



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ÖRNEK BİR VERİ MERKEZİ İÇİN ISIL YÜKLERİN FARKLI YAZILIMLAR KULLANILARAK KARŞILAŞTIRILMASI

KAAN YILMAZKARASU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği (Türkçe) Anabilim Dalı
Makine Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Doç. Dr. Ayhan ONAT

İSTANBUL, 2021



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ÖRNEK BİR VERİ MERKEZİ İÇİN ISIL YÜKLERİN FARKLI YAZILIMLAR KULLANILARAK KARŞILAŞTIRILMASI

KAAN YILMAZKARASU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği (Türkçe) Anabilim Dalı
Makine Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Doç. Dr. Ayhan ONAT

İSTANBUL, 2021

TEŞEKKÜR

Tez çalışması sürecinde değerli yönlendirmeleri, fikirleri ve desteğiyle çalışmaların ilerlemesi için öncülük eden danışman hocam Doç. Dr. Ayhan ONAT'a teşekkür ederim.

Tez çalışmasında ve meslek hayatımda kullanmakta olduğum teknik bilgiler ve tecrübeleri edinmemde büyük emekleri olan başta sevgili patronum ve meslektaşım Behnam AGHBALI'ye, sevgili eşi ve meslektaşım Maryam KORDBACHEH'e, yine mesai arkadaşım, meslektaşım ve değerli bir abim olan sevgili Fatih ALKAN'a ve diğer tüm mesai arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Eğitim hayatımın ilk gününden itibaren maddi ve manevi her konuda desteklerini esirgemeyen anneme, babama ve abime teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2021

Kaan YILMAZKARASU

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
SEMBOLLER	vi
KISALTMALAR	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Taraması	4
1.3 Veri Merkezleri.....	10
1.3.1 Veri merkezlerinde enerji verimliliği.....	10
1.3.2 Veri merkezlerinin önemi.....	13
1.3.3 Veri merkezlerinde kullanılan ekipmanlar	13
1.3.4 Veri merkezi ekipmanları iş yükü	15
1.3.5 Veri merkezlerinde ısı yükleri etkileyen parametreler.....	16
1.3.6 Veri merkezlerinde kullanılan iklimlendirme sistemleri.....	25
1.4 Çalışmada Kullanılacak Isıl Hesap Yazılımlarının Tanıtılması	34
1.4.1 Yapı bilgi modellemesi kavramı (BIM)	34
1.4.2. Yazılımlar.....	35
1.4.3 Kabul edilen standartlar ve matematiksel metotların incelenmesi.....	36
2. MATERYAL VE YÖNTEM	45
2.1 3 Boyutlu Mimari Model Oluşturma	45
2.1.1 Cype ile mimari modelleme	46
2.1.2 Revit ile Mimari Modelleme	47
2.1.3 Trace 700 ile mimari modelleme	48
2.1.4 HAP ile mimari modelleme	49
2.2 Soğutma Yük Hesapları.....	50
2.2.1 Cype ile soğutma yükü hesabı.....	50
2.2.2 Revit ile soğutma yükü hesabı	52

2.2.3 Trace ile soğutma yükü hesabı	52
2.2.4 HAP ile soğutma yükü hesabı	53
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	55
3.1 Soğutma Yük Analizleri	55
3.1.1 Dış Duvarlardan Gelen Yükler.....	55
3.1.2 İç Duvarlardan Gelen Yükler	56
3.1.3 Çatılardan Gelen Yükler.....	56
3.2 Standart Analizleri.....	57
3.3 Cihaz Yükleri ve Diğer Isıl Yüklerin Karşılaştırılması	57
3.4 BIM Tabanlı Yazılımlar	58
3.5 Karbon Ayak İzi	60
4. SONUÇLAR	64
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

ÖRNEK BİR VERİ MERKEZİ İÇİN ISIL YÜKLERİN FARKLI YAZILIMLAR KULLANILARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Günümüzde enerji tüketimi, gelişmekte olan ülkelerin giderlerinin büyük çoğunluğunu oluşturmakta ve bu durum enerji tüketim miktarlarını etkileyebilecek etmenlerin irdelenerek, bir mühendislik bakış açısı ve akıl süzgecinden geçirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Kişisel hayatlarımızda her türlü iş için, verilerin elektronik dönüşümü bir gereklilik olmuştur. Dolayısıyla sayısal bilginin anlık iletimini en iyi şekilde gerçekleştirebilmek için büyük sunuculara ve donanımlara ihtiyaç vardır. Günümüzde bu kümelenmiş sonucular ve donanımlar, çok sayıda odada bütün bir binaya hatta bir binalar grubunda muhafaza edilmektedir. Bugünün veri merkezleri, kesintisiz çalışan, güçlü ve küçük sunucuların binlercesinin bir araya gelmesinden oluşmaktadır.

Veri merkezleri, elektrik tüketiminin çok yüksek olduğu tesislerdendir. Dünyada sayıları oldukça süratli bir şekilde artmakta olan veri merkezleri çok büyük miktarlarda elektrik tüketimine neden olmakta, bu durum tasarruf çalışmaları için ciddi bir potansiyel olduğunu ortaya koymakta ve yapılacak iyileştirmelerin önemini arttırmaktadır.

Bu çalışmada iklimlendirme amacıyla yapılan mühendislik tasarımları için halihazırda yaygın olarak kullanılan ısı kayıp/kazanç yazılımlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Farklılıkların mühendislik ve akademik bakış açısıyla irdelenmesi ve bu alanda daha sonra yapılacak çalışmalar için kaynak çalışma olması hedeflenmiştir. Trace 700, Carrier Saatlik Analiz Programı, Revit ve Cypetherm Loads yazılımları kullanılarak bir veri merkezi için binanın üç boyutlu modeli oluşturulmuş ve ısı yük hesapları yapılmıştır. Veri merkezleri tanımlanmış ve ısı yükleri etkileyen parametreler araştırılmıştır. Sonuçlar analiz edilerek neden sonuç ilişkisi aranmıştır.

Mekanik sitemlerde verimlilik çalışmalarının ilk basamağı hesapların doğruluğudur. Veri merkezleri için çevresel koşullarla kazanılan yükler cihaz yüklerine kıyasla oldukça küçüktür. Ancak dış duvarı ve çatı alanı fazla olan hacimler için ısı hesapları yapılırken kullanılan hesap metodunun veya yazılımın sonuçları etkilediği sonucuna varılmıştır.

ABSTRACT

FOR A SAMPLE DATA CENTER, COMPARISON OF THERMAL LOADS USING DIFFERENT SOFTWARE

Today, energy consumption accounts for the majority of the import costs of developing countries. This necessitates examining all factors that may affect energy consumption amounts. It is necessary to interpret such factors with an engineering perspective and a mental filter.

The electronic conversion of data has been a necessity in any business. Large servers and network equipment are needed to perform the instantaneous transmission request of digital information. These aggregated results and associated equipment are stored in multiple rooms throughout an entire building.

Today's data centers are composed of thousands of high-powered and too-small servers running 24/7. Data centers are among the facilities with very high electricity consumption. This kind of consumption reveals too much potential for saving studies.

This study is aimed to compare heat loss/gain software for heating, ventilation, and air conditioning engineering designs and to scrutinize the possible differences from an engineering and academic perspective. For a sample data center, a 3D model of the building is created using Trace 700, Carrier Hourly Analysis Program (HAP), Revit and Cypetherm Loads software, and thermal-load calculations are made on this model.

The first step of efficiency studies in a mechanical system is the accuracy of calculations. Although the gained loads with the help of environmental conditions for the data centers are too small compared to the device loads, the calculation method or the software used in the thermal calculations in the study shows that the volumes with large outer wall and roof area affect the accuracy of the results.

SEMBOLLER

CO₂ : Karbondioksit

C° : Derece santigrat



KISALTMALAR

EPA	: Enviromental Protection Agency
OSHA	: Occupational Safety and Health Adminstration
BIM	: Building Information Modelling
IFC	: Industry Foundation Classes
ASHRAE	: American Society of Heating Refrigeratin and Air Conditioning Engineers
LEED	: Leedership in Energy and Environmental Design
RTS	: Radiant Time Series
HAP	: Hourly Analysis Program
TETD-TA1	: Total Equivalent Temperature Difference- Time Averaging Method 1
TETD-TA2	: Total Equivalent Temperature Difference- Time Averaging Method 2
HB	: Heat Balance
TTMD	: Türk Tesisat Mühendisleri Dergisi
DCiE	: Data Center Infrastructure Efficiency
PUE	: Power Usage Effectiveness
AHU	: Air Handling Unit
TIA/EIA	: Telecommunications Industry Association/Energy Information Administration
SAN	: Storage Load Factors
RU	: Rack Unit
DOE	: Design Of Experiments Software
CEC	: California Energy Code
UATD	: U factor Area Temperature Difference
RP	: Research Project
CLTD-CLF	: Cooling Load Temperature Difference - Cooling Load Factor
RMRG	: Design Of Experiments Software
IT	: Information Technology
UPS	: Uninterruptible Power Supply
TGG	: The Green Grid
DX	: Direct Expansion

CRAC	: Computer Room Air Conditioning
CRAH	: Computer Room Air Handler
COP	: Coefficient of Performance
HACS	: Hot-aisle Containment System
FNM-CFD	: Flow Network Modeling-Computational Fluid Dynamics
DC	: Coefficient of Performance
PDU	: Protocol Data Unit
WSE	: Water-side Economizer
NBD	: Net Bugünkü Değer
IEC	: Coefficient of Performance
IKO	: İç Karlılık Oranı
ASE	: Air-side Economizer
IAESE	: Indirect Air-side Economizer
BEA	: Bina Enerji Analizi
EPBD	: The Energy Performance of Buildings Directive
BN	: Bağlı Nem
ÇN	: Çiğ Noktası
DR	: Hava Cereyan Oranı(Draught Rating)
PRV	: Predicted Mean Vote(Tahmin Edilen Ortalama Isıl Duyum)
PPD	: Predicted Percentage of Dissatisfied (Tahmin Edilen Memnuniyetsizlik Oranı)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. 1	Sektör bazlı karbon salınım yüzdeleri.....	12
Şekil 1. 2	Ülke bazlı karbon salınım yüzdeleri	12
Şekil 1. 3	İki sütunlu açık rak ve dört sütunlu açık rak örnekleri.....	14
Şekil 1. 4	Ekipman hava akışı	15
Şekil 1. 5	Ekipman hava akışı	15
Şekil 1. 6	Aynı yöne bakan ünite uygulaması	20
Şekil 1. 7	Sıcak soğuk koridor uygulaması	20
Şekil 1. 8	Fiziksel bariyer uygulaması	21
Şekil 1. 9	Isıl duyum ve memnuniyetsizlik grafiği	23
Şekil 1. 10	Oda sıcaklığı, türbülans oranı ve hava hızı grafiği	24
Şekil 1. 11	Chiller-CRAH şematik gösterimi.....	25
Şekil 1. 12	Chiller ve soğutma çevrimi kombine sistem şematik gösterimi	26
Şekil 1. 13	Hava soğutmalı kondenser-CRAC kombine sistemi şematik gösterimi	27
Şekil 1. 14	Glikol soğutmalı CRAC-kuru soğutucu kombine sistem gösterimi	28
Şekil 1. 15	Su soğutmalı CRAC-kuru soğutucu kombine sistem gösterimi	29
Şekil 1. 16	Hava soğutmalı kanallı kendi kendine çalışabilir sistem şematik gösterimi	29
Şekil 1. 17	Hava soğutmalı bağımsız bir sistem	30
Şekil 1. 18	Direkt taze havalı evaporatif soğutma sistemi ekipman tipleri	31
Şekil 1. 19	Dolaylı çalışan bir hava buharlaştırıcı	32
Şekil 1. 20	Dolaylı hava buharlaştırıcı ile soğutulan bir veri merkezi	32
Şekil 1. 21	Çatı tipi klima ünitesi	33
Şekil 1. 22	Daldırma tipi sıvı soğutma sistem şeması.....	34
Şekil 1. 23	Hesap metotları karmaşıklık- doğruluk grafiği	36
Şekil 1. 24	Isıl denge şematik gösterimi	40

Şekil 2. 1 Veri merkezi binası kat planı	45
Şekil 2. 2 IFC builder yazılım arayüzünden bir görüntü.....	47
Şekil 2. 3 Cype 3 boyutlu model	47
Şekil 2. 4 Revit mimari arayüzden bir görüntü	48
Şekil 2. 5 Revit 3 boyutlu model görünümü	48
Şekil 2. 6 Trace 700 mahal bilgi giriş arayüzü.....	49
Şekil 2. 7 HAP mahal bilgi giriş kısımlarından bir görüntü.....	50
Şekil 2. 8 Cypetherm Load modülü	51
Şekil 2. 9 Revit ısı kayıp/kazanç hesap	52
Şekil 2. 10 Trace 700 ısı kayıp/kazanç hesap.....	53
Şekil 2. 11 HAP ısı kayıp/kazanç hesap.....	54
Şekil 3. 1 Soğutma yükleri karşılaştırılması.....	55
Şekil 3. 2 İç duvarlardan gelen yükler.....	56
Şekil 3. 3 Çatıdan gelen yükler	56
Şekil 3. 4 Matematiksel metotlara göre ortalama soğutma yükleri	57
Şekil 3. 5 BIM tabanlı yazılımlarda doğruluk.....	59
Şekil 3. 6 BIM tabanlı olmayan yazılımlarda doğruluk	59
Şekil 3. 7 Türkiye'nin karbon emisyon değerleri ile dünyadaki veri merkezleri emisyon değerleri.....	60
Şekil 3. 8 Veri merkezlerinin yıllara göre elektrik tüketimi	61
Şekil 3. 9 Veri merkezlerinin yıllara göre karbon emisyon değerleri	62
Şekil 3. 10 Veri merkezlerinin önümüzdeki 5 yıl için tahmini elektrik tüketimi.....	62
Şekil 3. 11 Veri merkezlerinin önümüzdeki 5 yıl için tahmini karbon emisyon değerleri.....	63



TABLO LİSTESİ

Tablo 1. 1	The Green Grid verimlilik tablosu.....	17
Tablo 1. 2	EPA 2011 PUE değerleri tahmini.....	11
Tablo 1. 3	Tesis gücü(The Green Grid)	11
Tablo 1. 4	Trace 700 hesap metotları.....	41
Tablo 1. 5	Cypetherm Loads standartlar tablosu	44
Tablo 2. 1	Bina ile ilgili bazı veriler	45
Tablo 2. 2	Tasarım set değerleri	46

1. GİRİŞ

Günümüzde artık proje tamamlanma süreleri sektör ihtiyaçlarını karşılayabilmek için giderek kısaltmakta, enerji etkin bir bina için ısı kayıp ve kazançlarını hızlı bir şekilde hesaplayabilmek gerekmektedir. İklimlendirme projesi yapılacak binalarda ısı kazanç ve kayıplarının hesaplanması, çok sayıda tablo ve formül kullanılması nedeniyle zahmetli ve hata olasılığı yüksek bir işlem sürecini gerektirmektedir. Bu işlemlerin bilgisayar ortamında yapılmasının proje hazırlama süresini kısaltacağı ve olası hataları en aza indireceği belirtilmiştir (Oranlı ve Eyriboyun, 2009).

Avrupa ülkelerinde yapılarda harcanan enerji, bu ülkelerde harcanan toplam enerji miktarının yaklaşık olarak %40'ıdır. (Kürekci ve Kaplan, 2014). Toplam CO₂ emisyonunun ise %30'una sebep olduğu belirtilmektedir. Türkiye'nin enerji rezerv alanları bakımından zengin olmadığı bir gerçektir. Türkiye'deki toplam enerjinin %76'sı başka ülkelerden satın alınmaktadır. Ek olarak bu talep 1 senede yaklaşık %4 oranında artmaktadır. Yapılacak optimizasyon çalışmaları ve ekonomik tasarruflar önem arz etmektedir (Alkan ve ark., 2017).

Enerji verimliliği günümüzde tüm alanlarda olduğu gibi veri merkezleri için de odak haline gelen bir konu olmuştur. Yüksek yoğunlukta elektriksel yüke maruz kalan veri merkezlerinde enerji verimliliği diğer binalara nazaran çok daha büyük önem taşımaktadır. Veri merkezlerinin çoğu en yüksek yük yoğunluğuna göre tasarlanmakta, soğutma yükleri zaman parametresinden bağımsız düşünülmektedir. Ayrıca mekanik bileşenlerin hem yatırım hem de işletme maliyetlerini arttıracak şekilde normalden fazla büyüklükte seçildiği bilinmektedir. Veri merkezi altyapı tasarım çalışmalarında güvenilirlik kadar enerji verimliliği de dikkate alınmalıdır. Burada enerji tüketiminin büyük bir bölümünü mekanik soğutma sistemleri oluşturduğu için soğutma sistemlerinin enerji verimini arttırmaya yönelik stratejiler geliştirilmelidir (Türkmen, 2019).

Yazılımlar birçok farklı mühendislik kabulü ile hesap yapmakta, kabullerin arka planlarında kullanılan matematiksel modeller hesap sonuçlarının doğruluğunu etkilemektedir. Ayrıca her bir yazılım belirli ülkelere kabul görmüş uluslararası alanda da geçerliliği olan standartları kullanmaktadır. Bu çalışmada, yazılım sonuçlarının yanı

sıra hesap metotları ve standartlardan meydana gelebilecek sonuç farkları da irdelenerek sonuçlar ile ilgili daha sağlıklı yorumlarda bulunulacaktır.

Literatürde daha önce farklı veya benzer yazılımlar ile ilgili çalışmalar yapılmış olup bunlara ilave olarak bu çalışma dört farklı yazılım ile ilgili temel seviyede kullanım bilgileri içermektedir. Bu yazılımlar ile ilgili kılavuz bir çalışma olmuştur. Kullanılan standartların ve hesap metot farklılıklarının analiz edilmiş olması çalışmanın özgün değerini oluşturmıştır. Ayrıca literatürde veri merkezleri ile ilgili çalışmaların sınırlı olması nedeniyle bu çalışmanın literatüre ve ilgili sektörler katkısı sunacağı düşünülmektedir. Ek olarak kullanılacak alternatif yazılım sayısının çokluğu sonuçların daha doğru kıyaslanabilmesi açısından önem teşkil etmektedir. Sonuçların daha anlamlı hale gelebilmesi için sektör ve akademik çalışmalarda en çok kullanıldığı bilinen yazılımlar tercih edilmiştir.

Gerek ticari kaygılar gerek bazı matematiksel işlem zorlukları sebebiyle ticari yazılımlar, varsayımlar ve kabuller ile çalışmaktadır. Sektörel ve akademik tecrübeler doğrultusunda, yapılmış her çalışma için gerekli olduğu gibi mühendislik alanında geniş kullanımı olan bu yazılımların da yapılacak bağımsız çalışmalar ile doğrulanması gerekmektedir.

Bu çalışmada yazılımların hesap yöntemleri ve hangi standartları kullandıkları irdelenmiştir. Mevcut bir veri merkezi binası seçilerek dört farklı yazılım ile ısı yükleri hesaplanmıştır. Hesaplarla birlikte eş zamanlı olarak yazılımların kullanımı ile ilgili temel bilgiler verilmiştir. Son olarak bu sonuçlar üzerinden meydana gelen olası hesap farkları yorumlanmış ve değerlendirilmiştir.

Yazılımlar ile hesaplanan değerler yıl boyunca enerji tüketecek cihazın kapasitesini belirleyecektir. Bu cihaz, kapasitesi ile orantılı olacak şekilde bir enerji ve maliyet getirecektir. Hesapların doğru değerlere yakınlığı, tasarruf edilecek bir enerji ve bu enerjinin maliyeti anlamına gelmektedir. Küçük ölçekte önemsizmiş gibi gözükse de bu hesap değerleri büyük ölçekte düşünüldüğünde, ülke genelinde çok büyük tasarruf değerleri ve bu tasarruflardan elde edilecek ekonomik kazançlar demektir.

Çalışmadan elde edilen verilerin, veri merkezleri için daha verimli soğutma sistemleri tasarlanmasına olanak sağlayacağı öngörülmektedir. Enerji sarfiyatının önüne geçilmesi, küçük ölçekte yatırım ve işletme maliyetlerinin azaltılması beklenmektedir.

Büyük ölçekte düşünüldüğünde ise ithal edilen enerji miktarının azalması ve yeni yatırımlar için alan açılması beklenmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Yapılan bu tez çalışmasının amacı, Revit, Carrier HAP, Trace 700 ve Cypetherm Loads yazılımlarını tanıtmak ve bu yazılımlar üzerinden hesaplanan ısı yükleri karşılaştırmaktır.

Çalışmada elde edilen soğutma yükü değerlerinin, iklimsel etmenler, kullanılan matematiksel metotlar, kabul edilen standartlar ve teknolojik gelişmişlik vb. faktörlerden nasıl etkilendiğinin irdelenmesi amaçlanmıştır.

Doğadaki enerji kaynaklarının harcanması ve giderek tükenmesi ve çevreden kaynaklanan olumsuz etkiler nedeniyle enerji tüketimi çok önemli bir konu haline almıştır. Bu bağlamda iklimlendirme uygulamalarında enerji verimliliği ve tüketimi konusu, termodinamik bağlamda ve ekonomik bağlamda ele alındığında vazgeçilmez bir ihtiyaç olagelmıştır. Binalar için sadece ihtiyacı karşılayacak ekipmanlar yerine, bu işlemi en verimli ekipmanlar ile yapmak, hesaplamaların doğruya en yakın şekilde yapılması ile mümkündür. Veri merkezleri bina içi soğutmanın en yoğun olduğu bina türlerinden olup yapılacak verimlilik çalışmaları oldukça fazla tasarruf sağlayacaktır. Çalışmanın konusu olan veri merkezlerinde ısı hesapların mukayesesi ve bazı verimlilik süreçlerine değinilmesi bu bağlamda önem arz etmekte olup literatüre ve ekonomiye katkı sunması hedeflenmiştir.

Elde edilen veriler doğrultusunda çok büyük soğutma maliyetleri olan veri merkezleri için daha düşük soğutma maliyetleri olan sistemlerin tasarlanması amaçlanmıştır. Ayrıca sonuç verilerinin daha sonra yapılacak akademik, bilimsel ve sektörel çalışmalar için bir kılavuz kaynak niteliğinde olması hedeflenmiştir. Mekanik ekipman yatırım ve soğutma maliyetlerinin düşürülmesi, gereksiz yatırımların ve enerji israfının azaltılması amaçlanmıştır. Gelişen teknoloji ile veri merkezlerine olan ihtiyacın çok daha fazla artacağı düşünüldüğünde bu çalışmanın ülke ekonomisine sunacağı katkının da bununla doğru orantılı olarak katlanarak artacağı öngörülmektedir.

1.2 Literatür Taraması

Kürekci ve Kaplan 2017 yılında yaptıkları çalışmada İstanbul vilayetinde toplam 196 m² net kullanım alanına sahip, tek katlı bir binanın ısıtma ve soğutma yüklerini HAP ve Revit programlarıyla hesaplamış ve bu iki programdan çıkan sonuçların karşılaştırılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada binanın mümkün olduğunca basit, kolay karşılaştırılabilecek ve karşılaştırma yapmaya uygun olması için sadece Z01-Z02-Z03 mahallerinden (Z01 ve Z02 ofis, Z03 depo) oluştuğunu varsayarak hesap yapmışlardır. Hesaplar sonucunda Z01-Z02 mahallerinden oluşmuş zonun toplam soğutma yükünü HAP ile 15.733 W bulurken, Revit ile 17.954 W olarak bulmuşlardır ve aralarındaki farkı %14,12 olarak hesaplamışlardır. Aynı zonun ısıtma yüklerini ise HAP ile 12.034 W, Revit ile 12.628 W olarak bulmuşlar ve farkı %4,94 olarak hesaplamışlardır. Bu çalışmada yapılan hesaplamalar sonucunda ısıtma ve soğutma yüklerinin birbirlerine yakın çıktığı sonucuna ulaşmışlardır (Kürekci ve Kaplan, 2014).

Alkan ve arkadaşlarının 2017 yılında yaptıkları çalışmada, İstanbul'da bulunan yaklaşık 11.000 m² inşaat alanına sahip örnek bir bina için, 5 ayrı HVAC sistem modeli oluşturmuşlar ve sistemlerin ilk yatırım ve işletme maliyetlerini değerlendirmişlerdir. Binada kurulması planlanan değişken hava debili sistem, radyatör sistemi, su kaynaklı ısı pompası sistemi, ısı geri kazanımlı VRF/VRV sistemi, ısı pompalı VRF/VRV sistemi + Radyatör sistemi ve 4 borulu fan coil sistemi olarak 5 farklı sistem karşılaştırılmıştır. Hesaplaması yapılan sistemler için enerji ihtiyacı, ilk yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyetleri karşılaştırılmış ve sonuçlara göre kısa, orta ve uzun vadede optimum sistem olarak farklı sistemler önermişlerdir. 4 borulu fancoil sistemi ilk yatırım maliyeti en düşük sistem çıkmasına karşın yıllık işletme maliyetleri kıyaslandığında su kaynaklı ısı pompası sistemi daha avantajlıdır. Uzun vadeli bir değerlendirmede ilk yatırım maliyeti pahalı olan sistem daha uyguna gelebilmektedir (Alkan ve ark., 2017).

Kang ve Choi 2018 yılında yaptıkları bir çalışmada, işlevsel değişkenliği ve genişletilebilirliği dikkate alan veri entegrasyonu ve işlev uzantısı desteği için kural seti bazlı BIM tabanlı veri madenciliği yöntemini incelemişlerdir. İş etkinliğini, bina enerjisi yönetimi ile ilgili bir senaryonun geliştirilmesi ve sonuçlarının analizi ile doğrulamışlardır. Bu çalışmada iş etkinliği analizine dayanarak, bu yöntemi kullanarak etkinliğin 14,4 ila 20,5 kat arttığını sonucuna varmışlardır (Kang ve Choi, 2018).

