı (W), insandan gelen ısı kazanı: insanın ürettiği ısı miktarı (W/kişi) ve kişi sayısı: Mahalde bulunacak kişi sayısıdır.

Çizelge 3.4'te beyaz alan duvar alanları, çatı alanı, zemin alanı, pencere alanı ve kapı alanı verilmiştir.

Çizelge 3.4. Beyaz alan hesapları

| **Bileşenler** | **Alan ($m^2$)** |
|---|---|
| Pencere Alanı | 0.96 |
| Kapı Alanı | 4.5 |
| Çatı Alanı | 216 |
| Zemin Alanı | 216 |
| 1.Duvar Alanı | 72 |
| 2.Duvar Alanı | 48 |
| 3.Duvar Alanı | 72 |
| 4.Duvar Alanı | 42.54 |

Denklem (3.6)'da toplam ısı kazanımı formülü verilmiştir.

$$\sum\dot{Q} = \left(\sum\dot{Q}_{yapılardan} + \dot{Q}_{insan} + \dot{Q}_{Aydınlatma} + \cdots + \dot{Q}_{n}\right) \times EF \quad (3.6)$$

Yukarıdaki denklemde; $\sum Q_{yapılardan}$: Yapılardan olan ısı kazanımı (W), $Q_{Aydınlatma}$: Aydınlatmadan olan ısı kazanımı (W) ve Qn: Diğer ısı kazanımlarıdır. Hesaplanan değere %10 EF (emniyet faktörü) eklenmesi hesap güvenilirliği açısından daha doğru sonuçlar verir.

Çizelge 3.5'te beyaz alan için hesaplanan ısı kazançları verilmiştir.

Çizelge 3.5. Beyaz alan toplam ısı kazancı

| **Bileşenler** | **W** | **Hesaplama Sonucu** |
|---|---|---|
| $\dot{Q}_{Pencere}$ | 41.6 | Isı Kazancı |
| $\dot{Q}_{Kapı}$ | 138.2 | Isı Kazancı |
| $\dot{Q}_{Çatı}$ | 1 555.2 | Isı Kazancı |
| $\dot{Q}_{Zemin}$ | 907.2 | Isı Kaybı |

Çizelge 3.5. Beyaz alan toplam ısı kazancı (Devam)

| | | |
|---|---|---|
| $\dot{Q}_{Duvar\ Yön\ 1}$ | 648 | Isı Kazancı |
| $\dot{Q}_{Duvar\ Yön\ 2}$ | 432 | Isı Kazancı |
| $\dot{Q}_{Duvar\ Yön\ 3}$ | 648 | Isı Kazancı |
| $\dot{Q}_{Duvar\ Yön\ 4}$ | 382.9 | Isı Kazancı |
| $\dot{Q}_{İnsan}$ | 583.3 (7 saat için) | Isı Kazancı |
| $\dot{Q}_{Aydınlatma}$ | 4 320 | Isı Kazancı |
| $\dot{Q}_{BT\ Cihazlar}$ | 420 000 | Isı Kazancı |
| **Toplam** | **427 842** | **Isı Kazancı** |
| **Toplam E.F ile** | **470 626** | **Isı Kazancı** |

### 3.4. UPS Yük Hesaplama

Veri merkezi enerji kesintilerinde anlık güç kaybı yaşanmaması gereken cihazlar vardır. Bu kesintiler güvenlik zafiyetine ve veri kayıplarına sebep olabilir. Bu yüzden bu yüklerin UPS'ten beslenmesi gerekmektedir. Bu yükler; tesis aydınlatma sistemleri, sistem izleme odası, güvenlik kameraları, giriş çıkış sistemleri, pano odalarında bulunan enerji analizörleri, sistemlerin haberleşmesini sağlayan otomasyon sistemleri ve yangın algılama-söndürme sistemleridir.

Aşağıda Denklem (3.7)'de BT cihazları kritik yük hesap formülü verilmiştir.

$$BT\ kritik\ yük = kabin\ gücü\ \times\ kabin\ adedi \tag{3.7}$$

Yukarıdaki denklemde; BT kritik yük: Bilgi teknoloji cihazlarının toplam yükü (W), kabin gücü: Kabin başına ihtiyaç duyulan gücü (W) ve kabin adedi: Beyaz alanda bulunan kabin miktarıdır.

Aydınlatma sistem yüklerini hesaplamak için Denklem (3.8)'de aydınlatma sistem ihtiyacı formülü verilmiştir.

$$Aydınlatma\ ihtiyacı = alan\ \times\ aydınlatma\ gereksinimi \tag{3.8}$$

Yukarıdaki denklemde; aydınlatma ihtiyacı: Toplam aydınlatma ihtiyacı, alan: Aydınlatılacak alan miktarını ($m^2$) ve aydınlatma gereksinimi: Aydınlatma için gereken enerji miktarı ($W/m^2$)'dır.

Sistem izleme odası, güvenlik sistemleri ve enerji analizörü toplam yükleri için BT kritik yükün %10'u kadar olduğu kabul edilebilir (Cole, 2019) veya kullanılması planlanan ürünlerin teknik özellikleri tespit edilip toplam BT kritik yüke dahil edilebilir. Denklem (3.9)'da UPS'ten beslenmesi gereken diğer yüklerin hesaplanması için kullanılan formül verilmiştir.

$$Diğer\ kritik\ yükler = \frac{BT\ kritik\ yük \times 10}{100} \tag{3.9}$$

Yukarıdaki denklemde; BT kritik yük: Hesaplanan BT yükünü ifade eder.

UPS'ten beslenmesi gereken yükleri elde etmek için Denklem (3.7), Denklem (3.8) ve Denklem (3.9)'da hesap edilen tüm yükler toplanmalıdır ve kritik tasarım hatalarının önüne geçebilmek için elde edilen değere emniyet faktörü eklenmelidir. Denklem (3.10)'da UPS'ten beslenmesi gereken yük hesaplama formülü verilmiştir.

$$UPS\ besleme = (BT\ kritik\ yük + Diğer\ kritik\ yükler) \times EF \tag{3.10}$$

Yukarıdaki denklemde; BT kritik yük: Hesaplanan BT yükünü, Diğer kritik yükler: Hesaplanan diğer kritik yükleri ifade eder.

### 3.4.1. UPS'ten beslenmesi gereken yükler

Veri merkezinde bulunan kritik yüklerde beklenmeyen kesintiler yaşanması durumunda veri kayıpları, maliyet artışı, iş sürekliğinin bozulması ve işletmeye olan güven ve itibar kayıplarının önüne geçmek için kesinti ihtimallerine önlem almak gerekmektedir. BT cihazları dışındaki diğer kritik yükler aşağıdaki gibidir.

Veri Merkezi Aydınlatma Enerji İhtiyacı: Veri merkezlerinde enerji kesintisi durumlarında aydınlatmanın gitmemesi operasyon ve güvenlik açısından kritiktir.

Sistem İzleme Odası Enerji İhtiyacı: Tüm kritik kararların alındığı oda olan sistem izleme odası; veri merkezindeki sistem sağlığı ve veri akışını izlemek için otomasyon sisteminden gelen verilere kesintisiz erişmesi gerekmektedir.

Güvenlik Kameraları ve Giriş Çıkış Sistemleri Enerji İhtiyacı: Enerji kesintisi anında veri merkezi kameralarının ve giriş çıkış sistemlerinin devrede olup güvenlik ihlalinin sağlanmaması gerekir. Bu yüzden kesinti ihtimali istenmemektedir.

Enerji Analizörü Enerji İhtiyacı: Enerji analizörleri, veri merkezindeki enerji tüketimini izlemek ve analiz etmek için kullanılır. Enerji kesintisi durumunda veya arıza durumunda noktasal olarak kesintinin sebebini bilebilmemiz için enerji analizörlerinin UPS'ten beslenmesi kritik önem taşır.

Otomasyon Sistem İhtiyaçları: Veri merkezinde kullanılan otomasyon sistemleri, kontrol, izleme ve düzenleme işlevlerini gerçekleştirmek için enerjiye ihtiyaç duyar. Arıza tespiti için verilerin güvenilir ve kesintisiz şekilde gelmesi gerekmektedir (Genli, 2005).

### 3.5. UPS Odası Isı Kazancı Hesabı

Bilgi teknoloji cihazlarının kesintisiz bir şekilde enerjilendirilmesi için UPS odasında bulunan UPS sisteminin ve akülerin uygun iklimlendirme koşullarında muhafaza edilmesi önemlidir. Uygun koşullarda tutulan UPS sistemleri daha uzun ömürlü olurlar ve daha verimli enerjilendirme yaparak işletme maliyetlerini düşürürler. Bu yüzden ısı kazancı hesabı yapılması cihaz seçimi için kritiktir.

6 m genişliğinde 10 m uzunluğunda 4 m yüksekliğinde UPS odası için ideal sıcaklık %50 bağıl nemde 24˚C'dir ve ısı kazancı hesabı için beyaz alan oda hesabındaki yönler referans alınarak hesaplanmıştır.

Aşağıda Çizelge 3.6'da UPS oda alanları verilmiştir.

Çizelge 3.6. UPS oda alanları

| | |
|---|---|
| Kapı Alanı | 4.5 |
| Çatı Alanı | 60 |
| Zemin Alanı | 60 |
| 1.Duvar Alanı | 24 |
| 2.Duvar Alanı | 35.5 |
| 3.Duvar Alanı | 24 |
| 4.Duvar Alanı | 40 |

Veri merkezlerinde kullanlan UPS sistemleri minimum %90 verimliliğe sahip olmalıdır. UPS verimlilik yüzdesini kullanarak, UPS tarafından üretilecek ısı miktarı %10 olur. Bataryaların sürekli olarak tamamen şarj edilip boşalması ömrünü kısaltır ve verimlilik kaybına neden olur. Bu nedenle, genellikle bataryaların tam kapasitede kullanılması yerine bir işletim aralığı içinde çalışması ve şarj faktörünün belli bir değerin altına düşmemesi tercih edilir. Bu kayıp değerin %20'dir (Cole, 2019).

UPS ve batarya verimlilik oranları genellikle cihazların kataloglarında mevcuttur. Bu katalog değerleri hesap kolaylığı açısından bize referans olurlar. Aşağıda Çizelge 3.7'de UPS verimsizlik yük oranları verilmiştir.

Çizelge 3.7. UPS verimsizlik yükü

| | |
|---|---|
| UPS verimsizliği | %10 |
| Batarya verimsizliği | %20 |

Denklem (3.11)'de UPS verimsizlik yükü verilmiştir.

$$\dot{Q}_{verimsizlik} = \frac{\sum_{UPS\ krtik\ yük} \times \sum_{verimsizlik}}{100} \tag{3.11}$$

Yukarıdaki denklemde; $\sum_{UPS\ kritik\ yük}$: UPS'deki toplam kritik yük ve $\sum_{verimsizlik}$: Toplam verimsizliktir.

UPS odası duvar alan büyüklükleri hesapladıktan sonra, duvar malzemelerini ısı iletim katsayısı belirlenerek oluşabilecek ortam sıcaklık farklılıklarıyla hesaplamalar yapılmalıdır. Çizelge 3.8'de UPS odası için hesaplanan ısı kazançları verilmiştir.

Çizelge 3.8. UPS odası toplam ısı kazancı

| **Bileşenler** | **W** | **Hesaplama Sonucu** |
|---|---|---|
| $\dot{Q}_{Kapı}$ | 99 | Isı Kazancı |
| $\dot{Q}_{Çatı}$ | 360 | Isı Kazancı |
| $\dot{Q}_{Zemin}$ | 324 | Isı Kaybı |
| $\dot{Q}_{Duvar\ Yön\ 1}$ | 180 | Isı Kazancı |
| $\dot{Q}_{Duvar\ Yön\ 2}$ | 266.3 | Isı Kazancı |
| $\dot{Q}_{Duvar\ Yön\ 3}$ | 180 | Isı Kazancı |
| $\dot{Q}_{Duvar\ Yön\ 4}$ | 300 | Isı Kazancı |
| $\dot{Q}_{İnsan}$ | 125 (3 saat için) | Isı Kazancı |

Çizelge 3.8. UPS odası toplam ısı kazancı (Devam)

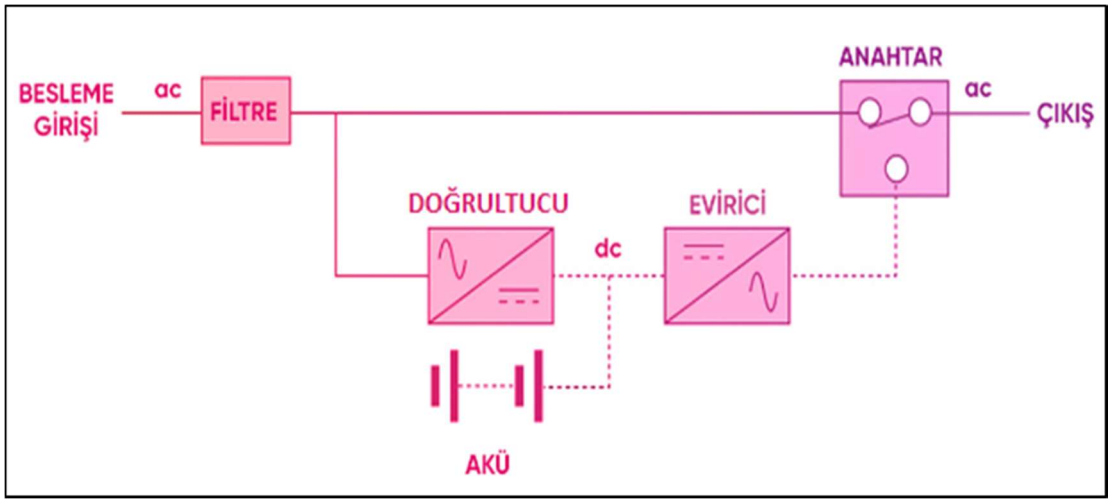
| | | |
|---|---|---|
| $\dot{Q}_{Aydınlatma}$ | 1 200 | Isı Kazancı |
| $\dot{Q}_{UPS\ Kayıpları}$ | 152 460 | Isı Kazancı |
| **Toplam** | **154 846** | **Isı Kazancı** |
| **Toplam E.F ile** | **170 331** | **Isı Kazancı** |

### 3.6. UPS Yöntem Seçimi

Alternatif akımın doğrultucu vasıtasıyla akülere depolanmasını ve şebeke gerilimin düzenlenip beyaz alanı beslemesini sağlayan sistemdir. Kesintisiz güç kaynağında sistem yük altındayken gerilim dalgalanmaları istenmemektedir. Bu yüzden kritik sisteme sahip tüm sektörlerde kullanılır (Şen, 2019). Kesinti durumlarında şebekeden veya jeneratörden tekrar enerji akışı sağlanana kadar akülerden bilgi teknoloji cihazlarının enerjilendirilmesini sağlar.

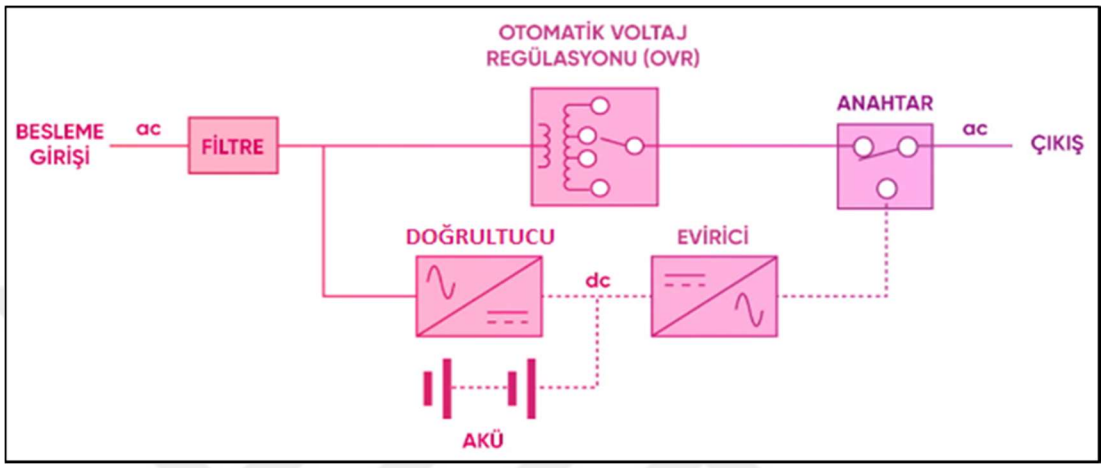
Veri merkezlerinde kullanılan UPS sistemleri, elektrik kesintilerine karşı önlem almak ve önemsiz aksamaları engellemek için kullanılır. UPS sistemleri, aşağıdaki çeşitleri ve özellikleriyle farklı türlere ayrılmaktadır;

Beklemeli UPS: Ana güç kaynağı kesildiğinde devreye giren bir inverter ve bataryadan oluşur. Genellikle küçük ofislerde ve ev kullanıcıları için tercih edilen bir çözümdür. Kesinti anında geçiş süresi vardır, bu da bir süreliğine elektrik kesintisi yaşanacağı anlamına gelir. Şekil 3.3'te beklemeli UPS diyagramı verilmiştir (Parakende, 2023).



