



**VERİ MERKEZLERİNDE TRİJENERASYON SİSTEMLERİNİN
UYGULANABİLİRLİĞİNİN TEKNOEKONOMİK ANALİZİ**

Rıdvan HATİBOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL, 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Rıdvan HATİBOĞLU

16/09/2021

VERİ MERKEZLERİNDE TRİJENERASYON SİSTEMLERİNİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN TEKNOEKONOMİK ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Rıdvan HATİBOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2021

ÖZET

Bilgi işlem teknolojilerindeki hızlı gelişmeye paralel olarak verilerin işlenmesi ve depolanması için veri merkezlerine olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Veri merkezleri, özellikle kripto para ve pandemi dönemi ile bulut sistemlerindeki ve iletişim ağlarındaki yoğun kullanım nedeni ile enerji tüketimi açısından birçok bina tipinden daha yüksek enerji yoğunluğuna hale gelmiştir. Bu sistemlerin işletilmesinde de enerji giderleri önemli bir paya sahip olmuştur. Beyaz alanın soğutulması sunucuların iç sıcaklığının elektronik bileşenlerdeki limit sıcaklığın aşılmasını için önemlidir. Veri merkezlerinde tasarım aşamasından başlayarak standardı (Tier III, Tier IV vb.) belirlenmiş olan yapıda mekanik sistemlerin de 7/24 çalışma zorunluluğu nedeni ile yedekli olarak tasarlanması, HAD analizleri ile hava dağıtımının modellenmesi, işletme senaryolarının oluşturulması gibi birçok ele alınmaktadır. Bu çalışmada, kullanımda olan bir veri merkezi enerji tüketim verileri alınarak mevcut DX bataryalı soğutma sistemi yerine trijenerasyon seçeneği ile hem elektrik üretiminin hem de soğutulmuş su üretiminin irdelenmesi yapılmıştır. Trijenerasyon sistemleri esasen en verimli işletme koşulları için sürekli tam yükte çalıştırılma zorunluluğu ve ana sürücünün atık ısısından faydalanarak soğutulmuş su üretilmesi nedenleri ile veri merkezlerinde çok kısa geri ödeme sürelerine sahip olacaktır. Yapılan çalışma ile elde edilen yük profiline göre üç farklı kapasitede içten yanmalı motor seçimi yapılarak 20 yıllık ekonomik analizi ve sistemin karbondioksit salımı üzerindeki etkisi ele alınmıştır. Sonuçlara göre, veri merkezi kapasitesine uygun sistem seçiminin detaylı analizlerle elde edilmesi zorunluluğu belirlenmiştir. Farklı sistem kapasiteleri için geri ödeme süresi 2-2,5 yıl olarak hesaplanmıştır. Ek olarak, yıllık CO₂ salımındaki ortalama azalma 12 400-16 330 ton olarak hesaplanmıştır.

Bilim Kodu : 91408
Anahtar Kelimeler : Veri merkezi, soğutma sistemi, enerji maliyeti, karbon ayak izi, trijenerasyon
Sayfa Adedi : 115
Danışman : Doç. Dr. M. Zeki YILMAZOĞLU

TECHNOECONOMIC ANALYSIS OF THE APPLICABILITY OF TRIGENERATION SYSTEMS IN DATA CENTERS

(M. Sc. Thesis)

Rıdvan HATİBOĞLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2021

ABSTRACT

Parallel to the rapid development in information processing technologies, the need for data centers for data processing and storage is increasing day by day. Data centers have become more energy-dense than many building types in terms of energy consumption, especially due to the intense use in cloud systems and communication networks, especially during the crypto marketing and pandemic period. Energy costs have also had a significant share in the operation of these systems. Cooling the white space is important so that the internal temperature of the servers does not exceed the limit temperature in the electronic components. Starting from the design stage in data centers, the standard (Tier III, Tier IV, etc.) has been determined in the structure, such as the redundant design of the mechanical systems due to the 24/7 working requirement, modeling of air distribution with CFD analysis, and the creation of operating scenarios. In this study, by taking the energy consumption data of a data center in use with DX systems, both electricity production and chilled water production were examined with the trigeneration option instead of the existing vapour compression cooling systems. Trigeneration systems will have very short payback periods in data centers mainly due to the requirement to be operated at full load continuously in terms of energy efficiency and the ability to produce chilled water by utilizing the waste heat of the prime mover. According to the load profile of a real data center obtained with the study, three different capacities of internal combustion engines were selected and the economic analysis of 20 years and the effect of the system on carbon dioxide emissions were discussed. According to the results, it was determined that the system selection suitable for the data center capacity must be obtained through detailed analysis. The payback period of the systems with different capacities is calculated to be 2-2,5 years. In addition, the average reduction in annual CO₂ emissions was calculated to be 12 400-16 330 tons.

Science Code : 91408

Key Words : Datacenter, cooling system, energy cost, carbon footprint, trigeneration

Page Number : 115

Supervisor : Assoc. Dr. M. Zeki YILMAZOĞLU

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışma süresince bana her türlü desteği sağlayan tez danışmanım değerli hocam sayın Doç. Dr. M. Zeki YILMAZOĞLU'na, iş yoğunluğum arasında beni motive ederek çalışmalarımın tamamlanmasında çok önemli bir katkı sağlayan kıymetli babama, abilerime ve sevgili eşime teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. VERİ MERKEZLERİ VE TELEKOMÜNİKASYON TESİSLERİ	13
2.1. Faydalanılabilecek Datacom Kaynak Dokümanlar.....	14
2.2. Haberleşme Ekipmanları, Güç İhtiyaçları Ve Çevre Rehberleri.....	20
2.2.1. Haberleşme ekipmanları çalışma yoğunluğu.....	20
2.2.2. Haberleşme ekipman kabinleri	21
2.2.3. Haberleşme ekipmanları (donanım)	22
2.2.4. Haberleşme cihaz bileşenleri	33
2.3. Veri Merkezleri	37
2.3.1. Genel hususlar	37
2.3.2. Hava soğutmalı sistemler.....	49
2.3.3. Sıvı soğutmalı sistem.....	54
2.3.4. Enerji verimliliği değerlendirmesi.....	57
3. KOJENERASYON VE TRİJENERASYON SİSTEMLERİ	63
3.1. Kojenerasyon Avantajları.....	64
3.2. Kojenerasyon Dezavantajları	66
3.3. Kojenerasyon Sistemlerinde Verimlilik	68

3.4. Yakıt Tasarrufu	69
3.5. Kojenerasyon Sistemi Kapasitesinin Belirlenmesi	69
3.6. Ana Sürücü Seçimi.....	72
3.7. Isı Geri Kazanım ve Soğutma Sistemleri	74
3.8. Kojenerasyon Uygulama Alanları.....	76
3.9. Trijenerasyon ve Isıl Olarak Aktive Olan Soğutma Sistemleri.....	77
3.10. Bakım Maliyetleri	80
4. ANALİZLER.....	81
4.1. Veri Merkezi Yük Profili	81
4.2. Trijenerasyon Sistemi Ekonomik Analizi	87
4.2.1. Yakıt tüketimi hesabı.....	87
4.2.2. Aylık çalışma süresi.....	88
4.2.3. Trijenerasyon sistemi elektrik birim maliyeti.....	88
4.2.4. Aylık elektrik maliyeti.....	89
4.2.5. Aylık trijenerasyon sistemi elektrik üretim maliyeti	89
4.2.6. Aylık trijenerasyon sistemi bakım ve işletme maliyeti	90
4.2.7. Aylık trijenerasyon sistemi iç tüketim maliyeti.....	90
4.2.8. Karbon salımı	95
4.3. Ekonomik Analiz	96
4.3.1. Net bugünkü değer (NBD)	97
4.3.2. İç verim oranı (İVO).....	99
4.3.3. Geri Ödeme Süresi.....	100
5. SONUÇ	103
6. DEĞERLENİRME VE ÖNERİLER.....	107
KAYNAKLAR	109
ÖZGEÇMİŞ	115

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Hava soğutmalı beyaz alan sınıfları (Ürün çalışma aralıkları)	29
Çizelge 2.2. Sıvı soğutmalı veri merkezi sınıfları (Teçhizat operasyonu).....	31
Çizelge 3.1. Farklı güç üretim sistemlerinin CO2 tasarrufu potansiyeli açısından karşılaştırması (ASHRAE, 2015).....	66
Çizelge 3.2. Isıtma-Soğutma için farklı sistem alternatifleri	67
Çizelge 4.1. Veri merkezi yıllık enerji tüketim değerleri (kWh).....	83
Çizelge 4.2. Veri merkezi yük durumu	85
Çizelge 4.3. Hesaplama kullanılan temel veriler	91
Çizelge 4.4. 2 000 kW kapasiteli gaz motoru kullanılan trijenerasyon sistem analizi ...	92
Çizelge 4.5. 1 560 kW kapasiteli gaz motoru kullanılan trijenerasyon sistem analizi ...	93
Çizelge 4.6. 1 200 kW kapasiteli gaz motoru kullanılan trijenerasyon sistem analizi ...	94
Çizelge 4.7. Yıllık karbon salımı	95
Çizelge 4.8. Net bugünkü değer hesabı	98
Çizelge 4.9. İç verim oranı hesabı	100

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. TIER Standartları.....	2
Şekil 2.1. Tipik bir Datacom tesisine ait alan dağılımı.....	14
Şekil 2.2. Tipik kabin ve raf örnekleri	23
Şekil 2.3. Tipik sunucu gruplama form faktörleri.....	23
Şekil 2.4. Kabin hava akışı	25
Şekil 2.5. Dahili ısı transferi olan sıvı soğutma çevrimi (ASHRAE 2012b)	25
Şekil 2.6. Haberleşme ekipman türleri için çevre sınıfları (ASHRAE 2012a)	30
Şekil 2.7. ASHRAE Haberleşme cihazı için tahmini güç trendleri (ASHRAE 2012b) .	32
Şekil 2.8. Sistem Isıl Yönetimi	34
Şekil 2.9. Örnek bileşen ortamı.....	35
Şekil 2.10. Temel kapama uygulamaları.....	52
Şekil 2.11. Veri merkezinde uygulanabilecek tipik bir sıvı soğutma sistemi	55
Şekil 2.12. Kapalı çevrim soğutulmuş su dağıtım boru sistemi (ASHRAE 2012b)	57
Şekil 2.13. PUE izleme ve ölçüm noktaları (CLC/TC, 2016)	58
Şekil 2.14. Su ekonomizörü örnek şeması (ASHRAE 2009b)	61
Şekil 2.15. Direkt Hava Ekonomizörü	62
Şekil 2.16. Dolaylı Hava Ekonomizörü	62
Şekil 3.1. Kojenerasyon ve ayırık sistemler için enerji tasarrufunun karşılaştırması	66
Şekil 3.2. 75 kW gücünde kojenerasyon sistemi (a), 18.8 MW gücünde doğalgazlı fakir karışımli sistem (b).....	73
Şekil 3.3. 4.6 MW gücünde reküperatörlü gaz türbini (a), 200 kW modüler mikro türbin (b)	74
Şekil 3.4. İçten yanmalı motorda ısı geri kazanım noktaları	75
Şekil 3.5. Art yakıcılı gaz türbini-atık ısı kazanı	76
Şekil 3.6. Atık ısı kazanı yaklaşım sıcaklığı	76

Şekil	Sayfa
Şekil 3.7. Tek etkili (a) ve çift etkili (b) absorpsiyonlu soğutma sistemi P-T diyagramı	79
Şekil 4.1. Kullanım ve bina fonksiyonuna göre yıllık enerji tüketim yoğunlukları (Lab, 2019).....	81
Şekil 4.2. Bir veri merkezi için aylık elektrik tüketim değerleri	84
Şekil 4.3. Bir veri merkezi için toplam tüketim eğrisi.....	84
Şekil 4.4. Veri Merkezi örneğinde yüzdesel yük faktörünün belirlenmesi.....	85
Şekil 4.5. 2 000 kW kapasiteli trijenerasyon sisteminin tesis ihtiyacını karşılama grafiği.....	86
Şekil 4.6. 1 560 kW kapasiteli trijenerasyon sisteminin tesis ihtiyacını karşılama grafiği.....	86
Şekil 4.7. 1 200 kW kapasiteli trijenerasyon sisteminin tesis ihtiyacını karşılama grafiği.....	87
Şekil 4.8. 2 000 kWe kapasiteli sistem için 24 yıllık pozitif ve negatif maliyetler	96
Şekil 4.9. 1 560 kWe kapasiteli sistem için 24 yıllık pozitif ve negatif maliyetler	97
Şekil 4.10. 1 200 kWe kapasiteli sistem için 24 yıllık pozitif ve negatif maliyetler	97
Şekil 4.11. İç verim oranı.....	99
Şekil 5.1. Üç farklı güçteki trijenerasyon sistemi için 24 yıllık NBD grafiği	103
Şekil 5.2. Üç farklı güçteki trijenerasyon sisteminin 24 yıl için İVO grafiği.....	104
Şekil 5.3. Üç farklı sistem için geri ödeme süreleri.....	104

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
h	Saat
H_u	Doğalgaz alt ısı değeri (kcal/m ³)
k	İşletmenin beklediği net kazanç oranı
kW	kilowatt
$kcal$	kilokalori
m^3	Metreküp
M_A	Yıllık servis maliyeti
M_{ET}	Aylık trijenerasyon sistemi enerji üretim maliyeti (TL/kWh)
M_{EU}	Aylık ulusal tarife elektrik maliyeti (TL/kWh)
M_g	Doğalgaz birim maliyeti (TL/m ³)
M_{iT}	İç tüketim maliyeti (TL/kW)
M_{SH}	Saatlik trijenerasyon bakım ve servis maliyeti
M_{SL}	Trijenerasyon sistemin ağır bakım ve servis maliyeti (TL/kW)
M_{sp}	Servis birim maliyeti (TL/kW)
M_{ST}	Aylık trijenerasyon bakım ve servis maliyeti
M_{tp}	Trijenerasyon sistemin elektrik birim maliyeti (TL/kW)
M_U	Ulusal tarife elektrik fiyatı (TL/kWh)
NBD	Net bugünkü değer,
NNA	Döneme ait net nakit akışı,
P_{iT}	Trijenerasyon sistemi saatlik iç tüketimi (kW)
P_{VM}	Tesis güç ihtiyacı (kW)
t_M	Aylık çalışma süresi (h)
YT	Saatlik yakıt tüketimi (m ³ /h)
μ_m	Motor elektriksel verimi

Kısaltmalar**Açıklamalar**

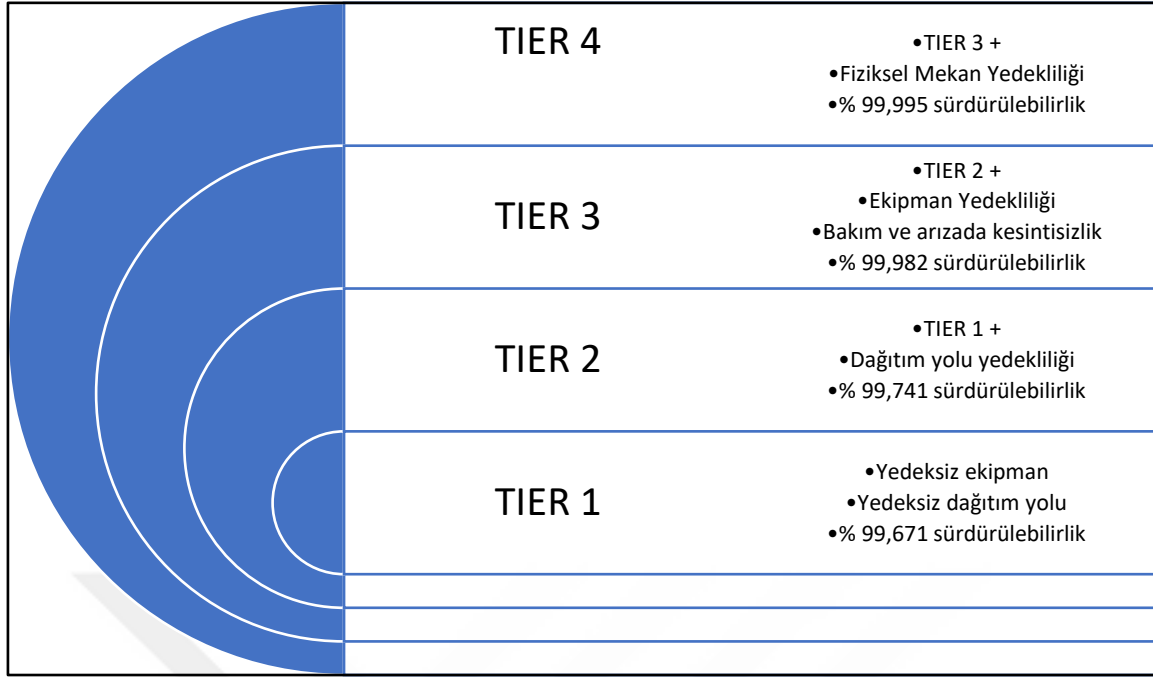
ASHRAE	American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers
DCIE	Veri merkezi altyapı verimliliği
İVO	İç verim oranı (IRR))
NBD	Net bugünkü değer (NPV
PUE	Güç kullanım etkinliği (Power Usage Effectiveness)
IoT	Nesnelerin interneti (Internet of Things)
TIA	The Telecommunications Industry Association
HVAC	Heating, ventilation, and air conditioning
LPS	Low Presseure Steam
HW	Heat Water
CHP	Combined heat and power
DX	Direct Expansion System
SLA	Service Level Agreement
IEC	Indirect Evaporative Cooling
FC	Free Cooling

1. GİRİŞ

Artan internet kullanımı, akıllı ev sistemleri, IoT (Internet of Things) teknoloji, depolama ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler nedeni ile veri merkezleri giderek önem kazanmaktadır. Bilişim sektöründe veri kullanımı büyük bir artış göstermekte ve bu durum veri depolama sistemlerine olan ihtiyacı daha da artırmaktadır. Veri merkezleri çok büyük boyutlarda verinin toplanması, depolanması, işlenmesi ve dağıtılması amacıyla, bilgisayar ve ağ donanımlarının yoğun bir şekilde bir merkezde toplandığı yerlerdir. Gerek sunucu ve bilgisayarların gerekse enerji teçhizatının işletme esnasında yüksek miktarda ısı açığa çıkarması, bilgisayar ve enerji teçhizatının soğutulması ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Bir taraftan sunucu ve bilgisayarlarda verimlilik çalışmaları devam ederken diğer taraftan beyaz alan ve enerji odaları soğutma sistemlerinde verimli sistem tasarımı giderek önem arz etmektedir.

Verimliliği artırmak amacıyla bir taraftan enerji üretimi yapılırken diğer taraftan atık ısının değerlendirilerek ısıtma ve soğutma sistemlerinin desteklenmesi (kojenerasyon, trijenerasyon) ile kayıplar büyük oranda azaltılmaktadır. Veri merkezi tesislerinde temel enerji verimliliğini ölçmek için sektörde kabul edilen bir ölçüm olan güç kullanımı etkinliği PUE (Power Usage Effectiveness), veri merkezi tesisi operasyonlarında enerji verimliliğini artırmaya yardımcı olan önemli bir araçtır.

Bir taraftan enerji tüketimi noktasında verimlilik çalışmaları devam ederken diğer taraftan sistem güvenliği ve sürdürülebilirlik hususlarında da farklı standart çalışmaları devam etmektedir. TIA-942 standardı bunlardan en öne çıkanlarından birisi olup, bu standartta veri merkezlerinde sürdürülebilirliği derecelendirmek ve belgelemek amacıyla dört tip sertifika verilmektedir. Her seviyenin bir önceki aşamada bulunması gereken koşulları sağlaması gerekmektedir.



Şekil 1.1. TIER Standartları

- Tier I: Temel Kapasite - Küçük işletmelere hizmet verir. Sistemlerin elektrik ve mekanik yedeği yoktur. Güç kaynakları, 10 dakikadan fazla enerji kesintisine dayanıklı değildir. Uptime oranı %99,671.
- Tier II: Yedek Kapasite Bileşenleri - Enerji ve soğutma sistemlerinin belli bir seviyeye kadar yedeği mevcuttur. Sahip olduğu güç kaynakları 24 saatlik sürelik enerji kesintilerine dayanabilir. Uptime oranı %99,741.
- Tier III: Eş Zamanlı Bakım Yapabilme - Donanımların yenileme ve bakım için hiçbir kapatma gerektirmez. Enerji ve soğutma sistemlerinin yedeği vardır. Güç kaynakları, 72 saat süren enerji kesintisine dayanabilir. Uptime oranı %99,982.
- Tier IV: Hata Toleranslı - Tier III'ün üzerine inşa edilen hata toleransı kavramına sahip altyapı topolojisinden oluşur. Yer seçiminde çok katı kuralları bulunmaktadır, güvenlik önlemleri yüksek seviyededir. Güç kaynakları, 96 saat süreli enerji kesintilerine dayanabilir. 7/24 çalışabilecek personeli bulunmaktadır. Uptime oranı %99,995. (Telkoder, 2015)

Veri merkezi ekipman teknolojisi hızlı bir şekilde ilerlemektedir, bu da nispeten kısa ürün döngüleri ve artan bir veri merkezi ekipman yükseltme sıklığı ile sonuçlanmaktadır. Veri merkezi tesisleri ve bunlarla ilişkili HVAC altyapısı genellikle daha uzun ömürlere sahip

olacak şekilde inşa edildiğinden, herhangi bir modern veri merkezi tesisi, ömrü boyunca farklı veri merkezi ekipmanı desteğini sorunsuz bir şekilde sağlayacak yeterlilikte olmalıdır.

İyi bir veri merkezi tesisi soğutma tasarımının amacı, soğutma kapasitesini gerçek ısı yüküyle eşleştirmektir. Bu, öngörülen veri merkezi ekipmanının ısı atımının doğru ve gerçekçi bir şekilde değerlendirilmesini gerektirir. Gerçek veri merkezi ekipmanı biliniyor olsa bile, bu zor bir karar olabilir ve sıklıkla yanlışlar yapılabilir. Bu nedenle, veri merkezi ekipmanının veri merkezi ile nasıl etkileşimde bulunduğunu kavramak için veri merkezi ekipmanı termal tasarımının temel anlayışı önemlidir.

Termal tasarım, tüm veri merkezi ekipmanı bileşenlerinin (örneğin, işlemciler, bellek, depolama, G / Ç, güç kaynakları) sıcaklıklarının özelliklerinin maksimum/minimum sınırları arasında tutulmasını sağlamalıdır. Veri merkezi ekipmanı bileşenleri işlevsel, güvenilir ve arızalanma sıcaklık özelliklerine sahiptir. Silikon bileşenler için maksimum fonksiyonel sıcaklık sınırları genellikle 85°C ile 105°C aralığındadır.

Veri merkezi ekipmanındaki termal yönetim sistemi bu şartlara uygunluğu sağlamak için gerekli önlemleri almalıdır. Bu veri bütünlüğünü sağlar ve ekipman servis ömrünü uzatır.

İyi tasarlanmış bir termal yönetim uygulaması, bileşen sıcaklıklarını, veri merkezi ekipmanı performansını, akustiği ve güç tüketimini dengeler.

- Veri merkezi ekipmanına veya sistem ortamına hava giriş sıcaklığı
- Veri merkezi ekipmanı içerisinde havanın ısınması veya yukarı akışlı ısı kaynaklarından kaynaklanan hava sıcaklığındaki artış
- Kendi kendine ısınma veya bileşenin kendisi tarafından dağıtılan ısıнын neden olduğu yerel ortamın üzerindeki bileşen sıcaklığında artış; bileşen ambalajı, güç dağıtımı ve ısıl çözümle (örneğin, ısı emici) yönetilir.

Veri merkezi ekipman üreticileri, havalandırma ekipmanları ve soğutucu tasarımı arasındaki değişimler de dahil olmak üzere, maliyet, performans ve enerji tüketimini dengeleyen bileşen ve ekipman düzeyinde soğutma çözümleri geliştirmektedir. Soğutma performansı, güç tüketimi, gürültü düzeyi, fan güvenilirliği ve yedeklilik özellikleri de genel çözümde dikkate alınması gereken önemli özelliklerdir. (ASHRAE, 2015)

Veri merkezlerinde PUE verimlilik değerlendirmesi açısından bir parametredir. PUE değeri veri merkezlerinde IT ekipman tüketimi ile destek ekipmanların tüketim ve kayıpları arasındaki oranla verimlilik hakkında doğrudan bir fikir vermektedir. Bu kısım beyaz alan tasarımı ve destek ekipmanlarının dizaynı ile doğrudan ilişkilidir.

Bunun dışında, toplam maliyet açısından verimi etkileyen diğer faktör ise veri merkezlerinin toplam enerji tüketimi ve bu enerjinin nereden temin edildiğidir. Trijenerasyon sistemleri hem elektrik enerjisinin yerinde üretilmesi ve böylece dağıtım kayıplarının azaltılması hem de atık ısıdan faydalanılarak absorpsiyonlu soğutma sistemleri ile soğutulmuş su üretimi gerçekleştirmesi nedeni ile geri ödeme süresinin çok kısa olacağı alternatif bir yöntemdir. Veri merkezinde 7/24 çalışma planlandığı için elektrik ve soğutma ihtiyacı da eş zamanlı olarak gerçekleşecektir. Bu sistem seçimi ile geri ödeme sürelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, şebeke enerjisi ve yedek enerji kaynağı olarak jeneratör kullanılan, hassas kontrollü klimalarda gazlı soğutma sistemi seçilmiş olan bir veri merkezinde bu klasik yöntem yerine trijenerasyon sistemi kullanılması halinde toplam enerji maliyeti değerlendirilmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Her geçen gün kullanımı yoğunlaşan ve enerji tüketimi artan veri merkezlerinin gerek enerji maliyetlerini düşürmek gerekse karbon salımını azaltmak adına bu tür alternatif sistem seçimi çalışmaları büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmanın hem ülkemizde hem de dünyada veri merkezlerinde enerji verimliliğinin gözden geçirilmesi ve yeni tasarlanacak veri merkezlerinin enerji ve soğutma altyapılarının daha verimli olacak şekilde projelendirilmesi noktasında tasarımcılara ışık tutması amaçlanmıştır.

Literatür taraması

Capozzoli ve Primiceri (Capozzolia & Primiceria, 2015) “Veri merkezlerinde soğutma sistemleri: son teknoloji ve gelişen teknolojiler” başlıklı makalede, şu anda mevcut olan ve gelişmekte olan birkaç veri merkezi soğutma sistemi üzerinde yapılan bir analizi ele almıştır. Çalışmada farklı teknolojilerin avantajları ve dezavantajları tartışılmıştır. Atık ısı geri kazanımı, yenilenebilir enerji kaynakları ve termal enerji kaynaklarının veri merkezine entegrasyonu gibi dikkatle incelenmesi gereken çeşitli hususlar tartışılmıştır. Enerji verimliliğini artırmanın, yalnızca sektörün desteklenebilir büyümesine izin vermek için

değil, aynı zamanda operasyonel maliyetleri düşürmek için de çok önemli olduğu belirtilmiştir. Enerji verimliliği önlemlerinin, koridorların muhafazasını, daha yüksek besleme havası sıcaklığını, optimum hava dağıtımını ve serbest soğutma kullanımını içerdiği ifade edilmiştir. Soğutma prosesini verimli bir şekilde ele almak için, yüksek yoğunluklu gücü destekleyebilen ve çok çeşitli avantajlar sunan sulu soğutma çözümlerinin benimsenmesi de alternatif bir seçenek olarak belirtilmiştir.

Lazic ve arkadaşları (Lazic, Lu, Boutilier, & Ryu, 2018) “Modele dayalı kontrol kullanarak veri merkezi soğutması” başlıklı çalışmalarında veri merkezi soğutmasını düzenleme işinin model tabanlı yapay zeka uygulamasını ele almışlardır. Spesifik olarak, yalnızca birkaç saatlik araştırmayla belirlenen basit bir doğrusal modelin, büyük ölçekli bir sunucu zemininde sıcaklıkların ve hava akışının etkili bir şekilde düzenlenmesi için yeterli olduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca, bu yaklaşımın, araştırma ile elde edilmeyen verilere dayalı, yaygın olarak kullanılan kontrolör ve yerel kontrolörlerden daha uygun maliyetli olduğu da belirtilmiştir.

Lahoud ve arkadaşları (Lahoud, Al Asmar, & Brouche, 2018) “Trijenerasyon ve Kojenerasyon Sistemlerine Yeniden Bakış” isimli çalışmalarında, trijenerasyon santrallerinin çalışmalarının bileşenler, modelleme, optimizasyon ve karar verme teknikleri açısından bir incelemesini yapmışlardır. Makalenin her bölümü için, CHP / CCHP uygulamasıyla ilgili önceki çalışmaların bir değerlendirmesiyle birlikte modelleme, optimizasyon ve karar vermede kullanılan yöntemlerin bir incelemesi sunulmaktadır. Modelleme, optimizasyon ve karar verme tekniklerinde özellikle kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerine ilişkin yeni konular tartışılmaktadır. İncelenen neredeyse tüm çalışmalarda, CCHP sistemlerinin olumlu teknik ve performans etkilerine sahip olduğu belirtilmiştir.

Bagade ve arkadaşları (Bagade, Rampure, Shelar, & Mahajan, 2019) “Trijenerasyon Sistemlerine Bir Bakış” adlı makalede, fiziksel trijenerasyon sistemlerinin analiz edildiği trijenerasyon sistemleri hakkındaki son literatürü gözden geçirmekte ve kullanılan analiz araçlarını rapor etmektedir.

Jamaluddin ve arkadaşları (Jamaluddin, Wan Alwi, Abd Manan, Hamzah, & Klemes, 2020) “Merkezi Trijenerasyon Santralının Toplam Saha Sisteminin Hassasiyet Analizinde

Performansı” isimli makalede Trigenation System Cascade Analysis (TriGenSCA) adı verilen PA yöntemine dayalı bir Total Site sisteminde trijenerasyon sisteminin optimizasyonunu ele almıştır. Bu analiz sayesinde, trijenerasyon sistemi ve yedekleme sisteminin boyutunun, veri dalgalanmaları olasılığı dikkate alınarak tahmin edilebileceği değerlendirilmiştir. Metodoloji, bir Total Site sisteminde merkezi nükleer trijenerasyon sistemi üzerinde test edilmiş olup, bir vaka çalışması olarak dört endüstriyel tesisi dikkate alarak, ekstra 3.1 MW Düşük Basıncılı Buhar (LPS) ve 7.15 MW Sıcak Su (HW) kullanılmıştır. Santral B kapatılırsa yedekleme sistemi ve Santral C kapatılırsa yedekleme sistemi tarafından fazladan 82,4 MW HW gerekliliği ortaya konmuştur. Bu nedenle, Tesis B ve C kapandığında enerji açığının üstesinden gelmek için kazan ve yoğuşturma sistemi boyutunun iyileştirilmesi gerektiği değerlendirilmiştir.

Calise ve arkadaşları (Calise, Cappiello, d’Accadia, Libertini, & Vicidomini, 2020) “Bir Hastane Uygulamasında Trijenerasyon Sisteminin Dinamik Simülasyonu ve Termoekonomik Analizi” adlı makalede belirli bir kontrol stratejisi (elektrik yükü izleme) için sistemin enerji ve ekonomik performansını araştırmayı amaçlayan, yaklaşık 600 yataklı, Puglia’da (Güney İtalya) bulunan bir hastanede kurulacak bir trijenerasyon sisteminin dinamik simülasyonuna dayalı yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Sistem, doğal gazla çalışan bir pistonlu motor (2,0 MW nominal güce sahip), tek kademeli bir LiBr-H₂O absorpsiyonlu soğutucu (yaklaşık 770 kW soğutma kapasiteli), yardımcı gazla çalışan kazanlar ve buhar jeneratörleri, elektrikli soğutucuları, soğutma kuleleri, ısı eşanjörleri, depolama tankları ve birkaç ek bileşeni (borular, vanalar vb.) içermektedir.

Darrow ve arkadaşları (Darrow & Hedman, 2009) “Veri Merkezlerinde Kombine Isı ve Güç Fırsatları” adlı raporda, veri merkezini daha uygun maliyetli ve enerji verimli hale getirmede birincil güce yardımcı olmak için CHP teknolojilerinin fırsatlarını analiz ediyor. CHP’nin daha kapsamlı uygulanmasının, ulusal şebekeden elektrik talebini düşüreceği ve elektrik iletim ve dağıtım altyapısı üzerindeki baskıyı azaltacağı ifade edilmiştir.

Raporda veri merkezleri standartlarına değinilmiş, veri merkezlerindeki yük profilleri ve yük dağılımları ele alınmıştır. Bununla birlikte soğutma sistemlerinde DX soğutma sistemleri ve chiller sisteminin karşılaştırması yapılmıştır. Son olarak 1 000 kW ve 10 000 kW IT yükler için CHP verimlilik ve yatırım maliyet karşılaştırmaları yapılmıştır. Sonuç olarak ABD gaz fiyatları ve elektrik fiyatlarına göre küçük kapasiteli CHP uygulamalarının efektif

olmayacağı ama büyük kapasitelerde geri ödeme sürelerinin çok daha uygun olacağı ifade edilmiştir.

Jan Szargut (Szargut, 2007) “Kojenerasyon proseslerindeki lokal ve sistemsel kayıplar” isimli çalışmasında bir kojenerasyon sistemindeki tüketimler ile toplam exerji kayıplarını ve verimlerini ele almıştır. Makalede ifade edildiği üzere kojenerasyon proseslerinde bir ana ürün ile birlikte bir veya daha fazla yan ürün görülmektedir. Tek amaçlı sistemlerde ekserji kayıplarının tespiti nispeten kolaydır, ancak çok amaçlı kojenerasyon sistemlerinde bir veya daha fazla yarı mamul olmasından dolayı kayıpların tespiti daha zor olacaktır.

Yine bu çalışmada ifade edildiği üzere kümülatif ekserji kaybı, kümülatif enerji kaybı ile paralel olup enerji maliyeti anlamına gelmektedir. Kümülatif ekserji kaybı Szargut ve Morris’in lineer denge denklemi ile hesaplanabilmektedir. Bazı maddelerin ürünlerinin kümülatif ekserji verimleri tablo halinde verilmiştir.

Bu araştırma enerji üretiminde yaşanan sorunları detayıyla incelemekte ve endüstriyel alanlarda yerleşik bulunan sanayi işletmeleri için başlıca kaynak olarak kullanılan termal ve elektrik enerjisi kullanan kojenerasyon sistemi bakımından gelecekte alternatif muhtemel bir yakıt olarak katı atık yakılmasını ortaya koymaktadır.

İmal ve arkadaşları (İmal, Kaya, Güneş, Kuyumcu, & Sönmez, 2015) “Birleşik Isı ve güç Üreten Sistemlerin Uygulamalı Analizi ve KSÜ Hastanesi Örnek Çalışması” adlı makalede KSÜ hastanesi için kurulabilecek kojenerasyon ve trijenerasyon sistemleri karşılaştırılarak maksimum net kar ve minimum net fayda sağlayacak tesis kapasitesinin belirlenmesi değerlendirilmiştir. Çalışma neticesinde gaz motorlu trijenerasyon sisteminin en karlı yatırım olacağı sonucu ortaya konmuştur.

Lozano ve arkadaşları (Lozano, Carvalho, Ramos, & Serra, 2009) “Basit Bir Trijenerasyon Sisteminin Termoekonomik Analizi” isimli çalışmalarında basit bir trijenerasyon sisteminin farklı açılardan değerlendirmesini ele almıştır. Çalışma neticesinde ortaya çıkan farklı maliyetlere bakılarak hangi yöntemin en doğru olduğuna karar verilecek bir kuralın olmadığı ve değerlendirmesi yapılacak duruma göre en sağlıklı değerlendirmenin yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Liu ve arkadaşları (Liu, Yue, Zhang, & Chen, 2020) “Doğal Gaz Destekli Solar LCPV / T Trijenerasyon Sisteminin Tasarımı ve Geçici Analizi” adlı çalışmalarında doğal gaz destekli bir düşük konsantrasyonlu güneş enerjisi fotovoltaiik / termal trijenerasyon (NG-LCPV / T-TG) sistemini ele almıştır. NG-LCPV / T-TG sisteminin tasarımı ve dinamik simülasyon performansı, Geçici Sistem Simülasyonu (TRNSYS) yazılımı kullanılarak tamamlanır. Sonuçlar, sistemin soğutma ve ısıtma yükü gereksinimlerini karşılayabildiğini göstermektedir. Önerilen sistem, deneysel oda sıcaklığını soğutma modunda yaklaşık 25 C'de, ısıtma modunda yaklaşık 20 C'de tutar. Düşük yoğunluklu fotovoltaiik / termal (LCPV / T) sistem tarafından üretilen elektrik ve termal enerji 3 819 kWh ve 18 374 kWh'dir. Bu arada, düşük sıcaklıklı ısı pompası (LHP), yüksek sıcaklıklı ısı pompası (HHP) ve chiller'in maksimum performans katsayısı (COP) sırasıyla 5; 2,2 ve 0,6'dır. Önerilen bu sistem, bir binada doğal gaz ve güneş enerjisinin birleştirilmesini gerçekleştirmektedir. Özetle, bu trijenerasyon sisteminin uygulanabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Klimenko ve arkadaşları (Klimenko, Agababov, Petin, Koryagin, & Korshikova, 2020) “Küçük Ölçekli Bir Kojenerasyon Santralini Trijenerasyon Santrali Olarak İşletmeye Revizyonunun Etkisinin Değerlendirilmesi” isimli çalışmalarında, bir buz sarayı, bir yüzme havuzu, bir otel ve ofis kompleksi ve bir iş merkezinden oluşan Rusya'nın orta kesiminde bulunan gerçekten var olan bir sosyal tesisin güç kaynağı sistemini ele alıyor. Şu anda tesis, bir kojenerasyon tesisi vasıtasıyla elektrik ve ısıyı merkezi bir şekilde alıyor. Sosyal tesis odalarında kurulan buhar sıkıştırılmalı ısı değiştiricileri kullanılarak soğutma ve iklimlendirme talepleri karşılanmaktadır. Elektrik, ısıtma ve soğutmanın birleştirilmiş enerjisini sosyal tesis odalarına merkezi bir şekilde tedarik eden bir trijenerasyon güç kaynağı düzenlemesi önerilmiştir. Söz konusu sosyal tesis için trijenerasyon güç kaynağı düzenlemesinin termodinamik avantajı gösterilmiştir.

Bamisile ve arkadaşları (Bamisile, Huang, Anane, & Dagbasi, 2019) “Yenilenebilir Enerjiyle Çalışan Bir Sistemin Trijenerasyon için Performans Analizleri” isimli çalışmalarında, yenilenebilir enerji (YE) kaynağı tarafından desteklenen yeni bir trijenerasyon sistemi analiz etmişlerdir. Trijenerasyon sistemi, iki buhar döngüsü, bir gaz döngüsü, sıcak su odası ve bir soğurma döngüsü kullanarak elektrik, sıcak su ve soğutma üretmek üzere tasarlanmıştır. Bu çalışma kapsamında ele alınan YE kaynağı, tavuk gübresi ve mısır silajından elde edilen biyogazdır. Trijenerasyon sisteminin enerji ve ekserji analizleri daha yüksek verim elde etmek amacıyla yapılmaktadır. Verimlilikler, güç üretimi,

kojenerasyon (elektrik ve soğutma) ve trijenerasyona dayalı olarak sunulmuştur. Geliştirilen sistem için toplam trijenerasyon enerjisi ve ekserji verimliliği %64 ve %34,51'dir.

Mishra ve Singh (Mishra & Singh, 2020) “Güç, Isıtma Ve Soğutma Gereksinimleri İçin Trijenerasyon Sistemlerinin Termodinamik İncelenmesi” adlı makalesinde trijenerasyon teknolojisinin termodinamik incelemesini ele almakta ve dünya çapındaki çalışma durumu ile ilgili içe bakış yapmayı amaçlamaktadır.