Crawley ve arkadaşları 2008 yılında yaptıkları bir çalışmada, enerji simülasyonu yapabilen BLAST, BSim, DeST, DOE-2.1E, ECOTECT, EnerWin, Energy Express, Energy-10, EnergyPlus, eQUEST ESP-r, IDA ICE, IES-VE, HAP, HEED, PowerDomus, SUNREL, Tas, TRACE ve TRNSYS isimli 20 farklı programın karşılaştırmalarını yapmışlardır. Bu programlar ile modellemelerin temel özellikleri, bölge yükleri, bina zarfı kazançları, güneş radyasyonu, hava sızıntı değerleri, havalandırma, çok bölgeli hava akımı, yenilebilir enerji sistemleri, elektrik sistemleri ve ekipmanları, iklimlendirme sistemleri, iklimlendirme araçları, çevre emisyonları, ekonomik analiz, raporlama, iklim veri kullanılabilirliği, sonuçların raporlanması, doğrulanması ve kullanıcı ara yüzü, diğer programlarla bağlantılar ve kullanılabilirlik açısından karşılaştırmışlardır (Crawley ve ark., 2008).

Rey ve arkadaşları 2007 yılında EPBD'nin binaların enerji sertifikasyonu üzerine uygulanmasına izin veren Bina Enerji Analizi (BEA) adı verilen yeni bir program üzerine çalışma yapmışlardır. BEA programının (ısı ve soğutma yükü, enerji talebi, enerji tüketimi ve CO₂ emisyonu) farklı aşamalarını analiz etmişlerdir. Ayrıca BEA programı ile HAP ve POWERDOE programlarının karşılaştırmalarını yapmışlardır. Enerji tüketiminin sonuçları her iki simülasyon programı için de çok benzer olmuştur. Enerji tüketiminde inşaat sektörünün çok önemli yeri olduğunu vurgulamışlar ve enerji simülasyonu sayesinde, çevreye daha az CO₂ salınımı yapılabileceği sonucuna varmışlardır (Rey ve ark., 2007).

Yavuz 2010 yılında yaptığı tez çalışmasında, konut dışı yapılar için soğutma yükü hesaplama metotlarından CLTD/CLF ve RTS metotlarını kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Visual Basic programlama dilinin kullanıldığı soğutma yükü hesaplama programı oluşturularak, incelenen bir örnek oda için bu programdan elde edilen sonuçlar, elle hesaplanan sonuçları ve aynı örnek oda için Carrier programından elde edilen sonuçlarla karşılaştırmıştır. RTS metodunda yapılan hesaplamalar, CLTD/CLF metoduna göre daha fazla işlem ve kabuller gerektirdiği sonucuna varmışlardır. RTS metodu ile önce ısı kazançları ve sonra soğutma yüklerinin bulunmasından dolayı çift aşamadan oluşan daha detaylı hesaplamalar yapılmaktadır. CLTD/CLF metodu ise doğrudan soğutma yükünü hesaplayan tek bir aşamadan oluşmaktadır (Yavuz, 2010).

Türkmen 2019 yılında yaptığı tez çalışmasında, UHEM veri merkezi ısıl profilini deneysel olarak inceleyerek hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yazılımları ile analiz etmiştir.

Veri merkezinin sıcaklık ve hava akış dağılımlarını tahmin ederek soğutma maliyetlerini azaltacak çalışmalarda bulunmuştur. Modelin oluşturulması ve çözümü için ANSYS Fluent yazılımı kullanılmıştır. Basınç tabanlı çözümleyici ile korunum denklemlerinin zamandan bağımsız formda çözümüyle sonuç elde etmeye çalışmıştır. Gerçekleştirilen çalışma ile PUE oranının, CRAC fanlarını yalnızca %70 hızına düşürerek 1,95'ten 1,57'ye düşürülebileceği görülmüştür. Buna ek olarak daha az sızıntı, koridor kapatma, IT ekipmanı birleştirme ve sıcaklık ayar noktasındaki artış ile %50 fan hızındaki ilave iyileştirmeler, tahmini PUE değerinin 1,40'a kadar düşmesini sağlayabilir sonucuna varmıştır (Türkmen, 2019).

Gözcü 2019 yılında Türkiye iklim koşullarındaki veri merkezlerinin soğutulmasında ekonomizer kullanımının enerji tasarrufu açısından potansiyelini incelemiştir. Yaygın olarak kullanılan Doğrudan Hava Ekonomizeri (ASE), Dolaylı Hava Ekonomizeri (IASE), Evaporatif Destekli Dolaylı Hava Ekonomizeri ve Dolaylı Su Ekonomizeri (WSE) gibi serbest soğutma yöntemlerinin Türkiye'nin 10 şehrinde 1 MW IT yüküne sahip geleneksel bir veri merkezi için sağlayacağı enerji tasarruf potansiyelleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Türkiye'nin 10 şehrinde NBD, İKO ve indirgenmiş geri ödeme süresi yöntemleri dikkate alınarak yapılan ekonomik analiz sonuçlarına göre örneğin kapalı koridorlu (H) operasyonda çalıştırılmış IEC model için 15 yılın sonunda elde edilecek kazancın WSE'ye göre her şehirde daha fazla olduğu sonucuna varmıştır. İlk yatırım için kaynak sorununun yaşanmadığı durumlarda 15 yıllık analize göre en yüksek NBD sonucunu veren kapalı koridorlu (H) IEC en kazançlı yatırım olarak değerlendirilebilir sonucuna varmıştır (Gözcü, 2019).

Şen 2019 yılında yaptığı tez çalışmasında veri merkezlerinde enerji verimliliğini arttırıcı yöntemler üzerine çalışmıştır. Ülkemiz sınırları içerisinde inşa edilmesi düşünülen gerçek bir proje için vaka incelemesi yapılmıştır. Vaka analizi kapsamında; UPS, soğutma sistemleri, PDU açısından ve sürekliliği artıracak yöntemleri ise kullanılacak UPS sayısı ile elektriksel tasarım açısından incelemiştir. Çalışmalar ve testler sonucunda; veri merkezlerinde yüksek verimlilik sağlanabilmesi için, geliştirilmiş ekonomi modu kullanılma gerekliliği ispatlanmıştır. Vaka analizi kapsamında; sıcaklık kontrollü ve basınç kontrollü kapalı tip soğutma (sıcak ve soğuk koridorun birbirinden ayrıldığı) sistemleri karşılaştırılarak, ön görülen veri merkezi için en düşük maliyetli ve yüksek

verimli soğutma sistemi seçilmiştir. Analiz sonucunda sıcaklık kontrollü sistemin yıllık enerji tüketimi açısından ele alınan vaka için 139.893 kWh (%53), enerji maliyeti açısından ele alınan vaka için 100.723 TL avantajlı olduğunu ortaya koymuştur. (Şen, 2019).

Kanbur ve arkadaşları 2020 yılında veri merkezlerindeki yüksek performanslı işlemciler sebebiyle artan ısı yükleri karşılayabilmek için doğrudan sıvı soğutmalı sistemlerden biri olan iki fazlı sıvıya daldırma soğutma sistemini incelemişlerdir. Daha önce bu termal yöntemin termodinamiksel performans analizi mevcut olmamakla birlikte altı farklı gerçek zamanlı ve dinamik çalışma yükü altında bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Sistemde DC tankı, sirkülasyon pompası ve kuru tip soğutma kulesi bulunur. Sonuç olarak en iyi performans katsayısı (COP) ve güç kullanım etkinliği (PUE) değerlerinin 6,67 ve 1,15 ile en yüksek çalışma yükünde minimum COP ve en yüksek PUE'nin 1,25 ve 1,4 ile en düşük çalışma yükünde görüldüğünü bulmuşlardır. Ekserji verimliliğinin farklı çalışma yükleri için %8 ile 18,9 arasında değiştiğini ve çalışma sıcaklıklarının, ekserjetik performanslar üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Son durum olarak geleneksel enerji tabanlı ekonomik hesaplamalara kıyasla maliyetin 3,25 kat daha fazla olacağını ifade etmişlerdir (Kanbur ve ark., 2020).

Huang ve arkadaşları 2019 yılında veri merkezleri için hesap modeli geliştirmişlerdir. Isıl hesaplara etki edebilecek parametreleri halihazırda çok tercih edilen bir sistem üzerinden incelemişlerdir. Soğutucu suyun kütle akışının, CRAC çıkış sıcaklığının ve dış soğuk hava sıcaklığının özellikle veri merkezi soğutma hesaplarını etkileyen parametreler olduğu sonucuna varmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar doğrultusunda soğutucu suyun kütle akışındaki artışın su pompasındaki güç tüketiminin PUE'yi de arttıracak şekilde artacağını elde etmişlerdir. Ayrıca CRAC çıkış sıcaklığındaki artışın, soğutucu (chiller) sıcaklığının da artacağı anlamına geleceğini ve bunun da chiller enerji tüketimini düşüreceğini ve PUE oranını da azaltacağı sonucuna varmışlardır (Huang ve ark., 2019).

VanGilder ve Zhang 2014 yılında yaptıkları bir çalışmada, belirli bir tavan hava dağıtım (plenum) basıncına maruz kalan ayrı ayrı kanallı rafların ve tavan plenumuna bağlı tüm kanallı sıcak koridorların soğutma performansını analiz etmişlerdir. Bilinen bir tavan plenum basıncı koşulu altında iki mimarinin soğutma performansını belirlemek için Akış Ağ Modeli (FNM) analizini kullanmışlardır. Bir dizi gerçekçi tasarım parametresinde

ortalama soğutma performansını ve soğutma performansındaki raftan rafa değişimlerini belirlemek için birleştirilmiş FNM-CFD analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda, kanallı Sıcak Koridor Muhafaza Sistemlerinin (HACS) daha az kısıtlayıcı akış yolları nedeniyle kanallı raflardan daha iyi performans gösterdiğini gözlemlemişlerdir (VanGilder ve Zhang, 2014).

Göl suyu kaynağı kullanan soğutma tesisi, veri merkezlerinin enerji tüketimini azaltmak için etkili bir yöntem olduğu bilinmektedir. Bu sebeple Ling ve arkadaşları 2017 yılında yaptıkları bir çalışmada, soğutma tesisinin performansını ve enerji verimliliğini analiz etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, ortalama soğutma suyu sıcaklığı arttıkça serbest soğutma modu oranının azaldığı sonucuna varmışlardır. Farklı yük faktörleri için, her ayın toplam enerji tüketimi ortalama göl suyu sıcaklığına göre büyük ölçüde değişmektedir. Göl suyu kaynağı kullanarak soğutma tesisinin veri merkezinin enerji verimliliğini başarılı bir şekilde artırabildiği gözlemlemişlerdir (Ling ve ark., 2017).

Mok ve arkadaşları 2016 yılında, hava soğutmalı bir veri merkezinde döner rejeneratif ısı eşanjörü için birbiriyle etkileşime giren iki ayrı model geliştirerek güç kullanım etkinliğini (PUE) hesaplamışlardır. Çalışmanın sonucunda rejeneratif ısı eşanjörünün performansının iklime bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmada sunulan modelin ayrıca değişen konum, soğutma yükü, rotor tasarımı, sıcaklık ayar noktaları ve fan tipi ile sistemin performansını belirlemek için kullanılabileceği sonucuna varmışlardır (Mok ve ark., 2016).

AlHarbi ve arkadaşları 2019 yılında E20 ve HAP yazılımı üzerinden soğutma yüklerini karşılaştırmak amacı ile bir çalışma gerçekleştirmiştir. Suudi Arabi (K.S.A)'daki AlFahad Camii için soğutma yüklerini hesaplamışlardır. E20 kullanarak el ile gerçekleştirilen yaklaşık hesapların doğrulunu HAP yazılım sonuçları ile karşılaştırmışlardır. İki hesap arasındaki sonuç farklarının HAP yazılımında değerlerin rastgele yerleşik olmasından kaynaklandığı ve bu nedenle HAP yazılımının daha az soğutma yükü hesapladığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca her iki soğutma yükü de kabul edilebilir bir seviyede olduğu sonucuna varmışlardır (AlHarbi ve ark., 2019).

Pan ve arkadaşları 2008 yılında yaptıkları çalışmada içerisinde veri merkezi barındıran iki ofis binası için yeşil bina konsepti kapsamında enerji modeli oluşturmuşlardır. Sırası ile Çin yerel standartlarını, ASHRAE bütçe oluşturma verilerini ve önerilen bina değerlerini

bazı olarak EnergyPlus ile enerji modellemesi yapmışlardır. Önerilen tasarımın enerji performansının Çin Standartlarına kıyasla yaklaşık %27 daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca enerji performans optimizasyonu nedeniyle LEED kredisi için 4 puan elde edebilen maliyet tasarrufu ASHRAE bütçe verileri ile modellenen binadan yaklaşık %21 daha iyidir sonucuna varmışlardır (Pan ve ark., 2008).

Hassan ve arkadaşları 2015 yılında İslambad'ın serbest soğutma (Free Cooling) potansiyelini son 16 yılın meteoroloji verilerini kullanarak değerlendirmişlerdir. Aralık, Ocak ve Şubat ayları için tam yük için serbest soğutma yapılabileceğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca önerilen serbest soğutma kullanıldığında giriş gücü miktarının da önemli ölçüde azalacağını ve enerji tasarrufu sağlayacağı sonucuna varmışlardır. Serbest soğutma ile Aralık, Ocak ve Şubat aylarında elektrik faturalarından ile 3,3 milyon Pakistan Rupisi tasarruf edilmiştir ve aynı soğutma 2 adet CRAC ünitesi ile yapıldığında COP değeri 1,44 olurken taze hava fanları ile serbest soğutma sistemi ile yapılırsa 33,21 olmaktadır (Hassan ve ark., 2015).

Waddell ve Kaserekar 2010 yılında yaptıkları çalışmada soğutma yüklerini ve güneş kazançlarını enerji modellemesi yaparak karşılaştırmışlardır. eQuest, IES, TRACE ve EnergyPlus yazılımlarını kullanmışlardır. Elde edilen değerler üzerinden hata oranlarını değerlendirmişlerdir. Güneş kazanımı hesaplamalarında, simülasyondaki değişkenlerin sayısı mahal yük hesaplamalarından daha azdır önermesinden yola çıkarak bu durumun hata riskini arttırdığı ve hata oranının %7-10 olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca mahal yükleriyle ilişkili standart sapmaya dayanan hata güneş kazanımı standart sapmasından %20-25 arası daha büyüktür sonucuna varmışlardır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda yapı fiziği ve termal sistemlerin karmaşık doğası göz önüne alındığında bilinmeyen değişkenler mahal yüklerini daha fazla etkiler ve hesap sonuçlarında daha fazla değişkenlik vardır sonucunu çıkarmışlardır (Waddell ve Kaserekar, 2010).

Erden 2013 yılında yaptığı tez çalışmasında hava soğutmalı veri merkezlerinin geçici termal tepkilerinin deneysel ve analitik incelenmesi konulu bir çalışma yapmıştır. CRAH termal kütesinin yaklaşık %65'inin yüksek termal iletkenliğe sahip ısı eşanjörüne dayandığını göstermiştir. Bununla birlikte termal kütlelerin geri kalanı için termal iletkenliğin, ısı eşanjörünün tipik hava tarafı termal iletkenliğinin %10'undan daha az olduğu tahmin edilmiştir. Çalışmanın sonucu olarak pratik ve hızlı çalışan bir fizik tabanlı

hibrit topraklı kapasitans modeli geliştirilmiş ve deneysel olarak doğrulanmıştır. Daha sonraki çalışmalar ise oda, plenum, CRAH ünitesi ve hava termal kütlelerinin önemini göstermiştir. Geliştirilen model ile soğutulmuş suyun kesintisini takiben sıcaklıkların sınırlara ulaşma süresinin, verilen raf yoğunluğu ve sunucu termal özellikleri için 250 saniye daha uzun olduğu sonucuna varmışlardır (Erden, 2013).

1.3 Veri Merkezleri

Veri Merkezleri (Data Center) çok büyük boyutlarda verinin elde edilmesi, saklanması, işleme alınması ve iletilmesi amacıyla, ilgili ekipmanların tek merkezde toplandığı alanlardır. Bu alanlarda çok ciddi yoğunlukta bilgisayar ve ağ donanımlarından bahsedilebilir. Kullanım amacı ve kapasitesine bağlı olarak küçük veya oldukça büyük ölçekte olabilirler. Veri merkezleri, sıcaklık ve nemin kontrol edilmesi gerektiği, elektrik kaynağının sabit bir hale getirildiği, devamlı elektrik beslemesi sağlanmış ve özel şekilde iklimlendirilmiş alanlardır. Bunların yanı sıra kablo altyapı sistemleri, denetimli erişim, güvenlik sistemleri ve yangın algılama ve söndürme sistemleri de bulunmaktadır. Böylece bu merkez, bir kurumun bilgi işlem (IT) sistemlerinin ve donanımının tümünü içerir.

1.3.1 Veri merkezlerinde enerji verimliliği

The Green Grid (TGG) devlet kurumlarının ve eğitim enstitülerinin oluşturduğu ortak bir yapıdır. Veri merkezleri enerji verimliliğini desteklemektedirler. TGG, yapılan birçok çalışmaya ilaveten yeni bir ölçü geliştirmiştir. PUE değeri; veri merkezinde harcanan toplam enerjinin (IT donanımları için kullanılan enerji dahil) IT donanımında harcanan enerjiye bölünmesiyle elde edilen orandır. Bu oran eşitlik 1.1’de verilmektedir.

$$PUE = \text{Toplam Enerji Tüketimi} / \text{IT Ekipman Gücü} \quad (1.1)$$

Veri Merkezi Altyapı Verimliliği (DCiE), PUE değerinin zıttı olarak tanımlanmıştır. Bu oran eşitlik 1.2’de verilmektedir. Bu ölçüm, yılın değişik mevsimlerindeki iklim değişikliklerinin enerji tüketimine etkisinden etkilenmemek için yıllık olarak yapılır. Örnek olarak: Yaz aylarında, bazı bölgeler için soğutma cihazları daha az verimle çalışır ve aynı soğutma yükünü elde edebilmek için daha fazla enerji tüketir. Gelişmiş klima santrallerinin (AHU) kullanımı ile birlikte PUE değerlerinin 1,06 kadar düşük bir değere ulaşabilmesi sağlanabilmektedir. Tablo 1.1’de The Green Grid’in belirlemiş olduğu

verimlilik tablosu verilmiştir. Ayrıca Tablo 1.2’de EPA’nın 2011 için yapmış olduğu PUE değerleri tahmin tablosu verilmiştir.

$$\text{DCiE} = \text{IT Ekipman Gücü} / \text{Toplam Enerji Tüketimi} \quad (1.2)$$

Tablo 1. 1 The Green Grid verimlilik tablosu

PUE	DCiE(%)	Verimlilik Durumu
3,0	33	Çok Kötü
2,5	40	Kötü
2,0	50	Ortalama
1,5	67	İyi
1,2	83	Çok İyi

Tablo 1. 2 EPA 2011 PUE değerleri tahmini

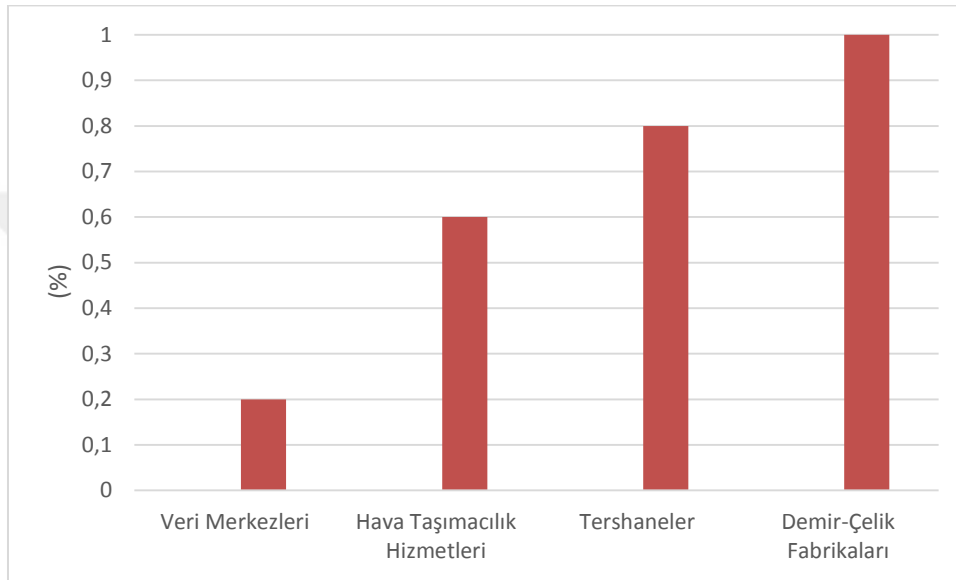
Senaryolar	PUE
Mevcut Durum	1,9
Geliştirilmiş Veri Merkezleri	1,7
En sorunsuz Uygulamalar	1,3
Son Teknolojik Uygulamalar	1,2

1.3.1.1 Veri merkezlerinde karbon salınımı

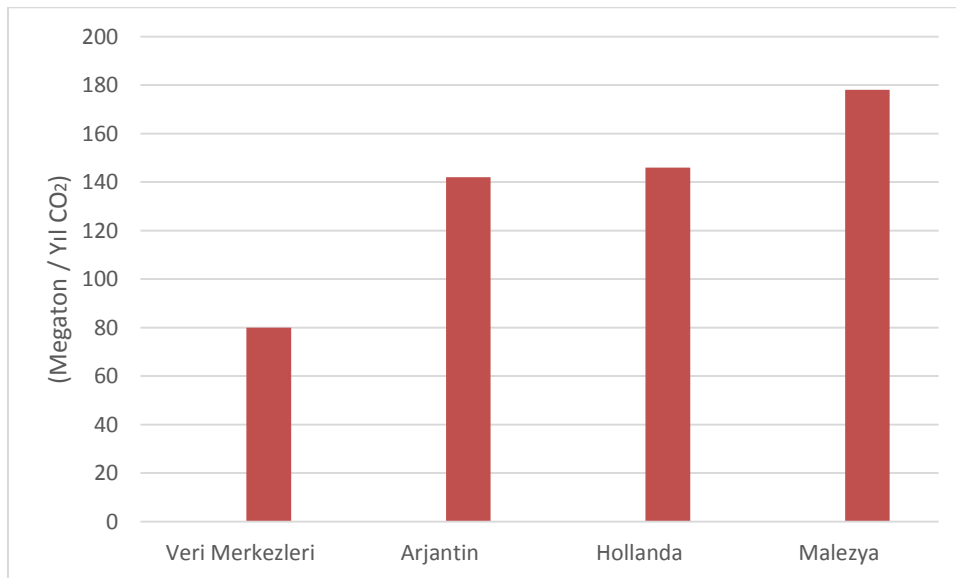
2012 yılında dünya üzerindeki tüm veri merkezlerinin elektrik tüketimi yaklaşık olarak 270 TWh olarak hesaplanmıştır. Bu oran, toplam dünya elektrik tüketiminin %1,4’üne karşılık gelmektedir. Her geçen gün veri merkezlerine olan ihtiyacın artması göz önünde bulundurularak; 2030 yılındaki veri merkezlerinin enerji tüketimi, dünya toplam enerji tüketiminin %13’ü olacağı ön görülmektedir. Bu analizlerin ve tahminlerin ışığında, veri merkezlerinde enerji tüketiminin önümüzdeki 20 yıl için büyük bir problem yaratacağı kaçınılmaz bir gerçektir (Şen, 2019). Bu tüketim, veri merkezleri için karbon salınım

oranlarının da önemini ortaya koymaktadır. Şekil 1.1’de endüstrilere göre karbon salınımı yüzdeleri verilmiştir.

Şekil 1.2’de ise veri merkezlerindeki karbon salınım oranlarının bazı ülkelerin karbon salınımları ile karşılaştırılması görülmektedir. Dünya genelinde ise 2015 verileri baz alındığında yıllık karbon emisyon değeri yaklaşık 30 milyar tondur.



Şekil 1. 1 Sektör bazlı karbon salınım yüzdeleri



Şekil 1. 2 Ülke bazlı karbon salınım yüzdeleri

Ayrıca 2007 yılında yapılan çalışmaya göre aynı yıl için 80 milyon ton olan yıllık karbon salınım miktarı %11’lik büyüme oranı ile 2020 yılı için 340 milyon ton olarak öngörülmektedir (Forrest ve ark., 2008).

1.3.2 Veri merkezlerinin önemi

Dijitalleşme ile birlikte gelişen internet teknolojileri ve artan web sayfası sayısı, dünyadaki insan sayısından daha fazla hale gelmiştir. Bu durum daha fazla bant genişliği ihtiyacına ve bundan kaynaklı daha fazla disk alanı ihtiyacı demektir. Erişim hızındaki artışlar da benzer sonuçlar doğurmuş ve bilgi kaynaklarının zenginleşmesine yol açmıştır. Bu durum büyük verilerin saklanması ve işlenebilmesinin önemini ortaya çıkarmıştır.

Bir kurum ürettiği veya kullandığı her türden veri için veri merkezine sahip olmak zorundadır. Devlet kurumları, eğitim kurumları, telekomünikasyon şirketleri, finans kurumları, sağlık kurumları, tüm boyutlardaki perakendeciler, Google ve Facebook gibi internet teknolojileri üzerinden hizmetler sunan çevrimiçi pazarlamacılar da dâhil olmak üzere, çeşitli düzeylerde “Veri Merkezi” ihtiyacı bulunmaktadır.