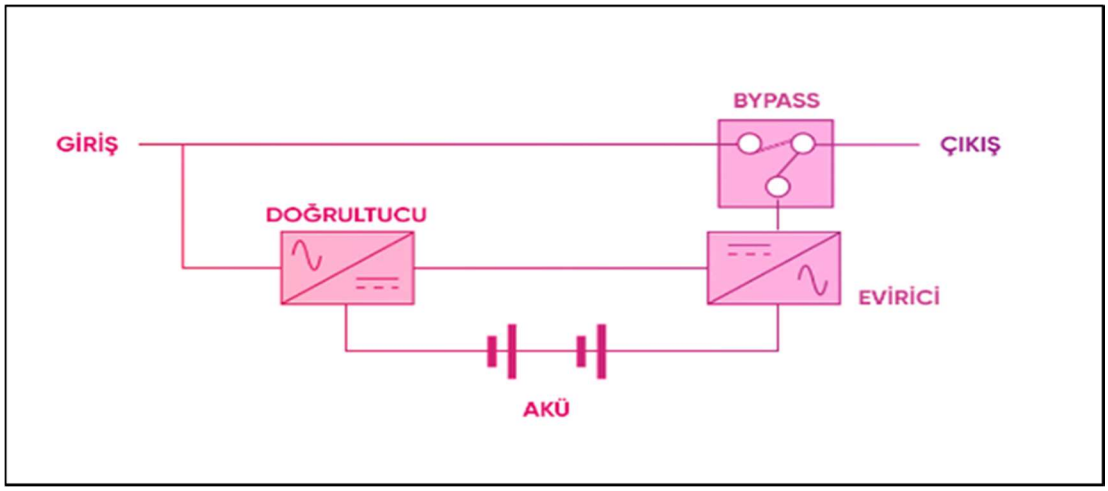

Şekil 3.3. Beklemeli UPS diyagramı (Parakende, 2023)

Hat Etkileşimli UPS: Giriş voltajındaki dalgalanmalara karşı da koruma sağlar. Bazı modeller, gerilim düşmesi veya artışı durumunda otomatik voltaj regülasyonu yaparak bağlı cihazları koruma altına alır. Geçiş süresi standart bir beklemeli UPS 'e göre daha düşüktür. Çok hassas cihazlar için kullanımı uygun değilir. Şekil 3.4'te hat etkileşimli UPS diyagramı verilmiştir (Parakende, 2023).




Şekil 3.4. Hat etkileşimli UPS diyagramı (Parakende, 2023)

Aktif Çift Çevrimli UPS: Sürekli çıkış gücü sağlayarak en yüksek korumayı sunar. Ana güç kaynağı doğrudan invertere bağlıdır ve bağlı elektronik ekipman her zaman bu inverter tarafından beslenir. Giriş elektriği, doğrultucu üzerinden bataryalara ve invertere beslenir. Bu şekilde, elektrik kesilmelerinde bile kesinti yaşanmaz. Hassas cihazlar için kullanılması en uygun UPS çeşitidir. Şekil 3.5'te Aktif çift çevrimli UPS diyagramı verilmiştir (Parakende, 2023).




Şekil 3.5. Aktif çift çevrimli UPS diyagramı (Parakende, 2023)

UPS sistemlerinin özellikleri arasında bulunması gereken özellikler;

Yüksek verimilik: Yüksek verimli cihazlar uzun kullanım koşullarında daha az verimli cihazlara göre oldukça avatajlılıdır. Yatırım maliyeti hsaplanırken verimlilik göz önünde bulundurularak hesap yapılmalıdır. Denklem (3.12)'de UPS verimlilik formülü verilmiştir.

$$\eta_{UPS} = \frac{W_{Çıkış}}{W_{Giriş}} \tag{3.12}$$

Yukarıdaki denklemde; $W_{çıkış}$: UPS çıkış gücü (W) ve $W_{giriş}$: UPS giriş gücü (W)'dür.

Kapasite: UPS, güç kayıplarında ne kadar süreyle enerji sağlayabileceğini belirten bir kapasiteye sahiptir. Bu kapasite, bağlı cihazların güç tüketimi ve kullanım amacına bağlı olarak değişir. Yüksek enerji tüketime sahip cihazlar ve demeraj akımı yüksek olan mekanik yükler için uygun bir kapasite seçilmelidir.

Paralel Bağlanabilirlik: Bazı UPS modelleri, daha yüksek güç kapasitelerine ulaşmak için paralel bağlanabilir. Bu, birden fazla UPS'i birleştirerek yedekleme gücünü artırmayı sağlar.

Otomatik Gerilim Regülasyonu: Hat etkileşimli ve Aktif çift çevrimli UPS genellikle otomatik voltaj regülasyonu (OVR) özelliğine sahiptir. Bu özellik, yüksek veya düşük gerilim seviyelerine karşı koruma sağlar ve bağlı cihazları stabil bir gerilim seviyesinde tutar.

Aktif çift çevrimli UPS veri merkezi uygulamaları için piyasada kullanılan en uygun UPS sistemidir. Monoblok veya modüler şekilde olabilir. Monoblok UPS sistem parçaları cihazın içerisinde gömülü şekildedir ve modüler UPS'e göre daha ucuzdur. Modüler UPS'te ise fanlar, kontrol üniteleri,kondansatörler vb. parçalar sökülüp takılabilir şekildedir. UPS marka ve özellik seçimi yaparken arıza veya bakım durumlarında cihazların kesintiye uğramaması için modüler cihaz tercihi daha uygundur.

UPS'te sistemin yarı maliyetini aküler oluşturur. Yapılan en önemli hatalardan biri ucuz olduğu için kalitesiz akü seçimi yapmaktır. Sulu akülerin ömrü veri merkezi için ortalama 5-10 sene arasında değişirken jel tipi akülerin ömrü 15-20 seneye kadar çıkabilir. Jel tipi aküler sulu tip akülere göre 2.5 kat daha maliyetlidir. Sulu aküler şarj deşarj sırasında ortama kimyasal salınım yaptığı için maliyet konusunda sıkıntı yoksa jel akü kullanımı tercih edilmelidir. Minimum UPS verimi veri merkezleri için %96'dan daha fazla olmalıdır. UPS %50 yükte en yüksek verimliliği kullanıcıya sunar ve yük arttıkça bir miktar verimlilik düşer. Her UPS'in ömürlü parçaları vardır. Piyasada ki en kaliteli UPS tercih edilse bile fan, kondansatör ve akü gibi ömürlü parçaların değiştirilmesi ve bakımlarının düzenli yapılması şarttır. UPS ortam şartlarının stabil olduğu ve bakımların düzenli yapıldığı durumlarda ömürleri ve verimliliği uzar. Soğuk ortamlarda akü ömrü uzarken UPS'in yüke binmesi zaman alır. Sıcak ortamlarda ise akünün yüke binmesi hızlı olurken akü ömrü azalır.

### 3.7. Jeneratör Sistem Seçimi

Jeneratör, mekanik enerjiyi alternetör yardımıyla elektrik enerjisine çeviren mekanik cihazlardır. Veri merkezinin enerji gereksinimleri için yedek güç kaynağı olarak kullanılan jeneratörler, elektrik kesintileri veya sorunları durumunda devreye girerler. Veri merkezinde yedek güç kaynağı olarak jeneratör kullanılması, enerji kaynaklı kesintilere karşı koruma sağlar. Veri merkezlerinde genellikle dizel yakıtlı jeneratörler tercih edilir. Ayrıca jeneratörün yük altındaki değeri jeneratör sağlığı için önemlidir. Bu sebeple jeneratör seçimi yaparken çok küçük yüklerde veya çok büyük yüklerde jeneratör seçilmemelidir (Yıldırım, 2014). Şebeke enerjisinde oluşabilecek herhangi bir arıza veya bakım durumlarında jeneratörün tüm veri merkezine enerji sağlaması gerekmektedir. Bu enerjiyi sağlaması için de yakıta ihtiyacı vardır. Veri merkezinde jeneratör seçimi yapılırken oluşabilecek olumsuzluklara karşı yakıt depolama sistemleri de beraberinde düşünülmelidir. Fosil kaynaklı yakıt olan dizel orta ve uzun vadede depolandığında nemlenme ve partiküllenme olabilir (Işık ve Yavuz, 2022). Bu yakıtın kalitesini bozacağı için önlem olarak yakıt hazırlama (Fuel Polishing) sistemlerini entegre edilmelidir. Sistem verimliliği için yakıt tankının düzenli olarak filtrelenmesi önerilir (Chesneau vd., 1995). Şekil 3.6'da yakıt hazırlama sistem uygulaması verilmiştir (Anonim, 2022a).



Şekil 3.6. Yakıt hazırlama sistemi (Anonim, 2022a)

Jeneratör seçimi yapılırken tesis gücü dikkate alınmalıdır. Tesiste kesinti anında tüm enerji kesilecek jeneratör devreye girene kadar cihazlar enerjisiz kalacaktır. Soğutma cihazları içerisinde bulundurduğu kompresörler ve motorlar sebebiyle kalkış güçleri yüksektir. Bu yüklere uygun jeneratör seçimi yapmak önemlidir. Bu yüzden veri merkezleri için mekanik yükleri 1.55 çarpanıyla diğer yükleri ise 1.3 çarpanıyla hesaplanmalıdır (Cole, 2019). Aşağıda Denklem (3.13), (3.14) ve (3.15)'te toplam tesis gücü hesaplama formülleri verilmiştir.

$$Toplam\ mekanik\ yük = Mekanik\ yükler\ \times\ 1.55 \tag{3.13}$$

Yukarıdaki denklemde; Mekanik yük: Tesiste çalışan motor yüklerini ifade eder.

$$Toplam\ UPS\ yük = UPS\ yükü\ \times\ 1.3 \tag{3.14}$$

Yukarıdaki denklemde; UPS yükü: Tesiste UPS'ten çalışacak yükleri ifade eder.

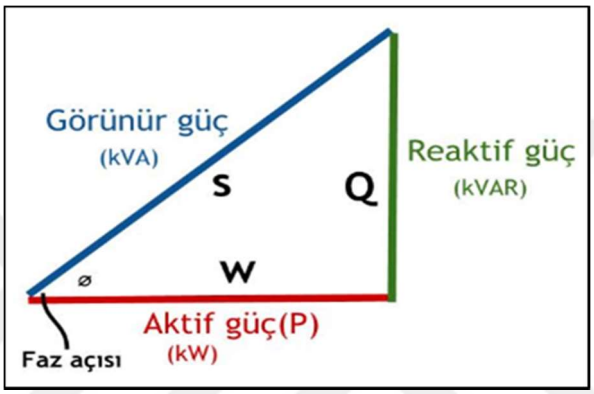
$$Toplam\ tesis\ gücü = Toplam\ mekanik\ yük + Toplam\ UPS\ yükü \tag{3.15}$$

Denklem (3.16)'da trafo gücü hesaplama formülü verilmiştir.

$$Güç\ ihtiyacı = \frac{Tesis\ gücü}{Güç\ faktörü} \times EF \tag{3.16}$$

Yukarıdaki denklemde; Tesis gücü: Tesisin toplam gücüdür, Güç faktörü: Genel olarak jeneratör kayıplarından dolayı 0.8 alınır, EF: Emniyet faktörüdür ve %25 uygundur.

Alternatif akımda kW ile kVA bibirinden farklıdır. Bu farklılık, reaktif güç (kVAr) tüketimi nedeniyle güç faktöründen kaynaklanır. kW, aktif gücü ifade ederken, kVA, toplam gücü ifade eder. Bu nedenle, güç faktörüne bağlı olarak kW ve kVA değerleri farklı olur. Aşağıda Şekil 3.7'de güç üçgeni verilmiştir (Kara, 2022).




Şekil 3.7. Güç üçgeni (Kara, 2022)

### 3.8. Trafo Seçimi

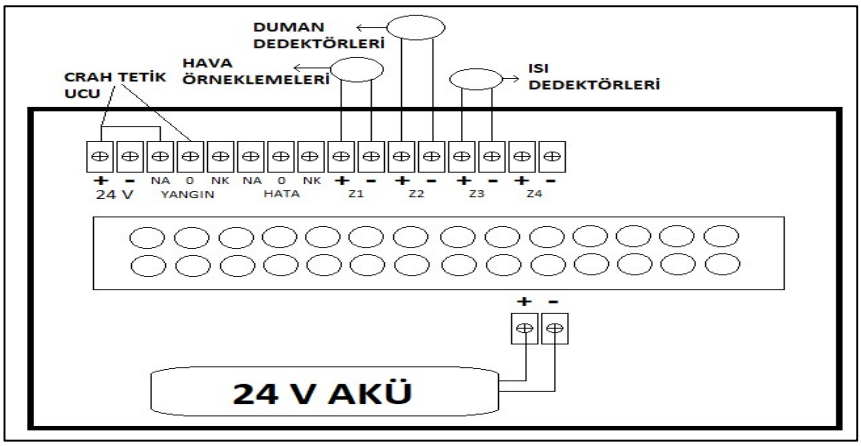
Trafo, elektrik enerjisinin niceliğini yani akım ve gerilim değerini sabit frekansta dönüştürerek ihtiyaç duyulan seviyeye getiren elektrik makineleridir (Özkan, 2014). Trafo seçimi yaparken veri merkezi için gereken güç çıkış kapasitesi hesaplanmalıdır. Bunun yanı sıra, trafo çıkış gerilimi ve yüksek elektrik verimliliği de dikkate alınmalıdır. Trafo güç faktörü kullanılan trafo çeşitine göre değişkenlik göstermektedir. Trafo kapasite tayini Denklem (3.16)'daki formül ile tayin edilmektedir. Ayrıca trafo kapasitesi, öngörülen kapasite artışları göz önüne alınarak planlanmalıdır.

Veri merkezlerinde çeşitli avantajlarından dolayı kuru tip trafo kullanılması önerilmektedir. Kuru tip trafolar, düşük gerilimli bir transformatör olması nedeniyle daha küçük bir alan gerektirir. Kuru tip trafo sistemleri özellikle yoğun trafikli şehir merkezlerinde ve kapalı alanlarda tercih edilmektedir. Çünkü sızıntı, yangın ve çevre kirliliği riski minimum seviyededir (Gezegin vd., 2016).

### 3.9. Yangın Algılama ve Söndürme Sistemi Ekipman Seçimi

Veri merkezleri için yangın algılama ve söndürme sistemlerinin etkin ve güvenilir olması çok önemlidir. Veri merkezleri için yaygın olarak kullanılan HFC-227ea (FM 200) gazlı söndürme sistemi tercih edilir. Tasarımı ve dizaynı yasal zorunluluk olan HFC-227ea gazı TS EN15004 standartına göre tasarlanmalıdır. Tasarlanması gereken sistemde insan tahliyesi öncelikli daha sonra söndürme amaçlanmalıdır. Söndürme sistemi tasarlamadan önce LOAEL (Etki görülen tehlike yoğunluk limiti) ve NOAEL (Etki görülmeye başlayan yoğunluk limiti) hesaplamaları uzmanlar tarafından yapılmalıdır. Gazın yoğunluğunun fazla olduğu durumlarda insanlar üzerinde olumsuz etki oluşturduğu (LOAEL) ve gaz yoğunluğunun az olduğu durumlarda (NOAEL) ise söndürme yoğunluğunun yetersizliği ile alakalıdır (Aktaş, 2011). Gaz hacmi hesabı, tank seçimi, nozullar arası mesafe, basınç değeri gibi konular uzmanlık gerektirir. Uzman yangın firmaları tarafından çeşitli programlarla hesaplanması daha doğrudur. Veri merkezleri için yangın algılama ve uyarı sistem tasarımı yapıldığı taktirde;

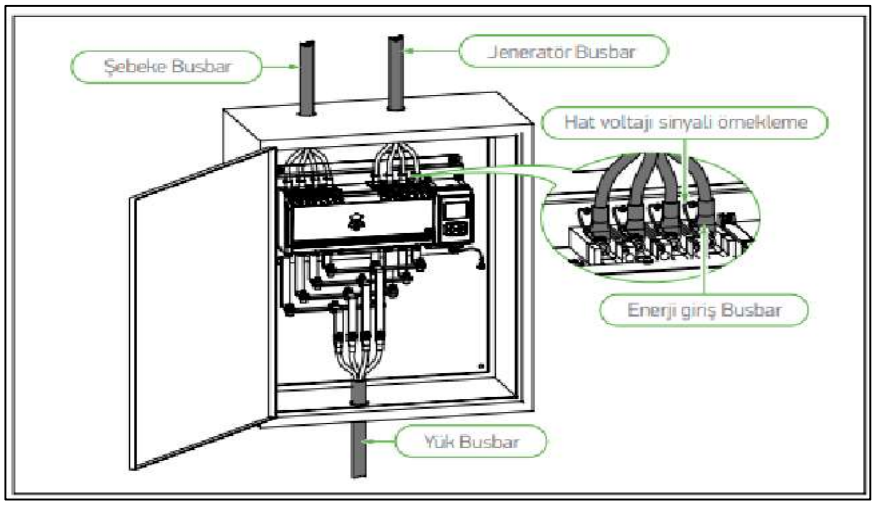
3 farklı bölgeden (zone) alarm almak için farklı bölge destekli yangın paneli kullanmalıdır. Bu güvenilirliği maksimum düzeyde tutar. Her kapalı koridor için 1. Bölgeye hava örneklemesi bağlantısı yaparak sürekli hava partikül analizi yapılmalıdır. 2. Bölgeye duman dedektörleri bağlanmalı 3. Bölgeye ise ısı dedektörleri bağlanmalıdır. Böylelikle herhangi bir bölgeden alarm geldiği zaman yangına erken müdahale şansı artar ve geri dönüşü olmayan zararların önüne geçilir. Yangın dedektörlerinin üzerinde bildirim ışıkları olması nokta atışı yangın tespiti yapmak için önemlidir. Her bir bölgeye bağlı sesli ve flaşörlü ikaz sistemleri entegre edilmelidir. Yangın panosu iki farklı bölgeden alarm algıdığı zaman otomatik geri sayımı başlatarak Crah'leri otomatik kapatarak hava sirkülayonunu durdurup yangın söndürme işlemini başlatmalıdır. Yükseltilmiş döşeme ve asma tavan üzerinde de ledli yangın algılama dedektörleri bulunması önemlidir. Bazı durumlarda erken yangın algılama sistemleri sayesinde tespit edilen küçük çaplı yangınlara taşınabilir gazlı söndürme tüpleriyle müdahale edilebilir ve sistemi kesintiye uğratmadan yangının önüne geçilebilir. Şekil 3.8'de yangın algılandığı zaman Crah'lerin hava sirkülasyonunu kapatması için panel tetik ucu bağlantısı gösterilmiştir.




