



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**BİLGİ İŞLEM MERKEZLERİNİN ENERJİ
TALEBİNİN MODELLENMESİ VE
SİMÜLASYONU İÇİN BİR YAZILIM ARACI
GELİŞTİRİLMESİ**

Furkan GÖKÇÜL

YÜKSEK LİSANS

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalını

Haziran-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Furkan GÖKÇÜL tarafından hazırlanan “Bilgi İşlem Merkezlerinin Enerji Talebinin Modellenmesi ve Simülasyonu İçin Bir Yazılım Aracı Geliştirilmesi” adlı tez çalışması 21/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Erdem CÜCE

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Gül Nihal GÜĞÜL

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Züleyha YILMAZ ACAR

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. ÖMER FARUK YÜKSEL
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Furkan GÖKÇÜL

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİLGİ İŞLEM MERKEZLERİNİN ENERJİ TALEBİNİN MODELLENMESİ VE SİMÜLASYONU İÇİN BİR YAZILIM ARACI GELİŞTİRİLMESİ

Furkan GÖKÇÜL

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gül Nihal GÜĞÜL

2023, 63 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Erdem CÜCE

Dr. Öğr. Üyesi Gül Nihal GÜĞÜL

Dr. Öğr. Üyesi Züleyha YILMAZ ACAR

Bilgi işlem merkezlerinde veri saklama alanı ve sunucu performansı gereksinimindeki hızlı artış, enerji tüketiminde de önemli bir artışa neden olmaktadır. 2030 yılına gelindiğinde dünyada tüketilen toplam enerjinin %13'ünün bilgi işlem merkezlerinden kaynaklanacağı tahmin edilmektedir. Bu sebeple bilgi işlem merkezlerinin enerji verimli olarak tasarlanması ve inşa edilmesi büyük önem arz etmektedir. Literatürde bilgi işlem merkezlerinde enerji tasarrufu elde edebilmek amacı ile kapasite yönetim yazılımları ve ağ yazılımları geliştirilmiştir. Fakat bilgi işlem merkezinin enerji tasarruf potansiyelini belirlemek amacı ile binalarının fiziksel özellikleri ve konumunu dikkate alan akademik amaçlı bir yazılım geliştirilmemiştir.

Bu tez çalışmasında bir bilgi işlem merkezinin elektrik tüketimini tahmin eden, ölçüm verileri ile doğrulanmış bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım bilgi işlem merkezlerinde elektrik tasarruf potansiyelinin hesaplanmasında kullanılabilecek önemli bir araçtır. Geliştirilen yazılım ile var olan bir bilgi işlem merkezinin sahip olduğu veya tasarlanan bir merkezin sahip olacağı elektrikli cihazlar, bina özellikleri ve konumun iklim verisini dikkate alınarak merkezin elektrik tüketimi tahmin edilebilmektedir. Geliştirilen yazılım web tabanlı bir uygulamadır. Yazılım Sunum Katmanı, İş Katmanı ve Veri Katmanında oluşmaktadır. Sunum katmanı içerisinde kullanıcı ara yüzleri bulunmaktadır. Kullanıcı ara yüzü için React JS kullanılmıştır. İş katmanı içerisinde yazılım için .NET Core ile hazırlanan Uygulama Programlama Arayüzü (API) bulunmaktadır. Bu API kullanıcı ara yüzündeki ekranların üzerindeki işlemlerin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Veri katmanı içerisinde Entity Framework Core ve veri tabanı yer almaktadır. Ekranların üzerindeki işlemler hazırlanan rest API ile etkileşim kurmaktadır. Veri tabanı işlemleri için MS SQL Server konumlandırılmıştır. ORM olarak Entity Framework Core konumlandırılmıştır. MS SQL ile etkileşim TCP/IP üzerinden iletişim kurmaktadır.

Bilgi işlem merkezlerinin elektrik tüketimini tahmin etmek amacı ile geliştirilen yazılımın doğrulanması amacı ile bir bilgi işlem merkezinde saatlik elektrik tüketimi ölçülmüştür. Ölçülen veri ile tahmin edilen veri regresyon analizine tabi tutulmuştur. Tahmin edilen ve ölçülen soğutma amaçlı elektrik tüketimi verisi için R2 değeri 0,987, tahmin edilen ve ölçülen toplam tüketimi verisi için R2 değeri 0,99 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerin hedeflenen 0,97 değerinin üstünde olması sebebi ile istenilen hedefe ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bilgi işlem merkezi, modelleme, simülasyon, yazılım geliştirme

ABSTRACT

MS THESIS

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE TOOL FOR MODELING AND SIMULATING THE ENERGY DEMAND OF DATA CENTERS

Furkan GÖKÇÜL

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN COMPUTER ENGINEERING**

Advisor: Assist. Prof. Dr. Gül Nihal GÜĞÜL

2023, 63 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Erdem CÜCE

Assist. Prof. Dr. Gül Nihal GÜĞÜL

Assist. Prof. Dr. Züleyha Yılmaz ACAR

The rapid increase in data storage space and server performance requirements in data centers also causes a significant increase in energy consumption. By 2030, 13% of the worldwide energy consumption is estimated to originate from data centers. For this reason, it is of great importance to design and build data centers in an energy efficient manner. In the literature, capacity management and network software have been developed in order to achieve energy savings in data centers. However, a software with academic purposes has not been developed in order to determine the energy saving potential of the data centers that takes into account the physical characteristics and location of the buildings.

In this thesis, a software that estimates the electricity consumption of a data center has been developed and validated with measurement data. The developed software is a significant tool that will be used to calculate the electricity saving potential of data centers. With the developed software, the electricity consumption of the center can be estimated by taking into account the electrical devices that an existing data center owns or a designed center will have, the building characteristics and the climate data of the location. The developed software is a web-based application. The software consists of Presentation Layer, Business Layer and Data Layer. There are user interfaces in the presentation layer. React JS is used for the user interface. In the business layer, there is an Application Programming Interface (API) prepared with .NET Core. This API enables operations on the screens in the user interface to be performed. The data layer includes Entity Framework Core and database. The processes on the screens interact with the rest API that has been prepared. MS SQL Server is positioned for database operations. Entity Framework Core is positioned as ORM. Interaction with MS SQL communicates through TCP/IP.

In order to verify the software which has been developed to estimate the electricity consumption of data centers, electricity consumption of a data center was measured hourly. The estimated data were subjected to regression analysis with the measured data. The R^2 value is calculated as 0,987 for the estimated and measured cooling electricity consumption data, and 0,99 for the estimated and measured total consumption data. Since this value is above the targeted value of 0,97, the desired target has been achieved.

Keywords: Computer center, modelling, simulation, software development

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bilgisi ve yardımları ile beni yönlendiren değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Gül Nihal GÜĞÜL'e, beni daima destekleyen babam Erkan GÖKÇÜL ve annem Mukaddes GÖKÇÜL'e teşekkür ederim.

Aynı zamanda Kuveyt Türk Katılım Bankası'na Bilgi İşlem Merkezi elektrik tüketim verisinin temininde destek olduğu için teşekkür ederim.

Furkan GÖKÇÜL
KONYA-2023



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Mevcut Sorun	2
1.2. Tezin Amaç ve Hedefleri	3
1.3. Tezin Kapsamı	4
1.4. Tezin Yapısı	5
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
2.1. LEED BD+C: DATA CENTERS	7
2.1.1. LEED Hakkında Genel Bilgiler	7
2.1.2. LEED BD+C:DC Sertifikası:.....	8
2.1.3. LEED Sertifikasının Değerlendirme Kategorileri	9
2.2. Ağ Optimizasyon Yazılımları	9
2.3. Bina Simülasyon Yazılımları ile Bilgi İşlem Merkezlerinin Analizi	10
2.4. Literatür Değerlendirmesi	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM	12
3.1. Yazılımın Geliştirilmesi.....	12
3.1.1. Kullanılan Teknolojiler	12
3.1.2. Yazılımın Mimarisi	13
3.1.3. Yazılım Ekranları.....	21
3.1.4. Yazılımın Kalibrasyonu ve Doğrulanması	31
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	36
4.1. DCSim Yazılımı	36
4.2. Bilgi İşlem Merkezinin Modellemesi	44
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	48
5.1 Sonuçlar	48
5.2 Öneriler	48
KAYNAKLAR	49
EKLER	53

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

BT: Bilgi Teknolojileri (Information Technologies)

BİM: Bilgi İşlem Merkezi

FKM: Felaket Kurtarma Merkezi (Disaster Recovery Center)

ORM: Nesne-İlişkisel Eşleme (Object Relational Mapping)

USGBC: Amerika Birleşik Devletleri Yeşil Bina Konseyi (United States Green Building Council)

CFD: Hesaplamalı Akışlar Dinamiği (Computational Fluid Dynamics)

DCSim: Veri Merkezi Enerji Simülasyon Yazılımı (Data Center Simulation Software)

SM: Sanal Makine (Virtual Machine)

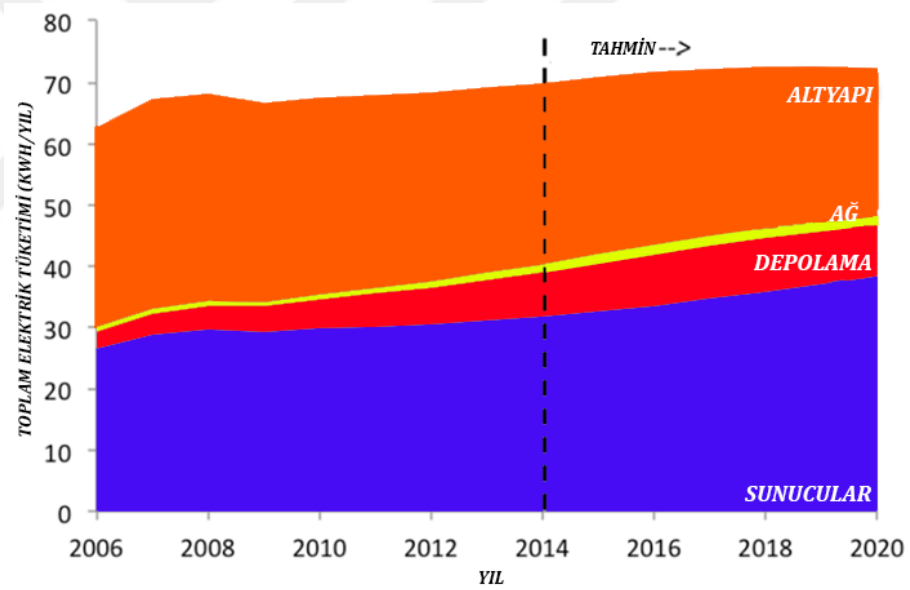
API: Uygulama Programlama Arayüzü (Application Programming Interface)

KGK: Kesintisiz Güç Kaynakları (Uninterruptible Power Supply)

COP: Performans Katsayısı (Coefficient of Performance)

1. GİRİŞ

Türkiye’de 2022 Aralık ayı itibari ile elektrik enerjisi üretimi için toplam kurulu gücün %46’sı (48 GWh) fosil yakıtlı enerji sistemlerinden oluşmaktadır, %34’ü ise dış kaynaklara bağımlıdır (TEİAŞ, 2022). Bu sebeple elektriğin verimli kullanılması büyük önem taşımaktadır. 2005 yılında, dünyadaki toplam enerji tüketiminin yaklaşık %0,5’i 2010 yılında ise %1,3’ü bilgi işlem merkezlerinden kaynaklanmaktaydı (Kooimey, 2008) (Kooimey, 2011). 2030 yılına gelindiğinde ise dünyada tüketilen nihai enerjinin %13’ünün bilgi işlem merkezlerinden kaynaklanacağı düşünülmektedir (Andrae, 2015). Bilgi İşlem Merkezleri (BİM)’nde veri depolama ihtiyacı ve daha yüksek işlemci hızı gereksinimindeki artış, enerji tüketiminde de önemsenecek bir artışa neden olmuştur ve 2006-2020 yılları arasındaki artış Şekil 1.1’de görülmektedir.