Verilere yavaş ve güvensiz bir erişim, ciddi önem taşıyan hizmetlerin aksamasına neden olabilir. Bu durum, dolaylı olarak müşteri kaybına yol açar ve firmalara maddi kayıp yaşatması kaçınılmazdır. Bu kaybın önüne geçmek için birçok işletme, kendi bilgisayar ağları ve sunucularının oluşturduğu yapılardan çok hem maliyetleri düşürmek hem de bulut hizmetlerinden faydalanmak için verilerini veri merkezlerinde tutmayı tercih ederler.

İnternete ile ilişkili insan sayısındaki büyüme ve veri boyutlarındaki artış, şirketleri m² başına daha fazla veri depolayıp işleyebilen veri merkezlerine yatırım yapmaya sevk etmiştir. Bu maliyetlerdeki tasarruflar bir veri merkezinin gider gelir dengesine büyük ölçüde katkı sağlayacağı için verimli bir soğutma sistem seçimi ve tasarımı çok önemlidir.

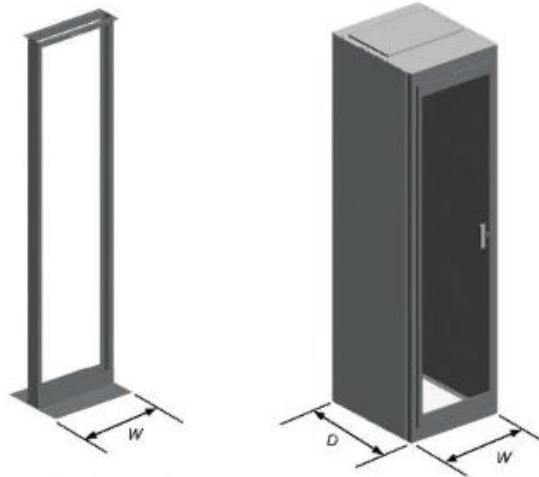
1.3.3 Veri merkezlerinde kullanılan ekipmanlar

Veri merkezi ve benzeri amaçla kullanılan herhangi bir hacimde çok fazla sayıda kablo bağlantısı yapılma zorunluluğu ortaya çıkar. Veri merkezlerinde donanımların organize bir şekilde yerleştirilmesini sağlayan ve onları dış etmenlere karşı korumak için geliştirilen belirli raf yapıları kullanılır. Bu yapılar aynı zamanda yerleşim alanını ciddi oranda azaltır.

Veri merkezi ekipmanları genellikle kabinlere (raka) monte edilir. Ancak diğer bir kısmı büyük, bağımsız kabinler şeklinde önceden paketlenmiş konfigürasyonlarda yapılandırılır. Rak ve kabin boyutları, Elektronik Endüstrileri Birliği (EIA) tarafından belirlenmiştir. Dikey ölçü “unit” (U) olarak (bazen rak unit(RU)) ifade edilir ve bir rak için genel yükseklik 42U’dur. Bir U, raf içerisinde 44.45 mm dikey yükseklik anlamına gelir. Teknik olarak bir rak, sunuculardan çok telekom ve patch paneller için kullanılan açık ve iki veya dört sütunlu bir yapı olmasına rağmen, rak ve kabin terimleri birbirinin yerine kullanılmaktadır; bir kabin, yan, üst, ön ve arka kapılarla donatılmış benzer dört sütunlu çerçevedir. Şekil 1.3’te iki sütunlu açık rak ve dört sütunlu açık rak örnekleri gösterilmiştir.

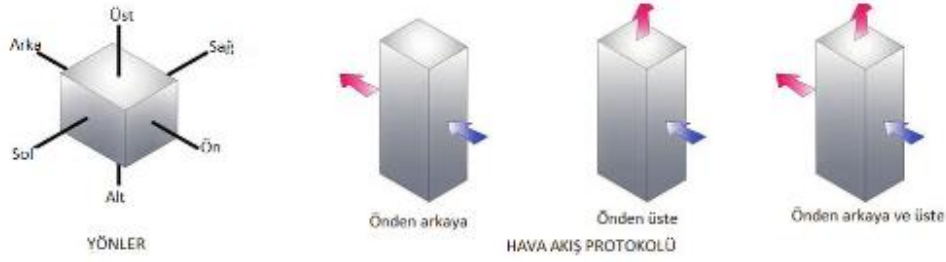
Raf teknolojisi aynı zamanda yüksek elektrik tüketen bu donanımların ürettiği ısıyı ortama atabilmelerine olanak sağlayacak yapıda olmalıdır. Bu sayede donanımın çalışma koşulları için uygun sıcaklık soğutma sistemleri ile desteklenerek sağlanabilir.

Veri merkezi bileşenleri (işlemciler, bellek, depolama, giriş/çıkış (I/O), güç kaynakları) veri merkezi ekipmanlarında paketlenmiştir. Bu ekipmanlar ağırlıklı olarak sunuculardan (kapasite, blade vb.), iletişim ekipmanlarından (sviçler, yönlendiriciler vb.) ve veri depolama cihazlarından (depolama alanı ağı (SAN) vb.) oluşur.

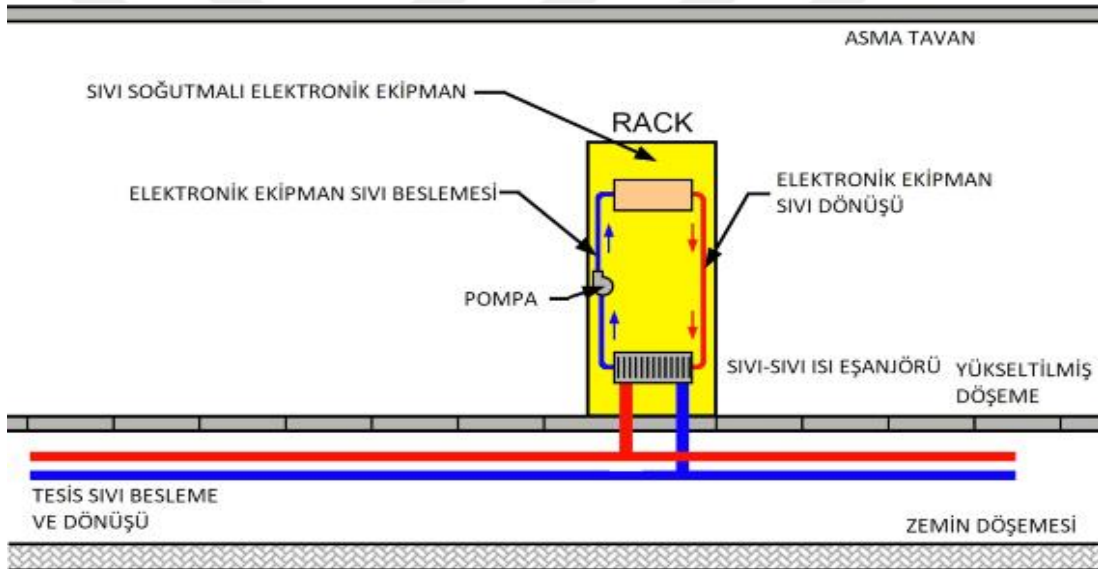


Şekil 1.3 İki sütunlu açık rak ve dört sütunlu açık rak örnekleri

Veri merkezi ekipmanı hava soğutmalı sistem ile veya sıvı soğutmalı sistem ile çalışabilecek çeşitte olabilir. Hava soğutmalı ekipman için kritik koşul ekipmana hava giriştir. Sıvı soğutmalı ekipman için önemli nokta ise ekipmana ya da raka akışkan bağlantısıdır. Şekil 1.4'te hava soğutmalı, Şekil 1.5'te ise sıvı soğutmalı rak örnekleri gösterilmiştir (TTMD 121. Sayı).



Şekil 1. 4 Ekipman hava akışı



Şekil 1. 5 Ekipman sıvı akışı

1.3.4 Veri merkezi ekipmanları iş yükü

Veri merkezi ekipmanları (donanım) boştaki olduğundan (herhangi bir faydalı iş gerçekleştirmediği) maksimum performansında çalışmaya kadar değişen çeşitli iş yükü durumlarına sahiptir. Donanım iş yükü yazılım tarafından yönetilir.

Tüm donanım tiplerinde mevcut uygulamaların sayısı kesinlikle milyonlarca veya daha fazladır. Yazılım, genellikle uzaktan da dahil olmak üzere çeşitli şekillerde eklenebilir veya yükseltilebilir. Bu, iş yükünün çok dinamik olabileceği anlamına gelir. Veri merkezi ekipmanları yaşam döngüleri, güç ve soğutma altyapısı yaşam döngülerinden çok daha

kısadır. Uygulama yazılımı yaşam döngüleri daha da kısadır. Güç ve soğutma altyapısı planlamasının donanım ve yazılımın yaşam döngülerini dikkate alması çok önemlidir.

1.3.4.1 Yük karakterizasyonu

U Bir veri merkezi gücü ve soğutma altyapısı planlaması perspektifinden bakıldığında, iki ortak maksimum yük karakterizasyonu aracı, metrekare başına watt ve rak başına kW'tır. Veri merkezi endüstrisi bazen birim büyüklüklerin tanımlamasında ortalama öge boyutunu (granularity) kullanır. Veri merkezi endüstrisindeki genel kanı, rak başına kilowatt'ın, metrekare başına watt değerinden daha üstün olduğu yönündedir. Bununla birlikte, bir projenin başlangıcında, metriği çok parçacıklı (granüler) yapan rakların miktarı hakkında yeterli bilgi olmayabilir. Profesyonel değerlendirme, hangi maksimum yük karakterizasyonunun kullanılacağına karar vermek için kritik öneme sahiptir. Minimum yükün yanı sıra, yük değişimini de karakterize etmek de aynı derecede önemlidir. Yük değişimi için zaman adımı çok kısa (örneğin; saniyeler, dakikalar) veya çok uzun olabilir. Gelecekteki olasılıkları da içeren ayrıntılı bir yük profili belirlemek veya geliştirmek önemlidir.

1.3.5 Veri merkezlerinde ısı yükleri etkileyen parametreler

Soğutma tasarımının amacı tüm soğutma tasarımlarında olduğu gibi soğutma kapasitesi ile gerçek ısı yükü dengelemektir. Bu, tasarım yapılan veri merkezindeki ekipmanların ısı salınımını doğru bir şekilde analiz edip anlayabilmeyi gerektirir. Tüm ekipmanlar biliniyor olsa bile, tasarıma etki eden tüm parametreler doğru şekilde ele alınmazsa sistem tasarımı yanlış yapılır. Soğutma tasarımı veri merkezi içerisindeki tüm ekipman bileşenlerinin (işlemciler, bellekler, depolama, I/Q, güç kaynakları) sıcaklıklarını kendi özel çalışma sıcaklık aralıklarında sabitleyebilmelidir. Bu aralık genel olarak yüksek sıcaklık limitinin altında düşük sıcaklık limitinin üzerindedir. Tasarlanan sistem koşulları dengelemek için gerekli önlemleri alabilmelidir. Bu sistemin sorunsuz çalışmasını ve veri bütünlüğünü sağlar. İyi tasarlanmış bir sistem bileşen sıcaklıklarını, veri merkezi ekipmanı performansını, ses seviyesini ve güç tüketimini dengede tutar.

Geleneksel soğutma tasarımları ortama ısı olarak etki edebilecek tüm etmenlerin yükleri üzerinden geliştirilir. Bu etmenler klasik bakıştan değerlendirilirse güneş (radyasyon), duvar, pencere ve çatılar, hava sızıntıları (infiltrasyon), insanlar, aydınlatma ve cihazların

yaydığı ısı olarak söylenebilir. Tablo 1.3'te veri merkezi için güç dağılım oranları verilmiştir.

Tablo 1. 3 Tesis gücü (The Green Grid)

Elektriksel Yükler	IT Yükleri	İklimlendirme	Ek Yükler
-Devre -Dağıtım -UPS -Jeneratör Batarya Yedeği	-Telekomlar -Şebeke -Sunucular -Depolama	-CRAC -Chiller -Kondenserler -Soğutma Kuleleri -DX Sistemler -Pompalar	-Aydınlatma -Isıtma -BMS -Güvenlik -Yangın Söndürme
%10	%50	%36	%4

Veri merkezi soğutma hesaplarında yukarıdaki etmenlerin büyük bir kısmı, cihazlardan gelen yükler şeklinde tanımladığımız ısı yüklerinin yanında çok küçük etkilere sahiptir. Bu mahaller kullanım amacı doğrultusunda izole bir şekilde tasarlandığı için güneş yüklerine neredeyse maruz kalmazlar. Ortamda insan ve aydınlatma faktörü de sadece istisna durumlarda etkili olur. Aşağıdaki tablodan da görülebileceği üzere tesis gücü üzerinden yapılan değerlendirmede IT yükleri %50'lik bir bölüme karşılık gelmektedir.

Klasik soğutma optimizasyonları saatlik analizler ile, farklı soğutma ihtiyaçlarının zaman aralıklarına göre hesaplanması üzerinden geliştirilirken veri merkezleri için böyle bir optimizasyon çalışması söz konusu değildir. Örneğin bir kamu binası için ısı yükleri hesaplanırken ortamdaki insan yoğunluğunun en fazla olduğu zaman (pik noktası) ile aydınlatma yüklerinin en fazla olduğu an aynı değildir. Bu durumda soğutma sistemi geliştirilirken bu iki yük doğrusal olarak toplanmaz. Çünkü aynı anda bu soğutma yükleri hiçbir zaman üst üste gelemeyecektir.

Bu doğrultuda düşünüldüğünde veri merkezleri için yapılan hesapların geliştirilmesinden çok tasarımsal mühendislik daha önemli hale gelmiştir. Ekipman yükleri yapılan işlemlerle doğru orantılı olacak şekilde değişken olsa bile minimum talep ve maksimum talep noktalarını öngörmek mümkün değildir. Bu sebeple sistemdeki eksik kısım ısı yüklerinin doğru hesaplanmasından çok soğutma prosesinin mükemmel yakın bir şekilde gerçekleştirilebilmesidir. IT yüklerinin tesis gücünün yarısına karşılık gelmesi de bu durumu destekler niteliktedir. Literatür de bu yönde gelişmiştir. Soğutma sistem

tasarımları günümüze kadar pek çok kez değişmiş ve gelişmiştir. Donanımların hassasiyeti ve prosese özgü durumlar gelişimde etkili olmuştur.

1.3.5.1 Çevresel parametreler

Sıcaklık, bağıl nem ve çiğ noktası

Sıcaklık parametresi ortam iç sıcaklığı üzerinde doğrudan ve dolaylı yoldan etkilidir. İç ortamda güneş radyasyonu, iletim ve taşınım ile ortaya çıkan ısı kazançlarda doğrudan etkilidir. Ek olarak hava kullanarak soğutma gerçekleştiren sistemlerin verimleri üzerinde de etkili olacağından iç ortam soğutma verimi ve maliyeti üzerinde de dolaylı yoldan etkisi vardır.

Nem, bir veri merkezinde bulunan ve donanımların çalışmasına tehdit olan unsurlardan en az dikkat çeken ve dikkate alınanıdır. Geleneksel yöneticilerin bir kısmı bile bu unsuru dikkate almamayı tercih eder. Havadaki su buharının bir ölçüsü olan nem iki şekilde açıklanabilir: Mutlak veya bağıl nem. Bağıl nem, havada bulunan gerçek su buharı miktarıdır. Aynı zamanda havanın aynı referans sıcaklıkta neme doyması için bulunması gereken su buharı miktarı ile arasındaki yüzde oranı ilişkisidir. Örneğin, %40 oranındaki bağıl nem, bu sıcaklıkta havanın doyabileceği maksimum su buharının %40'ını bulundurduğu anlamına gelmektedir. Başka bir kavram ise havadaki su buharının gaz halden sıvı hale geçiş sıcaklığı, bağıl nem yüzde yüz iken, olarak belirtilen yoğuşma noktası veya çiğ noktasıdır. Bu durumda, hava doymuş kabul edilir.

Bir veri merkezinde bağıl nem cihazları iki şekilde etkileyebilir. Birinci tehlike elektrostatik farkların oluşması sonucu yaşanan deşarjlardır. Elektrostatik boşalma ihtimali, nem çok alt seviyelerde olduğunda meydana gelir. Ek olarak, bu ihtimal sıcaklığın düşük seviyelerde olmasıyla artar. Elektrostatik boşalmanın insanlar tarafından anlaşılabilmesi zordur ve yaralanma gibi büyük etkileri bulunmaz. Fakat 10V değerindeki bir fark donanımlara zarar vermek için yeterlidir. Diğer tehlikeli durum ise korozyondur. Bu durum elektronik bir cihazın ıslanması ve havadaki su buharının bir şekilde yoğuşması sonucu oluşabilir. Örneğin: Yüksek nem içeren bir yerde, veri merkezi elemanlarının içerisindeki elektronik parçalar hasar görebilir ve veri kaybı ortaya çıkabilir. Veri merkezi iklimlendirmesi için esas olan elektrostatik deşarj ve korozyon ihtimalinin olmayacağı bir

nem oranında cihazların çalışmasını sağlayabilmektir. Bunun için, en uygun bağıl nem aralığı %40 ile %55 arasındır (Bu değer aynı zamanda TIA/EIA 942 standardıyla önerilir).

1.3.5.2 Tasarımsal parametreler

Veri merkezi konumu

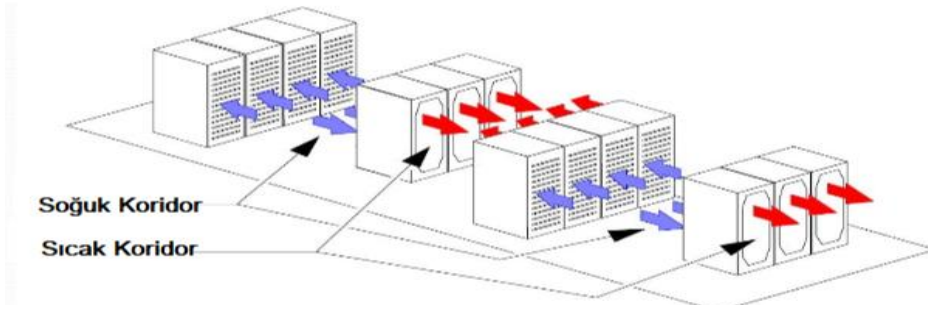
Tasarımsal parametreler farklı şekillerde karşımıza çıkmakla birlikte örnek olarak dünya devi Apple, Oregon eyaletinde Prineville şehrinde bir veri merkezi kurmuştur. Sıcaklık yılın yarısında 10 derecenin altında bir ortalama ile seyreder. Geri kalan yarısında ise 20 dereceyi aşmayan ortalama sıcaklık değerleri veri merkezi soğutma maliyetlerini ciddi oranda düşürmüştür. Bu bölgede dış hava sıcaklıkları oldukça düşük olduğu için Serbest Soğutma (Free Cooling) ile soğutma gerçekleştirilmiştir. Apple firması tesis gücü ve soğutma ihtiyacını konum tabanlı planlayarak bir çözüm gerçekleştirmiştir. Ekipmanların harcayacağı gücü, insan veya aydınlatma yükleri gibi faktörleri değiştirmek mümkün olmayacaktır. Tesis için bu durumlar sabit kalacaktır. Fakat dış hava koşulları üzerinden bir tasarım geliştirerek uygun ortam ve düşük maliyetli bir sonuç elde etmiştir.

Donanım yerleşimi, kabinet sayısı ve yoğunluğu, sıcak-soğuk koridor uygulamaları

Soğutma prosesi için IT donanımına giren havanın sıcaklığı önemli bir kriterdir. Buradan hareketle hava sıcaklığını istenilen şekilde elde edebilmek için çeşitli yöntemler denenmiştir.

Yükseltilmiş döşeme kullanarak sıcak-soğuk koridor tasarımı

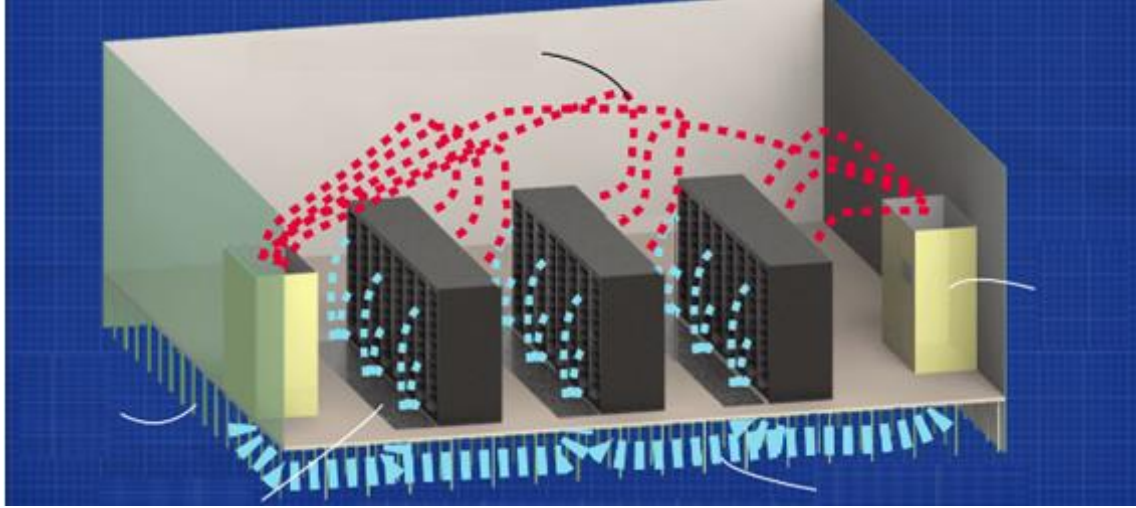
İlk zamanlarda üniteler farklı yönlerde bakacak şekilde tasarlanmış ve kısa bir süre içinde bunun verimsiz bir tasarım olduğu sıcak ve soğuk havaların birbirine karıştığı fark edilmiştir. Bu durum çalışmakta olan soğutma makinesi ayar noktasının aşırı derece düşürülmesine ve soğutma maliyetlerinin orantısız bir şekilde artmasına neden olmuştur. Akabinde tüm üniteler aynı yöne bakacak şekilde tasarım yapılmıştır (Şekil 1.6). Bir önceki yerleşime göre verimli olsa da benzer olarak ortama döşeme altındaki ızgaralar ile verilen soğuk hava dışarı atılacak sıcak hava ile karışmıştır. Bu durumda soğuk hava yer



Şekil 1. 6 Aynı yöne bakan ünite uygulaması

soğutma işlemini henüz tamamlayamadan ısınmıştır. Her noktada istenilen homojen sıcaklık dağılımı elde edilememiş ve sunucularda arızalar meydana gelmiştir.

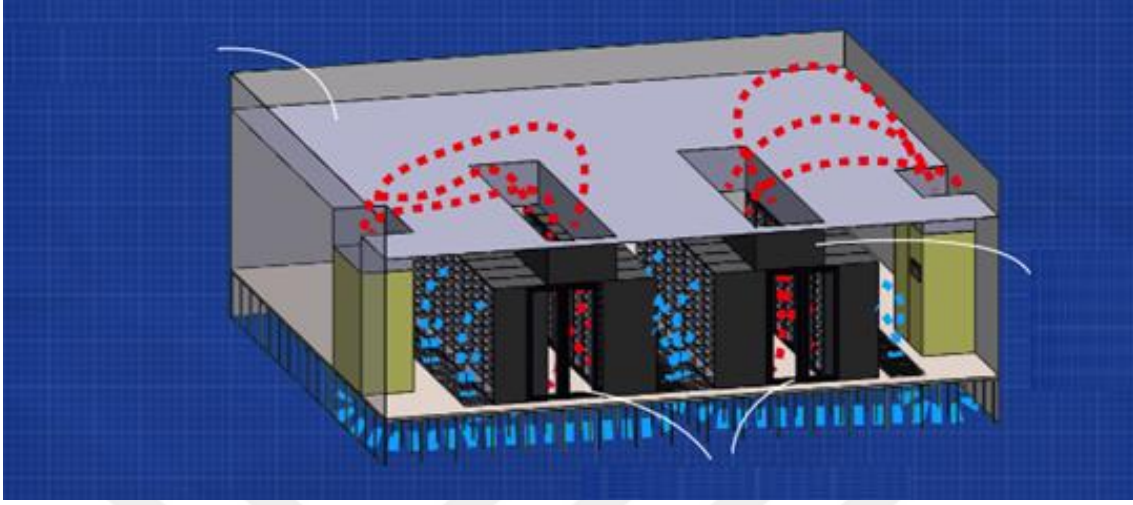
Bu duruma çözüm olarak sıcak ve soğuk koridor tasarımı geliştirilmiştir (Şekil 1.7).



Şekil 1. 7 Sıcak soğuk koridor uygulaması

Ünitelerin soğuk tutulmak istenen tarafları karşılıklı hale getirilerek soğuk ve sıcak koridorların oluşması sağlanmıştır. Bu durumda ızgaralardan çıkan soğuk hava gerekli soğutma işlemini gerçekleştirmiş ve ısınan bu hava yükseldiği yerden tahliye edilmiştir. Bu durum verimi oldukça yükseltmiş fakat soğutmanın tamamen istenilen şekilde gerçekleşmesine yeterli olmamıştır. Sıcak ve soğuk havaların yine de bir miktar karışması söz konusudur.

Günümüzde de sıklıkla kullanılan fiziksel bariyer kullanarak sıcak ve soğuk koridorların tamamen birbirinden ayrılması yöntemi ile homojen bir ayırım sağlanmıştır. (Şekil 1.8)



Şekil 1. 8 Fiziksel bariyer uygulaması

Bu bölümde yapılan karşılaştırmalar hassas kontrol üniteleri (CRAC) ile yapılan soğutma üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Yakın çiftli soğutma

Veri merkezinde klasik sıcak koridor / soğuk koridor tasarımında soğutucu kaynak sunucu dolaplarına varana kadar enerji kaybeder. Yakın çiftli soğutmada soğutulmuş su ya da soğutucu maddenin kendisi, sunucuların olduğu raflara kadar ortam içerisine bırakılmadan, soğutucu kaynağın bulunduğu bölüme mümkün olduğunca yakınlaştırılmasıyla sağlanır. Sunucu dolaplarına oldukça yakın yerlere monte edilir. Soğutucu kaynak havası veri merkezinin havasına karışmadan rafın içerisine direkt olarak hava üflenir.