Şekil 3.8. Yangın paneli Crah modül bağlantısı

### 3.10. Enerji İletim ve Transfer Seçimi

Veri merkezlerinde tüm hatlar yedekli olduğu için Otomatik Transfer Şalterine (Automatic Transfer Switch, ATS) ihtiyaç duyarız. Otomatik transfer şalteri, elektrik güç kaynakları arasında otomatik olarak geçiş yapabilen bir elektrik anahtarlama cihazıdır. Otomatik transfer şalteri, birincil güç kaynağındaki bir arıza veya kesinti durumunda diğer güç kaynağına geçiş yaparak sürekli güç sağlar. Geçişler genelde kesintili olur. Kesinti süresi cihazların başlama süreleri kadardır. ATS seçimi cihazların anma akımına göre seçilmelidir (Şen, 2019). Şekil 3.9'da ATS bağlantı şeması verilmiştir (Sigma, 2021).




Şekil 3.9. ATS bağlantı şeması (Sigma, 2021)

ATS'lerde kullanılan üç ana geçiş türü vardır. Bunlar gecikmeli geçiş, açık geçiş ve kapalı geçiştir.

Gecikmeli geçişte ATS enerji kesintisinde yükü birincil kaynaktan ikincil kaynağa aktarmak için keser. Bu nedenle cihazların 0 konumunda olduğu ve bu konumda ne kadar süre kalacacığını belirleyen bir zamanlayıcıya sahiptir. Gecikmeli geçişli ATS'ler genellikle çok hassas cihazların ve veri merkezlerinin bulunduğu ortamlarda kullanılır.

Açık geçiş ATS enerji kesintisinde yükü birincil kaynaktan ikincil kaynağa aktarırken gecikmeli geçişte olduğu gibi 0 konumu mevcut değildir. Bu özellik sayesinde iki enerji kaynağı arasında ki aktarım 50 ms'nin altınada çok ufak bir sürede sağlanmış olur.

Kapalı geçişte ise enerji kesintisi olmadan önce birincil kaynak ve ikincil kaynak birbiriyle senkron olur. Enerji kesintisi meydana geldiğinde enerji kesintisiz olarak diğer hat üzerinden beslenir. Kapalı geçişli ATS'ler genellikle veri merkezleri gibi yüksek güvenilirlik gerektiren uygulamalarda kullanılır (ABB, 2021).

Busbar (bar tipi iletim) sistemi veri merkezi uygulamalarında zamanla daha çok tercih edilmeye başlamıştır. Busbar elektrik enerjisini iletmek için kullanılan kalın ve düz bir metal barı ifade eder. Bu büyük akım kapasiteli taşıyıcı, enerji dağıtım sistemlerinde ve elektrik panolarında kullanılan bir iletim yoludur. Genellikle bakır veya alüminyum gibi iletken metallerden yapılır.

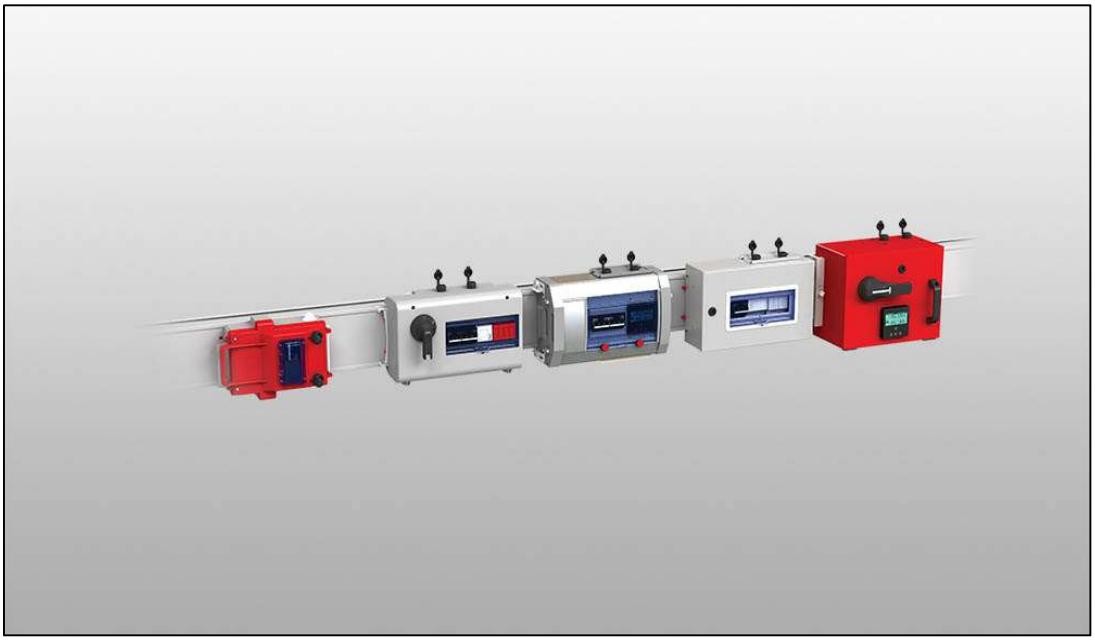
Çok sayıda elektrik devresinin birleştirilmesi gerektiğinde, büyük akımları etkili bir şekilde taşımak için tek bir bar kullanılır. Bu, enerjinin düşük dirençle transfer edilmesini sağlar ve güvenilir bir güç dağıtımının temelini oluşturur.

Busbar'ların diğer avantajları; büyük miktarda enerjiyi küçük bir alanda taşıyabilme avantajına sahip olduğundan mekan tasarrufu sağlar ve modüler yapısı sebebiyle kurulumu kolaydır. Busbarlar kabin enerjilendirme için en etkin imkanı sunar. Bu herhangi bir su kaçağı olasılığına karşı enerji hattının kısa devre yapmasını ve zemin altı kablolama karmaşıklığının önüne geçilmesi için birebirdir. Şekil 3.10'da Busbar verilmiştir (EAE, 2023).




Şekil 3.10. Busbar (EAE, 2023)

Busbardan kabinleri enerjilendirmek için tap off box'lar (Busbar çıkış kutusu olarak bilinir) yardımıyla kabin enerjilendirilmesi yapılır. Tesis yük dağılımını düzgün şekilde yapabilmek için genellikle 3 faz destekli Busbar çıkış kutusu kullanılması güç dağıtımı için önemlidir. Tek faz (monofoz) Busbar çıkış kutusu kullanıldığı taktirde her hat için fazlar arası dengeyi kurmak zorlaşacaktır. Şekil 3.11'de Busbar çıkış kutuları gösterilmiştir (EAE 2023).



Şekil 3.11. Busbar çıkış kutuları (EAE, 2023)

Busbar çıkış kutularına bağlanan PDU yardımıyla her bir bilgi teknoloji cihazı enerjilendirilir. PDU üzerindeki haberleşme ve sensör girişleri yardımıyla güç tüketim verileri, sıcaklık bilgileri, nem bilgileri alınabilir ve uzaktan PDU çıkışlarının enerjisini açıp kapama kontrolü yapılmaktadır.

Genel olarak piyasada kullanılan PDU'lar 32 amper çekebilecek güçtedir. Bilgi teknloloji cihazlarında yedekliliği sağlamak için cihazların güç kaynaklarının PDU A ve PDU B şeklinde bağlantıları yapılmalı ve PDU başına 16 amperden fazla yük bağlanmamalıdır ki hat kesintisinde PDU yükü kendi üzerine alabilsin. 32 amperi aşabilecek kabin uygulamalarında kabin başı PDU sayısını arttırmak yük dağılımının daha rahat yapılmasını sağlar. Şekil 3.12'de PDU kabin montajı verilmiştir (APC, 2023).



Şekil 3.12. PDU kabin montajı (APC, 2023)

Şebeke ve jeneratör arasındaki geçişlerde kapalı geçiş ATS'ler tercih edilirken, Crah'lerde ve Chillerde gecikmeli geçiş ATS'ler mekanik yüklü cihazlarda oluşabilecek akım ve voltaj dalgalanmalarında cihazların etkilenmemesi için tercih edilmektedir. Bu yüzden Crah'lerde ve Chillerde kısa süreli kesinti yaşanmaktadır.

Trafo A hattından çıkan enerji ve Trafo B hattından çıkan enerji kaynakları ATS'lere giriş yapar. Chiller A'nın ATS'nin birincil kaynağı Trafo A hattı, Chiller B'nin ATS'nin birincil kaynağı ise Trafo B hattı olacak şekilde bağlantılarının yapılması gerekmektedir. Bu bağlantı eş yaşlanma prensibine göre ve yük durumuna göre beraber çalıştırılması planlanan Chillerlerde A veya B hattında oluşabilecek kesinti durumlarında sağlam olan hatta çalışan Chillerin dur kalk yapmadan sistem odasını iklimlendirmeye devam edebilmesine olanak sağlar. Bu sırada kesintiye uğrayan hat ATS sayesinde ikincil kaynaktan enerjilendirilerek sistem devamlılığı sağlanmış olur (kesintiye uğrayan hat kaynak değişimi yaptığı için dur kalk yaparak çalışır).

Veri merkezi beyaz alanda ise bazı Crah'ler A hattından enerjilendirilirken bazı Crah'ler B hattından enerjilendirilmelidir. ATS'lerde gecikmeli geçiş uygulanacağı için her Crah gecikme süresi 1'er dakika arayla ayarlanmalıdır. Böylece Crahler ikincil kaynaktan birincil kaynağı, kaynak transferi yapacağı zaman Crah'ler aynı zamanda dur kalk yapmadan 1'er dakika arayla dur kalk yapar. Bu yöntem beyaz alan iklimlendirme stabilizasyonu sağlayarak cihazlar üzerine ekstra yük bindirmemektedir.

### 3.11. Veri Merkezi Soğutma Sistem Seçimi

Veri merkezinin toplam ısı kazancı hesabı yapıldıktan sonra veri merkezi soğutma sistem tercihi yapılmalıdır. Ankara iklim koşullarında hava sıcaklığı serbest soğutma yapmaya elverişlidir. Sulu soğutma sistemleri hava soğutma sistemlerine göre %30 daha verimlidir (Cole, 2019).

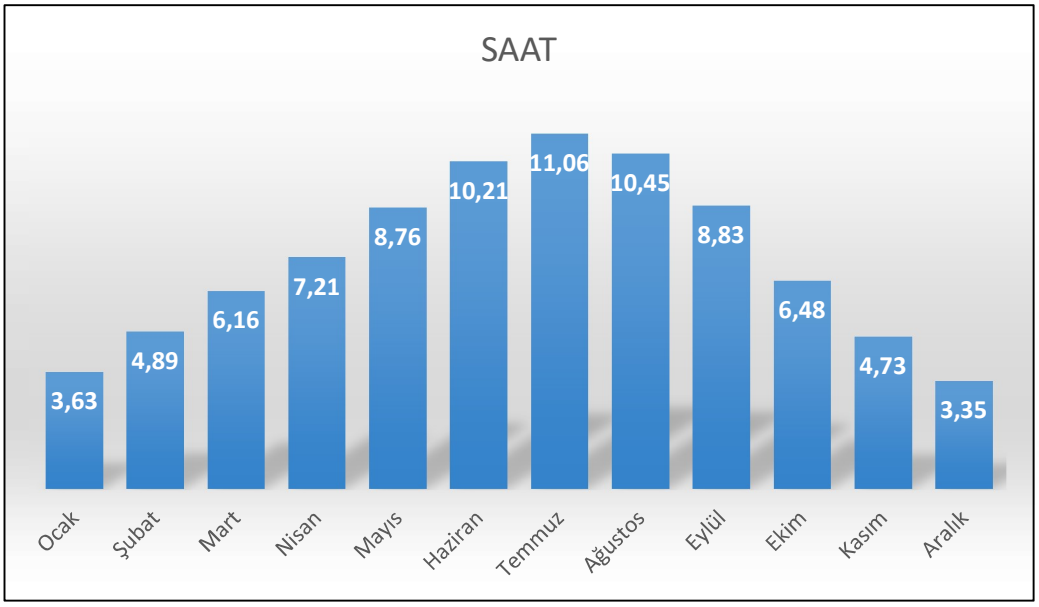
Genel olarak veri merkezleri için su soğutmalı Chiller ve Crah uygulaması tercih edilmektedir. Bu uygulama güvelilirdir ve işletme bakım maliyetleri düşüktür. Dezavantaj olarak sistem için donanımlı personel bulundurulmalıdır. Bu uygulamada Crah'ler için ihtiyaç duyulan soğutulmuş su, kapalı çevrim Chiller tarafından

soğutulup her bir Crah'e ayrı ayrı tesisat hattından iletilecektir. Bu sayede Crah'lerin içerisinde ne ekstradan bir soğutma eşanjörü ne de kompresör bulunması gerekmektedir. Crah içerisinde su geçisine izin veren vana, nem ihtiyacı durumunda nemlendirme tankı, nem fazlalığı durumunda nem alma mekanizması ve ısı transferi için EC Fanlar (Electronically Commutated Fans, Elektronik Kontrollü Fanlar) bulunmaktadır. İşletme durumunda Crah'lerde kompresör arızası meydana gelmeyeceği için sistemde kesinti olma olasılığı minimize edilmiştir ve daha verimli bir soğutma sağlamaktadır.

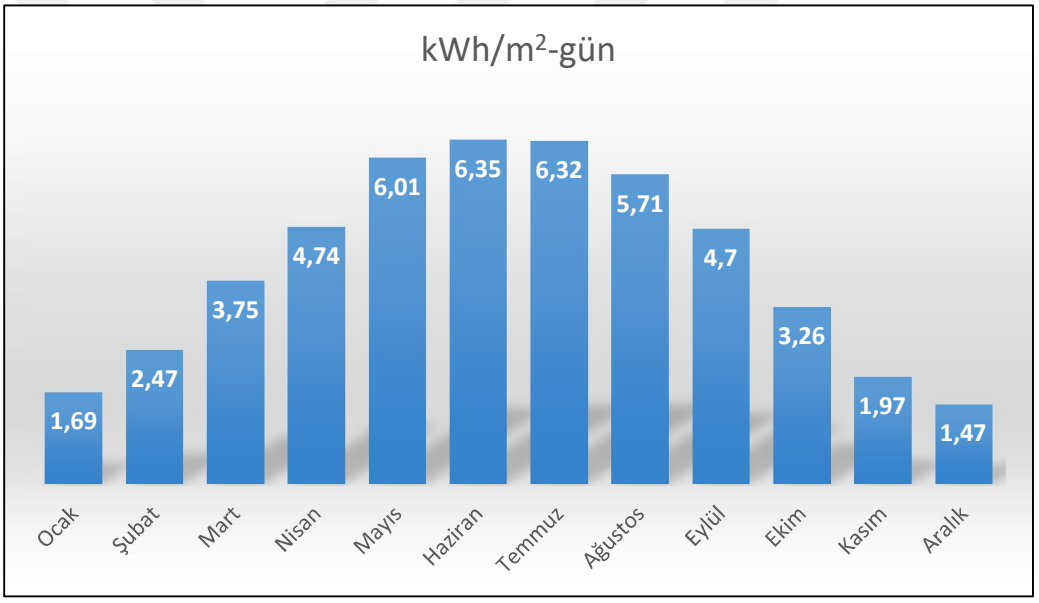
Chiller kapalı devre su soğutmalı chiller olarak üzerinde dış ortam sıcaklığına göre serbest soğutma (free-cooling) yapabilen eşanjör ve dış ortam sıcaklığının yüksek olduğu durumlarda soğutma yapabilmesi için kompresör ve EC fanlar bulunmaktadır. Sıvı soğutmalı Chiller için hat üzerinde akış, sıcaklık ve basınç sensörleri bulunmalıdır. Soğutma işlemi sistem çalışma senaryoları gereği otomasyon tarafından sağlanacaktır. Örneğin; Dış ortam sıcaklığı 16˚C ve altında olduğu durumlarda Chiller %100 Freecooling durumunda olacaktır ve dış ortam sıcaklığı arttıkça Chiller içerisinde bulunan kompresörler sistem yük durumuna göre kademeli olarak açılarak gazlı soğutma yapacaktır.

### 3.12. Fotovoltaik Sistem Seçimi

Yüksek enerji tüketim değerlerine sahip tesislerde enerji maliyetini azaltmanın en güzel yollarından biri fotovoltaik sistemler vasıtasıyla güneşten bedava elektrik enerji üretmektir. Yenilenebilir ve yeşil enerji olan güneş enerjisinden maksimum düzeyde faydalanmak önemlidir. Güneş enerji potansiyeli enerji üretimi için elverişli olan ülkemizde Ankara için güneşlenme süreleri Şekil 3.13'de verilmiştir (GEPA, 2023). Şekilde görüldüğü üzere Ankara ili günlük ortalama güneşlenme süresi 7.15 saattir. Şekil 3.14'de ise Ankara ili global radyasyon değeri verilmiştir (GEPA, 2023).




Şekil 3.13. Ankara güneşlenme süreleri (GEPA, 2023)




Şekil 3.14. Ankara global radyasyon değerleri (GEPA, 2023)

Fotovoltaik güç sistemlerinde verimliliği etkileyen bir çok parametre vardır. Bu parametreler güç kayıplarına sebep olur. Bu parametreler fotovoltaik panelin kurulduğu ortam ile alakalı olan sıcaklık, tozlanma ve karlanma gibi sebeplerken diğer parametreler ise solar sistemlerde kullanılan malzeme kalitesi, AC-DC kayıpları ve cihaz kayıplarıdır (Boztepe, 2017).

Denklem (3.17)'de toplam fotovoltaik panel gücü formülü verilmiştir.

$$W_{FV} = N \times P_{max} \quad (3.17)$$

Yukarıdaki denklemde; N: Toplam panel sayısı ve $P_{max}$: Panelin maksimum gücüdür.