Şekil 1.1 2006-2020 Bilgi İşlem Merkezi Elektrik Tüketim Eğilimi (Shehabi ve ark., 2016)

Şekil 1.1’de görüldüğü üzere BİM’de bulunan sunucuların ve veri depolama cihazlarının enerji talebi arttıkça soğutma sistemi ve diğer sistemlerdeki enerji tüketimi de artmaktadır. Bir bilgi işlem merkezi; merkezi bilgisayarlar, anahtar üniteleri ve veri saklama cihazları gibi cihazları barındıran kabinlerden, elektrik dağıtımını gerçekleştiren cihazlardan, elektrik kesintisi durumunda devreye girecek kesintisiz güç kaynaklarından ve soğutma sistemlerinden oluşur. Standart BİM’de, tüketilen elektriğin yaklaşık %50’si kabinlerde, kalanı ise diğer cihazlar ve soğutma sistemlerinde kullanılır (Gil, 2010). Bir bilgi işlem merkezi cihazların sağlıklı bir şekilde çalışması için kabul

edilebilir sıcaklıklarda tutulmalıdır. Cihazlardan yayılan ısı bilgi işlem cihazlarının bulunduğu odaları hızla ısıtmaktadır. Yayılan ısının cihazlara zarar verecek dereceye ulaşmaması için BİM yılın 12 ayı soğutulmaktadır ve bu amaçla kullanılan birçok soğutma sistemi vardır. Genellikle eski tip BİM yüksek kapasiteli salon tipi klimalarla soğutulmaktadır. Bu klimalar dış ortamdan bağımsız olarak içerdeki ısıyı düşürmeye çalıştıkları için yüksek miktarda elektrik tüketmektedirler. Teknolojinin ilerlemesi ile dış ortamdaki soğuk havadan faydalanabilen ve verimliliği çok daha yüksek soğutma sistemleri kullanılmaya başlanmıştır ve bu cihazlar ile soğutma amaçlı enerji tüketimi %90'a kadar düşürülebilmektedir (Marcinichen ve ark., 2012).

BİM'nin enerji tüketimini azaltmanın temelinde kullanılan bilişim cihazları ve soğutma sisteminin enerji verimli cihazlardan seçilmesi vardır. Buna ek olarak BİM'nin konumu ve binanın yapısının soğutma amaçlı elektrik tüketimine olan etkisinden dolayı dikkate alınmalıdır. Ayrıca henüz inşa edilmemiş ve tasarım aşamasında olan BİM'nin enerji tüketimi ve tasarruf potansiyeli, BİM'in hayata geçirilmesinden önce tahmin edilmelidir. BİM işlevini yapmaya başladıktan sonra ise, elektrik tüketen bütün cihazlar ölçülmeli, elde edilen veriler analiz edilmeli ve kapasite yönetimi yapılmalıdır. Günümüzde tipik bir bilgi işlem merkezinin kapasitesi uygun şekilde yönetilirse mevcut durumundan %30 daha fazla bilgi teknolojileri (BT) cihazını bulundurabileceği tahmin edilmektedir. Bu nedenle kapasite yönetim yazılımları, güç ve soğutma kaynaklarının daha iyi kullanılmasına ve güç talebinin azalmasına neden olur. Kapasite yönetimi, güç ve soğutma için arz ve talebi ölçebilme yeteneğidir (Rasmussen, 2012). Bu yazılım araçları, mevcut bir bilgi işlem merkezinde cihazların ve soğutma sisteminin enerji tüketimini anlık olarak ölçerek analiz etmek ve sonuçları yazılımlar aracılığı ile sunmak için geliştirilmiştir.

1.1. Mevcut Sorun

BT sektöründeki büyüme ile veri merkezlerinin elektrik tüketimi önemli ölçüde artmaktadır. Bilgi işlem merkezlerinin elektrik tüketiminin, 2030 yılına gelindiğinde dünyada tüketilen toplam enerjinin %13'ünü kapsayacağı tahmin edilmektedir (Andrae, 2015). Özellikle COVID-19 pandemisi sonrası uzaktan çalışma mesailerinin artması, günlük hayatta yapılan birçok işlemin artık internet üzerinden yapılması (alışveriş, eğitim gibi) ile BİM'lerinin enerji talebi önemli ölçüde artmıştır ve bu artış devam etmektedir. BİM'nde enerji tüketiminin artması veri boyutunun büyümesi ve

performans talebinin artmasından kaynaklanmaktadır. Bu sebeple BİM'nde enerji tüketiminin azaltılması büyük önem arz etmektedir.

Bölüm 2'de yer alan kaynak araştırmasında BİM'nde enerji verimliliği elde etmek amacı için geliştirilen ve kullanılan yazılımlar hakkında bilgi verilmiştir. Bu yazılımlar bilgi işlem merkezinin inşa edilmesi ve kurulumunun yapılmasından sonra tüketilen anlık enerjinin analizini yapmak için geliştirilmiştir. Aynı zamanda bu yazılımların büyük çoğunluğu enerji tüketiminin en önemli etkenlerinden olan bilgi işlem merkezinin binasının fiziksel özelliklerini ve konumunu dikkate almamaktadır. Enerji tüketimindeki hızlı artışa rağmen bilgi işlem merkezleri faaliyete geçmeden enerji tüketimini bütün dış etkenleri dikkate alarak modelleyen bir simülasyon yazılımı bulunmamaktadır.

Aynı zamanda BİM'nin Felaket Kurtarma Merkezi (FKM) olarak kullanılması amacı ile farklı şehirlere yedekleri kurulmaktadır. Bu aşamada FKM için uygun konumun seçilmesi, uygun binanın belirlenmesi veya FKM için kullanılacak boş bir binada iyileştirmeler yapılmasının büyük oranda enerji tasarrufu sağlayabileceği düşünülmektedir.

1.2. Tezin Amaç ve Hedefleri

Bu tez çalışmasının amacı hâlihazırda inşa edilmiş ve kullanılmakta olan bilgi işlem merkezlerinde yapılacak konum, bina, soğutma sistemi ve cihaz değişiklikleri için enerji tasarruf potansiyelini belirleyen bir yazılım geliştirmektir. Geliştirilen yazılım, aynı zamanda inşa edilmesi planlanan yeni BİM veya FKM'ler için optimum konum, bina ve cihaz tipini belirlemede kullanılabilir. Bu sayede BİM'nde tüketilen enerjinin en düşük seviyeye indirilmesi hedeflenmiştir.

Tez çalışmasında, bir bilgi işlem merkezinin nihai elektrik tüketimini tahmin eden ölçüm verileri ile doğrulanmış bir yazılım geliştirilmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen yazılım "DCSim" olarak isimlendirilmiştir. DCSim uygulaması web tabanlı olarak geliştirilmiştir. DCSim uygulaması ile kullanıcılar enerji tüketimi hesaplamaları için farklı projeler oluşturabilmekte ve oluşturdukları projeler üzerinden çalışmalarına devam edebilmektedir. DCSim uygulamasında ön yüz işlemleri React JS kullanılarak geliştirilmiştir. Ekran arkasındaki işlemlerin tamamlanabilmesi için .NET kullanılarak Uygulama Programlama Arayüzü (API) geliştirilmiştir. Veritabanı işlemleri için MS

SQL konumlandırılmıştır. Geliştirilen yazılım ile birlikte kullanıcılar kendisine sunulan ekranlar üzerinden kolaylıkla veri merkezi için enerji tüketimi tahminini yapabilecektir. Tezin temel amaç ve hedefleri aşağıda listelenmiştir.

Tezin temel amaçları;

- Özel bir bankaya ait Bilgi İşlem Merkezi'nde yer alan bütün cihazların ve soğutma sisteminin elektrik tüketimini bir yıl süresince saatlik olarak ölçmek
- Bilgi işlem merkezlerinin elektrik tüketimini tahmin etmek amacı ile bir yazılım geliştirmek
- Geliştirilen yazılımı ölçüm verileri ile doğrulamak

Tezin hedefleri;

- Bilgi İşlem Merkezleri'nin nihai enerji talebini tahmin etmek amacı ile enerji tüketimini etkileyen en önemli etkenlerden olan bilgi işlem binasının konumunu ve binanın fiziksel detaylarını dikkate alan, ölçüm verileri ile doğrulanmış bir yazılım geliştirmek
- Bilgi işlem merkezlerinden kaynaklanan enerji açıklarını tespit edip, enerji tüketimini azaltmak

1.3. Tezin Kapsamı

Tez çalışmasında ilk olarak Kocaeli'nde yer alan bir bilgi işlem merkezinin saatlik elektrik tüketimi bir yıl süresince ölçülmüştür. Daha sonra ölçüm yapılan bilgi işlem merkezinde kullanılmakta olan BT cihaz, aydınlatma, soğutma sistemi ve binasının fiziksel özellikleri hakkında bilgi alınmıştır.

Gerekli veriler toplandıktan sonra, bir bilgi işlem merkezinin nihai elektrik tüketimi, geliştirmesini yaptığımız "DCSim" uygulaması ile test edilmiştir. Geliştirilen yazılıma ilk olarak modellenecek bilgi işlem merkezinin konumu girilmektedir. Daha sonra seçilen konuma ait iklim verisi bilgisayara yüklenmektedir. İklim verisinin temininden sonra, merkezin binasının yapısal özellikleri kullanıcı tarafından girilmekte ve merkezde bulunan veya bulundurulması planlanan cihazlar seçilmektedir. Gerekli seçimler kullanıcı tarafından seçildikten sonra yazılım merkezin yıllık elektrik

tüketimini saatlik olarak tahmin etmekte ve tahmin edilen verinin kullanıcının bilgisayarına indirmesine olanak sağlamaktadır.

Özel bir bankaya ait bir bilgi işlem merkezinde ölçülen elektrik tüketim verisi kullanılarak merkezin geliştirilen yazılım ortamında modellenmesi yapılmış ve yazılım doğrulanmıştır.

1.4. Tezin Yapısı

Bu tez çalışmasında ilk bölümde tez çalışmasının konusu hakkında genel bilgilere yer verilmiş, mevcut sorun, tezin amacı ve kapsamı açıklanmıştır. İkinci bölümde ise yapılan kaynak araştırması detayları ile verilmiştir. Üçüncü bölümde tez çalışmasında geliştirilen ve doğrulanan yazılımın geliştirilmesi ve doğrulanması sırasında izlenen yöntemler açıklanmıştır. Dördüncü bölümde çalışmada elde edilen sonuçlar verilmiştir. Son olarak beşinci bölümde tez çalışmasının genel sonuçları verilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

BİM'nin enerji yönetimi ve tasarruf potansiyelini analiz etmek amaçları ile geliştirilmiş akademik ve ticari yazılımlar mevcuttur. Bu yazılımların büyük çoğunluğunu anlık verileri izleyip analiz eden Enerji Yönetim Yazılımları (EYY) oluşturmaktadır.

BİM bileşenleri tarafından tüketilen enerjinin ayrıntılarını (sunucular, anahtarlar ve bağlantılar) analiz etmek için yapılan bir çalışmada bir bulut BİM Green Cloud modelleme ve simülasyon ortamı gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda gerçekleştirilen analizler, simülatörün güç yönetimini etkili bir şekilde kullanabildiğini göstermiştir (Kliazovich ve ark., 2012). BİM'nin enerji tüketim durumunu analiz etmek amacı ile geliştirilen DCeET, BİM'nin henüz tasarım aşamasında enerji tüketiminin optimum olması için soğutma sistemini tasarlamayı amaçlamıştır (Cho ve ark., 2015). CoolEmAll yazılımı Avrupa Komisyonu tarafından finanse edilen bir projedir ve BİM'ninin enerji verimliliğini arttırmayı hedeflemiştir. CoolEmAll projesinin amacı enerji verimliliği yüksek ve ısı yayılımı gözlemlenebilen BİM'nin modelleyip simülasyonunu gerçekleştirebilmektir. Projenin amacı, bilişim cihazlarının optimizasyonu, soğutma amaçlı enerji tüketimi ve iş dağılımının yönetimini bir bütün olarak ele almaktır (Cupertino ve ark., 2015).

Yapılan az sayıda akademik çalışmalara ek olarak BİM'nde kullanılan bütün elektrik tüketen cihazların elektrik tüketimini gerçek zamanlı ölçen ve ele edilen verilerle BİM'ni yöneten ticari amaçlı geliştirilmiş kapasite yönetim yazılımları mevcuttur (Schneider Electric, 2019) (Opendcim, 2019) (Sunbird, 2019). En yaygın olarak kullanılan BİM kapasite yönetim yazılımları (6 Sigma DC, Tile-flow gibi) BİM odasındaki ısının yayılımı ve soğutma sisteminin verimini analiz etmek amacı ile genellikle CFD analizi kullanmaktadır. Bu simülasyon araçları enerji performansını kısmen analiz edebilir, ancak detaylı BT sunucusu modellemesi gerektirir ve tüm veri merkezi için analiz sağlamak üzere zaman ve işlev açısından sınırlıdır.

Bilgi işlem merkezlerinde enerji yönetimi yapmak ve verimliliği arttırmak amacı ile geliştirilen yazılımlar Tablo 1.1'de kıyaslanmıştır.