Yalıtım

Yalıtım ısıtma veya soğutma yapılacak ortamın mevcut ısı durumu daha uzun süreli muhafaza edebilmesi için önem arz eden etmenlerden birisidir. Veri merkezi dış hava sıcaklığı çok yüksek olan bir bölgede ise dış ortamdan yalıtılması verimi olumlu etkileyecektir.

Günümüzde büyük veri merkezlerinden çok, küçük ölçekte kurumların kendi sistem gereksinimlerinin karşılanması için oluşturulmuş veri merkezleri bulunur. Bina içerisinde ayrı bir oda olarak tasarlanan bu merkezlerin çalışma sıcaklık şartları değerlendirilerek diğer mahaller ile arasında yalıtım yapılmasının gerekli olup olmadığı belirlenebilir.

Veri merkezleri için yalıtım daha çok soğutma işleminin gerçekleştirildiği bölümde sistemin her noktada eşit ve doğru çalışabilmesi için yapılır. Ayrıca bu sistem verimini de olumlu yönde etkiler. Sıcak ve soğuk hava kütlelerinin karışma olasılığını engellemek için sıcak ve soğuk koridorların yalıtılarak birbirlerinden ayrılma fikri ortaya çıkmıştır.

Soğutma sistem seçimi

Seçilen soğutma sistemi soğutma işlemini doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebilir. Her kabinet ayrıca soğutulabileceği gibi veri merkezi hacmi tamamen de soğutulabilir. Bu durumda soğutmanın homojen olarak sağlanması daha zor olacaktır. Sistemde olası bir problem tüm donanımlara zarar verebilecektir.

Hava akış hızı

Veri merkezleri boyut ve soğutma yükleri değişkenlik gösterir. Sistem soğutma yoğunluğuna bağlı olarak (W/m^2) doğru bir soğutma tasarımı için optimum bir hava akış hızı belirlenmelidir. Soğuk havanın hızı soğutma prosesine doğrudan etki eder. Gereğinden hızlı bir hava sıcaklığını yeterli oranda sisteme bırakmadan tekrar soğuk bir şekilde ortamı terk eder. Yavaş bir hava ise gerekli soğutma yükünü uygun hızda ve oranda sağlayamayacağı için sıcak havanın ekipman yakınlığında birikmesine neden olabilir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri ile hava hızlarının ortam sıcaklığına etkileri incelenerek tasarım için optimum hızlar belirlenir.

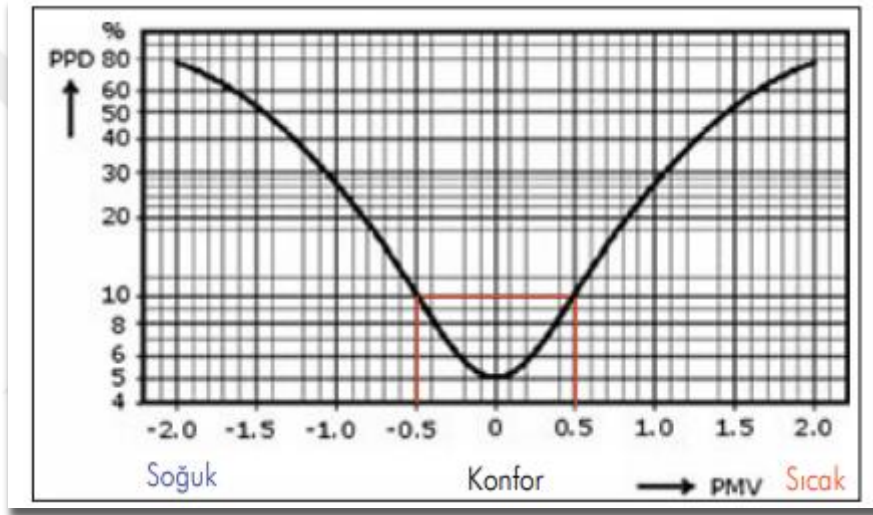
ASHRAE ve çeşitli kurumların hava hızları ile ilgili çalışmaları ve standartları mevcuttur. Mahal iklimlendirmelerinde hava hızı daha çok konforu sağlamak üzere belirlenmiştir. Standartları belirlemek üzere bazı tanımlar kullanılır.

DR- (Hava Cereyan Oranı- Draught Rating): Hava cereyanından rahatsız olan insanların yüzdesi.

PMV (Tahmin Edilen Ortalama Isıl Duyum- Predicted Mean Vote): Tanımlanmış bir ısıl çevrenin belirlenen ölçeğe göre kullanıcıların çoğunluğu tarafından nasıl algılanacağını gösteren tahmini değer.

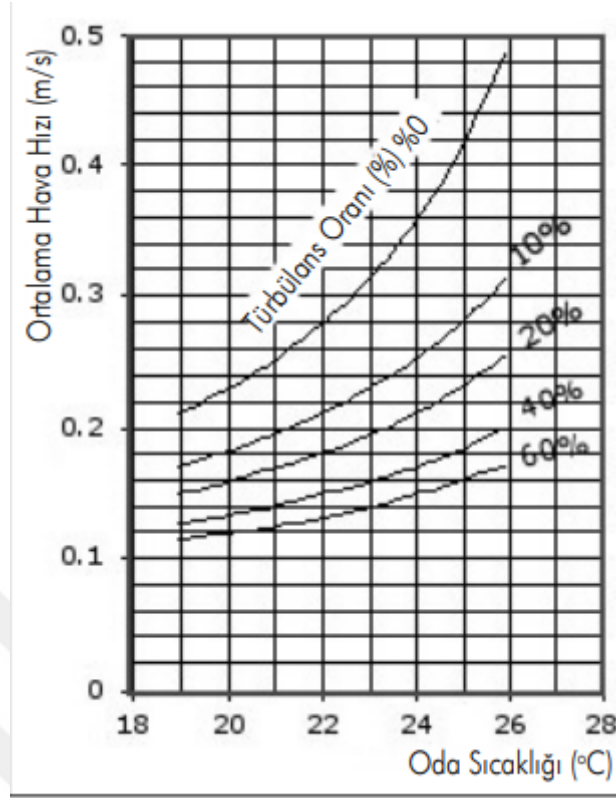
PPD- (Tahmin Edilen Memnuniyetsizlik Oranı- Predicted Percentage of Dissatisfied): İç ortam hava koşullandırmasından memnun olmayanların tahmini yüzdesi

ASHRAE 55 Standartı, $-0,5 < PMV < +0,5$ şartına dayanır. Bu standarta göre bir ortamda en az %5’lik bir grubun ısıl açıdan memnun olmadığı görülmektedir. Şekil 1.9’dan anlaşıldığı gibi bu limit en fazla %10’luk bir memnuniyetsizliğe olanak tanır. Bu sebeple PMV değeri önerilen $-0,5$ ile $+0,5$ arasında ise PPD %10’dan daha düşük olur.



Şekil 1. 9 Isıl duyum ve memnuniyetsizlik grafiği

Isıl konforu sağlayacak hava hızı NEN-EN-ISO 7730 standardına göre bulunur. Bu standart DR değerine en yüksek %15 oranında izin verir. Hava hızının türbülans yoğunluğunun, DR’nin değerini hesaplayacak şekilde ölçülmesi şarttır. Türbülans yoğunluğu ölçülen ortalama hava hızı ile ilişkili gerçek hava hızının bant genişliğidir. İzin verilen ortalama hava hızı Şekil 1.10’daki hava sıcaklığı ve türbülans yoğunluğuna göre belirlenir. Temel varsayım odada bulunanların %15’inin rahatsız olabileceği kabulüne dayanır. Örneğin, 25°C sıcaklığında ve %10 türbülans yoğunluğundaki bir odada Şekil 1.10’a göre izin verilen hava hızı 0,28 m/s; %20 türbülans yoğunluğunda 0,23 m/s; %40 türbülans yoğunluğunda 0,18 m/s ve %60 türbülans yoğunluğunda 0,16 m/s’dir



Şekil 1. 10 Oda sıcaklığı, türbülans oranı ve hava hızı grafiği

Veri merkezleri için tasarımda, konfor yerine cihazların sağlıklı çalışabilmesi dikkate alınmalıdır. Bu durum ise ayar nem değeri ve ayar sıcaklık değerini sağlayabilmek için gerekli olan hava hızı anlamına gelir. Hava akış simülasyonlarında veri merkezi alanı için uygun sıcaklık ve nem değerini sağlayabilen hava hızları belirlenmeli ve tasarım buna göre gerçekleştirilmelidir.

Kirlenme

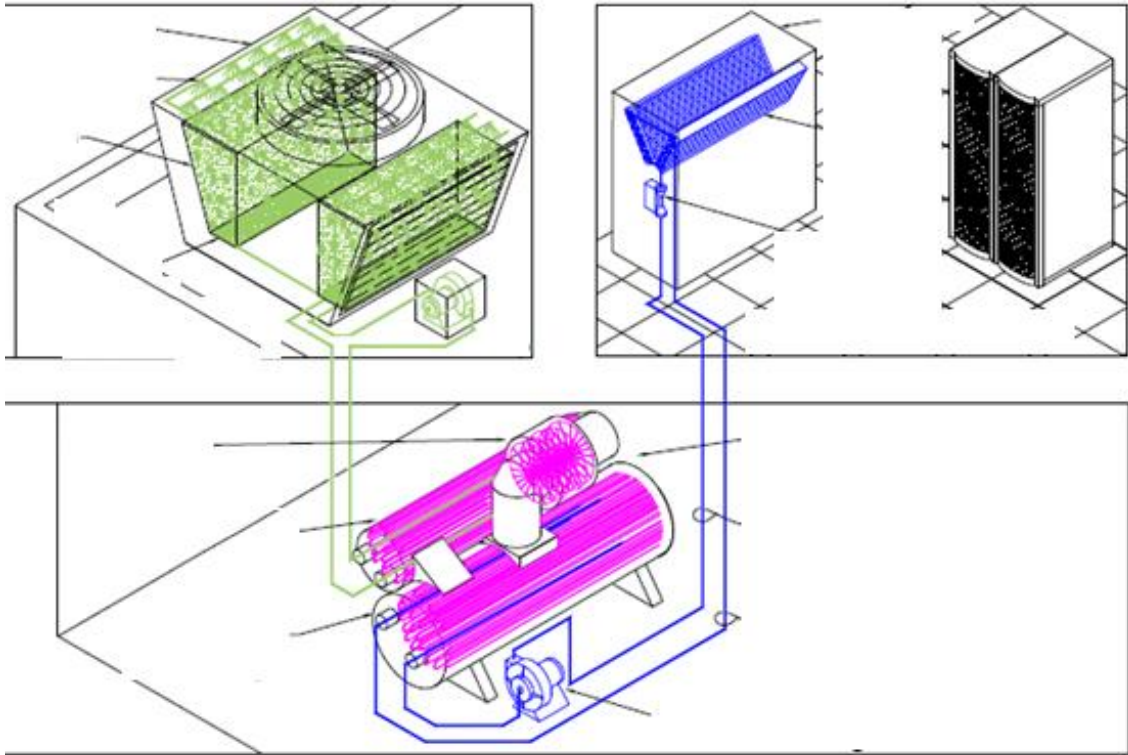
Veri merkezi tesisi genelde iyi tasarlanmış ve coğrafi olarak nispeten temiz ortamlara sahip bölgelerde tasarlanmıştır. Bundan dolayı, kirlenme ile ilgili endişeleri bulunmaz. Ancak, ortamın genel temizliği, bir veri merkezi tesisinin bulunduğu yer için kriterlerden yalnızca biridir. Bu husus genellikle en önemli mevzulardan kabul edilmez. Bazı veri merkezi tesisleri, dış ortam partikülü ve/veya gaz kontaminasyonunun girmesinden kaynaklanan zararlı ortamlara sahip olabilir. Bazı nadir durumlarda, veri merkezi Tesisinin kendisi içinde de bir kirlenme oluşabilir.

1.3.6 Veri merkezlerinde kullanılan iklimlendirme sistemleri

Veri merkezleri için kullanılan sistemleri çeşitli şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Bunlar iç ünitenin ısı transfer tipi ve sistemi, kullanılan akışkanın tipi veya dış ünite ısı transfer tipi ve sistemi olabilir.

1.3.6.1 Soğutulmuş su sistemi (chilled water system)

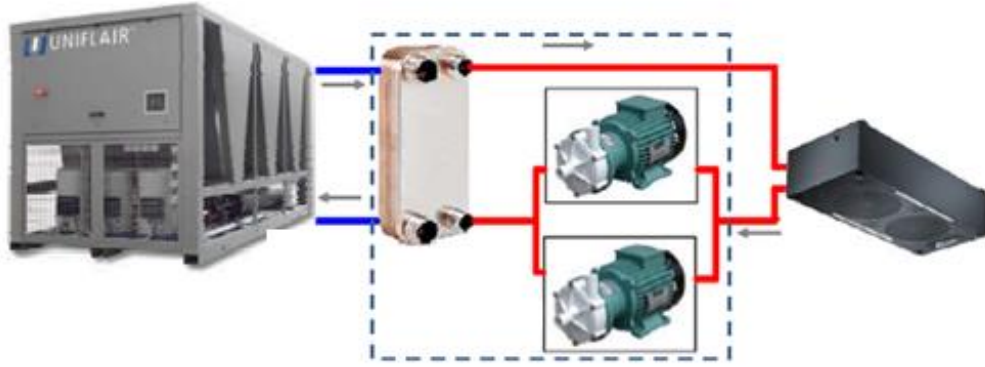
Chiller ve bir CRAH (Computer Room Air Handler) kombinasyonu olarak çalışır. Ortamdaki hassas klima iç ünitesi emdiği havayı cihaz iç kısmındaki serpantinlerden geçirerek soğutur ve ortama geri üfler. Ortam ısını alan su ise çevrimi tamamlayıp tekrar soğumak üzere Chiller cihazına gönderilir. Chiller cihazı su soğutmalı, hava soğutmalı veya glikol soğutmalı olabilir. Chiller cihazı ise soğuttuğu sudan çektiği ısıyı bir soğutma kulesi, kuru soğutucu ya da kondenser ünitelerinden herhangi birisi aracılığı ile dış ortama transfer eder. CRAH, hassas klima olarak bilinen CRAC (Computer Room Air Conditioning) cihazına benzer ancak farklı çalışır. Şekil 1.11’de chiller ve CRAH sistemi gösterilmiştir.



Şekil 1. 11 Chiller-CRAH şematik gösterimi

1.3.6.2 Pompalanan bir soğutucu akışkan ve soğutulmuş su sistemi

Bir chiller sistemiyle birleştirilmiş bir soğutucu akışkan, pompa ve ısı değiştiricisi sistemidir. Elverişlilik ve daha yüksek yoğunlukların gerekmesi ile ilgili endişeler, veri merkezi ortamında bu sistemlerin kullanılmasına yol açmıştır. Bu sistemler tipik olarak bir ısı değiştiricisi ve pompadan oluşur. Eşanjör ve pompa, soğutma işlemini veri merkezinin içerisinden ayırmıştır. Bununla birlikte, sistem glikol gibi diğer soğutma sıvılarını da tercih edebilir. Buradaki sistem R-134A ya da Flourinert benzeri sıvılar kullanır. Bu sıvılar kompresör olmaksızın sistem boyunca pompa ile taşınabilir.

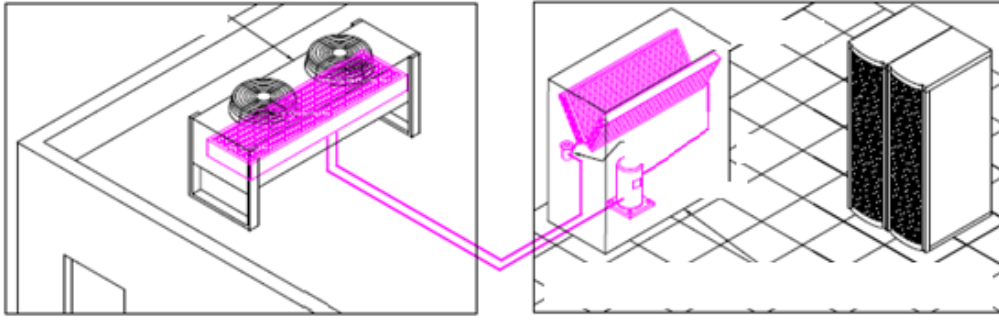


Şekil 1.12 Chiller ve soğutma çevrimi kombine sistem şematik gösterimi

Şekil 1.12’de bu sistemin paket bir hava soğutmalı chiller ile birlikte nasıl çalıştığı gösterilmektedir. Soğutulan su chillerden ısı değiştiricisine gider burada pompa ile ortamdan ısıyı çekmek üzere iç ünitelere gönderilir ve tekrar ısınmış bir şekilde chillere geri dönerek çevrimi tamamlar.

1.3.6.3 Hava soğutmalı CRAC sistemi

Bu kombinasyon genellikle bir hava soğutmalı CRAC DX sistemi olarak bilinir. “DX” adı, doğrudan genişleme anlamına gelir ve bu terim genellikle hava soğutmalı bir sisteme karşılık gelse de aslında soğutucu ve evaporatör bobini kullanan herhangi bir sistem DX sistemi olarak adlandırılabilir. Hava soğutmalı CRAC üniteleri, her boyutta IT ortamlarında yaygın olarak kullanılmaktadır ve kendilerini küçük ve orta ölçekli odalar için başlıca ürün olarak kabul ettirmiştir. Hava soğutmalı 2 parçalı bir sistemde, soğutma döngüsünün bileşenlerinin yarısı CRAC'dedir ve geri kalanı Şekil 1.13'te gösterildiği gibi hava soğutmalı kondenserde açık havadadır.



Şekil 1. 13 Hava soğutmalı kondenser-CRAC kombine sistemi şematik gösterimi

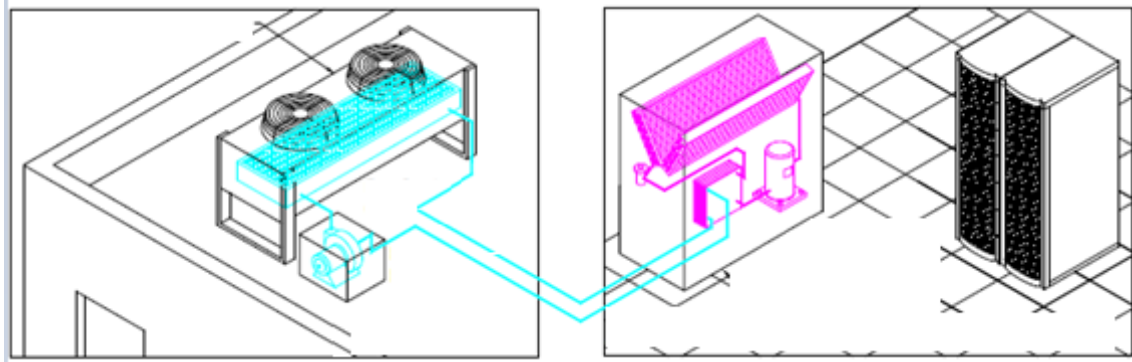
Soğutucu akışkan soğutucu hatlar adı verilen borular içinde iç ortam ve dış ortam arasında dolaşır. IT ortamındaki ısı bu dolaşımdaki soğutucu akışkan yardımı ile dış ortama pompalanır. Bu tip bir sistemde kompresör CRAC ünitesinde bulunur. Kompresör alternatif olarak kondenserde de bulunabilir. Kompresör kondenserde bulunduğu anda kondenser için doğru terim yoğuşma ünitesidir ve genel sistem split sistem olarak bilinir.

1.3.6.4 Glikol soğutmalı CRAC sistemi

Eğer glikol soğutmalı CRAC ünitesi dış ortamdaki bir kuru soğutucu ile kombine edilirse bu sistem genellikle glikol soğutmalı sistem olarak bilinir. Bu sistemde tüm soğutma çevrim bileşenleri tek bir kasada toplanır ve büyük konsender boruları yerine küçük bir ısı değişirici konulmuştur. Isı eşanjörü, soğutucudan ısı toplamak ve IT ortamından

uzaklaştırmak için glikol (otomobil antifrizine benzer bir su ve etilen glikol karışımı) kullanır.

Isı eşanjörleri ve glikol boruları, 2 parçalı hava soğutmalı sistemlerde bulunan yoğuşma borularından daima daha küçüktür, çünkü glikol karışımı, hava yapısından çok daha fazla ısı toplayıp taşıyabilir. Glikol, borular yoluyla, dış atmosfere ısıyı kuru bir soğutucu aracılığıyla atar. Glikolu sirküle etmek için bir pompa paketi kullanılır. Glikol soğutmalı sistem, Hava soğutmalı DX sistemin görünüşüne çok benzemektedir. Şekil 1.14'te glikol soğutmalı CRAC ve kuru soğutucu kombine sistemi gösterilmiştir.



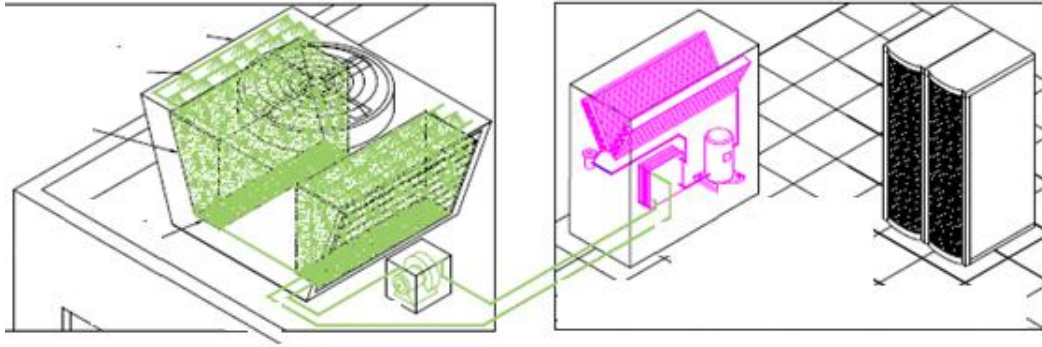
Şekil 1. 14 Glikol soğutmalı CRAC-kuru soğutucu kombine sistem gösterimi

1.3.6.5 Su soğutmalı CRAC sistemi

Su soğutmalı CRAC bir soğutma kulesi ile kombine edilirse bu sistem water cooled system olarak adlandırılır. Su soğutmalı sistemler, tüm soğutma döngüsü bileşenlerinin CRAC'ın içinde yer alması nedeniyle glikol soğutmalı sistemlere çok benzemektedir. Şekil 1.15'te su soğutmalı CRAC ve kuru soğutucu kombine sistemi şematik olarak gösterilmiştir.

Bununla birlikte, glikol soğutmalı sistem ile su soğutmalı sistem arasında iki önemli fark vardır.

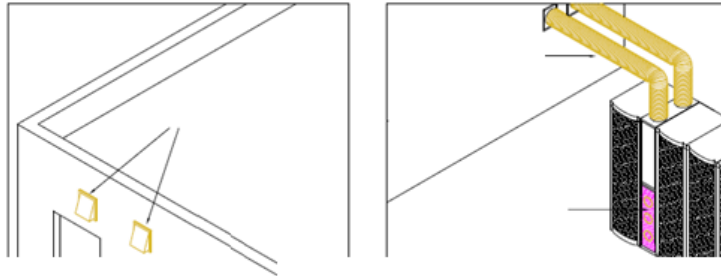
- IT ortamından ısı toplamak ve taşımak için glikol yerine bir su (kondenser suyu da denir) döngüsü kullanılır.
- Isı, kuru bir soğutucu yerine bir soğutma kulesi vasıtasıyla dış atmosfere atılır.



Şekil 1. 15 Su soğutmalı CRAC-kuru soğutucu kombine sistem gösterimi

1.3.6.6 Hava soğutmalı kendi kendine yetebilen sistem

Bir hava şartlandırma ünitesi ve bunları dağıtmak için havalandırma kanalları kullanıldığında bu sistem olarak adlandırılır. Kendi kendine yeten sistem olarak adlandırılan bu sistemde, soğutma döngüsünün tüm bileşenleri genellikle IT ortamında tek bir kasada bulur. Isı, kendi kendine yeten sistemden, egzoz havası olarak adlandırılan ve sıcaklığı yaklaşık 49 °C olan hava akımı olarak çıkar. Bu sıcak hava akıntısı, Şekil 1.16’da gösterildiği gibi bilgisayar ekipmanının uygun şekilde soğutulmasını sağlamak için IT odasından dışarıya veya koşulsuz bir alana yönlendirilmelidir.



Şekil 1. 16 Hava soğutmalı kanallı kendi kendine çalışabilir sistem şematik gösterimi

Kanallar düşük bir tavanın üzerine monte edildiğinde ve kondenser hava giriş veya çıkış kanalları kullanılmadığında, yoğuşma bobinindeki sıcak egzoz havası doğrudan alçak tavan alanlarına geri gönderilebilir. Binanın klima sistemi bu ek ısıyı karşılayacak kapasitede olmalıdır. Yoğuşma bobinden çekilen hava (egzoz havası) de bilgisayar odasının dışından sağlanmalıdır. Bu, daha sıcak ve koşulsuz havanın girmesine izin verecek şekilde odada bir vakum oluşturulmasını önleyecektir. Bağımsız soğutma sistemleri, tüm soğutma çevrimi bileşenlerini ve egzoz havasını yönetmek için gereken büyük hava kanallarını barındırmak için gerekli ek alan nedeniyle genellikle kapasitede (15 kW'a kadar) sınırlıdır. Bina çatısına dışarıdan monte edilen kendinden bağımsız sistemler, kapasite bakımından çok daha büyük olabilir, ancak hassas soğutma uygulamaları için yaygın olarak kullanılmazlar. Şekil 1.17 hava soğutmalı bağımsız bir sistemin bir örneğini göstermektedir.