Panel güçleri fabrika koşullarında standart 25 °C'de elde edilen değerlerdir. Fotovoltaik panel güç çıkışı ile panel sıcaklığı ters orantılıdır. Panel sıcaklığı arttıkça fotovoltaik panel güç çıkışı azalır. Denklem (3.18)'de fotovoltaik panel verim formülü verilmiştir.

$$Sıcaklık\ verimsizliği = güç\ sıcaklık\ kat. \times (panel\ sıc. - fabrika\ sıc.deg.) \quad (3.18)$$

Yukarıdaki denklemde; güç sıcaklık katsayısı: Panelin güç sıcaklık katsayısı (%/°C), panel sıcaklığı: Panelin maksimum çalışma sıcaklığı (°C) ve fabrika sıc. değeri: Panelin fabrika şartlarında çalışma sıcaklığı (°C)'dır.

AC yükler için tasarlanan fotovoltaik sistemlerde panel sıcaklık verimsizliği, yansıma oranı verimsizliği, uyumsuzluk verimsizliği, inverter ve batarya kayıpları göz önünde bulundurulmalıdır. Sıcaklık arttıkça panel verimliliği düşer (Bilgin, 2013). Güneşten gelen fotonların bir miktarının panel yüzeyinden yansıyarak verimsizliğe sebep olduğu ve bu verim kaybının yaklaşık %5 olduğu bilinmektedir (Çelen, 2020). Uyumsuzluk kayıbı ise panelin yaşlanmasıyla paralel şekilde artmaktadır. Başlangıçta %2 olan uyumsuzluk kayıpları %12'lere kadar çıkabilmektedir (Boztepe, 2017). İnverter kayıpları günümüz teknolojisinde oldukça azalmıştır. Batarya kayıpları ise bataryanın yapısına göre değişim göstermektedir. Denklem (3.19)'da AC yükler için verim formülü verilmiştir.

$$\eta_{AC} = \eta_{sıcaklık} \times \eta_{yansıma} \times \eta_{uyumsuzluk} \times \eta_{inverter} \times \eta_{batarya} \quad (3.19)$$

Yukarıdaki denklemde; $\eta_{Sıcaklık}$: Panel sıcaklık verimi(%), $\eta_{Yansıma}$: Panel yansıma verimini (%), $\eta_{Uyumsuzluk}$: Sistem uyusuzluk verimini (%), $\eta_{İnverter}$: İnverter verimini (%) ve $\eta_{Batarya}$: Akü verimini (%) açıklar.

Denklem (3.20)'de batarya kapasite hesabı verilmiştir.

$$E_{Bat} = \frac{E_L}{DOD} \times CD \tag{3.20}$$

Yukarıdaki denklemde; $E_L$: Ortalama günlük enerji ihtiyacı (Wh), DOD: Boşaltma derinliği (%) ve CD: Kapalı gün sayısıdır.

Denklem (3.21)'de akü kapasite hesabı verilmiştir.

$$W_{Akü} = I_{Akü} \times V_{Akü} \tag{3.21}$$

Yukarıda denklemde; $I_{Akü}$: Akü akım değeri (A) ve $V_{akü}$: Akü voltaj değeri (V) gösterir.

Denklem (3.22)'de inverter hesabı verilmiştir.

$$W_{inverter} = \sum toplam\ tüm\ cihazların\ ortalaması \tag{3.22}$$

Yukarıdaki denklemde; ∑ toplam tüm cihazların ortalaması: İnverter ile kullanılacak toplam cihaz yükü ortalaması (W)'dır.

Denklem (3.23)'de şarj düzenleyici hesabı verilmiştir.

$$I_{Şarj\ max} = I_{SC} \times I_{NP} \tag{3.23}$$

Yukarıdaki denklemde; $I_{SC}$: Panelin kısa devre akımı (A) ve $I_{NP}$: Şarj düzenleyicisine bağlı panel sayısıdır.

Denklem (3.24)'te AC yükler için panel gücü hesabı verilmiştir.

$$W_{FV,AC} = \frac{Toplam\ tesis\ gücü}{\eta_{AC}} \tag{3.24}$$

Yukarıdaki denklemde; $\eta_{AC}$: Alternatif akım verimini (%), Toplam tesis gücü: Toplam tesisin ihtiyaç duyduğu gücü ifade eder. Denklem (3.25)'te inverter ve panel uyumluluğu hesabı için formül verilmiştir.

$$V_{OC,MPP(min,max)} = a \times V_{OC,MPP} \times \left[1 + \left(\frac{k \times (t_{min,max} - t_{nom})}{100}\right)\right] \quad (3.25)$$

Yukarıdaki denklemde; V: Voltaj değeri, alt indisler OC, açık devre, MPP, maksimum panel noktası, a: Diziye bağlanacak panel sayısı, k: Fotovoltaik panel sıcaklık katsayısı, t: Sıcaklık ve alt indisleri min, minimum panel sıcaklığı, max, maksimum panel sıcaklığı, nom, belirlenen fabrika sıcaklığıdır.

# 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Ankara ili şartlarında kurulması planlanan orta ölçekli bir veri merkezi için mimari çalışmalarla birlikte yapı bileşenlerinden ve cihazlar ortaya çıkan ısı kazancı hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen verilere göre beyaz alan ve UPS odasına ısı kazancını yönetmek için Crah cihaz kapasite hesabı yapılmış ve piyasadaki ürünler incelenerek verimlilik ve sürdürebilirlik esaslarına uygun cihaz seçimi yapılmıştır.

Kritik yükler belirlenerek UPS, jeneratör ve trafo güç hesabı yapılmıştır. Sürdürülebilir ve verimlilik esasına uygun cihaz seçimi yapılarak mimari projede uygun görülen yerlere konumlandırılarak bağlantıları yapılmıştır.

Veri merkezi işletmesinde arıza veya bakım durumlarında kesintiden etkilenmemek için sensör ve kabin yerleşimleri yapılmıştır. Buna ek olarak geleneksel yaklaşımla güncel yaklaşımı harmanlayarak güvenilir bir yangın algılama tesisatı uygulanmıştır.

Veri merkezi ihtiyaçları tespit edildikten sonra sürdürülebilirliği ve verimliliği arttırıcı uygulama olarak veri merkezi sistemine fotovoltaik panel entegre edilmiştir. Bu sayede karbon salınımlarının azaltılması ve enerji maliyetlerinin düşürülmesi hedeflenmiştir.

## 4.1. Veri Merkezi Beyaz Alan Crah Cihaz Seçimi ve Konumlandırılması

Şen (2019), yaptığı çalışmada Crah kapasite seçimi için mümkün olduğunca fazla Crah seçimi yapmanın fan devir hızını düşürdüğü dolayısıyla yıllık enerji maliyetinin düştüğüne değinmiştir.

Bu bağlamda yedeklilik ve enerji maliyetini düşünerek ısı kazancı sonucu elde edilen 470.63 kW soğutma kapasite ihtiyacına uygun üç adet Crah ünitesi düşünülmüştür. 3 sıra kapalı soğuk koridor için 3 + 3 yani 2N yedekli şekilde tasarım yapılarak fan devir hızlarını minimum düzeyde tutulması ve verimliliği arttırma hedeflenmiştir.

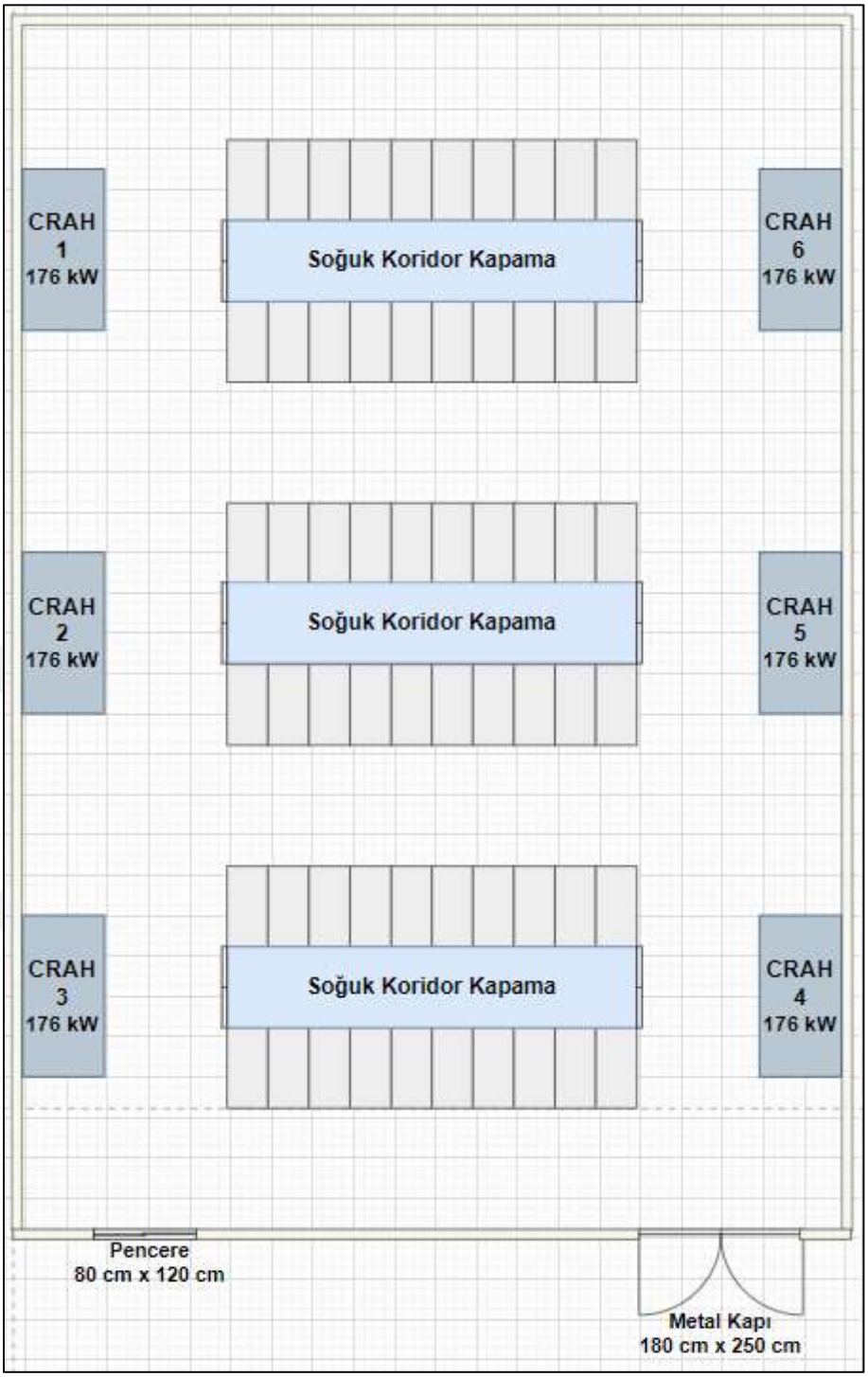
Piyasadaki ürün ve kapasite araştırması yaptıktan sonra servis ağı genişliği sebebiyle Stulz marka CyberAir 3PRO ABR CW/CW2 model 176 kW ürünü tercih edilmiştir.

Ürün kataloğu giriş gücü 24.9 kW'tır. Şekil 4.1'de Stulz markalı Crah ünitesi verilmiştir (Stulz, 2023).



Şekil 4.1. Stulz marka CyberAir model Crah (Stulz, 2023)

Crah'ler soğuk hava akışının soğuk koridor kapama alanına doğrudan ulaşabilmesi için koridorlarla karşılıklı şekilde konumlandırılmıştır. Crah ve soğuk koridor kapama arasında yaklaşık 2 m mesafe bırakılmıştır. Bu sayede soğuk koridor kapama alanının dışında rahat hareket edilebilmesi ve Crah'ten çıkan hava debisinin emiş yapacak BT cihazları tarafından rahat emilmesi hedeflenmiştir. Şekil 4.2'de Crah beyaz alan yerleşimi ve soğuk koridor kapama gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Crah beyaz alan yerleşimi ve soğuk koridor kapama

Soğuk koridor kapama mesafesi iki kabin arası 120 cm'dir. Orta tarafta 60 cm × 60 cm karo bulunur. Bu karo rahat yürüyüş yolu imkanı sunar. Her bir kabin önünde ise 60 cm × 30 cm hareketli kanatlara sahip menfez konumlandırılmıştır. Bu kanatçıklı menfezler sayesinde cihazlara hava akışı doğrudan gönderilmektedir ve kabin içerisindeki çalışma durumlarında ilgili kabin önündeki kanatçıklar kapatılarak çalışmalara devam edilebilme imkanı sağlar.

## 4.2. UPS Cihaz Seçimi

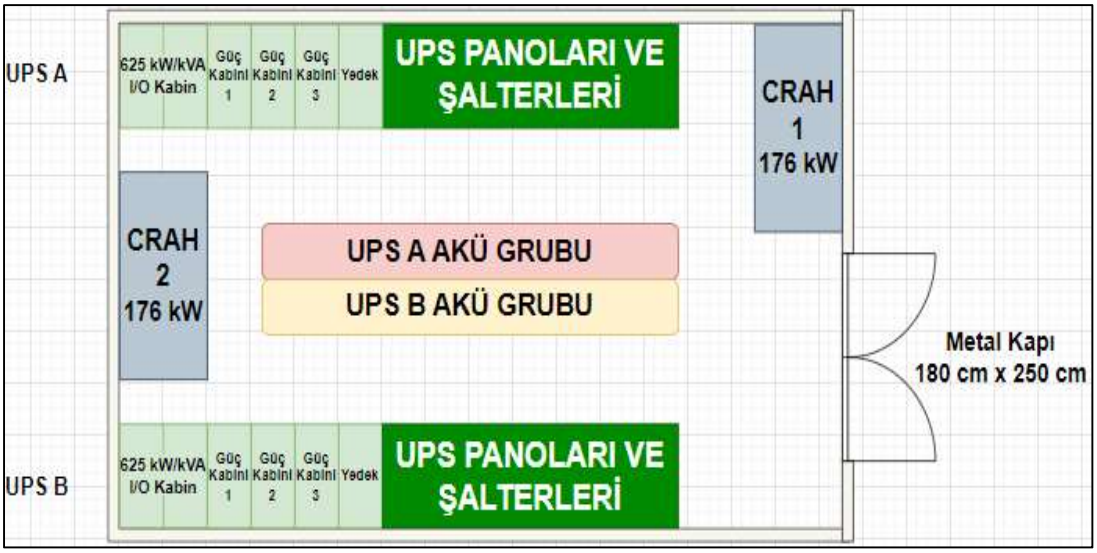
UPS kapasite hesabına göre ihtiyaç olan güç 462 kW ‘dır. UPS’lerin maksimum verimi %50 kapasitede verdiğini ve gelecekteki büyüme potansiyeli göz önüne alınarak bir miktar büyük kapasiteli ürün seçimi yapmak faydalı olacaktır. Schneider Elektric’in kendi patenti olan Eko modda %99 a kadar verimlilik elde eden ECOnversion teknolojisi sebebiyle Schneider Electric marka Galaxy V model 625 kW/kVA gücünde N+1 yedeklilikte genişletilebilir ve yüksek verimli cihaz seçilmiştir. Her bir güç kabini 250 kW/kVA gücünde modüler şekilde olup birer adet giriş ve çıkış kabinleri içerir. Her bir kabin 5+1 modül alabilecek kapasitededir ve her modül 50 kW kapasitelidir. Hat yedekliliği için yani A ve B hattı için toplamda 2 adet planlanmıştır. Harici olarak 2 adet akü yedekliliği planlamıştır. Şekil 4.3’te Schneider electric marka Galaxy V model 625 kW/kVA ürün gösterilmiştir (Schneider, 2023c).




Şekil 4.3. Schneider electric marka Galaxy V model 625 kW/kVA (Schneider, 2023c)

## 4.3. UPS Odası Crah Seçimi ve Konumlandırılması

Beyaz alan Crah seçimi yapılırken dikkat edilen hususlar bu kısımda da dikkate alınmıştır. Isı kazancı hesabı sonucunda yapılardan, UPS’ten ve diğer yüklerden gelen ısı kazancı sonucu elde edilen soğutma ihtiyacı 170.33 kW’tır. 2N yedekli şekilde tasarım yapılması planlanmıştır. 1+1 şeklinde Crah konumlandırılmasında karar kılınmıştır. Bu soğutma yükü için Stulz marka CyberAir 3PRO ABR CW/CW2 176 kW cihazın konumlandırılmasına karar verilmiştir. Ürün kataloğu giriş gücü 24.9 kW’tır. Şekil 4.4’te UPS odası Crah ve UPS yerleşimi gösterilmiştir.




Şekil 4.4. UPS odası Crah ve UPS yerleşimi

### 4.4. Chiller Cihaz Seçimi

Crah soğutma sistemi 3 + 3 yedeklilikte her biri 176 kW soğutma kapasitesi gücünde beyaz alan ve 1 + 1 176 kW soğutma kapasite gücünde UPS odasına konumlandırılmıştır. Toplam soğutma yükü 704 kW'tır. Bu yükü karşılamak için Schneider marka 2212A hibrit model 750 kW soğutma kapasiteli serbest soğutma yapabilen cihaz seçilmiştir. Cihaz yedekliliği için 2 adet Chiller seçilmiştir. Cihazın Enerji Tasarruf Oranı (EER) değeri 4.07 giriş gücü ise 184.3 kW'tır. Şekil 4.5'te Chiller verilmiştir (Schneider, 2023b).




Şekil 4.5. Schneider marka Chiller (Schneider, 2023b)

Chillerin hava sirkülasyonunu daha verimli şekilde alması çatıya konumlandırılması gerekmektedir. Bu sayede ısı yükü havaya daha kolay şekilde atılır.

### 4.4.1. Chiller pompa seçimi ve tesisatı

Chiller içerisindeki soğutma suyunun tesisat hattı üzerinden beyaz alandaki Crah cihazlarına ulaşması ve tesisat hattında Crah cihazlarından dönen ısınmış suyun soğutulması için tekrar Chiller'e pompalanması gereklidir.