Tablo 1.1 Literatür Araştırmasında Yer Alan Bilgi İşlem Merkezlerinin Enerji Analizini Yapan Yazılımların Listesi

	Yazılım Bilgisi	Yıl	Akademik/ Ticari	Bina detayı dikkate alınıyor mu?	Konum dikkate alınıyor mu?	Yazılım kalibre edilmiş mi?	Kaynak
1	Green Cloud	2010	Akademik	-	-	√	(Kliazovich ve ark., 2012)
2	DCeET	2015	Akademik	-	√	√	(Cho ve ark., 2015)
3	CoolEmAll	2015	Akademik	√	-	√	(Cupertino ve ark., 2015)
4	Struxure War	2019	Ticari	√	-	√	(Schneider Electric, 2019)
5	DCIM	2019	Ticari	-	-	√	(Sunbird, 2019)
6	openDCIM	2019	Akademik	-	-	√	(Opendcim, 2019)
7	6 SigmaDC	2020	Ticari	√	-	√	(Future Facilities, 2020)
8	Tile-flow	2020	Ticari	√	-	√	(TileFlow, 2020)
9	LEED BD+C : DATA CENTERS	2023	Ticari	√	√	√	(U.S. Green Building Council, 2023b)
	DCSim	2023	Akademik	√	√	√	YAPILAN TEZ ÇALIŞMASI

2.1. LEED BD+C: DATA CENTERS

Tablo 1.1.'de görüldüğü üzere yapılan tez çalışması ile aynı özelliklere sahip olan yazılım aracı sadece LEED BD+C : DATA CENTERS yazılımıdır. Fakat bu yazılım sertifika vermek amacı ile ticari olarak geliştirilmiş ve kullanıma kapalı bir yazılımdır (U.S. Green Building Council, 2023c). LEED BD+C : DATA CENTERS derecelendirme sistemi, yeni inşa edilen veya büyük yenileme çalışmaları yapılan binalar içindir. Sertifikasyon tarihine kadar projenin brüt taban alanının en az %60'ı tamamlanmış olmalıdır. BİM, bilişim cihazlarında dijital verilerin depolanması, işlenmesi ve ihtiyaç halinde kullanılması amacı ile birçok cihaz barındıran binalardır. LEED BD+C: DATA CENTERS bilgi işlem merkezlerine ait binayı tüm detayları ile ele alır.

2.1.1. LEED Hakkında Genel Bilgiler

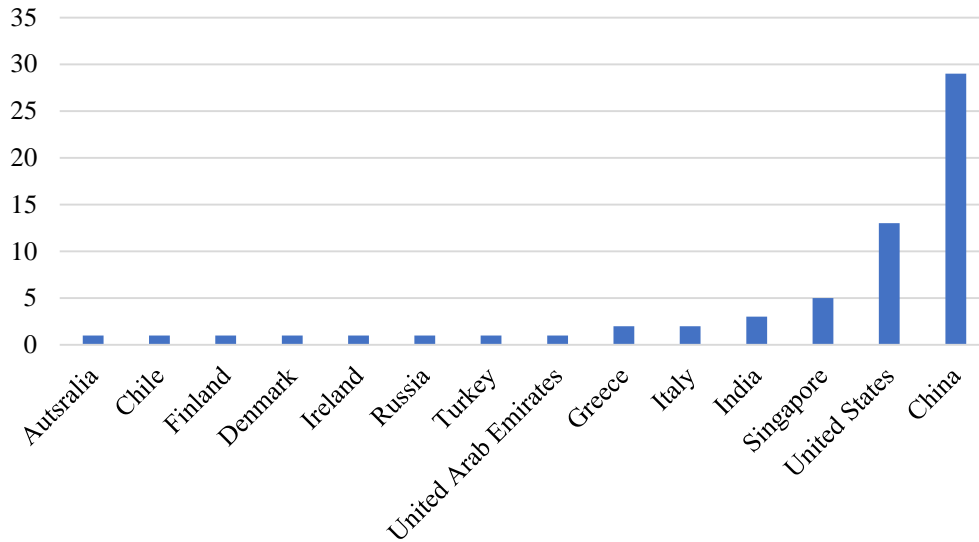
Daha iyi binalar inşa etmek için insanları ve doğayı göz önünde bulundurarak optimize etme ihtiyacı 1990'lı yıllarda fark edildi. LEED üç kişi tarafından 1993

geliştirilmeye başlandı. Amerika Birleşik Devletleri Yeşil Bina Konseyi (USGBC) kurulması ile LEED hayata geçti. Organizasyonun başkanı olan kişiler David Gottfried, Mike Italiano ve Rick Fedrizzi idi. 1998'de USGBC, LEED 1.0'ı başarıyla geliştirdi ve 19 projeyi bu kapsamda bölgesel alanlarda denemeye başladı. Denemelerin başarılı olarak gerçekleştirilmesinden sonra, LEED Mart 2000'de kullanıma sunuldu. USGBC, Mart 2001'de pilot programdan alınan derslere dayanarak LEED 2.0'ı başlattı. Nisan 2004'te 100 projeye sertifika verdi. Washington D.C.'deki National Geographic Society binası, LEED sertifikalı ilk mevcut bina oldu. 2009'da LEED Çevre Koruma Ajansı'nın Kimyasal ve Diğer Çevresel Etkilerin Azaltılması ve Değerlendirilmesi Aracına dayalı kurallar getirdi ve Ulusal Standartlar Enstitüsü tarafından geliştirildi. 2015'te önceki sistemlere göre artan esneklik, performansa dayalı, akıllı şebeke yaklaşımı, malzeme ve kaynaklara vurgu, suya kapsamlı bir yaklaşım ve kolaylaştırılmış dokümantasyon dâhil olmak üzere birçok yeni iyileştirme ile geldi. LEED v4 yeşil binalar için çitayı yükseltmeye devam etti (U.S. Green Building Council, 2023a).

2.1.2. LEED BD+C:DC Sertifikası:

Bilişim sektörünün hızla gelişmesi ve bilişim teknolojilerinin ortaya çıkmasıyla birlikte veri merkezlerindeki verilerin büyümesi, sürelerinin artması, veri türlerin depolandığı ve yönetildiği alanlardır. Merkezlerde veri depolama ekipmanları, işleme ekipmanları ve diğer ilgili ekipmanlar bulunmaktadır ve miktarları hızla artmaktadır. Veri merkezleri ağırlıklı olarak Amerika (960.000) ve Batı Avrupa (480.000), toplam dünyadaki merkez miktarının yarısını oluşturmaktadır. Ülkemizde ise yaklaşık 270.000 veri merkezi vardır. Veri merkezinin birim alanı başına düşen enerji tüketimi, sıradan kamu binasının da 2011 yılında 50 milyar KWh'ye yakındır. Ülkemizdeki veri merkezleri tarafından tüketilen miktar ise bundan fazladır ve 2015 yılına kadar bu veri merkezleri tarafından tüketilen toplam enerjinin 100 milyar KWh olması beklenmektedir. Bu da Three Gorges Hidroelektrik Santralinin yıllık üretimine eşittir. Bununla birlikte bu veri merkezleri tarafından üretilen karbon emisyonlarının toplam %2,6'sını oluşturacaktır. Bu nedenle, veri merkezlerinin enerji verimliliğini artırılması ve çevreye olan yükünün azaltılması bilgi endüstrisi ve inşaat endüstrisinin odaklandığı bir konu haline gelmiştir (Ji & Han, 2015).

Aşağıdaki grafikte de dünyada LEED-DC sertifikası alan bilgi işlemlerin ülkelere göre dağılımı görülmektedir (U.S. Green Building Council, 2023a).



Şekil 2.1 LEED Sertifikasına Sahip Bilgi İşlem Merkezleri

LEED DATA CENTER sertifikasına sahip ülkelerin bilgi işlem merkezleri hakkında detaylı bilgi EK-1’de verilmiştir.

2.1.3. LEED Sertifikasının Değerlendirme Kategorileri

Bilgi işlem merkezlerine verilen LEED sertifika derecelerini belirleyecek puanlamalar bilgi işlem merkezinin enerji tüketimi dışında birçok alt kategoriyi içermektedir. Bilgi işlem merkezi binasının bulunduğu arazinin durumu, suyun verimli kullanılması, enerji tüketimi ve sera gazı emisyonu, kullanılan malzemelerin yerel olması, iç mekan hava kalitesi, konum ve ulaşım dikkate alınmaktadır.

Bu sebeple bu alanda geliştirilmiş en kapsamlı yazılımdır fakat kullanıma açık olmaması sebebi ile literatürde yapılan çalışmalarda kullanılamamaktadır.

2.2. Ağ Optimizasyon Yazılımları

Tablo 1.1’de verilen yazılım çalışmalarına ek olarak bilgi işlem merkezlerinin ağ yapısında enerji tasarrufu elde etmek için de yazılımlar geliştirilmiştir. Günümüz BİM’nin Fat-tree ve BCube gibi ağ mimarileri, büyük ağ kapasitelerini garanti altına almak ve en yüksek performans gereksinimini karşılamak için ihtiyaçtan fazla kapasitededirler. BİM trafiği yüksek olmadığı zaman ağlar verimsiz güç kullanımından muzdariptir. Bu sorunun çözülmesi için enerji tüketimini algılayabilen OpenNaaS gibi ağ yönetim platformları kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışmada OpenNaaS’ta enerji izleme ve yönlendirme için bir bileşen geliştirilmiştir. Simülasyonlar önceliğe dayalı en kısa yönlendirme ve özel akış programlamasının birleştirilmesi ile performans düşüşü

olmadan yaklaşık %5 - %35 daha yüksek enerji verimliliği elde ettiğini göstermiştir (Zhu ve ark., 2016). Bilgi işlem merkezlerinde yer alan ağlarda akışın kontrol edilmesi ile enerji tasarrufunun hedeflendiği bir başka çalışmada yazılım tanımlı ağ tekniğinden yararlanılmış ve enerji bilinçli akış programlaması için yeni bir çözüm keşfedilmiştir. Bu çalışmada yapılan simülasyonlar ve deneyler, özel yönlendirmenin, düzenli adil paylaşım yönlendirmesine kıyasla ağ enerjisinden etkili bir şekilde tasarruf sağlayabileceğini ve daha küçük akışlara daha yüksek zamanlama öncelikleri atanması durumunda ortalama akış tamamlama süresini önemli ölçüde azaltabileceğini göstermiştir (Li ve ark., 2014). Güvenilir hizmetler sunmak için bulut veri merkezlerinin paralel hesaplama ve sanallaştırma tekniklerine ihtiyacı vardır. Yapılan bir çalışmada, enerji tasarrufu amacıyla sanal makinelerin (SM) açılması ve kapatılmasında dengesiz trafik yükü sorununu aşmak için Enerji Verimliliği ve Hizmet Kalitesinin (QoS) farkında SM Yerleşimi (EQVMP) olarak adlandırılan geliştirilmiş bir SM yerleştirme mekanizması tasarlanmıştır. Mevcut diğer yerleştirme politikalarına kıyasla, önerilen mekanizma ile sistem verimliliğinin %25 artırılabilirliği görülmüştür (Wang ve ark., 2014).

2.3. Bina Simülasyon Yazılımları ile Bilgi İşlem Merkezlerinin Analizi

Bilgi İşlem Merkezi binalarının enerji tüketimini modelleyen yazılımlar olmasa da literatürde mevcut bina enerji simülasyon yazılımlarını kullanarak mevcut bilgi işlem merkezlerini modelleyen çalışmalar yapılmıştır.

Çin'de yapılan bir çalışmada, soğutma ve ısı yükü endeksini elde etmek için Harbin'de bulunan bir bilgi işlem binasının yıllık dinamik iklimlendirme yükünün simülasyonu DeST (Designer's Simulation Toolkit) ile yapılmış ve enerji tasarrufu potansiyeli değerlendirilmiştir. Bu çalışmada bilgi işlem binasının fiziksel özellikleri de dikkate alınmıştır. Sonuçlar, yıllık kümülatif soğutma yükünün, yıllık kümülatif ısı yükünden çok daha büyük olduğunu, dolayısıyla ısı geri kazanımı için büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir (Yu ve ark., 2019). İspanya'da Geçici Sistem Simülasyon Aracı (Transient System Simulation Tool (TRNSYS)) ile gerçekleştirilen bir çalışmada BİM'nin dinamik bir enerji tüketim modellemesi geliştirilmiş ve gerçek veri merkezi iç ortam ısı yayılımını yöneten bir sistem incelenmiştir (Oro ve ark., 2016). Fakat bu çalışmalarda BİM'in hayata geçmesinden önce, binanın iç ortam soğutma planı analiz edilmemiş ve bu sebeple bütün binalar için geliştirilen bir modelleme yazılımını kullanarak en doğru yük sonuçları tahmin edilememiştir (Yu ve ark., 2019).