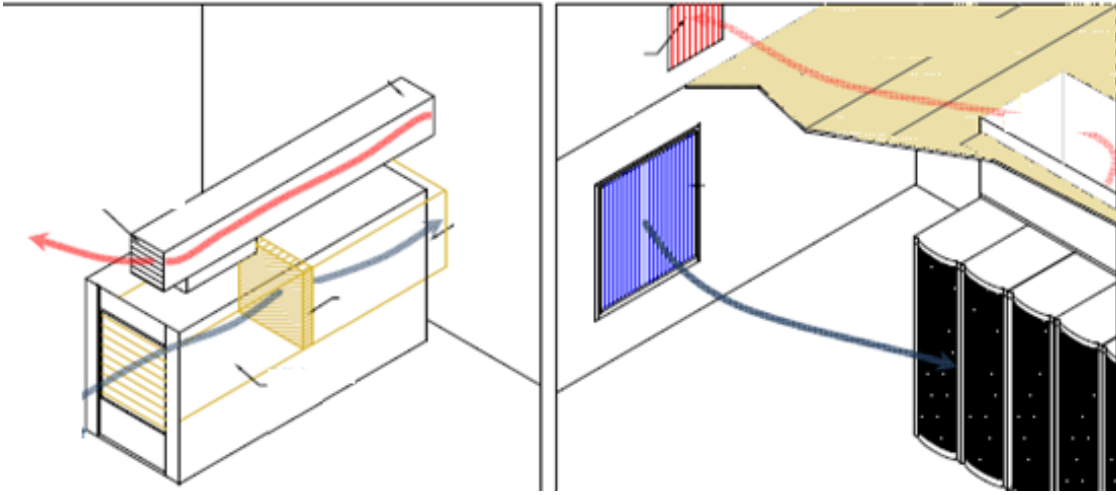


Şekil 1. 17 Hava soğutmalı bağımsız bir sistem

1.3.6.7 Direkt taze havalı evaporatif soğutma sistemi

Bir evaporatif soğutucu ve kanal sistemi ile oluşturulan sistemdir. Doğrudan temiz hava ekonomizör sistemi, filtreler aracılığıyla belirli bir miktardaki soğuk dış ortam havasını çekmek için fanları ve panjurları kullanır ve ardından dış hava koşulları belirlenen ayar noktalarında olduğunda doğrudan veri merkezine yönlendirir. Panjurlar ve amortisörler ayrıca, dış ortamlara verilen sıcak egzoz havası miktarını kontrol eder ve çevresel ayar noktalarını korumak için veri merkezi besleme havasına geri karıştırır. Bu soğutma yöntemi için birincil çalışma modu “ekonomizör” veya “serbest soğutma modu” dur ve çoğu sistem yedekleme olarak DX hava soğutmalı sistemi kullanır. Besleme havası filtrelenmiş olmasına rağmen, bu, duman ve kimyasal gazlar gibi ince parçacıkların veri merkezine

girmesini tamamen ortadan kaldırmaz. Bu ısı uzaklaştırma yöntemi genellikle buharlaşmalı soğutma ile kullanılır, böylece dış hava da veri merkezine girmeden önce bir ıslak ağ malzemesinden geçer (yan çubuğa bakınız). Buharlaştırıcı destek kullanılması, veri merkezi nemini artırır, çünkü veri merkezine doğrudan temiz hava, havayı doymaya getiren buharlaştırıcı ortamın üzerinden geçer ve bu da veri merkezi uygulamaları için bu yöntemin etkinliğini en aza indirir. Evaporatif destek kuru iklimlerde en faydalıdır. Singapur gibi daha nemli iklimler için, evaporatif destek ROI (yatırımın geri dönüşü) temelinde değerlendirilmelidir. Şekil 1.18’de, doğrudan temiz hava buharlaşmalı soğutma sisteminin bir örneğini göstermektedir.

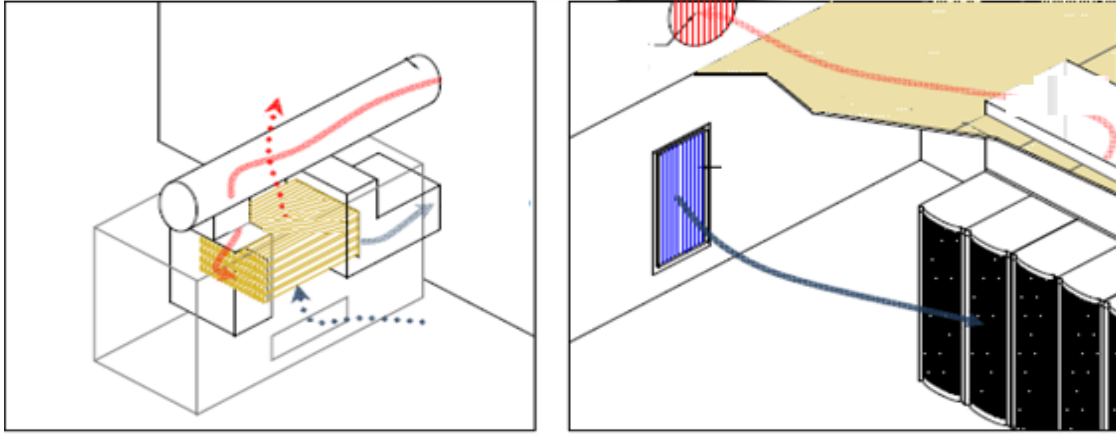


Şekil 1. 18 Direkt taze havalı evaporatif soğutma sistemi ekipman tipleri

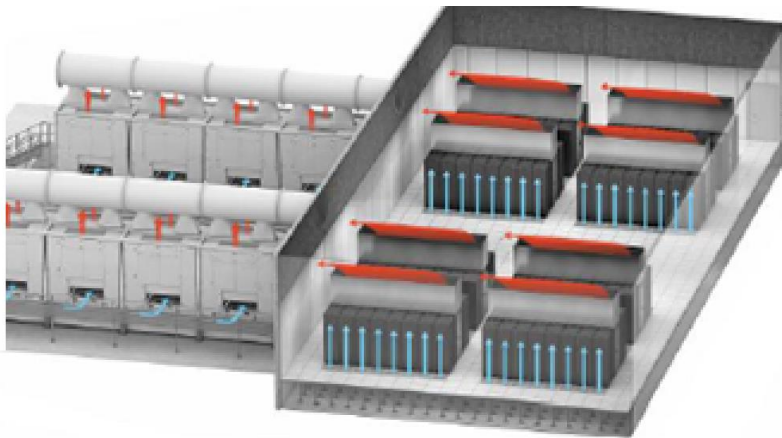
1.3.6.8 İndirekt taze havalı evaporatif soğutma sistemi

Bir indirekt evaporatif soğutucu ve havalandırma kanalları ile gerçekleştirilir. Dolaylı hava buharlaştırmalı soğutma sistemleri veri merkezi havasını dolaylı olarak soğutmak için açık havayı kullanır. Bu “ekonomizer modu veya serbest soğutma modu”, bu ısı giderme yöntemi için birincil işletim modudur, ancak çoğu yedeklenmiş olarak DX hava soğutmalı sistem kullanır. Fanlar, dışarıdaki havayı ısı eşanjöründen üfler, bu da ısı eşanjörünün diğer tarafındaki sıcak veri merkezi havasını soğutur, böylelikle veri merkezi havasını dışarıdan tamamen izole eder. Isı değiştirici tipi plakalı ya da rotary tip olabilir.

Dolaylı hava gibi, bu ısı giderme yöntemi genellikle, hava-hava ısı değıştircisinden transfer edilen ısı dışında, evaporatif destek kullanır. Eşanjör, dış havanın sıcaklığını ve dolayısıyla sıcak veri merkezi havasını daha da düşüren su ile püskürtülür. Şekil 1.19, dolaylı bir hava buharlaştırıcının örnek gösterimidir. Evaporatif destekli bir plakalı ısı değıştirci kullanan soğutma sistemidir. Şekil 1.20, bu tip bir ısı uzaklaştırma yöntemiyle komple bir soğutma sisteminin bir örneğini göstermektedir.



Şekil 1. 19 Dolaylı çalışan bir hava buharlaştırıcısı



Şekil 1. 20 Dolaylı hava buharlaştırıcısı ile soğutulan bir veri merkezi

1.3.6.9 Çatı tipi klima sistemi

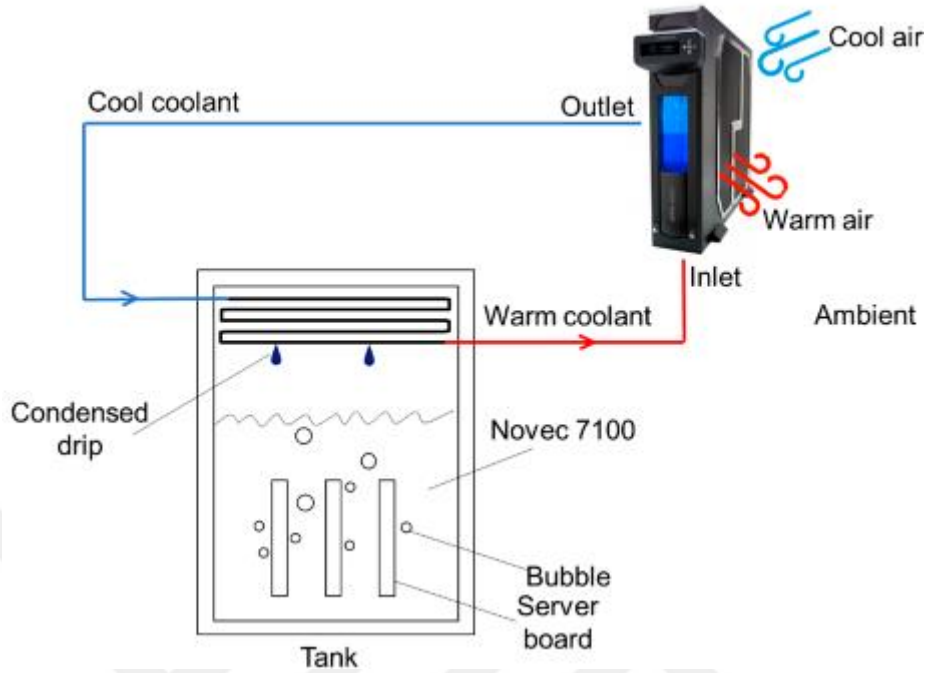
Paket tip roof-top ünitesi ve havalandırma kanalları ile kurulan sistemdir. Bu sistemler yeni veri merkezleri için tipik bir soğutma çözümü değildir. Çatı üstü üniteleri, temel olarak, açık havada, tipik olarak çatıya monte edilmiş ve iç mekân sistemlerinden çok daha büyük olmaları haricinde, yukarıda açıklanan hava soğutmalı müstakil sistemle aynıdır. Çatı üstü üniteler doğrudan taze hava ekonomizer moduyla da tasarlanabilir. Şekil 1.21, bir çatı üstü ünitesinin bir örneğini göstermektedir.



Şekil 1. 21 Çatı tipi klima ünitesi

1.3.6.10 Daldırmalı Sıvı Soğutma

Sunucular veya diğer BT bileşenleri kaynama sıcaklığı düşük, termal iletkenliği olan ancak elektriksel iletkenliği olmayan özel bir sıvıya daldırılır. Şekil 1.22 iki fazlı sistemin çalışma prensibini gösterir. Burada kullanılan Novec 7100 sıvısının kaynama noktası 61°C'dir. Düşük sıcaklıklı kaynama noktası olan bir akışkan seçilmesinin temel nedeni donanımların sorunsuz çalışma sıcaklıklarında kaynamayı gerçekleştirebilmektir. Sıvı yüzey tabakası kaynama sıcaklığına ulaştığında buhar kabarcıkları yükselir sistemin üst tarafına yerleştirilen kondenser yardımı ile yükselen buhar kabarcıklarındaki fazla ısı kondenser içerisindeki akışkana aktarılır. Bunun neticesinde buhar kabarcıkları tekrar sıvı hale gelerek yerçekimi yardımı ile aşağı damlar. Çevrim bu şekilde devam eder. Daldırılan sıvı herhangi bir buharlaştırma işlemi yapılmaksızın bir pompa yardımı ile ısını başka bir çevrime aktarabilir. Bu tip sistemler ise tek fazlı sistemler olarak adlandırılır (Liu ve Yu, 2021).



Şekil 1. 22 Daldırma tipi sıvı soğutma sistem şeması

1.4 Çalışmada Kullanılacak Isıl Hesap Yazılımlarının Tanıtılması

1.4.1 Yapı bilgi modellemesi kavramı (BIM)

Teknoloji her alanda olduğu gibi mimari süreçleri de kolaylaştırmak ve hızlandırmak için yeni yaklaşımlar ortaya koymaktadır. Yapı bilgi modellemesi, bir mimari projenin fikir, projelendirme, inşaat ve işletme gibi tüm süreçlerinde ilgili tüm disiplinlerin aktif bir şekilde faydalanabileceği bir üç boyutlu model ve bilgi kompozisyonudur. Yapı sektörü için tasarlanmış bir dijital çalışma yöntemidir. Uluslararası inşaat projelerinde, BIM yaklaşımı bir dünya standardı haline gelmiştir.

Bu gelişmelerin sonucu olarak bu yöntem ve yaklaşımın modelleme yazılımlarına yansımaları olmuştur. Yapının sadece modellenmediği içerisine aynı zamanda çeşitli verilerin de işlenebildiği yazılımlar geliştirilmiştir. BIM tabanlı yazılımlar IFC (The Industry Foundation Classes) dosya formatı ile çalışabilirler. Bu format mimari, yapı ve inşaat endüstrisi verilerini tanımlayabilmek için oluşturulmuş bağımsız, açık bir dosya biçimidir. Aynı iş akışına tabi diğer yazılımlar ile ortak kullanılabilir. Bir veri modeli

oluşturmayı amaçlamaktadır. Revit ve Cype yazılımlarını bu yaklaşım için uygun yazılımlar olarak değerlendirmek yanlış olmayacaktır. Kullanacağımız diğer 2 yazılım daha çok mühendislik hesapları için geliştirilmiştir.

1.4.2. Yazılımlar

1.4.2.1 Revit

Autodesk firması tarafından üretilen yapı bilgi sistemi (BIM) tabanlı bir yazılım olan Revit 3D modelleme ile iki boyutlu (2D) çizim unsurlarını bir arada bulundurur. İnşaat sektörü ile ilişkili tüm disiplinler için çeşitli fonksiyonlara sahiptir. Tez çalışmasında yazılımdan hem 3D mimari model oluşturmak için hem de yazılımın bünyesinde barındırdığı ısıtma ve soğutma yük hesaplama ara yüzünden faydalanılmıştır.

1.4.2.2 Trace 700

Trane firmasının bir yazılımı olan Trace 700 bir ısı yük hesaplama yazılımıdır. Enerji analizleri de gerçekleştirebilen yazılım ile yaşam döngüsü maliyet analizi de yapılabilir. Yazılım sanal bir binayı simüle eder, ancak binanın görsel bir görüntüsünü göstermez. Bir mühendislik yazılımı olarak geliştirilmiştir. Yaklaşık 500 farklı konum ile güçlü bir hava durumu kütüphanesini barındırır.

1.4.2.3 Cypetherm loads

Cypetherm yazılımı da Revit yazılımı ile benzer olarak BIM (Building Information Modelling) iş akışına uyumlu olarak çalışır.

Cype firması termal ve enerji analizlerini yapmak aydınlatma, ses ve yangın söndürme tesislerini tasarlamak ve bir dizi mühendislik sistemleri için programlar grubu geliştirmiştir. Binanın 3B modeliyle çalışan uygulamalar, Loads modülü ısı yüklerinin hesaplanması ile ilgili modüldür ve çalışmalar bu modül üzerinden gerçekleştirilecektir.

1.4.2.4 HAP 4.9

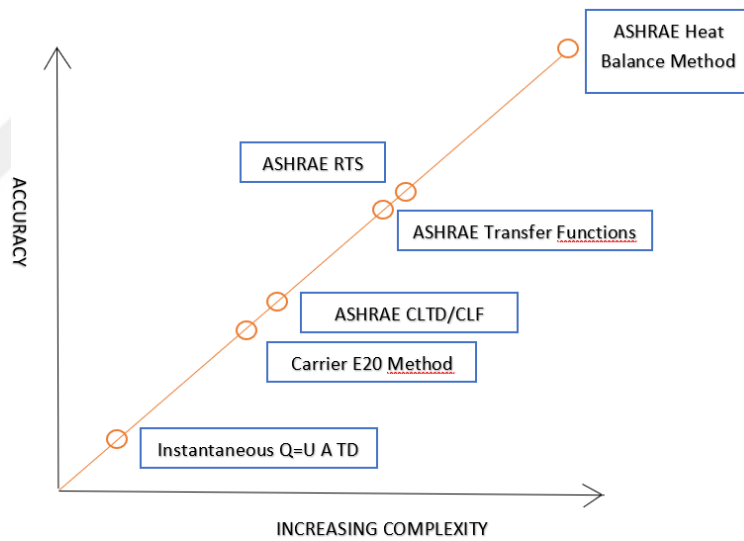
Carrier firması tarafından geliştirilen HAP yazılımı sektörde ve literatürde çok yaygın kullanılır. Mühendisler, tasarım ve yapım müteahhitleri, HVAC müteahhitleri, tesis

mühendisleri ve ticari bina sistem tasarım ve analizinde yer alan profesyoneller için tasarlanmıştır. Tez çalışmasında bir diğer alternatif olarak kullanılacak olan HAP yazılımı saatlik ve mevsimsel olarak programlama yapabilir. Çok yönlü tasarım ve analiz seçenekleri bulunur.

1.4.3 Kabul edilen standartlar ve matematiksel metotların incelenmesi

Geçmişten günümüze, iklimlendirme ve inşaat sektörü için önemi yüksek derecede çok olan, ısı kazanç ve kayıpların yük hesaplamaları yapılırken birbirinden farklı yöntemler kullanılmıştır. Farklı yöntemlerin mukayese edilmesi, yöntemlerin eksik veya daha doğru yönlerinin anlaşılabilmesine olanak sağlar (TTMD Dergi Eki 73-1-1).

Karmaşıklık ve doğruluk arasındaki ilişkiyi gösteren aşağıdaki tablo günümüze kadar kullanılan yöntemler ve birbirlerine üstünlükleri hakkında fikir sahibi olmamızı sağlar. Şekil 1.23'te hesap metotları için karmaşıklık ve doğruluk arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 1. 23 Hesap metotları karmaşıklık- doğruluk grafiği

Amerikan Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisleri Derneği (ASHRAE) ve dönem dönem referans alınan hesap yöntemi yukarıda gösterilmiştir.

Isıl yükler bir süre önce el ile ve anlık hesap yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntem ile hesap yapılırken ısı kazançların zamandan bağımsız olarak soğutma yüküne dönüştüğü varsayılmıştır. Hızlı sonuç veren bir yöntem olduğu halde ısı yüklerinin

depolanmasından kaynaklı değişimleri, radyasyon gibi değişken ısı kazançları dikkate alamadığı için en doğru hesap şekli değildir.

Isı depolama, radyasyon transferi gibi işlemler ısı kazançların soğutma yüklerine dönüşmesinde oldukça etkilidir. Bu tespit ilk olarak 1960 yılında Carrier'ın Sistem Tasarımları adlı el kitabında yayınlanmıştır. Bu yayının kapsamında eşdeğer sıcaklık farkları ve ısı depolamaları hesaplamaya yarayan yük faktörleri yer almaktaydı. Bu faktörler soğutma yüklerinin zamana bağlı olarak gerçekleşen değişimlerini tahmin etmek için kullanılmıştır. Bina içerisinde kullanılan diğer yapısal elemanların ısı depolamasının etkilerinin birleşimi, binanın konum ve doluluk değerinin hesaplar üzerindeki etkileri ise 1970 yıllarında ASHRAE CLTD/CLF yönteminde hesaba katılmıştır.

Yöntemlerin her ikisi de, el ile yapılan hesaplara benzer olarak karmaşıklık ve doğruluk dengelemesi açısından başarılıdır. Ancak esneklik olarak başarılı değildir. Bina yükleri; yapı, çevresel faktörler ve bina kullanımını ile ilgili geniş ve değişik faktörlerden etkilenir. Tablo kullanımını esas alan el hesabı metodu, genel olarak temel şartları sabit kabul ederek hesaplanır (42° kuzey enlemi için Haziran ayı için yük hesaplanması gibi). Arkasından gelen işlemlerde gerekli düzeltmeler ve katsayılar kullanarak düzeltmeler yapar. Sonuç olarak bu şekilde yapılan hesaplarda hata ve gerçeklik azalmış olur.

Bu yöntemler daha ileri seviyeli yöntemler ile mukayese edildiğinde, yük hesaplarının her tasarım için ayrı bir şekilde hesaplanması gerektiği görülmektedir. Tasarımın şartları doğrultusunda yöntemlerden biri veya birkaçı en doğru hesap yöntemi olabilmektedir.

Isı balans yöntemi, bina yük hesapları için bahsi geçen sorunlara çözüm sağlayabilen başarılı bir yöntemdir. Isı balansı hesaplamaları, bina yükleri için, diğer yöntemlerin temeli olarak görülebilir. Isı balans metodu tüm iletim, taşınım, radyasyon ve ısı depolama gibi ısı süreçleri kapsar. Isı transferi ve termodinamiğin temel kanunlarını kullanır ve bunlar doğrultusunda oluşan yükleri inceler.

Bina ısı transfer katsayıları, her bir element için ayrı yazılmış denklemleri ile tüm yüzey ve kütle elementleri için, her işlemi içerir şekilde göz önünde bulundurulur.

Tüm ısı balans denklemleri eş zamanlı çözümlenerek, oda havasına ısı transferinin toplam değeri belirlenir. Bunun sonucu olarak ısı durum gerçekçi bir şekilde değerlendirilebilir. Yöntemin kullanılması ile yüksek doğruluk oranları elde edilebilir. Fakat bu işlemlerin

gerçekleştirilebilmesi için karmaşık ve güçlü bilgisayarlar gerekir. Çok detaylı ve fazla veri girişine ihtiyaç duyar. Bu sebeple işlemler de uzun sürebilmektedir.

Bu yöneme alternatif bir çözüm Transfer Fonksiyonu Yöntemidir (Transfer Function Method). Yöntem ASHRAE tarafından tercih edilen bir yöntem olarak onaylanmıştır. CARRIER tarafından üretilen HAP ve birçok farklı hesap yazılımında bu metot kullanılmaktadır.

Transfer Fonksiyonu Yöntemi, ısıl denge yönteminin daha pratik bir hale getirilebilmesi için bazı matematiksel “hileler” kullanır. Böylece ısıl denge metodunun doğruluğundan da ödün verilmeden daha hızlı sonuçlar elde edilebilir. Transfer Fonksiyonu Yöntemi ısı kaynaklarından, sıcak çevre havası, radyasyon, aydınlatmalar, insanlar vb. gibi ısı kazançlarının iletim, taşınım, radyasyon ve ısı depolama işlemlerinden geçerek yüklere dönüşme süreçlerini inceler. Bu sayede binanın dinamik olarak ısı transfer durumu ve ısı yükleri hesaplanabilmiş olur. Ek olarak özel dizayn, yapı, çevresel faktörler, bina kullanım şartları için de hesaplamalar yapılır ve hesaplamalar her değişik bina uygulamasın için özel hale gelmiş olur. Yazılımlar kullanılarak yapıldıkları için, transfer fonksiyonları karmaşıklık ve doğruluk arasında iyi bir denge kurar. Program kullanılırken, Transfer Fonksiyonu Metodu kullanılarak, tüm yük üreten kaynaklar dinamik ısı akışını içerecek şekilde hesaplanır.

Isı havaya transfer olduktan sonra ise, buradaki ilave ısı miktarının soğutucu üniteler yardımı ile ortamdan alınması gerekir. Aydınlatmalar ilk açıldığında aydınlatma ısı kazancının önemli bir bölümü bina kütlesi tarafından yutularak tutulmaktadır. Zamanla bu depolanan ısı, ortam ve çevre havasına geçer. Lambalar kapatıldığında da depolanan ısı, havaya geçmeye devam eder. Böylece yükler ısı kazançlarının olmadığı durumlarda bile devam eder. Tüm ısı kaynakları bir radyant elemana benzer davranışlar gösterir. Bu yükler duvarlar, çatılar, camlar, şartlandırılmayan komşu hacimleri, insanlar, aydınlatmalar ve elektrik ekipmanlarını içerir. Transfer Fonksiyonu hesaplamaları da bu dinamik süreçler için hesaplamalar gerçekleştirir.

ASHRAE Temel El Kitabının 2017 baskısında iki yük hesaplama yöntemi tanımlar. HBM (Heat Balance Method) and RTS (Radiant Time Series).