Bu yüzden uygun pompa seçimi yapılmalıdır. Sistemde dolaşan suyun soğuk hava şartları altında donmaması için %30 glikol %70 su dolaşacaktır.

%30 glikol-su karışımının yoğunluğu ρ=1048 kg⁄m$^3$'tür (Kaplan, 2020). Denklem (4.1)'de pompa güç hesabı formülü verilmiştir.

$$P = \frac{Q\ x\ H\ x\ \rho\ x\ g}{1000\ x\ \eta_h}\ x\ Emniyet\ Faktörü \tag{4.1}$$

Yukarıdaki denklemde; Q: Birim zamanda pompadan içerisinden geçen sıvının hacmini ifade eder (m$^3$/h), H: Pompa basma yüksekliği (mSS), ρ: Yoğunluk (kg⁄m$^3$), g: Yerçekimi ivmesi (m⁄s$^2$), $\eta_h$: hidrolik verim (%)'dir.

Pompa kapasitesi 3.17 kW hesaplanmıştır. Ürünler incelendiğinde Sumak marka SMINOX200/32 model 4 kW ürün seçilmiştir. Her bir pompa kendi içinde yedekli olup Chiller başına 4 adet pompa konumlandırılacaktır. Her pompa grubu ayrı ayrı frekans değiştirici ile beslenecek sistem ihtiyacına göre frekans kontrolü yapacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca frekans değiştirici veya pano üzerinde herhangi bir arıza olması durumunda pompalar manuel çalıştırılabilmelidir.

Chiller tesisatı soğutma sistemlerinde kullanılan önemli bileşenler arasında denge tankı (balance tank), akümülasyon tankı (accumulation tank) ve kollektör (header) bulunur.

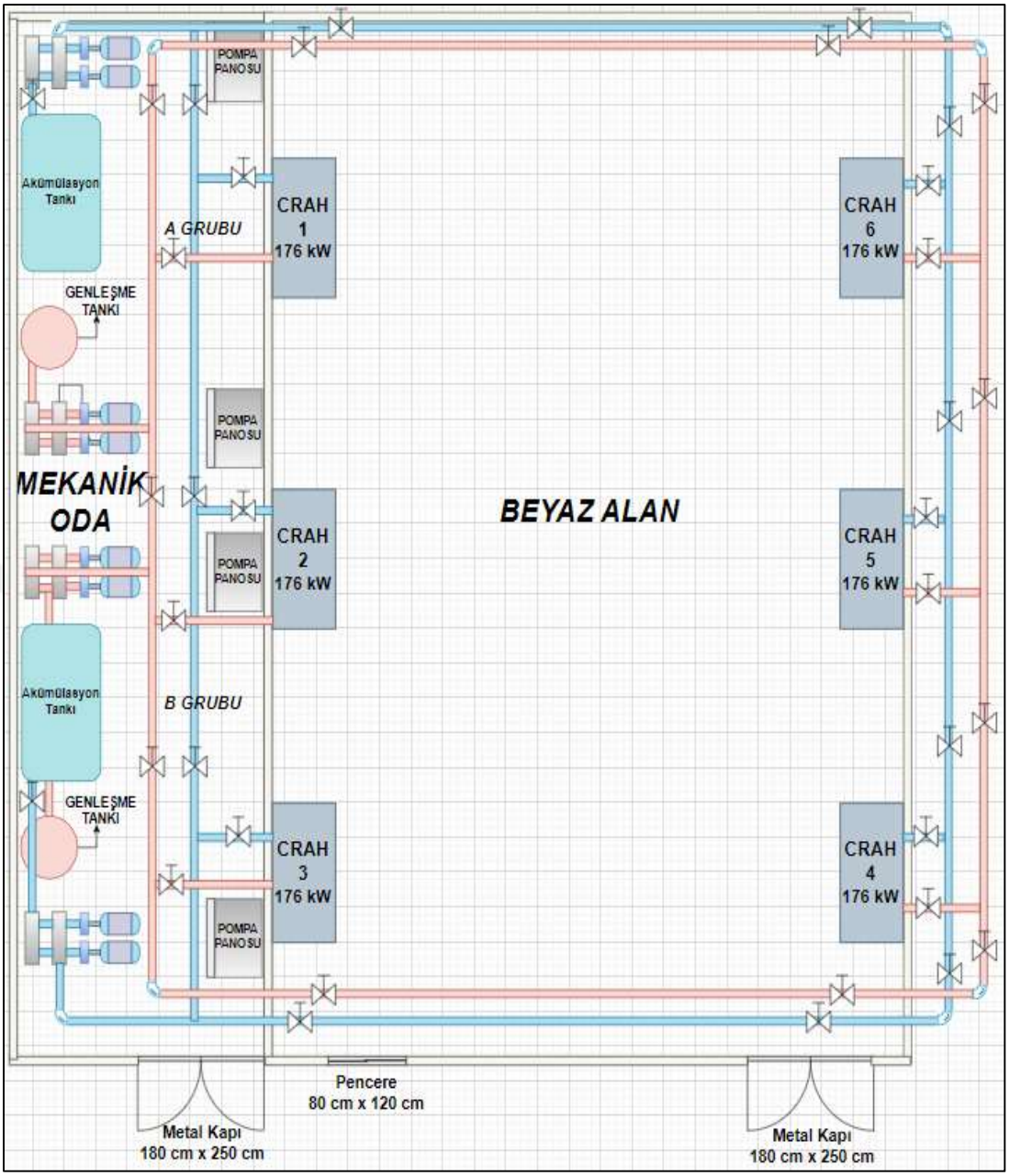
Denge Tankı (Balance Tank): Genel görevi Chiller tesisatının bir parçası olarak soğutucu akışının dengelenmesini sağlamak için kullanılır. Bu tank, soğutucu sıvının düzenli bir şekilde Chiller ünitesine dönmesini ve Chiller tarafından kullanılmasını

sağlar. Aynı zamanda sistemdeki basıncın sabitlenmesine yardımcı olur ve herhangi bir basınç dalgalanmasını azaltır. Ayrıca, soğutma sisteminin genel verimliliğini artırmaya yardımcı olur ve ani basınç değişikliklerinin olumsuz etkilerini azaltır.

Akümülasyon Tankı (Accumulation Tank): Soğutma sistemindeki faz değişimi nedeniyle oluşabilecek fazla soğutucu sıvının depolanması için kullanılır. Çalışma sırasında, soğutucu sıvı bu tanka güvenli bir şekilde birikir ve daha sonra ihtiyaç olduğunda sistem tarafından geri alınır. Genel olarak bir kazan görevi görerek sistemdeki basıncı stabilize eder ve basınç değişikliklerini dengelemeye yardımcı olur. Aynı zamanda soğutma sistemindeki pompa ve kompresörlerin daha verimli çalışmasına yardımcı olur ve enerji tasarrufu sağlar.

Kollektör (Header): Chiller tesisatındaki boru hatlarını birleştirmek ve akışı dağıtmak için kullanılan önemli bir bileşendir. Soğutucu sıvının Chiller ünitesinden ve diğer bileşenlerden geçmesini sağlar. Chiller üniteleri arasında eşit bir soğutucu akışının sağlanması için gereklidir.

Yedekli Chillerler eş yaşlanmalı olarak çalışarak yine yedekli olan gidiş ve dönüş tesisat hattında sistem devamlılığını sağlar. Mekanik tesisatta meydana gelebilecek arızalarda, arızalı kısımdaki vanalar kapatılarak ilgili arızayı sistem kesintisi yaşamadan çözme olanağı sağlar. Tesisat hattı uygulama ve montaj kolaylığı için yükseltilmiş döşemenin altından götürülmelidir. Şekil 4.6’da Chiller mekanik tesisatı gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Mekanik oda tasarımı ve beyaz alan bağlantı şeması

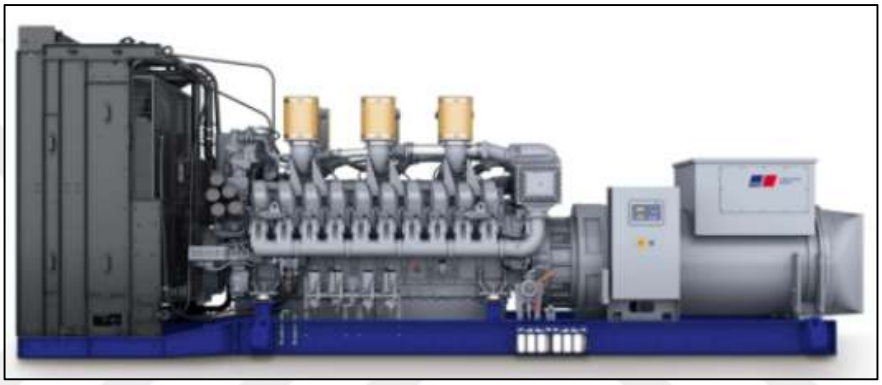
## 4.5. Jeneratör, Yakıt Hazırlama Sistemi ve Trafo Seçimi

Tesisteki soğutma cihazları UPS yerine jeneratörden beslenecektir. Şebekede meydana gelebilecek herhangi bir arıza veya kesinti durumunda anlık olarak soğutma sistemi kapanacak jeneratör devreye girene kadar kapalı kalacaktır. Tüm sistemin stabil hale gelebilmesi soğutma cihazların tekrar başlama süresine bağlıdır yani yaklaşık 30 saniye sürmesi öngörülmektedir. 30 saniyelik kesinti sırasında sistem odasındaki mevcut soğutulmuş hacim cihazların ihtiyaç duyduğu yeterli soğutmayı sağlayacaktır. Aşağıda Çizelge 4.1'de jeneratör yük hesabı verilmiştir.

Çizelge 4.1. Jeneratör yük hesabı

| | |
|---|---|
| UPS Yükü | 606.6 kW |
| Chiller Yükü | 285.67 kW |
| Crah Yükü | 154.38 kW |
| Pompa Yükü | 12.4 kW |
| Toplam | 1 059 kW |
| Toplam E.F. Yükü | 1 323.75 kW |
| **Toplam Jeneratör Yükü** | **1 654.68 kVA** |

Jeneratör yükü 1 654.68 kVA hesaplanmıştır. Yapılan piyasa araştırması sonucunda 2N yedeklilikte olacak şekilde MTU marka 4 000 serisi 1 700 kVA jeneratör seçilmiştir. Şekil 4.7'de jeneratör gösterilmiştir (MTU, 2022).



Şekil 4.7. MTU 4000 serisi jeneratör (MTU, 2022)

Çatı alanı geniş ve gürültü olanağı az olduğu için çatıda konumlandırılmıştır. Jeneratör gücü yüksek olduğu için çalışma anında sesin önüne geçebilmesi ve dışarıda konumlandırılabilmesi için ses perdeleriyle izole edilmiş kabin kapama olmalıdır. Cihaz ürün kataloğunda tam yükte 400 l / h yakıt tüketmektedir. 72 saat enerji kesintisi ihtimaline göre jeneratör başına yakıt tankı ihtiyacı 28 800 l'dir

Her bir jeneratör için en az 28 800 l kapasiteli tesiste bulunan yakıt tankları toprak altına gömülü vaziyette olmalıdır. Bunun birkaç sebebi vardır;

Güvenlik: Yakıt depolama tankları toprak altında olduğunda, dış etkenlere ve çevresel tehlikelere karşı daha iyi korunurlar. Patlama veya yangın riski, toprak altında olduğunda daha düşüktür ve bu da yakıt depolama alanlarının güvenliğini artırır. Ayrıca, toprak altındaki tanklarda sızıntı veya kaçak durumunda, yayılmanın kontrol altına alınması ve çevresel zararın azaltılması daha kolay olabilir.

Estetik: Toprak altındaki yakıt depolama tankları, yer üstündeki görüntüyü bozmadan daha estetik bir çözüm sunar.

Yerden Tasarruf: Toprak altındaki depolama tankları, yer üstünde sınırlı bir alanı olan yapılar için daha iyi bir çözümdür. Bu, özellikle şehir alanlarında veya yüksek yapı yoğunluğuna sahip bölgelerde önemlidir. Yakıt depolama tanklarının toprak altında olması, yer üstündeki kullanılabilir alana daha fazla esneklik sağlar.

Isı Kontrolü: Toprak altındaki depolama tankları, yer üstündeki tanklara göre daha iyi bir ısı kontrolü sağlar. Toprak, depolanan yakıtın sıcaklığını korur ve bu da yakıtların daha istikrarlı bir şekilde depolanmasını sağlar.

Korumalı Depolama: Toprak altındaki tanklar, doğal bir izolasyon sağlar ve depolanan yakıtların daha uzun süre dayanmasına yardımcı olur. Sıcaklık değişiklikleri, hava koşulları veya UV (Ultra Violet) ışınlarına maruz kalma gibi faktörler, toprak altındaki tanklarda depolanan yakıtların kalitesini korumaya yardımcı olur. Bununla birlikte, yerel düzenlemelere uygun olarak tasarlanmalı, düzenli olarak bakım yapılmalı ve uygun şekilde kullanılmalıdır.

Yakıt uzun süre beklediği zaman içerisindeki organik bileşenler yakıtın kalitesini azaltabilir. Yakıt hazırlama; Yakıtın kalitesini ve temizliğini artırmak için uygulanan bir işlemdir. Bu işlem, yakıtın içerdiği kirleticileri ve suyu filtreler yardımıyla gidererek yanma verimini ve motor performansını iyileştirmeyi hedefler. Şekil 4.8'de yakıt hazırlama sistemi gösterilmiştir (Anonim, 2022a).

Yakıt, pompa vasıtasıyla filtrelere gönderilir. Filtreler partiküllerini temizlediği yakıtı su ayrıştırıcısına göndererek yakıttan suyu süzer ve depolama tankına tekrar gönderir. Yakıt hazırlama otomasyon sisteminin üzerinde 3 000 l / h kapasiteli pompa bulunmaktadır. 28 800 l kapasiteli depolama tankların filtrasyon işlerinin yaklaşık 9.6 saatte tamamlamaktadır. Hava değişimlerinde yoğuşmadan ve yakıtın içerinde meydana gelen tortulaşmadan kaynaklı yakıt kalitesi zamanla kötüleşir. Yakıt kalitesini korumak için düzenli aralıklarda yakıt hazırlama işlemi yapılmalıdır.

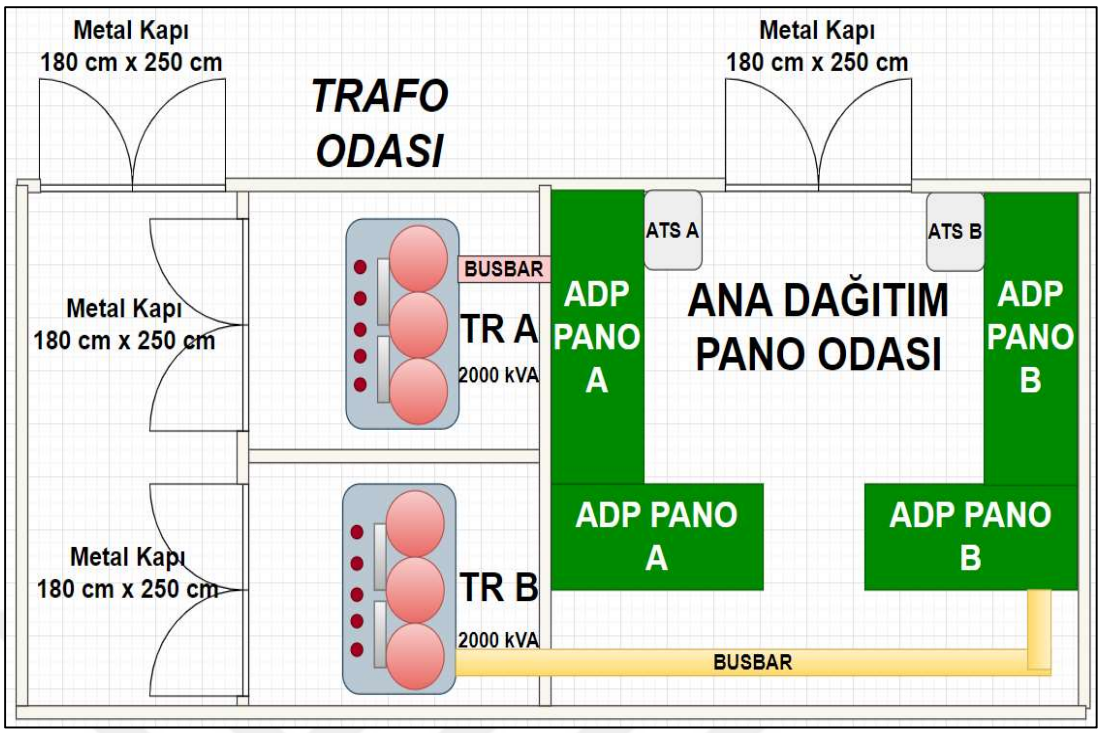


Şekil 4.8. Yakıt hazırlama otomasyonu (Anonim, 2022a)