Bu çalışmadan (Yu ve ark., 2019) başka, bilgi işlem binasının fiziksel özelliklerini ve konumunu dikkate alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. İsveç’de yapılan bir çalışma ise BİM’nin binalarının önemi vurgulanmış ve bu konuya yeterli miktarda dikkat verilmediğine değinilmiş ve dış cephede ahşap malzeme kullanılması durumunun bir BİM için fizibilitesini gerçekleştirmiştir (Gille, 2017). Gerçekleştirilen çalışmada bilişim alanındaki hızlı büyüme ve enerji ihtiyacındaki önemli artışa rağmen BİM binaları konusunda çalışma yapılmadığı, yapılan az sayıda çalışmanın bina yapısından ve binanın bulunduğu konumun iklim durumundan çok enerji talebi ve soğutma sistemlerine değindiğindi belirtilmiştir (Gille, 2017).

2.4. Literatür Değerlendirmesi

Literatür değerlendirilmesinde de görüldüğü üzere bilgi işlem merkezlerinde enerji tasarrufu elde edebilmek amacı ile kapasite yönetim yazılımları ve ağ yazılımları geliştirilmiştir. Bilgi işlem merkezi binalarının fiziksel özellikleri ve konumunu dikkate alan bir yazılım olmaması sebebi ile mevcut bina enerji modelleme yazılımlarını kullanarak bilgi işlem merkezleri için çalışmalar yapılmıştır. LEED bilgi işlem merkezlerinin modellenmesi için en kapsamlı yazılımı geliştirmiş olsa da bu yazılım ticari ve kullanıma kapalıdır. Literatürde bilgi işlem merkezlerine özel geliştirilmiş bir enerji tüketimi modelleme ve simülasyon yazılımına rastlanmamıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde ilk olarak “Yazılımın geliştirilmesi” sırasında oluşturulacak yazılım ekranları ve bu ekranlarda kullanılan formüller hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra verilerin temini sırasında izlenen adımlar anlatılmıştır. Son olarak da “Yazılımın kalibrasyonu ve doğrulanması” sırasında izlenen yöntemler detaylı olarak anlatılmıştır. Geliştirilen yazılıma “DCSim” ismi verilmiştir.

3.1. Yazılımın Geliştirilmesi

Bu bölümde ilk olarak geliştirilen yazılımda kullanılan diller ve mimari hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra yazılımın geliştirilmesi sırasında oluşturulan arayüz formları ve bu formlarda kullanılan formüller açıklanmıştır.

3.1.1. Kullanılan Teknolojiler

DCSim web tabanlı bir olarak geliştirilmiş olup React JS, MS SQL gibi birçok teknoloji kullanılarak hazırlanmıştır. Bu başlık altında kullanılan teknolojilere yer verilmiştir.

3.1.1.1. React

React, ReactJS veya React.js olarak da bilinmektedir. React, kullanıcı arayüzü oluşturmak için geliştirilmiş açık kaynak kodlu bir javascript kütüphanesidir ve Model-View-Controller yapısına uygun olarak geliştirilmiştir. Aynı zamanda React, PHP için bir HTML bileşen kütüphanesi olan XHP'den esinlenmiştir. React'ın ilk kullanımı 2011'de Facebook'ta haber kaynağı olmaktadır. Daha sonra ise 2012'de Instagram'da kullanılmıştır. 2013'te ABD'de açık kaynaklı olarak tanıtılmıştır. 26 Eylül 2017'de React 16.0 sürümü yayımlanmıştır [9]. 2019'da yayınlanan React 16.8 sürümünde ise React Hooks tanıtılmıştır [10].

3.1.1.2. MS SQL Server

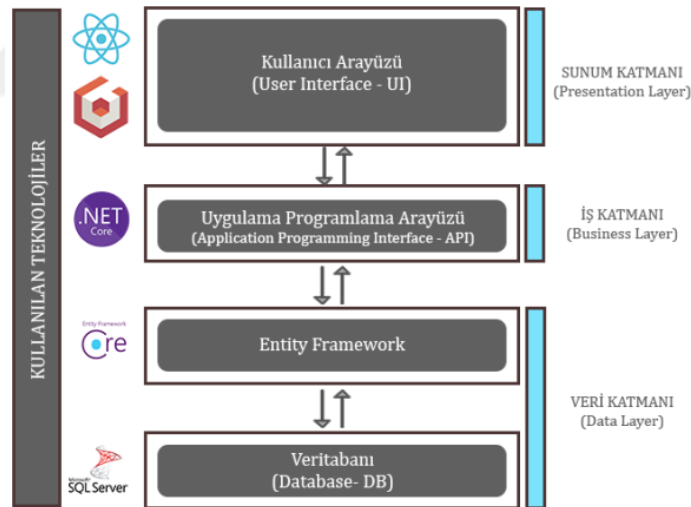
Microsoft SQL Server, Microsoft tarafından geliştirilmiştir. İlişkisel veritabanı yönetim sistemidir. Bir veritabanı sunucusu olarak birincil işlevi, aynı bilgisayarda veya bir ağ (internet dahil) üzerindeki başka bir bilgisayarda çalışabilen diğer yazılım

uygulamalarının talep ettiği şekilde verileri depolamak ve almak olan bir yazılım ürünüdür.

Microsoft SQL Server'ın tarihi, 1989'da OS/2 işletim sistemi için 16 bitlik bir sunucu olan SQL Server 1.0 adlı ilk Microsoft SQL Server ürünüyle başlamaktadır. SQL dilindeki sorgulara yanıt veren sunucu yazılımıdır.

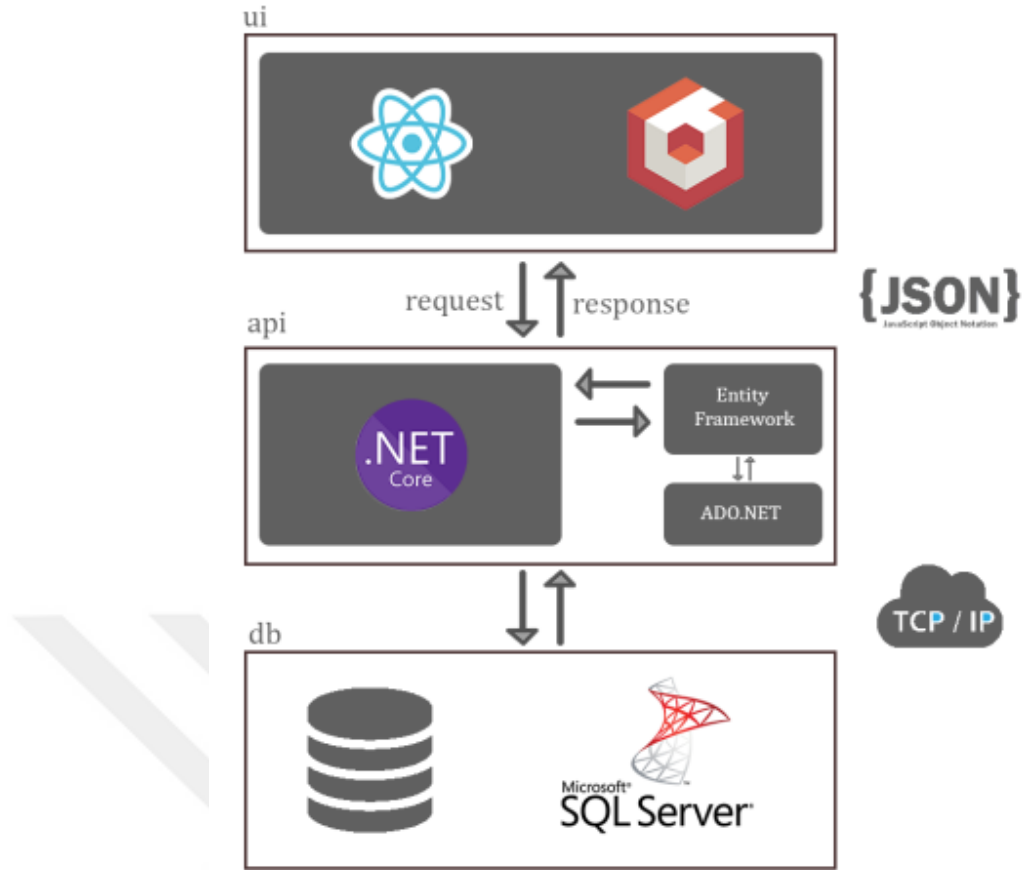
3.1.2. Yazılımın Mimarisi

Geliştirilen DCSim, web tabanlı bir uygulamadır. Yazılımı Sunum Katmanı, İş Katmanı ve Veri Katmanı olmak üzere 3 katmanda inceleyebiliriz. Sunum katmanı içerisinde kullanıcı arayüzleri bulunmaktadır. Kullanıcı arayüzü için React JS kullanılmıştır. İş katmanı içerisinde yazılım için .NET Core ile hazırlanan API bulunmaktadır. Bu API kullanıcı arayüzündeki ekranların üzerindeki işlemlerin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Veri katmanı içerisinde Entity Framework Core ve veri tabanımız yer almaktadır. Hazırlanan yazılımın katmanları ve kullanılan teknolojileri Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 DCSim Yazılım Katmanları ve Kullanılan Teknolojiler

Yazılım'ın katmalar arasındaki iletişimi Şekil 3.2'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi ekranların üzerindeki işlemler hazırlanan rest api ile etkileşim kurmaktadır. Veri tabanı işlemleri için MS SQL Server konumlandırılmıştır. ORM olarak Entity Framework Core konumlandırılmıştır. MS SQL ile etkileşim TCP/IP üzerinden iletişim kurmaktadır.



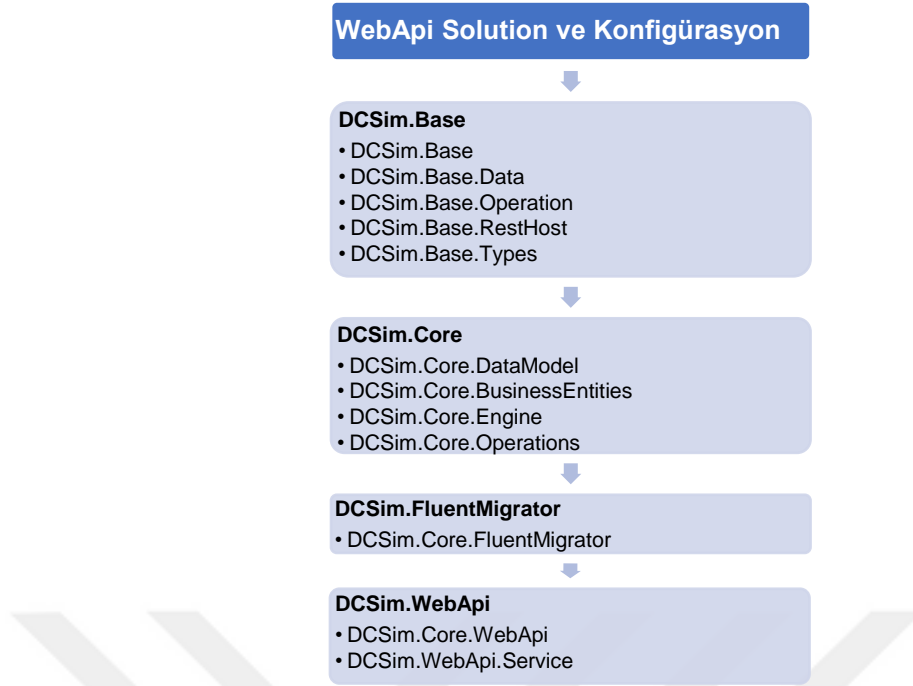
Şekil 3.2 DCSim Katmanlar Arası İletişim Protokolleri

Yazılım dilleri ve geliştirmeleri Arayüz (UI) Geliştirmeleri ve Uygulama Programlama Arayüzü (API) Geliştirmeleri olmak üzere 2 bölümde incelenmiştir.

3.1.2.1. Uygulama Programlama Arayüzü (API) Geliştirmeleri

Uygulama Programlama Arayüzü (Application Programming Interface (API)), Microsoft Framework'leri kullanılarak geliştirilmiştir. Visual Studio ile C# dili kullanılarak platformdan bağımsız olan güncel .NET Core 5.0 üzerine inşa edilmiştir. API'nın erişilebilirliğini arttırmak için beraberinde entegre edilen Swagger, test için kullanılan kütüphane MSTest ve veritabanı teknolojilerinden soyut bir geliştirme yapabilmek için ise Code-First yaklaşımı ile EF Core kullanılmış olup, veritabanı yönetimini sağlamak için FluentMigrator kullanılmıştır. Distributed Cache yapısının ise Redis Server kullanılarak gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

API mimarisi, yerinde ve yüksek kalıtım seviyesi ile oluşturulan mimari, güncel bir banka alt yapısına benzer nitelikleri taşıyacak olup kararlı, çoklu işlem ve işlem bütünlüğünü ile karmaşık ve yüksek işlem hacimlerinde dahi hızlı bir şekilde yürütebilmesine elverişli bir mimaride tasarlanmıştır.