Nazari ve arkadaşları (Nazari, Bahravar, & Olamaei, 2020) “Bir Hibrit Trijenerasyon Sistemi İçin Depolama Seçeneklerinin Fiyat Bazlı Planlama Üzerindeki Etkisi” adlı çalışmalarında hibrit trijenerasyon (trijenerasyon-konvansiyonel-gaz kazanı) sistemi için elektrikli kazan, hidro depolama ve ısı depolama tankının fiyat bazlı çizelgeleme problemi üzerindeki etkilerini araştırmaktadır.

Jamaluddin ve arkadaşları (Jamaluddin, Wan Alvi, Manan, Hamzah, & Klemeš, 2019) “Trijenerasyon Sistemleri ile Toplam Saha Soğutma, Isıtma ve Güç Optimizasyonu için Proses Entegrasyon Yöntemi” adlı makalede bir toplam saha enerji sistemi için minimum soğutma, ısıtma ve güç gereksinimlerini eşzamanlı olarak hedeflemek için öngörüye dayalı sayısal Daralma Analizi tekniği geliştirmek için yeni bir metodoloji önermektedir.

Shelar ve arkadaşları (Shelar, Bagade, & Kulkarni, 2013) “Trijenerasyon Sistemlerinin İncelenmesi Ve Bunları Analiz Eden Yaklaşımlar” isimli makalede trijenerasyon sistemlerinin enerji, ekserji, ekonomik, termoekonomik ve emisyon analizleri ile ilgili metotları aktarmıştır.

Abramovich ve arkadaşları (Abramovich, Bogdanov, Kopteva, & Malarev, 2019) “Enerji Kaynağı olarak Gaz Yakıt Kullanılan İkili Çevrimli Trijenerasyon Sistemi” adlı makalede Makale, Rusya'nın 2030 enerji stratejisine dayanarak, yakıt ve enerji komplekslerinin verimliliğini artırma sorununun uygunluk düzeyini ele almıştır.

Matteo ve arkadaşları (Matteo, Roberto, & De Luca, 2018) “Güneş Destekli Trijenerasyon Sisteminin Enerjik Ve Ekonomik Analizi” adlı çalışmalarında AB FP7 BRICKER projesi çerçevesinde güneş destekli trijenerasyon sisteminin enerji ve ekonomik değerlendirmesi için gerçekleştirilen simülasyon faaliyetlerini sunmaktadır. Sistem, bir parabolik oluklu

toplayıcılar alanı, bir Organik Rankine Çevrim birimi ve bir adsorpsiyonlu soğutucu içerir. Aydın'da (Türkiye) bir hastane binasına kurulmuştur. Yıllık performansın değerlendirilmesi için TRNSYS sistem simülasyonları kullanılmaktadır.

Perrone ve arkadaşları (Perrone, Morrone, Castiglione, Algieri, & Bova, 2018) “Bir Trijenerasyon Tesisinin Geçici Çalışma Koşullarında Analizi” isimli çalışmalarında ısıtma, soğutma ve güç ihtiyacını karşılayacak bir kombine çevrim sisteminin geçici yüklenme durumlarındaki performansını analiz eden dinamik sonlu parametre modeli geliştirmişlerdir ve değerlendirmesini yapmışlardır.

Dong ve arkadaşları (Dong, Wang, Zhang, Lin, & Luo, 2019) “Gaz Buharı Kombine Çevrimine Dayalı Trijenerasyon Sisteminin Optimal Çalışması” adlı makalede Trijenerasyon sisteminin gaz-buhar kombine döngüsüne dayalı enerjisinden tasarruf etmek için, sırasıyla birincil enerji tasarrufu (PES) ve işletme maliyet tasarrufu (OCS) ile ilgili optimum işletim modlarını, cihazın gaz türbini ve buhar türbini vanasının paralel çalışmasını göz önünde bulundurarak ortaya koymuştur.

Kumar ve Singh (Kumar & Singh, 2017) “Enerji ve Çevre Açısından Verimli Kojenerasyon ve Trijenerasyon Yöntemleri Üzerine Çalışma” isimli makalede enerji sektöründe veya gerekli yerlerde uygulanabilecek Kojenerasyon ve Trijenerasyon yöntemleri üzerine yapılan çalışmayı ele almaktadır. Kısa özetin yanı sıra, katkıları ve bu tür uygulamaları benimsemeye yönelik uygulama alanları da bu çalışmada ele alınmaktadır.

Yong ve arkadaşları (Yong, Liew, Wan Alwi, & Klemeš, 2020) “Yerel Entegre Enerji Sektörü için Kombine Soğutma, Isıtma ve Güç Entegrasyonu” isimli çalışmalarında bir proses sahasında bulunan tüm yardımcı programları kapsayan Pinch tabanlı bir yöntemle dayanan bir trijenerasyon enerji santrali ile Total Site sistemi için yerel olarak entegre edilmiş bir ısıtma, soğutma ve güç hedefleme metodolojisi ele almıştır.

Viktarovich (Viktarovich, 2015) “Isı, Soğutma Ve Elektrik Gücünün Trijenerasyonu Koşullarında Enerjinin Verimli Dönüşümü” adlı makalesinde, trijenerasyon sisteminin ayrı ısı, soğutma ve elektrik üretimi açısından verimlilik karşılaştırmasını sunmaktadır. Trijenerasyon Birincil Enerji Tasarrufu (TPES) göstergesi bir değerlendirme kriteri olarak benimsenmiştir. Soğutma için kullanılan değişken bir ısı oranının yanı sıra türbin giriş

sıcaklığının trijenerasyon sistemi işlemleri üzerindeki etkisinin analizine dayalı olarak hesaplamaların sonuçları sunulmuştur.

Santo (Santo, 2019) “Eşdeğer Termal Verimlilik (ETE) Kriterlerini Kullanarak Yıllık Simülasyon Analiziyle Ilıman İklimde Motor Trijenerasyon Sistemleri Potansiyelinin Değerlendirilmesi- Otel Binası Vaka Çalışması” adlı makalesinde ılıman bir Avrupa şehrinde (Viyana- Avusturya) bulunan tipik bir otel binası, EnergyPlus yazılımı (DOE-USA desteği ile geliştirilir) kullanılarak simüle edilmiştir. Bina simülasyonu kullanılarak bina enerji talebi ve tüketimi tahmin edilmektedir.

Afonso ve Rocha (Afonso & Rocha, 2016) “Küçük bir otelde trijenerasyon sistemi uygulamasının ekonomik uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi” adlı çalışmada, Portekiz’in bir şehrinde bulunan küçük bir otelde gerçek bir durumun teknik ve ekonomik potansiyelini analiz etmiştir. Sadece bir CHP kullanmak yerine, üretilen ısı aynı zamanda soğutma için de kullanılmıştır- CHCP (Birleşik Isı, Soğutma ve Güç). Bunun için yapılan enerji analizinin yanı sıra, dikkate alınacak ana parametreler olan NPV (Net Bugünkü Değer), IRR (Internal Rate of Return) ile ilgili fizibilitesini ve riskini değerlendirmek için detaylı bir ekonomik analiz yapıldı. , Geri Ödeme Süresi ve PES (Birincil Enerji Tasarrufu) ve Önlenen CO2 Emisyonları (AE). Elde edilen ana sonuçlar, CHCP'nin 57 tep / yıl PES'e katkıda bulunduğu, AE'nin 68 tep CO2 / yıl olduğu yönündedir. Geri ödeme süresi 3,6 yıldır.

Kang ve arkadaşları (Kang, ve diğerleri, 2016) “Bir Konut Uygulamasında Yenilenebilir Trijenerasyon Sisteminin Enerji ve Çevresel Potansiyellerinin İncelenmesi” adlı makalede Incheon (Kore) ve Ottawa (Kanada) hava koşulları altında bir konut uygulamasında yenilenebilir bir trijenerasyon sisteminin enerji ve çevresel potansiyelini araştırmaktadır.

Carvalho ve arkadaşları (Carvalho, Lozano, Serra, & Wohlgemuth, 2010) “Basit bir trijenerasyon sisteminin modellenmesi: Çevresel maliyetler” isimli çalışmalarında kaynakların tüketimi ile ilgili çevresel bilgileri birleştiren Umberto1 yazılımı [2006] ile basit bir trijenerasyon sistemini modellemiştir.

Moussawi ve arkadaşları (Al Moussawi, Fardoun, & Louahl, 2017) “Çeşitli ana taşıyıcı teknolojilerinde kojenerasyon ve trijenerasyon arasındaki farklılıklara dayalı seçim” adlı makalede mevcut ana taşıyıcı teknolojilerin çoğunda CHP ve CCHP sistemleri arasındaki

ana farklılıkları gözden geçirmekte, ardından belirli vaka çalışması parametrelerine bağlı olarak uygun çok nesil sistem kurulum seçimlerini yapmak için bir seçim tablosu önerilmektedir.

Rashidi ve arkadaşları (Rashidi, Habibzadeh, & Rezaie, 2016) “Amonyak-Su Sistemi Merkezileştirilmiş Trijenerasyon İçin Bir Absorpsiyon Makinesinin Çalışması” adlı makalede, bir amonyak-su sistemi merkezi olmayan trijenerasyon için bir absorpsiyon makinesinin Çalışmasını ele almaktadır. Evaporatör, soğurucu ve kazan sıcaklığının bu çevrimin performans katsayısına etkileri araştırılmıştır. Simülasyon sonuçları, buharlaştırıcı ve soğurucu sıcaklığının artırılmasıyla performans katsayısının sırasıyla arttığını ve azaldığını göstermektedir.

Chatzopoulou ve arkadaşları (Chatzopoulou, Salvador, Oyewunmi, & Markides, 2017) “Enerji Yoğun Binalarda Trijenerasyon Sistemlerinin Termodinamik Ve Ekonomik Değerlendirilmesi” isimli çalışmalarında trijenerasyon sistemlerinin süpermarketlerdeki entegrasyonunu ele almış ve bu binaların elektrik şebekesine bağımlılıklarını en aza indirirken, temel tasarıma göre %48 daha düşük yıllık enerji sistemi maliyetlerine ulaşmalarını sağladığı sonucuna ulaşmışlardır.

Bartnik ve arkadaşları (Bartnik, Buryn, Hnydiuk-Stefan, Skomudek, & Ottawa, 2020) “Elektrik, Isı ve Soğuk Su Üretimi için Hiyerarşik Gaz-Gaz Motorundan Oluşan Trijenerasyon Sisteminin Termodinamik ve Ekonomik Analizi” adlı makalede elektrik, ısı ve soğuk su üretiminin birleştirildiği bir trijenerasyon sisteminin analiz edilmiş, hiyerarşik gaz-gaz motorunun enerji ve ekonomik verimliliğinin analizinin sonuçlarına değinmişlerdir.

2. VERİ MERKEZLERİ VE TELEKOMÜNİKASYON TESİSLERİ

Veri merkezleri ve telekomünikasyon tesislerinin, diğer tesislere göre birçok farklı özelliklere sahiptir:

- Diğer bina tiplerinde kullanıcılar insanlardır, bu tesislerde ise yazılım uygulamalarıdır.
- Yazılım ve uygulama ilaveleri ile değişiklikleri çok sık ve hızlı olabileceğinden, yük profili anlık ve daha değişkendir.
- Sunucu ana ekipmandır ve donanım yükseltmeleri genellikle yıldan daha az sürelerde olabilmektedir. Bu durum, donanım / altyapı / soğutma sistemleri arasında güncelleme-yaşam döngüsü uyumsuzluğuna neden olabilmektedir.
- Veri merkezleri genellikle, tipik bir ofis binasına göre en az 10 kat güç-soğutma yük yoğunluğuna sahiptir.

Telekomünikasyon sektörü, yaygın olarak tesis edilmiş sabit hatlardan veri merkezi sektörüyle aynı iletişim protokolünü (İnternet Protokolü veya IP) kullanan kablosuz teknolojiye doğru hızla evrilmektedir. Neticede, veri merkezleri ve telekomünikasyon tesisleri birbirine benzemeye devam etmektedir. TC 9.9'da, hem veri merkezlerini hem de telekomünikasyon tesislerini tanımlamak için "datacom" terimi kullanılır. Bu kısım, datacom imkanları ve ilave bilgilere nereden ulaşılacağı hakkında bir takım temel yönlendirmeler sağlar.

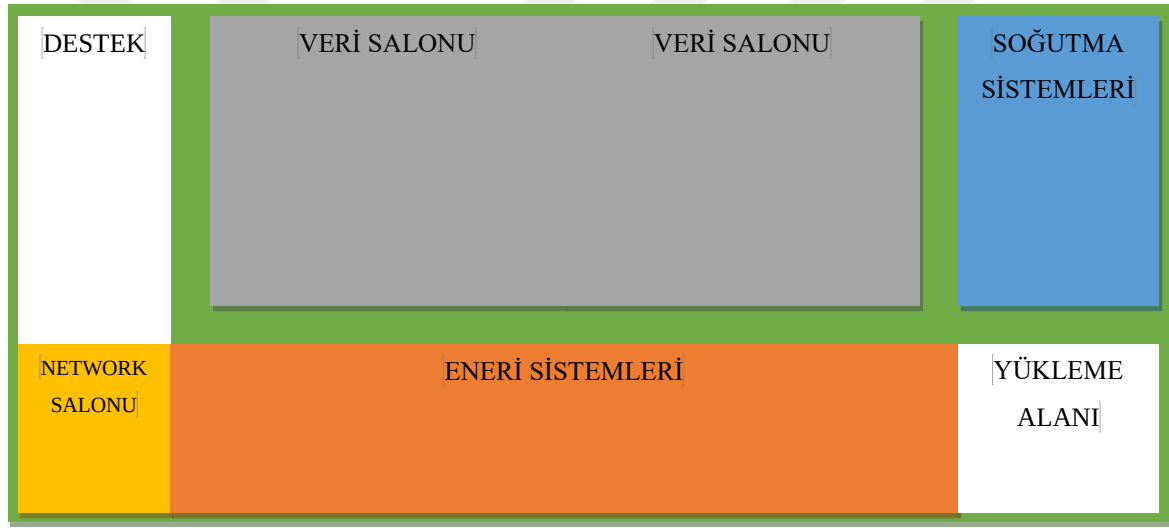
Datacom tesisleri temel temel olarak alan, güç, soğutma ve ağ iletişimine ihtiyaç duymaktadır. Genel olarak, bunların her birisi servis olarak kabul edilir ve her servisin hizmet düzeyinde bir anlaşması (SLA) olabilir. Yüksek yoğunluk nedeniyle, her bir hizmet arabirim noktasındaki hizmetleri ölçmek daha çok tercih edilmeye başlanmıştır.

Yatırım maliyetlerinin yüksek olması, datacom ekipmanlarının ömrünün kısa olması ve bununla birlikte bulut bilişim gelişiminin devam etmesi (hizmet olarak) nedeniyle, piyasa kendi datacom tesislerinden ziyade üçüncü bir tesisten kaynak kiralamaya yönelik bir eğilim vardır. Bu uygulama, farklı şekillerde olmakla birlikte; yaygın format perakende veya toptan satış tesisleri şeklindedir.

Bir ekipman, alan ve bant genişliğinin kiralanabildiği datacom tesislerine kolokasyon merkezi (co-location, collocation, colo, ya da coloc) de denilmektedir. Kolokasyon hizmeti verilen tesisler, aynı zamanda sunucu, depolama ve ağ hizmetleri için alan, güç, soğutma ve fiziksel güvenlik hizmetleri de sunar. Fiber altyapısı genellikle yedeklidir.

Şekil 2.1, tipik bir datacom tesisinde bulunacak temel alanları göstermektedir.

Datacom tesisleri, datacom ekipmanına (donanım) alan, güç, soğutma ve ağ hizmetleri sağlar. Bu bölümde, ekipmanın soğutma ihtiyacı, hava kalitesi ve güç ihtiyacı gibi konulara değinilmektedir.



Şekil 2.1. Tipik bir datacom tesisine ait alan dağılımı

2.1. Faydalanılabilecek Datacom Kaynak Dokümanlar

ASHRAE Datacom Dokümanları

11 kitaptan oluşan bu seri TC 9.9 tarafından hazırlanmıştır. Güncel Datacom sektör bilgilerini sunmak adına, bazı kitaplar birkaç sefer basılmıştır. İleride yeni başlıklar için kitapların çıkarılması da planlanmaktadır.

Bu dokümanlar hem sektördeki uzmanlar hem de sektöre yeni girenler son derece faydalı kaynaklardır. Aşağıda bu kitaplara dair kısa açıklamalar verilmiştir.

Sunucular için Isıl şartlar (ASHRAE 2012a).

Veri merkezlerinde bulunan ekipmanların güç tüketimlerinin artış eğilimi, ısı tasarım ve kullanım için bir takım sorunlar teşkil etmektedir. Bunlardan birkaçı arasında sistemlerin kullanılabilirliğinin azalması, verimsiz alan ve soğutma sistemi kullanımı sayılabilir.

Datacom ekipmanı ortam gereksinimleri ile bağlı ekipmanın gereksinimleri arasında veya tesis işletme koşulları ile datacom ekipmanı gereksinimleri arasındaki uyumsuzlukların giderilmesi, sektörün gelişimini destekleyen datacom ekipmanı seçenekleri için standart bir uygulama çözümüne ihtiyaç vardır.

ASHRAE (2012a), cihaz üreticilerinin, tesis tasarımcılarının, işletmecilerin ve tesis yöneticilerinin beklentilerine cevap vermek adına iyi bir çerçeve sunmaktadır. Bu kitap dört ana bölümden oluşmaktadır: ortam şartları, tesis iklimlendirmesi, ekipman yerleşimi ve hava akışı ile cihaz üreticilerinin ısı yükü ve hava akışı ihtiyaçlarını raporlaması.

Datacom cihazlarının güç ihtiyaçları ve soğutma uygulamaları (ASHRAE 2012b).

Datacom cihaz teknolojisi hızlı bir şekilde gelişmektedir, bu da nispeten kısa ürün döngülerini ve artan bir datacom cihaz revizyon sıklığını getirmektedir. Veri merkezi tesisleri ve buralara ait iklimlendirme sistemleri altyapısı genellikle daha uzun vadeli çalışacak şekilde tasarlandığından, modern bir veri merkezi tesisi, çalıştığı sürece farklı datacom cihaz gereksinimlerine sorunsuz bir şekilde cevap verecek şekilde yapılmalıdır.

ASHRAE (2012b), önde gelen datacom cihaz üreticilerinden gelen en son bilgileri baz alarak, veri merkezi tesis tasarımcılarının gelecekteki cihaz yüklerini daha doğru tahmin etmelerini teminen 2020'ye kadar datacom cihaz güç eğilim çizelgeleri ve trend bilgilerini sunarak bugünden veri merkezi tesis tasarımlarına uygulama için alternatifler sunar.

Ayrıca ileride gelecek yüklerle cevap verebilecek çeşitli hava soğutmalı ve sulu sistemler ile tesis işletme sektörü ve inşaat sektörü soğutma dizaynlarının standartlaştırılması, veri merkezi endüstrisi açısından oldukça önemlidir.

Veri merkezleri için tasarım incelemeleri (ASHRAE 2009a).

Beyaz alanların ve telekomünikasyon tesislerinin tasarımı, temel olarak ofis olarak dizayn edilen tesislerin tasarımından oldukça farklıdır. Datacom cihazlarının güç yoğunluğundaki artış devam ettikçe, bu fark daha da büyüyecektir.

Bu kitap veri merkezleri ve telekomünikasyon tesisleri için temel tasarım kriterlerini içerir. M-Veri Merkezi Tesis Temelleri bölümü, veri merkezi tasarım kriterleri (sıcaklık, ısı değişim oranı, bağıl nem, çığ noktası ve filtrasyon), iklimlendirme yükü, beyaz alan soğutması (hem hava hem de sulu soğutma) ve hava dağılımı bölümlerini içerir.

Diğer Hususlar bölümünde, gri alanlar (akü odaları, jeneratör odaları, imha odaları, test laboratuvarları ve yedek parça odaları), yangın algılama ve söndürme, emisyon, akustik gürültü, yapısal ve sismik tasarım ve test, devreye alma, kullanılabilirlik ve enerji verimliliği gibi hususlar ele alınmaktadır. Bu doküman, elektrik ve elektronik sistemlerin tasarım ve dağıtımına değinmemektedir.

Veri merkezleri için sulu soğutma kriterleri (ASHRAE 2006).

Veri merkezlerinde günümüzde ağırlıklı olarak hava soğutmalı sistem kullanılmaktadır. Bunun yanında, kabinlerde ısı yüklerinin sürekli artmasıyla, birçok veri merkezinde hava akış hızları ve soğutma altyapıları sınıra dayanmış durumdadır. Datacom cihazları tarafından üretilen ısı yükündeki bu trend, cihazların kullanılabilirliğinin sınırlanması, verimsiz kullanılan alan ve soğutma sistemi gibi olumsuzluklara neden olabilir. Bu durum tasarımcıları sulu soğutma çözümlerinin uygulanmasına yöneltmektedir.

Sulu soğutma uygulamalarında temel hedef, tesis sulu soğutma çevrimleri vasıtasıyla mümkün olduğunca fazla ısı transferi sağlamak, kabinlerin ihtiyaç duyduğu temel hava debisini düşürmek ve sunucu performansını artırmak için işlemci sıcaklıklarını düşürmektir.

Kitap bununla birlikte soğutulmuş su sistemi ile teknoloji soğutma sistemi arasındaki ortak gereksinimler hakkında yönergeler sağlayarak bir elektronik kabine takılan sıvı soğutma sistemleri arasındaki ilişkiyi ve beyaz alan termal yönetimine yardımcı olmak için uygulanan sıvı soğutmalı sistemlerin gereksinimlerini ele almaktadır.

Veri merkezleri için inşaat ve titreşim kriterleri (ASHRAE 2008a).

Tipik veri merkezi cihazlarının ömrü ortalama üç ila beş yıldır. Bununla birlikte, mekanik ve elektrik altyapısının ortalama ömrü 15 ila 20 yıl arasındadır. Binanın yapı ömrü ise tasarıma bağlı olarak 20 ila 50 yıl kadar olabilir. Binaenaleyh, tesisin bina ve altyapısı birçok eski veri merkezi cihazı ihtiva edebilir ve destekleyebilir şekilde tasarlanmalıdır.

Bu kitap dört ana bölümden oluşmaktadır. 1. bölüm, yeni ve yenilenmiş bina yapıları, bina altyapısı ile veri merkezi cihaz önerileri dahil olmak üzere, veri merkezlerinin tasarımındaki en iyi uygulamalar hakkında temel bilgiler sunmaktadır. 2. Bölüm, yeni ve mevcut yapılara dair temel tasarım kriterlerini içermektedir. Bölüm 3'e, tesisin altyapısı, yükseltilmiş döşeme ve titreşim kaynakları ile bunların kontrolüne dair yapısal değerlendirmeler ayrıntılı olarak verilmiştir. 4. Bölüm ise titreşim ve şok testleri, sismik ankraj sistemleri ve veri merkezi elemanlarının analizi ele alınmaktadır.

Veri merkezi Enerji verimliliği için önerilen uygulamalar (ASHRAE 2009b).

Esnek tasarım, küresel ısınma, yakıt rezervleri, enerji verimliliği ve işletme maliyetleri her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır. Veri merkezlerinde, enerji kullanımının yoğun olması nedeniyle (ofis binasına göre 100 kat fazla olabilir) bu konular çok daha önemlidir; 7/24 operasyonel faaliyetler, diğer ticari tesislerin yıllık işletme sürelerinin yaklaşık üç katıdır.

Bu kitabın amacı, müşteri tarafına yansıyacak ömür boyu maliyeti en aza indirmek ve bir veri merkezinde enerji verimliliğini en üst seviyeye getirmek için detaylı bilgi sunmaktadır.

Bu yayın, çevresel faktörler, mekanik sistem ve cihazlar, ekonomizör çevrimleri, hava döngüsü, iklimlendirme sistem kontrolleri ve enerji yönetimi, enerji dağıtım elemanları, veri merkezi cihaz verimliliği, sıvı soğutmalı sistemler, toplam sahip olma maliyeti ve gelişen teknolojilerle birlikte, veri merkezinin enerji verimliliği ile ilgili birçok hususu içerir. Tesisin devreye alınması, işletme ve bakım gibi hususlarla ilgili ekler de mevcuttur.

Yüksek yoğunluklu veri merkezleri - örnek vakalar ve diğer hususlar (ASHRAE 2008b).

IT ekipmanlarını barındıran veri merkezlerinin ve telekom odalarının soğutulma ihtiyaçlarının karşılanması giderek daha da zor hale gelmektedir. Çünkü IT ekipman üreticileri ısı yayılımını dikkate almadan cihaz performansını sürekli olarak artırmaktadır. Bu kitap, yüksek yoğunluklu veri merkezleri için bir takım yaklaşımlarla cihazların nasıl soğutulabileceği ve havalandırma şeması ile ilgili çalışmalar sunmaktadır.

Beyaz alanlarda Partikül ve Gaz kirliliği (ASHRAE 2014).

Datacom ortamlarında partikül ve gaz halinde kontaminasyon izleme, önleme ve kontrol, toplumsal bağımlılık, elektronik devrelerin küçülmesi, baskılı devre kartı lehim materyallerinden kurşunun çıkarılması, yüksek seviyelerde kükürt içeren IT cihazların yaygınlaşması, enerji tasarrufu için doğal soğutmanın daha fazla kullanılması ve IT ekipmanının ısı-nem çalışma aralığının artması gibi birçok faktörden kaynaklanan IT ekipmanı güvenilirliği endişelerindeki artış nedeniyle daha fazla önem kazanmıştır.

Bu kitap, havadaki kirleticilerin IT ekipmanının güvenliğini riske atacak bir faktör olmayacağından emin olmak adına gerekli prosedürleri detaylı bir şekilde ele almıştır. Aynı zamanda veri merkezindeki kontrollerde tespit edilen uçucu kirleticilerin gümüş korozyon oranının korozyon kaynaklı donanım arızalarına işaret etmesi, bakır korozyon oranının ileride çıkarak problemlerin habercisi olmasının değerlendirilmesi yapılarak Ashrae sınırlarının çerçevesini çizmektedir.

Veri Merkezlerinde Gerçek Zamanlı Enerji Tüketim Ölçümleri (ASHRAE 2010a). Veri merkezleri, çok farklı enerji tüketen cihazı içeren yoğun ve karmaşık tesislerdir. Enerji tüketimi ile ilgili olarak, IT ekipmanı ve tesis ekipmanı için binlerce izleme noktası bulunmaktadır. Veri merkezi işletmecisi bir ekipmanı izleyemiyorsa, bu ekipmanı kontrol de edemez. Ek olarak, bir veri merkezini optimum enerji verimliliğine getirmek için, IT ve altyapı tarafındaki tüm cihazlar toplu olarak izlenebilmeli ve kontrol edilebilmelidir.

Şirketlerde IT ekipman ve tesis organizasyonları genel olarak farklı iletişim raporlama yapılarına sahiptir ve bunun sonucu olarak iletişim boşluğu oluşmaktadır. Bu kitap, oluşan bu boşlukları gidermek amacıyla neler yapılabileceğine dair temel yönlendirmeler

içermektedir. Bunun yanında temel güç ve soğutma alt sistemlerinin kullanımına ve izleneceğine dair genel bir çerçeve çizmektedir. Yine, güç kullanım etkinliği (PUE) hesaplanırken enerji tüketim değerlerinin ne şekilde kullanılması gerektiğine dair birçok örnek içerir.

Veri merkezleri için verimlilik ipuçları (ASHRAE 2010b).

Veri merkezi endüstrisi son zamanlarda tüketilen enerjinin azaltılmasına yoğun bir efor harcamaktadır. Bu odaklanmanın arkasında, daha fazla beyaz alan kapasitesi için ortaya çıkan yüksek enerji maliyetleri bulunmaktadır. Sektördeki hızlı büyüme ve IT cihazlar tarafından tüketilen gücün artmasıyla birlikte, veri merkezi işletmecilerinin verimliliği artırma seçeneklerini anlaması ve uygulaması önem arz etmektedir.

Bu kitapta veri merkezi sahiplerine ve işletmecilerine potansiyel enerji tasarrufu uygulamaları hakkında temel bilgiler sunulmaktadır. Tesisin mekanik ve elektrik altyapısının yanında teknolojiye potansiyel fırsatlara da işret edilmektedir. İlâveten, kitabın akışı, enerji kullanımı ile ilgili bir ön değerlendirme yapmak için kullanılabilecek mantıklı bir süreç ortaya koymaktadır.

PUE™ Kavramının Detaylı Değerlendirmesi (ASHRAE 2013). Veri merkezlerinde altyapı enerji verimliliğini ölçmek için sektörde tercih edilen bir parametre olan güç kullanımı etkinliği (PUE), veri merkezi tesis operasyonlarında enerji verimliliğini artırmaya yönelik önemli bir göstergedir. Bu kitapta PUE'ye dair kavramlar, veri merkezi tesis faaliyetlerini yürüten, ölçüm sonuçlarını raporlayan ve analiz edenlere değerlendirme iyileştirme alanları konusunda detaylı ve üst seviyede bir anlayış sunar.

Bu Kitapta, yöneticiler, planlamacılar, işletmeciler, IT cihaz üreticileri, iklimlendirme ekipman üreticileri, danışmanlar, enerji yöneticileri ve son kullanıcılar dahil olmak üzere, veri merkezi ekipmanları sektöründe tecrübesiz elemandan profesyonellere kadar her kitleye önemli bilgiler sunmaktadır.

PUE kavramı, herhangi bir kâr amacı bulunmayan, son kullanıcılar için açık sektör konsorsiyumu, politikacılar, teknoloji tedarikçileri, mimarlar ve dünya çapında bilgi teknolojisi ve veri merkezleri kaynak verimliliğini artırmak için faaliyet gösteren katılımcı

şirketler konsorsiyumu olan Green Grid Association tarafından ortaya konmuştur. PUE kavramı, 2007 yılında ilk defa gündeme gelmesinden bu yana dünya çapında sektör tarafından kabul görmüştür ve The Green Grid, katılımcı sektörün geri bildirimleri ile ölçüm metodolojisini geliştirmeye devam etti. Detay bilgi için, Güç Kullanımı Etkinliği (PUE) bölümüne bakınız.

ASHRAE Standard 127-2012, Beyaz Alanlardaki Merkezi Klimalar için Derecelendirme Test Metodu

Bu standart, beyaz alan (CDPR) merkezi klimalarını derecelendirmek için tek tip bir ihtiyaçlar paketini tarifler.

ANSI / TIA Standardı TIA-942, Veri Merkezlerinde Telekomünikasyon Altyapı Standardı

Standart TIA-942 (The Telecommunications Industry Association), tek kullanıcı kurumsal veri merkezleri ve çok kullanıcıli İnternet hizmeti sağlayan veri merkezleri dahil olmak üzere, veri merkezlerinin ve beyaz alanların telekomünikasyon altyapısı için asgari gereksinimleri tarifler.

TIA-942 standardı, ağ mimarisi, ağ erişim kontrolü ve güvenlik, sistem yedekliliği, elektriksel tasarım, veri depolama, veritabanı yönetimi, yedekleme ve arşivleme, web hizmetleri, içerik yönetimi, çevresel kontrol, fiziksel tehlikelere karşı koruma önlemleri (fırtına, yangın, su baskını vb.) ve güç yönetimi, uygulama hizmetleri gibi faaliyetler ve prosedürler için özel ve kamuya açık veri merkezi ihtiyaçları ile ilgili yönlendirmeler yapar.

2.2. Haberleşme Ekipmanları, Güç İhtiyaçları Ve Çevre Rehberleri

2.2.1. Haberleşme ekipmanları çalışma yoğunluğu

Haberleşme ekipmanı (donanım), genellikle düşük yoğunluktan azami performansta çalışmaya kadar çok değişken yük yoğunluğuna sahiptir. Donanım çalışma yoğunluğu yazılım tarafından yönetilir. Uygulama ve ağ yazılımını kapsayan (gerçek faydalı iş) sistem yazılımı bulunmaktadır.

Farklı donanım çeşitlerinde milyonlarca uygulama yazılımı koşturmaktadır. Bu yazılımlar çoğunlukla uzaktan veya farklı şekillerde eklenebilir veya yükseltilebilir. Bu durum, cihazlar

ve yazılımlar üzerindeki çalışma yoğunluğunun çok değişken olabileceği anlamına gelmektedir.

Haberleşme ekipmanlarının yaşam döngüleri, enerji ve soğutma altyapısına göre çok daha kısadır. Uygulama yazılımlarının yaşam döngüleri ise çok daha kısadır. Enerji ve soğutma altyapısı planlanırken donanım ve yazılımın yaşam döngülerini dikkate alınmalıdır.

Yük karakteristiği

Bir veri merkezi enerji ve soğutma altyapısı planlaması açısından bakıldığında, iki temel azami yük karakteristiği olarak metrekare başına watt ve kabin başına kW parametreleri kullanılmaktadır. Veri merkezi sektörü bazen birim boyutunu tanımlamak için parçalı yapı kullanır.

Veri merkezi sektöründeki genel eğilim, kabin başına kW'ın metrekare başına watt değerinden daha kullanışlı olduğu yönündedir. Ancak, bir projenin başlangıcında, kabinlerin miktarı hakkında yeterli bilgi olmayabilir, bu da ölçümü çok ayrıntılı hale getirir. Profesyonel bir değerlendirme, hangi maksimum yük karakteristiğinin kullanılacağına karar vermek için kritik öneme sahiptir .

Asgari yükün yanı sıra yük değişimini değerlendirmek de aynı seviyede önemlidir. Yük değişimi için zaman aralığı çok kısa (örneğin, saniye, dakika) veya çok uzun olabilir. İleride karşılaşılabilecek durumlar göz önüne alındığında detaylı bir yük profili toplamak veya geliştirmek son derece önemlidir.

2.2.2. Haberleşme ekipman kabinleri

Çoğu haberleşme cihazı kabine monte edilir, ancak bir kısmı büyük, müstakil kabinler şeklinde paket ürün teçhiz edilir. Kabin ve raf ebatları, Elektronik Endüstrileri Birliği (EIA) tarafından tanımlanmıştır.

Dikey boyut birimi (U) [bazen raf ünitesi (RU)] cinsinden ifade edilir ve bir raf için kabul edilen standart yükseklik 42 U'dur. Bir raf içinde, bir U 44,45 mm dikey yüksekliği ifade eder.

Raf ve kabin terimleri birbirinin yerine kullanılır, ancak teknik olarak bir raf, telekom ve yama panelleri için sunuculardan daha fazla kullanılan açık çerçeveli iki veya dört direkli bir montajdır ve bir dolap yanlar, üst ve ön ve arka kapılarla donatılmış benzer bir dört direkli çerçevedir (bkz. Şekil 2.2.).

Standart raf genişlikleri, tasarımlarına bağlı olarak ortalama 485 veya 600 mm'dir. Montaj rayları arasındaki gerçek boşluk, raylara ekipman flanşlarının vidalamasına yer açmak için nominal panel genişliklerinden yaklaşık 50 mm daha azdır .

IT sunucular rafa monte edilebilir ve konfigürasyonu yapılabilir şekildedirler. Sunucular genellikle tam raf genişliğine sahiptir ve 1U, 2U, 4U, formlar şeklinde sınıflandırılırlar. (bkz. Şekil 2.3.). Yarım ebatlı bir sunucu, 1 U yüksekliğindeki karkasa bölünmüş iki plakada karşılıklı olarak veya 2U karkasa bölünmüş 4 plaka şeklinde monte edilir. Daha büyük formlar, tüm karkasta birden fazla modüler sunucu (blade sunucu) şeklinde konuşlandırılabilir.

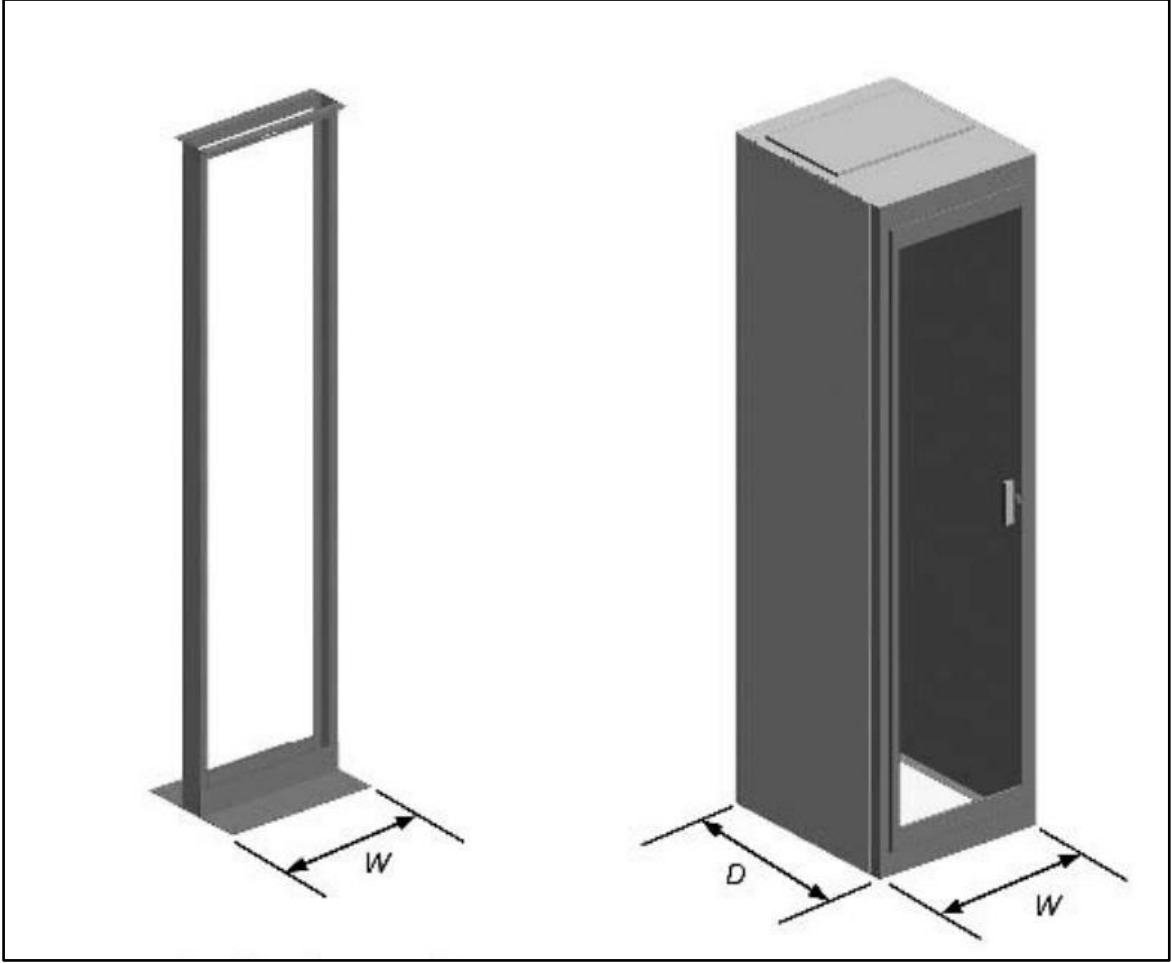
2.2.3. Haberleşme ekipmanları (donanım)

Haberleşme ekipman bileşenleri [bellek, işlemci, depolama, güç kaynağı, giriş / çıkış (I / O) vb.] haberleşme ekipmanında entegre edilmiştir. Bu bölümde haberleşme ekipmanı ihtiyaçları ve bağdaştırıcılar ele alınmıştır. Bileşenler sadece ihtiyaçları ve bağdaştırıcıları tanımlamak için gerekli olan katmana yöneliktir. Bu konu bileşenler bölümünde detaylı olarak ele alınmıştır.

Haberleşme ekipmanı temel olarak sunuculardan (kapasite, blade vb.), İletişim ekipmanından (sviç, yönlendirici vb.) ve veri depolama cihazlarından [depolama alanı ağı (SAN) vb.] meydana gelir.