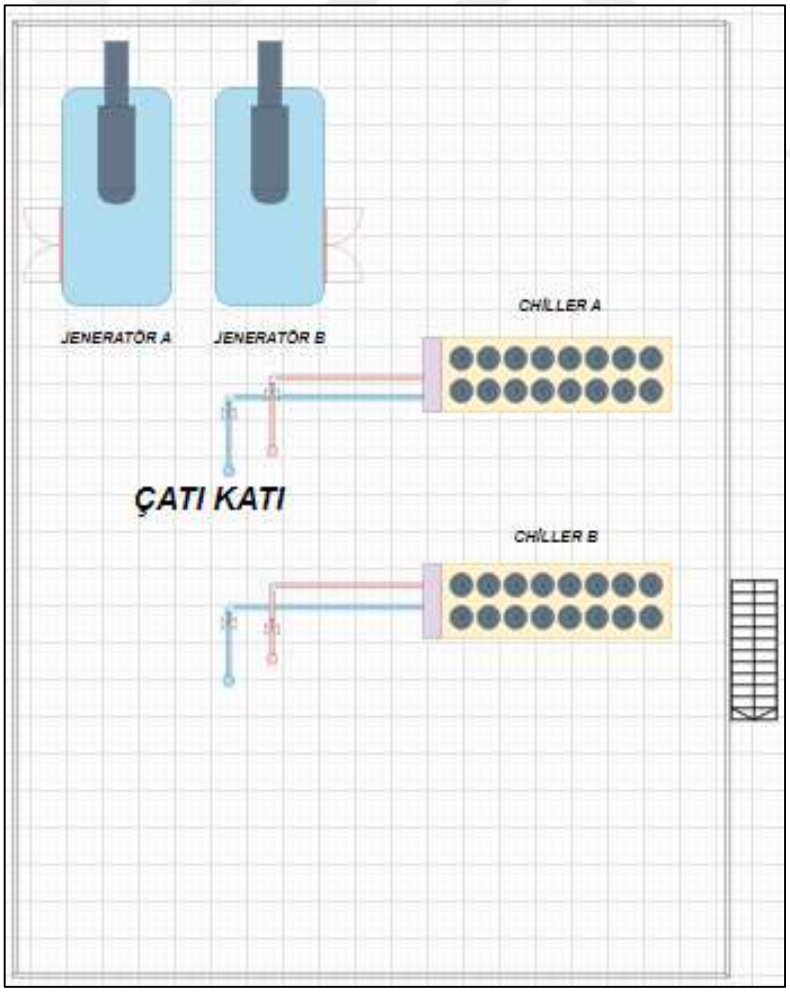
Hesaplanan jeneratör yükü kadar en az trafo yükü seçmek faydalı olacaktır. 2N yedeklilikte 2 000 kVA kuru tip trafo seçilmiştir. Şekil 4.9'da kuru tip trafo (Eltas, 2022), Şekil 4.10'da trafo ADP (Ana Dağıtım Panosu) odası yerleşimi ve Şekil 4.11'de Çatı cihaz yerleşim planı gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Kuru Tip Trafo (Eltas, 2022)




Şekil 4.10. Trafo ve ADP odası yerleşim planı




Şekil 4.11. Çatı cihaz yerleşim planı

## 4.6. Yangın Algılama Sistem Yerleşimi

Veri merkezi beyaz alanda yangın algılama sistem analizi için mevcut oda iyi analiz edilmelidir. Oda da 3 adet soğuk koridor kapama ve yükseltilmiş döşeme uygulaması yapılmıştır. Isı, duman ve hava örneklemesi cihazlarının birbiriyle uyumlu şekilde çalışabilmesi ve en erken algılamayı yapabilmesi için ısı ve duman dedektörlerini birbirine çapraz şekilde konumlandırıp soğuk koridor kapama alanına ise hava örnekleme cihazı yerleştirilmiştir. Yangın paneli her zaman kolay ulaşılabilecek yerlere ve ilgili mahalin dışına konumlandırılmalıdır. UPS odası sensör yerleşim planı uygulaması Şekil 4.12'de gösterilmiştir.




Şekil 4.12. Veri merkezi ve UPS odası dedektör konumlandırılması

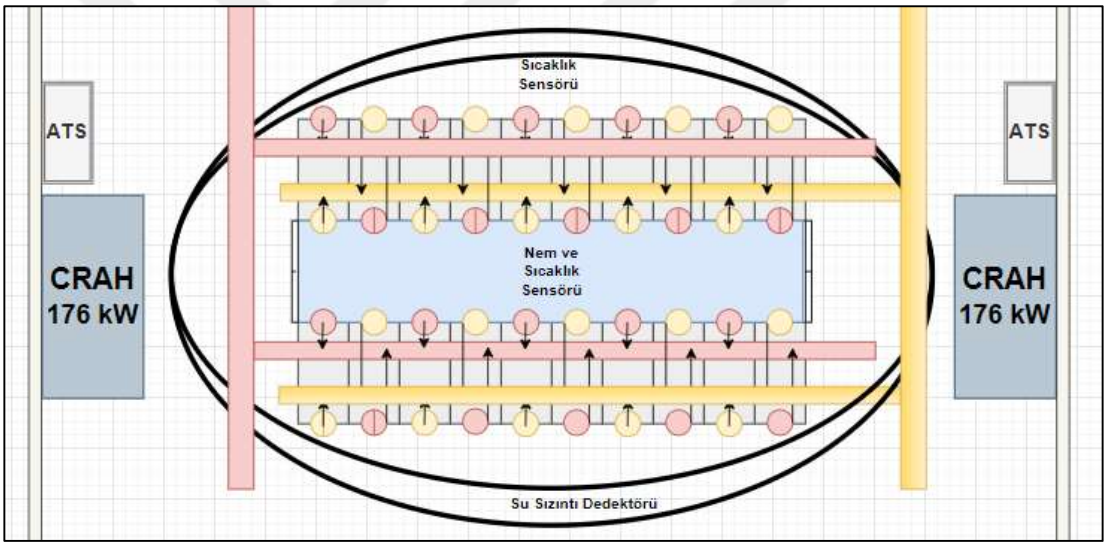
Veri merkezinde meydana gelebilecek yangınlar için, yangının yayılmasını engellemek ve insanların tahliyesini sağlamak için tasarlanmış özel kapılar olmalıdır. Kapıların belirli bir süre yangına karşı dayanımı olmalıdır. Yangının diğer odalara veya alanlara sıçramasını engellemek için kenarlarında sızdırmaz fitiller olmalıdır. Bu fitiller duman ve ısı transferini minimize ederek yangının kontrol altında tutulmasına yardımcı olur. İnsanların yangın sırasında tahliyesi yapıldıktan sonra kapıların açık kalmaması için yaylı bir mekanizmayla kapıların otomatik olarak kapanabilmesi sağlanmalıdır. Bu kapıların üzerinde dışarıya kolay ve hızlı bir şekilde ulaşmak için panik barı mekanizması olmalıdır. Ayrıca, yangın kapıları ilgili yerel ve ulusal güvenlik standartlarına uygun olmalıdır. Tüm bunlara ek olarak yangın alarm sistemleri ve yangın söndürme sistemleriyle entegre çalışabilen bir yangın kapısı düzenlemesi yapılması da önemlidir.

### 4.7. Veri Merkezi Yönetim Yazılımı ve Otomasyon Sistem Seçimi

Piyasada farklı otomasyon şirketleri tarafından piyasaya sunulmuş yazılımlar mevcuttur. En popüler ve kapsamlı olanı ise Schneider Elektric tarafından Ecostruxture ürün ailesi altında sunulmuş sistemlerdir. IT Advisor yazılımıyla veri merkezinde bulunan bilgi teknoloji cihazların envanter yönetimi yapılabilir. Data center expert yazılımyla PDU, Crah, UPS vb. cihazların durum bilgisini alıp enerji kontrol ve raporlamaları yapılabilir. PMS yazılımıyla enerji analizörlerinde alınan değerler raporlanabilir. BMS yazılımıyla bina otomasyon, giriş, çıkış vb. sistemler kontrol edilebilir. DCIM (Data Center Infrastructure Management) yazılımıyla ise diğer tüm yazılımların tek bir yazılım üzerinden izleme ve kontrol yapılabilme imkanı sunar (Schneider, 2023a). Yazılım programları, netbotz cihazlarına ve otomasyon panolarına bağlanan sensörler sayesinde birbiriyle entegre olarak farklı haberleşme protokolleriyle (SNMP, Modbus) veri aktarımını kullanıcıya sunar. Profesyonel anlamda veri merkezi operasyonları yürütmek için bu ve benzer yazılım programları kullanılmalıdır. Destek ağı ve kapsamlı yazılım çözümleri olmasından dolayı bu ürünler tercih edilmiştir.

Veri Merkezi beyaz alanda nem, sıcaklık ve su sızıntıları durumuna karşı sızıntı sensörleri kullanılmalıdır. Bilgi teknoloji cihazlarının sıcaklık ve nem değerlerini stabil tutmak gereklidir. Sıcaklık ve nem değeri sabit tutulamayan sistemlerde disk,

ram, ana kart, işlemci gibi parçalarda performans kayıpları ve arızalar meydana gelebilir. Sistemde soğuk koridor kapama uygulandığı için soğuk hacimde bağıl nem yüzde olarak sıcak hacime göre daha fazla bulunur. Bu yüzden soğuk koridor tarafına nem ve sensör cihazı bağlayıp sıcak koridora sadece sıcaklık sensörü bağlanması ortam sıcaklık ve nem izleme konusunda bize yeterli olacaktır. Ayrıca her bir Crah cihazı dahili olarak nem, sıcaklık ve sızıntı sensörlerine sahiptir. Bu sayede sıcak koridor nem ve sıcaklık değerleri de izlenmektedir. Harici olarak su sızıntı dedektörleri eklemek sistem odası tesisat kaçakları veya sel baskınları gibi durumlarda erken tespit imkanı sunar. Sıcaklık ve nem sensörleri kabin değerlerini izlemek için PDU'lara bağlanacaktır prop uçları ise kabinlerin üst kısmına yerleştirilecektir. Sensör hat yedekliliği olması için aşağıdaki tasarım dikkate alınmalıdır. Şekil 4.13'de Veri merkezi sensör yerleşimi gösterilmiştir.

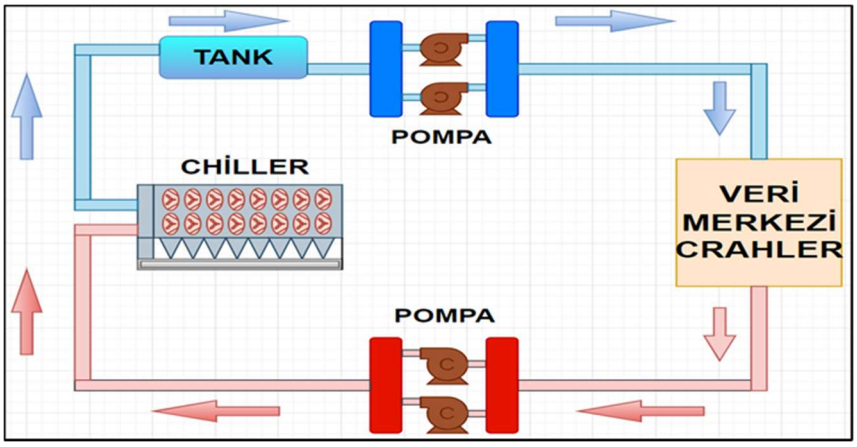



Şekil 4.13. Veri merkezi kabin sensör yerleşimi

Bu tasarımda A hattı veya B hattında oluşabilecek arızalara karşı sıcaklık veya sıcaklık-nem sensörlerinin aynı anda veri aktarımı kesilmemiş olur.

### 4.7.1. Veri merkezi soğutma sistemi akış şeması

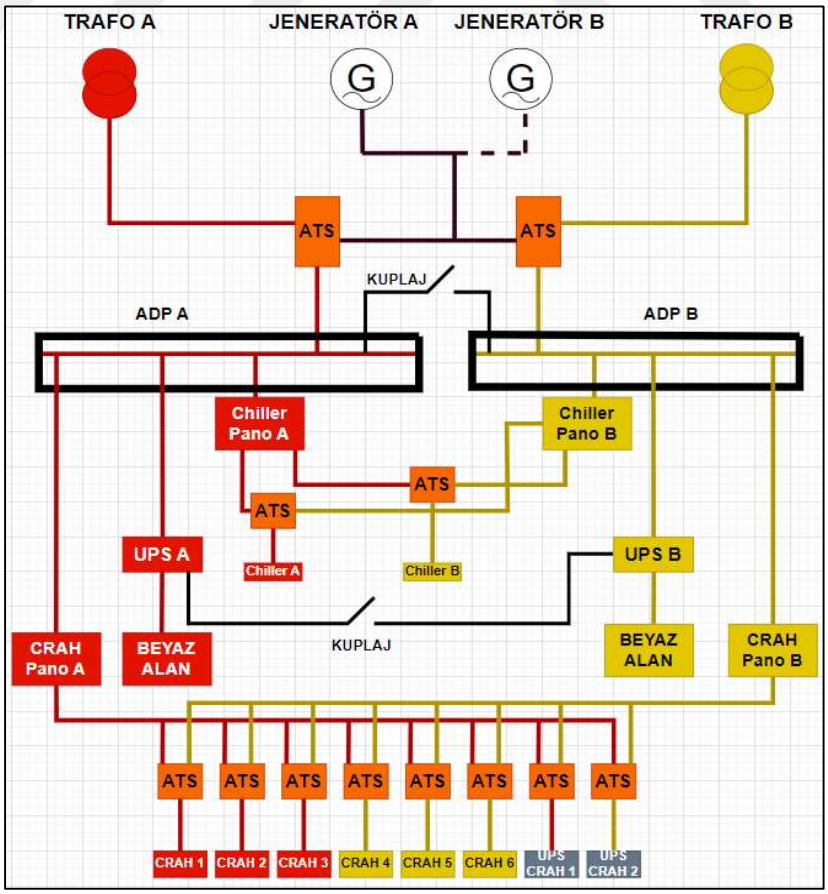
Veri merkezi yönetim yazılımı üzerinden soğutma sistemi üzerindeki akış, durum, sıcaklık, basınç, vana ve fan gibi sensörlerden bilgileri alıp veri merkezi sistem akış şeması üzerinde konumlandırılabilir. Şekil 4.14'de veri merkezi soğutma akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Soğutma sistemi akış diyagramı

### 4.7.2. Veri merkezi tek hat şeması

Veri merkezi elektrik tesisatı üzerine enerji analizörleri konumlandırarak yönetim yazılımları aracılığı ile kısım kısım her cihaz ve hattaki akım, voltaj ve güç gibi parametreleri sisteme kaydedebilir ve sistem canlı bir şekilde takip edilebilir. Şekil 4.15'te veri merkezi elektrik tek hat şeması verilmiştir.



Şekil 4.15. Veri merkezi elektrik tek hat şeması

### 4.8. Fotovoltaik Panel Uygulaması

Güneş enerji potansiyeli oldukça yüksek olan Ankara'da ortalama güneşlenme süresi 7.15 saattir (GEPA, 2023). Tüketimin oldukça yüksek olduğu veri merkezlerinde yenilenebilir enerjinin desteklenmesi için fotovoltaik panel uygulamasına karar verilmiştir. Veri merkezi tasarımı yapıldıktan sonra elde edilen veriler doğrultusunda veri merkezine fotovoltaik panel entegre edilerek tüketim değerlerine etkisi üzerine inceleme yapılmıştır. Piyasada yüksek verimli cihaz araştırması yapıldıktan sonra veri merkezinde kullanılacak olan monokristal panelin özellikleri Çizelge 4.2'de verilmiştir (CW-Enerji, 2023).

Çizelge 4.2. Fotovoltaik panel özellikleri (CW-Enerji, 2023)

| | **Veriler** |
|---|---|
| **Maksimum Güç ($P_{max}$)** | 675 Wp |
| **Modül Verimliliği** | 21.73 |
| **Maksimum Güç Gerilimi ($V_{mp}$)** | 38.5 |
| **Maksimum Güç Akımı ($I_{mp}$)** | 17.54 |
| **Açık Devre Gerilimi ($V_{oc}$ )** | 46.20 |
| **Kısa Devre Akımı ($I_{sc}$)** | 18.56 |
| **Panel Boyutu (mm)** | 2 384x1 303x35 |
| **Sıcaklık Katsayısı ($I_{sc}$)** | 0.040%/°C |
| **Sıcaklık Katsayısı ($V_{oc}$ )** | -0.260%/°C |
| **Sıcaklık Katsayısı ($P_{max}$)** | -0.340%/°C |
| **PV Test Sıcaklığı** | +25°C |
| **Minimum sıcaklık ($t_{min}$)** | -40°C |
| **Maksimum sıcaklık ($t_{max}$)** | +85°C |

Veri merkezi fotovoltaik sistemde kullanılacak inverter özellikleri aşağıda Çizelge 4.3'te verilmiştir (ABB, 2023).