Şekil 3.3 DCSim API Genel Yapısı

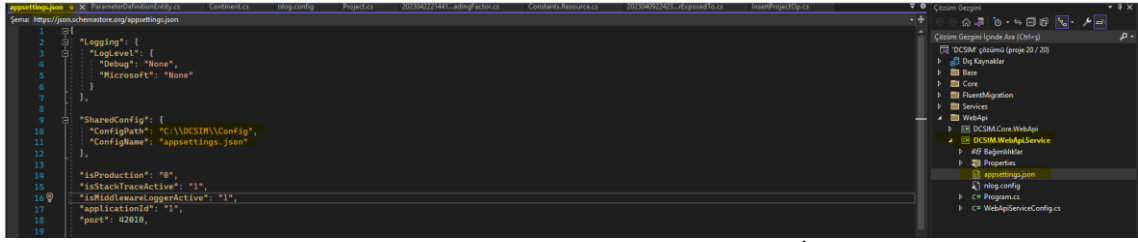
a. Kullanılan Tasarım Kalıpları ve Uygulamaları

Altyapı geliştirme süreci içerisinde SOLID prensipleri ve Tasarım Desenleri, proje içerisinde sıklıkla ve farklı şekillerde kullanılmıştır. Tasarım kalıplarından öncelikli kullanılanlardan bazıları ise şunlardır: MVC, Singleton, Abstract Factory, UnitOfWork, Repository, Command, Prototype, Template, Visitor, Facade. API'ın yanıt vermek için bir çeşit arayüz sağlayıcı olarak görev yapan Controller'lar, içerisinde Dependency Injection yapılmak üzere UnitOfWork Tasarım deseni ile çalışacak şekilde geliştirilmiştir. Tanımlı her bir işlem için tek bir sorumluluk prensibi ile yerine getirebilmesi için gelen istekleri yürütecek olan Operation dosyalarına Command Tasarım deseni uygulanarak kullanılması sağlanmıştır. Transaction yönetimi ve bütünlüğün sağlanması için OperationBase başta olmak üzere çeşitli Abstract Class'lar ve arayüzler oluşturulmuş, oluşturulan dosyalardan kalıtım alarak proje dosyaları Nesneye Yönelik Programlama ilkeleri ile geliştirilmiştir.

b. Config Yönetimi

Gereken konfigürasyonlar iki şekilde tanımlanmıştır. Derlenen projenin içerisinde bulunan appsettings.json dosyası proje bazlı ayarları barındırmaktadır. Veri tabanı gibi paylaşılan ayarlar için ise C:\DCSIM içerisindeki appsettings.json dosyası

üzerinden yönetmesi sağlanmaktadır. Bu yol ise proje içerisinde Şekil 3.4’de gösterilen appsettings.json içerisinde belirtilmektedir.



Şekil 3.4 DCSim API Projesi Appsettings Dosya İçeriği

Her proje içerisindeki ayar dosyasında paylaşılan ayar dosyasının da konum bilgisini içermesiyle ayarlar merkezi bir şekilde yönetilmiştir.

c. Log Yönetimi

Loglama için NLog tercih edilmiştir. Konfigürasyon api projesi içerisinde nlog.config dosyaları ile sağlanmaktadır. Kalıtım alınarak geliştirilmesinden ötürü her işlemin kendisine ait kritik log işlemlerini ait olduğu temel sınıflar vasıtasıyla gerçekleştirmesi sağlanmıştır. Nlog konfigürasyonu ile beraber tutulan log Şekil 3.5’de gösterilmiştir.

d. Tablo ve DataModel Yapısı

Proje içerisinde EF Core aracılığı ile veri tabanı ile iletişime geçmek için her bir tablo için ilişkisel tablolar oluşturulmaktadır. Bu tabloların her birisi Base ile beraberinde gelen temel kolonlara sahip olacak olup, bunlardan bazıları silinip silinmediği bilgisi, satır sütun numarası, güncelleme ve eklemeye bağlı tarihsel kolonlar bulunmaktadır. Bu alanlar Şekil 3.6’da gösterilmiştir.

Bu dosyalarla beraber iş paketi katmanını soyutlamak için ise BusinessEntities ismi altında API'a istekte buldukları adreslere döndürülmesi için tanımlanan sınıflar oluşturulmuştur. Bu sınıflar Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

```

namespace DCSIM.Core.BusinessEntities
{
    35 başvuru
    public partial class ParameterDefinitionEntity : BaseEntity
    {
        5 başvuru
        public string ParameterCode { get; set; }
        6 başvuru
        public string ParameterValue { get; set; }
        2 başvuru
        public string ParameterValue2 { get; set; }
        2 başvuru
        public string ParameterValue3 { get; set; }
        0 başvuru
        public string ParameterValue4 { get; set; }
        0 başvuru
        public string ParameterValue5 { get; set; }
        0 başvuru
        public string ParameterValue6 { get; set; }
        6 başvuru
        public string ParameterDesc { get; set; }
    }
}

```

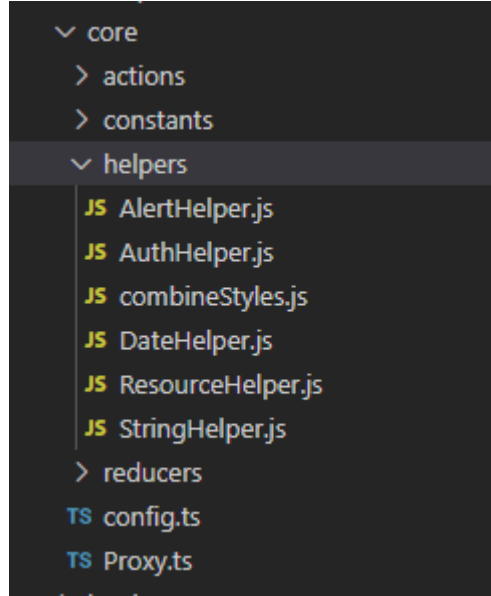
Şekil 3.7 DCSim Örnek Entity Tanımı

3.1.2.2. Arayüz (UI) Geliştirmeleri

Ön yüz geliştirme ortamında kullanılan teknolojiler HTML, CSS ve JavaScript olup, geliştirme ortamı için Node.js ve React kütüphanesi kullanılmıştır. Tasarım için gerekli bileşenler için ise Material-UI kütüphanesi kullanılarak hazırlanmıştır. Yazılım hatalarının fark edilmesi için ESLint aracı kullanılmış olup, çeşitli eklentileri ve kural tanımlamalarıyla bütünleşmiş bir biçimde hazırlanmıştır.

Kodun formatlı olmasını güvenceye almak amacı ile eklenmiş olan Prettier, aynı zamanda kod değişikliklerini yaygınlaştırmadan önce Git Hooks ve Husky kullanılarak zorunlu formatlama yapılması sağlanmıştır. Test için ise Jest entegrasyonu ile bileşen testleri gerçekleştirilmiştir.

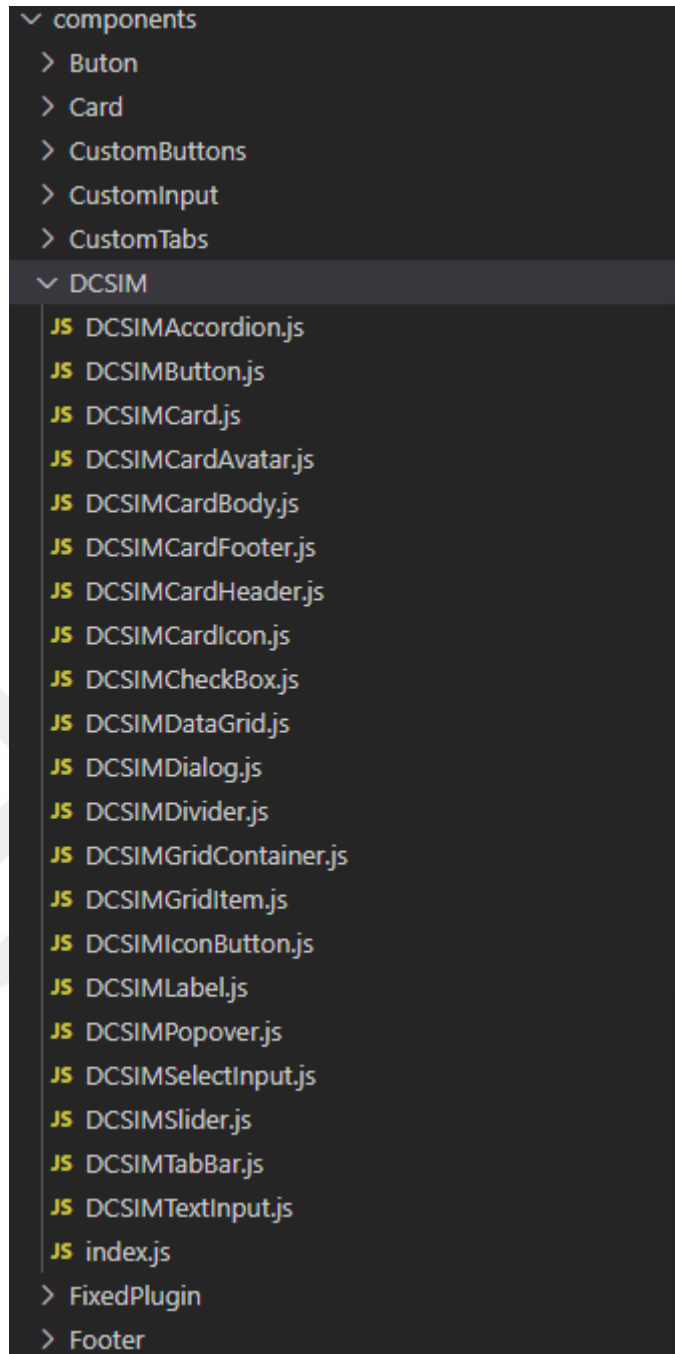
Yardımcı Sınıflar Şekil 3.8'de gösterilen 'core/helpers' içerisinde konumlandırılmış ve birden fazla ekranda kullanılacak ya da kullanılması muhtemel yardımcı sınıflar burada konumlandırılmıştır.



Şekil 3.8 DCSim Yardımcı Sınıfları

a. Bileşenlerin Tasarımı

Ön yüz içerisinde kullanılan bileşenlerin temelinde çeşitli Node.js paketleri kullanılacak olup 'components/DCSIM' isimli klasörün içerisine Şekil 3.9'da gösterildiği gibi DCSIM ile başlayacak şekilde isimlendirilerek oluşturulmuştur.

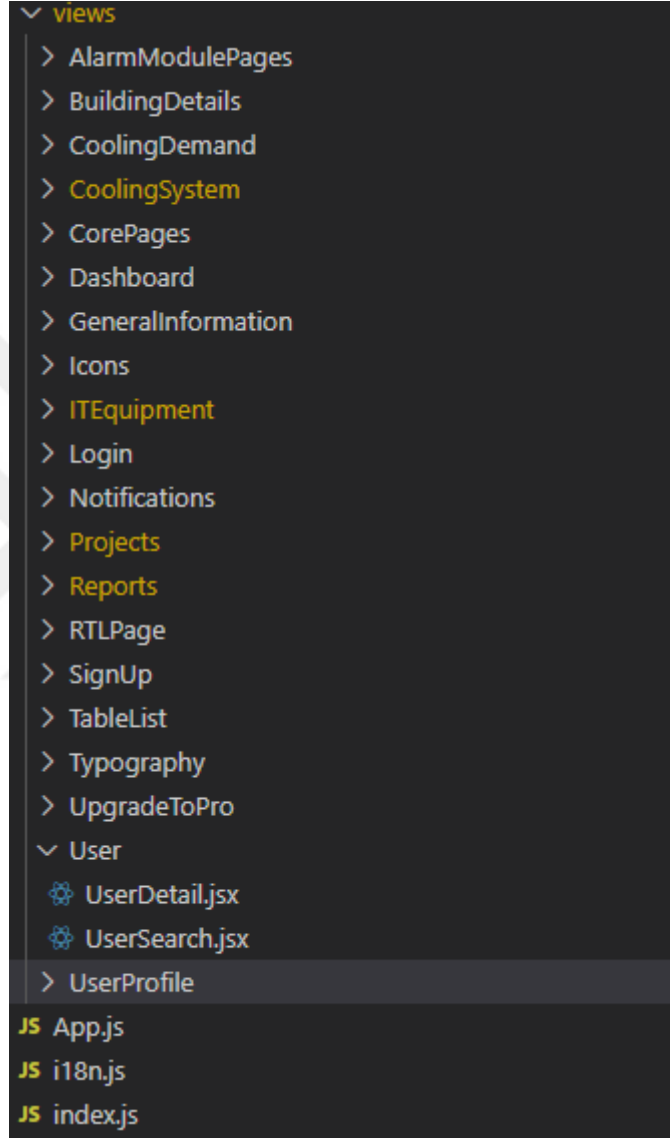


Şekil 3.9 DCSim Yazılımı Hazırlanan Bileşenler

Oluşturulan React bileşenleri fonksiyonel olup React Hooks ile geliştirilmiş ve gerekli PropTypes tanımlamaları uygun bir şekilde yapılmıştır. Geliştirme ortamının TypeScript destekleyebileceği şekilde konfigürasyona sahip olmasından dolayı bileşen dosyaları ihtiyaç durumunda TypeScript kullanılmak suretiyle de geliştirilebilecektir.

b. Ekranların Tasarımı

Ekranların bulunduğu ana klasör Şekil 3.10’da gösterilen ‘views/DCSIM’ konumu içerisinde olacak şekilde her ekran için ekrana ait bir isimle klasör oluşturulmuş ve ekrana ait birincil sayfa ve beraberinde bulunan alt bileşenler kendi klasörü içerisinde barındırılmıştır.