Hava soğutmalı haberleşme ekipmanı için, tesisin en önemli kriteri haberleşme ekipmanına hava giriştir. Su soğutmalı ekipman için ise tesisin en önemli kriteri ekipmana veya rafa su bağlantısının yapılma şeklidir. Haberleşme ekipmanı için kritik hususlar aşağıda verilmiştir:

- Sıcaklık
- Nem
- Soğutucu akışı (hava veya sıvı)
- Hava kalitesi



Şekil 2.2. Tipik kabin ve raf örnekleri



Şekil 2.3. Tipik sunucu gruplama form faktörleri

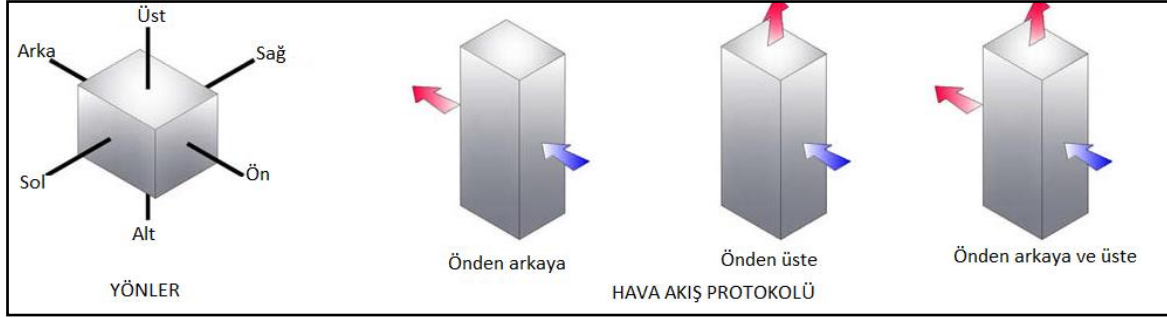
Sunucuların sınıflandırılması

Sunucular, bir veri merkezindeki en yaygın cihazlardır. Sunucuların birçok çeşidi bulunmaktadır ve bunlarda herhangi biri veri merkezinde kullanılabilir. Sunucu çeşitlerindeki temel kriterler net olarak belirlenmiş olmamasına rağmen, aşağıda sunucu sınıflandırmaları bu noktada ışık tutacaktır:

- Genel amaçlı sunucular, kapasite kullanımı. Bu tip sunucular genel olarak 1U, 2U veya yarım ebatlı formda, tek veya çift sokete sahip sunuculardır. Genellikle çok farklı müşteri ihtiyaçlarına cevap verebilecek özelliktedirler. Bu sunuculara, düşük raf yüksekliği ihtiyacı nedeniyle küçük formda sunucular denir.
- Bulut sunucuları, kapasite kullanımı. Bu sunucular da genel olarak 1U, 2U veya yarım ebatlı formda, tek veya çift sokete sahiptir. Bu sunucular sınırlı çalışma yoğunluklarında ihtiyaca cevap vermek üzere tasarlanmıştır.
- Özel amaçlı sunucular. Özel tasarlanmış sunucular ve ana bilgisayarlar bu sınıftadır. Sunucu özellikleri ve formları, müşteri talebine bağlı olarak değişir. Ayrıca cihaz ebatları da büyük ölçüde değişebilir ve çok çerçeveli tasarım ile raf tipi sunucuları içerir.
- Blade sunucular. Tipik olarak, blade sunucuları, kanat adı verilen bağımsız devre kartları üzerine inşa edilmiş ve panoların birbirine bağlanmasını sağlayan ortak bir arka düzleme takılan birden fazla ayrı sunucuyu destekleyen çok U kasaya sahiptir. Soğutma, enerji ve anahtarlama panolar arasında ortak kullanılmaktadır.

Haberleşme cihazları hava akışı

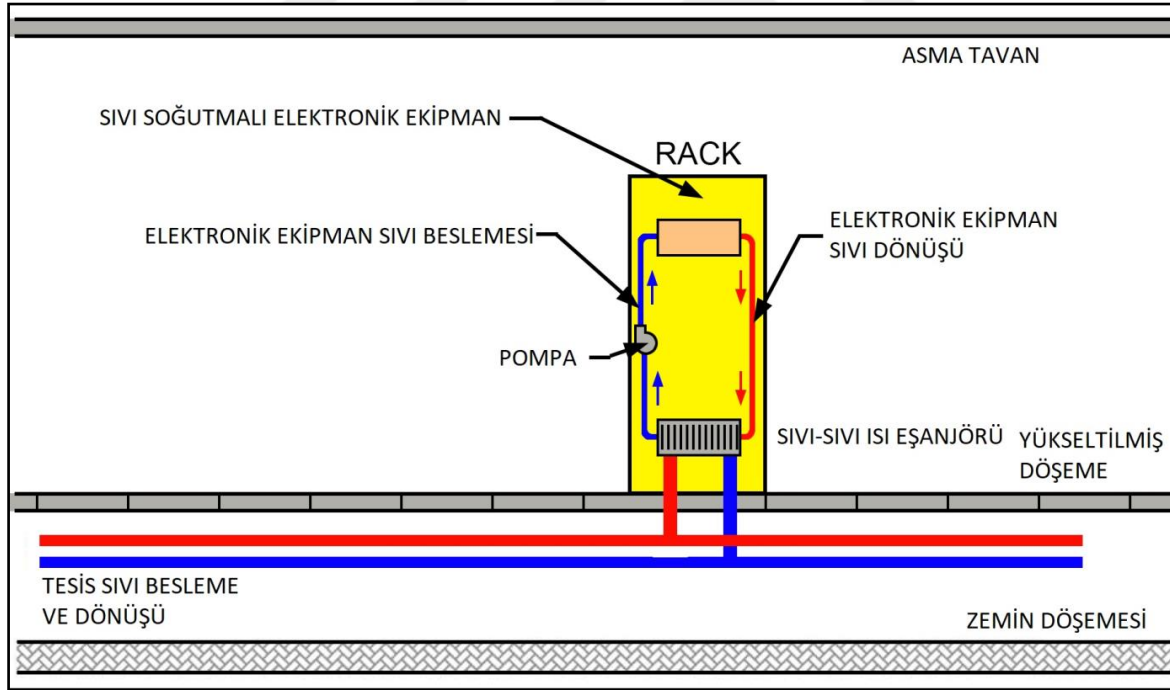
Haberleşme cihazı için soğutma amaçlı hava akış sistematüğini betimleyen standart terminoloji 2004'ten bu yana aynen kalmıştır (Şekil 2.4.). Artık çoğu haberleşme ekipmanı önden arkaya hava akış protokolünü kullanmaktadır. Bazı eski telekomünikasyon ekipmanları ile ağ sviçleri farklı uygulamaya sahip olabilir. Bunların dışında, burada gösterilmeyen yandan yana veya arkadan yana ve / veya bunların karışımı olan hava akış protokolleri de kullanabilir.



Şekil 2.4. Kabin hava akışı

Sıvı soğutmalı haberleşme ekipmanları

Modern teknoloji ile üretilen elektronik cihazların artan ısı yoğunlukları, havanın sunuculardaki elektronik bileşenleri yeterince soğutması noktasında zorlukları beraberinde getirmektedir. Bu nedenle sıvı soğutma sistemler daha yoğun şekilde kullanılmaya başlanmaktadır.



Şekil 2.5. Dahili ısı transferi olan sıvı soğutma çevrimi (ASHRAE 2012b)

Sıvı soğutmalı sistemler, Isının kaynağından uzaklaştırılması (yani soğutma) prosesi için hava yerine bir soğutma sıvısının kullanıldığı sistemler olarak tanımlanır. Beyaz alanlar için birçok farklı sıvı soğutmalı sistem çözümü bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları aşağıda verilmiştir:

- Sıvı soğutmalı raf: Kabin içerisinde dolaştırılan bir sıvı ile soğutma sağlanır. Örnek olarak, haberleşme ekipmanından salınan ısıнын önemli bir kısmını havadan sıvıya aktaran raf içi veya arka kapak ısı eşanjörleri bulunur.
- Sıvı soğutmalı haberleşme ekipmanı: Soğutma işlemi için sıvı haberleşme ekipmanı içinde dolaştırılır.
- Sıvı soğutmalı elektronik bileşen: elektronik sistemden, başka bir ısı transfer mekanizması kullanılmadan doğrudan sıvı ile temas ederek ısı transferi gerçekleşir.

Burada soğutma sıvısı olarak sadece su kullanılmamaktadır. Soğutma çevriminin bir bölümünde buhar fazında prosese dahil olanlar da dahil olmak üzere çeşitli sıvılar, uygulama için değerlendirilebilir.

Elektronik bileşenleri soğutmak için rafa yerleştirilmiş bir sıvı çevriminin kullanıldığı sıvı soğutmalı haberleşme ekipmanının bir örneği Şekil 2.5'te göstermiştir. Burada, ısı transferi sıvıdan sisteme su ısı eşanjörüyle vasıtasıyla yapılmaktadır. Genel olarak, yoğunlaşma sebebiyet vermemek adına rafta dolaşan sıvının sıcaklığı için çiğ noktasının üzerinde tutulur.

Kirlilik

Genellikle veri merkezleri iyi tasarlanmış ve coğrafi olarak nispeten temiz ortamlara sahip alanlarda konumlandırılmaktadır. Bundan dolayı, önemli kirlilik sorunları bulunmamaktadır. Ancak, ortam temizliği, bir veri merkezinin bulunduğu yer için kriterlerden sadece bir tanesidir. Bu konu genelde kritik mevzulardan sayılmaz.

Veri merkezlerinde iç ortama dış partikül ve / veya gaz girmesinden kaynaklanan kirlenmeler olabilir. Nadiren, veri merkezi içerisinden sistemlerden kaynaklı bir kirlenme oluşabilmektedir.

- Partikül madde, hava içerisinde bulunan sıvı ve katı parçacıklardır. Bu kısımda, partikül, toz ve aerosol terimleri eş anlamlı kabul edilir ve tamamı partikül madde olarak ifade edilir. Havada bulunan partikül boyutları, ortalama 0,001 μm ile 100 μm arasında değişmektedir. Partikülleri sağlık yönünden ele alan kurumlar tarafından, partikül kütle yoğunluğu sırasıyla 2,5 μm ve 10 s μm 'den küçük partikülleri ifade eden PM2.5 ve PM10 olarak sınıflandırılmıştır. Partikül madde, üç kategori olarak da sınıflandırılabilir: ince (0,001 ila

0,1) μm , orta (0.1 ila 2,5 μm) ve iri (2,5 ila 10 μm). Genellikle 10 μm 'den küçük partiküller iri sınıfta ifade edilir, bununla birlikte havada içerisinde çok daha büyük lif ve partiküller bulunabilir. Bu sınıflandırmaların her birisinde partikül madde, çok farklı malzemelerden oluşabilir.

- Bilgi teknolojisi (IT) ve haberleşme ekipmanı güvenilirliği açısından elektronik aksam üzerinde olumsuz etki oluşturabilecek kirleticiler olarak kükürt dioksit, hidrojen sülfür, merkaptanlar, azot oksitleri, klor ve ozon sayılabilir. Bu zararlı gazlar endüstriyel, biyolojik, jeolojik, tarımsal ve üretim faaliyetlerinden kaynaklı oluşmaktadır. Asgari $\mu\text{g} / \text{m}^3$ seviyelerinde bile metal ekipmanların paslanmasına sebep olmakla birlikte tek başlarına veya birbirleriyle ya da partiküllü maddelerle birlikte etki göstererek entegre devrelere, devre kartlarına, konektörlere, ve diğer elektronik bileşenlere telafisi olmayan zararlar verebilmektedir.

Kritik hizmetler veren bir veri merkezi gaz veya partikül etkisine duyarlı olursa, sonuçlar oldukça vahim olacaktır. Neticede, kirlenme riskini değerlendirmek ve bu riski olabildiğince bertaraf etmek son derece önemlidir.

Arıza oranının artmasında bir takım etkenler vardır. Lehim yapısındaki farklılıklar (kurşunsuz kurşun temelli) ve haberleşme cihaz bileşenlerinin giderek daha da kompakt hale gelmesi riski arttırmaktadır. Beyaz alan salon sıcaklığı ve ortamın nem profilindeki değişiklikler, bu faktörler kadar önem az etmeyen ortam hava kalitesi ile birlikte değerlendirilir.

Elektrik güç devrelerinde yaygın olarak “açık” veya “kısa devre” arızaları oluşabilmektedir. Haberleşme cihaz devreleri fiziksel olarak çok daha küçük boyutlara sahiptir ve yine benzer şekilde arızalar verirler. Bakır sünme korozyonu ve gümüş sünme korozyonu iki yaygın haberleşme cihaz devresi arızası olarak bilinmektedir.

Havadaki partikül kirleticilerin varlığı, iklimlendirme sistemlerindeki filtrelerin detaylı görsel incelemeleri ile tespit edilebilir. Gaz halindeki kirleticiler, datacom odasındaki bakır ve gümüş kupon testi kullanılarak mevsimsel veya periyodik bir izleme ve ölçüm gerektirebilir. Metal örnekler çeşitli gazlara maruz kaldıklarında tepkimeye girerler (ortalama maruziyet süresi yaklaşık bir aydır). Daha sonra örnek metallerin laboratuvar analizleri ile ortamda bulunan kirleticilerin seviyesi tespit edilebilir.

Veri merkezlerinde kirletici riskini düşürmek için filtre sistemleri (partikül filtreler veya gaz filtrasyonu) kullanılabilir. Bu hususta daha fazla detay ASHRAE'de (2014) verilmiştir.

Hava soğutmalı cihazlar için çevre rehberleri

ASHRAE'nin 2004 yılında Veri Merkezleri için Termal Yönergeleri'nin ilk baskısında ortak bir tasarım noktası ortaya koydu: haberleşme cihazı için giriş sıcaklığı. 2008 baskısında tavsiye edilen sıcaklık aralığı genişletildi ve 2011 baskısında, veri merkezi sınıf tanımlamalarını daha geniş sıcaklık aralıklarıyla ikiden dörde çıkardı (ASHRAE 2012a). Tüm bu revizyonlar, birçok endüstriyel çalışmadan sonra yapılmıştır. Bu konuda öne çıkan hususlar aşağıda belirtilmiştir.

Tavsiye edilen ortam şartları

Gerek enerji verimliliği gerekse ekipman çalışma güvenilirliği ve uzun ömürlülüğü açısından, veri merkezlerinin ASHRAE tarafından tavsiye edilen sıcaklık ve nem aralıkları göz önüne alınarak kabul edilebilir haberleşme ekipmanı giriş koşullarını sağlayacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Çizelge 2.1'de bu aralık verilmiştir, bununla birlikte ASHRAE (2012a) 'da tanımlanan süreci kullanılabilir.

İzin verilen ortam şartları.

İzin verilen aralık, haberleşme cihaz üreticilerinin, cihazların bu ortam şartlarında çalışacağını doğrulamak için test ettiği aralıktır. Genel olarak, haberleşme cihaz üreticileri, cihazı satışa sunmadan önce ürünün bu ortam şartlarında tüm işlevleri yerine getirdiğini garanti etmek adına testler yapar. İzin verilen kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nem aralıklarına ilave olarak, maksimum çiğ noktası ve maksimum yükseklik değerleri izin verilen çalışma ortamı tanımlarının bir parçasıdır.

Pratikte uygulama

Çalışan ekipmanın tavsiye edilen aralığın dışındaki ortam şartlarına uzun süre maruz kalması, özellikle izin verilen çalışma şartlarının sınırlarına yaklaşılması, ekipmanın güvenilirliğinin ve ömrünün azalmasına sebep olabilir [ASHRAE (2012a) 'de giriş hava

sıcaklıklarına karşı sunucu güvenilirlik değerleri verilmiştir.]. Çalışan ekipmanın izin verilen ortam şartları dışındaki koşullara maruz kalması, çok fazla arıza riski taşır.

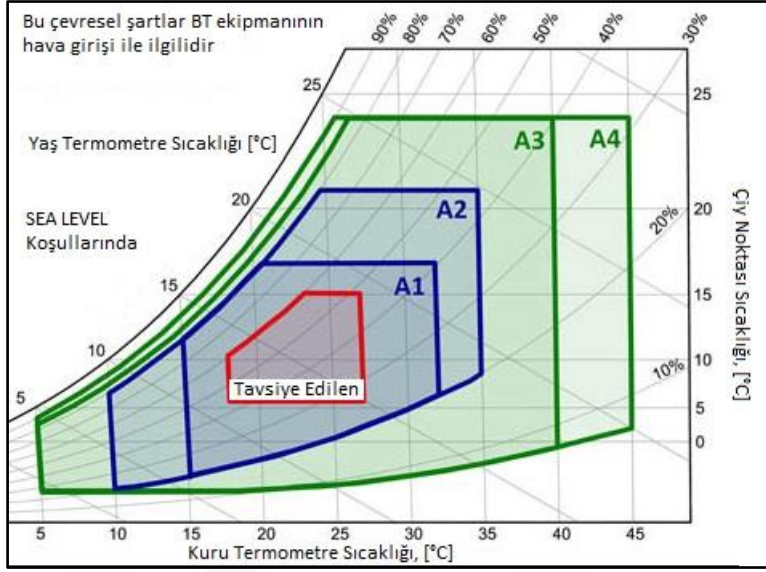
Hava soğutmalı ekipmanlar için ortam şartları tanımlamaları

Bir haberleşme cihazının belirli bir ortam şartlarına uyması için (ASHRAE 2012a), izin verilen tüm ortam şartlarında, kötü olmayan koşullara dayanarak operasyonel yeteneklerini güvenilir bir şekilde sağlayabilmesi gerekir . Haberleşme cihaz sınıfları için önerilen ve izin verilen aralıklar Çizelge 2.1.'de verilmiştir. Dört haberleşme ekipmanı sınıfı için izin verilen ortam şartları Şekil 2.6.'da verilmiştir:

- Sınıf A1: Genel olarak sıkı kontrol edilen ortam parametrelerine (çiğ noktası, sıcaklık, bağıl nem) ve kritik işlevlere sahip bir beyaz alan; bu ortam için tasarlanmış ürün türleri, kurumsal sunucular ve depolama cihazlarıdır.
- A2 / A3 / A4 Sınıfı: Genellikle bazı ortam parametrelerin kontrolünü içeren bir beyaz alan (çiğ noktası, sıcaklık, bağıl nem); Bu ortam için tasarlanan ürün türleri, ikincil sunucular, depolama cihazları, kişisel bilgisayarlar ve çalışma bilgisayarlarıdır. Bu üç kategoride, A2 en düşük sıcaklık ve nem aralığındadır. A4 ise en geniş ortam ihtiyaçlarına sahiptir.
- B Sınıfı: Ortam parametrelerinin genellikle asgari seviyede kontrolü yapılan bir ofis, ev veya taşınabilir ortam (yalnızca sıcaklık); bu ortamlar için tasarlanan cihazlar kişisel bilgisayarlar, çalışma bilgisayarları, dizüstü bilgisayarlar ve yazıcılardır.

Çizelge 2.1. Hava soğutmalı beyaz alan sınıfları (Ürün çalışma aralıkları)

Sınıf	Kuru Termometre Sıcaklığı [°C]	Maks. Çiy Noktası, [°C]	Nem
Tavsiye Edilen			
A1-A4	18-27		5.5°C dp ile % 60 rh ve 15°C dp
İzin Verilen			
A1	15-32	17	20-80% rh
A2	10-35	21	20-80% rh
A3	5-40	24	-12°C dp ve 8-85% rh
A4	5-45	24	-12°C dp ve 8-90% rh



Şekil 2.6. Haberleşme ekipman türleri için çevre sınıfları (ASHRAE 2012a)

- Sınıf C: Genellikle hava şartlarına karşı koruma, yeterli ısıtma ve havalandırması olan bir satış noktası, fabrika veya hafif endüstriyel ortam; Bu ortam için tasarlanan cihaz türleri, satış noktası ekipmanı, desteklenmiş denetleyiciler veya bilgisayarlar ve kişisel dijital asistanlardır (PDA'lar).

Tüm sınıflar için kuru termometre sıcaklığı, rakıma bağlı olarak azaltılmalıdır. Azaltma metodolojisi için, bkz. ASHRAE (2012a).

Güncel rehberler, veri merkezi işletmecilerine mümkün olduğunca fazla bilgi aktarmaya odaklanarak oluşturulmuştur, böylece tesislerin riske girmesine izin verilmeden enerji verimliliği en üst seviyeye çıkarabilir.

Sıvı soğutmalı ekipmanlar için ortam şartları

Bir veri merkezi cihazının bu sınıflandırmalardan birisine uyması için, olumsuz koşullara bağlı olarak verilen sıcaklık aralığı boyunca tam işletme beklentilerini sorunsuz bir şekilde sağlayabilmesi gerekmektedir.

- W1 / W2 Sınıfı: Genellikle, chiller ve soğutma kulesi kullanılarak soğutma yapılan, ancak tesisin lokasyonuna bağlı olarak opsiyonel olarak enerji verimliliğini artırmak amacıyla bir ekonomizere sahip bir veri merkezi.
- W3 Sınıfı: Çoğunlukla, bu tesisler chiller kullansa da, chiller olmadan işletilebilirler.

- W4 Sınıfı: Enerji tasarrufu ve işletme giderlerini düşürmek için, bu veri merkezleri soğutma sistemi olmadan işletilir.
- Sınıf W5: Enerji verimliliğinden yararlanmak, soğutucusuz çalışma ile işletme giderlerini azaltmak ve ayrıca atık enerjiden yararlanmak için, su sıcaklığı yerel binaları ısıtmak için BT ekipmanından çıkan sudan yararlanacak kadar yüksektir.

Çizelge 2.2.'de verilen ASHRAE sınıflarına göre daha yüksek sıcaklıklarda çalışan haberleşme cihazları için, sıvı soğutmalı bileşenlerin tasarlanan sıcaklık aralığında tutmak için iyi tasarlanmış projeler gerekir. Netice olarak, ekipmanların besleme suyu sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, veri merkezi soğutma maliyeti de o kadar düşük olacaktır.

W1 ve W2 sınıfları ile ilgili olarak, haberleşme cihazları, tesis bünyesinde işletme ihtiyaçlarına göre ayarlanabilecek besleme suyu sıcaklıklarına uygun olmalıdır. Böyle durumlarda, yoğunlaşmanın önüne geçmek son derece önemlidir.

W3-W5 sınıfındaki haberleşme cihazları sınırlı olarak kullanılabilir. Bu sınıflar için gelecekteki tasarımların maliyet-performansı dengesini ön planda tutacağı beklenmektedir. Bunun yanında, bu sınıflar bazı lokasyonlarda maliyeti düşük olan veri merkezi altyapısına ve düşük işletme giderlerine olanak sağlamaktadır.

Soğutma sistemlerindeki su akış hızı ve haberleşme cihazındaki basınç düşüşü değerleri farklılık arz edebilir. Üreticiler genellikle, belirli bir su besleme sıcaklığına ve su için kabin ısı dağılımına cevap verecek konfigürasyona özel akış hızı ve basınç farkı şartlandırması sağlar. Soğutma çözümlerinde ihtiyaç duyulan su kalitesi, uzun vadede devamlılık için son derece önemlidir.

Çizelge 2.2. Sıvı soğutmalı veri merkezi sınıfları (Teçhizat operasyonu)

Tipik Altyapı Tasarımı			
Sınıf	Ana soğutma ekipmanı	İlave soğutma ekipmanı	Tesis besleme suyu sıcaklığı [°C]
W1	Çiller/soğutma kulesi	Su tarafı ekonomizeri	2-17
W2			2-27
W3	Soğutma kulesi	Çiller	2-32
W4	Su tarafı ekonomizeri (kuru soğutucu veya soğutma kulesi)		2-45
W5	Bina ısıtma sistemi	Soğutma kulesi	>45

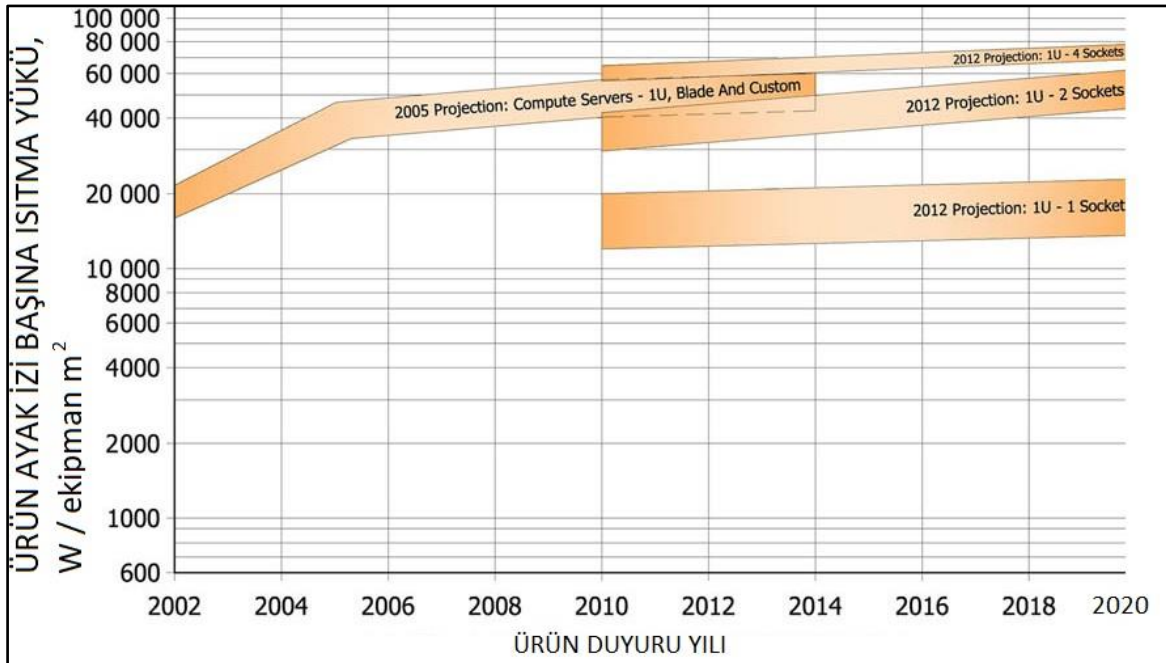
Haberleşme cihaz etiketlemesi ve soğutması

Bir güç kaynağının etiketi, haberleşme cihazının kapasitesine göre düzenlenmiş ve teyit edilmiş azami güç kapasitesini gösterir. Bu etiket değeri, kullanım esnasında gerçek güç tüketimini göstermez ve haberleşme cihazı ısı yayma miktarının bir ölçütü olarak değerlendirilmemelidir.

ASHRAE yönergelerini baz alan üreticiler, ürünler için tasarım ve kullanıma bağlı olarak ısı yayılımını tablo halinde düzenleyen verileri referans alır. İlaveten, çoğu büyük haberleşme cihazı üreticisinin, veri merkezi planlama ve tasarımında kullanılmak üzere veri merkezine ve haberleşme cihazları grubuna daha özel ve detaylı ısı yayma ve hava akışı bilgileri sunan çevrimiçi araçları bulunmaktadır.

Güç eğilimleri

Haberleşme cihaz üreticileri, hedefledikleri sektöre ve cihaz kullanımına göre güç ve performans ihtiyacına cevap verebilen cihaz üretmek için çalışırlar. Genel olarak, çok yüksek performanslı sunucularda, müşterilerin beklediği performansı karşılamak amacıyla güç yoğunluğu giderek artmaktadır. ASHRAE (2012b), farklı cihaz grupları için güç yoğunluğunun limitleri hakkında çerçeveyi belirler (Şekil 2.7.).



Şekil 2.7. ASHRAE Haberleşme cihazı için tahmini güç trendleri (ASHRAE 2012b)

Doğru bir değerlendirme ile bir tesisteki mevcut yük trendi, gelecekteki yük ihtiyacının ne yönde olacağı hakkında iyi bir veri olabilir. Gelecekteki yük profilinin değerlendirilmesi, öngörülme harcamaları, erken yıpranmaları, ekstra maliyetleri vb. önüne geçmek için tesislerin planlama, tasarım, inşaat ve işletme dönemi için önemli bir parametredir.

Trendlerin oluşturulması ve bunların değerlendirilmesi ile ilgili detaylar için ASHRAE (2012b) 'ye bakılabilir.

2.2.4. Haberleşme cihaz bileşenleri

Isıl tasarım

Veri merkezlerinde iyi bir soğutma tasarımındaki temel hedef, soğutma kapasitesinin ortaya çıkacak olan ısı yüküyle örtüşmesidir. Bu, haberleşme cihazının beklenen ısı yayılımının doğru ve gerçekçi olarak ele alınmasını gerektirir. Haberleşme cihazının özellikleri biliniyor olsa da, gerçek ısı yükünün değerlendirilmesi zor olabilir ve burada sıklıkla yanlış yapılır. Bundan dolayı, haberleşme cihazının veri merkezi ile etkileşiminin nasıl olduğunu anlamak adına, haberleşme cihazının ısı değerlendirilmesi son derece önemlidir.

Isıl tasarım, tüm haberleşme cihazı bileşenlerinin (işlemci, bellek, depolama, G / Ç, güç kaynağı) ısı özelliklerinin alt ve üst sınırlarında tutulmasını amaçlamalıdır. Haberleşme cihazı bileşenleri işlevsel, güvenilir ve sınır sıcaklık özelliklerine sahiptir. Silikon bileşenlerde azami sıcaklık sınırları 85 ila 105°C aralığındadır.

Haberleşme cihazının ısı yönetimi Şekil 2.8.'de verilen şartlara uygun şekilde gerekli önlemler alınmalıdır. Bu şekilde veri bütünlüğünü korunmuş ve ekipman servis ömrü uzatılmış olur.

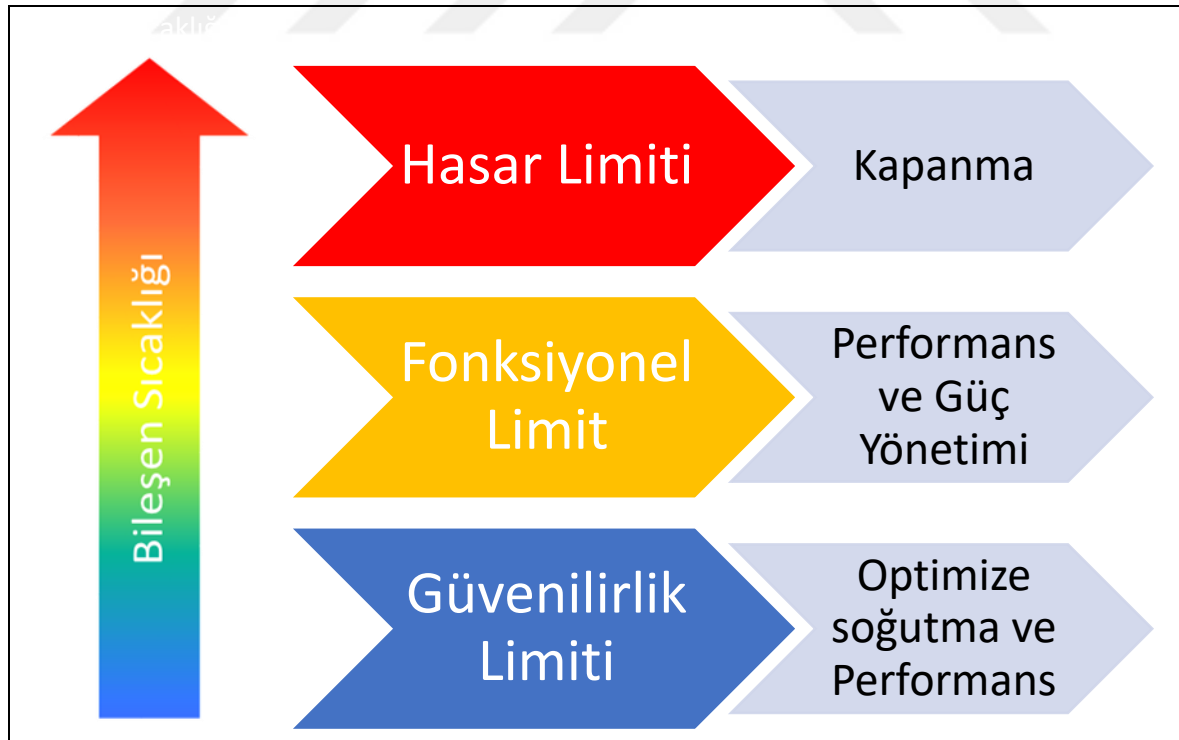
İyi tasarlanmış bir ısı yönetim uygulaması, bileşen sıcaklıkların, haberleşme cihazının performansı ile gürültü ve güç tüketimi gibi konularda efektif bir netice sağlar.

Hava soğutmalı haberleşme cihazı bileşenleri

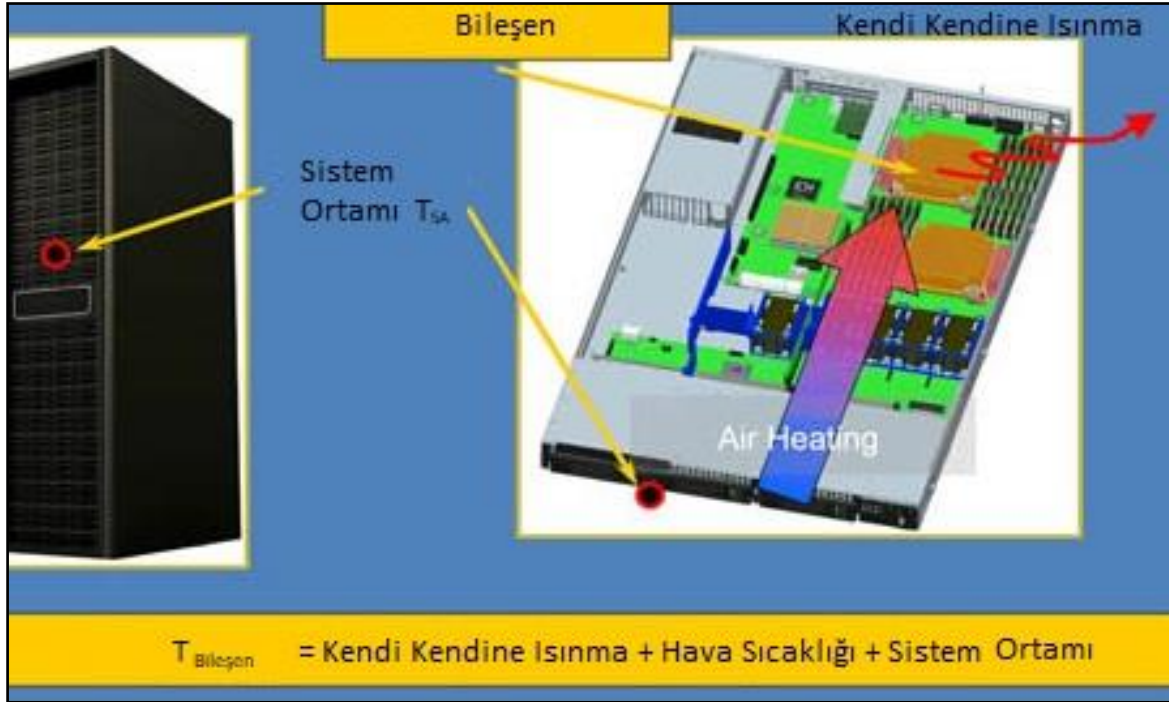
Haberleşme cihazları için hava soğutmalı çözümler halihazırda yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu bölümde verilen bilgiler çoğunlukla hava soğutmalı sunucular için geçerlidir; ancak, uygulamada genellikle haberleşme cihazları için kullanılmaktadır.

Klasik haberleşme cihazları, ısıl dengesini muhafaza etmek amacıyla değişken debide, cebri soğutma kullanır. Bileşen sıcaklıkları, Şekil 2.9.' da gösterildiği gibi hava soğutmalı sistemde üç etkenden biriyle yönetilir:

- Haberleşme cihazının bulunduğu ortam veya cihaza giriş sıcaklığı
- Haberleşme cihazı içerisinde havanın ısınması veya yükselmesi nedeniyle hava sıcaklığındaki artış
- Bileşenin kendi ısınması veya bileşen tarafından yayılan ısının sebep olduğu ortam ısısı nedeniyle bileşen sıcaklığındaki artış; bileşen tasarımı, güç yönetimi ve ısıl çözümlerle (örneğin, ısı emici) yönetilir.



Şekil 2.8. Sistem Isıl Yönetimi



Şekil 2.9. Örnek bileşen ortamı

Haberleşme cihazı üreticileri, havalandırma ve soğutma tasarımı arasındaki etkileşimle birlikte, maliyet, performans ve enerji tüketimi faktörlerini dengeleyecek şekilde bileşen ve cihaz seviyesinde soğutma çözümleri üzerinde çalışmaktadır. Soğutma performansı, enerji tüketimi, gürültü seviyesi, fan performansı ve yedeklilik de genel çözümde ele alınması gereken önemli hususlardır.

Fan veya soğutma bölgeleri, genellikle spesifik fanlar ve bu fanların ilişkili bileşenlerinin gereksinimlerine göre hassas olarak ayarlamak amacıyla kullanılır. Soğutma alanları ortama göre veya fiziksel olarak ayrıştırılabilir. Fan bölgesi oluşturularak, toplam fan gücü ve gürültü en düşük seviyeye indirgenebilir. Fanlar, basınçlandırılmamış bir bölgede yüksek basınçlı bir bölgeye göre daha düşük hızlarda çalışabilir.

Isı ve Güç yönetimi

Isıl yönetim, kullanım faktörü veya yük durumu, soğutma kapasitesi, konfigürasyon ve ortamın komple ele alınması ile haberleşme cihazları sistem performansının optimizasyonunu sağlar. Bu optimizasyonun arkasında, fan devir kontrolü ve buna bağlı olarak güç tüketimi kontrolü bulunmaktadır. Haberleşme cihazı üzerindeki hava sıcaklığı ΔT

farkının ideal duruma getirilmesi, işlevsel limitlerin muhafazasını sağlamak adına çok kritik olmasından dolayı temel olarak kritik bir tasarım konusu değildir.

Sunucunun ısı tasarımındaki kritik noktalar, bileşenler ve bunların teknik özellikleridir. (fan seçimi, soğutucu, hava akışı vb.).

Güç yönetimi faktörleri, tüm bileşenlerin sıcaklık limitlerinde kalmasını temin ederken, düşük yüklenmelerde toplam güç tüketimini aşağıya indirir.

Haberleşme cihazının fan hızı ve hava akışı, gelişmiş kontrol algoritmaları sayesinde kontrol edilir ve haberleşme cihazının kullanımına göre fan devrini ayarlar. Bu algoritmaların çıktıları değerlendirilerek son kullanılan fan hızı ile birlikte birden fazla algoritma aynı anda çalıştırılabilir.

Sıcaklık-nem sensörleri ve varlık sensörleri, enerji kullanımını yönetmek için ihtiyaç duyulan verileri toplar ve bileşik bir ısı yönetim uygulamasına temel oluşturur.

Sıvı soğutmalı haberleşme cihazı bileşenleri

Her geçen gün daha da yoğun hale gelen haberleşme cihazı tasarımıyla bazı bileşenler, üreticinin belirlediği ortam şartlarını sağlamak adına sıvı soğutma kullanımını gerektirebilir.

Elektronik ekipmanda soğutma amacıyla , mühendislik sıvıları, dielektrik, su, yağlar veya soğutucular kullanılabilir. Sıvı soğutmalı haberleşme cihazından veya bileşenlerinden tesis ortamına doğru oluşan ısı transferi çoğunlukla bir sıvı-sıvı ısı eşanjörü vasıtasıyla yapılır.

Bazı çözümlerde soğutma, tek ya da iki-fazlı uygulamalarda haberleşme cihazı bileşenleri direkt olarak dielektrik bir sıvının içerisine daldırma uygulaması ile yapılır. Dielektrik sıvılar, mineral yağ ve floroketonlarından oluşur.