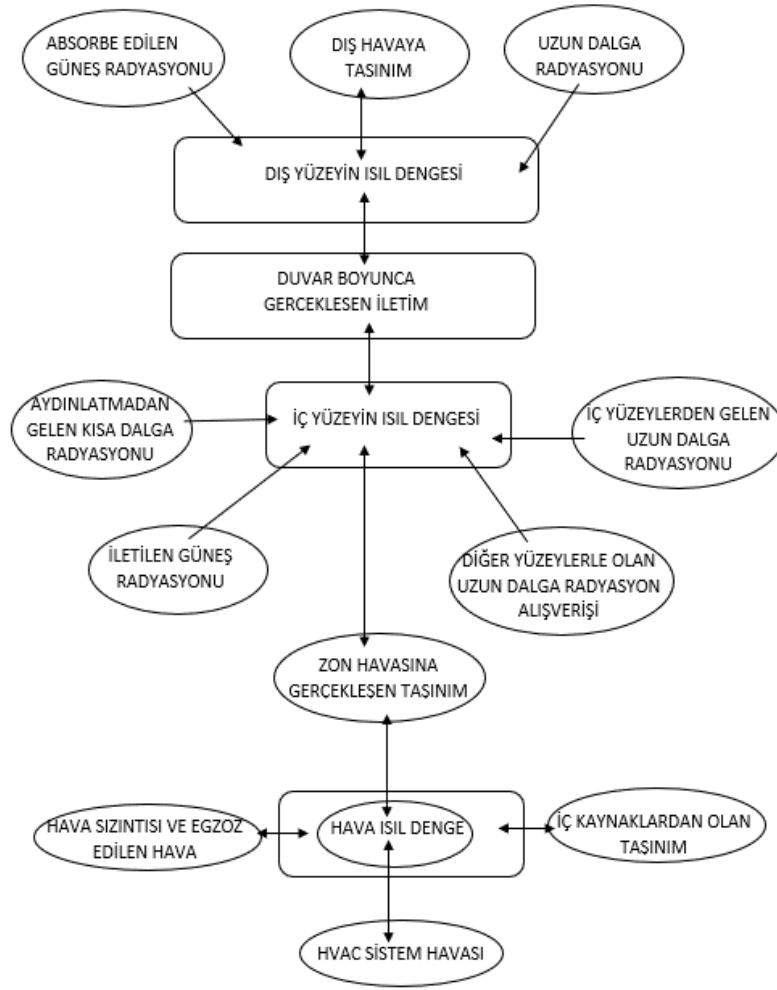
RTS metodu HB (Isıl Denge) prosedürünün sadeleştirilmesi olarak sınıflandırılmıştır. Güneş enerjisi pencereden binanın içine iletilir. Sıcaklığın bir kısmı pencere tarafından emilir ve yansıtılır ve geri kalanı iç yüzeyler tarafından emilir. Bu yüzeyler daha sonra konveksiyonla bu ısıyı yayarsa, odada soğutma yükü oluşur ve radyasyon gecikmesi var anlamına gelir. Isı Dengesi Yöntemi, bu gecikme etkilerini düzgün yüzey sıcaklıkları gibi bazı temel varsayımlarla açıkça hesaplar. Rastgele ayarlanmış parametre yoktur. İletken, konvektif ve radyant ısı dengesi, bir odadaki her yüzey için doğrudan hesaplanır. Buna karşılık, radyant zaman serisi (RTS) hesaplaması, zaman gecikmesi etkilerini tekrarlı olarak hesaplamak yerine 24 saatlik bir süre boyunca saatlik ısı kazançlarını dağıtmak için radyant zaman faktörlerini ve iletim zaman faktörlerini kullanır. El Kitabında yayınlanan bir zaman faktörleri tablosu, alanda bir soğutma yükü oluşturmadan önce bir duvar veya başka bir yüzey tarafından ısının ne kadar tutulacağını belirler.

1.4.3.1 Revit yazılımında kullanılan hesap metotları ve standartlar

Revit yazılımı ısı yük hesaplamaları için RTS (Radiant Time Series) metodunu kullanır. Isıtma ve soğutma yükleri hesaplarında kullandığı bilgiler için 2005 ASHRAE Handbook Fundamentals kitabını kaynak göstermektedir.

1.4.3.2 Trace 700 yazılımında kullanılan hesap metotları ve standartlar

Trace yazılımı HAP yazılımına benzer olarak ASHRAE 62.1-2004, 62.1-2007, 62.1-1989, 90.1-2007 gibi standartları kullanır. LEED sertifikasyonunu destekler ve içerisinde bu sertifikasyonla ilgili bir kullanıcı yönlendirme modülü bulunur. Şekil 1.24'te ısı denge yönteminin şematik gösterimi verilmektedir. Ek olarak Trace yazılımı birçok alternatif hesap metodu arasından arzu edilenin seçilmesine ve o yöntem ile çalışılmasına olanak tanır. Tablo 1.4 Trace 700 yazılımı için kullanılabilecek hesap metotlarını göstermektedir.



Şekil 1. 24 Isıl denge şematik gösterimi

Tablo 1. 4 Trace 700 hesap metotları

Cooling Load Methodology	Heat Gain Calculations	Room Load Calculations
TETD-TA1	Transfer Function	Time Averaging
CLTD-CLF (ASHRAE TFM)	Transfer Function	Transfer Function
TETD-TA2	Approximate TETD	Time Averaging
TETD-PO	Approximate TETD	Post Office RMRG Weighting Factors
CEC-DOE2	Transfer Function	Transfer Function using CLTD-CLF and California Energy Code constraints per CEC-DOE2.1c
RP359	Transfer Function	Transfer Function using ASHRAE RP-359 Weighting Factors
RTS (ASHRAE Tables)	Radiant Time Series	Heat Balance using ASHRAE tables for Radiant Time Series values
RTS (Heat Balance)	Radiant Time Series	Heat balance where Radiant Time Series Values are calculated
UATD	$U\text{-factor} \times \text{Area} \times \text{Temperature Difference}$	Instantaneous
TETD-TA1	Transfer Function	Time Averaging
CLTD-CLF (ASHRAE TFM)	Transfer Function	Transfer Function
TETD-TA2	Approximate TETD	Time Averaging
TETD-PO	Approximate TETD	Post Office RMRG Weighting Factors
CEC-DOE2	Transfer Function	Transfer Function using CLTD-CLF and California Energy Code constraints per CEC-DOE2.1c

TETD-TA1: Isı kazancı hesaplamaları 1972 ASHRAE Temel Bilgiler El Kitabı'nın ekinde ve sonraki ciltlerde açıklanan transfer fonksiyonu yöntemine dayanır. Mahal yük hesaplamaları ise 1972 ASHRAE Temel Bilgiler El Kitabı'nda belirtilmiş olan “time-averaging” tekniğini referans alır. 1972 ASHRAE Temel Bilgiler El Kitabı'ndaki TETD tabloları, ilk olarak burada kullanılan “exact response factor” metodu ile hesaplanmıştır. Burada kullanılan transfer fonksiyon yöntemiyle en iyi şekilde tahmin edilir.

CLTD-CLF (ASHRAE TFM): Bu yöntem Transfer Fonksiyon Metodu veya TFM olarak da anılır. CLTD/CLF tablolarının 1985 ASHRAE Temel Bilgiler El Kitabı'nda üretildiği gibi hem mahal yüklerini hem de ısı kazançlarını hesaplamak için transfer fonksiyon yöntemini kullanır. 1985 El Kitabı'nda bulunan tüm CLTD ve CLF tabloları, CLF'lerin aydınlatması dışında, 1972 ASHRAE El Kitabı'nda yer alan orijinal transfer

fonksiyonlarına dayanır. Tablo verileri ile kesin transfer fonksiyonu yöntemi arasındaki farklar, iki yöntem arasındaki varsayımların derecesine bağlı olarak değişecektir. Örneğin; duvar CLTD tabloları, duvar için gecikme ve genlik özelliklerine bağlı olarak birkaç genel grup olarak düzenlenir ve ortalamadır. Oda için hesaplanan zaman gecikmesi değeri sadece orta yoğunluktaki odalar için hesaplanmıştır. Transfer fonksiyon yöntemi ise her bir belirli duvar için duvar ısı kazanımını belirli bir odanın hesaplanan veya belirtilen yoğunluktaki değeri için mahal yükü transfer fonksiyonu katsayılarını kullanarak hesaplar.

TETD-TA2: Isı kazanç hesaplamaları kısmi bir duvar veya çatı döşemesi için genlik ve gecikme özelliklerini tanımlarken “lamda” ve “delta” kullanan bir TETD ısı kazancı yöntemidir. Mahal yük hesaplamaları 1972 ASHRAE Temel Bilgiler El Kitabı’nda belirtilmiş olan “time-averaging” tekniğini referans alır. Bu yöntem için ısı kazançlar TETD-TA1 için açıklanan TETD yöntemi için kullanılanlardan daha az kesin olduğundan, bu yöntemin yalnızca karşılaştırma amacıyla kullanılması önerilir. Bununla birlikte yöntemin basitliğinin, programın yük hesaplama aşamasının daha hızlı yürütülmesine izin vermediğine dikkat edilmelidir.

TETD-PO: Isı kazanç hesaplamaları kısmi bir duvar veya çatı döşemesi için genlik ve gecikme özelliklerini tanımlarken “lamda” ve “delta” kullanan bir TETD ısı kazancı yöntemidir. Mahal yükleri TRACE yazılımının orijinal sürümlerinde kullanılan Post Office RMRG ağırlıklandırma faktörlerine dayanır. Bu faktörler, oda yapısından bağımsız ve yalnızca ısı kazancının türüne göre değişir.

RP359: Bu metot ASHRAE’nin 359 numaralı araştırma projesinin sonuçlarını esas alır. Isı kazanç hesaplamaları transfer fonksiyon metodu referans alarak hesaplanırken mahal yük hesaplamaları bina bileşenlerinin belirli kombinasyonları için oluşturulan transfer katsayılarına (ağırlıklandırma faktörlerine) dayanır. Bu metot CLTD-CLF metodu ile aynı algoritmaları kullanır. Ancak mahal yük katsayıları farklıdır.

UATD: Bu metot sadece ısıtma yükü hesaplamaları için kullanılır. İletim ısı kaybı denklem 1.3 ve 1.4 ile hesaplanır.

$$\text{Isı Kaybı} = U\text{-Faktörü} \times \text{Alan} \times (\text{Sıcaklık Farkı}) \quad (1.3)$$

$$\text{Sıcaklık Farkı} = \text{Kış Tasarım Sıcaklığı} - \text{Oda Isıtma Tasarım Sıcaklığı} \quad (1.4)$$

Kullanıcı tercihinine bağlı olarak, iç yükler zamana bağlı olarak ayarlanabilir ancak tasarım hesaplamaları için tavsiye edilmez. Mahal yüklerinin hem iç hem de dış ısı kazanç değerleri için anlık olduğu varsayılır. Güneşten gelen kazanım için krediye izin verilmez.

RTS (ASHRAE Tabloları): Bu yöntem ile hesap yapılması durumunda yük hesaplamalarının her mahalin cam yüzdesi, mahalde halı olması ve olmaması durumu veya hafif, orta ve yoğun yapılardan biri olması durumuna göre 2001 ASHRAE Temel Bilgiler El Kitabı Tablo 24 ve 25'te tanımlanan RTS değerlerinden faydalanılarak interpolasyon yapılır.

RTS (Isıl Denge): Her bir mahal için güneş ile ilgili olan ve güneş ile ilgili olmayan değerleri 2001 yılında yayınlanan ASHRAE Temel Bilgiler El Kitabı'nda tanımlanan Isı Transfer Metodu'na göre hesaplanır. Tanımlanan bu yöntem ASHRAE'nin Bina Isıl yükleri için geliştirdiği araçların içerisinde bulunan algoritmaları kullanır. Ek olarak bu araçlardaki algoritmalar güneş ile kazanılan ancak pencerelerden tekrar taşınım ile kaybedilen ısı miktarlarının nedenini açıklamak için modifiye edilmiştir. Bu ısı dengesinden türetilen RTS değerleri, DOE 2.1 enerji analiz programı tarafından kullanılan özel ağırlıklandırma faktörlerine benzer bir şekilde saatlik simülasyon sırasında uygulanır.

CEC-DOE2: Bu metod DOE-2.1c enerji analiz yazılımındaki önceden hesaplanmış ağırlık faktörlerini kullanır. Aynı zamanda aydınlatma değerleri için hafif, orta ve yoğun yapılar için belirlenmiş olan ASHRAE ağırlık faktörlerini referans alır.

1.4.3.3 Cypetherm Loads yazılımında kullanılan hesap metotları ve standartlar

Yazılımın kullandığı bir dizi standart Tablo 1.5’te gösterilmiştir.

Tablo 1. 5 Cypetherm Loads standartlar tablosu

Standart Tipi	Standart Adı
Dosya Formatı	IFC4 ve IFC2x3
Isıl Yük Hesap Metodu	Zaman Serileri Analizi (Radiant Time Series Method)
Isıtma Yükleri	EN 12831
Enerji Standardı	ASHRAE 90.1
Bina Bileşenleri	ISO 6946
Binaların Termal Performansı	ISO 13370
Bina Malzeme ve Ürünleri	ISO 10456
Lineer Termal Köprüler	ISO 211

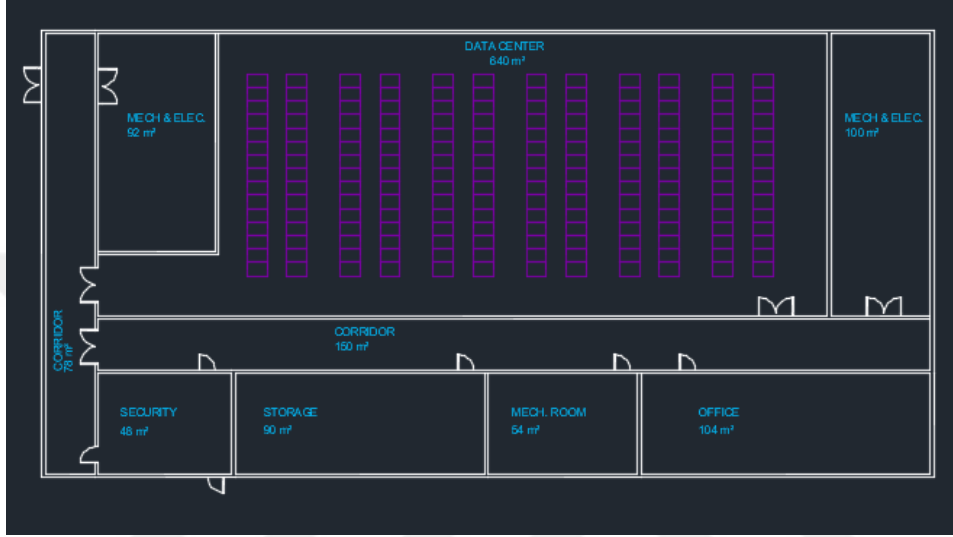
1.4.3.4 HAP 4.9 Yazılımında Kullanılan Hesap Metotları ve Standartlar

HAP ASHRAE onaylı transfer fonksiyonu metodunu ve enerji analizi için ayrıntılı 8760 hour-by-hour enerji simülasyon yöntemini kullanır. Yazılımın çalıştığı sürümünde havalandırma standartları olan ASHRAE 62.1-2001, 62.1-2004, 62.1-2007, 62.1-2010 kullanılmaktadır. Enerji standartları için ise ASHRAE 90.1-2004, 90.1-2007, 90.1-2010 kullanılmaktadır. Ayrıca yazılım, LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) için bazı sertifikasyon standartlarını da desteklemektedir. Bunlar LEED 2009 ve LEED-NC 2.2’dir. ABD’de United States Green Building Council (USGBC) firmasının geliştirdiği LEED sistemi, inşaat projeleri ve inşaat sektöründe dünya çapında oldukça büyük oranda itibarı olan ve sıkça kullanılan bir yeşil bina sertifikasyon sistemidir. Ülkemizde de son zamanlarda tercih edilmekle birlikte, enerji verimliliği başta olmak üzere çeşitli konularda kullanılmasını teşvik eder ve değişik başlıklarda notlamalar yaparak toplam bir değerlendirme yapar. Burada elde edilen puanlar binanın sertifikasyon sınıfını belirlemek için kullanılır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 3 Boyutlu Mimari Model Oluşturma

Modelleme ve hesaplamalar Şekil 2.1'deki veri merkezi tasarımı baz alınarak gerçekleştirilecektir. Ayrıca bina ile ilgili bazı veriler Tablo 2.1'de paylaşılmıştır.



Şekil 2. 1 Veri merkezi binası kat planı

Tasarım set değerleri Tablo 2.2'de, toplam ısı transfer katsayıları ise Tablo 2.3'te verilmiştir. Hesaplar bu değerler kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 2. 1 Bina ile ilgili bazı veriler

İl	Adana
Yaz Dizayn KT Sıcaklığı	35,9°
Yaz Dizayn YT Sıcaklığı	23,8°
Kış Dizayn KT Sıcaklığı	1°
Yükselti	39m
Enlem, Boylam	37,00, 35,42
Kat Yüksekliği	4,6m
Kabin Sayısı	180 adet 20kW'lık 42U Kabin
Saatlik Hava Değişim Oranı	0,1
Yüzey Soğurganlık Oranı	0,45
Saatlik Hava Değişim Oranı	0,1

Tablo 2. 2 Tasarım set değerleri

Mahal İsmi	Sıcaklık [°C]	Nem
Veri Merkezi	18-27	5.5°C ÇN ile %60 BN ve 15°C ÇN
Ofis Alanı	Yaz Set Sıcaklığı : 20°C Kış Set Sıcaklığı : 24°C	%60
Güvenlik Odası	Yaz Set Sıcaklığı : 20°C Kış Set Sıcaklığı : 24°C	%60

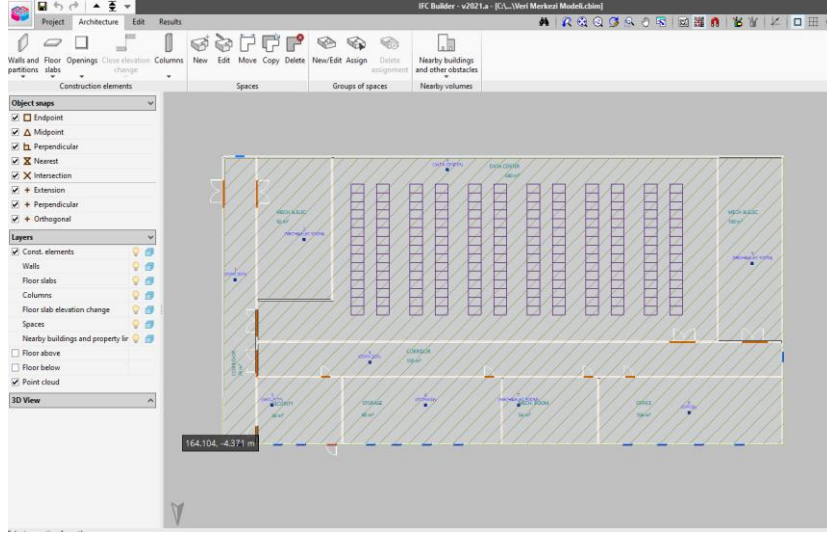
Tablo 2. 3 Toplam ısı transfer katsayıları

Yapı Elemanı	U (W/m²K)	SHGC
Toprak Temaslı Döşeme	0,6278	-
Çatı	0,45	-
İç Duvar	0,37	-
Dış Duvar	0,38	-
Pencere	1,8927	0,65

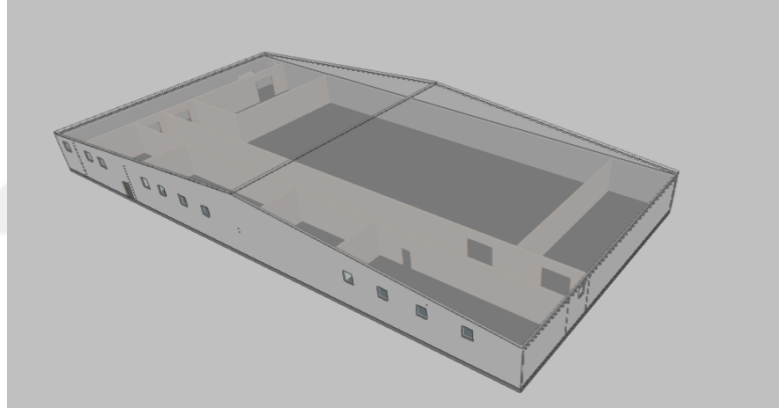
2.1.1 Cype ile mimari modelleme

Cype'nin alt bir modülü olan IFC Builder yazılımı yardımıyla mimari model oluşturulmuştur. Öncelikle kat yükseklikleri ile ilgili tanımlamalar (level) yapılır. Daha sonra yapı katmanları tanımlanarak 3 boyutlu fiziksel bir model elde edilir. Duvar, döşeme, pencere, çatı gibi yapı elemanları ilgili bölümlerden oluşturularak model tamamlanır. Şekil 2.2'de IFC Builder yazılım arayüzünden bir görüntü verilmiştir.

Ayrıca mahal tanımlamaları da yine burada oluşturulmuş 3 boyutlu model içerisinde yapılmalıdır. Oluşturulan IFC formatındaki model dosyası daha sonra ısı yükleri için bir başka modülde kullanılacaktır. Herhangi bir yazılım ile oluşturulmuş IFC formatlı bir dosya ile de çalışabilme imkânı sunar. Şekil 2.3'te oluşturulmuş 3 boyutlu model görseli verilmiştir.



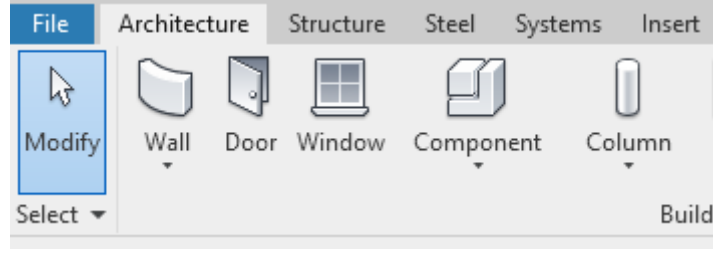
Şekil 2. 2 IFC builder yazılım arayüzünden bir görüntü



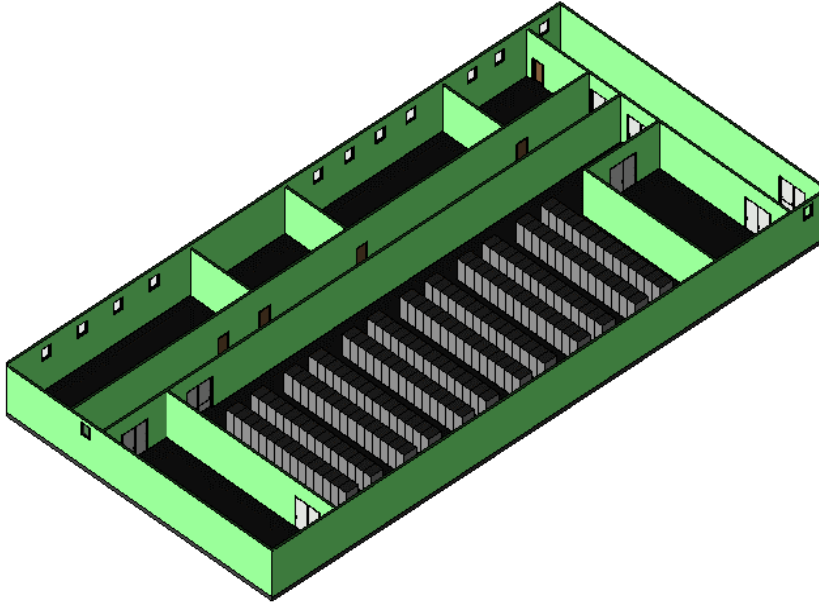
Şekil 2. 3 Cype 3 boyutlu model

2.1.2 Revit ile Mimari Modelleme

Revit, mimari, elektrik ve mekanik disiplinler için çok amaçlı ve oldukça kapsamlı bir yazılımdır. Bu çalışma kapsamında ısı hesaplarının yapılabilmesi için basit bir mimari model oluşturulmuştur. Çalışmalara başlamadan önce yine Z düzleminde belirli seviye tanımlamaları yapılmıştır. Daha sonra oluşturulacak tüm objeler bulundukları yükseklikleri bu tanımlı seviyelerden referans almaktadır. Mimari model oluşturabilmek için gerekli araçlar “Architecture” bölümündedir. Bu bölüm ile ilgili arayüz görüntüsü Şekil 2.4’te verilmiştir. Bu çalışmada oluşturulan revit modelin görünümü Şekil 2.5’te yer almaktadır.



Şekil 2. 4 Revit mimari arayüzden bir görüntü



Şekil 2. 5 Revit 3 boyutlu model görünümü

2.1.3 Trace 700 ile mimari modelleme

Trace 700 ile fiziksel bir mimari modelleme yapmak ve bunu görüntülemek mümkün değildir. Kullanıcı veri girişleri ile yazılıma mahallerin çevre ile olan ilişkilerini tanımlar. Yazılım arka planında bu verileri kullanarak hayali bir ısı hesap modeli oluşturur ve bunun sonuçlarını sunar. Şekil 2.6'da mahal bilgileriyle ilgili tanımlamaların yapıldığı arayüzden görüntü paylaşılmıştır. Bu çalışmada Trace 700 içerisine hesap için gerekli bilgiler tanımlanmıştır.

Create Rooms - Single Worksheet

Alternative 1

Room description: Office

Templates...

Room: X Floor: 17.4 m Width: 6 m

Internal: X Roof: 0 m 0 m

Airflow: X

Tstat: X

Constr: X

Equals floor

Wall...

Description	Length (m)	Height (m)	Direction	% Glass or Qty	Length (m)	Height (m)	Window
Wall - 1	17.4	4.6	0	0.057	0	0	✓
Wall - 2	5	4.6	270	0	0	0	
	0	5	0	0	0	0	

Internal loads...

People: 5 People

Lighting: 12 W/sq m

Misc loads: 1000 W

Airflows...