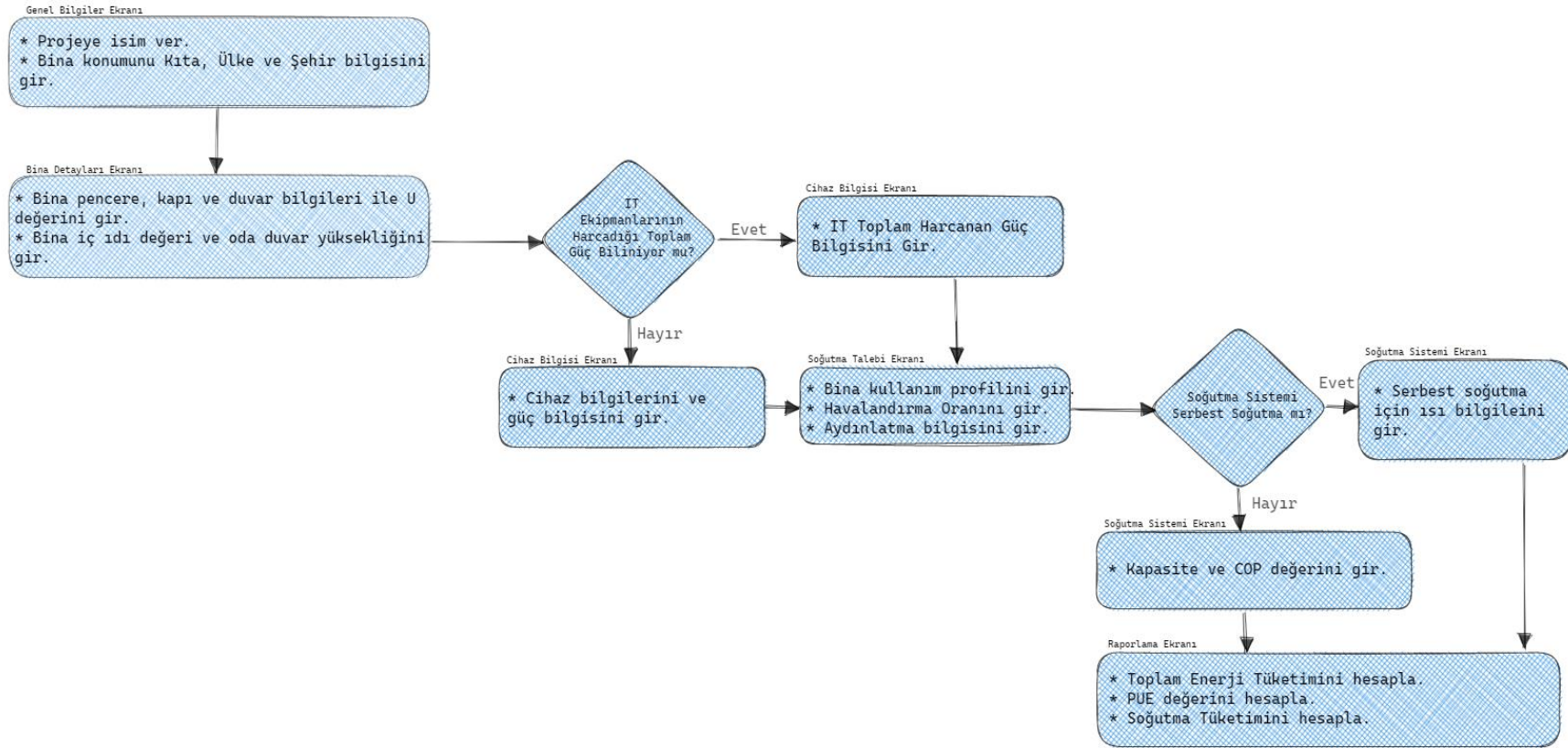


Şekil 3.10 DCSim Yazılımı Sayfaları

Kullanıcıdan veri almaya ve göstermeye dayalı ekranlar bileşenlerin mevcut stil özellikleri ile geliştirilmiş ve tasarım bütünlüğü korunmuştur.

3.1.3. Yazılım Ekranları

Bu bölümde geliştirilen yazılım ekranları sırasında kullanılan hesaplama yöntemleri açıklanmıştır. Yazılımın kullanımı için Şekil 3.11’de akış verilmiştir.



Şekil 3.11 DCSim Yazılımı Kullanım Akış Diyagramı

3.1.3.1. Bilgi İşlem Merkezi Hakkında Genel Bilgiler Ekranı

Yazılımın ilk ekranında kullanıcı projeye bir isim vermekte ve modellenecek bilgi işlem merkezinin konumunu seçmektedir. Kullanıcının konumu seçmesi ile seçilen konum bilgisine ait iklim verileri hesaplamalarda kullanılmak üzere iklim tablosundan önbelleğe alınır. Tüm hesaplamalarda önbellekteki bu iklim verileri kullanılmaktadır. İklim veri tabanında bulunan veriler “climate.onebuilding.org” sitesinden temin edilmiş ve bu siteden verilerin kullanılması için izin alınmıştır (Crawley & Lawrie, 2022).

3.1.3.2. Bina Detayları Ekranı

“Bina Detayları” ekranında binanın fiziksel özelliklerinin kullanıcı tarafından girilmesi gerekmektedir. Girilen bilgiler doğrultusunda, Tablo 3.6’da yer alan eşitlikler kullanılarak binanın ısı kaybı ve soğutma amaçlı enerji talebi hesaplanmaktadır. Binanın fiziksel özelliklerine ait kullanıcıdan talep edilen bilgiler Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Kullanıcıdan Talep Edilen Binanın Fiziksel Özelliklerine Ait Bilgiler

Özellik Bilgisi	Açıklama/Birim
Bilgi İşlem Odasının boyutu	En, boy, yükseklik (Metre)
Bilgi İşlem Odasının cephesi	Kuzey, güney, batı, doğu
Bilgi İşlem Odasının kat bilgisi	Bodrum kat, ara kat, çatı katı
Bilgi İşlem Odasının her dış ve iç yüzeyine ait ısı iletkenlik katsayısı	U değeri, W/m ² K
Bilgi İşlem Odasının iç ortam sıcaklığı	°C
İç ortam ile temas eden cephelerin temas ettiği odaların sıcaklığı	°C
Bilgi İşlem Odasının saatlik hava değişim oranı	m ³ /h (ACH (Air change per hour))

Tablo 3.1’de verilen kullanıcıdan istenilen bilgilerin girilmesi sonucunda yazılım tarafından Tablo 3.6’da yer alan Eşitlik 1-Eşitlik 12 kullanılarak binanın toplam ısı kaybı ve soğutma amaçlı elektrik tüketimi hesaplanmaktadır.

Bilgi işlem odasının aydınlatma bilgisi de bu kısımda girilmektedir. Schneider Elektrik Bilgi İşlem Bilim Merkezi tarafından bilgi işlem merkezlerinde aydınlatma amaçlı anlık güç talebi 21,5 W/m² hesaplanmıştır (Sawyer, 2011). Bu sebeple aydınlatma gücünü hesaplamak için bina bilgisi ekranında girilen bina zemin alanı (m²), “21,5 W/m²” ile çarpılarak anlık aydınlatma amaçlı güç talebi hesaplanmaktadır. Aydınlatma bilgisi biliniyorsa ve istenirse kullanıcı tarafından da girilebilmektedir.

“Bina Detayları” ekranında, “Oda” (Room), “Kapı” (Door), “Pencere” (Window) ve “Sıcaklık” (Temperature) olmak üzere dört alt form bulunmaktadır.

3.1.3.3. Cihaz Bilgisi Ekranı

Cihaz bilgisi ekranında bilgi işlem merkezinde kullanılması planlanan veya kullanılmakta olan elektronik cihazlar kullanıcı tarafından seçilmektedir. Yazılımın veri tabanında farklı marka ve modelde anahtar, sunucu, veri depolama ve güvenlik cihazları için elektrik tüketim bilgisi her bir cihazın teknik dokümanlarından elde edilerek oluşturulmuştur.

Kullanıcı tarafından seçilen cihazlar sonucunda yazılım tarafından bilgi işlem merkezinin cihazlardan kaynaklanan saatlik, aylık ve yıllık elektrik tüketimi hesaplanmaktadır. Kullanılması planlanan cihazın veri tabanında yer almaması durumunda ise kullanıcı istediği cihazı veri tabanına ekleyebilecektir. Daha sonra cihazların anlık en yüksek güç talebini hesaplamak için ise cihazların toplam gücü “0,67” katsayısı ile çarpılmıştır (Sawyer, 2011). Çünkü cihazlar katalogta yazan güç değerlerinin ortalama %67’sini tüketmektedir. Bu katsayının doğruluğu ölçüm yapılan bilgi işlem merkezinde teyit edilmiştir.

Kullanıcı cihaz listesini seçtikten sonra bilgi işlem merkezinde bulunan kesintisiz güç kaynakları (KGK, UPS (Uninterruptible Power Supply)) seçmektedir. Bir bilgi işlem merkezinde güç sağlanması için oluşturulan sistem, KGK ve güç dağıtım ünitelerinden oluşur. Bilgi işlem merkezinde yer alan KGK’ların sayısı ve teknik bilgileri bu kısımda girilecektir. Kesintisiz güç kaynakları, elektrik kesintisinin en az düzeyde olması gereken sistemleri korumak ve enerjisiz bırakmamak için kullanılır ve bilgi işlem merkezlerinde sistemin elektrik kesintisinden etkilenmemesi için mutlak surette bulundurulması gereken bir cihazdır. Kullanıcı yazılım arayüzünden kullanacağı KGK sayısını, marka ve modelini seçecektir. Kullanılmak istenen KGK’nın veri tabanında yer almaması durumunda kullanılmak istediği KGK için güç değerini girecektir. Seçilen KGK’ların ısı yayılım miktarı veri tabanında yer almaktadır. Eğer kullanılmak istenen KGK veritabanında yer almıyorsa ve KGK’nın güç miktarı girilmiş ise, KGK’dan kaynaklanan ısı kazancı Tablo 3.6’da yer alan Eşitlik 5 ile hesaplanacaktır. Eşitlik 6’da yer alan “0,05” katsayısı veri tabanında yer alan KGK’ların ısı yayılım gücünün güç çıkışına oranının ortalaması alınarak elde edilmiştir. Aynı zamanda yapılan bir

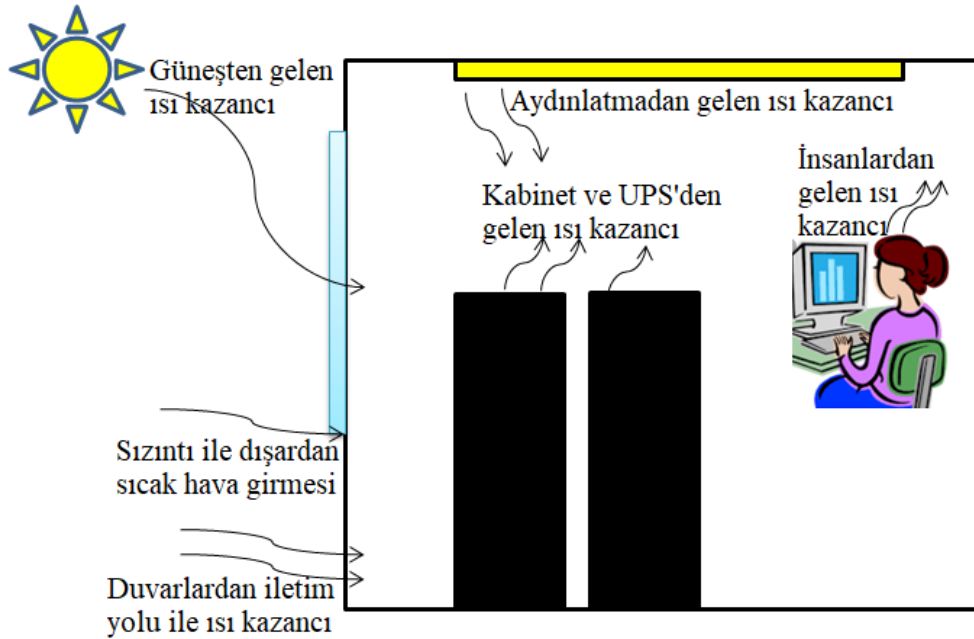
çalışmada KGK'lerden kaynaklanan ısı kazancı hesaplanırken “0,05” katsayısı kullanılmıştır (Rasmussen, 2012).