2.3. Veri Merkezleri

2.3.1. Genel hususlar

Mekân ve ortam ile ilgili hususlar

Bir veri merkezi özel bir tesis olabilir veya diğer işletme fonksiyonları ile birlikte kiracı da bulunan genel kullanım amaçlı bir binanın bir bölümünde bulunabilir. Bulunduğu binanın durumuna veya binadaki konumuna bakmadan, bir veri merkezi, birbirinden farklı ancak aralarında işlevsel olarak ilişkiye sahip alanlardan oluşur (bkz. Şekil 2.1.).

Sunucu alanı bilgisayar odası, makine odası, yükseltilmiş döşeme alanı veya beyaz alan gibi farklı isimlerle ifade edilmektedir. Bu kısımda, beyaz alan terimi, onu destekleyen ve tüm veri merkezini teşkil eden diğer birimlerden ayırmak amacıyla kullanılmaktadır.

Bir beyaz alanın ideal büyüklüğünü belirlemek, giderek daha da zor hale gelmektedir. Bunun sebepleri: sunucu hizmetleri için sürekli talep artışı, haberleşme cihazlarının birleştirilmesi, sanallaştırılması ve yoğunluğunun artması ve birçok IT servisinin bulut veya kiralık alanlara taşınması olarak sayılabilir.

Maalesef, veri merkezlerinin destek temel hizmetlerini sağlayan elektrik / mekanik sistemler için ayrılan alanlar oldukça düşük tutulmaktadır. Sürdürülebilirlik açısından sadece bakım için ihtiyaç duyulan alanın önemi bile bu kritik tesislerde göz önünde bulundurulmalıdır. Aşırı yoğunluk, asgari yasal koşullar veya üretici tarafından belirlenen hizmet taahhütleri sağlansa da sistemlerin birbirleri ile etkileşiminde kesinti oluşmasına, dolayısıyla hizmet kesintisine sebep olabilir. Başlangıç noktası olarak, minimum elektrik/mechanik destek alanı gereksinimlerini beyaz alanının belli bir yüzdesi olarak belirlenebilir.:

- Yedeksiz tesisler için asgari %50
- N + 1 yedekli tesisler için %75 ila %100
- 2N yedekli tesisler için %100 – 150 (N + 1 ve 2N yedeklilik için Yedeklilik, Sürdürülebilirlik ve Eşzamanlı Bakım bölümüne bakınız)

Sürdürülebilirlik açısından ihtiyaçların artışı aynı zamanda destek alanlarının ve yedek parça ihtiyacının da artmasına neden olmaktadır. Buna ilave olarak, yedekliliği yüksek tesislerde,

birbirinin yedeği olarak kurulan sistemlerin yangın dayanımı olan duvarlar ile fiziksel olarak ayrılması gerekmekte ve destek alanı ihtiyacını daha da arttırmaktadır.

Beyaz alanı çevreleyen yapının, hem dış hem de iç mekân olarak, çevredeki diğer alanlardan iyi bir şekilde ısı izolasyonu sağlanmalıdır. Genel yapı ile ilgili temel problem, yapısı veya kullanım amacı ne olursa olsun, partikül kontaminasyon veya su kaçağı kaynağı olmamasıdır.

Betonarme yapılarda tozdan korunmak için üst yapının temiz olarak sonlandırılması ve kapatılması icap eder. Çatı imalatında ise, sızdırmayı engellemek adına ilave önlemler alınmalıdır. Çok kritik bölümlerde, önlem amacıyla çift çatı konstrüksiyonu tercih edilmektedir. Boşluklar ve bağlantı noktaları izole edilmelidir.

Asma tavan plakaları, deformasyonu önlemek amacıyla metal veya iki yüzü kaplanmış plastik olabilir. Bu durum, geri dönüş havasının tavan arasından yönlendirilmesi durumlarında önem arz etmektedir. İşlem gömüştüğü yüzeyler sprey boya veya benzeri bir malzeme ile kaplanmalıdır. Fayans içerisine monte edilen askı tijleri de montaj sırasında kaplanmalıdır. Dönüş havasının tavan arasından yönlendirildiğı durumlarda bu kısımda kullanılan malzemeler pürüz bırakmayacak türde sıcak galvaniz veya çinko kaplamalı olmalıdır.

Beyaz alanı çevreleyen duvarlar, gerek soğutma kaybının gerekse ısı kazancının önüne geçmek amacıyla doğru şekilde yalıtılmalıdır. Odada gazlı söndürme sistemi varsa bile tüm açıklıklar kapatılmalıdır.

Haberleşme cihazlarının çoğunda nem açısından çalışma aralığı oldukça geniş olsa da, beyaz alanlar için nem alma ve nemlendirme prosesleri de düşünölmelidir.

Beyaz alanlara mümkün olduğunca pencere konulmamalıdır, ancak ihtiyaç durumunda, çift camlı ve kilitli pencere kullanılabilir. Pencereilerin kaplanmasına izin veriliyorsa ve sadece içeriden değıştirmek mümkünse, kaplamaları çıkarılabilir hale getirmek ve büyük mekanik / elektrikli ekipman parçalarıyla erişimi engellemekten kaçınmak gerekecektir.

Beyaz alanlar

Beyaz alanlar için yükseltilmiş döşeme artık standart bir uygulama olmaktan çıkmıştır. Özellikle cihaz odaklı soğutma kullanıldığında tüm enerji, soğutma ve ağ altyapısını, oda boyunca teçhiz etmek mümkündür, hatta nispeten yaygındır. Bundan dolayı, yükseltilmiş döşeme hava yönlendirmesi için şart değildir.

Buna ilave olarak, su soğutma sisteminin olası risklerini bertaraf edebilmek amacıyla borulama için servis koridoru kullanılmakta olup, asma tavan uygulaması çoğunlukla kabinlerin üstündeki sıkışıklığı azaltmak için tercih edilir. Enerji ve aydınlatma kabloları ile kablo kanalı montajı yukarıdan yapıldığında, dikey alan sıkışabilir ve koordinasyonda sorun oluşturur.

Temel amaçlarının dışında asma tavan kullanımının hem avantajları hem de dezavantajları bulunmaktadır. Eğer asma tavan kullanılacaksa, malzeme seçiminde ve uygulama tasarımında birçok kriter değerlendirilmelidir.

Yükseltilmiş döşeme ve asma tavan uygulamasının en büyük avantajı, enerji hatları, borulama ve kablolama gibi demirbaş altyapı için bir alan sağlamasıdır. Yükseltilmiş döşemeler ayrıca havayı plenum boşluğundan iletmek için de kullanılabilir. Yine bununla birlikte şap betonu ve pürüzlü-eğimli yüzeylerde düz bir zemin imkânı sağlayabilir.

Yükseltilmiş döşeme ve asma tavan uygulamaları bina statığı açısından ilave ağırlık oluşturmaktadır. İşletme esnasında döşemelerin değişimine özen gösterilmiyorsa veya arka arkaya çok fazla sayıda döşeme açılıp zemin düzeni bozuluyorsa, belirli aralıklarla (birkaç yılda bir) yeniden düzenlemeyi de içerecek şekilde bakımlar planlanmalıdır. Plenum boşluğunda, yeni kablo montajı ve eski kabloların demontajı esnasında özen gösterilmezse, kablolar çok girift bir hale gelebilir. Döşemeden hava iletimi yapılıyorsa, düzenlenmemiş kablo demetleri hava akışını düşürebilir veya tamamen engelleyebilir. Bu noktada en doğru uygulama, kabloları plenum boşluğundan geçirmemektir.

Döşeme yüksekliği, tasarımdaki kullanımına göre belirlenir. Soğutma havasının iletimi için kullanılacaksa, ihtiyaç duyulan statik basıncı tüm zemin boyunca olabildiğince eşit tutarken, gerekli hava debisini sağlayacak şekilde yüksek olmalıdır.

Hava akışı üzerindeki etkisi ile birlikte döşeme plenum yüksekliği belirlenirken, döşeme altını kaplayacak olan boru tesisatı, enerji sistemleri veya kablo kanalı da dikkate alınmalıdır. Hali hazırda, plenum olarak kullanılan yükseltilmiş döşemenin hava iletimi açısından sağlıklı çalışması için asgari 450 ila 600 mm yükseklikte olması gerektiği kabul edilmektedir.

Döşemenin yüksekliğinden sonra diğer kritik bir husus ise döşemenin yapısal dayanımıdır. Beyaz alanlarda projelendirilen yükseltilmiş döşemelerde, yük taşıma kapasitesini arttırmak ve zemini düzenini bozmadan demontajı ve değiştirmeyi kolaylaştırmak için cıvatalı tel altlıklar tercih edilmelidir.

Yeni kabinler genellikle eski kabinlere göre oldukça ağır olup ağırlıkları 1100 ila 1360 kg arasında değişmektedir. Başlangıçta kabinler ağırlık olarak dolu olmasalar bile, döşeme yük hesapları gelecekteki potansiyel yüklemeye cevap verecek şekilde yapılmalıdır.

Buna ilave olarak, yeni kabinler eski 600 x 600 mm'lik dolaplara göre daha büyük olmaktadır, bundan dolayı yük birden fazla karo üzerine yayılır. 700 kPa veya 1360 kg nominal karo taşıma kapasitesi üzerinden projelendirilmiş döşeme sistemleri çok sağlıklı olmamaktadır.

Döşemeler için kapasite seçiminde, statik yük ile birlikte hareketli yük durumlarının değerlendirilmesi oldukça önemlidir, çünkü cihazlar genellikle küçük tekerlekli araçlar ile yerlerine taşınmaktadır. Hareketli yük testleri, çoğunlukla Tavan ve İç Ekipmanlar İnşaat Derneği (CISCA 2007) tarafından ortaya konan test prosedürlerine uygun olarak, belirli ebatlardaki yüklü tekerlekler ile 10 geçiş ve 10 000 geçiş şeklinde gerçekleştirilir. Dikkat edilmesi gereken nokta, bütün testler aynı tekerlek ebatlarında gerçekleşmez ve sonuçlar yanıltıcı olabilir.

Ağır yük taşınması durumunda en doğru yöntem, zemine kalın sunta veya kontrplak koymaktır. Bu yöntem ile ilgili olarak, hareketli yük (tekerlekli taşıma aracı) taşımaya uygun olmayan ve çabuk deforme olan, hava akışına izin veren delikli karolara sahip koridorlarda cihaz taşırken dikkat edilmelidir.

Yükseltilmiş döşeme panellerinde kullanılabilecek en uygun malzeme yüksek basınçlı laminattır (HPL). Bu malzeme, çatlamadan ve deforme olmadan ağır yüklere oldukça dayanıklıdır, topraklanmış yüzey ile bağlantısı doğru bir şekilde yapılırsa iyi seviyede statik dağıtma özelliklerine sahiptir, Açık renkleri sayesinde ışık verimliliği oldukça iyidir ve nemli bez vb. malzeme ile silinerek kolayca bakımı yapılabilir. Veri merkezinde hiçbir şekilde sert fırçalama veya cilalama işlemi yapılmamalıdır.

Bu durum, vinil kompozit kiremit (VCT), saf vinil kiremit (hareketli yüklerde çabuk deforme olan) veya linolyum kullanımını engel teşkil eder. Yine, antistatik olsa bile halı, bir beyaz alanda kesinlikle kullanılmamalıdır, çünkü hem toz vb. partikül kirletici maddeleri üzerinde tutar ve ortama verir. (Not: Genel olarak, iyi bir topraklama sistemine doğru bir bağlantı yapıldığında, yükseltilmiş döşemenin toprak direncinin, statik elektrik üretim potansiyelini asgariye düşürmek için 104 ila 106 Ω aralığında olması gerektiği kabul edilir.)

Hava iletimi için kullanılacak yükseltilmiş döşeme malzeme seçiminde dikkat isteyen önemli parametrelerden biri hava akımı panellerinin belirlenmesidir. Eski delikli fayanslar (%25 açık), rendelenmiş dökme alüminyum karolar (%56 ila %63 açık) ve yönlü pervaneler, hava takviyesi fanları ve otomatik hava akış kontrolü içeren fayanslar dahil olmak üzere çeşitli tipler kullanıma sunulmaktadır.

Hiçbir yükseltilmiş döşeme uygulamasında tam bir sızdırmazlık sağlamak mümkün değildir ve hava için soğutma prosesinin maliyetli bir işlem olması ve döşeme boyunca yeterli olacak şekilde dağılması için önemli miktarda basınç ihtiyacı duyulması nedeniyle ekstra enerji tüketimi oluşmaktadır. İyi bir yükseltilmiş döşeme uygulamasında hava kaçakları % 2'den fazla olmamaktadır.

Yükseltilmiş döşeme projelendirmesi olmadan beyaz alan tasarımı yapıldığında temel sorun, tüm enerji hatları, soğutma ve ağ altyapısının oda içerisinde teçhiz edilmesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum temelde, tercih edilen soğutma yöntemine bağlı olarak, son derece hassas bir koordinasyon ve dikkatli bir kurulum gerektirmektedir. Geniş bir kanal uygulaması da lazım olacak ise betonarme altyapısı maliyeti, yükseltilmiş döşemenin maliyeti ile denk olabilir.

Yardımcı ve destek alanlar

Malzemelerin depolanması, cihazların desteklenmesi, haberleşme cihazlarının işletmesi ve bakımı için veri merkezlerinde bir alan tahsis edilmelidir. Yardımcı alanların bazılarının, haberleşme cihazları için ihtiyaç duyulan ortam şartlarına benzer koşullarda olması gerekebilir, bir kısmı da daha esnek koşullara ihtiyaç duyabilir. Destek alanlarının devamlı aktif tutulması, tesisin doğru işletilmesi açısından son derece önemlidir.

Enerji altyapı ekipmanları genel olarak haberleşme cihazlarına göre daha esnek ve geniş bir sıcaklık ve nem aralığında çalışabilir. Bunlara örnek olarak; şalt ekipmanları, otomatik transfer şalterleri, otomasyon panoları, kumanda panoları ve trafolar sayılabilir. Operasyonun doğru bir şekilde yürütülmesini teminen cihazlardan salınan ısı miktarına bağlı olarak tasarım koşullarını belirlemek üzere üretici verilerinin değerlendirilmesi son derece önemlidir.

Kesintisiz güç kaynakları (UPS)

Konfigürasyon olarak çok farklı olabilir, ancak genel olarak aküler vasıtasıyla yedek enerji temini maksadıyla kullanılır ve ana enerji hatlarında yedeklilik sağlayacak şekilde tesis edilir. Genellikle nominal çalışma kapasitesinin altında çalışırlar. Arıza ve acil durumlarda enerji sürekliliği sağlamak adına farklı tipleri bulunmakta ve yedekli olarak yeterli şekilde soğutulmaları gerekmektedir.

UPS alt ekipmanları (doğrultucu ve invertör) temel olarak birincil ısı kaynaklarıdır. Bu ekipmanlar genellikle alt kısımdan veya ön taraftan giriş havası alan ve üst taraftan sıcak havayı tahliye eden soğutma tertibatına sahiptir. Havalandırma ve soğutma sistem tasarımında, UPS hava giriş ve atışlarının konumları dikkate alınmalıdır.

Geçici yedek enerji kaynağı olarak yedek batarya sistemleri kurulurken, IEEE Standardı 1187 ve NFPA Standardı 70 dikkate alınmalıdır. Yerel kuruluşların onayı ile birlikte, geçerli diğer standartlar da göz önünde bulundurulmalıdır. İlgili diğer kaynaklar arasında NFPA Standartları 70E ve 76 sayılabilir.

Akülerin kullanım ömrü ve sağlıklı çalışması açısından akü odasının sıcaklığı oldukça önemlidir. Ortam sıcaklığı kurşun kalsiyum aküler için idealde 25 °C'dir. Bunun üzerindeki

sıcaklıklar, batarya ömrünün kısalmasına neden olur; altındaki sıcaklıklar ise, akülerin şarj tutma kapasitesini düşürebilir (IEEE Standart 484).

Acil durumlarda çalışan veya birincil kaynak olarak kullanılan dizel jeneratörlerde, genellikle hava soğutmalı radyatörler bulunur ve çalışırken yüksek miktarlarda taze havaya ihtiyaç duyar. Projelendirme yapılırken, egzoz havasının taze hava girişlerine karışmasını engelleyecek şekilde tasarım yapılmalıdır. Yakıt deposunun kapasitesi genellikle, tam yükte 72 saate kadar besleyecek şekilde tasarlanır. Bundan dolayı yakıt tankları ve tesisatı tesis tasarım ve planlamasında mutlaka göz önüne alınmalıdır. Mevcut standartlarda genel olarak, yakıt deposunun yeri, çevirmesi, yangın dayanımı vb. kriterler belirtilmektedir.

Diğer sistemler ve diğer hususlar

Yangından korunma sistemleri

Veri merkezi yangından korunma sistemleri, yangın durumunda öncelikle otomatik algılama, söndürmenin yanında müdahale yöntem ve stratejilerinin de kurgulandığı bir kombinasyona sahip olmalıdır. Ulusal Yangından Korunma Birliğinin (NFPA), veri merkezlerinde yangından korunma sistemlerinin projelendirilmesi, uygulanması, bakımı ve işletilmesi hususlarında çeşitli standartları bulunmaktadır. Dünya genelinde, ilave yangından korunma sistemleri ile ilgili farklı standartlar da bulunabilir; bu noktada yerel kanun/yönetmelikler de dikkate alınmalıdır. Temel NFPA standart içerikleri aşağıda belirtilmiştir:

- IT sektöründe yangından korunmaya dair standart 75
- Telekomünikasyon binalarında yangından korunmaya dair Standart 76
- Elektrik altyapısı montajına dair Standart 70, Ulusal Elektrik Kodu® (NEC)
- Algılama sistemlerine dair Standart 72, Ulusal Yangın Alarm Kodu®
- Yağmurlama söndürme sistemlerine dair standart 13
- Gazlı söndürme sistemlerine dair standart 2001
- Su sisi söndürme sistemlerine dair standart 750
- Yangından korunma sistemlerinin bakımına dair standart 25

NFPA 75 ve 76 standartları net çerçeveler çizmekle birlikte performansa dayalı yöntemler sunmaktadır. Birçok tasarımcı, kuralcı çerçeveyi dikkate almadan, performansa dayalı tasarımları baz alır. Bu tasarım yaklaşımı daha esnek bir uygulama imkânı sunmakla birlikte şirketlerin özel risk ve çalışma modellerine göre uyarlanabilir. Bunun yanında, birtakım şirketler ise her iki standardı referans alarak uygulama yapar ve genellikle kendi risk değerlendirmelerine veya tecrübelerine dayanarak standartların bazı bölümlerini ihlal ederler.

Beyaz alanlarda yangın söndürme sistemleri açısından farklı seçenekler bulunmaktadır. Eski birçok veri merkezi ve bazı yeni veri merkezleri, söndürme sistemleri ile ilgili yasal muafiyetleri kullanırlar. Bunun yanında, çoğunlukla veri merkezlerinde, yangından korunma amacıyla yaşam, tesis, cihaz vb. kombinasyonunu baz alarak sprinkler ve gazlı söndürme sistemi uygulaması yapılır. Standartlarda ve yönetmeliklerde genel olarak yönlendirme, gazlı söndürme sistemlerinin ekipmanı koruduğu, sprinkler sisteminin ise canlıları ve binayı koruduğu yönündedir.

Koridor kapamaları (sıcak koridor veya soğuk koridor), soğutma performansını ve enerji verimliliğini iyileştirmek adına yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bunun yanında, koridor kapaması uygulamalarında, ihtiyaç duyulan algılama, söndürme, tahliye sistemi, inşaat malzemeleri ve yangın önlenme sistemleri üzerindeki etkileri mutlaka değerlendirilmelidir. Bu kritik konular NFPA standartlarında detaylı olarak verilmiştir. Oluşacak her türlü engelde, gaz veya su püskürtmesini ve dağılmasını sağlamak amacıyla söndürme sistemlerinde (sprinkler veya gazlı aktif nozullar) revizyon ihtiyacını doğuracaktır.

Su Problemleri

Veri merkezlerinde su kaynaklı problemler önemli bir sorundur. Mümkün olan yerlerde meyil vermek ve yönlendirmek en doğru çözümdür, ancak bu uygulama her zaman pratik olmayabilir.

Su kaçağı ile ilgili birçok risk oluşabilir, tasarım yapılırken yukarıdan sızıntı olasılığı mutlaka göz önüne alınmalıdır. Beyaz alanlar ve destek ekipmanları (panolar, UPS vb.) banyo, kiler, laboratuvar veya benzeri alanların altına gelecek şekilde tasarım

yapılmamalıdır. Mecburi durumlarda, tavanın su izolasyonlu şekilde yapılması gerekmektedir. Su tesisatı mümkün olduğunca beyaz alanlara ve elektrik odalarına girmeden etrafından dolaştırılmalıdır, ancak bu mümkün değilse, kaçak durumuna karşı tavalar ve kaçak algılayıcılar ile önlem alınmalıdır.

Gürültü

Haberleşme cihazlarının yoğunlaşması ve enerji ihtiyaçlarının hızla artması, cihazların soğutma ihtiyaçlarının da aynı oranda artmasına neden olmuştur. Hava soğutma sistemleri, çalışan sağlığı açısından problem teşkil edebilecek bir ses seviyesinde çalışabilmekte ve bir kontrol planı gerektirebilecek gürültü ortaya çıkaran yüksek miktarda hava hareketi oluşturmaktadır.

Beyaz alanlarda ve mekanik / elektrik altyapı odalarında gürültü seviyesine maruz kalma aralıkları, Amerika Birleşik Devletleri'nde 1910.95 İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresi (OSHA) Genel Endüstri Standardı ile belirlenmektedir. Diğer ülkelerde de benzer standart ve yönetmelikler bulunmaktadır.

Haberleşme cihazlarının mekanik / elektrik altyapısı için soğutma ekipmanlarından ve jeneratör, UPS vb. güç ekipmanlarından kaynaklanan gürültü de değerlendirilmelidir. Tesisin dışında, genellikle çatı tipi cihazlar ve soğutma kulelerinden yayılan gürültü, yine tesisteki ses seviyelerinin rutin faaliyetleri yürütürken kabul edilen sınırlar içerisinde olması sağlanmalıdır.

Dış ünite ve jeneratör vb. ekipmanlardan üretilen ses seviyeleri genel olarak ulusal ve yerel gürültü yönetmeliklerine, kanunlara, yönergelere ve / veya düzenlemelere uygun olmalıdır. Gürültü seviyesi ile ilgili sınırlar genellikle yakın çevreyi etkileyebilecek mülk sınırında ve / veya şikâyetle muhatap olabilecek mülkün herhangi bir yerinde ölçülerek önlem alınması gerekip gerekmediği konusunda ısh tutar.

Acil durum, normal işletme ve test işlemleri esnasında cihaz gürültü seviyeleri, işletme personelinin kendi arasındaki iletişimine ve bölgedeki genel işletme ve araç faaliyetleri ile ilgili işitsel farkındalığa da müsaade etmelidir. İşletme bölgelerinde ve cihaz sahalarında tüm

cihazların çalışması durumunda ideal gürültü seviyesi 70 dBA veya altında olacak şekilde hedeflenmelidir.

Titreşim

Veri merkezlerinde titreşimler de göz önünde bulundurulmalıdır. Veri merkezi tesislerindeki en önemli titreşim kaynakları, genellikle hava kanalları, soğutma kuleleri, CRAH vb. soğutucular ile jeneratörler gibi zemine, duvara veya tavana monte edilen destek ekipmanlarıdır, ancak yapı içerisine monte edilen benzer cihazlar da titreşim oluşturabilir. Detaylı bilgi için ASHRAE TC 9.9 veri merkezi kitap serisine, özellikle ASHRAE'ye (2008) bakılabilir.

Bazı haberleşme cihazları titreşime karşı hassas olabilir, ancak sunucular şoka ve titreşime geçmişe göre nispeten çok daha dayanıklı hale gelmiştir. Problem oluşturabilecek durumlarda, üreticiden titreşim değerleri alınmalı ve veri merkezi tesisinin titreşim sınırlarına uyumunu netleştirmek adına titreşim dinamikleri değerlendirilmelidir.

Dünyadanın birçok bölgesin, tesislerin altyapısının geneli için ekstra destek ve güvenlik önlemlerine ihtiyaç duyulan sismik bölgeler olarak kabul edilmektedir. Bunun yanında, birçok veri merkezi işletmesinin kritikliği, sismik önlem ihtiyaçlarının az olduğu veya bulunmadığı durumlarda bile özel inşai önlemlerin ve sınırlamaların göz önünde bulundurulmasını zaruri kılar.

ASHRAE'de (2008) verildiği şekilde hem tesis sahibinin hem de tasarımcının veri merkezinin bulunduğu bölgenin sismik, rüzgâr vb. faktörleri incelemesi ve değerlendirmesi son derece önem arz etmektedir.

Sistem tasarımı yapılırken anlaşılır işletme kriterleri belirlenmeli ve uygulanmalıdır. Bu kriterler, tesis özelindeki sınırlamaların ve kanunlara uyumun ötesinde ilave önerileri içerebilir. Yerel kanun ve yönetmelikler incelenmeli ve değerlendirilmeli, bununla birlikte detaylı bilgi ve yönlendirme sağlayan ASCE Standard 7'de belirtilen gereklilikler de ele alınmalıdır.

Aydınlatma

Beyaz alanlarda aydınlatma, genel olarak ışık enerjisinden faydalanmanın sağlanamadığı cihaz kabinleri veya kablo tavaları üzerine değil koridorlara gelecek şekilde tasarlanmalı. Aynı zamanda armatürler personelin üzerine ve kabinlere azami aydınlatma sağlamak adına zeminden 2,68 ila 2,75 m mesafede teçhiz edilmelidir. Tavandaki diğer tesisat altyapısını sıkıştırmamak için montajın daha yüksek şekilde yapılması gerekebilir, ancak bu durumda, ışık enerjisinin gereksiz yere fazladan kullanılacak şekilde projelendirilmesi gerekir. Aydınlatma, beyaz alan enerji tüketiminin yanında çok az olmasına karşın, ihtiyaç olmadığında kapalı kalmalarını sağlamak adına otomasyon sistemi kurulmalıdır.

Birçok klasik aydınlatma armatürünün fotometrik grafikleri, veri merkezi aydınlatmasına uygun değildir. Bu tesislerde geniş ve yatay dağılım desenlerine sahip ekipmanlar kullanmak daha doğru olacaktır. Bu durum, kütüphanelerde kitap okunmasına imkân sağlamasından çok koridorlarda kitap isimlerinin okunmasına imkân sağlayacak olan aydınlatma tesisatına benzetilebilir. Kabinlerin dikey yüzeylerindeki aydınlatma seviyesi 325 lx olacak şekilde tasarım yapılabilir.

Sürdürülebilirlik, yedeklilik ve eşzamanlı bakım

Bir tesisin güvenilirliği açısından sistemlerin yedekli kurulması doğru bir yaklaşım olmakla birlikte, maliyet hesaplarının yanı sıra işletme ve operasyonel ihtiyaçlar için yedekliliğin ne seviyede olması gerektiği her zaman tartışılan bir konudur. Maalesef, sadece fazla yedeklilik, yüksek güvenilirlik anlamına gelmemektedir.

Amacının dışına çıkacak şekilde veya tesisi tehlikeye sokacak şekilde kurgulanmış yedekli güç ve soğutma sistemlerinin yatırım maliyetleri oldukça fazladır. Neticede, olası arıza durumlarının dikkatle incelenmesi, veri merkezinin tasarım aşamasında son derece önemli bir husustur.

Yedeklilikteki temel hedef, bir arıza veya bakım durumunda sistemin kesintisizliğini devam ettirebilmesi olmalıdır. Bir başka deyişle, enerji ve soğutma sistemlerinde herhangi bir ekipmanın, haberleşme cihazlarında herhangi olumsuz bir etki oluşturmadan bakım için kapatılmasına ve devreden çıkarılmasına imkân veren bir tasarım yapılmalıdır. Bu yedeklilik

seviyesi piyasada $N + 1$ yedeklilik olarak bilinir ve her sistemin asgari bir ilave bileşen ve hatta sahip olduğu anlamına gelir.

Bunun üzerindeki bir yedeklilik seviyesi olarak, boru hattının yedekli olması, soğutma ünitelerinin aynı kapasitede tek başına tesise yetecek seviyede iki adet ve tamamen yük paylaşımlı olacak şekilde tasarlanmasıdır. Bu yedeklilik seviyesi $2N$ yedeklilik olarak tanımlanır. Daha ileri yedekli bir tasarımda ise yedeklenen sistemlerde, her bir ekipman için ilave yedek bileşenler teçhiz edilir. İlave yedekliliğin yapılandırılmasına bağlı olarak, yedekli sistemlerden herhangi birine ilave bir ekipmanın (örn. chiller) mevcut olduğu $2(N + 1)$ veya $2N + 1$ olarak bilinen ileri seviye yedekleme sistemleri tasarlanabilir. Her iki sistemde içerisinde de kendi yedekli ekipmanları bulunmaktadır. Yedeklilik ve sürdürülebilirlik seviyeleri ile çalışma sürelerini sınıflandırmak amacıyla çeşitli standartlar oluşturulmuştur (ANSI / TIA Standardı TIA-942A vb.).

Haberleşme cihazlarının enerjinin kesintisiz bir güç kaynağından (UPS) sağlanması standart bir uygulamadır. Kesintisiz güç kaynaklarının iki temel amacı bulunmaktadır: haberleşme cihazını şebeke enerjisi problemlerinden izole etmek ve ihtiyaç durumunda jeneratörlerin çalışmasına kadar veya planlı bir kapatma işlemini gerçekleştirmek için haberleşme cihazına geçiş enerjisini sağlamak.

Günümüzde yoğun ısı transferi nedeniyle haberleşme sistemleri yalnız UPS üzerinden uzun süre beslenemez. Sıcaklık yükselmesi haberleşme cihazının ve / veya kesintisiz güç kaynağının devreden çıkmadan önce normal şartlarda azami yedekleme süresi 15 ila 20 dakikadır. Yüksek performanslı sunucular, soğutma sisteminin durması halinde dakikalar veya hatta saniyeler içerisinde arızaya düşebilir. Bundan dolayı, şebeke enerjindeki kesinti durumunda jeneratör devreye girene kadar ya da haberleşme cihazı düzgün bir şekilde kapatılana kadar kritik sistemler için soğutmanın devamlılığı sağlanabilmelidir.

Büyük kapasiteli soğutma sistemlerinin UPS üzerinden beslenmesi pratikte çok uygun değildir. Bu uygulamaya ihtiyaç var ise, soğutma sistemi için farklı elektriksel özelliklere sahip bir UPS kullanılabilir. Yine, kompresörlerin ilk hareketi ve çalışması sırasında yüksek miktarda güç çekilmesi ve ani yüksek akımlar, büyük ve pahalı UPS sistemleri kurmayı gerektirebilir.

Beyaz alanların çoğunda, uzun süre tam soğutmaya ihtiyaç olmayabilir. Soğutma en kritik sunucular için devam ettirilebiliyorsa, bu hem jeneratör hem de soğutma sistemleri normal çalışma sürecine girene kadar yeterli olacaktır. Eğer bir chiller sistemi ve kapalı çevrim sıvı soğutma sistemi var ise, sistemin çalışması nispeten kolay olabilir. Kritik hatları birkaç dakika süreyle soğutmak için ana borularda yeterli miktarda rezerv soğuk su bulunabilir. İlaveten tanklara fazladan su da depolanabilir.

UPS için soğutma sistemi kurulmamışsa, akü yedekleme süresinin uzun olmasının bir önemi kalmayacaktır. Bir UPS, elektrik kesintisini müteakip tam yük altında iken önemli miktarda ısı üretir. Akülerin jeneratörler çalışmaya başladığında şarj olmaları nedeniyle ayrıca bir ısı yayılımı oluşur. UPS yer seçiminde, olumsuz bir durum teşkil eden bu ısı üretimi göz önüne alınmalıdır. İlave ısı üreten elektrik veya mekanik odaları, otopark köşesi veya yüksek güneş ışınlarına maruz kalan çatı katı gibi mekanlar tercih edilmemelidir. Bu tür mahallerde, özellikle akülerin sürekli ısıya maruz kalması durumunda, UPS'in hesaplanan yedekleme süresinde önemli miktarda düşmeye neden olacaktır. UPS odasındaki soğutma sisteminin yedekliliği, beyaz alandaki soğutma yedekliliği ile aynı seviyede olmalıdır.

2.3.2. Hava soğutmalı sistemler

Hava soğutmalı sistem konfigürasyonu

Beyaz alanlar, kompakt klima üniteleri ve merkezi klima sistemleri gibi çok farklı sistemler vasıtasıyla ile iklimlendirilebilir. Klima ve soğutma ekipmanları beyaz alanlarda veya beyaz alan dışında konumlandırılabilir.

Hava soğutmalı haberleşme cihazı için yeterli soğutma sağlamak üzere sıklıkla kullanılan çözümlerden bazıları aşağıda verilmiştir.

- *Beyaz alan klima üniteleri (CRAC/CRAH).* Soğutma teknolojilerindeki yeni gelişmelere rağmen, CRAC ve CRAH üniteleri halihazırda en yaygın beyaz alan soğutma çözümleri olarak kullanılmaktadır. Bu üniteler, beyaz alan uygulamaları için özel olarak tasarlanmaktadır ve ANSI / ASHRAE Standart 127 uygulama ve test süreçlerinin çerçevesini çizmiştir.
- CRAH'lar beyaz alan uygulamaları için özel olarak tasarlanmış su soğutmalı iklimlendirme cihazlarıdır. CRAC'lar ise sıkıştırma prosesi ile çalışan soğutma sistemleridir ve doğrudan

genleşmeli (DX) hava soğutmalı, DX su soğutmalı ve su soğutmalı bir serpantine sahip çeşitleri bulunan farklı konfigürasyonları bulunmaktadır. Gerek CRAH gerekse CRAC üniteleri, hem alttan üfleme hem de üstten üfleme olacak şekilde farklı modellerde bulunabilir. Döşeme altından soğutma için kullanılan alttan üfleme ünitelerinde hava geri dönüşleri oldukça yüksektir; üstten üfleme üniteler önden veya yanlardan hava dönüşüne sahip olabilir.

- Eski CRAH / CRAC ünitelerinde kayış-kasnak mekanizması ile tahrik edilen sabit debili fanlar kullanılırken, yeni tip cihazlarda, doğrudan kontrol edilebilen ve hız kontrolü için elektronik kontrol modülüne sahip plug fanlar kullanılmaktadır. Beyaz alan ünitelerinden elde edilen sınırlı statik basınç, bu cihazların kanallı uygulamalar için uygun olmadıkları anlamına gelir ve genellikle beyaz alanının içine veya bitişiğine yerleştirilirler. Neticede bu cihazlar, hava tarafı ekonomizer uygulamaları için çok esnek bir yapıya sahip değildirler.
- CRAC ve CRAH üniteleri çoğunlukla beyaz alana yerleştirilir, ancak beyaz alana bitişik veya uzağındaki bir mahale monte edilip beyaz alana kanallar vasıtasıyla irtibatlanabilir. CRAC ve CRAH ünitelerinde kanal uygulamalarında statik basınç kayıpları dikkate alınmalıdır. Her iki uygulamada da, haberleşme cihazına giriş havası şartlarını istenilen aralıkta tutmak ve hava yönlendirmesini doğru şekilde kontrol edebilmek amacıyla sıcaklık ve nem sensörleri teçhiz edilmelidir.
- *Merkezi klima uygulamaları.* Genelde, çoğu haberleşme merkezi ofis tarafı için merkez sistem klima santrallerini tercih etmektedir. Tavana monte edilmiş veya beyaz alana bitişik olan daha büyük, merkezi klima santralleri, hava tarafı ekonomizör temelli uygulamalar tercih edilmeye başlanmaktadır. Bu klima santrallerinde, DX soğutma serpantinleri, soğutulmuş su serpantinleri, adyabatik soğutma modülleri ve dolaylı ekonomizer uygulamaları (örneğin, hava / hava ısı eşanjörleri gibi) kullanılabilir. Büyük klima santrallerinde, birden fazla doğrudan tahrikli plug fan dizisi kullanılabilir.
- *Değişken hızlı fan kontrolü.* Fan hızları birkaç farklı yöntem ile kontrol edilebilir. Bunlardan en yaygın birkaçı; döşeme altı basınç ölçümü, soğuk koridor ortam basıncı ölçümü, fark basıncı ölçümü, üfleme havası sıcaklığı ve dönüş havası sıcaklığı ölçümü olarak verilebilir.

Hava yönlendirmesi

Uygulamada, telekomünikasyon odalarında yükseltilmiş döşeme pek fazla kullanılmamaktadır ve hava kanalı vasıtasıyla hava iletimi sağlanmaktadır. Veri merkezlerinde ise yaygın olarak yükseltilmiş döşeme sistemleri plenum olarak kullanmakta ve hava iletimi buralardan yapılmaktadır.

Döşeme Altından Hava İletimi. Yükseltilmiş döşemenin altındaki boşluk, doğru bir şekilde kullanıldığında odanın her tarafında uygun hava basınçlarını sağlayan yüksek hacimli bir hava plenumu olarak kullanılabilir. Bunun yanında, bu boşluk boru ve kablo tesisatı için de kullanıldığında hava akışını engelleyerek problem oluşturabilecektir.

Döşeme altından soğuk koridorlara hava iletimi, menfezler vasıtasıyla sağlanabilir. Hava akışın paneller boyunca dağılması, döşeme altındaki statik basıncın dengeli olması ile sağlanır. Döşeme aralıklarının düzgün bir şekilde kapatılmaması nedeniyle plenumdaki kaçaklar ile döşeme altındaki kablo, boru vb. engellerden dolayı hava akımı istenen seviyenin altında olacaktır.

Üstten Hava Yönlendirmesi

Bu uygulamada, koridorlarda cihazları soğutmak için ihtiyaç duyulan hava debisini, hava akışının koridorlarda uygun şekilde ayarlanmasını ve dengelenmesini sağlayan hız ve basınçta, kanal boyunca havayı kullanışlı şekilde iletmek için yeterli kesitte kanallar tesis etmek gerekmektedir. Genelde, kanal uygulaması, haberleşme cihazlarında yapılması muhtemel revizyonlara cevap verebilmesi açısından uygun bir çözüm olarak görünmemektedir.

Sıcak-Soğuk Hava Karışımının Etkisi

Hava karışımı iki türlü olabilir: ilk durumda sunucudan atılan sıcak hava tekrar soğuk hava girişine döndüğünde (besleme havası sıcaklığı artar); ikinci durumda ise soğuk hava sunucuyu by-pass ederek geçtiğinde ve sıcak hava ile karıştığında (geri dönüş hava sıcaklığını düşürür) olur. Dönüş havası sıcaklığının düşük olması, klima serpantinlerinin soğutma kapasitesini düşürür.

Havanın üfleme sıcaklığı, ASHRAE'nin önerdiği limitlerin üst sınırlarında belirlenmişse, sıcak hava çevrimi, cihazların sıcaklık limitlerinden daha yüksek sıcaklıklara maruz kalmasına neden olabilir. Havanın by-pass yapmasını engellemek veya asgari seviyeye indirmek için, üfleme havasını dönüş havasından ve haberleşme cihazı besleme havasını çıkış havasından izole etmek gerekir. Bu izolasyon ne kadar iyi olursa, soğutma sistemi o kadar etkin ve verimli olur.

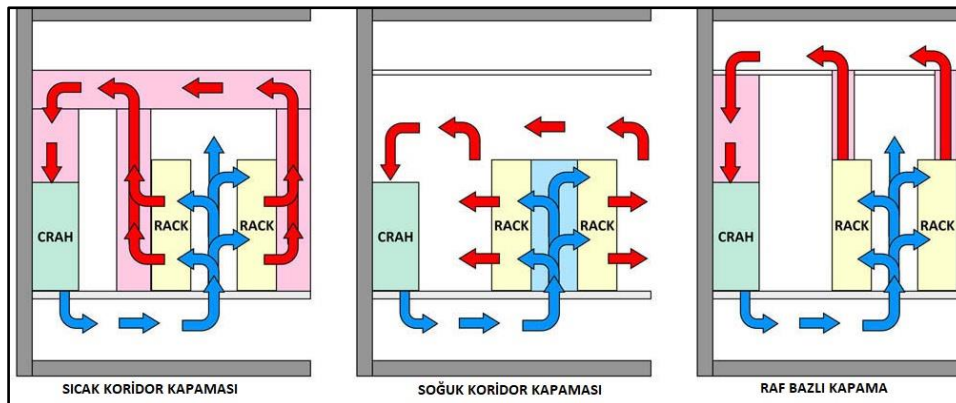
Soğuk ve Sıcak Koridor.