Çizelge 4.3. İnverter özellikleri (ABB, 2023)

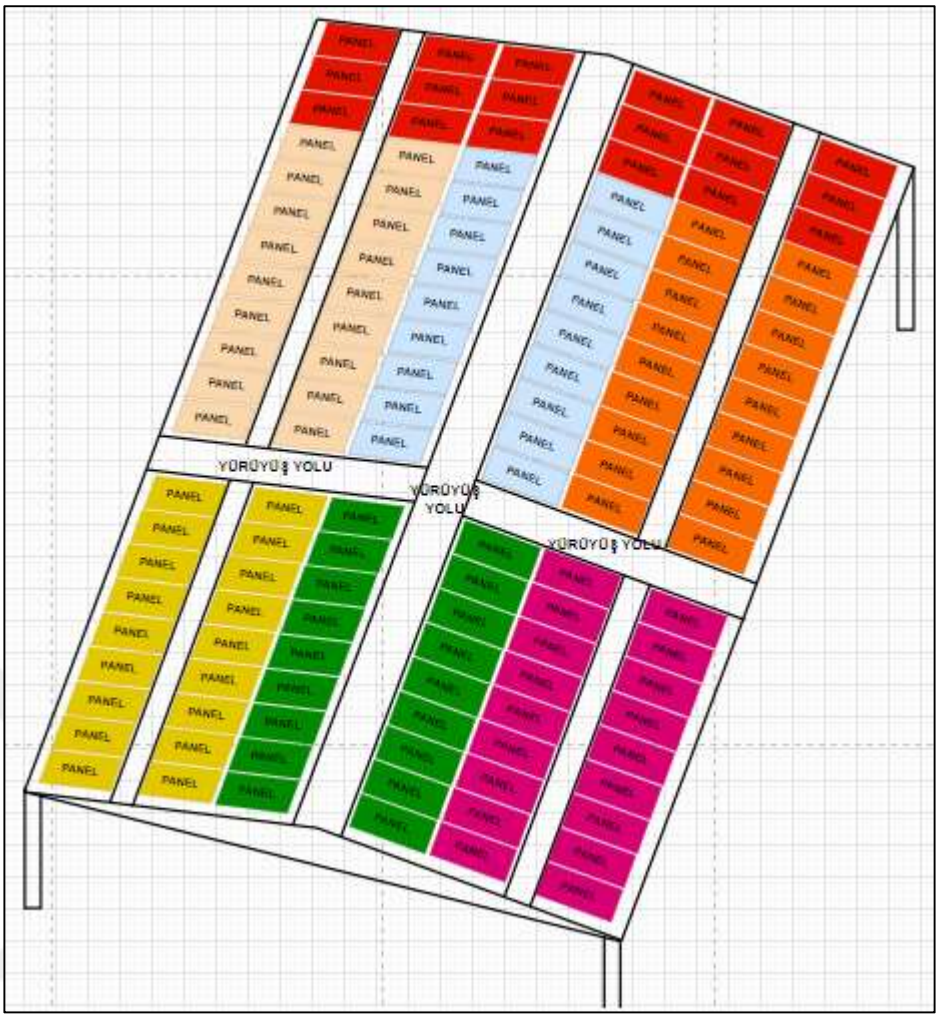
| | |
|---|---|
| **Maksimum DC Giriş Gerilimi** | 1000 V |
| **Minimum DC Giriş Gerilimi** | 360 V |
| **Maksimum MPPT Giriş Gerilimi** | 850 V |
| **Minimum MPPT Giriş Gerilimi** | 480 V |
| **Bağımsız MPPT Sayısı** | 6 |
| **Her MPPT için DC Giriş Çifti Sayısı** | 4 |
| **Her MPPT için Maksimum DC Kısa Devre Akımı** | 50 A |
| **Anma Giriş Gücü** | 102 000 W |
| **İnverter Verimi** | % 98.4 |

### 4.8.1. Çatı tipi fotovoltaik panel uygulaması

Tasarımı yapılan veri merkezi üzerine I profillerden çelik konstrüksiyon yapılmıştır. Çatı alanı için bakım ve onarım çalışmaları göz önünde bulundurulup çatı alanında yürüyüş yolları ayrılmıştır. Fotovoltaik sistem uygulaması için panel ve inverter ürün katalog değerleri referans alınarak panel inverter uyumluluk hesabı yapılmıştır. İnverterin her bir dizisi için 18 adet 0.675 kWp panelin bağlanabildiği hesaplanmıştır. Bu hesap farklı panel ve farklı inverter değerlerine göre değişkenlik gösterir. Yürüyüş yolları düşüldükten sonra 500 $m^2$ çatı alanına 3.11 $m^2$ panel alanına sahip 126 adet 0.675 kWp fotovoltaik panel yerleştirilmiştir. Her bir dizi kendi içerisinde farklı renklendirilmiştir. Panel ve inverter uygunluk hesaplaması sonucunda 18 adet seri bağlı 0.675 kWp gücüne sahip fotovoltaik paneller 7 adet dizi ile maksimum güç takip noktasına (MPPT, Maximum Power Point Tracking) bağlantısı yapılmıştır. Şekil 4.16'da çatı tipi fotovoltaik uygulaması gösterilmiştir.

Çatı uygulaması sonucu fotovoltaik panellerden elde edilen günlük elektrik üretimi 85.05 kWp hesaplanmıştır. Sistem tasarımına uygun bir adet 100 kW inverter seçilmiştir. Çatı uygulamasından üretilen elektrik enerjisi doğrudan tesis iç kaynaklarında kullanılacağı için depolama yapmaya gerek yoktur. Alternatif akım (AC) sistem kayıpları hesaplandıktan sonra AC sistem verimi % 86.67 hesaplanmıştır. Güneşlenme süresi günlük ortalama 7.15 saat olan Ankara ili şartlarında hesaplanan bu verim sonucunda günlük ortalama 527 kWh AC güç üretilmiştir.

Hesaplanan toplam tesis tüketim miktarı günlük ortalama 25 416 kWh'dir . Bu değer veri merkezi tüketiminin yaklaşık % 2.07'sine karşılık gelmektedir. Geriye kalan günlük enerji ihtiyacı 24 889 kWh olup şebekeden karşılanması gerektiği hesaplanmıştır.



Şekil 4.16. Çatı tipi fotovoltaik panel uygulaması

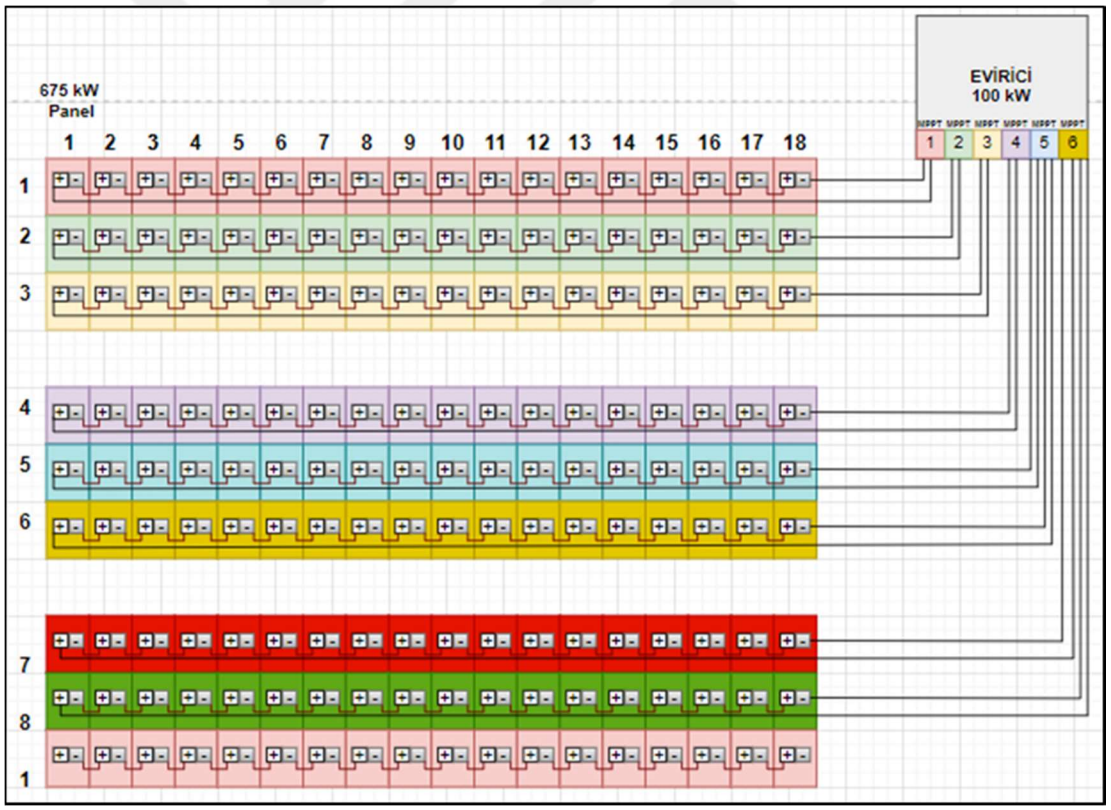
### 4.8.2. Arazi tipi fotovoltaik panel uygulaması

Veri merkezinin tüm elektrik ihtiyacının fotovoltaik panellerden karşılanması için veri merkezi çatı alanı yeterli değildir. Bu sebeple veri merkezi enerji ihtiyacının arazi tipi fotovoltaik panellerden yapılması gerekmektedir.

Sistem için seçilen panel ile inverterin uyum hesabı yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar ayrı ayrı panel ve inverter ürün kataloglarındaki değerler referans alınarak hesaplanmıştır. Elde edilen hesaplamalar sonucu 18 adet 0.675 kWp monokristal CW markalı panelin 100 kW gücünde ABB marka inverterin uyum hesabı sonucunda, inverterda bulunan her maksimum güç takip noktasına (MPPT) 18 adet panelin 8 adet dizi ile bağlanmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Toplamda her bir inverter için 144 adet panel bağlanmalıdır.

Veri merkezi tesis tüketim miktarı günlük ortalama 25 416 kWh olarak hesaplanmıştır. AC sistem verimi %86.67'dir. Veri merkezi AC gücü fotovoltaik panellerden elde etmek için gerekli olan panel gücü 29 325 kWp olarak hesaplanmıştır. Bu gücü elde etmek için Ankara ili şartlarında 7.15 saat güneşlenme süresi dikkate alınarak minimum 6 077 adet 0.675 kWp panel gücüne ihtiyaç vardır.

Elde edilen veriler sonucunda veri merkezinin güç ihtiyacını karşılayabilmek için her 100 kW invertera 144 adet fotovoltaik panel bağlantısı yapılabilir. Arazi tipi fotovoltaik panel uygulamasından veri merkezinin gücünü karşılamak için 43 adet inverter ve 6 192 adet 0.675 kWp fotovoltaik panel kullanılması gerekmektedir. Paneller 3 × 18 boyutunda sehpaların üzerinde olacak şekilde konumlandırılmıştır. Her renk ayrı bir diziyi ifade eder. Aşağıda Şekil 4.17'de panel inverter bağlantısı gösterilmiştir.




Şekil 4.17. Panel inverter bağlantısı

# 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Veri merkezleri, birçok bileşeni içeren karmaşık bir yapıya sahiptir. Kavramların daha anlaşılır olabilmesi için veri merkezi tanımları yapılmış içerikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Veri merkezinde farklı bileşenlerin rollerini ve birbirleriyle nasıl etkileşime girdiğinin açıklandığı için daha iyi bir planlama ve tasarım süreci için temel oluşturur. Bu, veri merkezini optimize etmek ve performansı artırmak için önemlidir. Böylece, veri merkezinde olası riskler ve felaketler önceden tahmin edilebilir ve buna göre önlemler alınabilir.

Günümüzde modern teknolojinin temel taşlarından olan veri merkezleri ve hayatımızın birçok farklı alanında önemli bir rol oynamaktadır. İnternet kullanımının artması, bulut bilişimin yaygınlaşması ve dijitalleşmenin hızlanmasıyla birlikte veri merkezlerinin önemi de giderek artmaktadır.

Kurumların veya şirketlerin dijitalleşen dünyaya ayak uydurmaları, müşterilerinin güvenliğini sağlamak için artan veri talebine ve ihtiyaçlarına yanıt vermeleri gerekmektedir. Verilerin hızlı ve güvenilir bir şekilde depolanarak ihtiyaç anında kullanıcılara ulaşabilmesi için veri merkezlerine ihtiyaçları vardır. Bu operasyonları sürekli yürütebilmek için de büyük enerji ihtiyaçları ortaya çıkmaktadır. Bu enerji ihtiyaçlarını minimize etmek için en az enerjiyle en fazla verimi alabilmek önemlidir. Verimli bir veri merkezi için verimliliği yüksek BT cihazları, iklimlendirme cihazları ve enerjilendirme cihazları seçilmelidir. Çeşitli yazılımlar kullanarak veri merkezinde ki enerji tüketimleri raporlanmalı raporlar sonucunda gereksiz kullanımlar belirlenerek enerji verimliliği arttırıcı önlemler alınmalıdır.

Ankara ili şartlarında kurulması planlanan bir veri merkezi için minimum alanda maksimum etkinlik göz önünde bulundurularak sürdürülebilir bir veri merkezi tasarımı yapılmıştır. Isı kazancı hesaplamalarıyla oda bazında ihtiyaç duyulan soğutma yükleri belirlenmiş yüklere göre hassas cihaz seçimleri yapılmıştır.

Teknolojinin gelişmesiyle artan veri merkezlerinde enerji tüketim oranları da gelişim hızına paralel şekilde artmaktadır. Mümkün oldukça birincil enerji kaynakları tüketiminden kaçınarak yenilenebilir enerji kaynaklarını sistemlere dahil etmek

sürdürülebilirlik için önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtlara dayalı enerji üretimine kıyasla daha temizdir ve karbon ayak izini azaltır. Enerji maliyetlerinin düşürülmesine yardımcı olur. Veri merkezleri yenilenebilir enerjiye geçtiklerinde, enerji faturalarında tasarruf sağlanır ve bu da işletme maliyetlerini azaltır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı bir enerji altyapısı, enerji güvenliğini artırır. Veri merkezleri, bağımsız bir güç kaynağına sahip olduklarında, kesintisiz bir şekilde çalışmaya devam edebilirler. Yenilenebilir enerji kaynakları yerel kaynaklara dayandığı için enerji arzı daha istikrarlı hale gelir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmak, veri merkezlerinin çevre dostu bir şirket veya kurum olarak algılanmasını sağlar. Sürdürülebilir enerji kullanımı ve azaltılmış karbon emisyonları, şirketin veya kurumların, kurumsal sosyal sorumluluğunu yerine getirdiğini ve topluma katkıda bulunduğunu gösterir.

Bu doğrultuda tasarımı yapılan veri merkezi için elde edilen veriler sonucunda iki farklı güneş enerjisi uygulaması yapılmıştır. Çatı tipi fotovoltaik panel uygulamasında veri merkezi çatı alanına 126 adet 0.675 kWp güce sahip panel yerleştirilmiştir. Bu tasarım sonucunda anlık 85.05 kWp DC elektrik enerjisi üretilmiştir. Hesaplanan AC sistem verimi %86.67'dir. Elde edilen ortalama günlük üretim olan 527 kW AC, günlük ortalama tüketim değeri 25 416 kW olan veri merkezinin yaklaşık %2.07 'sine karşılık geldiği görülmüştür. 07.04.2023 tarihi itibari ile 1 kWh elektrik birim fiyatı 900 kWh'in üzerinde olan iş yeri aboneleri için yani veri merkezleri için 3.78 TL / kWh'dir (Anonim, 2023b). Bu fiyatlandırma tarifesinde kurulan çatı tip fotovoltaik panel yıllık 727 bin 102 Türk Lirası tesise tasarruf sağlar. Bu çalışmada yeterli miktarda panel konumlandırılamadığı ve veri merkezlerinin yüksek elektrik tüketimi olduğundan dolayı üretilen enerji miktarı oldukça düşük çıkmıştır.

Veri merkezinin toplam elektrik ihtiyacını fotovoltaik paneller ile sağlamak amacıyla arazi tipi fotovoltaik panel uygulaması ve hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen veriler neticesinde veri merkezinin enerji ihtiyacının karşılanabilmesi amacıyla 43 adet 100 kW inverter ve 6 192 adet 0.675 kWp gücüne sahip panel ihtiyacına gereksinim vardır. Kurulan arazi tipi fotovoltaik panel yılda ortalama 35 milyon 66 bin 455 Türk Lirası veri merkezine tasarruf sağlar. Ancak yıl içerisinde kapalı günler olduğundan dolayı veri merkezleri gibi kritik yerler için fotovoltaik panel

uygulamaları şebekeden bağımsız başlı başına bir enerji kaynağı olarak kullanılmamalı bunun yerine fotovoltaik panel destekli şebeke enerjisi kullanılmalıdır.

Tasarımı yapılan fotovoltaik sistemlerde akü maliyetleri yüksek olduğu için ve dolayısıyla sistemin ilk kurulum maliyetini 2 kat arttıracağı için depolama işlemi yerine şebekeye bağlı sistem olarak tasarım yapılmıştır. Günümüzde veri merkezleri beyaz alanı beslemek için hali hazırda UPS sistemine bağlı aküler mevcuttur ancak UPS firmaları garanti kapsamını bozduğu için dışarıdan herhangi bir müdahaleyi kabul etmemektedir. Mevcut UPS sistemindeki akülere ATS bağlayarak güneşli günlerde akülerin fotovoltaik kaynağı referans alarak dolum yapması güneşsiz günlerde ise mevcut şebeke kaynağından beslenmesi sağlanabilir. Akü maliyetlerinden kaçınmak için mevcut UPS sistemindeki aküleri kullanmak fotovoltaik uygulamaların veri merkezlerinde daha da yaygınlaşmasını sağlayabilir.

## KAYNAKLAR


ABB (2021). Otomatik Transfer Anahtarı Sınıfı Nasıl Seçilir? https://library.e.abb.com/public/f2ae5555591a43208423ab659d837ad0/13_ABB_Teknik%20Foy_ATS_Otomatik%20Transfer%20Anahtari%20Sinifi%20Nasil%20Secilir.pdf. (Son erişim tarihi: 23 Aralık 2022)

ABB (2023). ABB String İnverters PVS-100/120-TL. https://vipnetsolar.com.tr/files/data/PVS-100-120-TL_BCD.00662_EN_Rev-G.pdf. (Son erişim tarihi: 23 Mayıs 2023)

Akın, G. (2010). *Sistem Odaları İklimlendirme Sistemleri*. (Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Aktaş, G. (2011). Elektrik Alanlarında (Trafo, Jeneratör, Enerji Dağıtım Pano, Server Odaları Vb) Yangın Korunum Konsepti. Protek Mühendislik, İstanbul.

Ali, K., Raman, G., Xiao, W., & Peng, J. C. H. (2019). A GaN-based high step-up half-bridge resonant converter for ınterfacing pv modules to DC data centers. *2019 IEEE 4th International Future Energy Electronics Conference (IFEEC), 19*(1), 1-8. https://doi.org/10.1109/ifeec47410.2019.9015139

Anonim (2017). Data Center Architecture. http://venkatachalamitmt535.blogspot.com/. (Son erişim tarihi: 02 Mayıs 2022)

Anonim (2019). *Veri Merkezi Rehberi Bilgi Teknologileri Hizmetleri*. Ankara, Tübitak.