Cooling vent: 0 cfm

Heating vent: 0 cfm

VAV minimum: % Clg Airflow

Single Sheet Rooms Roofs Walls Int Loads Airflows Partn/Floors

Şekil 2. 6 Trace 700 mahal bilgi giriş arayüzü

2.1.4 HAP ile mimari modelleme

Trace 700 yazılımına benzer olarak HAP yazılımında da oluşturulmuş bir mimari yapı üzerinden ısı yükleri hesaplamak mümkün değildir. Tüm mahaller için ayrı ayrı çevresel parametreleri tanımlamanız gerekmektedir. Bu parametreler ısı kaybı ya da kazancı oluşturabilecek dış duvarlar, taban döşemesi, tavan döşemesi, pencere, kapı vb. parametreler olabilir. Bu çalışmada HAP yazılımına gerekli hesap bilgileri tanımlanmış ve yazılımın arka planında ısı hesap simülasyonu oluşturması sağlanmıştır. Şekil 2.7’de HAP yazılımı veri giriş ekranından bir görsel verilmiştir.

Space Properties - [DATA CENTER]

General | Internals | **Walls, Windows, Doors** | Roofs, Skylights | Infiltration | Floors | Partitions

Exposure	Wall Gross Area m²	Window 1 Quantity	Window 2 Quantity	Door Quantity
1 S	168.4	0	0	0
2 not used				
3 not used				
4 not used				
5 not used				
6 not used				
7 not used				
8 not used				

Construction Types for Exposure: **1 (S)**

Wall: Dış Duvar

Window 1: (none)

Shade 1: (none)

Window 2: (none)

Shade 2: (none)

Door: (none)

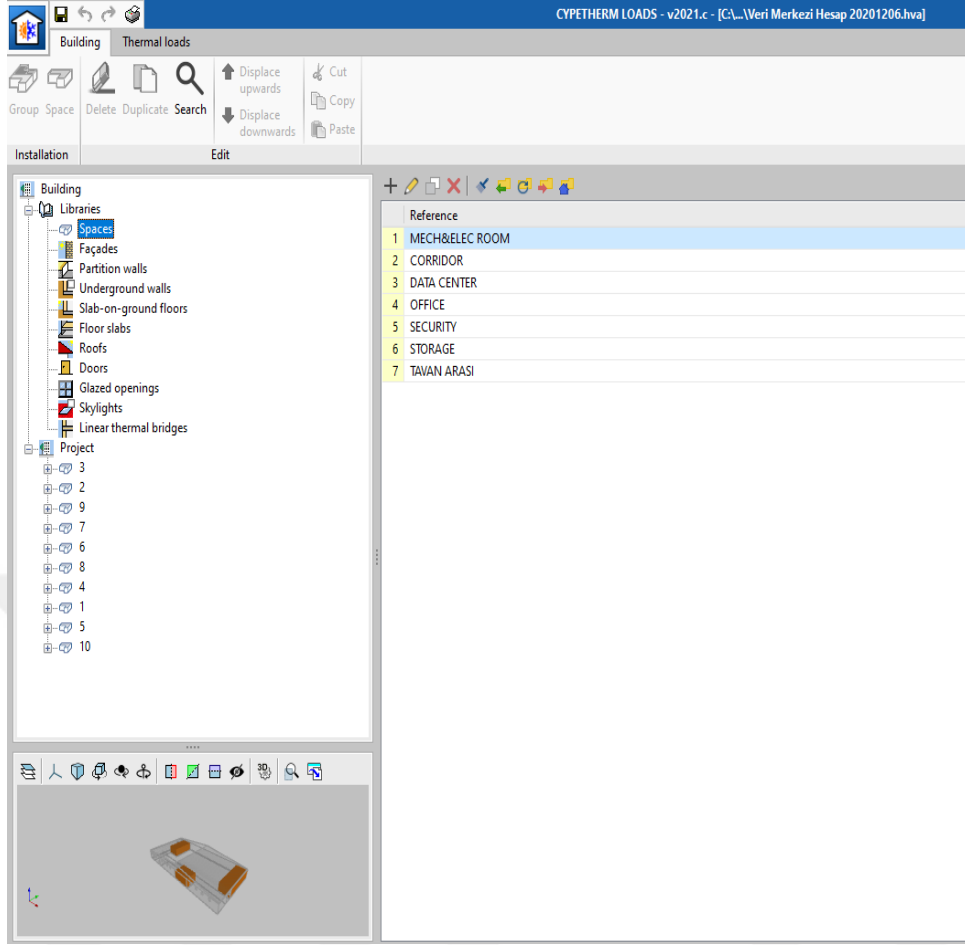
OK Cancel Help

Şekil 2. 7 HAP mahal bilgi giriş kısımlarından bir görüntü

2.2 Soğutma Yük Hesapları

2.2.1 Cype ile soğutma yükü hesabı

Cype yazılımları modül modül sunulmuştur. Birçok farklı modülde birçok farklı hesap ve analiz yapılabilir. Daha önceden IFC Builder ile oluşturulan mimari model Loads modülünde ısı hesapları için kullanılmıştır. Şekil 2.8'de Cypetherm Load modül arayüzünden bir görsel verilmiştir.

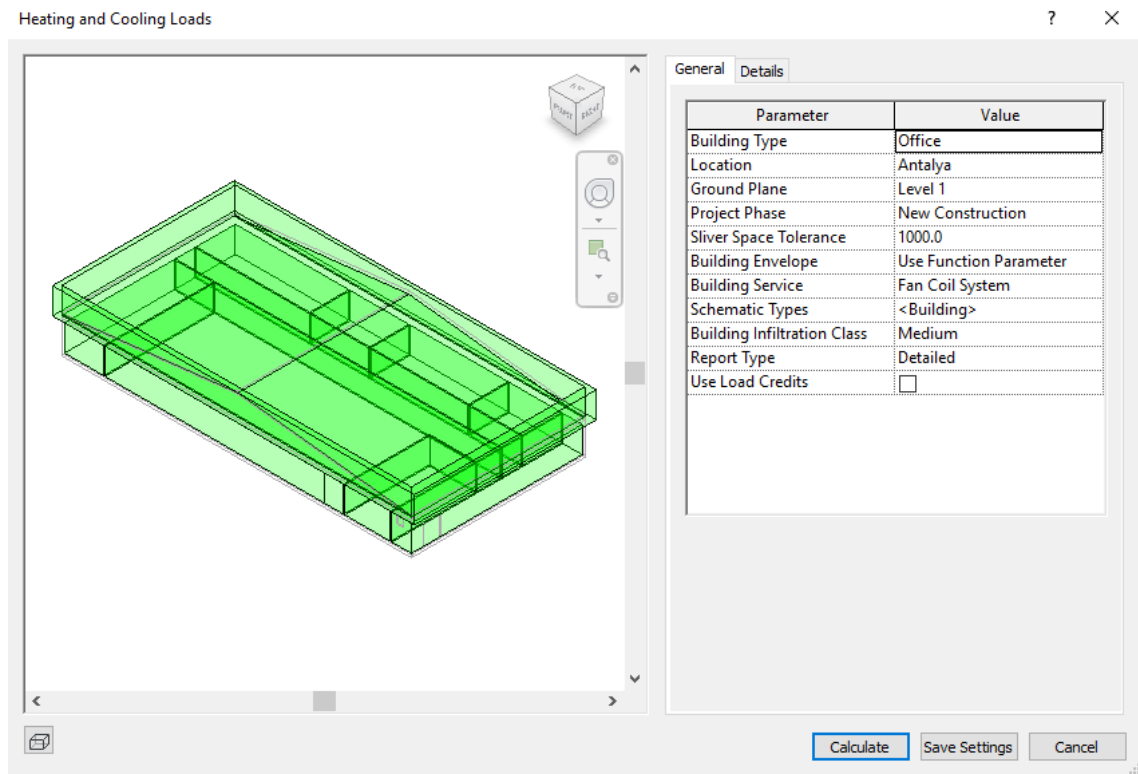


Şekil 2. 8 Cypetherm Load modülü

Modül, hacim ve alan gibi bilgileri daha önce oluşturulmuş mimari modelden temin eder. Ancak duvar ve döşeme gibi yapı katmanlarının building bölümünden tanımlanması gerekmektedir. Ayrıca mahaller ile ilgili diğer tüm tanımlamalar da bu modülden yapılmaktadır. Örnek olarak, veri merkezi dizayn sıcaklığı, ısıl kazançlar, cihazların çalışma aralıkları gibi tanımlamalar yapılmalıdır. Thermal Loads bölümünden ise ısıl hesap için gerekli hava durumu verileri seçilir. Ayrıca zonlama yapılacaksa yine bu bölümden yapılmalıdır. Gerekli tanımlamalar yapıldıktan sonra hesap raporu alınır. Bu çalışmada yapı katmanları ile ilgili bilgiler, mahal dizayn sıcaklıkları, hava durumu verileri ve zon bilgileri tanımlanarak Cypetherm Load yazılımı ile mahal soğutma yükleri hesaplanmıştır.

2.2.2 Revit ile soğutma yükü hesabı

Revit içerisinde tüm analizler “Analyze” kısmından yapılır. Katman bilgileri, konum bilgileri gibi tüm bilgiler bu kısımda tanımlanarak mahal soğutma yükleri hesaplanmıştır. Şekil 2.9’da Revit yazılımı ısı kaybı hesap bölümünden bir görsel verilmiştir.



Şekil 2. 9 Revit ısı kayıp/kazanç hesap

2.2.3 Trace ile soğutma yükü hesabı

HAP ile Trace 700 yazılımları kullanım ve işleyiş açısından paralellik gösterir. Yazılımlar kullanıcının mahali doğru bir şekilde tanımlayabileceği veri talepleri oluşturmuştur. Bu verileri çeşitli standartlar üzerinden veya kendi belirlediğiniz bir değeri girerek ilerlemenize olanak sağlarlar. Daha sonra bu verileri kullanarak arka planda bir ısı hesap modeli oluşturur ve bunun sonucunu size verir. Tüm veriler el ile girilir.

“Create Room” bölümünden hesap yapılacak mahallerin bilgileri tanımlanır. Trace 700 mahalın ısı hesaplarını etkileyebilecek tüm parametreleri 6 başlıkta toplamıştır. İlgili

arayüzlerden veriler yazılıma aktarılır. Şekil 2.10’da Trace 700 yazılımı ısı kaybı hesap bölümünden bir görsel verilmiştir.

		Alternative 1
	Enter Project Information	VERİ MERKEZİ PROJESİ
	Select Weather Information	Antalya
	Create Templates	5 Templates
	Create Rooms	3 Rooms
	Create Systems	1 Systems
	Assign Rooms to Systems	1 Assigned Rooms
	Calculate and View Results	12/06/2020 - 03:38 PM

Şekil 2. 10 Trace 700 ısı kayıp/kazanç hesap

2.2.4 HAP ile soğutma yükü hesabı

“Spaces” bölümünde hesap yapılacak mahaller oluşturulmuş ve içerisine ilgili teknik veriler tanımlanmıştır. Hesap raporu alabilmek için mahaller için seçilen iklimlendirme sisteminin belirtilmesi gerekmektedir. Bu seçim ısı yük hesaplarını etkilemese de yazılım, simülasyon ve analizlerde bu bilgiyi kullanacaktır. Şekil 2.11’de HAP yazılımı ısı kaybı hesap bölümünden bir görsel verilmiştir.

Space Properties - [DATA CENTER]

General | Internals | Walls, Windows, Doors | Roofs, Skylights | Infiltration | Floors | Partitions

Name: DATA CENTER

Floor Area: 640.0 m²

Avg Ceiling Height: 4.6 m

Building Weight: 341.8 kg/m²

Light Med. Heavy

OA Ventilation Requirements:

Space Usage: <User-Defined>

OA Requirement 1: 0.0 L/s/person

OA Requirement 2: 0.00 L/(s·m²)

Space usage defaults: ASHRAE Std 62.1-2007
Defaults can be changed via View/Preferences.

OK Cancel Help

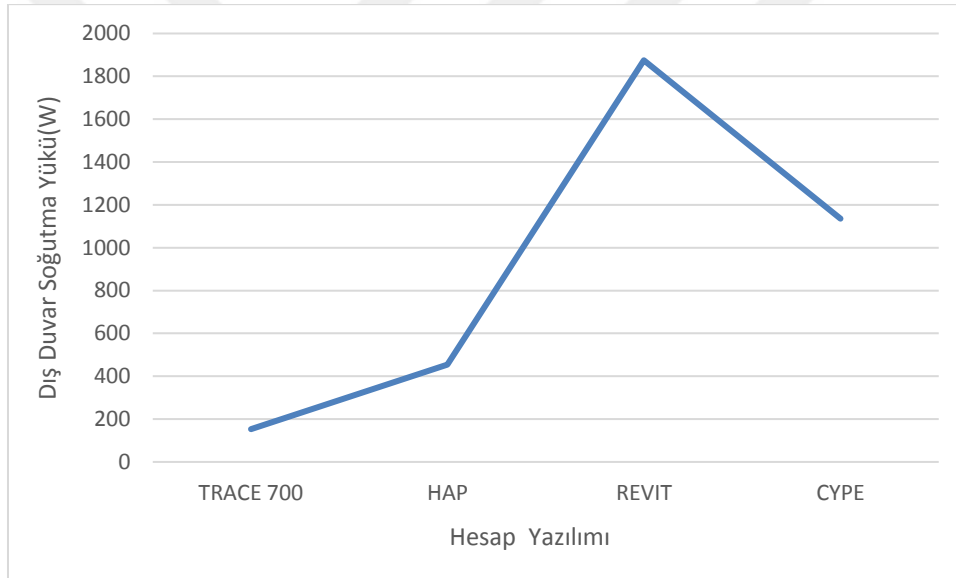
Şekil 2. 11 HAP ısı kayıp/kazanç hesap

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Soğutma Yük Analizleri

3.1.1 Dış Duvarlardan Gelen Yükler

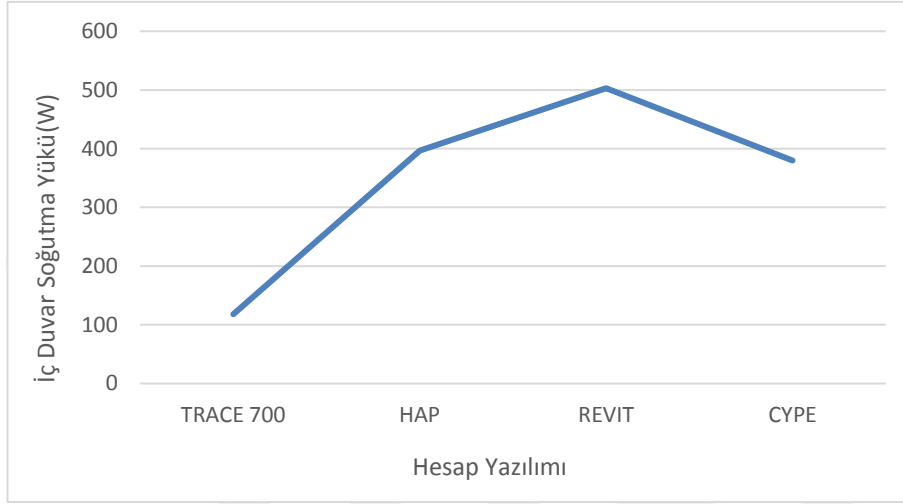
4 farklı yazılım kullanılarak veri merkezi hacmine ait dış duvar soğutma yükleri hesaplanmıştır. Güney cepheden sağlanan bu ısı kazanç değerleri aşağıdaki grafikte verilmektedir. Hesap değerlerinin dış duvarlar için değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Ek olarak Cypetherm Loads yazılımı ile ısı köprülerden kaynaklanan ek yükler de hesaplanabilmektedir. Bu çalışma için bu değer 327 W olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.1’de dış duvar soğutma yükleri karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 3. 1 Soğutma yükleri karşılaştırılması

3.1.2 İç Duvarlardan Gelen Yükler

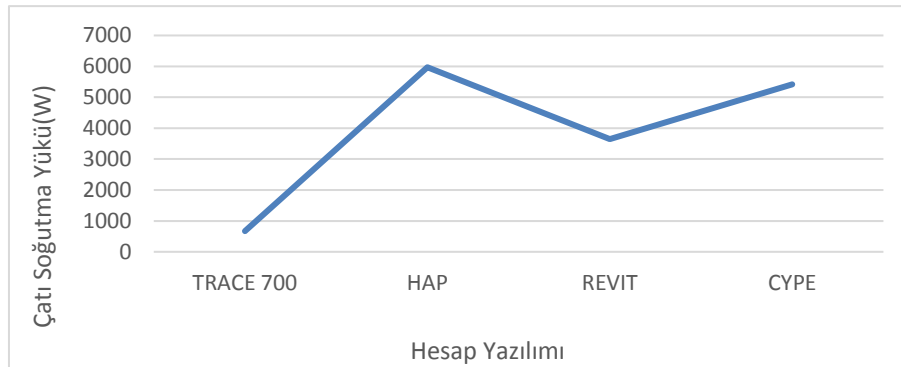
İç mahalden kazanılan ısı yükleri hesaplanmış ve aşağıdaki grafikte gösterilmektedir. İç duvar hesap değerlerinin dış duvar değerlerine kıyasla dört yazılım için de daha kararlı olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 3.2’de iç duvar soğutma yükleri karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 3. 2 İç duvarlardan gelen yükler

3.1.3 Çatılardan Gelen Yükler

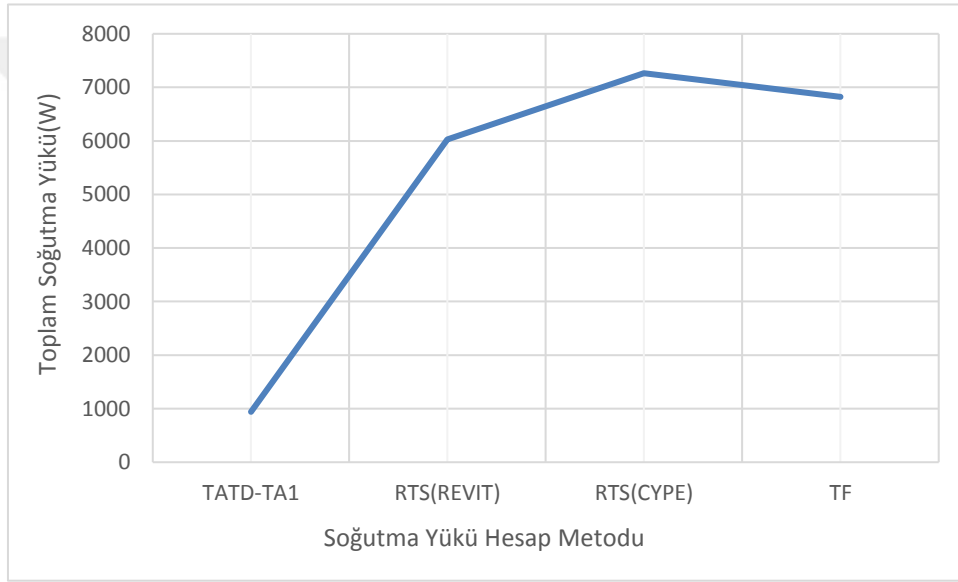
Çatılardan kazanılan ısı yükleri hesaplanmış ve aşağıdaki grafikte gösterilmektedir. Trace 700 yazılımında 670 W olarak hesaplanan soğutma değerinin diğer 3 yazılıma kıyasla daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca diğer 3 yazılım için yüklerin birbirine yakın olarak hesaplandığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.3’te çatı alanlarından elde edilen soğutma yükleri karşılaştırılma grafiği verilmiştir.



Şekil 3. 3 Çatıdan gelen yükler

3.2 Standart Analizleri

Revit ve Cypher Loads yazılımları RTS metodunu, HAP, Transfer Fonskiyon metodunu, Trace 700 yazılımı ise TETD-TA1 metodunu kullanır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda aynı hesap metotlarını kullanan yazılımlar arasında değerlerin birbirine daha yakın olduğu farklı standartlar ve metotlar kullanıldıkça değerlerin birbirinden uzaklaştığı gözlemlenmiştir. Grafikte hesap metotlarına göre veri merkezi toplam soğutma yük hesapları gösterilmiştir. Şekil 3.4'te kullanılan matematiksel metoda göre kıyaslanan soğutma yükleri grafiği verilmiştir.



Şekil 3. 4 Matematiksel metotlara göre ortalama soğutma yükleri

3.3 Cihaz Yükleri ve Diğer Isıl Yüklerin Karşılaştırılması

Veri merkezlerinin soğutulması konfor soğutma prosesine kıyasla metrekare başına düşen soğutma göz önüne alındığında soğutma ihtiyacının çok fazla olduğu hacimlerdir.

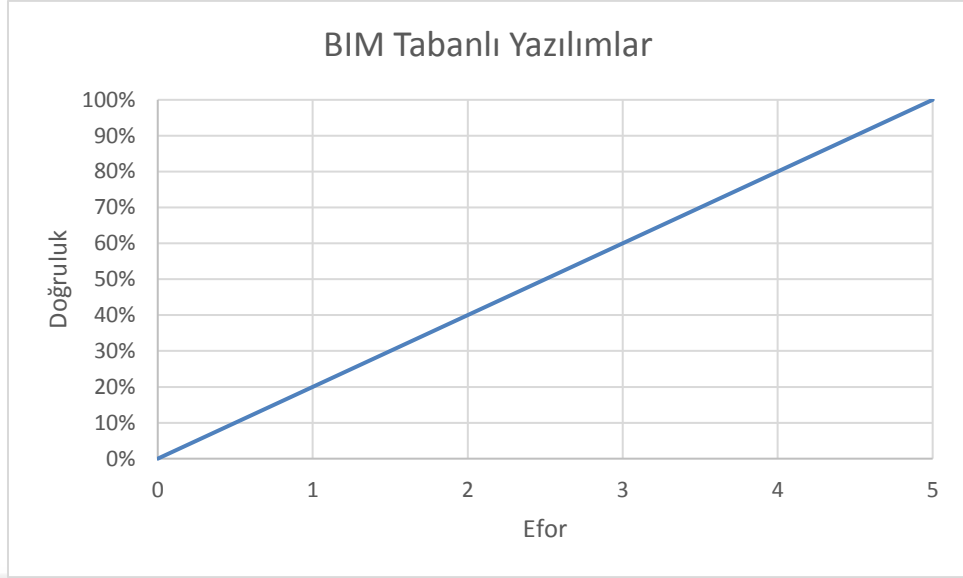
180 adet 20kW'lık 42U Kabin toplamda 3,6 MW bir soğutma yükü oluşturmuştur. Proje özelinde 640 m² düşünülen veri merkezi için metrekare başına düşen birim soğutma yükü 5625 W'tır.

Diğer ısı yüklerinin tüm yazılımlarda ortalaması alındığında metrekare başına ancak 10,3 W'lık bir soğutma yükü oluşturduğu gözlemlenmiştir.

3.4 BIM Tabanlı Yazılımlar

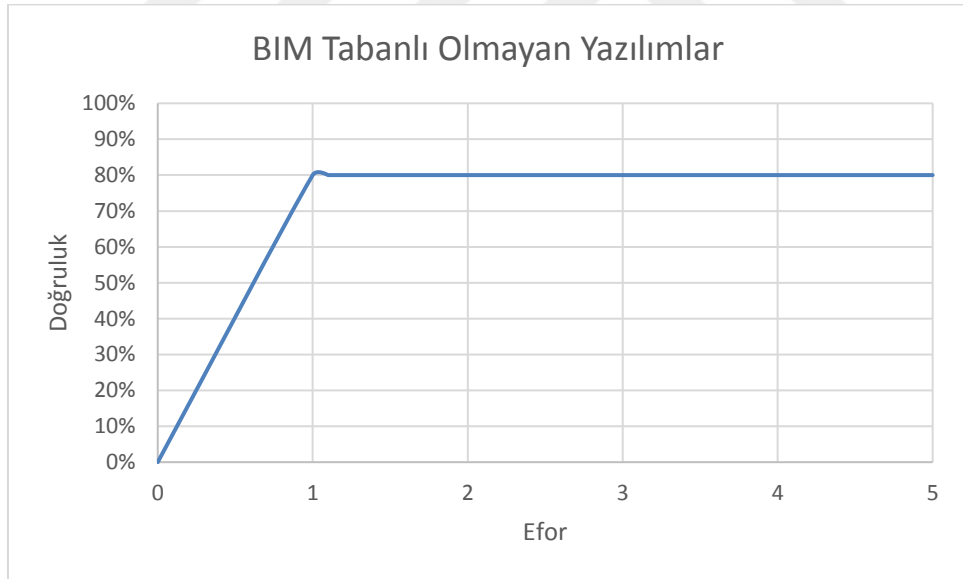
BIM tabanlı yazılımlar kullanıldığında mahallerin birbirleriyle olan ilişkilerini ayrıca tanımlamak gerekmediği gözlemlenmiştir. Yazılımlar, içerisinde fiziksel modele ek olarak fiziksel model üzerine inşa edilen bilgiler yardımıyla bu ilişkileri hesaplayabilmiş ve soğutma yükü hesaplarında kullanabilmiştir. Örneğin HAP ile yapılacak bir hesapta bir mahalin dış duvar alanını kullanıcının girmesi gerekmektedir. Ancak BIM tabanlı olan Cypetherm Loads veya Revit gibi yazılımlar kullanıldığında mimari model oluşturulurken bu duvara gerekli bilgi işlenmektedir. Bilgi modellemesi kavramı herhangi bir duvar objesi için ele alınırsa içerisine bazı bilgilerin de işlenerek anlamlı bir fiziksel model oluşturulması anlamına gelir. Yazılım kendisi dış duvar alanını oluşturulmuş fiziksel modelden elde edecek ve hesapları devam ettirecektir. Bunu hesabı etkileyecek diğer tüm objeler için de yapabilecektir. Mimari modelin fiziksel durumu kullanıcı tarafından anlık takip edilebileceği için yapılabilecek olası bir hata da kolaylıkla fark edilebilecektir. Bu durumda girilmesi gereken veri sayısı çok daha az olacaktır. Ancak bu durum modeli oluştururken doğru tanımlamalar yapılarak ilerlenmesi zorunluluğunu ortaya koyar. Dış duvar olarak tanımlanmamış bir duvar ısı kaybı hesabının gerçek hesap değerinden daha az çıkmasına sebep olacaktır. Tüm buradaki gözlemler literatürde daha önce BIM kavramı ile ilgili olarak ortaya konulmuş çalışmaları destekler niteliktedir. Gözlemlenen veriler aşağıdaki iki grafikte ortaya konulmuştur.