Hava karışımının önüne geçmek için yapılabilecek ilk çalışma sıcak koridor/soğuk koridor uygulamasıdır. Bu uygulamada, kabinler birbirlerine dönük olarak monte edilir ve ısınmış hava bir sonraki sıradaki kabinin girişine gelmemiş olur.

Haberleşme cihazları raflarının arasında havanın geçebileceği açıklıklar varsa, soğuk havanın bir kısmı haberleşme cihazını direkt olarak geçerek sıcak hava koridoruna karışacaktır. By-passı asgariye indirmek adına boşluk ya da dolgu panelleri kullanılarak bu açıklıklar kapatılmalıdır.

Kapama uygulaması

Kapama uygulaması, cihaz raflarının üzerinde ve cihaz sıralarının sonunda havanın karışmasını engelleyerek besleme ve dönüş havasının sirkülasyon yollarını ayırır. Sıcak koridor kapaması (HAC) ve soğuk koridor kapamasının (CAC), tam veya kısmi olacak şekilde birkaç farklı uygulaması vardır. Raf bazlı kapama çoğunlukla aktif veya pasif menfezlerle uygulanır. Temel kapama uygulamaları, Şekil 2.10.'da verilmiştir.



Şekil 2.10. Temel kapama uygulamaları

Bilgisayarlı akışkan dinamik analizi (CFD)

Beyaz alanların efektif kullanımı açısından en temel problemlerden birisi, salondaki tüm cihazların uygun ve verimli bir şekilde soğutulmasıdır. Fazlasıyla değişken olan ısı yüklerinin oluşturduğu kompleks yapı, ortamdaki hava hareketinin öngörülmesini imkânsız hale getirir.

CFD uygulamaları, gerçek soğutma performansını öngörmek adına en etkili araçtır. Bu analizi yapabilmek için beyaz alanın bilgisayar üzerinde tasarlanmış 3 boyutlu bir modeli oluşturulmalıdır. Burada en kritik nokta, modelleme yapılırken tanımlamanın net olmasıdır. Model içerisinde odanın fiziksel geometrisi ile fan ve menfezler gibi hava akımına veya ısı transferine etki edebilecek her şey bulunmalıdır. Bununla birlikte, döşeme altında bulunan boru ve kablolar gibi hava akışını engelleyebilecek tüm etkenlerle etrafındaki çevre (sınır koşulları) ile etkileşimleri de model içerisinde bulunmalıdır.

Beyaz alanlar için birçok simülasyon uygulaması yapılmıştır. Bu uygulamalar ele alınan haberleşme cihazı düzenlerine ve beklenen ısı yoğunluklara veya fiziksel haberleşme cihazı kurulumlarına dayanabilir:

- Farklı soğutma uygulamalarının denenmesi
- Farklı yerleşimlerin ve soğutma, enerji ve IT ekipman konumlarının değerlendirilmesi,
- Döşeme ve tavan yüksekliği, plenum büyüklüğü, kanal ebatları ve kapama gibi soğuk hava güzergahlarının optimizasyonu,
- Kısmi yük durumlarında soğutma kapasitesinin analizi ve arıza değerlendirmesi,
- En yüksek ısı yüküne sahip haberleşme cihazı için soğutma açısından en ideal yeri belirlemek.

CFD uygulaması oldukça etkili bir araç olsa da doğru şekilde uygulanmaması durumları da olabilir. Veri merkezleri normalde oldukça karmaşıktır ve modelin basit olması adına altyapı ve cihazlar sadeleştirilmelidir. Bundan dolayı, CFD uygulamasının başarılı olması için model oluşturan kişinin veri merkezinin temel unsurlarına ve CFD modellemesinin kritik noktalarına hâkim olması oldukça önemlidir.

Birçok tesisinin tasarımında, model oluşturan kişi genellikle haberleşme cihazının türü veya detaylı tasarım hakkında yeterli bilgiye sahip olmayacaktır. Aynı şekilde, kablo vb. fiziksel altyapı tesisatının nihai yerleşimi, soğutma sistemi markası ve modeli dahi bilinmiyor olabilir. Böylesi durumlarda, modelde detay hususların birçoğu bulunmaz, buna mukabil model oluşturan kişi çıktıları bu durumu göz önüne alarak yorumlamalıdır: bu yaklaşım temel sistem tasarımı ve olası performans değerlerini görmek adına en iyi uygulama olarak değerlendirilmektedir. Analiz sonucunda en iyi alternatif çözüm olarak kullanılmalıdır.

Mevcut bir tesisin modellenmesi durumlarda, modellerin sahadaki gerçek durumu net olarak göstermesi gerekir. Bu, modellemenin bina, altyapı ve haberleşme cihazı etkileşiminin fiziksel fiziksel olarak incelenmesi ve değerlendirilmesi demektir. Neticede, gerçek ekipman ve altyapı detaylarını tam olarak göstermek mümkün değildir. Mesela, bir kablo demetini modellerken, her bir kabloyu ayrı ayrı modellemek yerine, engel oluşturan kısım veya hava akımına karşı direnç yaklaşık olarak gösterilecektir.

Nihai seçimlerin doğru olarak yapılmasını ve modelin sağlıklı oluşturulmasını teminen simülasyon çıktıları hava akışı ve sıcaklık değerleri karşılaştırılmalıdır. Bu şekilde simülasyon çıktıları, tesisin iyileştirilmesi, sorunların bertaraf edilmesi veya revizyon için tespit çalışmalarında kullanılabilir.

Normalde CFD, veri merkezleri için öncelikli olarak sunucuların soğutulmasındaki etkinliği ve verimliliği tespit etmek için kullanılsa da, soğutma grupları, jeneratörler ve diğer kritik cihazların çevresindeki hava akışı gibi olguları değerlendirmek için de kullanılabilir. Arıza durumları simüle edilerek yedek soğutma sistemlerinin performansını ve çalışmasını değerlendirmek için de kullanılmaktadır.

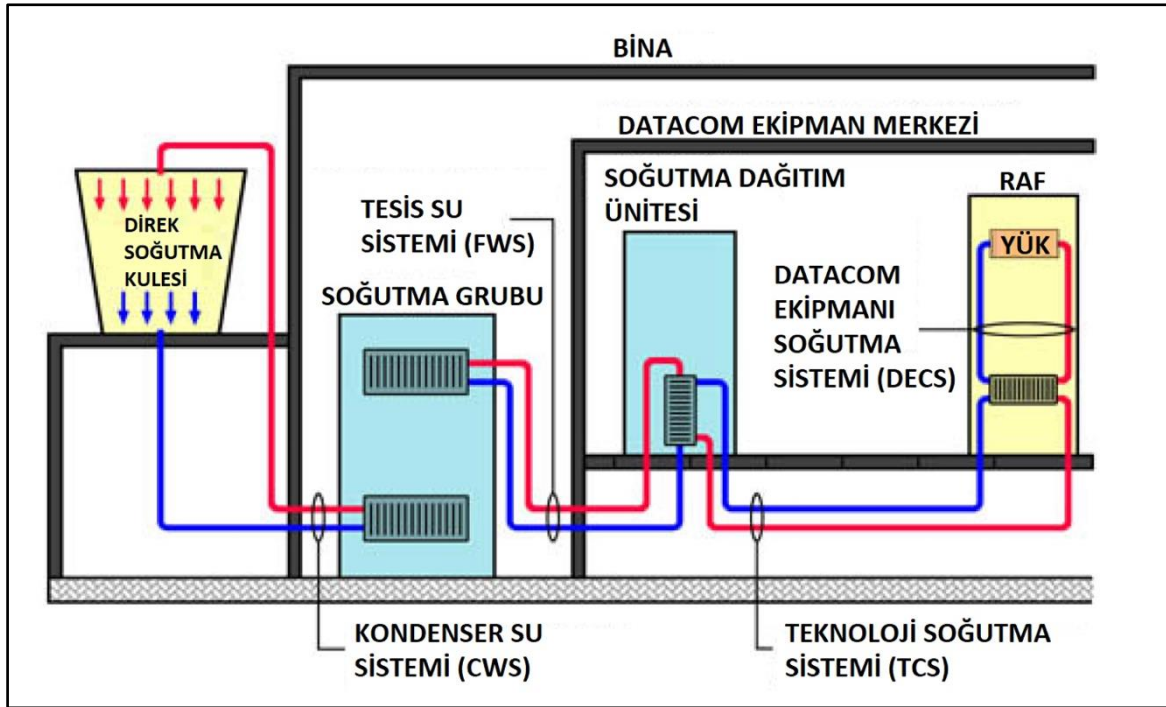
2.3.3. Sıvı soğutmalı sistem

Sıvı soğutmalı sistem konfigürasyonları

Sıvı soğutma sistemleri, aşağıda verilen bazı örneklerle birlikte farklı şekillerde tesis bazında soğutma sistemine entegre edilebilir.

Salon Düzeyinde Modüler Sistemler

Sıvı soğutma sistemlerinde en yaygın uygulama, soğutulmuş suyun, beyaz alana veya bitişiğindeki bir ısı eşanjörüne iletilmesidir. CDU (soğutma dağıtım ünitesi), haberleşme cihazına borularla bağlanmaktadır; bu yapı teknoloji soğutma sistemi (TCS) olarak adlandırılır. TCS, kabinde bulunan merkezi bir ısı eşanjörüne veya haberleşme cihazının kendisine bağlanabilir. Şekil 2.11'de bu uygulamaya bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Veri merkezinde uygulanabilecek tipik bir sıvı soğutma sistemi

Teknoloji soğutma sisteminde (TCS) kullanılan soğutucu akışkan olarak su, deiyonize su veya diğer sıvılar kullanılabilir. Soğutma dağıtım ünitesinde (CDU) genel hatlarıyla pompalar, vanalar, sıcaklık kontrol-izleme ve işletim yazılımı bulunur. Soğutucu akışkan olarak gaz kullanan sistemler benzer bileşenlerin yanı sıra kompresörler ve / veya pompalar gibi ekstra ekipmanlara da sahiptir. **Haberleşme cihazı soğutma sistemi (DECS)** hatlarına ihtiyaç duyulduğunda, tesis düzeyindeki kurulumun kapsam dışında olduğu düşünülür.

Genellikle sıvı soğutmalı haberleşme cihazı uygulamasında cihaz soğutmasının tamamen sıvı tarafından yapılmadığı bilinmelidir. Çoğunlukla beyaz alanda sıvı soğutmalı ve hava soğutmalı hibrit bir sistem kullanılması gerekir.

Doğrudan Cihaz Sıvı Soğutma Sistemi

Bu tür soğutma sistemlerinde soğutma işlemi direkt olarak haberleşme cihazında ve hatta bileşenler üzerinde yapılır. Bu uygulamalar genellikle yüksek performanslı IT (HPC) veya süper IT sistemlerinde tercih edilir ve normal ticari kurulumlar için çok efektif değildir. Bu uygulamalarda, özel boru tesisatı ile birlikte özel ısı eşanjörleri, sıvı soğutma tesisatı ve iklimlendirme kontrol sistemleri bulunur.

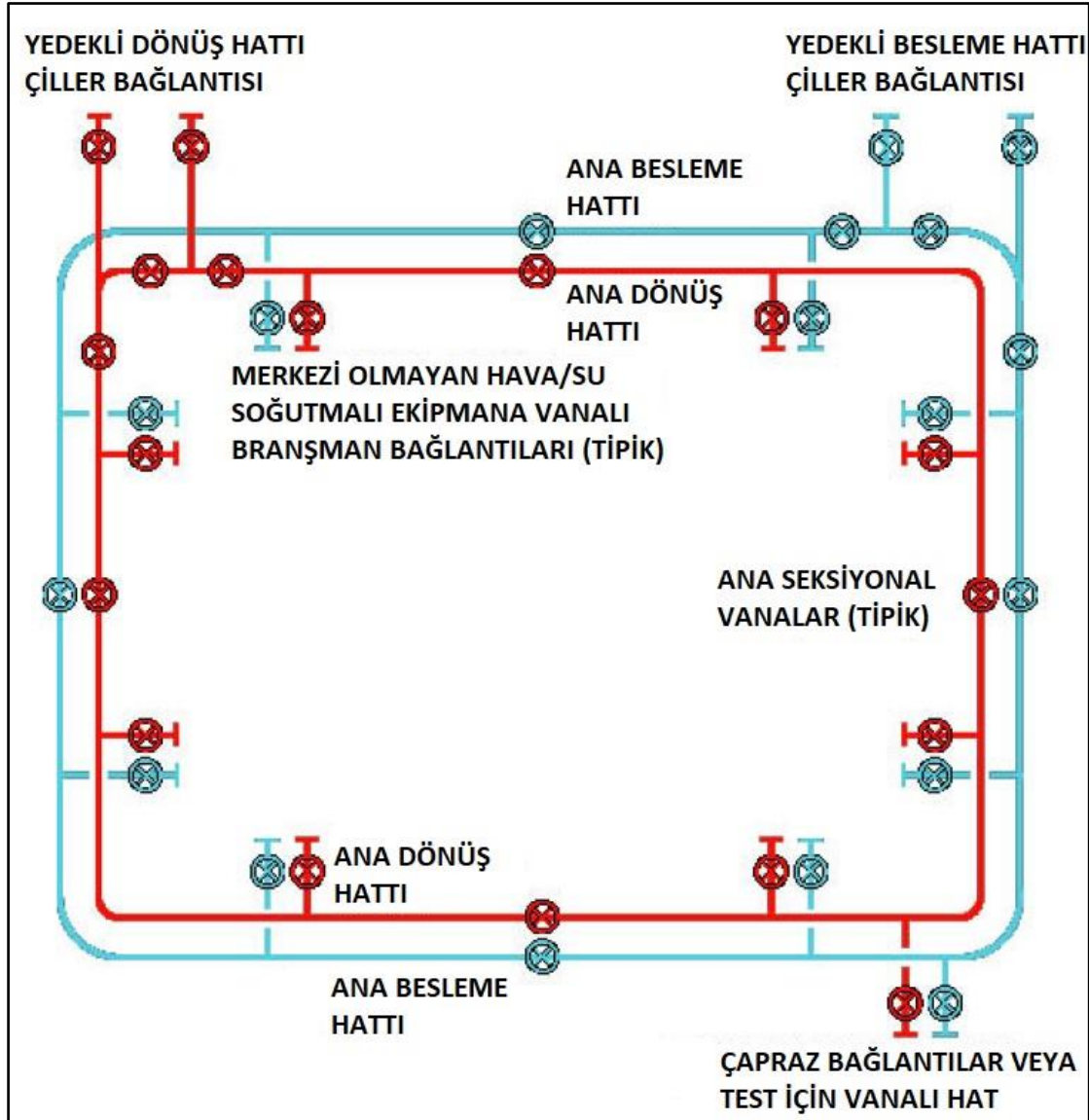
Daldırma Soğutma Sistemi

Bu sistemlerde, sunucu teçhizatı tamamen sıvı içerisine daldırılır. Soğutucu akışkan, ekipmanı tamamen sarar ve sunucu muhafazaları arasında ve tali sistemler arasında dolaşarak soğutma sağlar. Isı, sistemde dolaşan akışkan vasıtası ile soğutulmuş su çevrimindeki özel bir soğutucu-su ısı eşanjörüne iletilir.

Borulama ve Dağıtım Tesisatı

Haberleşme cihazlarına hizmet veren su dağıtım tesisatı, diğer beyaz alan destek sistemleri ile benzer standart ve kalitede, güvenilir ve esnek olarak tasarlanmalıdır. Buradan, haberleşme cihazlarında yapılacak değişikliklerde tesisatı komple devre dışı bırakmadan ihtiyaca göre büyütülebilecek veya değiştirilebilecek şekilde yapılandırmanın son derece önemli olduğu anlaşılmalıdır. Bununla birlikte, servis vanaları dağıtım tesisatında oldukça önemlidir.

Şekil 2.12’de, sekiyonal vanalar ve çoklu vanalı branşman bağlantılar ile tasarlanmış bir kapalı çevrim soğutma sistemi gösterilmiştir. Branşmanlar klima santrallerine veya sıvı soğutmalı datacom ekipmanlarına hizmet verebilir. Vanalar, sistemi tamamen kapatmadan tadilat veya tamir yapılmasına olanak sağlar.



Şekil 2.12. Kapalı çevrim soğutulmuş su dağıtım boru sistemi (ASHRAE 2012b)

Boru konsepti hakkında detay bilgiler ASHRAE'de (2012b) verilmiştir.

2.3.4. Enerji verimliliği değerlendirmesi

Modern bina tasarımında enerji verimliliği son derece önem arz etmektedir. Beyaz alanlar, yüklü miktarda enerji tüketirler ve dinamik yapılarından dolayı sürekli olarak azami verimlilik seviyesinde çalıştırılmaları mümkün değildir. Bu durum tesisin ekonomik analizinin yapılmasının önemini ve bir veri merkezi soğutma sisteminin güvenilirliğin olan etkisini ortaya koymaktadır. Eski veri merkezlerinde enerji verimliliği çok dikkate alınmıyordu, ancak yeni veri merkezlerinde artık ASHRAE Standardı 90.1'e göre sistemlerin az da olsa efektif olacak şekilde tasarlamak gerekiyor.

PUE (Güç Kullanımı Etkinliği)

PUE kavramı, The Green Grid (TGG; <http://www.thegreengrid.org/>) tarafından ortaya konulan ve yaygınlaştırılan bir verimlilik parametresidir. Bu kavram ortaya konduğundan bu yana [bakınız, örneğin, Rawson ve ark. (2007)], verilerin daha anlaşılır hale getirilmesi ve ölçüm metotlarının ve raporlamasının daha güvenilir hale gelmesi adına ara ara güncellendi, 2014 yılında TGG / ASHRAE TC 9.9 ortak yayın yayınladı (ASHRAE 2013).

PUE, bir veri merkezinde, bünyesindeki haberleşme cihazlarına verilen enerjinin etkinliğini ölçer. PUE değeri, veri merkezinin toplam enerji tüketiminin, haberleşme cihazlarının tükettiği enerjiye oranı ile hesaplanır.

$$PUE = \frac{\text{Veri Merkezi Toplam Enerji Tüketimi}}{\text{Bilgi Teknolojileri Enerji Tüketimi}} \quad (1)$$

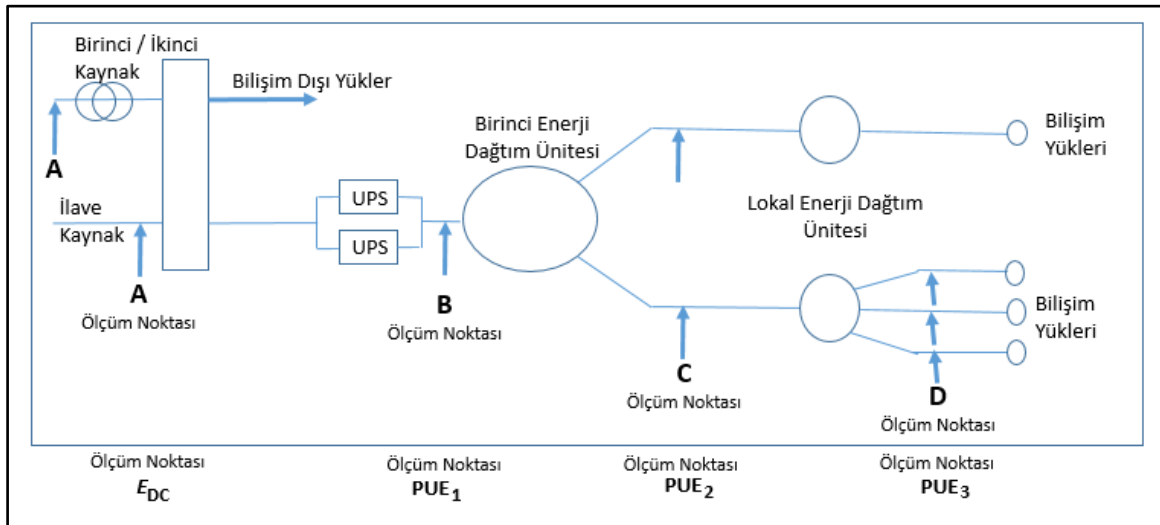
PUE kategorileri

BT ekipmanının yeri enerji tüketimi ölçümü:

PUE1 : UPS çıkışı (a)

PUE2 : PDU çıkışı (b)

PUE3 : BT ekipmanları giriş (c)



Şekil 2.13. PUE izleme ve ölçüm noktaları (The British Standards Institution, 2016)

DCIE (Veri Merkezi Altyapı Verimliliği)

Veri merkezi altyapı verimliliği (DCIE) değerlendirmesi için PUE'nin tersi bir ölçüt kullanılır.

$$DCIE = \frac{\text{Bilgi Teknolojileri Enerji Tüketimi}}{\text{Tesis Toplam Enerji Tüketimi}} \quad (2)$$

WUE (Su Kullanım Etkinliği)

The Green Grid [9], toplam su tüketiminin BT enerji kullanımına oranı olarak tanımlanan Su Kullanım Etkinliği (WUE) olarak veri merkezi su verimliliğini ölçmek için bir metrik geliştirdi. Bu değer yıllık litre olarak su tüketiminin haberleşme cihazlarının enerji tüketimine oranı ile hesaplanır.

$$WUE = \frac{\text{Yıllık Su Kullanımı}}{\text{Bilgi Teknolojileri Cihazları Enerjisi}} \left[\frac{l}{kWh} \right] \quad (3)$$

CUE (Karbon Kullanım Etkinliği)

Bir veri merkezinin birincil enerji etkisi ve ilgili karbon emisyonları hakkında fikir vermesi açısından, bu yönü değerlendirmek üzere Karbon Kullanım Etkinliği (CUE) metriği kullanılmaktadır (Belady, 2010). CUE hesabında, toplam tesis enerjisi, birim enerji başına yayılan karbon olan Karbon Emisyon Faktörü (CEF) ile çarpılır.

$$CUE = \frac{CEF \times \text{Toplam Enerji}}{\text{Bilgi Teknolojileri Cihazları Enerjisi}} \left[\frac{kgCO_2}{kWh} \right] \quad (4)$$

$$0 \leq CUE$$

ERF (Enerji Yeniden Kullanım Etkinliği)

Veri merkezleri her zaman donanımları içinde, ısı elektrik enerjisi dönüşüm elde edilen bir ısı fazlası vardır. Bu ısı fazlası, veri merkezinin yakınındaki ısı talebi gibi yerel koşullara bağlı olarak farklı şekillerde yeniden kullanılabilir. Verimli bir şekilde yeniden kullanılan enerji miktarını ölçmek zor olsa da enerji verimliliğini artırmak için fırsatlar sunar. Enerji yeniden kullanım miktarını izlemek için bir ölçü olarak kullanılan Enerji Yeniden Kullanım Faktörü (ERF) şu şekilde tanımlanır:

$$CUE = \frac{\text{Yeniden Kullanılan Enerji}}{\text{Toplam Enerji}} \quad (5)$$

$$0 \leq ERF \leq 1$$

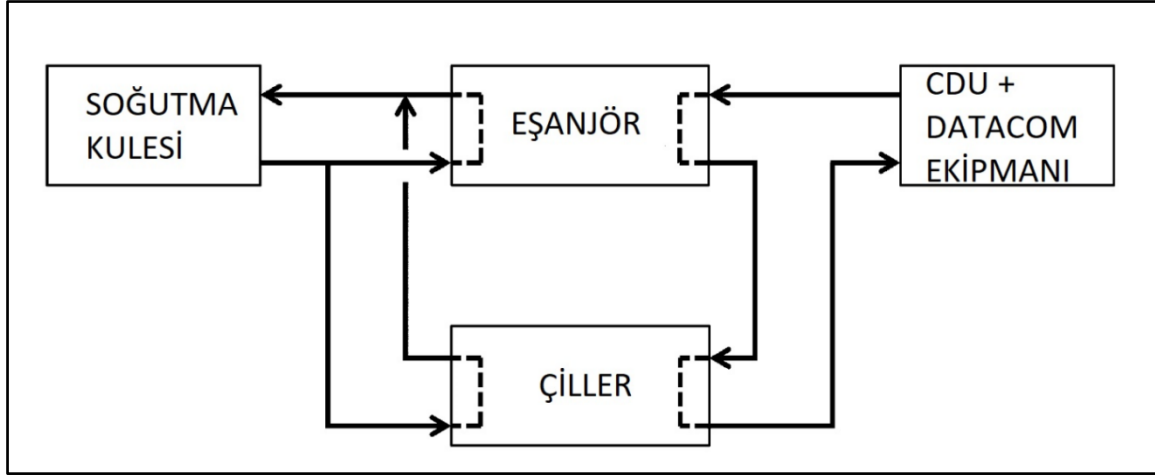
Kısmi Yükleme Operasyonu

Bir veri merkezi, elektriksel ve mekanik yükler açısından oldukça dinamik bir yapıya sahiptir. Sabit veya modüler yapıya sahip bir veri merkezi soğutma sisteminin tasarımı, beyaz alanların gün sonu azami haberleşme cihazı yüküne bağlıdır. Normal şartlarda, bu azami yük seviyesine çok nadir ulaşılır ve bazen asla ulaşılmaz, buna rağmen tasarımda üst seviyeler dikkate alınmalıdır.

Devreye alma aşamasında başlangıç yükü, nihai tasarım yükünden çok daha düşük seviyelerde olur. Kullanım ömrü ortalama 10 ila 20 yıl aralığında veya daha fazla olabilen veri merkezi yükleri sürekli değişiklik arz eder. Sistemlerin yer değişikliklerinin ve yüklenme yoğunluklarının değişimine göre elektriksel ve mekanik yükler de değişecektir. Bu azami seviyelerdeki, dalgalı yükler, soğutma sisteminin çoğunlukla yarı-yük koşullarında çalıştığı anlamına gelir. Bundan dolayı, soğutma sistemi seçiminde kısmi yük verimliliğinin iyi seviyelerde olması önemlidir.

Su Ekonomizörleri

Sürekli akış için ve verimlilik adına, chiller ile ısı eşanjörü seri olarak dizayn edilmelidir. Ortam koşullarına bağlı olarak kondenser suyu, ana soğutma kaynağı olarak kullanılmaya devam edilebilir. Bu tasarım sistemde sürekli bir su akışı sağlar ve vana açma-kapama miktarı bir arıza sebebi olmaz (Şekil 2.14.).



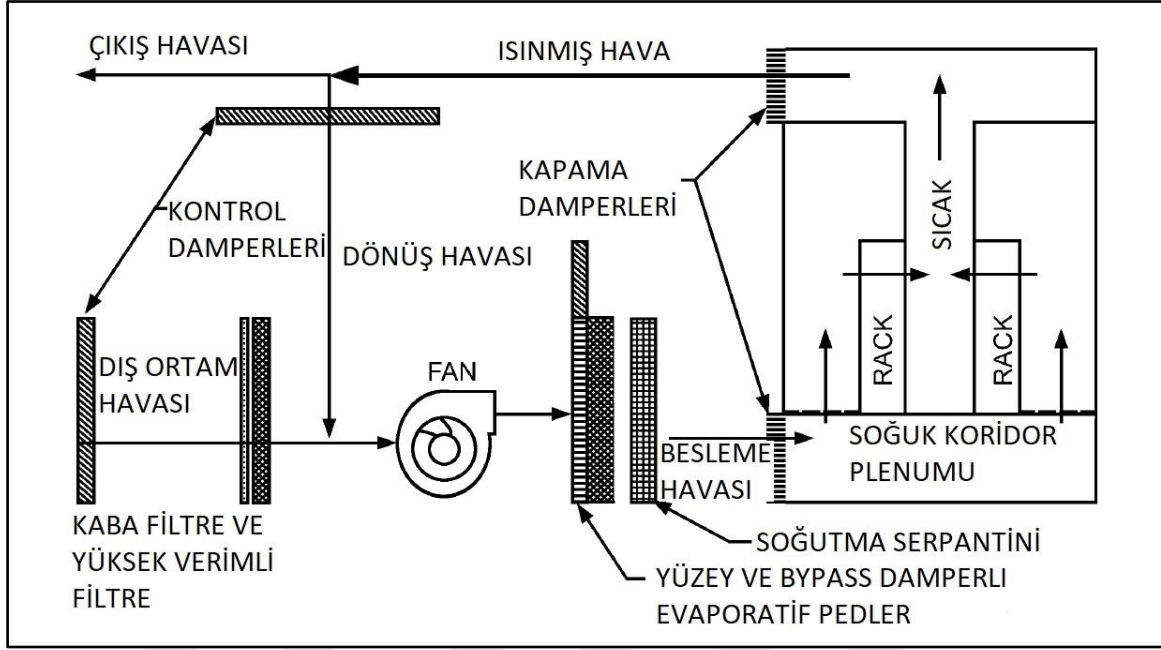
Şekil 2.14. Su ekonomizörü örnek şeması (ASHRAE 2009b)

Hava Ekonomizörleri

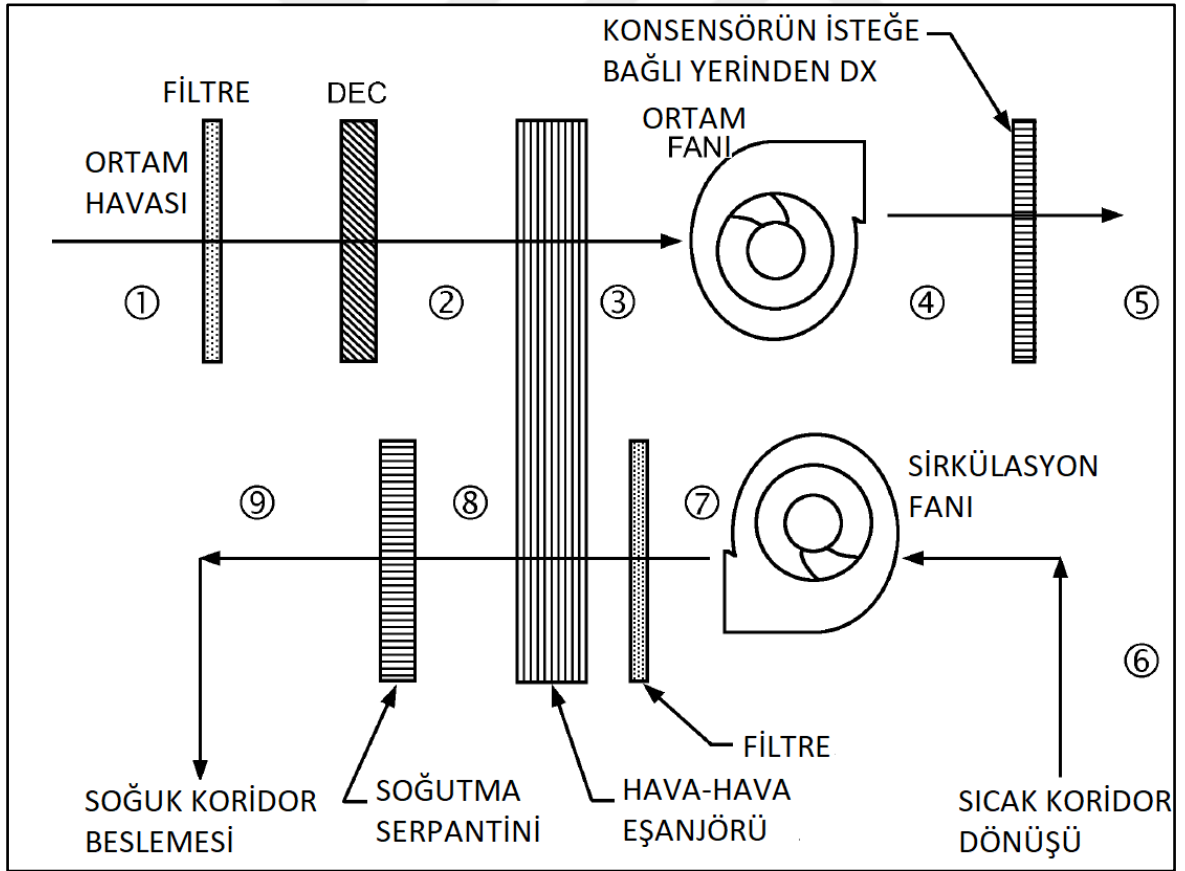
Haberleşme cihazları için önerilen ve izin verilen hava giriş sıcaklıklarındaki yükselme, hava ekonomizör kullanımının artmasını da beraberinde getirdi. Veri merkezleri için hava ekonomizörleri doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki temel sınıfa ayrılır. Bu iki sınıfın şematik gösterimleri Şekil 2.15. ve Şekil 2.16.'da verilmiştir.

Doğrudan hava ekonomizörleri (DASEs), dış ortam havasını direkt olarak beyaz alana verir, bu şekilde soğuk hava ısıyı almak üzere haberleşme cihazlarının aralarından dolaşır. Dolaylı hava ekonomizörleri (IASEs), havadan havaya ısı eşanjörleri ile iç ortam havasından ısıyı atmak etme için dış ortam havasından faydalanır.

Bu çözümlere, çalışma saatleri düşürmek ve bazı durumlarda kompresör kapasitesini düşürmek amacıyla dolaylı evaporatif hava soğutma altyapısı da eklenebilir. 2012 ASHRAE El Kitabının 41. Bölümünde dolaylı evaporatif hava soğutma sistemleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir.



Şekil 2.15. Direkt Hava Ekonomizörü



Şekil 2.16. Dolaylı Hava Ekonomizörü

3. KOJENERASYON VE TRIJENERASYON SİSTEMLERİ

Kojenerasyon, genel olarak, ısıl güç ve elektriğin tek bir kaynaktan eşzamanlı üretimi olarak tanımlanır. Trijenerasyon ise kojenerasyona ek olarak soğutulmuş suyun da üretilmesini kapsar. Bu sistemler, normalde elektriğin üretilmesinde kayıp olarak atılacak olan ısıyı, geri kazanım ile ısıtma, soğutma, nemlendirme/nem alma ve diğer prosesler için kullanılabilir hale getirebilir. Üretilen güç, kojenerasyon sisteminin kurulu olduğu tesiste kullanılabilir veya kısmen ya da tamamen ulusal şebekeye verilebilir. Kojenerasyon sisteminin kapasitesi geri ödeme süresini direkt olarak etkileyecektir. Yük faktörüne ve kapasite seçimine göre ulusal şebeke ile senkronizasyon da süreklilik ve güvenilirliğin sağlanması açısından önemlidir. Bir kojenerasyon/trijenerasyon sistemi tasarımı ve analizi birbirini etkileyen birçok parametre olduğu için oldukça karmaşık bir süreçtir. Bu parametreler yakıt güvenliği, yönetmelikler, maliyetler, seçilecek teknoloji ve projenin finansmanıdır. Bu parametreler projenin master planını belirleyecektir. Bununla birlikte, bir kojenerasyon/trijenerasyon sistemi için dikkat edilmesi gereken en önemli konu ısı ve elektriğin eş zamanlı olarak talep edilmesidir. Bu eş zamanlı talep, sistemin verimli olarak işletilmesini ve dolayısıyla geri ödeme süresinin azaltılmasını sağlayacaktır. Isı ve elektrik talebi arasında bir faz farkının olması sistemi verimsizleştirerek geri ödeme sürelerini uzatacak hatta yatırım kararı verilmemesine neden olabilecektir. Bu nedenle bir kojenerasyon/trijenerasyon sisteminin yatırım kararında, tüm potansiyel kullanım alanları saatlik kullanım miktarı ve sıcaklığı ile belirlenmeli ve fizibilite çalışmaları buna göre yürütülmelidir.

Kojenerasyon/trijenerasyon sistemleri konusunda bazı terimlerin tanımlanması önem taşımaktadır. Örneğin endüstriyel tesis; ısı, elektrik ve/veya şaft gücü talebi olan bir tesistir. Bu bir kimyasal proses tesisi, üretim tesisi, kampüs vb. olabilir. Proses ısısı; endüstriyel tesis tarafından talep edilen ısıl güçtür. Bu enerji buhar, sıcak su, sıcak hava vb. formlarda endüstriyel tesisin kullanım amacına göre beslenebilir. Proses dönüşü; endüstriyel tesisten kojenerasyon/trijenerasyon tesisine dönen akışkanla gelen enerjiyi ifade etmektedir. Buhar talebi olan bir üretim tesisini ya da bölgesel ısıtma sistemi ısıtma aracı buhar olan bir bölgeyi ele alalım. İş akışkanı ısı enerjisini ilgili alanda/ekipmanda verdikten sonra yeniden ısıtılmak üzere kojenerasyon tesisine geri döndürülür. İş akışkanı buhar, geri dönen akışkan kondensir. Prosese aktarılan net ısı; endüstriyel tesise beslenen ısı enerjisi ile kojenerasyon tesisine dönen ısı enerjisi arasındaki farktır. Güç talebi; endüstriyel tesis tarafından talep

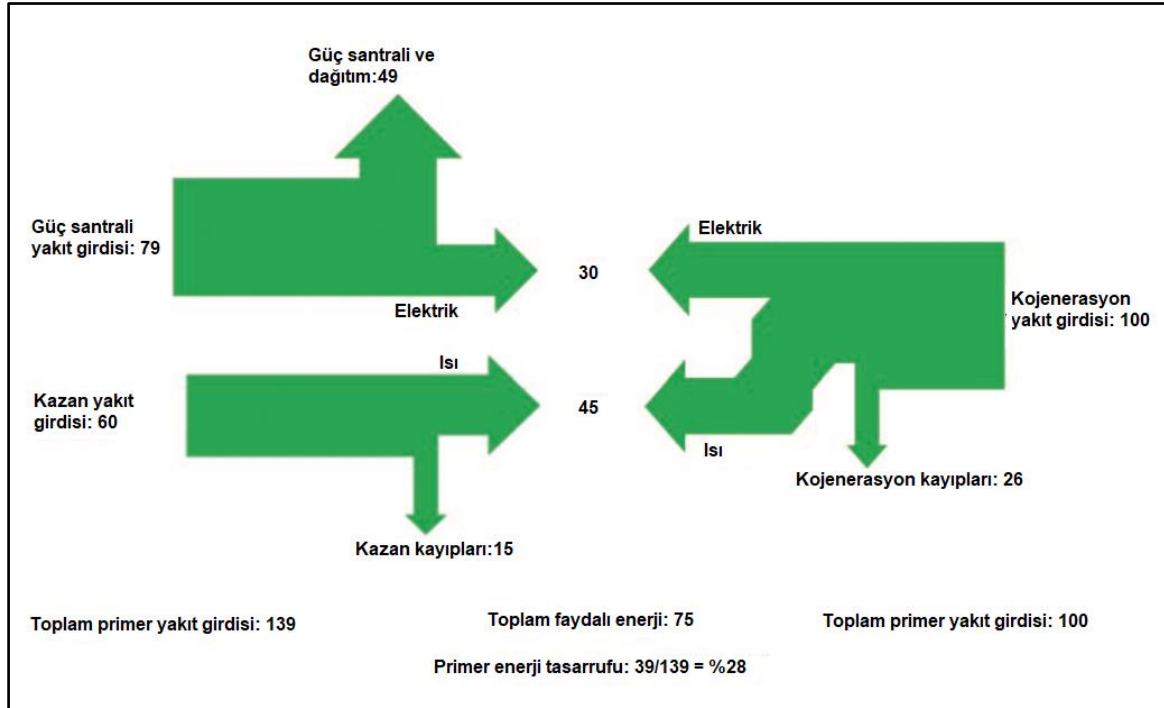
edilen elektrik gücünü belirtmektedir. Bu elektrik gücü tesiste ya da yerleşim bölgesinde birçok amaçla tüketilebilir. Kojenerasyon tesisi kurulu gücünün belirlenmesinde en önemli parametrelerden birisidir. Ancak, kullanıcı profili ve mevsimsel dalgalanmalar nedeni ile oldukça dinamik bir yük profili oluşturabilir. Isı/Elektrik Oranı; kojenerasyon/trijenerasyon tesisi için geri kazanılabilir ısıl gücünün elektriksel güce oranıdır. Kombine çevrim; iki farklı çevrimin kullanılması ile güç elde edilmesidir. Bir gaz türbini çevrimi (ideal durum için Brayton çevrimi) ile buhar türbini çevrimi (ideal durum için Rankine çevrimi) örnek olarak verilebilir. Gaz türbini atık ısısından faydalanılarak bir atık ısı kazanında buhar üretilmesi ve bu buhardan da bir buhar türbini yoluyla elektrik üretilmesi en yaygın bilinen kombine çevrim tipidir. Gaz türbini ve atık ısı kazanı sisteminde buhar türbini yerine atık ısı kazanında üretilen buharın proses, ısıtma, soğutma vb. kullanılması ise kojenerasyondur. Ana sürücü; kojenerasyon/trijenerasyon sisteminde elektrik ya da şaft gücü üreten birimdir. Bu bir gaz türbini, buhar türbini, yakıt pili ya da içten yanmalı bir motor olabilir.