Anonim (2022a). W-PFS-014 Premium Fuel Cleaning System. https://wasp-pfs.com/products/fuel-polishing-systems/w-pfs/w-pfs-014. (Son erişim tarihi: 11 Ocak 2023)

Anonim (2022b). Data Center HVAC Systems. https://mepacademy.com/data-center-hvac-systems/. (Son erişim tarihi: 21 Ocak 2023)

Anonim (2023a). Raised Floor Data Center. https://accessfloorpolygroup.com/raised-floor-data-center/. (Son erişim tarihi: 3 Mayıs 2023)

Anonim (2023b). Elektrik Fiyatları. https://www.karekod.org/blog/elektrik-fiyatlari/. (Son erişim tarihi: 7 Mayıs 2023)

Anonim (2023c). Yenilenebilir Enerji. http://2bltd.com.tr/solar.html. (Son erişim tarihi: 11 Haziran 2023)

APC (2023). APC rack pdu 9000 series. https://www.apc.com/shop/fi/en/products/APC-Rack-PDU-9000-Switched-ZeroU-32A-230V-21-C13-3-C19/P-APDU9953. (Son erişim tarihi: 11 Eylül 2022)

ASHRAE (2022). ASHRAE releases revised version of data center standard. https://www.ashrae.org/about/news/2019/ashrae-releases-revised-version-of-data-center-standard. (Son erişim tarihi: 21 Şubat 2023)

Bilal, K., Khalid, O., Erbad, A., & Khan, S. U. (2018). Potentials, trends, and prospects in edge technologies: Fog, cloudlet, mobile edge, and micro data centers. *Computer Networks*, *130*, 94-120. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2017.10.002

Bilgin, M. (2013). *Fotovoltaik Panellerin Verimine Panel Yüzey Sıcaklığı Etkisinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Bogart, J. W. (1995). Magnetic Tape Storage and Handling: A Guide for Libraries and Archives. Commission on Preservation and Access, 1400 16th St., NW, Suite 740, Washington, DC 20036-2217.

Bolazar, F., & Acül, H. (2006). Enerji tesislerinde kullanılan radyatörler (kuru soğutucular). https://www.friterm.com/Uploads/Document/8ac632e0-fac1-49a1-ba57-0c46a7b23b9a.pdf?v-636865503520000000. (Son erişim tarihi: 19 Mayıs 2023)

Boztepe, M. (2017). Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler (Türkiye). *EMO İzmir Şubesi Aylık Bülteni 321*. Ocak 19-20, İzmir, 13-17.

BP (2022). *British Petroleum Statistical Review of World Energy*. 71st Edition. London, UK.

Chesneau, H. L., Passman, F. J., & Daniels, D. (1995). Case Study: Use Of İsothiazolinone And Nitro-Morpholine Biocides To Control Microbial Contamination in Diesel And Gasoline Storage And Distribution Systems (United States). *5. İnternational Conference On Stability And Handling Of Liquid Fuels.* October 03-07, Rotterdam, 431.

Cisco (2023). Cisco catalyst 9400 series switches. https://www.cisco.com/site/us/en/products/networking/switches/catalyst-9400-series-switches/index.html. (Son erişim tarihi: 30 Nisan 2023)

Cole, D. (2019). Fundamentals of data center power: Power calculations. https://www.youtube.com/watch?v=1mTLJzPOSI0&ab_channel=GogoTraining. (Son erişim tarihi: 1 Mayıs 2023)

CW-Enerji (2023). CW enerji güneş panelleri. https://cw-enerji.com/tr/urun/cw-enerji-675wp-132pm-m12-hc-mb-gunes-paneli-772.html. (Son erişim tarihi: 13 Mayıs 2023)

Çavdar, D., & Alagöz, F. (2013). Yeşil Veri Merkezlerinde Enerji Verimliliği (Türkiye). *XV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*. Ocak 23-25, Antalya, 943-946.

Çelen, O. (2020). *Fotovoltaik (Pv) Paneller İçin Fotokatalitik, Antibakteriyel ve Yansıma Önleyici Yüzey Kaplamaların Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu.* (Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Dağaşan, A., Akur, M., & Demirçin, M. U. (2022). Fiber Optic Cable Termination and Signal Loss Detection in Das Systems (Turkey). *30th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU).* May 15-18, Safranbolu, 1-4. https://doi.org/10.1109/siu55565.2022.9864838

Demir, M. T. (2017). Veri Merkezlerinde BMS, PMS ve DCIM Entegrasyonu (Türkiye). *V. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi.* Ekim 18-21, İzmir, 24-25.

Dörterler, M., Ateş, V., & Açıkgöz, M. (2012). Üniversite Sistem Odası Kurulumu: Gazi Üniversitesi Örneği (Türkiye). *XIV. Akademik Bilişim Konferansı.* Şubat 01-03, Uşak, 309-315.

EAE (2023). Busbar systems. https://www.eaeelectric.com/busbar-systems/e-line-kap-busbar. (Son erişim tarihi: 6 Mart 2023)

Eİ (2023). Statistical review. https://www.energyinst.org/statistical-review. (Son erişim tarihi: 13 Temmuz 2023)

Eltas (2022). Kuru tip dağıtım transformatörler. https://www.eltas.com.tr/urunler/1007/%C3%BCr%C3%BCn-gruplar%C4%B1m%C4%B1z/1002/kuru-tip-transformat%C3%B6rler.aspx. (Son erişim tarihi: 14 Ocak 2023)

Erden, H. S., & Türkmen, İ. (2022). Küçük bir veri merkezinin iklimlendirme ünitelerine yönelik baypas yönteminin enerji ve ekonomik analizi. gazi üniversitesi. *Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 37*(4), 883-1898. https://doi.org/10.17341/gazimmfd.897270

Estap (2023). DCMax veri merkezi kabinleri. https://www.estap.com.tr/datasheet/dcmax-teknik-klavuzu.pdf. (Son erişim tarihi: 11 Haziran 2023)

ETKB (2023a). Elektrik, Bilgi Merkezi. T.C. Enerji ve Tabii Kayanaklar Bakanlığı, Ankara.

ETKB (2023b). Güneş, Bilgi Merkezi. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara.

Factor, M., Meth, K., Naor, D., Rodeh, O., & Satran, J. (2005). Object storage: The future building block for storage systems. *IEEE International Symposium on Mass Storage Systems and Technology, 42*(3), 119-123. https://doi.org/10.1109/lgdi.2005.1612479

Genli, M. M. (2005). *Bina Otomasyon Sistemleri*. (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

GEPA (2023). Güneş enerji potansiyel atlası. https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/6.aspx. (Son erişim tarihi: 15 Şubat 2023)

Gezegin, C., Dirik, H., Ergül, E. U., & Özdemir, M. (2016). Kuru tip trafoların ortalama ve en yüksek sargı sıcaklık artış sıcaklıklarının incelenmesi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 5*(1), 107-119.

Gökce, İ. (2020). *Fotovoltaik (Pv) Hücreler Yardımıyla Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi ve Performansını Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Greenberg, S., Mills, E., Tschudi, B., Rumsey, P., & Myatt, B. (2006). Best Practices For Data Centers: Lessons Learned From Benchmarking 22 Data Centers (USA). *Proceedings of the ACEEE summer study on energy efficiency in buildings in Asilomar.* August 03-04, Berkeley, 76-87.

Grigorik, I. (2013). H*igh Performance Browser Networking: What every web developer should know about networking and web performance*. O'Reilly Media, Inc.

Guo, Y., Li, H., & Pan, M. (2017). Colocation data center demand response using Nash bargaining theory. *IEEE Transactions on Smart Grid, 9*(5), 4017-4026. https://doi.org/10.1109/tsg.2016.2647246

Günel, A. (2014). *Üniversitelere Yönelik Yeni Bir Veri Merkezi Tasarımı ve Uygulaması.* (Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Hamilton, J. (2006). Architecture for modular data centers. *Redmond Arxiv Preprint*, *1*, 6-12. https://doi.org/10.48550/arXiv.cs/0612110

Hoang, N. V. (2020). *Data Center Infrastructure: Network Design Concept*. (Bachelor Thesis, University of Science and Technology of Hanoi Department of Information and Communication Technology)

HPE (2023a). Hewlett packard enterprise proliant Dl300 series servers. https://www.hpe.com/us/en/servers/rack-servers.html. (Son erişim tarihi: 24 Nisan 2023)

HPE (2023b). HPE 3PAR storeserv 20000 storage. https://buy.hpe.com/tr/tr/storage/disk-storage-systems/3par-storeserv-storage/3par-storeserv-storage/hpe-3par-storeserv-20000-storage/p/8295785. (Son erişim tarihi: 24 Nisan 2023)

Huawei (2023). Enterprise routers. https://e.huawei.com/ph/products/routers. (Son erişim tarihi: 19 Mart 2023)

Islam, M. A., Mahmud, H., Ren, S., & Wang, X. (2015). Paying to save: Reducing cost of colocation data center via rewards. *21st International Symposium on High Performance Computer Architecture (HPCA), 44*(2), 235-245. https://doi.org/10.1109/hpca.2015.7056036

Işık, S., & Yavuz, S. (2022). Biyokütleden elde edilen biyoyakıtlara genel bir bakış. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 34*, 193-201. https://doi.org/10.31590/ejosat.1079255

Kaplan, K. (2020). Salamura (Brine) tablosu / Etilen glikol-su. https://www.kutmankaplan.net/2020/08/salamura-brine-tablosu-etilen-glikol-su.html. (Son erişim tarihi: 20 Haziran 2023)

Kara, A. (2022). Reaktif Güç Nedir ve Neden Önemlidir? https://www.elektrikport.com/makale-detay/reaktif-guc-nedir-ve-neden-onemlidir/18896#ad-image-0. (Son erişim tarihi: 14 Ocak 2023)

Katz, R. H. (1992). Network-Attached Storage Systems (USA). *Proceedings Scalable High Performance Computing Conference.* April 26-29, Williamsburg, 68-69. https://doi.org/10.1109/shpcc.1992.232686

Khattar, R. K., Murphy, M. S., Tarella, G. J., & Nystrom, K. E. (1999). *Introduction to Storage Area Network, SAN*. IBM Corporation, International Technical Support Organization.

Kocakuşak, R. (2018). *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisinin, Türkiye'deki Önemi ve GES Kurulum Araştırması*. (Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü)

Küçükçalı, R., & Arısoy, A. (2001). *Isısan Çalışmaları No.305 Klima Tesisatı.* Isısan Akademi, Isısan.

Moral, O. (2016). *Yeni Nesil Veri Merkezi Tasarımı ve Kurulumu Aşamasındaki Gereksinimleri*. (Yüksek Lisans Tezi, Okan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

MTU (2022). Mtu 4000 series diesel generator sets. https://www.mtu-solutions.com/content/dam/mtu/download/applications/power-generation/16120753_PowerGeneration_S4000_Diesel_brochure.pdf/_jcr_content/renditions/original./16120753_PowerGeneration_S4000_Diesel_brochure.pdf. (Son erişim tarihi: 14 Mart 2023)

Nada, S. A., Said, M. A., & Rady, M. A. (2016). CFD investigations of data centers' thermal performance for different configurations of CRACs units and aisles separation. *Alexandria engineering journal, 55*(2), 959-971. https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.02.025

Niemann, J., Brown, K., & Avelar, V. (2011). Impact of hot and cold aisle containment on data center temperature and efficiency. In *Schneider Electric Data Center Science Center, White Paper.* (pp.1-14)

Nooruzzaman, M., & Fernando, X. (2021). Hyperscale data center networks with transparent HyperX architecture. *IEEE Communications Magazine, 59(*6), 120-125. https://doi.org/10.1109/mcom.001.2001070

Ono, T., Konishi, Y., Tanimoto, T., Iwamatsu, N., Miyoshi, T., & Tanaka, J. (2015). A flexible direct attached storage for a data intensive application. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, *98*(12), 2168-2177. https://doi.org/10.1109/bigdata.2014.7004224

Özkan, N. (2014). *Trafo Merkezlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Risklerinin Tesipiti ve Çözüm Önerileri.* (Uzmanlık Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı Güvenliği Genel Müdürlüğü)

Pan, Y., Yin, R., & Huang, Z. (2008). Energy modeling of two office buildings with data center for green building design. *Energy and buildings, 40*(7), 1145-1152. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.10.008

Parakende, A. (2023). Kesintisiz Güç Kaynağı (UPS) Nedir? Neden Kullanılır? https://www.aydemperakende.com.tr/blog/kesintisiz-guc-kaynagi-ups-nedir-neden-kullanilir. (Son erişim tarihi: 11 Mayıs 2023)

Patankar, S. V., & Karki, K. C. (2004). Distribution of cooling airflow in a raised-floor data center/discussion. *ASHRAE Transactions*, *110*, 629. https://doi.org/10.1115/ipack2003-35282

Purnama, I. B. I. (2020). Role of packet tracer in simulating server services on the client-server computer network. *Journal of Physics: Conference Series, 1511*(1), 01-08. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1511/1/012007

Rolander, N. W. (2005). Robust Design of Air-Cooled Server Cabinets for Thermal Efficiency. *International Electronic Packaging Tecnical Conference and Exhibition*, *5*(1), 1649-1659. https://doi.org/10.1115/ipack2005-73171

Schneider (2023a). Dcim softwares. https://www.se.com/tr/tr/work/solutions/for-business/data-centers-and-networks/dcim-software/. (Son erişim tarihi: 5 Haziran 2023)

Schneider (2023b). Uniflair air cooled and free cooling ekstra large chillers. https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Brochure&p_File_Name=Uniflair+Chillers+XRAC-XRAF_Brochure_May2023.pdf&p_Doc_Ref=XRAC_XRAF_Brochure_EN. (Son erişim tarihi: 26 Mayıs 2023)

Schneider (2023c). Galaxy V GVX625K1000NHS. https://www.se.com/tr/tr/product/GVX625K1000NHS/galaxy-vx-625kva-1000kvaya-geni%C5%9Fletilebilir-400v-%C3%A7al%C4%B1%C5%9Ft%C4%B1rma-5x8/?%3Frange=63732-galaxy-vx&parent-subcategory-id=8030&selected-node-id=27590172289. (Son erişim tarihi: 9 Temmuz 20023)

Sechrist, S. (2022). 5 common types of data centers: do you know the differences? https://www.belden.com/blogs/data-center/5-common-types-of-data-centers. (Son erişim tarihi: 20 Nisan 2022)

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. *Procedia Computer Science, 48*, 142-148. https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.163

Sigma (2021). Sigma elektrik otomatik transfer şalterleri. https://sigmaelektrik.com/wp-content/uploads/2021/12/3-Otomatik-transfer-s%CC%A7alterleri.pdf. (Son erişim tarihi: 17 Eyül 2022)

Stulz (2023). Stulz cyberair. https://www.stulz.com/fileadmin/user_upload/Final_images/STULZ_NL/Other/STULZ_CyberAir_3PRO_CW_Brochure_2303_EN.pdf?. (Son erişim tarihi: 11 Haziran 2023)

Sunbird (2022). What's the best pue ratio for data centers? https://www.sunbirddcim.com/blog/whats-best-pue-ratio-data-centers. (Son erişim tarihi: 01 Haziran 2023)

Sürücü, M. C. (2016). *Konteyner Tip Veri Merkezi Detaylı Tasarımı, Güç Hesaplamaları ve Cihaz Seçimleri*. (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Szlazak, J., & Szlazak, R. A. (2017). Access to primary energy sources - the basis of national energy security. *Materials Science and Engineering, 268*, 01-15. https://doi.org/10.1088/1757-899x/268/1/012002

Şen, E. (2019). *Veri Merkezlerinde Enerji Verimliliğini Arttırıcı Yöntemler*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniersirtesi Enerji Enstitüsü).

Tang, C., Steinder, M., Spreitzer, M., & Pacifici, G. (2007). A scalable application placement controller for enterprise data centers. *Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web*, *64*(7), 331-340. https://doi.org/10.1145/1242572.1242618

Tanrıkulu, H. (2002). E-Devlet ve İnternet Veri Merkezleri (Tükiye). *VIII. Türkiye'de İnternet Konferansı*. Aralık 19-21, İstanbul, 13-17.

TTMD (2019). Veri Merkezleri ve Telekomünikasyon Tesisleri. Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat E-Dergisi (Ek 121), TTMD, Ankara.

Türkmen, İ. (2019). *UHEM Veri Merkezi Isıl Profilinin Deneysel İncelenmesi ve CFD Analizi.* (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

UPTİME (2022). Tier certification overview. https://uptimeinstitute.com/tier-certification. (Son erişim tarihi: 11 Şubat 2023)

VanGilder, J. W., & Schmidt, R. R. (2005). Airflow uniformity through perforated tiles in a raised-floor data center. *International Electronic Packaging Technical Conference and Exhibition, 42002*(1), 493-501. https://doi.org/10.1115/ipack2005-73375

Vasques, T., Moura, P., & Almeida, A. (2017). Energy efficiency insight into small and medium data centres: A comparative analysis based on a survey. *Eceee Summer Study Proceedıngs - Consumptıon, Effıcıency & Lımıts*, *7*(1), 1541-1550. https://doi.org/10.1007/s12053-018-9753-2

Wang, X., Chen, M., Lefurgy, C., & Keller, T. W. (2009). SHIP: Scalable hierarchical power control for large-scale data centers. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 23*(1), 91-100. https://doi.org/10.1109/pact.2009.34

Wikipedia (2023). Rack unit. https://en.wikipedia.org/wiki/Rack_unit. (Son erişim tarihi: 2 Temmuz 2023)

Woodruff, J. Z., Brenner, P., Buccellato, A. P., & Go, D. B. (2014). Environmentally opportunistic computing: A distributed waste heat reutilization approach to energy-efficient buildings and data centers. *Energy and Buildings, 69*, 41-50. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.09.036

Wu, K. (2008). *A Comparative Study Of Various High Density Data Center Cooling Technologies.* (Doctoral Dissertation, The Graduate School, Stony Brook University: Stony Brook, NY)

Yıldırım, F. (2014). *Generetörlerin Otomatik Senkronizasyonu.* (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Yüzgeç, U., & Günel, A. (2015). Üniversitelere yönelik bir veri merkezinin enerji planlaması (Türkiye). *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(*2), 17-24.

Zhang, Y., Wei, Z., & Zhang, M. (2017). Free cooling technologies for data centers: energy saving mechanism and applications. *Energy Procedia, 143*, 410-415. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.703

**ÖZGEÇMİŞ**