3.1.3.4. Soğutma Talebi Hesaplama Ekranı

Bilgi işlem merkezlerinde 12 ay boyunca soğutma sistemleri aktif konumdadır. Bir bilgi işlem merkezinde ısı artışına sebep olan etkenler Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Isı artışına sebep olan kaynaklar tek tek hesaplanarak elde edilen toplam değer ile bilgi işlem odasının soğutma talebi hesaplanmıştır. Şekil 3.12’de gösterilen ısı kazançları, iç ve dış ısı kazançları olarak iki grupta incelenmiştir.

- İç ısı kazançları

Şekil 3.12’de görüldüğü gibi odada yer alan iç ısı kazançları bilgi işlem cihazları (Kabinet ve UPS), aydınlatma ve insanlardan kaynaklanan ısı kazançları olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Bilgi işlem cihazlarından kaynaklanan ısı kazanç miktarının hesaplanması Bölüm 3.1.2.3.’de açıklanmıştır ve Tablo 3.6’da yer alan Eşitlik 4 ile hesaplanmıştır. Buna ek olarak kullanıcı yazılıma bilgi işlem odasında bir günde ne kadar süre, kaç insan olduğu bilgisini de gerecektir. ASHRAE kataloğundaki ısı kazanç aktivitesi verilerinde ‘Aktif İş Ortamı’nda çalışan personelden kaynaklı duyulur ve gizli ısı kazancı 75 W ve 55 W olarak verilmiştir (ASHRAE, 2007). Bilgi işlem personelinden kaynaklanan günlük ısı kazancı, Tablo 3.6’da yer alan Eşitlik 6 kullanılarak hesaplanmış ve yıl boyunca resmi tatiller dışında sabit olduğu varsayılmıştır. Aydınlatmadan kaynaklanan ısı kazancı duyulur ısı kazancıdır. Aydınlatmadan kaynaklanan günlük ısı kazancı bilgi işlem merkezinde bulunan lambaların güç değerleri, lambaların kullanım süreleri hakkında bilgi verilmesi durumunda Eşitlik 7 kullanılarak hesaplanmış ve yıl boyunca resmi tatiller dışında sabit olduğu varsayılmıştır. Binalarda lamba türlerinin soğutma yüküne etkisinin incelendiği bir çalışmada LED lambaların ofis binalarında floresan lambaya kıyasla soğutma yükünü %11,57 azalttığı tespit edilmesi (Ahn ve ark., 2014) sebebi ile bu çalışmada bilgi işlem odasında yer alan lambaların türlerinin LED olduğu varsayılacaktır. LED aydınlatması tarafından ortama yayılan ısı, LED giriş gücünün %78’i olarak hesaplanmıştır (Ahn ve ark., 2015). Bu sebeple aydınlatmadan kaynaklanan ısı kazancı hesaplanırken lamba gücü 0,78 katsayısı ile çarpılacak ve günlük iç ısı kazancı Tablo 3.6’da yer alan Eşitlik 8 ile hesaplanmıştır.



Şekil 3.12 Bilgi İşlem Odasında Isı Artışına Sebep Olan İç ve Dış Etkenler

- Dış ısı kazançları

Dış etkenlerden kaynaklanan ısı kazançları ise yine Şekil 3.12’de görüldüğü gibi güneşten gelen ısı kazancı, sızıntı ile gelen ısı kazancı ve duvarlardan iletim yolu ile gelen ısı kazancı olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Güneşten kaynaklanan ısı kazancı TS 825 Yönetmeliği’ne göre hesaplanmıştır (TS 825, 2008). Pencereleden giren saatlik güneş enerjisi kazancı binanın durumuna bağlı olarak Tablo 3.2’de verilen gölgelenme faktörü ($r_{i,ay}$) değerleri ile birlikte Eşitlik 9 kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.2 Saydam Yüzeylerin Aylık Ortalama Gölgeleme Faktörü ($r_{i,ay}$) (TS 825, 2008)

	$r_{i,ay}$
Ayrık (müstakil) ve/veya az katlı (3 kata kadar) binaların bulunduğu yönlerde	0,8
Ağaçlardan kaynaklanan gölgelenmenin olduğu ve/veya 10 kata kadar yükseklikteki binaların bulunduğu yönlerde	0,6
Bitişik nizam ve/veya 10 kattan daha yüksek binaların bulunduğu yönlerde	0,5

Güneş enerjisi geçirme faktörü ($g_{i,h}$) ise Eşitlik 10 ile hesaplanmıştır (TS 825, 2008).

Tablo 3.3 Laboratuvar Şartlarında Ölçülen ve Yüze Dik Gelen Işın için Güneş Enerjisi Geçirme Faktörü (TS 825, 2008)

Cam türü	g_l
Renksiz tek cam için	0,85
Renksiz yalıtım camı birimi için	0,75
* Isıl geçirgenlik katsayısı $2 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'den daha küçük olan diğer ısı yalıtım birimleri için	0,50

İletim ve sızıntı ile giren havadan kaynaklanan ısı kazancı ise Tablo 3.6'da verilen Eşitlik 1- Eşitlik 3 ile hesaplanmıştır. Bu durumda bilgi işlem odasında toplam dış ısı kazancı Eşitlik 11 ile hesaplanmıştır. Bilgi işlem merkezindeki toplam iç ve dış ısı kazançları hesaplandıktan sonra merkezin soğutma talebi hesaplanmıştır.

3.1.3.5. Soğutma Sistemi Seçim Ekranı

Bilgi işlem merkezinin soğutma talebi belirledikten sonra kullanıcı bilgi işlem merkezinde kullanmak istediği soğutma sistemini seçecektir. Soğutma sistemi olarak “Salon tipi Klima” ve “Serbest soğutma” seçenekleri bulunmaktadır. Salon tipi klima kullanılması durumunda soğutma sisteminin performans katsayısı (Coefficient of Performance (COP)) değeri kullanılarak sistemin enerji tüketimi hesaplanmaktadır.

Serbest soğutma kullanılması durumunda ise sistemin enerji tüketimi iklim verisi kullanılarak hesaplanacaktır. Serbest soğutma sisteminin elektrik tüketimi, yıl boyunca iç ortam sıcaklığından daha küçük olan saat sayısına bağlıdır. Bu nedenle, serbest soğutma sisteminin elektrik talebi saatlik olarak hesaplanmaktadır. Serbest soğutma sisteminin çalışma modları “serbest soğutma modu”, “kısmi serbest soğutma modu” ve “mekanik soğutma modu” olarak üç gruba ayrılır. Sistemin sıcaklığa göre çalışma modları Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4 Soğutma Modları için Çalışma Sıcaklıkları

Çalışma Modu	Çalışma Sıcaklığı (°C)
Serbest Soğutma	$T_{dış} \leq T_b$
Kısmi Serbest Soğutma	$T_b < T_{dış} < T_{dö}$
Mekanik Soğutma	$T_{dış} \geq T_{dö}$

Tablo 3.4'te yer alan $T_{dış}$ dış hava sıcaklığıdır, T_b (T_s , Supply Temperature) besleme havası sıcaklığıdır ve $T_{dö}$ (T_r , Return Temperature) dönüş hava sıcaklığıdır. Ankara'da serbest soğutma ile soğutulan bir kamu kurumunun bilgi işlem merkezinde yapılan bir çalışmada, kabinetlerin ve soğutma sisteminin elektrik tüketimi ölçülmüştür. Çalışmada, kabinetlerin elektrik tüketimi 274,248 kWh/yıl (31,306 W) (Gügül, 2018) olarak bulunmuş ve serbest soğutma sisteminin elektrik tüketimi Tablo 3.5'de verilen şekilde ölçülmüştür.

Tablo 3.5 Serbest Soğutma Sisteminin Elektrik Tüketimi

Çalışma Modu	Güç (W) (Güçül, 2018)	Soğutma sisteminin güç talebinin kabinetlerin güç talebine oranı
Serbest Soğutma	1709	0,0545
Mekanik Soğutma	39444	1,2599
Pompa Gücü	1512	0,0482

Bir bilgi işlem merkezinde anlık soğutma talebi cihazların anlık enerji talebi ile yaklaşık doğru orantılıdır. Bu sebeple Tablo 3.5'te verilen oranlar kullanılarak cihazların enerji talebi bilinen bir bilgi işlem merkezi için her bir modda saatlik güç talebi hesaplanabilecektir. Kısmi serbest soğutma modu ise serbest soğutma ve mekanik soğutmaların ortalamasıdır. Her bir modun bir yıl boyunca ne kadar süre çalışacağı ise konumu verilen bilgi işlem merkezinin iklim veri tabanında yer alan saatlik sıcaklık verisi kullanılarak hesaplanmaktadır.

3.1.3.6. Toplam Enerji Talebi Ekranı

Bu kısımda öncelikle bilgi işlem merkezinin cihazlardan ve aydınlatmadan kaynaklanan elektrik tüketimi saatlik olarak hesaplanmaktadır. Daha sonra hesaplanan soğutma sisteminden kaynaklanan saatlik elektrik tüketimi verileri de eklenerek bir yıl için saatlik toplam elektrik tüketimi verisi elde edilmektedir.

Bu tezde kullanılan eşitlikler Tablo 3.6'da kaynakları ile birlikte verilmiştir.

Tablo 3.6 Binanın Isı Kaybı ve Soğutma Talebi Hesaplanmasında Kullanılacak Eşitlikler

Açıklama	Eşitlik	Eşitlik no	Eşitliklerde kullanılan kısaltmalar	Kaynak
Binanın Özgül Isı Kaybı (H)	$H = H_c + H_v$ (1)	1	H_v :Havalandırma ile ısı kaybı, W/°C H_c :İletim ve taşınım ile ısı kaybı, W/°C	
İletim ve taşınım ile ısı kaybı (H_c)	$H_c = \sum(A \times U) + l \times U_1$ (2) $\sum(A \times U) = U_{ow}A_{ow} + U_wA_w + U_{od}A_{od} + 0.8 \times U_cA_c + 0.5 \times U_bA_b + U_{ba}A_{ba} + 0.5 \times U_{lt}A_{lt}$ (3)	2	U_{ow} :Dış duvarın ısı iletkenlik katsayısı (İİK), W/m ² °C U_w :Pencerenin İİK, W/m ² °C U_{od} :Dış kapının İİK, W/m ² °C U_c :Tavanın İİK, W/m ² °C U_b :İç ortam ile temas eden zemin İİK, W/m ² °C U_{ba} :Dış ortama bakan zeminin İİK, W/m ² °C U_{lt} :İç ortam ile temas eden yapının İİK, W/m ² °C A_{ow} :Dış duvarın alanı, m ² A_w :Pencere alanı, m ² A_{od} :Dış kapı alanı, m ² A_c :Tavan alanı, m ² A_b :Dış ortama temas etmeyen zemin alanı, m ² A_{ba} :Dış ortam ile temas eden zemin alanı, m ² A_{lt} :İç ortam ile temas eden yapının alanı, m ² l :Termal köprünün uzunluğu, m U_1 :Termal köprünün ısı geçirgenliği, W/mK	(ASHRAE, 2007) (Ahn ve ark., 2014)
Havalandırma ile ısı kaybı (H_v)	$H_v = \rho \times c \times V_i$ $= \rho \times c \times n_h \times V_h$ $= 0.33 \times n_h \times V_h$ (4)	3	ρ :Birim hava hacmi, kg/m ³ c :Havanın özgül ısı, J/kg-K V_i :Saatlik hava değişimi, m ³ /h n_h :Hava değişim hızı (1/h) V_h :Havalandırılan hacim ($V_h = 0.8 \times V_{brut}$), m ³	
Cihazlardan Kaynaklanan ısı kazancı (İK)	$C_{IK} = P \times A \times 0.6 \times 24$ (5)	4	C_{IK} :Cihazlardan kaynaklanan İK, W-saat/gün P :Kabinetlerin güç tüketimi, W/m ² A :Bilgi işlem	(Ahn ve ark., 2014) (Sawyer, 2011)