3.1. Kojenerasyon Avantajları

Kojenerasyon sistemlerinin en önemli avantajı, yakıt kullanım verimindeki artıştır (Şekil 3.1.). Elektrik üretiminin yapıldığı bir termik santralde mevcut en iyi teknolojilerle elektrik üretimi verimi yaklaşık %55 civarındadır. Buna karşın, bir kojenerasyon tesisinde yakıt kullanım verimi %85 civarındadır. Bu da birim miktardaki yakıttan en verimli enerji üretimini sağlamanın kojenerasyon/trijenerasyon ile mümkün olabileceğini göstermektedir. Bu verim artışı, yanma sonucu oluşacak emisyonların da azaltılması anlamına gelecektir. Küresel ısınma ve sera gazı emisyonlarının azaltılması ek olarak su ve hava kirliliğinin önlenmesi kojenerasyon/trijenerasyon sistemleri ile mümkündür. Kojenerasyon/trijenerasyon sisteminden sağlanacak ısıнын proste kullanılması durumunda da kayıpların azaltılması mümkündür. Ek olarak, elektrik enerjisinde de yerinde tüketim olması nedeni ile bir iletim hattı kaybı olmadan enerjiyi daha verimli kullanma imkânı sağlamaktadır. Şekil 3.1’de gösterildiği gibi 30 birim elektrik ve 45 birim ısı enerjisi elde edebilmek için elektriğin bir termik santralden üretildiği ve dağıtıldığı ve ısıнын bir kazanda üretildiği iki sistemi ele alalım. Konvansiyonel teknolojilerle bir termik santralden elektrik üretimi üretim ve dağıtım verimin %38 olduğu kabulü ile 79 birim yakıt girdisi sağlanması gerekir. Aynı şekilde %75 verime sahip bir kazandan 45 birim ısı üretebilmek için 60 birim yakıt enerjisi girdisi olmalıdır. Aynı miktarda elektrik ve ısı enerjisinin kojenerasyon sistemi ile karşılandığı düşünülecek olursa %75 toplam sistem verimi 100 birim yakıt girdisi olması

yeterlidir. İlk durumda toplam 139 birim yakıt girdisi var iken ikinci durumda aynı enerji 100 birim yakıt girdisi ile sağlanmıştır. Bu durumda birincil enerji tasarruf miktarı %28 olarak hesaplanabilir. Trijenerasyonda ise örneğin 1 MWe elektrik gücü ve 0,8 MW_t soğutma gücü için ayırık sistemde (elektriğin %34 verimli bir termik santralde ve soğutulmuş suyun COP'si 5 olan bir su soğutmalı soğutma grubunda üretildiği kabulü ile) sisteme verilecek gücün 2,9 MW_t ve 0,16 MW_e yani toplam girdinin 3,06 MW olacağı bulunabilir. Aynı çıktılar için bir trijenerasyon sisteminin (içten yanmalı motor verimi %34 ve absorpsiyonlu soğutma sistemi COP'si 0,73 kabulü ile) girdisi ise 2,75 MW_t olarak bulunacaktır. Ayırık durumdaki verim %59 iken trijenerasyon durumunda verim %66 olarak hesaplanabilir. Bu durumda birincil enerji tasarrufu trijenerasyon uygulaması ile yaklaşık %10 olarak hesaplanabilir.

Birincil enerjideki tasarruf miktarı emisyonlarda da azalma sağlayacaktır. Çizelge 3.1.'de 10 MW kurulu güçte kojenerasyon, fotovoltaik, rüzgar ve doğalgazlı kombine çevrim santrali alternatifleri için CO₂ tasarrufu potansiyelleri karşılaştırılmıştır. Yıllık kapasite (yük) faktörü üretim tesisinin bir yılda kaç saat çalıştığının bir göstergesidir ve tabloda da gösterildiği gibi, kojenerasyon sistemi yenilenebilir enerjideki kesikli güç nedeni ile en yüksek değere sahiptir. Yıllık CO₂ ve NO_x emisyonu tasarrufu en yüksek olan sistem kojenerasyon sistemidir. Yakıt ve emisyon azaltımındaki avantajlarına ek olarak kojenerasyon/trijenerasyon sistemleri ulusal şebekedeki aşırı yüklenmeleri önler ve böylece ulusal şebekede pik yük oluşumunun önüne geçer, şebekenin güvenilirliğini artırır. İletim ve dağıtım hatlarındaki kayıpları minimize eder. Biyokütle, çöp ya da atıkların enerji kaynağı olarak kullanılması ile yakıt çeşitliliği sağlayarak enerjide bağımlılığı azaltır. Özetle; birincil enerji maliyetlerini ve karbon emisyonlarını azaltır ve enerji güvenliğini, yakıt verimini ve çevresel derecelendirme koşullarını artırır.



Şekil 3.1. Kojenerasyon ve ayırık sistemler için enerji tasarrufunun karşılaştırması

Çizelge 3.1. Farklı güç üretim sistemlerinin CO₂ tasarrufu potansiyeli açısından karşılaştırması (ASHRAE, 2015)

	Kojenerasyon	Fotovoltaik	Rüzgar	Kombine çevrim
Yıllık Kapasite Faktörü, %	85	22	34	70
Yıllık elektrik üretimi, MW _e	74,460	19,284	29,784	61,320
Yıllık faydalı ısı, MW _h	103,417	-	-	-
İlk yatırım, k\$	20,000	48,000	24,000	10,000
Yıllık enerji tasarrufu, MJ	325	207	320	163
Yıllık CO ₂ tasarrufu, ton	42,751	17,887	27,644	28,172
Yıllık NO _x tasarrufu, ton	59.8	16.2	24.9	39.3

3.2. Kojenerasyon Dezavantajları

Kojenerasyon sistemleri yukarıda belirtilen avantajları yanında bazı dezavantajlara sahiptir. Çizelge 3.1 incelendiğinde aynı kapasitede bir kombine çevrim santralinin maliyeti kojenerasyon sisteminin yarısı kadardır. Her ne kadar kurulu güç arttıkça yatırım maliyeti azalsa da kojenerasyon sistemleri ilk yatırım açısından ısı sistemleri arasında maliyetli bir seçenektir. Ek olarak, bakım maliyetleri de düşünüldüğünde içten yanmalı motorlarda tüm motor bloğunun değişimi için ya da büyük bakım için işletme süresi yaklaşık 60 000 saattir.

ki bu da %85 yıllık kapasite faktörüne göre yaklaşık olarak 8 yıllık bir işletme süresine denk gelmektedir. Yani 8 yılda bir ağır bakım maliyeti sistem ekonomik fizibilite raporunda dikkate alınmalıdır (Bu sistemlerin ekonomik ömürlerinin yaklaşık 20-25 yıl olduğu düşünülürse toplamda üç defa büyük bakım yapılması gerektiği ve bunun maliyetinin de fizibilite raporunda belirtilmiş olması gerektiği ortadadır). Ağır bakım periyotları motor devrine göre değişmekle birlikte üreticiden bu bilgi alınarak fizibilite çalışması yapılmalıdır. Gaz türbinlerindeki bu ağır bakım yaklaşık 30,000 saattedir ve bakım maliyetleri bu periyotta değerlendirilmelidir. Talep tarafındaki dinamik yükün sürekliliğine bağlı olarak kojenerasyon/trijenerasyon sistemlerinin basit geri ödeme süresi genellikle 2-10 yıl arasında değişmektedir. Ek olarak, şebeke ile senkronizasyonda gerekli önlemlerin alınması dikkate alınmalıdır. Çizelge 4 farklı ısıtma-soğutma alternatif sistemleri ile karşılaştırma imkânı sağlamaktadır. Enerji tasarrufu ve sera gazı azaltımı potansiyeli dikkate alındığında kojenerasyon/trijenerasyon sistemleri ve toprak kaynaklı ısı pompası ön plana çıkmaktadır. Ancak, talebin olduğu sıcaklık yüksek ise kojenerasyon sistemleri daha etken sonuçlar sağlayacaktır. Bu nedenle, sistem seçiminde tüm sistem alternatiflerinin karşılaştırılabilir olması ve en uygun sistemin seçimi geri ödeme süresi ve sistemin sürekli olarak kayıpsız işletimi ile mümkündür.

Çizelge 3.2. Isıtma-Soğutma için farklı sistem alternatifleri

	Kojenerasyon	Toprak kaynaklı ısı pompası	Hava kaynaklı ısı pompası	Yoğuşmalı kazan (gaz yakıtlı)	Güneş-Isıl
Enerji tasarrufu	Orta	Orta-Yüksek	Orta	Düşük-orta	Orta
Sera gazı tasarrufu	Orta-Yüksek	Orta	Orta	Düşük	Orta
İlk yatırım	Orta-Yüksek	Orta-Yüksek	Düşük-orta	Düşük	Orta
Yakıt	Gaz	Elektrik	Elektrik	Gaz	Yok
Sürekli baz yük ihtiyacı	Evet	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
Bakım gereksinimi	Orta-Yüksek	Orta	Düşük	Düşük	Düşük
Isı üretim sıcaklığı	Yüksek	Düşük-orta	Düşük-orta	Yüksek	Düşük-orta

3.3. Kojenerasyon Sistemlerinde Verimlilik

Kojenerasyon sistemlerinde toplam verimliliğin ölçülmesinde net elektrik verimi, toplam sistem verimi ve elektriksel etkenlik tanımları kullanılmaktadır. Net elektrik verimi, elektrik çıktısının yakıt girdisine oranıdır ve Eş.1’de belirtildiği gibi hesaplanır. Toplam sistem verimi ise kojenerasyon sistemlerinde ısı çıktısının da hesaba katılması ile bulunur ve Eş.6’da belirtildiği gibi hesaplanır. Ancak, termodinamiğin ikinci yasası ısı ve elektriğin farklı görece değerleri olduğunu belirtmektedir, yani iki ürünün ekserjisi farklıdır. Bu nedenle daha farklı bir metrikle kojenerasyon sistemlerinde verim hesaplamasının yapılması gerekmektedir. Elektriksel etkenlik, kojenerasyon sistemlerinde farklı ürünleri değerlendiren ve sistem performansının konvansiyonel elektrik şebekesi ve rakip teknolojilerle doğrudan karşılaştırılmasına izin veren tek bir metriktir. Elektriksel etkenlik hesaplamasında kojenerasyon sisteminin öncelikle ısı enerjisi yan ürün olarak elektrik enerjisini ürettiği kabul edilir. Toplam ısıl gücün konvansiyonel yollarla üretilmesi durumunda sisteme sağlanan yakıt enerjisinden kojenerasyon sistemi için verilen yakıt enerjisinin farkı gerçek yakıt tüketimini verecektir. Toplam elektrik çıktısının bu yakıt tüketimine bölünmesi ile elektriksel etkenlik değeri Eş. 8’de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\eta_E = \frac{W_E}{Q_f} \quad (6)$$

$$\eta_o = \frac{W_E + \sum Q_{Th}}{Q_f} \quad (7)$$

$$\eta_{EE} = \frac{W_E}{Q_f - \sum \left(\frac{Q_{Th}}{\alpha} \right)} \quad (8)$$

Elektriksel etkenliğin hesaplanmasında tasarım verileri büyük önem taşır. Bir güç üretim sisteminin tasarım verisi ISO koşullarında ölçülen değerlerdir. Gaz türbinleri, mikro-türbinler ve yakıt pilleri için ISO koşulları 15°C ortam sıcaklığı, %60 bağıl nem ve deniz seviyesi koşullarıdır (ISO 3977-2). İçten yanmalı motorlarda ise ISO koşulları 25°C ortam sıcaklığı, %30 bağıl nem ve 100 kPa basınçtır (ISO 3046-1). Eş. 8’de verilen α değeri konvansiyonel ısı üretim teknolojilerinin verimlerini ifade etmektedir. Örneğin, ısı enerjisinin doğalgaz yakıtlı bir kazandan üretilmesi durumunda α değeri 0,8; biyokütle kazanı olması

durumunda 0,65 ve direkt yakma sistemi durumunda (yanma gazları ile kurutma gibi) 1 olarak alınabilir.

3.4. Yakıt Tasarrufu

Kojenerasyon sistemlerinde yakıt tasarrufunun da bir metrikle belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla ayrı referans bir sistemle kojenerasyon sisteminin karşılaştırması yapılmalıdır. Isıl enerjinin üretiminde konvansiyonel sistem yaklaşımı Eş.8’de verilmişti. Benzer bir şekilde referans değeri belirleyebilmek adına elektrik enerjisinin de konvansiyonel sistemlerle üretilmesi durumu ele alınmalıdır. Eş.9 referans yakıt değerini ve Eş.10 tasarruf miktarını belirlemek için kullanılacak eşitliklerdir. Eş.9’daki ψ değeri, ortalama ulusal şebeke için 0,32; yüksek verimli gaz türbini için 0,49 ve temel bir çevrim için 0,27 olarak kabul edilebilir.

$$YAKIT_{ref} = \left\{ \frac{W_E}{\psi} \right\} + \left\{ \frac{\sum Q_{Th}}{\alpha} \right\} \quad (9)$$

$$\theta_{tas} = \frac{YAKIT_{ref} - Q_f}{YAKIT_{ref}} \quad (10)$$

3.5. Kojenerasyon Sistemi Kapasitesinin Belirlenmesi

Kojenerasyon sisteminin kapasitesinin belirlenmesi talep tarafındaki yükün (ısıl ya da elektrik) analizi ile ilgilidir. Bu amaçla, mevcut bir yük profili için detaylı analizlerle yükün dağılımı belirlenmeli (mevcut tüketim alanında) ya da tahmin edilmelidir (planlanan tüketim alanında). Kojenerasyon/trijenerasyon sistemleri genellikle temel (baz) yükleri karşılamak üzere tasarlanan sabit bir elektrik ve ısı çıktısı olan sistemlerdir. Bununla birlikte, tesis yükleri günlük, mevsimsel ya da saatlik periyotlarda değişen dinamik yüklerdir. Hem elektriksel hem de ısıl yükün bu dinamik yapıda eş zamanlı olarak üretilmesi sistemin verimli çalıştırılması adına önemlidir. Tüketim noktalarındaki minimum sıcaklık gereksinimi sistem yapısının ve ana sürücü tipinin belirlenmesinde önemlidir. Bir otel binasında farklı sıcaklık gereksinimleri olan sıcak su talepleri olabilir. Örneğin, genel kullanım sıcak suyu için 49°C, mutfak kullanım sıcak suyu için 60°C, çamaşırhane için 77°C, havuz ısıtması için 60°C ve mahal ısıtması için 83°C sıcaklık gerektiğinde, ısı değiştiricilerindeki yaklaşım sıcaklığı da dikkate alınarak kojenerasyon tarafında minimum sıcaklığın 85°C olması durumunda tüm yüklere cevap vermesi beklenebilir. Bu

değerlendirme yapılmaz ise kullanılabilir atık ısının kojenerasyon sisteminin soğutma kulesinden atılması gerekir (kojenerasyon kule dönüş sıcaklığının sabit kalması adına) ve sistem verimsiz olarak çalıştırılır.

Yük karakteristiklerinin belirlenmesi, sistemin yüksek yük faktöründe çalıştırılması için önemlidir. Talep tarafındaki yük, binaların kullanım amacına, kullanıcı profiline, proses yükünün değişimine vb. birçok dinamik parametreye bağlıdır. Tüketici tarafında oluşabilecek pik yükler bina tipine göre değişmekle birlikte, bina uygulamalarında genellikle dış ortam sıcaklığına bağlıdır. Yani ısıtma sezonunda ısı yük, dış ortam sıcaklığı minimum değere düştüğünde pik oluşturur iken elektrik yükündeki pik, soğutma sezonunda iklimlendirme sistemlerinin yükü nedeni ile oluşabilir. Ortalama yük ise toplam dönemsel yükün dönem içindeki zaman aralıklarının sayısına bölünmesiyle elde edilir. Baz yük, tesis yükünün talebin altına düşmediği durumdur. Kojenerasyon sisteminin kapasitesinin belirlenmesinde sadece baz yükün karşılanmasına göre seçim yapılır ise sistem en yüksek yük faktörüne sahip olacaktır. Ancak, bu da ortalama ve pik yük değerlerinin karşılanmamasına ve şebekeden baz yükün üzerindeki taleplerde elektrik alımına devam edilmesine neden olacaktır. Bu nedenle talep tarafındaki baz yük ve pik yükün yıllık dağılımı sistem kapasitesi belirlenmesinde en önemli parametredir.

Kapasite seçiminde izlenmesi gereken adımlar fizibilite raporunun da temelini oluşturur. Öncelikle mevcut bir tesiste 30 dakikalık (ya da saatlik), günlük, aylık ve yıllık elektrik ve ısı yük verileri elde edilmelidir. Şebeke hizmet sağlayıcısından bu elektriksel verilerin elde edilmesi kolaydır. Ancak, ısı yük için saatlik verileri elde etmek daha zordur. Kullanıcılar ve bina yönetim sistemi kullanılıyor ise ısı yükler buradan ölçümlerle belirlenebileceği gibi aylık faturalardan da tahmin edilebilir. İkinci adımda pik, baz ve ortalama yüklerin belirlenmesi gerekmektedir. Ele alınacak bir tesiste ısı yük elektrik yükünün oldukça üzerinde olabileceği gibi tersi bir durumda olabilir. Sonrasında ana sürücü tipi ve kapasitesi belirlenmelidir. Burada dikkat edilmesi gereken konu elektrik tarifesindeki fiyat değişimidir ve detaylı fizibilite raporunda geçmiş yıllardaki yakıt ve elektrik fiyatlarındaki artış trendlerine göre sistem ekonomik ömrü için geri ödeme süresi belirlenmelidir. 20/01/2018 tarihli 30307 sayılı Resmî Gazete’de yıllık elektrik tüketimi 50 milyon kWh’ın üzerinde olan işletmeler son kaynak kullanıcısı tarifesine geçirilmiştir ve 2020 yılındaki düzenleme ile yıllık tüketim alt sınırı 10 milyon kWh olarak güncellenmiştir. Son kaynak kullanıcısı tarifi tüketiciye yıl boyunca zaman diliminden bağımsız olarak tek bir fiyat ile anlaşma

yapılabilme imkânı sunmaktadır. Üç zamanlı tarifede ise elektrik fiyatları pik yüke göre değişmektedir ve gece tarifesinde iken, kojenerasyon sisteminin çalıştırılması maliyet açısından uygun olmayacağı gibi sistemin kesintili çalıştırılması da verim açısından uygun olmayacaktır. Bu nedenle elektrik tarifesini de sistemin maliyet fizibilitesinde büyük önem taşımaktadır ve sistemin kurulması düşünülen yerde tarife durumu mutlaka değerlendirilmelidir. Sonrasında alternatif kapasitelerde detaylı fizibilite çalışması yapılabilir ve sera gazı emisyonu azaltımı belirlenebilir. Elektrik ve ısı yükün incelenmesi ile baz yük ve maksimum yükler belirlenebilir. Bu yüklere göre farklı kapasite belirleme seçenekleri ele alınmalıdır.

Baz yük ısı talebe göre kapasite;

Elektrik yükü ısı yükten fazla ise bu seçenek atık ısının tamamının değerlendirilmesi nedeni ile sistem verimini maksimum yapacaktır.

Baz yük elektrik talebine göre kapasite;

Isıl yük elektrik yükünden fazla olduğunda uygundur ve kojenerasyon sisteminin tam yükte çalışmasını ve yüksek verim elde edilmesini sağlar. Yalnızca baz yükteki elektrik karşılanacağı için maliyet fizibilitesinde geri ödeme süresini kısaltan elektrik geliri azalacaktır. Çok fazla tercih edilen bir kapasite belirleme aracı olmasa da sistem veriminin maksimum olmasını sağlar.

Elektrik pik yüküne göre kapasite;

çok fazla kullanılmayan atık ısı üreteceği için tercih edilmese de elektrik üretim şirketleri müşterilerine önermektedir. Böylece, elektrik üretim şirketleri için iletim ve dağıtım kayıpları minimumda tutulabilir. Isının farklı bölgelerde proses ya da ısıtma amacıyla değerlendirilmesi ile ilave bir gelir elde edilerek geri ödeme süresinin kısaltılması mümkündür.

Isıl pik yüke göre kapasite;

Isı/Elektrik kapasitesine göre seçilecek ana sürücü çoğu zaman dalgalanmalara cevap veremeyeceği için çok tercih edilen bir kapasite belirleme yöntemi değildir.

Kapasite belirleme sistemin çalışma verimi ve geri ödeme süresini direkt olarak etkileyeceği için dikkatle seçilmelidir. Genel yaklaşım yük ve yük eğrisi belirlendikten sonra yük eğrisinde %85'lik bir yük faktörünün optimum olduğudur. Baz yüke göre yapılan seçimde baz yükün %10'u kadar bir azaltım ile seçim de bir başka kapasite belirleme alternatifidir. Her iki seçim de elektrik ve ısı yükü dikkate alarak yapılmalıdır ve geri ödeme süreleri bu kapasitelere göre karşılaştırılmalıdır.

3.6. Ana Sürücü Seçimi

Ana sürücü seçiminde işletme karakteristikleri, verim, ısı geri kazanım karakteristikleri, kısmi yük durumu, devreye girme süresi, bakım, emre amadelik, yakıt esnekliği, emisyon karakteristikleri ve kontrolleri ve ses ve titreşim ele alınması gereken konulardır. Uygun kapasite seçimi ve yükün karşılanması en önemli parametrelerden birisidir. Ana sürücü seçiminde bir diğer parametre ısı yük için gereken basınç ve sıcaklıklardır ve ısı geri kazanım karakteristikleri ve kısmi yük durumunda talebe cevap verebilme karar aşamasında ön plana çıkacaktır (Elektrik/Isı oranı). Yüksek basınçlı bir buhar üretimi yük tarafından talep ediliyorsa, bu buhar yükünü ve kalitesini karşılayabilecek ana sürücü seçimi önem kazanmaktadır. Ek olarak, sistemin emre amadeliliği de yükün talep edildiğinde karşılanabilmesi adına önemlidir. Sistemin başlatma süresinin minimum olması yükün karakteristiğine göre ele alınmalıdır. Yükün çok kısa sürede karşılanması gerekiyorsa doğalgaz yakıtlı bir gaz türbini ya da içten yanmalı motor dakikalar içinde tam elektrik yüküne ulaşabilir iken buhar türbinli bir sistemin tam yüke ulaşması için yaklaşık 8 saat gerekmektedir. Fizibilite çalışmasında kojenerasyon sistem alternatiflerinin bakım maliyetleri de karşılaştırılmalıdır. Şekil 3.2. ve Şekil 3.3. kojenerasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bazı alternatifleri göstermektedir. Şekil 3.2.'den de görüleceği üzere içten yanmalı motorlar geniş bir kapasite aralığında bulunabilmektedir. Şekil 3.3.'te ise reküperatörlü bir gaz türbini ve modüler bir mikro türbin yapısı gösterilmiştir. Gaz türbinleri endüstriyel ya da hava türevli olarak seçilebilmektedir. Her iki durumda da dış ortam sıcaklıkları ve rakım durumuna göre ISO koşullarında belirlenmiş olan etiket değerlerinden büyük bir sapma gösterebilir. Bu nedenle, bu tip sistem seçiminde dış ortam sıcaklıkları ve rakım değerlerine göre yıllık analizler simüle edilerek sistem seçimine karar verilmelidir. Etiket değerine göre yapılan hesaplamalar elektrik ve ısı yükün karşılanmasında sorunlara neden olabilir. Gaz türbinlerinde kompresör giriş havasının soğutulması ile bu kayıp telafi edilebilir. Bu amaçla evaporatif soğutma sistemleri, soğutulmuş su sistemleri ya da yakıt

olarak LNG kullanılıyorsa LNG yakıt sistemi evaporatörü alternatif gaz türbini giriş havası soğutma sistemleri olarak düşünülmelidir. Bu alternatiflerin dışında yakıt pilleri son yıllarda kojenerasyon sistemlerinde kullanılmaya başlanmıştır ve ticari olarak mevcuttur. Fosforik asit (PAFC), katı oksit (SOFC), eriyik karbonat (MCFC) ve proton değişimli membran (PEM) yakıt pilleri arasında katı oksit ve eriyik karbonat gerek yüksek çalışma sıcaklıkları (980°C SOFC için ve 650°C MCFC için) ve sıcak su-buhar üretebilme karakteristikleri nedeni ile ön plana çıkmıştır. Bunların dışında Organik Rankine Çevrimi, Stirling Motorları gibi farklı ana sürücü seçenekleri de mevcuttur.

Özellikle çok geniş uygulama alanı bulmuş olmaları nedeni ile içten yanmalı bir motor ve gaz türbini ana sürücü alternatiflerinin kısmi yük performansları da ele alınmalıdır. Her ne kadar maksimum maliyet etkenliği için sistemler tam yükte çalışmak üzere boyutlandırılmış olsa da yük tarafındaki dinamik yapı ana sürücüyü farklı yük yüzdelerinde çalışmak durumunda bırakacaktır. Bu durumda bilinmesi gereken tam yük değerinden uzaklaştıkça verimin azaldığıdır. Kabaca tam yük verim değeri %20 yükte verim değeri ile karşılaştırıldığında yaklaşık dörtte birine düşmektedir.



Şekil 3.2. (a) 75 kW gücünde kojenerasyon motoru, (b) 18.8 MW gücünde doğalgazlı fakir karışımli motor

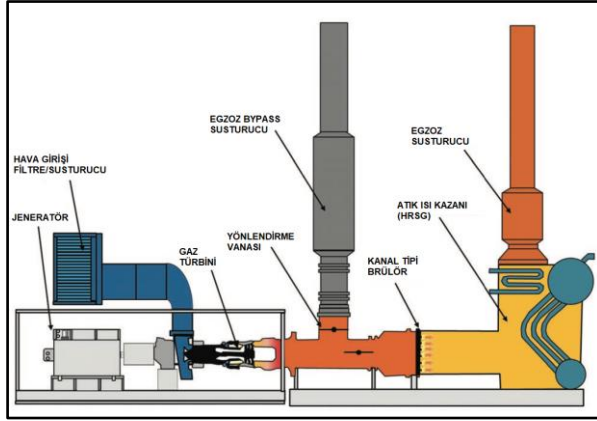


Şekil 3.3. (a) 4.6 MW gücünde reküperatörlü gaz türbini, (b) 200 kW modüler mikro türbin

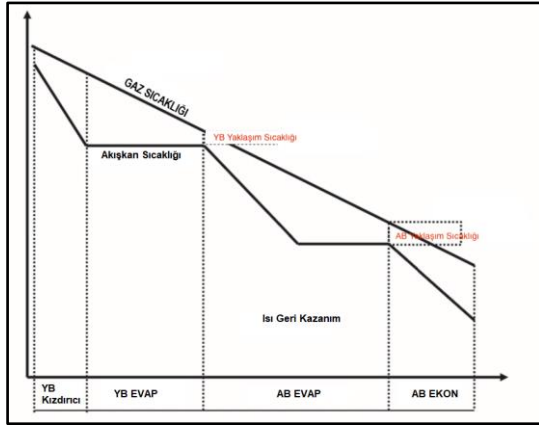
3.7. Isı Geri Kazanım ve Soğutma Sistemleri

Bir kojenerasyon sisteminin maliyet değerlendirmesi, ana sürücünün egzozunda veya diğer ısı geri kazanım noktalarında ısı enerjisinin etkin bir biçimde geri kazanılmasına bağlıdır. Bu atık ısı noktalarındaki ısı enerjisi toplam yakıt girdisinin %60-70'i kadardır. Talep tarafında tüketim noktalarındaki basınç ve sıcaklık koşulları geri kazanılacak enerji miktarını belirleyecektir. Daha düşük sıcaklık gereksinimi daha fazla enerji geri kazanımına bu da geri ödeme süresinin kısaltılmasına neden olacaktır. Endüstriyel uygulamalarda direkt olarak egzozun proseste kurutmada değerlendirilmesi atık ısı geri kazanımı için bir ısı değiştirici de gerektirmeyeceği için maksimum fayda sağlayabilir. Gıdaların kurutulmasında ise egzoz direkt olarak kullanılamayacak ve ilave bir havadan havaya ısı değiştiricisi maliyete eklenecektir. Kullanım sıcak suyu talebi genellikle suyun 60°C sıcaklığa kadar ısıtılmasını gerektirecektir. Legionella kontrolü uygulanıyorsa (hastaneler vb.) kullanım suyunun sıcaklığının haftada bir kez bir saat süresince 70°C'ye kadar çıkarılması yeterli olacaktır. Ancak, sürekli talep için 60°C yeterli olacaktır ve bu durumda çift serpantinli boyler kullanılabilir. Mahal ısıtmasında ise geniş bir aralıkta sıcak su sağlanabilir. Düşük basınçlı buhar (100 kPa gösterge) tek etkili absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde kullanım ve soğutulmuş su üretimi için yeterlidir. Daha yüksek basınçlı buhar çift etkili absorpsiyonlu sistemlerinde soğutulmuş su üretimi ve proses için buhar gereksiniminde kullanılabilir. Bu durumda türbin teknolojileri ana sürücü olarak seçilmek zorundadır.

Bir içten yanmalı motorda kullanılabilir atık ısı için dört kaynak vardır. Motor egzozu ve ceket soğutma ana ısı geri kazanım noktalarıdır. Bununla birlikte, yağlama yağı ve varsa intercooler ve/veya aftercooler ekipmanlarından ısı geri kazanımı potansiyeli vardır. İçten yanmalı motorda ceket soğutması atık ısının %30'una yakın bir enerji potansiyeline sahiptir



Şekil 3.5. Art yakıclı gaz türbini-atık ısı kazanı



Şekil 3.6. Atık ısı kazanı yaklaşım sıcaklığı

3.8. Kojenerasyon Uygulama Alanları

Kojenerasyon sistemleri birçok bina tipi ya da prosese uygulanabilir. Bu uygulama alanları arasında hastaneler, yemek tesisleri, süpermarketler, bölgesel konutlar, kimyasal, plastik, kâğıt, ahşap, tekstil, metal işletmeleri ve veri merkezleri vardır. Bununla birlikte bu sistemler oteller, AVM'ler, kampüsler ve büyük ticari binalar gibi binalarda da fizibilite raporuna göre uygun çıkmaktadır. Hastaneler sürekli çalıştıkları ve eş zamanlı elektrik ve ısı yüklerine sahip oldukları için ideal bir uygulama alanıdır. Hastane ısı yükleri incelenirse ısıtma, soğutma, kullanım sıcak suyu, nemlendirme/nem alma sürekli olarak gerekmektedir. Özellikle enfeksiyon kontrolü açısından ameliyathane ve yoğun bakımların ve yardımcı tesislerdeki klima santrallerinin sürekli talep yükünü oluşturması ve elektrik anlamında şebekeye bir alternatifin oluşturulacak olması nedeniyle kojenerasyon/trijenerasyon sistemleri hastanelerde makul geri ödeme sürelerine sahiptir. Yemek tesisleri (catering) de eş zamanlı sürekli yükün olduğu bir başka uygulama alanıdır. Bu alanlarda kullanım sıcak suyu, elektrik

ve soğuk depo için soğutma yükleri oluşturmaktadır. Bu alanlarda elektrik ve sıcak su için kojenerasyon ve tüm yüklerin karşılanması adına trijenerasyon sistemleri değerlendirilebilir. Soğutma yükünün sürekli olması nedeni ile trijenerasyon sistemleri fizibilite çalışmasında öne çıkabilir. Süpermarketler sürekli mahal soğutma yüküne ve soğuk depolara sahip alanlardır. Bu tesislerde trijenerasyon sistemleri makul geri ödeme sürelerine sahiptir. Veri merkezleri son yıllarda büyük bir artış göstermiştir ve bu şekilde de devam etmesi öngörülmektedir. Veri merkezleri işletmecileri için soğutma yükünün maliyetinin azaltılması adına birçok yeni teknoloji özellikle son on yılda değerlendirilmiştir ve bu alandaki soğutma sistemleri büyük ivme kazanmıştır. Veri merkezleri elektrik ve soğutma yüklerinin eş zamanlı talep edildiği ve sürekli (7/24) çalışan sistemlerdir. Veri merkezleri genellikle yedekli olarak tasarlanan sistemlerdir ve uygun tasarlanmış sistem mimarisi ile trijenerasyon sistemleri bu tip binalarda minimum geri ödeme sürelerine sahiptir.

Bir kojenerasyon/trijenerasyon tesisinin ön fizibilitesinde 1) 150 kW'ın üzerinde eş zamanlı ısı ve elektrik yükleri yıl boyunca varsa, 2) yıllık ısı yükleri elektrik yükleri ile paralellik gösteriyorsa, 3) uzun çalışma süreleri ve sabit yükler varsa, 4) birim elektrik maliyetleri doğalgaz birim elektrik maliyetlerinden fazlaysa ve 5) biyogaz gibi yakıt alternatiflerine açıksa sistem kurulumu için detaylı fizibilite ve ekonomik analizlere geçilmelidir. Maliyet analizinde ise yıllık bazda kojenerasyon/trijenerasyon sisteminin ısı enerjisinin %60'ı kullanılıyorsa sistemin uygun çıkabileceği düşünülmelidir. Başka bir deyişle, şayet kojenerasyon/trijenerasyon sistemi yılda 3300 h'ten daha az çalışıyorsa sistemin geri ödeme süresi uygun çıkmayacaktır. Bu nedenle mesai saatleri dikkate alındığında bu sistemlerin yalnızca ofis binalarında uygulamasının uygun olmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır.

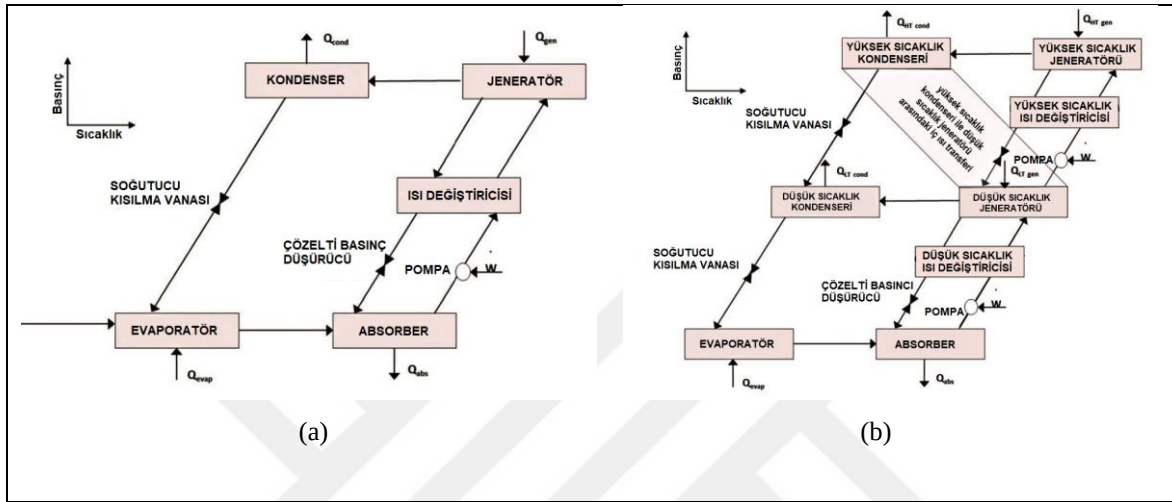
3.9. Trijenerasyon ve Isıl Olarak Aktive Olan Soğutma Sistemleri

Trijenerasyon, kojenerasyona ek olarak atık ısıdan soğutulmuş suyun da üretildiği sistemlerdir. Soğutulmuş suyun atık ısıdan üretilebilmesi için ısı enerjisi ısıl olarak aktive olan cihazlara beslenebilir. Isıl olarak aktive olan soğutma sistemleri absorpsiyonlu, adsorpsiyonlu ve buhar türbinli soğutma gruplarıdır. Absorpsiyonlu soğutma grupları talep tarafındaki soğutma sıcaklığına göre LiBr/H₂O ve H₂O/NH₃ (soğurucu/soğutucu) iş akışkanlı sistemler olarak iki alt başlıkta ele alınabilir. LiBr/H₂O iş akışkanlı sistemler genellikle mahal soğutma sistemlerinde kullanılır ve LiBr çözeltisinin kristalizasyon problemi nedeni ile 5°C'nin altındaki sıcaklıklarda kullanılmaz. H₂O/NH₃ iş akışkanı ise

daha düşük sıcaklıkların gerektiği soğuk depo uygulamalarında kullanılmaktadır. Isı girdisi olarak atık ısı kullanılabildiği gibi parabolik oluk tipi kollektörlerle de yenilenebilir enerjinin kullanılması mümkündür.

Absorpsiyonlu soğutma sistemleri direkt ateşlemeli, indirekt ateşlemeli, tek etkili, çift etkili gibi alt sınıflara ayrılır. Direkt ateşlemeli sistemler ısı enerjisini sıvı ya da gaz bir yakıtın yakılması ile sağlar. İndirekt ateşlemeli sistemler ise bir atık ısı ya da yenilenebilir enerji kaynağını ısı girdisi olarak kullanılır. Absorpsiyonlu soğutma sisteminin konvansiyonel buhar sıkıştırırmalı sistemden farkı enerjiyi yoğun olarak tüketen kompresör yerine absorber, çözelti pompası, ısı değiştiricisi ve jeneratör (ısı) kullanmasıdır. Konvansiyonel soğutma çevriminin diğer ekipmanları, kondenser, evaporatör ve genleşme valfi sistemde mevcuttur. Şekil 3.7. (a) ve (b) sırasıyla tek etkili ve çift etkili absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin basınç-sıcaklık grafiğini göstermektedir. Sistemin vakum altında çalıştığının ve evaporatör ve absorberin olduğu düşük basınç bölgesinde basıncın yaklaşık 0,87 kPa olduğunun ve bu basınçta suyun yaklaşık 5°C’de kaynadığının bilinmesinde fayda vardır. Ek olarak, aşağıda çalışma prensipleri açıklanmış olan sistemde iş akışkanı LiBr/H₂O’dur. Buna göre, ısı jeneratöre beslenen ısı, soğutucu H₂O’nun buharlaşmasına neden olur ve çözelti LiBr’ce zengin hale gelir ve şekilde gösterildiği üzere absorbere geri döner. Isıl jeneratörde buharlaşan su kondenserde ısıyı atarak yoğunlaşır ve genleşme vanası üzerinden evaporatöre gelir. Mahalden dönen 12°C sıcaklığındaki su, düşük basınç etkisiyle ısısını kondenser ve genleşme valfinden gelen suya aktarır ve böylece soğuyarak yaklaşık 7°C’de mahalde soğutma yapmak üzere geri döner. Evaporatörde buharlaşan su absorberde soğurucu zengin LiBr çözeltisi tarafından soğurularak çözelti pompası ile tekrar ısı değiştiricisi üzerinden ısı jeneratöre beslenir ve böylece çevrim tamamlanır. Çift etkili absorpsiyonlu soğutma sisteminde ise iki adet kondenser ve ısı jeneratör bulunur. Yüksek sıcaklık kondenserindeki ısı düşük sıcaklık ısı jeneratörüne beslenerek soğutma etkisi artırılır. Tek etkili absorpsiyonlu soğutma sisteminde COP yaklaşık 0,7 iken çift etkili sistemlerde COP yaklaşık 1,2’dir. Konvansiyonel hava ya da su soğutmalı sistemlerin COP’leri ile kıyaslandığında COP değerleri düşük olsa da ısınn direkt olarak kullanılması ile enerji verimliliği sağlar. Atık ısınn ya da ısı kaynağının sıcaklığı sistem seçiminde etkilidir. Atık ısı sıcaklığı 100°C civarında ise tek etkili bir sistem seçimi yapılmalıdır. Ancak atık ısı daha yüksek bir sıcaklığa sahipse bu durumda çift etkili bir sistem seçimi yapılabilir. Egzoz gazlarının direkt olarak ısı jeneratöre beslenmesi ile atık ısı kazanı ihtiyacı da ortadan kalkacaktır. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde elektrik yalnızca çözelti pompasının

çalıştırılması için kullanılır. Bunun dışındaki diğer komponentler ısı değıştircileridir ve dönen parçaların olmaması nedeni ile bakım ihtiyacı minimumdur. Sistemin COP'sinin hesaplanmasında evaporatörden elde edilen soğutma gücünün ısıl jeneratöre beslenen ısıl güç ve çözelti pompası elektrik tüketimi toplamına oranı kullanılır. Pompa enerji tüketimi çok düşük olduğundan genellikle COP hesaplamalarında göz ardı edilebilir.