Buradaki değerlendirme soğutma yük hesapları sürecini konu edinmiştir. Literatürde benzer çalışmalar proje maliyetleri ve inşaat maliyetleri ile ilgili çok defa yapılmış olup BIM yaklaşımının proje maliyetlerinde ve sürelerinde ufak artışlara neden olmasına karşılık inşaat maliyetlerinde ve sürelerinde çok ciddi düşüşler sağladığı bilinmektedir. Şekil 3.5'te BIM tabanlı yazılımlar için harcanan efor ve prosesin doğruluğu arasındaki grafiksel gösterim verilmiştir.



Şekil 3. 5 BIM tabanlı yazılımlarda doğruluk

Şekil 3.6’da BIM tabanlı olmayan yazılımlar için harcanan efor ve prosesin doğruluğu arasındaki grafiksel gösterim verilmiştir.



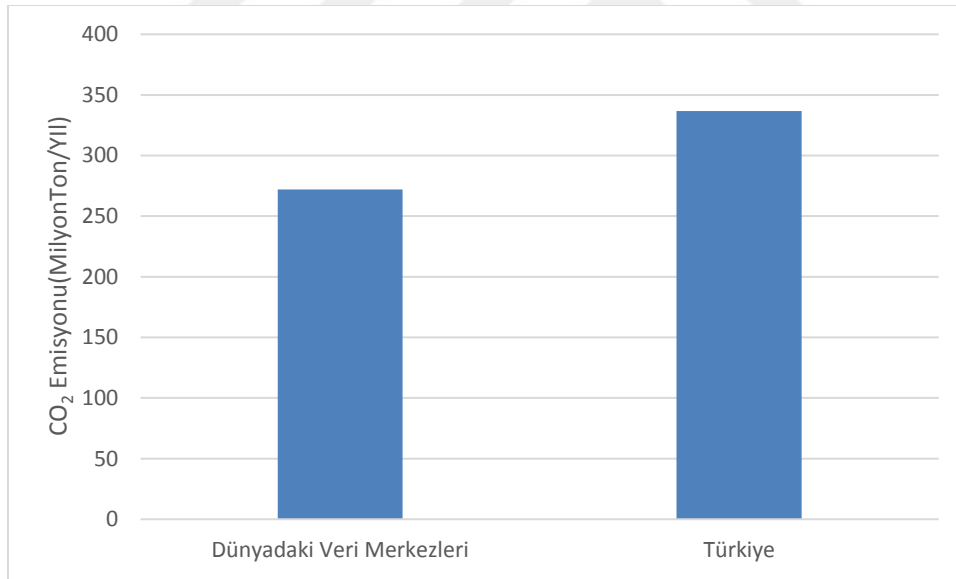
Şekil 3. 6 BIM tabanlı olmayan yazılımlarda doğruluk

3.5 Karbon Ayak İzi

Tasarlamış olduğumuz veri merkezi için PUE etkinlik değeri 2 ve yaklaşık 400 kW IT donanım gücü kabul edilerek yıllık 4093 ton karbondioksit gazı açığa çıkacağı hesaplanmıştır.

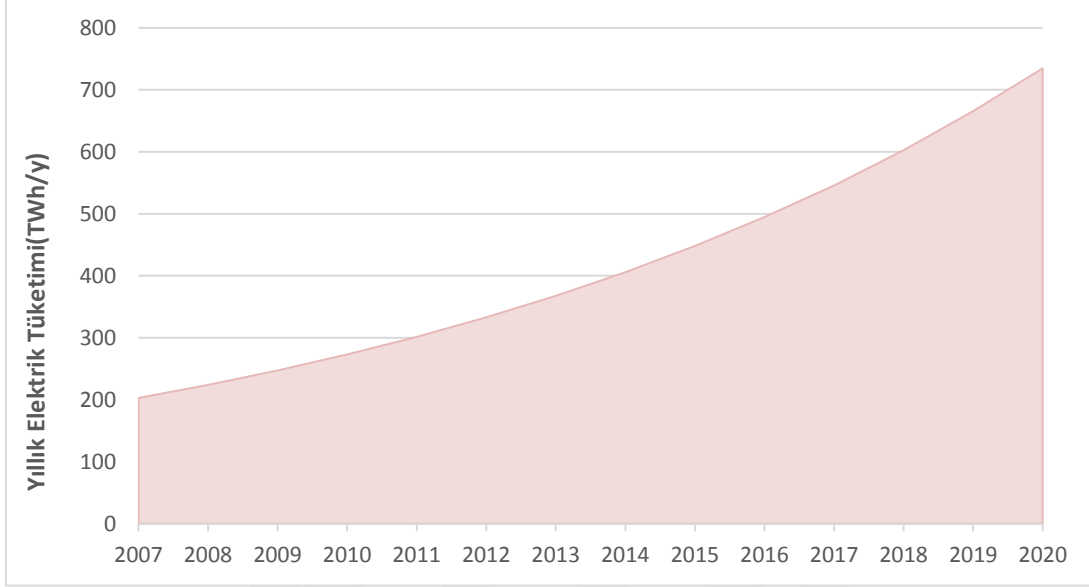
Yine aynı verim oranları kabul edilerek Türkiye’de bulunan veri merkezleri için 2015 yılı veri merkezleri kurulu kritik IT gücü dikkate alınarak yıllık yaklaşık 716.219 ton karbondioksit salınımı yapıldığı hesaplanmıştır.

Türkiye’de mevcut kurulu veri merkezi karbon emisyon değerleri ile ülke genelindeki karbon emisyon değerlerini kıyaslamak, ülkemizdeki kurulu kapasitenin az olmasından dolayı önemli bir sonuç vermeyecektir. Bu nedenle kıyaslama Türkiye CO₂ emisyon değerleri ile dünyadaki tüm veri merkezi emisyon değerleri üzerinden yapılmıştır. Şekil 3.7’de dünyadaki veri merkezleri emisyon değerleri ile Türkiye’nin toplam emisyon değerleri karşılaştırılmıştır.



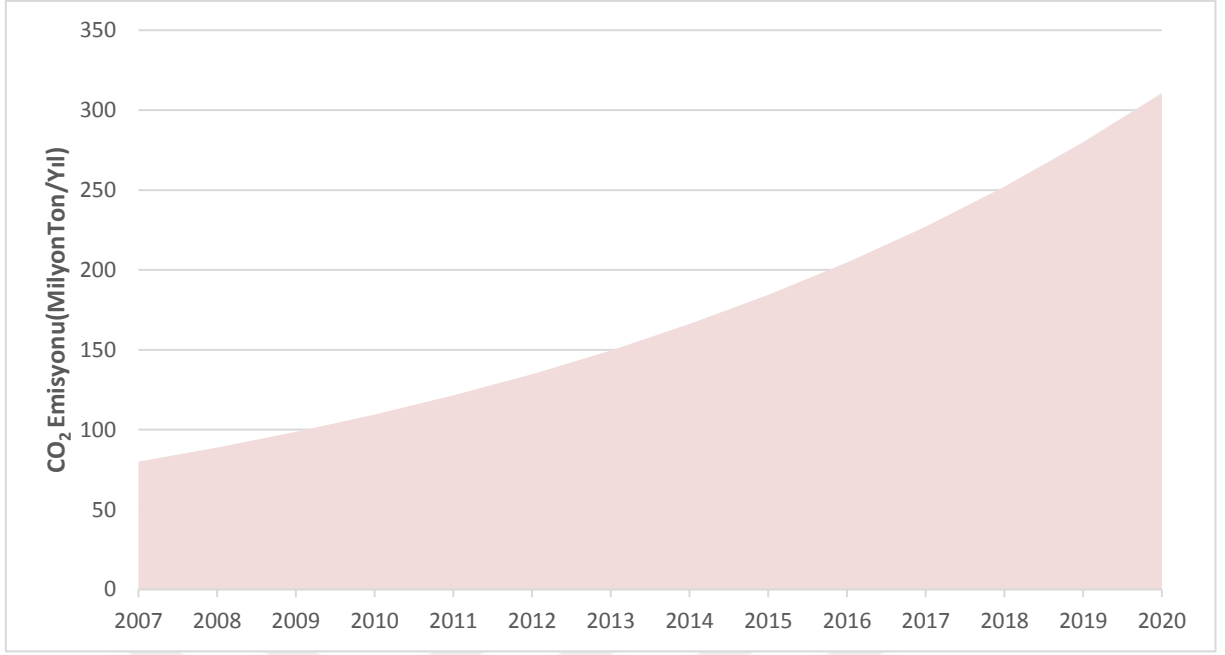
Şekil 3. 7 Türkiye’nin karbon emisyon değerleri ile dünyadaki veri merkezleri emisyon değerleri

2007 yılında tüm dünyadaki veri merkezleri elektrik tüketimi 203 TWh iken buna karşılık üretilen karbon emisyon değeri 80 milyon tondur. %10,4 yıllık bileşik büyüme oranı kabulü ile hesaplanan yıllık elektrik tüketim değerleri Şekil 3.8’de verilmiştir.



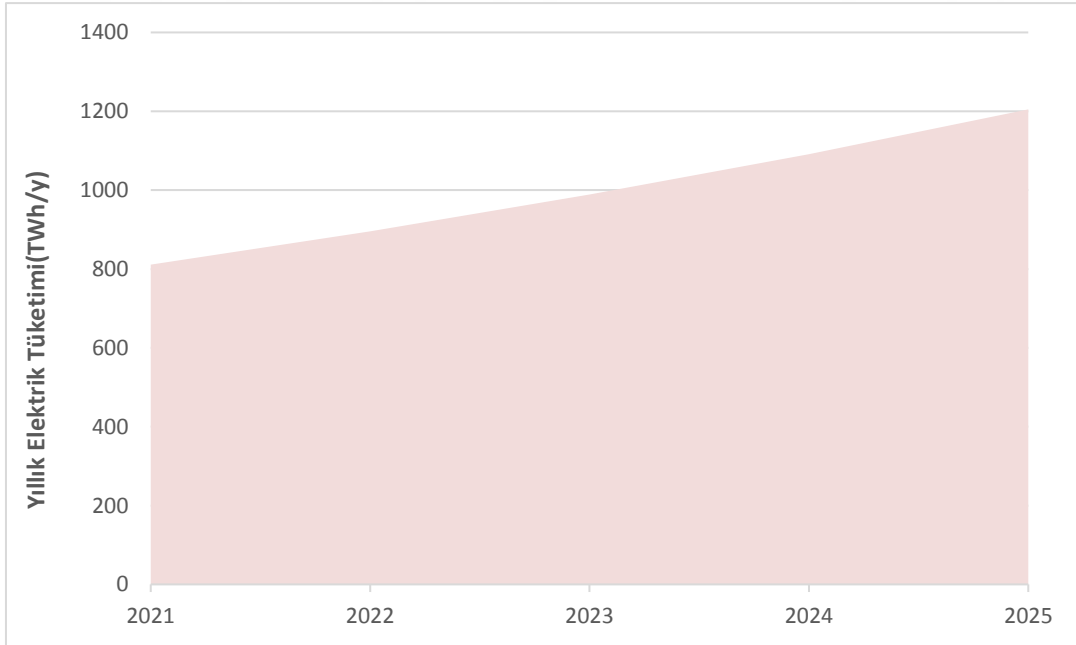
Şekil 3. 8 Veri merkezlerinin yıllara göre elektrik tüketimi

Yıllık bileşik büyüme oranı %11 kabul edilerek hesaplanan yıllık karbon emisyon değerleri Şekil 3.9’da verilmiştir.

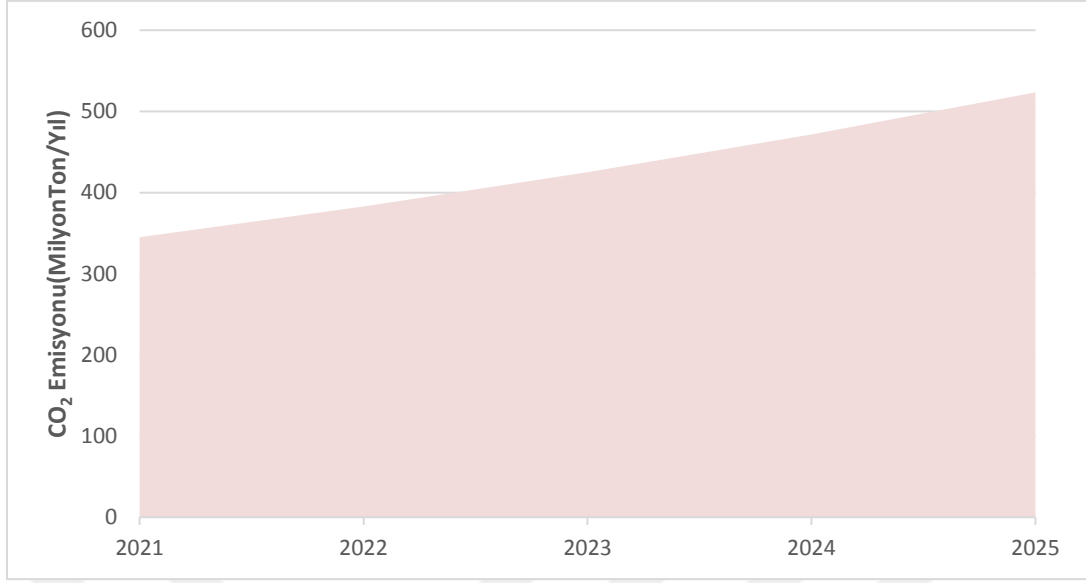


Şekil 3. 9 Veri merkezlerinin yıllara göre karbon emisyon değerleri

Yıllık bileşik büyüme oranları aynı kabul edilerek önümüzdeki 5 yıl için hesaplanan yıllık elektrik tüketim değerleri ve karbon emisyon değerleri Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3. 10 Veri merkezlerinin önümüzdeki 5 yıl için tahmini elektrik tüketimi



Şekil 3. 11 Veri merkezlerinin önümüzdeki 5 yıl için tahmini karbon emisyon değerleri

4. SONUÇLAR

Adana bölgesinde kurulması planlanan bir veri merkezi için dört farklı yazılım kullanılarak soğutma yükleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Dış duvarlardan elde edilen soğutma yüklerinde en yüksek yük 1875 W olarak Revit yazılımında hesaplanmıştır. Bu değerin yaklaşık %60'ı Cype, %24'ü HAP ve %8'i Trace 700 yazılımlarında hesaplanmıştır.

Çatılardan elde edilen soğutma yüklerinde en yüksek yük 5971 W olarak HAP yazılımında hesaplanmıştır. Bu değerin yaklaşık %90'ı Cype, %61'i Revit ve %11'i Trace 700 yazılımlarında hesaplanmıştır.

İç mahallerden elde edilen yük değerleri güneş enerjisi ve dış ortam ile daha yakın ilişkisi olan dış duvar ve çatı yükleri karşılaştırıldığında iç mahallerden elde edilen kazançların daha kararlı olduğu görülmüştür. Veri merkezleri soğutma yüklerinin yaklaşık %90'ı ağ donanımları ve sunucuların üretmiş olduğu ısılardan kaynaklanır. Hesaplanan değerler veri merkezleri toplam soğutma yükleri açısından büyük oranda etkili olmamakla birlikte dış duvarı ve çatı alanı fazla olan hacimler için yapılacak ısı hesaplarında birden fazla metot veya yazılımın kullanılmasının sonuçların doğruluğu açısından önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

İç duvarlardan elde edilen soğutma yüklerinde en yüksek yük 503 W olarak Revit yazılımında hesaplanmıştır. Bu değerin yaklaşık %75'i Cype, %79'u HAP ve %23'ü Trace 700 yazılımlarında hesaplanmıştır.

Aynı hesap metodunu kullanan Revit ve Cype yazılımlarında elde edilen değerlerin 3 karşılaştırma ortalaması değerlendirildiğinde birbirlerine daha yakın olduğu gözlemlenmiştir. Hesap metodlarının soğutma yük değerleri üzerinde dikkate değer bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Çalışmada cihazlar için metre kare başına 5625 W, diğer yükler için 10,3 W soğutma yapılması gerektiği görülmüştür. Bu proje için tüm soğutma yüklerinin %99'u cihazlardan elde edilmiştir. Buradan hareketle veri merkezlerindeki soğutma yüklerinin çok büyük bir bölümünün cihazlardan elde edildiği sonucuna varılmıştır.

İlgili hesaplamaları yapan Türkiye patentli yazılım sayısının az olması ve sektörde yaygın olmamaları sebebiyle farkı ülkelerin üretmiş olduğu yazılımlar kullanılmaktadır. Ülkemiz ile ilgili hava durumu verilerinin yazılımlar arasında değişkenlik gösterdiği düşünüldüğünde hava durumu verilerinin yapılacak hesaplamalar öncesinde alternatif kaynaklardan teyit edilmesinin önemli olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmalarda Türkiye için kurulması planlanan olası bir veri merkezinin Ankara ve Eskişehir illerimize kurulabileceği öngörülmüştür. Elektrik altyapısı, internet altyapısı ve dış hava şartları düşünüldüğünde öngörülen illerimize benzer illere de kurulum yapılabilir.

Soğutma hesapları için BIM tabanlı olmayan yazılımlarda tüm veri girişlerinin el ile yapılması gerekliliğinin hata payını arttırdığı sonucuna varılmıştır. Proses veri girişi üzerinde daha uzun süre çalışılması hesapların doğruluğunu bir yere kadar arttırabilecektir. BIM tabanlı yazılımlarda ise bu efor ile doğru orantılı bir şekilde hata payı sıfıra indirilebilecektir. Ancak bu hesap sürecinin fiziksel model ile birlikte yapı içerisine bilgi modellemesi de yapılacağından daha uzun süreceği sonucuna varılmıştır.

BIM yaklaşımı ile ilgili olarak, literatür taramalarından elde edilen veriler, uluslararası alanda gördüğü kabul, inşaat sektörüyle ilişkili disiplinlere olumlu etkileri ve şimdiye kadar uygulanan projelerden alınan sonuçlar ışığında, Türkiye gibi, inşaat sektörü ile ilgili ciddi atılımlar ve yatırımlar yapmakta olan ülkeler için oldukça gerekli olduğu görülmüştür. Elde edilen verimlilik artışları ile ciddi maddi kazançlar sağlanabilecektir. Ayrıca uluslararası alanda ülkelerin tecrübesi ve saygınlığı artacak bu doğrultuda kazanımları katlanacaktır.

2015 yılı verileri için yapılan çalışmalarda veri merkezlerinin karbon salınım oranlarının dünyadaki toplam karbon salınım oranları üzerinde çok ciddi etkileri olduğu, sürekli artan talepler ile birlikte bu etkinin ilerleyen yıllarda çok daha fazla olacağı sonucuna varılmıştır.

Türkiye’de bulunan veri merkezleri toplam karbon salınım miktarının ülkedeki tüm karbon salınım miktarının yüzde %0,22’si olduğu hesaplanmıştır. Bu değer az gibi gözükse de temel nedeni ülkemizdeki kurulu toplam veri merkezi kapasitesinin dünya genelindeki toplam veri merkezi kapasitesinden çok daha az olmasıdır. Dünya geneli

2015 verileri için bu kıyaslama yapıldığında bu oranın %1 civarı olduğu belirlenmiştir. Ülkemiz dünya ortalaması ile kıyaslandığında 5'te 1 oranında daha az veri merkezi kurulu kapasitesine sahiptir.

Veri merkezleri elektrik tüketim değerleri ve karbon salınım değerleri üzerine, geçtiğimiz on yıllık süre zarfı için yıllık büyüme oranlarından yola çıkarak yapılan hesaplamalar, yapılacak verimlilik çalışmalarının önemini ortaya koymuştur. Çağın gereklilikleri ile birlikte veri merkezi ihtiyaç ve tüketimlerinin bileşik olarak katlanacağı düşünüldüğünde, önümüzdeki yıllarda bu tüketim değerleri, dünyadaki toplam elektrik tüketimi ve karbon salınımı yüzdelerinde çok daha büyük rakamlara sahip olacaktır. Nitekim yapılan tahmin çalışmasında 2025 yılı için toplam elektrik tüketiminin 1204 TWh/yıl, karbon emisyonunun ise yıllık 523 milyon ton değerine ulaşacağı öngörülmüştür. Bu 2021 yılı tüketiminin yaklaşık 1,5 katı demektir.

Dünya üzerindeki veri merkezleri neredeyse bir ülkenin karbon emisyon değeri kadar karbon emisyonu ortaya çıkarmıştır. Bu sonuç da durumun ciddiyetini kanıtlar niteliktedir.

KAYNAKLAR

AlHarbi, F., AlRomainh, A., AlHudaithi, S., AlHusayyani, A., AlQadhi, T., Alsagri, A.S., Alateyah, A.R., Basha, M.S., (2019) Comparison of Cooling Load Calculations by E20 and HAP Software, Universal Journal of Mechanical Engineering 7(5), 285-298.

Alkan, F., Kürekci, N.A., Çubuk, H. (2017) Örnek Bir Bina İçin Isıtma-Soğutma Sistemlerinin Karşılaştırılması, MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi, 162, 5-19.

Crawley, D. B., Hand, J. W., Kummert, M., Griffith, B. T. (2008) Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs. Building and Environment, 43, 661-673.

Erden, H.S. (2013) Experimental and Analytical Investigation of the Transient Thermal Response of Air Cooled Data Centers, MSc Thesis, Syracuse University, Syracuse, NY, U.S.A, 1-3.

Forrest, W., Kaplan, J., Kindler, N., (2008) Data centers: How to cut carbon emissions and costs, McKinsey on Business Technology, 14, 4-13.

Gözcü, O. (2019) Türkiye İklim Koşullarındaki Veri Merkezlerinin Soğutulmasında Ekonomizer Kullanımının Enerji Tasarrufu ve Ekonomik Potansiyel Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 1-3.

Hassan, S.F., Ali, M., Sajid, A., Perwez, U., (2015) Free Cooling Investigation of SEECs Data Center, Energy Procedia 75, 1406-1412.

Huang, J., Chen, C., Guo, G., Zhang, Z., Li, Z., A (2019) Calculation Model for Typical Data Center Cooling System, Journal of Physics: Conference Series, 1304, 012022.

Kanbur, B.B., Wu, C., Fan, S., Tong, W., Duan, F. (2020) Two-phase Liquid-immersion Data Center Cooling System: Experimental Performance and Thermoeconomic Analysis, International Journal of Refrigeration

Kang, T.W., Choi, H.S. (2018) BIM-based Data Mining Method considering Data Integration and Function Extension. KSCE Journal of Civil Engineering, 22(5),1523-1534.

Kürekci, N.A., Kaplan, S. (2014) Isıtma-Soğutma Yüklerinin HAP ve Revit Programlarıyla Hesaplanması. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 141, 5-15.

Ling, L., Zhang, Q., Zeng, L. (2017) Performance and Energy Efficiency Analysis of Data Center Cooling Plant by Using Lake Water Source, Procedia Engineering 205, 3096-3103.

Liu, C., Yu, H. (2021) Evaluation and Optimization of a Two-Phase Liquid-Immersion Cooling System for Data Centers, Energies, 14, 1395.

Mok, S., Kumar, S., Hutchins, R.R., Joshi, Y.K. (2016) Impact of a Rotary Regenerative Heat Exchanger on Energy Efficiency of an Air Cooled Data Center, 15th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITHERM), May31-Jun 03, San Diego, USA.

Oranlıer, B., Eyriboyun, M. (2009) İklimlendirme Amaçlı Isı Kazancı Hesabı için Bir Yazılım. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 6-9 Mayıs, İzmir, Türkiye.

Pan, Y., Yin, R., Huang, Z., (2008) Energy Modeling of Two Office Buildings with Data Center for Green Building Design, Energy and Buildings, 40, 1145-1152.

Rey, F. J., Velasco, E., Varela F. (2007) Building Energy Analysis (BEA): A Methodology to Assess Building Energy Labelling. Energy and Buildings, 39, 709-716.

Şen, E. (2019) Veri Merkezlerinde Enerji Verimliliğini Arttırıcı Yöntemler. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 71-72. 43-44.

Türkmen, İ. (2019) UHEM Veri Merkezi Isıl Profilinin Deneysel İncelenmesi ve CFD Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 1-2.

VanGilder, J.W. and Zhang, X. (2014) Cooling Performance of Ceiling-Plenum-Ducted Containment Systems in Data Centers, 14th IEEE Intersociety Conference on Thermal

and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITHERM), 27-30 May, San Diego, USA.

Waddell, C., Kasarekar S., (2010) Solar Gain and Cooling Load Comparison Using Energy Modeling Software, Fourth National Conference of IBPSA-USA, 11 – 13 August, New York, USA.

Yavuz, H. (2010) Isı Kazancı Hesaplamalarında CLTD/CLF ile RTS Metotlarının Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 111-113.



ÖZGEÇMİŞ

Kaan YILMAZKARASU Lise eğitimini 2010 yılında Vefa Poyraz lisesinde tamamlamış daha sonra Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden 2016 yılında mezun olmuştur. 2017 yılından bu yana SAINA Mühendislik ve Danışmanlık firmasında yurtiçi ve uluslararası projelerde yaklaşık 1,5 yıl proje mühendisi olarak çalışmıştır. Halen bu firmada proje yöneticisi olarak çalışmaya devam etmektedir.