Şekil 3.7. Tek etkili (a) ve çift etkili (b) absorpsiyonlu soğutma sistemi şematik diyagramı

Isıl olarak aktive olan bir diğer soğutma sistemi adsorpsiyonlu soğutma gruplarıdır. Her ne kadar absorpsiyonlu soğutma grupları kadar geniş ölçekli kullanılsa da özellikle düşük sıcaklıklı ($60-80^{\circ}\text{C}$) ısı kaynağından soğutulmuş su elde edilmesinde son yıllarda aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte, adsorpsiyonlu soğutma sistemlerinin COP değerleri daha düşüktür ve sabit soğutulmuş su debisinin sağlanabilmesi için ilk yatırım maliyetini önemli ölçüde artıracak ısı depolama sistemleri ile birlikte kurulmalıdır. (28°C kule ve 12°C soğutulmuş su sıcaklığı için 65°C sıcak su kaynağı ile 0,42 COP elde edilebilir. Sıcak suyun 100°C olması durumunda COP 0,65 olmaktadır.) Buhar türbinli soğutma grupları ise ülkemizde çok yaygın olarak kullanılsa da özellikle ABD'de kampüs vb. bölgelerde soğutulmuş su üretilmesinde kullanılmaktadır. Konvansiyonel buhar sıkıştırımlı soğutma grubuna bir buhar türbini ilavesi ile sistem yapısı oluşur ve buhar türbini shaft gücü soğutma grubunun kompresörünü tahrik eder. Buhar türbini için gereken buhar basıncı 7-14 bar civarındadır. Buhar tarafı ve soğutma tarafı kondenserleri ayrıdır. Buharla çalışan çift etkili absorpsiyonlu soğutma sistemlerine göre kısmi yük performansı daha iyidir.

3.10. Bakım Maliyetleri

Kojenerasyon/trijenerasyon sistemlerinde fizibilite çalışmasında ve yaşam boyu maliyet hesaplamalarında dikkate alınması gereken en önemli konulardan birisi de bakım maliyetleridir. Bu sistemlerin özellikle ağır bakımları genellikle ana sürücü firmasının yetkili personelleri tarafından yapılmaktadır ve bakım maliyetleri işçilik ve kullanılan malzemeyi de içerecek biçimde ana sürücü tipine göre farklılık göstermektedir. Bakım anlaşmalarında üretilen elektrik miktarı başına ya da yılda çalışma süresi başına bakım maliyetleri hesaplanabilir. Bir içten yanmalı motor için bakım maliyeti 0,018-0,05\$/kWh_e arasında iken gaz türbinlerinde ve mikro türbinlerde 0,01-0,02\$/kWh_e'tir. Yıllık çalışma süresine göre ise içten yanmalı motorlarda bu değer yaklaşık 11-14€/h olarak verilmektedir.

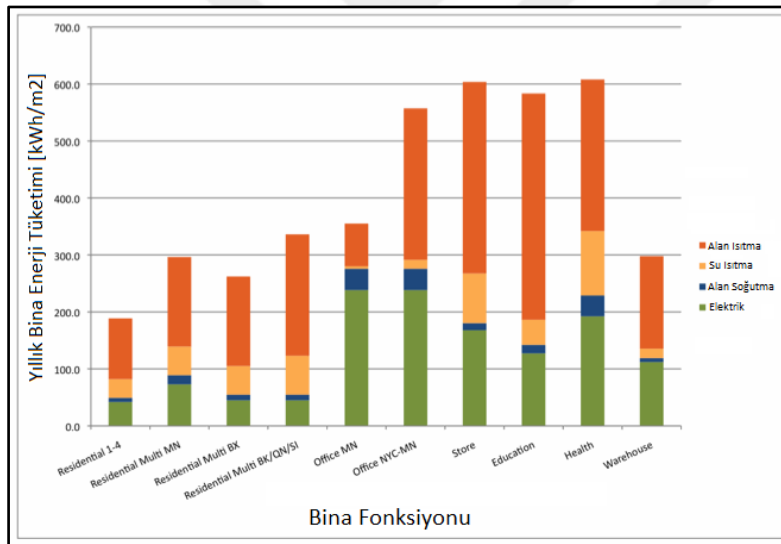
Bu sistemlerin kurulumunda saha bazında dikkat edilmesi gereken diğer konular egzozun konumu ve ses/titreşim durumudur. Bir içten yanmalı motor uygulamasında gerekli ısı ve titreşim yalıtımının sağlanması ve egzozun binanın diğer bölgelerinde hava sağlayan merkezi klima santrallerinin hava alış ağızlarından uzakta olması dikkat edilmesi gereken bir konudur. Egzoz değerlerinin yakıtın cinsine göre yönetmelik değerlerini aşmadığının kontrolü yapılması gerekir.

4. ANALİZLER

4.1. Veri Merkezi Yük Profili

Veri merkezinde trijenerasyon ile enerji üretimi yapılması için alternatif tasarım güçleri ve karşılaştırmaları bu bölümde ele alınmıştır. Öncelikle halihazırda şebeke enerjisini kullanan ve klasik (DX) soğutma sistemi ile işletilen bir veri merkezinin yıllık ortalama mevcut tüketim değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Şekil 4.1.’de tipik olarak binalarda enerji tüketiminin hangi alanlarda ne miktarda kullanıldığı verilmektedir. Buna göre özellikle ofis, mağaza, eğitim ve sağlık alanlarında ciddi bir enerji tüketimi göze çarpmaktadır. Bunun yanında enerjinin yine yoğun olarak ısıtma için kullanıldığı da yine öne çıkan verilerdendir (Yılmazoglu, 2017).



Şekil 4.1. Kullanım ve bina fonksiyonuna göre yıllık enerji tüketim yoğunlukları (Sustainable Engineering Lab, 2019)

Trijenerasyon uygulamalarında yük profilinin çıkarılması ve baz yükün belirlenmesi doğru yatırım açısından son derece önemlidir. Kurulacak olan sistemin verimli bir şekilde işletilmesi, ihtiyaç duyulan kapasiteye uygun tesis kurulumu ile mümkün olacaktır.

Ele alınan veri merkezi yaklaşık olarak sabit bir yüke sahiptir ve elektrik yükündeki dalgalanma diğer bina tiplerine göre nispeten daha azdır. Ancak, yaz aylarında tüketimin artması, sıcaklıkların artması sebebiyle klima yüklerinin bu dönemde yüksek olması ile anlaşılabilir. Elektrik baz yüküne göre kapasite belirlenirken optimum gücün baz yükün

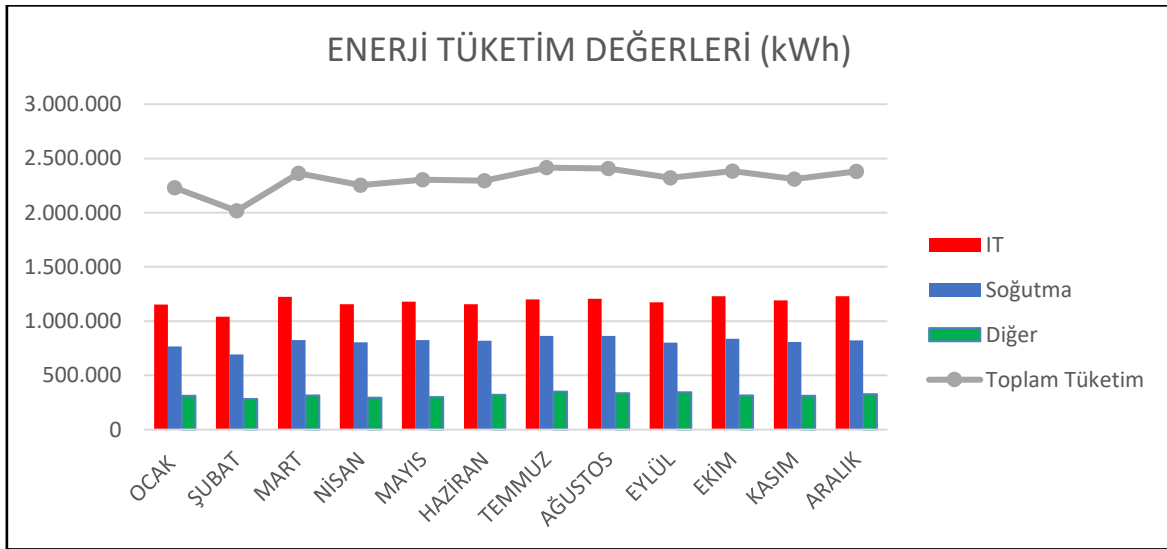
üzerinde %85 yük faktörüne denk gelen yükte seçilmesi geri ödeme süresini kısaltmak adına uygun olabilir. Ancak, her durumda baz yük, ortalama yük ve %85 yük faktörüne göre belirlenen kapasiteler ve soğutma yüklerinin karşılanma oranlarına göre ekonomik fizibilite çalışması nihai kapasiteyi belirleyecektir. Burada bir önceki bölümde anlatıldığı gibi IT yükler baz alınarak hesaplamalar yapılmıştır.



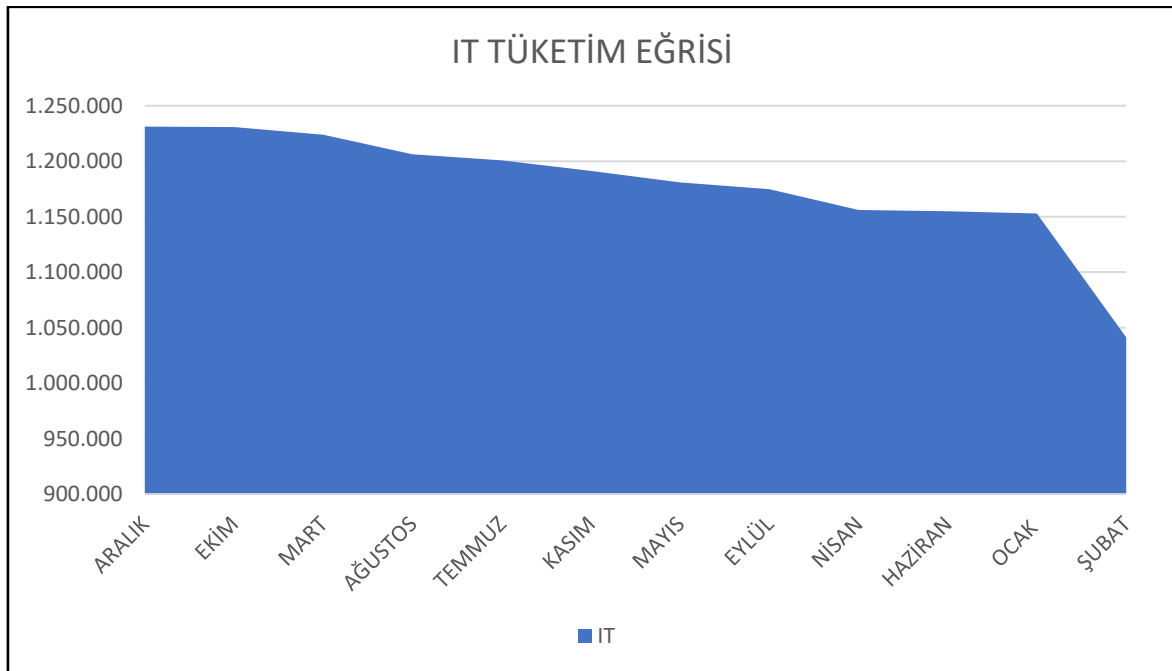
Çizelge 4.1. Veri merkezi yıllık enerji tüketim değerleri (kWh)

(kWh)	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	TOTAL TÜKETİM
Toplam Tüketim	2 231 642	2 016 770	2 364 068	2 254 523	2 304 844	2 294 580	2 415 632	2 408 208	2 321 022	2 383 543	2 310 216	2 382 337	27 687 385
IT	1 152 911	1 041 339	1 223 799	1 156 081	1 180 919	1 154 904	1 200 818	1 206 162	1 174 792	1 230 744	1 191 232	1 231 224	14 144 925
Soğutma	766.066	691.931	825.179	803.861	824.381	818.645	863.022	865.266	802.050	838.683	806.678	823.882	9.729.644
Diğer	312 665	283 500	315 090	294 581	299 544	321 031	351 792	336 780	344 180	314 116	312 306	327 231	3 812 816
PUE	1,66	1,66	1,67	1,70	1,70	1,71	1,72	1,72	1,68	1,68	1,68	1,67	1,69

Şekil 4.2.'de bir veri merkezi için aylık elektrik tüketim değerleri verilmiştir. Bu elektrik tüketim değerleri verisi ile baz yükü bulmak adına tüketim eğrisi oluşturulabilir (Şekil 4.3.). Tüketim eğrisine göre yıl boyu yaklaşık olarak sabit bir tüketim profili olmasına karşın baz yük Ocak-Şubat aylarındaki tüketimde meydana gelmiştir ve elektrik tüketimini karşılayacak elektriksiz kurulu güç yaklaşık 3 247 kW'tır. Buna karşın, ortalama yüke göre bir kurulu güç kapasitesi belirlenirse 3 160 kW güç gerekecektir.



Şekil 4.2. Bir veri merkezi için aylık elektrik tüketim değerleri

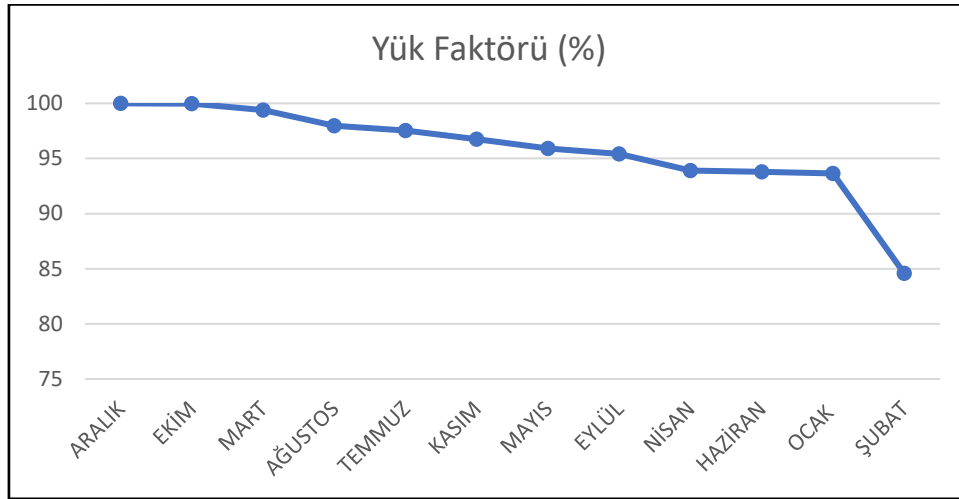


Şekil 4.3. Bir veri merkezi için toplam tüketim eğrisi

Şekil 4.4.'te IT yük faktörünün %85 olacağı durum gösterilmiştir. Buna göre, bu kapasiteye karşılık gelen kurulu güç yaklaşık 1 550 kW'tır. Pik yükün 1 655 kW olduğu dikkate alınır, %85 yük faktörünün baz yüke denk geleceği ve sene içerisinde şebekeden hemen hemen hiç elektrik alımı da olmayacağı görülmektedir.

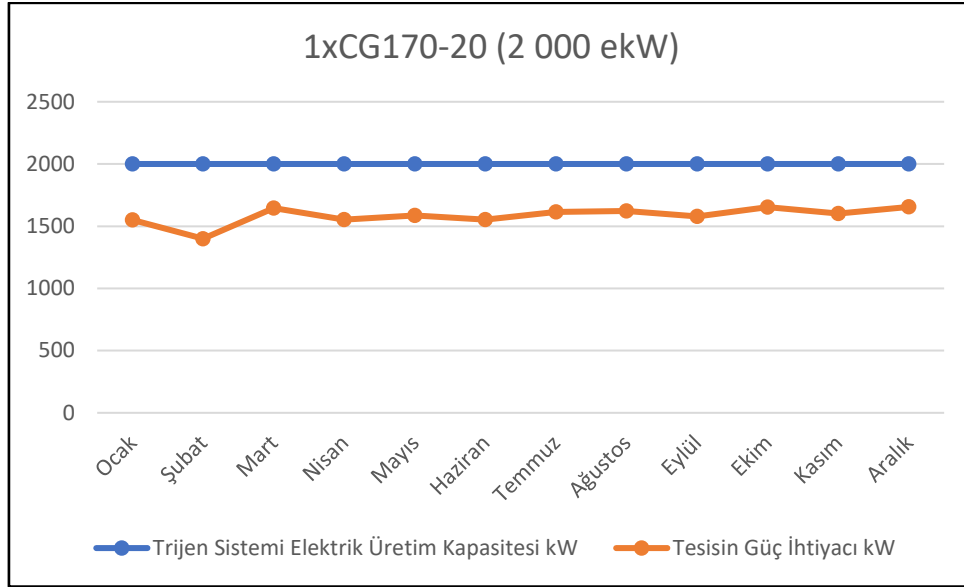
Çizelge 4.2. Veri merkezi yük durumu

YÜK	TOTAL	IT	SOĞUTMA	DİĞER
Pik Yük	3 247	1 655	1 163	478
Baz Yük	3 000	1 550	1 030	403
Ortalama Yük	3 160	1 614	1 110	435

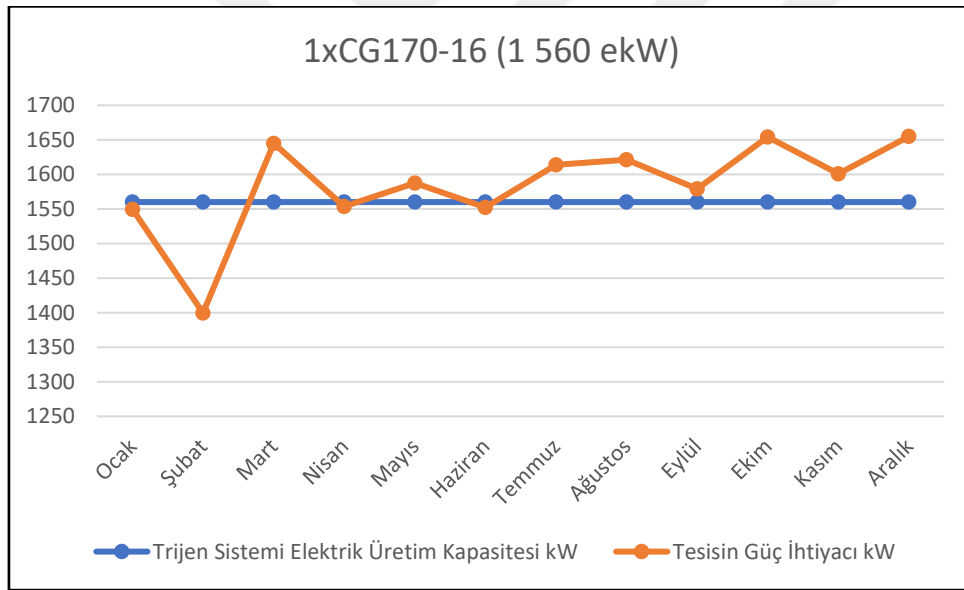


Şekil 4.4. Veri Merkezi örneğinde yüzdesel yük faktörünün belirlenmesi

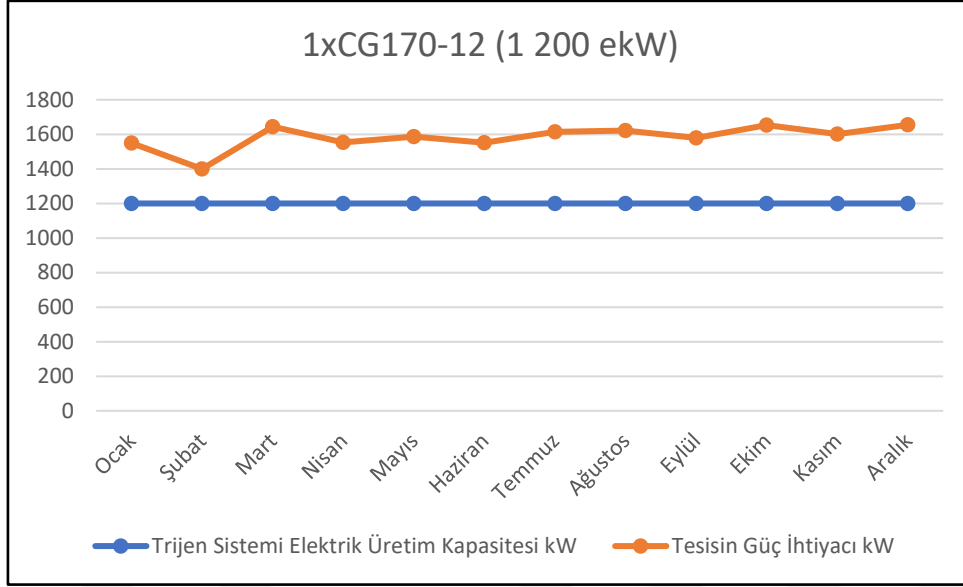
Şekil 4.5., Şekil 4.6. ve Şekil 4.7.'da 2,000 kW, 1,560 kW ve 1,200 kW kapasiteli trijenerasyon sistemleri ile veri merkezinin baz yükü (1,550 kW) ihtiyacı karşılaştırmaları verilmiştir. Buna göre 2,000 kWe kapasiteli sistemin seçilmesi durumunda ihtiyacın üzerinde bir altyapı tesis etmiş olunacak ve cihaz tam yükte çalışmayacağı için yeterince verim alınamayacaktır. Buna karşın 1,560 kWe ve 1,200 kWe kapasiteli sistemler toplam kapasitenin tamamına yakınına kullanmaya imkân sağlayacağı için daha efektif sonuçlar verecektir.



Şekil 4.5. 2000 kW kapasiteli trijenerasyon sisteminin tesis ihtiyacını karşılama grafiği



Şekil 4.6. 1560 kW kapasiteli trijenerasyon sisteminin tesis ihtiyacını karşılama grafiği



Şekil 4.7. 1200 kW kapasiteli trijenerasyon sisteminin tesis ihtiyacını karşılama grafiği

4.2. Trijenerasyon Sistemi Ekonomik Analizi

İlk olarak yük profili verilerine göre üç farklı kapasitedeki (2000 kW, 1200 kW, 1560 kW) trijenerasyon sisteminin ekonomik analizleri ve geri dönüş süreleri hesaplanarak hangi trijenerasyon sistemi seçiminin daha ekonomik açıdan uygun olacağı belirlenecektir.

Veri merkezinin bir yıl içerisinde aylara göre IT ve soğutma yükleri baz alınarak klasik bir sisteme göre (Jeneratör-Şebeke enerjisi/DX soğutma sistemleri) aylık olarak elde edilecek kar hesaplanmıştır. Buradan yıllık elde edilecek kara göre trijenerasyon sisteminin maliyetinin geri dönüş süreleri ve 24 yıl için “Net Bugünkü Değer” hesabı yapılmıştır.

4.2.1. Yakıt tüketimi hesabı

Trijenerasyon sisteminin maliyet hesabını yapmak için ihtiyaç duyulan parametrelerden birisi de motorların birim yakıt tüketimleridir.

$$YT = \frac{P_{VM}}{H_u/859,85} \times \mu_m \quad (m^3/h) \quad (11)$$

burada,

YT: Saatlik yakıt tüketimi (m^3/h)

P_{VM} : Tesis güç ihtiyacı (kW)

H_u : Doğalgaz alt ısı değeri ($kcal/m^3$)

μ_m : Motor elektriksel verimi

Hesaplamalarda H_u değeri 8250 ($kcal/m^3$) olarak alınmıştır.

4.2.2. Aylık çalışma süresi

Kurulacak trijenerasyon sisteminin yıl içerisinde bakım ve olası arıza durumları nedeniyle sürekli devrede olmayacağı hesaba katılmalıdır. Üreticiler ortalama olarak günlük çalışma saatinin 21 saat olarak alınmasını önermektedir.

4.2.3. Trijenerasyon sistemi elektrik birim maliyeti

Trijenerasyon sisteminin ger dönüş süresi ve NBD hesabı yapılırken öncelikli ihtiyaç duyulan parametrelerden birisi de elektrik birim maliyetidir.

$$M_{tp} = \frac{YT \times M_g}{P_{VM}} + M_s + M_i \quad (12)$$

$$M_{sp} = \frac{M_A / 8760}{P_{VM}} \quad (13)$$

$$M_{iT} = \frac{P_{iT} \times YT \times M_g}{P_{VM}} \quad (14)$$

Burada,

M_{tp} : Trijenerasyon sistemin elektrik birim maliyeti (TL/kW)

YT : Saatlik yakıt tüketimi (m^3/h)

M_g : Doğalgaz birim maliyeti (TL/m^3)

P_{VM} : Tesis güç ihtiyacı (kW)

M_{sp} : Servis birim maliyeti (TL/kW)

M_{iT} : İç tüketim maliyeti (TL/kW)

M_A : Yıllık servis maliyeti (TL)

P_{iT} : Saatlik iç tüketim (kW/h)

4.2.4. Aylık elektrik maliyeti

Veri merkezinin klasik altyapı (Şebeke-jeneratör, DX soğutma) ile işletilmesi durumunda aylık olarak sarf edilen enerji miktarı hesaplanarak karşılaştırma yapılması gerekmektedir. Burada yapılan hesaplama eş.10'da verilmiştir. Her ay için aylık elektrik maliyeti hesaplanarak yıllık toplam elektrik maliyeti bulunur.

$$M_{EU} = P_{VM} \times t_M \times M_U \quad (15)$$

M_{EU} : Aylık ulusal tarife elektrik maliyeti (TL)

P_{VM} : Tesis güç ihtiyacı (kW)

t_M : Aylık çalışma süresi (h)

M_U : Ulusal tarife elektrik fiyatı (TL/kW)

4.2.5. Aylık trijenerasyon sistemi elektrik üretim maliyeti

Trijenerasyon sisteminin elektrik ve soğutma suyu üretimi için oluşan maliyet hesaplanarak klasik veri merkezi altyapısı maliyetleri ile kıyaslama için kullanılmıştır.

$$M_{ET} = P_{VM} \times t_M \times M_{TP} \quad (16)$$

M_{ET} : Aylık trijenerasyon sistemi enerji üretim maliyeti (TL)

P_{VM} : Tesis güç ihtiyacı (kW)

t_M : Aylık çalışma süresi (h)

M_{TP} : Trijenerasyon sistemin elektrik birim maliyeti (TL/kW)

4.2.6. Aylık trijenerasyon sistemi bakım ve işletme maliyeti

Trijenerasyon sisteminin aylık getirinin yanında servis ve yedek parça maliyetlerinin de hesaplanması gerekmektedir. Üretici firmalar saatlik periyodik bakım ve servis maliyetlerini ortalama 15 €, ağır bakım maliyetlerini ise yaklaşık olarak yatırım maliyetlerinin %40'ı olarak vermektedir. Bu doğrultuda yıllık bakım ve servis maliyeti eşitlik ... ile hesaplanmıştır:

$$M_{ST} = (M_{SH} \times t_M) + (M_{SL}/120) \quad (17)$$

M_{ST} : Aylık trijenerasyon bakım ve servis maliyeti (TL)

M_{SH} : Saatlik trijenerasyon bakım ve servis maliyeti (≈ 15 €)

t_M : Aylık çalışma süresi (h)

M_{SL} : Trijenerasyon sistemin ağır bakım ve servis maliyeti ($\frac{TL}{10 \text{ Yıl}}$)

Ağır bakımın 10 yılda bir yapılacağı ön görülerek aylık yansıması (10 Yıl / 12 Ay) üzerinden maliyet hesabı yapılmıştır.

4.2.7. Aylık trijenerasyon sistemi iç tüketim maliyeti

Trijenerasyon sisteminde ısıtma veya soğutma sistemi devrede iken bir iç tüketim söz konusu olmaktadır.

$$M_{iT} = M_{TP} \times t_M \times P_{iT} \quad (18)$$

M_{iT} : Aylık trijenerasyon sistemi iç tüketim maliyeti (TL)

t_M : Aylık çalışma süresi (h)

M_{TP} : Trijenerasyon sistemin elektrik birim maliyeti ($\frac{TL}{kW}$)

P_{iT} : Trijenerasyon sistemi saatlik iç tüketimi ($\frac{kW}{h}$)

Trijenerasyon sistemi saatlik iç tüketimi üretici tavsiyeleri doğrultusunda soğutma sistemi devrede iken 100 kW/h olarak alınmıştır.

Çizelge 4.3. Hesaplama kullanılan temel veriler

Sistem		1xCG170-20 (2 000 ekW)	1xCG170-16 (1 560 ekW)	1xCG170-12 (1 200 ekW)
Toplam Elektrik Üretim Kapasitesi (1XCG170-16)	kW	2 000	1 560	1 200
Motor Elektriksel Verimi	%	43	43	43
Motor Isıl Kapasitesi	kW	2 155	1 709	1 295
Absorbsiyonlu Chiller	-	Carrier 16JLH - Standard Single effect Hot water chiller	Carrier 16JLH - Standard Single effect Hot water chiller	Carrier 16JLH - Standard Single effect Hot water chiller
Absorpsiyonlu Chiller COP	-	0,82	0,82	0,82
Ağır Bakım Maliyeti	€/8 Yıl	€ 640 000	€ 560 000	€ 480 000
Trijenerasyon Enerji Tesisi Toplam Yatırım Maliyeti	EURO	€ 1 600 000	€ 1 400 000	€ 1 200 000
Doğalgaz Alt Isıl Değeri	kcal/m ³	8 250		
Elektrik Birim Fiyatı	TL/kWh	0,7391		
Doğal Gaz Birim Fiyatı	TL/m ³	1,8526		
Servis ve Yedek Parça Fiyatı	€/h	15		
İç Tüketim (Soğutma Sistemi Devredeyken)	kW	100		
Günlük Ortalama Çalışma Süresi	h	21		
Yıllık Faiz Oranı	%	14,14		
€ [18.05.2021 Tarihli TCMB Satış Kuru Baz Alınmıştır.]	TL	10,19		

Çizelge 4.5. 1 560 kW kapasiteli gaz motoru kullanılan trijenerasyon sistem analizi

			1xCG170-16 (1 560 eKW)											
			Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
ELEKTRİK	Trijen Sistemi Elektrik Üretim Kapasitesi	kW	1560	1560	1560	1560	1560	1560	1560	1560	1560	1560	1560	1560
	Tesisin Güç İhtiyacı	kW	1550	1400	1645	1554	1587	1552	1614	1621	1579	1654	1601	1655
	Yakıt Tüketimi	m³/h	375.6	339.2	378.1	376.6	378.1	376.2	378.1	378.1	378.1	378.1	378.1	378.1
	Motor Çalışma Yük Oranı	%	99,3	89,7	100,0	99,6	100,0	99,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Aylık Çalışma Süresi	h	651	588	651	630	651	630	651	651	630	651	630	651
	Trijen Sisteminde Üretilen Enerji	kW/Av	1008797.1	822993.7	1015560	978939.56	1015560	977942.9	1015560	1015560	982800	1015560	982800	1015560
	Trijen Sistemi Elektrik Birim Maliyeti	TL/kWh	0,44904	0,44904	0,44904	0,44904	0,44904	0,44904	0,44904	0,44904	0,44904	0,44904	0,44904	0,44904
	Trijen Sistemi Elektrik Birim Maliyeti (Bakım sarf mal. ve yağ dahil)	TL/kWh	0,57660	0,59027	0,57575	0,57625	0,57575	0,57638	0,57575	0,57575	0,57575	0,57575	0,57575	0,57575
	Aylık Elektrik Maliyeti	TL	745583	608259	791426	723516	763696	722779	776564	780020	735226	795917	745515	796228
	Trijende Üretilen Elektrik Maliyeti	TL	581676	485790	584713	564117	584713	563670	584713	584713	565851	584713	565851	584713
	Trijenerasyon Tesisin Getirisi	TL	163907	122470	206713	159398	178983	159109	191852	195308	169375	211205	179664	211515
SOĞUTMA	Motor Yüküne Göre Trijen Sistemin Ürettiği Soğutma	kW	1392	1257	1401	1396	1401	1394	1401	1401	1401	1401	1401	1401
	Tesisin Soğutma İhtiyacı	kW	1550	1400	1645	1554	1587	1552	1614	1621	1579	1654	1601	1655
	Mevcut Sistemde Soğutma İçin Harcanan Elektrik Enerjisi	kWh	766066	691931	825179	803861	824381	818645	863022	865266	802050	838683	806678	823882
	Soğutma İçin Harcanmayacak Elektrik Enerjisi	kWh	688173	621575	703019	722125	727841	735406	749331	747950	711819	710492	706046	697681
	Soğutma İçin Harcanmayacak Elektrik Maliyeti	TL	508616	459395	519588	533709	537934	543524	553816	552796	526092	525111	521825	515643
GELİR / GİDER TOPLAMI DÖNÜŞ SÜRESİ	Gider / Servis Yedek Parça (Bakım sarf malz. vanma ve değişim yağı dahil)	TL/Av	99457	89832	99457	96248	99457	96248	99457	99457	96248	99457	96248	99457
	Gider / İç Tüketim	TL/Av	29232	26403	29232	28289	29232	28289	29232	29232	28289	29232	28289	29232
	Doğalgaz Gideri	TL/Av	452987	369554	456024	439580	456024	439132	456024	456024	441313	456024	441313	456024
	KAR	TL/Av	543834	465629	597612	568570	588228	578096	616979	619415	570929	607627	576951	598469
												Toplam Yıllık Kar		
												6 932 339 TL		
												€ 680 642		
												Yıl	Av	
												Geri Dönüş Süresi	2,61	31

4.2.8. Karbon salımı

Elektrik üretiminde ağırlıklı olarak fosil yakıtlar kullanıldığı için üretim santralleri karbon salımına önemli oranda negatif katkı sağlamaktadır. Şebeke elektriği kullanan tüm tesisler de dolaylı olarak karbon salımına neden olmaktadır.

Trijenerasyon sisteminin kullanılmasıyla birlikte şebekeden alınan elektriğin üretim aşamasında ortaya çıkan CO₂ miktarı düşecektir. Bu bölümde kullanılan cihazların ürettiği elektrik miktarının şehir şebekesinden alınması durumunda doğaya salınacak CO₂ miktarı hesaplanmıştır. Projenin kurulacağı bölgedeki şehir şebekesinin CO₂ (kgCO₂/kwh) miktarı ve şebekenin üretim verimi değişiklik gösterebilmektedir.

$$m_{CO_2} = \frac{E_y \times m_{CO_2/kWh}}{\mu_U} \quad (19)$$

m_{CO_2} : Yıllık CO₂ salımı (kg CO₂)

E_y : Yıllık elektrik üretimi/kullanımı (kWh)

$m_{CO_2/kWh}$: kWh başına CO₂ salımı

μ_U : Şebeke verimliliği

Çizelge 4.7. Yıllık karbon salımı

	E_y [kWh]	m_{CO_2} (kg CO ₂)
Sistem 1	12 156 619,12	16 335 457
Sistem 2	11 847 633,28	15 920 257
Sistem 3	9 198 000,00	12 359 813

Burada;

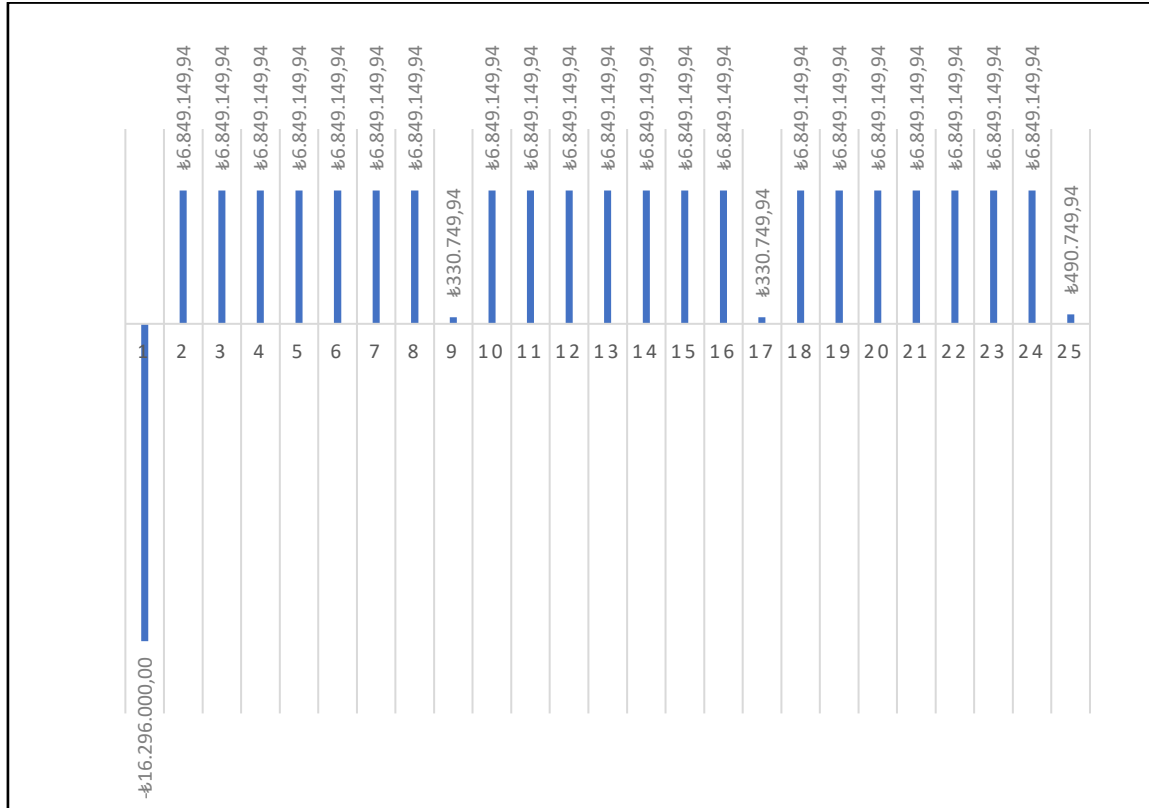
$m_{CO_2/kWh}$: 0,43

μ_U : %32

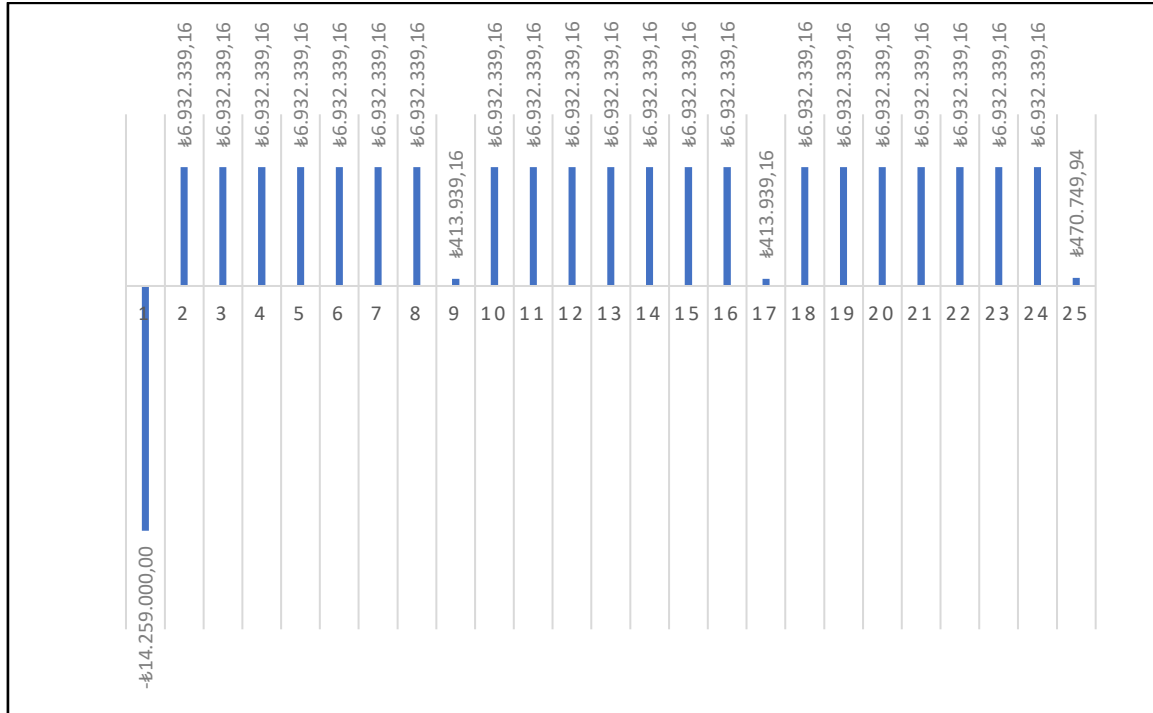
olarak alınmıştır.

4.3. Ekonomik Analiz

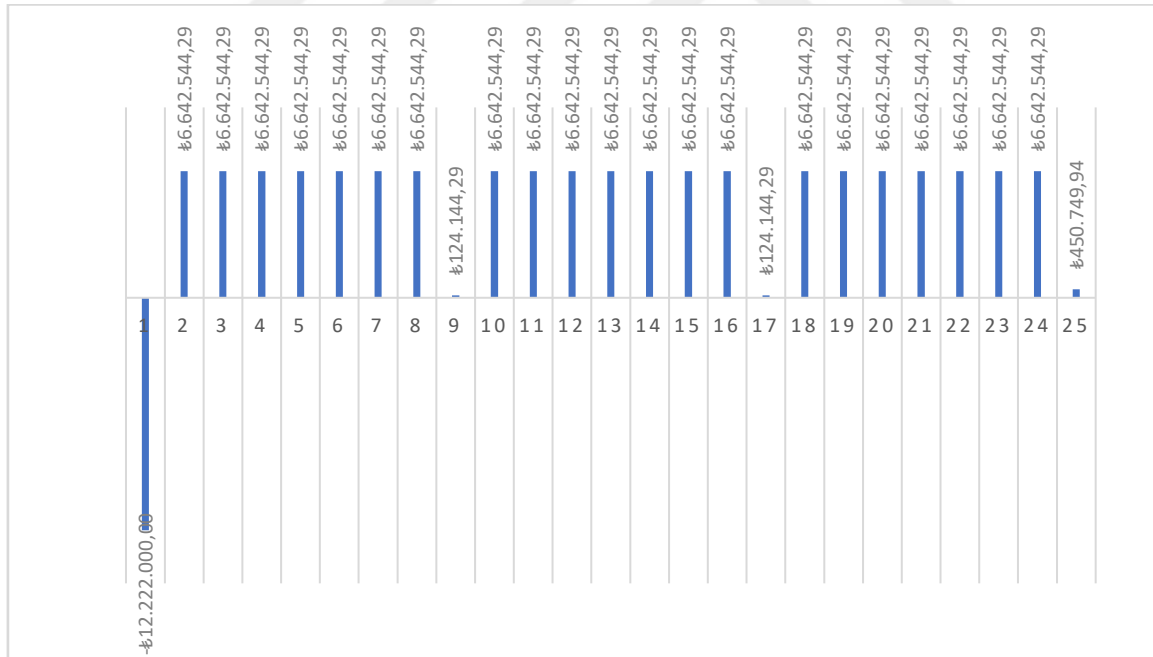
Kurulabilecek her üç sistem için de 24 yıllık pozitif ve negatif ekonomik veriler incelenmelidir. Buna göre bir sonraki aşamada Net Bugünkü Değer (NBD) ve İç Verim Oranı (İVO) hesaplamaları ile kurulacak sistemlerden hangisinin uygulanabilir olduğu değerlendirilebilecektir.



Şekil 4.8. 2 000 kWe kapasiteli sistem için 24 yıllık pozitif ve negatif maliyetler



Şekil 4.9. 1 560 kWe kapasiteli sistem için 24 yıllık pozitif ve negatif maliyetler



Şekil 4.10. 1 200 kWe kapasiteli sistem için 24 yıllık pozitif ve negatif maliyetler

4.3.1. Net bugünkü değer (NBD)

Veri merkezinde trijenerasyon sistemi kurulması durumunda 24 yıl için toplam elde edilecek kar-zarar miktarını belirlemek için “Net Bugünkü Değer” (NBD) (NPV-Net Present Value) hesabının yapılması gerekmektedir.

$$NBD = \sum_{n=0}^d \frac{NNA_n}{(1+k)^n} \quad (20)$$

NBD: Net bugünkü değer,

NNA: Döneme ait net nakit akışı,

k: işletmenin beklediği net kazanç oranı

Burada k değeri son 20 yıl için (2001-2020) ortalama enflasyon oranına denk olarak 0,1414; n değeri ise 24 yıl olarak alınmıştır. Trijenerasyon sisteminin ilk yatırım maliyeti negatif (-), yıllık kar miktarları ve sistemin 24 yıl sonraki ikinci el satış fiyatı pozitif (+) değer olarak hesaba katılmıştır. Burada 24 yıl sonraki hurda satış fiyatı sistemin ilk yatırım maliyetinin %10'u olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda yıllık toplam kar miktarı her sene için sabit olarak girilmiştir.

Çizelge 4.8. Net bugünkü değer hesabı

Yıl	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3
0	-₺ 16 296 000,00	-₺ 14 259 000,00	-₺ 12 222 000,00
1	₺ 6 000 657,03	₺ 6 073 540,53	₺ 5 819 646,30
2	₺ 5 257 277,93	₺ 5 321 132,41	₺ 5 098 691,34
3	₺ 4 605 990,83	₺ 4 661 934,82	₺ 4 467 050,42
4	₺ 4 035 387,09	₺ 4 084 400,58	₺ 3 913 659,03
5	₺ 3 535 471,43	₺ 3 578 412,99	₺ 3 428 823,40
6	₺ 3 097 486,80	₺ 3 135 108,63	₺ 3 004 050,64
7	₺ 2 713 760,99	₺ 2 746 722,12	₺ 2 631 899,98
8	₺ 114 814,52	₺ 143 692,32	₺ 43 094,69
9	₺ 2 083 031,61	₺ 2 108 331,94	₺ 2 020 196,64
10	₺ 1 824 979,50	₺ 1 847 145,56	₺ 1 769 928,72
11	₺ 1 598 895,66	₺ 1 618 315,72	₺ 1 550 664,73
12	₺ 1 400 819,75	₺ 1 417 833,99	₺ 1 358 563,81
13	₺ 1 227 282,06	₺ 1 242 188,53	₺ 1 190 260,91
14	₺ 1 075 242,74	₺ 1 088 302,55	₺ 1 042 807,88
15	₺ 942 038,50	₺ 953 480,42	₺ 913 621,76
16	₺ 39 856,02	₺ 49 880,48	₺ 14 959,63
17	₺ 723 090,93	₺ 731 873,53	₺ 701 278,78
18	₺ 633 512,29	₺ 641 206,88	₺ 614 402,30
19	₺ 555 030,92	₺ 561 772,28	₺ 538 288,33
20	₺ 486 272,05	₺ 492 178,27	₺ 471 603,58
21	₺ 426 031,23	₺ 431 205,78	₺ 413 179,94
22	₺ 373 253,23	₺ 377 786,73	₺ 361 993,99
23	₺ 327 013,52	₺ 330 985,40	₺ 317 149,10
24	₺ 20 528,23	₺ 19 691,62	₺ 18 855,01
NBD	₺ 26 801 724,86	₺ 29 398 124,08	₺ 29 482 670,91

4.3.2. İç verim oranı (İVO)

Veri merkezinde işletme esnasında elde edilecek yıllık kar oranları baz alınarak 24 yıl için toplam karlılık oranını ortaya koyabilmek için “İç Verim Oranı” (İVM) (IRR- Internal Rate of Return) hesabının yapılması gerekmektedir.

İç Karlılık Oranı, bir projenin ekonomik ömrü boyunca sağlayacağı net nakit girişlerinin bugünkü değerini, yatırım harcamalarının bugünkü değerine eşitleyen indirgeme oranıdır. Diğer bir ifadeyle bir projenin net bugünkü değerini sıfıra eşit kılan indirgeme oranıdır. Bu tanıma göre iç karlılık oranı, aşağıdaki formülle hesaplanır.

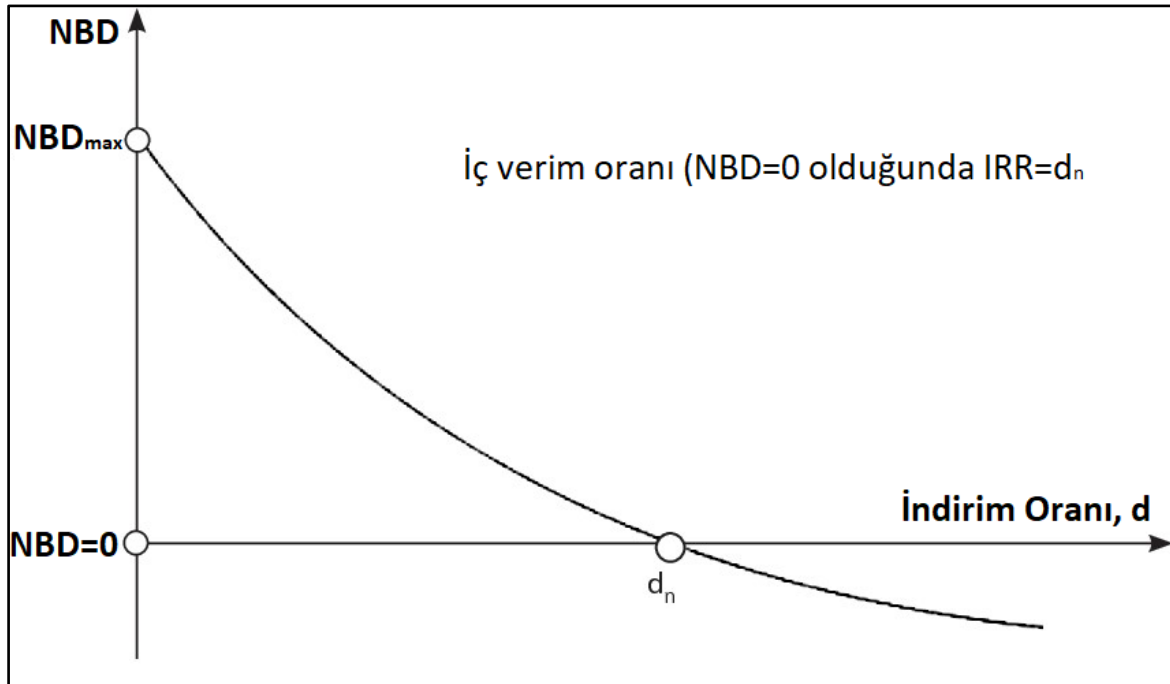
$$0 = -I_0 + \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} \quad (21)$$

IRR : İç verim oranı,

CF : Projeden sağlanacak yıllık net nakit akışı (Cash flow),

T : projenin ekonomik ömrü

I_0 : Projenin ilk yatırım maliyeti



Şekil 4.11. İç verim oranı

Çizelge 4.9. İç verim oranı hesabı

Yıl	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3
0	-₺16 296 000,00	-₺14 259 000,00	-₺12 222 000,00
1	₺6 392 162,10	₺6 383 240,75	₺6 289 065,76
2	₺6 392 162,10	₺6 383 240,75	₺6 289 065,76
3	₺6 392 162,10	₺6 383 240,75	₺6 289 065,76
4	₺6 392 162,10	₺6 383 240,75	₺6 289 065,76
5	₺6 392 162,10	₺6 383 240,75	₺6 289 065,76
6	₺6 392 162,10	₺6 383 240,75	₺6 289 065,76
7	₺6 392 162,10	₺6 383 240,75	₺6 289 065,76
8	-₺126 237,90	-₺135 159,25	-₺229 334,24
9	₺6 392 162,10	₺6 383 240,75	₺6 289 065,76
10	₺6 392 162,10	₺6 383 240,75	₺6 289 065,76
11	₺6 392 162,10	₺6 383 240,75	₺6 289 065,76
12	₺6 392 162,10	₺6 383 240,75	₺6 289 065,76
13	₺6 392 162,10	₺6 383 240,75	₺6 289 065,76
14	₺6 392 162,10	₺6 383 240,75	₺6 289 065,76
15	₺6 392 162,10	₺6 383 240,75	₺6 289 065,76
16	-₺126 237,90	-₺135 159,25	-₺229 334,24
17	₺6 392 162,10	₺6 383 240,75	₺6 289 065,76
18	₺6 392 162,10	₺6 383 240,75	₺6 289 065,76
19	₺6 392 162,10	₺6 383 240,75	₺6 289 065,76
20	₺6 392 162,10	₺6 383 240,75	₺6 289 065,76
21	₺6 392 162,10	₺6 383 240,75	₺6 289 065,76
22	₺6 392 162,10	₺6 383 240,75	₺6 289 065,76
23	₺6 392 162,10	₺6 383 240,75	₺6 289 065,76
24	₺33 762,10	₺13 762,10	-₺6 237,90
İVO	37,96%	43,59%	50,39%

4.3.3. Geri Ödeme Süresi

Alternatif yatırım değerlendirmesinde ilk yatırım maliyeti ve işletme giderleri finansal olarak negatif etki ederken elde edilen kazanç veya gelirler pozitif olarak etki oluşturacaktır. Burada kazançların giderlere eşitlendiği nokta, yatırımın kendini amorti ettiği süre veya geri ödeme süresi olarak isimlendirilir.

Geri ödeme süresi hesabında yıllık faiz oranları hesaba katılarak reel kazanç ve giderlere göre hesaplama yapılmıştır. Burada NBD hesabında bulunan yıllık kazanç durumu kullanılmıştır.

Basit olarak zaman faktörü hesaba katılmadan ilk yatırım maliyeti yıllık kazanca oranlanarak geri dönüş süresi hesaplanabilmektedir. Ancak gerçek bir hesaplama yapmak için paranın bugünkü değeri baz alınarak işlem yapılmalıdır.

$$GÖS = \frac{M_{İY}}{K_Y} \quad (22)$$

GÖS: Geri ödeme süresi

$M_{İY}$: İlk yatırım maliyeti

K_Y : Yıllık kazanç



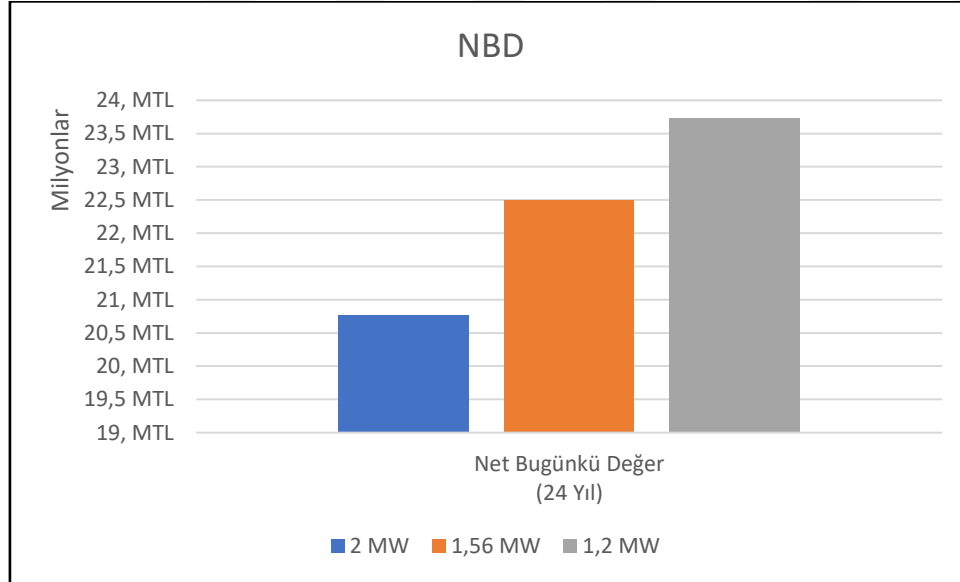


5. SONUÇ

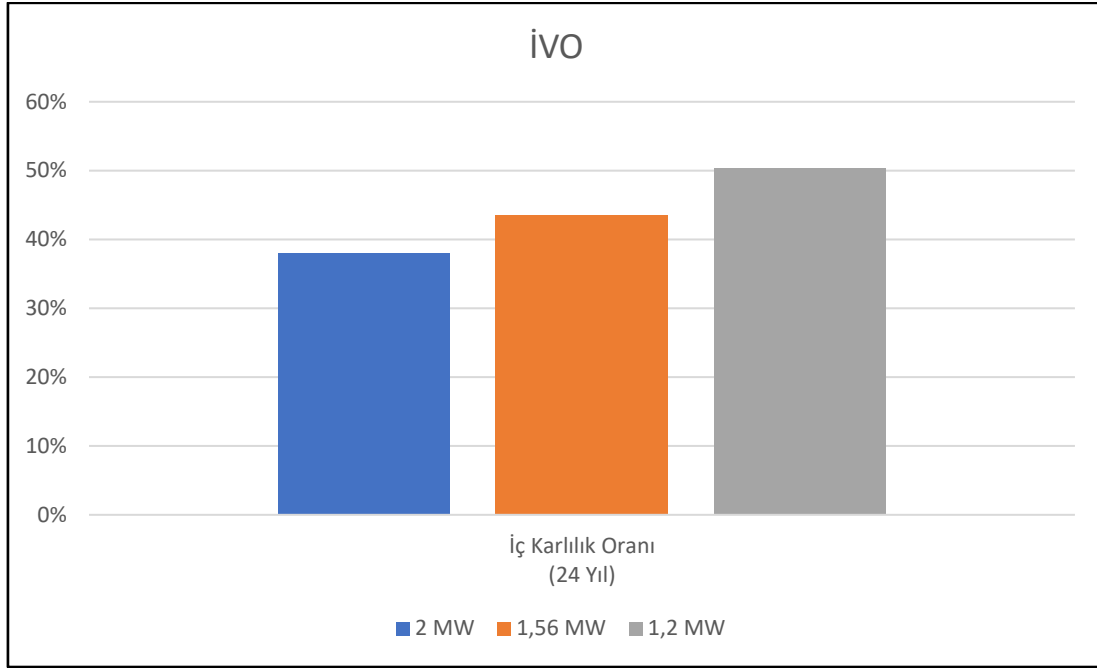
Bu çalışmada yakın geçmişte ortaya çıkmış olan “Veri Merkezi” tesislerinin hızla artan enerji ihtiyaçları doğrultusunda nispeten alternatif ve düşük maliyetli enerji altyapısı olan trijenerasyon sistem yatırımı ele alınmış ve klasik olarak tercih edilen şebeke-jeneratör sistemlerine göre ekonomik kıyaslaması yapılmıştır.

24 yıllık süreçte yatırım ve işletme maliyetleri baz alınarak 2 000 kWe, 1 560 kWe ve 1 200 kWe kapasiteli trijenerasyon sistemleri karşılaştırıldığında aylık kar oranları açısından 2 000 kWe kapasiteli sistemin daha avantajlı olduğu kanaati oluşmaktadır. Ancak gerek ilk yatırım maliyetleri gerekse 24 yıl boyunca ortaya çıkan ağır bakım dahil işletme maliyetleri ele alındığında 2 000 kWe kapasiteli sistemin diğerlerine göre dezavantajlı duruma geçtiği görülmektedir.

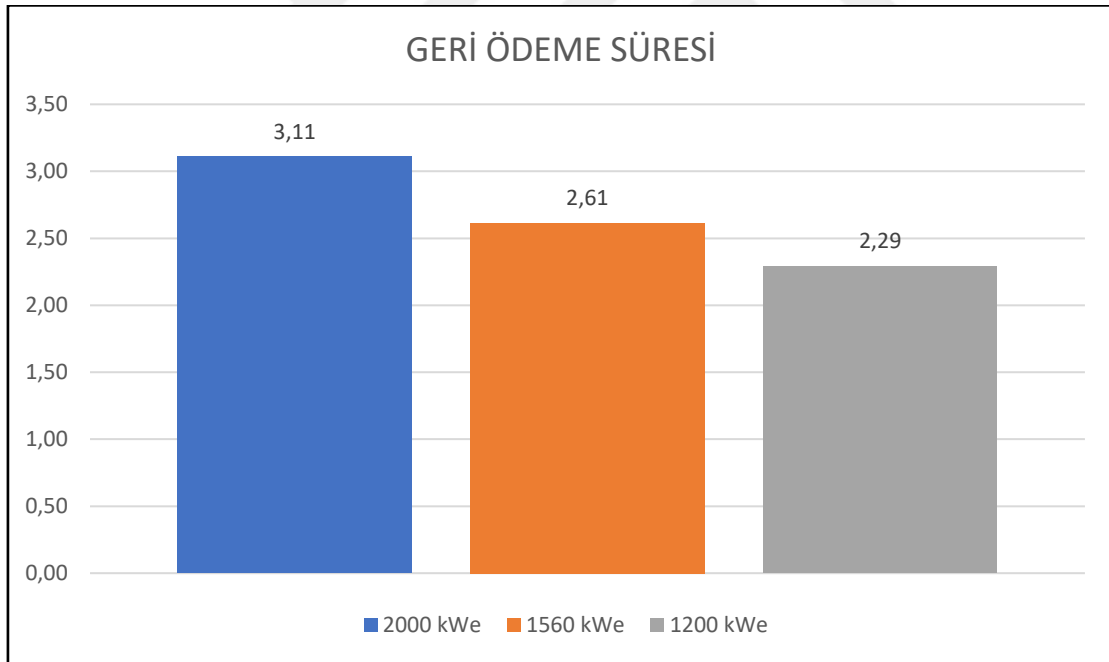
Şekil 5.1. ve Şekil 5.2.’daki veriler değerlendirildiğinde NBD ve İVO parametrelerinin 1,2 MW kapasiteli trijenerasyon tesisi kurulması durumunda uygun olacağı görülmektedir.



Şekil 5.1. Üç farklı güçteki trijenerasyon sistemi için 24 yıllık NBD grafiği



Şekil 5.2. Üç farklı güçteki trijenerasyon sisteminin 24 yıl için İVO grafiği



Şekil 5.3. Üç farklı sistem için geri ödeme süreleri

Yatırım ve işletme maliyet avantajının yanında tesisin kesintisiz çalışma ihtiyacının da değerlendirilmesi gerekmektedir. Buna göre tasarıma bağlı olarak ilk yatırım maliyetlerinde artışlar söz konusu olacaktır. Bu tez çalışmasında sistem yedeklemesi değerlendirmeye dahil edilmemiştir.

Burada hesaplamalar incelendiğinde aylık kar miktarları her ne kadar 2 000 kW ve 1 560 kW kapasiteli sistemler için 1200 kW kapasiteli sisteme göre daha yüksek görünse de 24 yıllık maliyet ve kazançlar hesaba katıldığında rutin işletme ve ağır bakım maliyetlerinden dolayı 1 200 kW kapasiteli sistemin daha uygulanabilir olduğu ortaya çıkmaktadır.





6. DEĞERLENİRME VE ÖNERİLER

Yeni kurulacak bir veri merkezi için hali hazırda en yaygın şekilde kullanılan klasik enerji ve soğutma alt yapısı (Şebeke-jeneratör, UPS, DX soğutma) yerine trijenerasyon sistemi tesis edilmesi durumunda, yapılan değerlendirmelere göre, her durumda trijenerasyon tesisinin daha karlı olacağı görülmektedir.

Mevcut veri merkezlerinde TIER 3 standardında bir altyapı tesis edilmesi durumunda genellikle N+1 şeklinde yedeklilik sağlanmaktadır. Burada “N” ihtiyaç olan ekipman sayısını belirtmektedir.

Daha güvenli bir sistem ve kesintisiz bir tesis istenmesi durumunda ise N+N şeklinde altyapı da tercih edilebilmektedir. Bu durumda birincil altyapı trijenerasyon sistemi, yedek altyapı şebeke-jeneratör olacak şekilde tesis edilebilir. Bu durumda normal işletme koşullarında trijenerasyon tesisi üzerinden elektrik ve soğutucu akışkan temini sağlanacak olup arıza ve bakım durumlarında şebeke-jeneratör altyapısından sistem çalışmasını sürdürecektir.

Bu tür tesislerin toplam sahip olma maliyetleri gerçek karlılık oranlarının hesaplanabilmesi adına son derece önem arz etmektedir. Doğru maliyet hesaplamaları yatırımların uzun vadede beklenen kar oranlarının yakalanmasını sağlayacaktır. Aksi takdirde hesaba katılmayan her etken uzun vadede beklenen karlılık oranlarından biraz daha uzaklaşılmasına neden olacaktır.

Tesisin işletmesinde bir yıllık enerji tüketim verileri değerlendirildiğinde yük profilinden baz yüke göre sistem seçimi yapılırsa, kurulacak olan trijenerasyon sisteminin yıl boyunca verimli çalışmasını teminen tam kapasiteli çalışması sağlanmış olacaktır. Büyük kapasiteli tesis kurulması hem sistemin verimsiz çalışmasına neden olacak, hem de işletme ve bakım maliyetleri nedeniyle ekonomikliği düşürecektir.

Veri merkezlerindeki yük profili alışveriş merkezleri, hastaneler, eğitim kurumları vb. tesislere göre uzun vadede daha hızlı yükselme eğilimde olmakla beraber, kısa vadelerde daha stabil olmaktadır. Örneğin bir alışveriş merkezinde gece elektrik ve ısıtma-soğutma yükleri asgari seviyeye inerken gündüz pik yüklere erişilmektedir. Yine hafta içi ve hafta sonu yükleri ile mevsimsel yükler arasında da oldukça farklılıklar oluşmaktadır. Bir veri

merkezinde ise ısıtma yükü yok denecek kadar az olmakla birlikte temel enerji ihtiyacı elektrik ve soğutma için olmaktadır. Tam da bu noktada veri merkezleri için yüksek soğutma ihtiyaçlarından dolayı trijenerasyon sisteminin verimi ön plan çıkmaktadır.

Verimlilik ve ekonomiklik açısından indirekt evaporatif soğutma sistemleri (IEC), doğal soğutma sistemler (FC) gibi soğutma açısından alternatif sistemler de değerlendirilebilir. Yine elektrik enerjisi açısından güneş enerji panelleri alternatif olarak kullanılabilecek sistemlerdendir.

Veri merkezlerinin tasarımı yapılırken bölge seçimi, ulaşım imkanları, enerji temin noktalarına yakınlık, iklim şartları gibi birçok konu ele alınarak tasarım yapılmaktadır. Bu noktada elektrik ve soğutma altyapısı da tüm bu kriterlerle birlikte ele alınmalı ve en ideal sistem seçimi belirlenmelidir.

KAYNAKLAR

- İnternet: Abramovich, B., Bogdanov, I., Kopteva, A., & Malarev, V. (2019). The System Of Trigeneration With Binary Cycle For Use As An Energy Source For Gas Fuel. *International Scientific Electric Power Conference*, (643). Web: https://www.researchgate.net/publication/337226098_The_system_of_trigeneration_with_binary_cycle_for_use_as_an_energy_source_for_gas_fuel adresinden 21.02.2021'de alınmıştır.
- İnternet: Afonso, C., & Rocha, C. (2016). Evaluation of the economic viability of the application of a trigeneration system in a small hotel. *Future Cities and Environment*. Porto, Portugal. Web: https://www.researchgate.net/publication/299528217_Evaluation_of_the_economic_viability_of_the_application_of_a_trigeneration_system_in_a_small_hotel adresinden 10.02.2021'de alınmıştır.
- Al Moussawi, H., Fardoun, F., & Louahl, H. (2017). Selection based on differences between cogeneration and trigeneration in various prime mover technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 74, 491–511.
- ASHRAE. (2015). *Heating, Ventilating, and Air-Conditioning APPLICATIONS*. Atlanta.
- Bagade, S., Rampure, P., Shelar, M., & Mahajan, S. (2019). Trigeneration Systems: A Review. *International Journal Of Research In Advent Technology*, 38-43.
- İnternet: Bamisile, O., Huang, Q., Anane, O. K., & Dagbasi, M. (2019). Performance Analyses of a Renewable Energy Powered System for Trigeneration. *MDPI-Sustainability*, 11(21). Web: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/21/6006/pdf> adresinden 11.02.2021'de alınmıştır.
- İnternet: Bartnik, R., Buryn, Z., Hnydiuk-Stefan, A., Skomudek, W., & Ottawa, A. (2020). Thermodynamic and Economic Analysis of Trigeneration System Comprising a Hierarchical Gas-Gas Engine for Production of Electricity, Heat and Cold. *MDPI-Energies*. Web: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/4/1006/pdf> adresinden 11.02.2021'de alınmıştır.
- İnternet: Calise, F., Cappiello, F. L., d'Accadia, M. D., Libertini, L., & Vicidomini, M. (2020). Dynamic Simulation and Thermoeconomic Analysis of a Trigeneration System in a Hospital Application. *MDPI-Energies*. Web: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/14/3558/pdf> adresinden 11.02.2021'de alınmıştır.
- Capozzolia, A., & Primiceria, G. (2015). Cooling systems in data centers: state of art and emerging technologies. *7th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings* (484 – 493). Abu Dhabi: Energy Procedia.

- İnternet: Carvalho, M., Lozano, M. A., Serra, L. M., & Wohlgemuth, V. (2010). Modeling a simple trigeneration system: Environmental costs. *International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake*. Ottawa, Canada: International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs). Web: https://www.researchgate.net/publication/271072382_Modeling_a_simple_trigeneration_system_Environmental_costs adresinden 12.02.2021'de alınmıştır.
- İnternet: Chatzopoulou, M., Salvador, A., Oyewunmi, O., & Markides, C. (2017). Thermodynamic And Economic Evaluation Of Trigeneration Systems In Energy-Intensive Buildings. *13th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics*. Portoroz, Slovenia. Web: https://www.researchgate.net/publication/318508423_Thermodynamic_and_economic_evaluation_of_trigeneration_systems_in_energy-intensive_buildings adresinden 12.02.2021'de alınmıştır.
- İnternet: Darrow, K., & Hedman, B. (2009). *Opportunities for Combined Heat and Power in Data Centers*. Arlington: ICF International. Web: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/11/f4/chp_data_centers.pdf adresinden 12.02.2021'de alınmıştır.
- İnternet: Dong, Y., Wang, W., Zhang, X., Lin, J., & Luo, H. (2019). Optimal Operation of a Trigeneration System Based on Gas Steam Combined Cycle. *E3S Web of Conferences*. ICBTE 2019. Web: https://www.researchgate.net/publication/328344774_Review_of_cogeneration_and_trigeneration_systems adresinden 12.02.2021'de alınmıştır.
- İmal, M., Kaya, A., Güneş, M., Kuyumcu, M. E., & Sönmez, K. (2015). Birleşik Isı ve Güç Üreten Sistemlerin Uygulamalı Analizi ve KSÜ Hastanesi Örnek Çalışması. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(2), 33-40.
- İnternet: Jamaluddin, K., Wan Alvi, S. R., Manan, Z. A., Hamzah, K., & Klemeš, J. J. (2019). A Process Integration Method for Total Site Cooling, Heating and Power Optimisation with Trigeneration Systems. *MDPI-Energies*. Web: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/6/1030/pdf> adresinden 13.02.2021'de alınmıştır.
- İnternet: Jamaluddin, K., Wan Alwi, S., Abd Manan, Z., Hamzah, K., & Klemes, J. J. (2020). Performance of Centralised Trigeneration Plant On Sensitivity Analysis of Total Site System. *5th International Conference of Chemical Engineering and Industrial Biotechnology (ICCEIB 2020)* (991). Kuala Lumpur: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Web: https://www.researchgate.net/publication/347853286_Performance_of_Centralised_Trigeneration_Plant_on_Sensitivity_Analysis_of_Total_Site_System adresinden 20.02.2021'de alınmıştır.

- İnternet: Kang, E.-C., Lee, E.-J., Ghorab, M., Yang, L., Entchev, E., Lee, K.-S., & Lyu, N.-J. (2016). Investigation of Energy and Environmental Potentials of a Renewable Trigeneration System in a Residential Application. *MDPI-Energies*. Web: <https://www.mdpi.com/1996-1073/9/9/760/pdf> adresinden 13.02.2021'de alınmıştır.
- İnternet: Klimenko, A., Agababov, V., Petin, S., Koryagin, A., & Korshikova, A. (2020). Evaluating the Effect from Shifting a Small-Scale Cogeneration Power Facility to Operate as a Trigeneration Plant. *The Third Conference "Problems of Thermal Physics and Power Engineering"*. Journal of Physics Conference Series 1683. Web: https://www.researchgate.net/publication/350200906_Evaluating_the_Effect_from_Shifting_a_Small-Scale_Cogeneration_Power_Facility_to_Operate_as_a_Trigeneration_Plant adresinden 25.02.2021'de alınmıştır.
- İnternet: Kumar, N. M., & Singh, N. K. (2017). Study on Energy and Environmentally Efficient Cogeneration and Trigeneration Methods. *6th World Conference on Applied Sciences, Engineering & Technology*. UMPO, Indonesia: Basha Research Centre. Web: https://www.researchgate.net/profile/Nallapaneni-Manoj-Kumar/publication/319528436_Study_on_Energy_and_Environmentally_Efficient_Cogeneration_and_Trigeneration_Methods/links/59b1301baca2728472d0fc56/Study-on-Energy-and-Environmentally-Efficient-Cogeneration-and-Trigeneration-Methods.pdf adresinden 13.02.2021'de alınmıştır.
- Lahoud, C., Al Asmar, J., & Brouche, M. (2018). Review Of Cogeneration and Trigeneration Systems. *African Journal Of Engineering Research*, 39-54.
- İnternet: Lazic, N., Lu, T., Boutilier, C., & Ryu, M. (2018). Datacenter cooling using model-predictive control. *32nd Conference on Neural Information Processing Systems*. Montréal. Web: <https://proceedings.neurips.cc/paper/2018/file/059fdcd96baeb75112f09fa1dcc740cc-Paper.pdf> adresinden 14.02.2021'de alınmıştır.
- İnternet: Liu, Y., Yue, H., Zhang, H., & Chen, H. (2020, November 11). Design and Transient Analysis of a Natural Gas-Assisted Solar LCPV/T Trigeneration System. *Energies 2020*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Web: https://www.researchgate.net/publication/345890285_Design_and_Transient_Analysis_of_a_Natural_Gas-Assisted_Solar_LCPVT_Trigeneration_System adresinden 15.02.2021'de alınmıştır.
- Lozano, M. A., Carvalho, M., Ramos, J. C., & Serra, L. M. (2009). Thermoeconomic Analysis of Simple Trigeneration Systems. *Int. J. of Thermodynamics*, 147-153.
- İnternet: Matteo, D., Roberto, F., & De Luca, S. (2018). Energetic and economic analysis of a solar assisted trigeneration system. *EuroSun 2018 Conference Proceedings*. International Solar Energy Society. Web: https://www.researchgate.net/publication/328137677_Energetic_and_Economic_A

nalysıs_of_a_Solar-Assisted_Trigeneration_System adresinden 15.02.2021'de alınmıştır.

İnternet: Mishra, K. M., & Singh, O. (2020). Thermodynamic Review Of Trigeneration Systems For Power, Heating And Cooling Requirements. *E3S Web of Conferences*, 220. Web: https://www.researchgate.net/publication/349430225_Thermodynamic_Review_of_Trigeneration_Systems_for_Power_Heating_and_Cooling_Requirements adresinden 17.02.2021'de alınmıştır.

Nazari, M. E., Bahravar, S., & Olamaei, J. (2020). Effect of storage options on price-based scheduling for a hybrid trigeneration system. *Int J Energy Res.*, 1-15.

İnternet: Perrone, D., Morrone, P., Castiglione, T., Algieri, A., & Bova, S. (2018). Analysis of a Trigeneration Plant under Transient Operating Conditions. *73rd Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association*. ScienceDirect. Web: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610218304399> adresinden 15.02.2021'de alınmıştır.

Rashidi, A., Habibzadeh, B., & Rezaie, C. (2016, March 27). Study Of An Absorption Machine For An Ammonia-Water System Decentralized Trigeneration. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 552-568.

İnternet: Santo, D. B. (2019, April). *Evaluating Engine Trigeneration Systems Potential in Temperate Climate Through an Annual Simulation Analysis using the Equivalent Thermal Efficiency (ETE) Criteria – Hotel Building Case Study*. Researchgate. Web: <https://www.researchgate.net/publication/332325396> adresinden 17.02.2021'de alınmıştır.

İnternet: Shelar, M., Bagade, S., & Kulkarni, G. (2013). Review Of Trigeneration Systems And Approaches Analyzing Them. *Proceedings of International Conference on Advances in Mechanical Engineering*. Maharashtra, India. Web: https://www.researchgate.net/publication/333641722_Trigeneration_Systems_A_Review adresinden 11.02.2021'de alınmıştır.

İnternet: Sustainable Engineering Lab. (2019). *Estimated Total Annual Building Energy Consumption at the Block and Lot Level for NYC*. Web: <https://qsel.columbia.edu/nycenergy/about.html> adresinden 21.02.2021'de alınmıştır.

Szargut, J. (2007). Local And System Exergy Loses In Cogeneration Processes. *Int. J. Of Thermodynamics*, (135-142). Poland.

Telkoder. (2015). *Veri Merkezi İşletmeciliği Raporu*. Telkoder Serbest Telekomünikasyon İşletmecileri Derneği, Ankara, 4-5

- The British Standards Institution. (2016). Part 4-2: Power Usage Effectiveness. *Information technology — Data centre facilities and infrastructures*. BSI Standards Limited. 9-19
- Viktarovich, N. (2015). Efficient Conversion Of Energy In The Conditions Of Trigeneration Of Heat, Cooling And Electric Power. *IAPGOŚ 4/2015*, 48-51.
- Yılmazoğlu, M. Z. (2017).Decreasing Energy Consumption and Carbon Footprint in a School Building: A Comparative Study on Energy Audits, *International Journal of Global Warming*, 13, 2, 237-257.
- Yong, W. N., Liew, P. Y., Wan Alwi, S. R., & Klemeš, J. J. (2020, April 24). Combined Cooling, Heating and Power Integration for Locally Integrated Energy Sector. *Chemical Engineering Transactions*, 949-954.







GAZİ GELECEKTİR..