			merkezinin zemin alanı, m ²	
KGK'dan kaynaklanan IK	$KGK_{IK} = KGK_G \times 0,05 \times 24$ (6)	5	KGK _{IK} :KGK'dan kaynaklanan IK, W-saat/gün KGK _G :KGK gücü, W	(Ahn ve ark., 2015)
Bilgi işlem personelinin kaynaklanan IK	$PK_{IK} = IK \times K_S \times t_{BIM_K}$ (7)	6	PK _{IK} :Personelden kaynaklanan IK, W-saat/gün IK :Isı kazancı, W/kişi K _S :Kişi sayısı, kişi t _{BIM_K} :Bir kişinin odada bulunma süresi, saat/gün	
Aydınlatmadan kaynaklanan IK	$AK_{IK} = IK \times K_S \times t_{BIM_L}$ (8)	7	AK _{IK} :Aydınlatmadan kaynaklanan IK, W-saat/gün L _G :Lamba gücü, W/lamba L _S :Lamba sayısı, lamba t _{BIM_L} :Odada günlük aydınlatma süresi, saat/gün	(TS 825, 2008)
Toplam iç IK	$IK_i = \frac{CK_{IK} + PK_{IK} + AK_{IK}}{1000}$ (9)	8	IK _i :Toplam günlük iç IK, kW-saat/gün CK _{IK} :Cihazlardan kaynaklanan IK, W-saat/gün	
Güneş enerjisi IK	$\phi_{s,yil} = \left(\sum_{t=1}^{8760} r_{i,h} \times g_{i,h} \times l_{i,h} \times A_i \right) / 1000$ (10)	9	$\phi_{s,yil}$:Yıllık güneş enerjisi kazancı, kW-saat/yıl r _{i,h} :Saydam yüzeyin saatlik gölgeleme faktörü g _{i,h} :Saydam yüzeyin saatlik radyasyon geçirme faktörü I _{i,h} :Dik yüzeylerde güneş ışınımı şiddeti (W/m ²), A _i :Toplam pencere alanı (m ²) dir i : Yön	(Ahn ve ark., 2014)
Güneş enerjisi geçirme faktörü	$g_{i,ay} = F_w \cdot g_{\perp}$ (11)	10	F _w : =0,8 g _⊥ :Laboratuvarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörü	
Toplam IK	$IK_y = \sum_{d=1}^{365} \frac{IK_{gü_d}}{1000} + \frac{((H_c + H_v) \times (T_{dış} - T_i))_d}{1000}$ (12)	11	IK _y :Toplam yıllık dış IK, kW-saat/yıl IK _{gü_d} :Güneşten kaynaklanan IK, W-saat/gün T _i :Bilgi İşlem Odasının iç ortam sıcaklığı, °C T _{dış} :Dış ortam sıcaklığı, °C d :Gün	(TS 825, 2008)

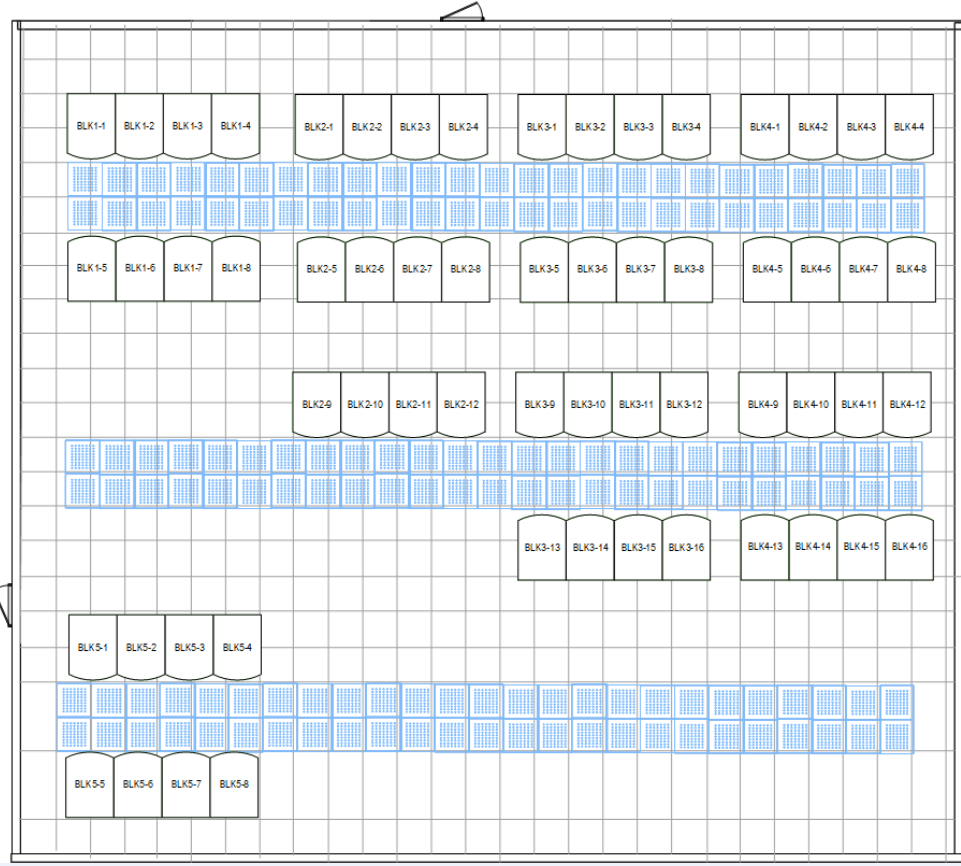
Toplam Soğutma Yüğü	$CD_y = \sum_{d=1}^{365} (IK_i + IK_d)$ (13)	12	CD_y :Yıllık toplam soğutma talebi, kW-saat/yıl	
Regresyon analizi	$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - t_i)^2}{\sum_{i=1}^N (t_i)^2}$ (16)	13	t_i :Ölçülen i. değer y_i :Tahmini i. değer i :Tahmin N :Ölçülen değer sayısı	(Güğül, 2018)
PDU enerji tüketimi	$P_{pdu} = P_{pdu_pasif} + \pi_{pdu} \times (\sum_N P_{srv})^2$ (18)	14	P_{pdu} :PDU tarafından tüketilen güç, Watt P_{pdu_pasif} :PDU'nun boşta güç tüketimi, Watt P_{srv} :Sunucuların güç tüketimi, Watt π_{pdu} :PDU güç kaybı katsayısı N :BİM'indeki sunucuların sayısı	(Dayarathna ve ark., 2016)
PUE	$PUE = \frac{\text{BİM toplam yıllık enerji tüketimi}}{\text{BT cihazları toplam yıllık enerji tüketimi}}$ (19)	15	PUE : Power Usage Effectiveness	(Dayarathna ve ark., 2016)

3.1.3.7. Raporlama Ekranı

Son ekranda bilgi işlem merkezinin bilgileri rapor olarak kullanıcıya verilmekte ve kullanıcı tarafından bilgisayara indirilebilmektedir. Kullanıcı son ekrana geldiğinde bilgi işlem merkezi için tahmin edilen soğutma amaçlı ve nihai enerji talebini saatlik olarak bilgisayarına indirebilmektedir. Buna ek olarak bilgi işlem merkezinin enerji verimliliğinin bir göstergesi olan Güç Kullanımı Etkinliği (Power Usage Effectiveness (PUE)) katsayısı da bu ekranda hesaplanıp ekranda kullanıcıya gösterilmektedir.

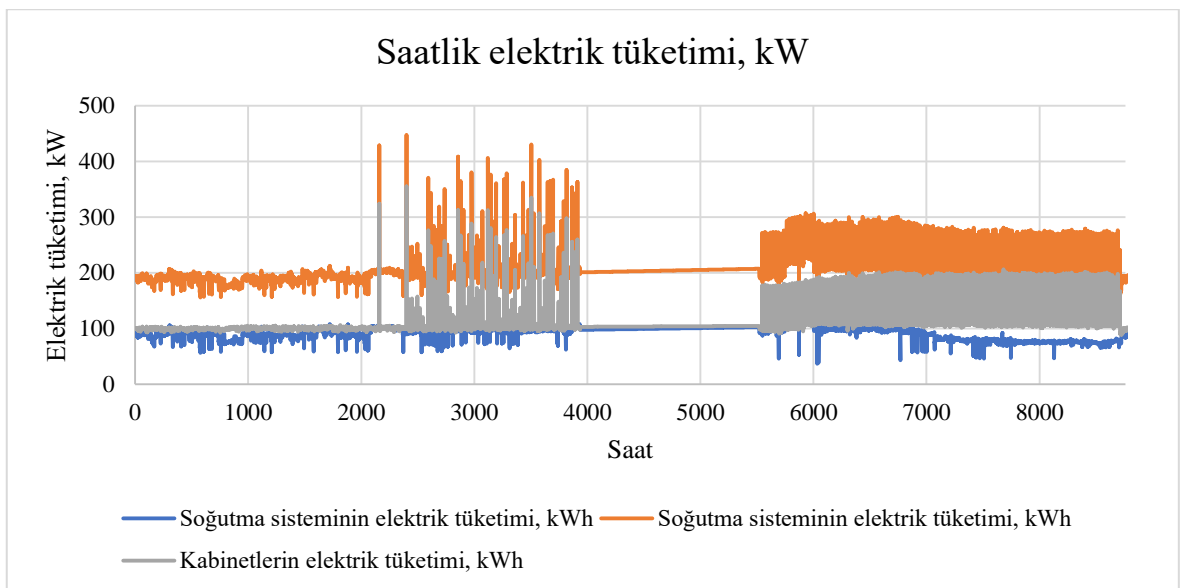
3.1.4. Yazılımın Kalibrasyonu ve Doğrulanması

Yazılım doğrulanması özel bir bankaya ait bilgi işlem merkezi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yazılım doğrulamada kullanılan bilgi işlem merkezinin kabinetleri ve konumları Şekil 3.13'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13 Bilgi İşlem Merkezinde Yer Alan Kabinetlerin Konumları

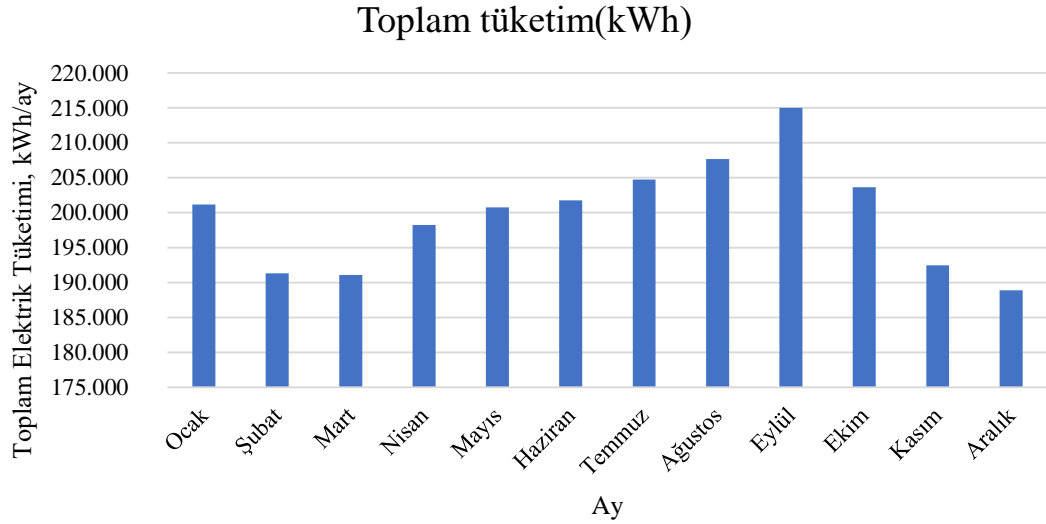
Özel bir bankaya ait bilgi işlem merkezinde kabinetlerin ve soğutma sisteminin elektrik tüketimlerinin 2020 yılına saatlik olarak bir yıl süresince ölçülmüştür. Ölçülen veri Şekil 3.14'te görülmektedir.



Şekil 3.14 Bilgi İşlem Merkezinde Yer Alan Kabinetlerin, Soğutma Sisteminin ve Toplam Sistemin Saatlik Elektrik Tüketimi

Şekil 3.14’de görüldüğü üzere, yaz döneminde 2 ay elektrik ölçümü sistemsal bir arıza sebebi ile yapılamamıştır. Aynı zamanda yaz döneminden önce elektrik tüketiminde ani artışlar da görülmektedir. Yaz döneminde arızanın giderilmesi ile bu dönemden sonra elektrik tüketimi normalize olmuştur.

Yaz dönemindeki elektrik tüketim verisindeki eksikliğin giderilmesi için 12 aylık elektrik tüketim verisi temin edilmiştir. Aylık elektrik tüketimi Şekil 3.15’te görülmektedir.



Şekil 3.15 Bilgi İşlem Merkezinin Aylık Tüketim Verisi

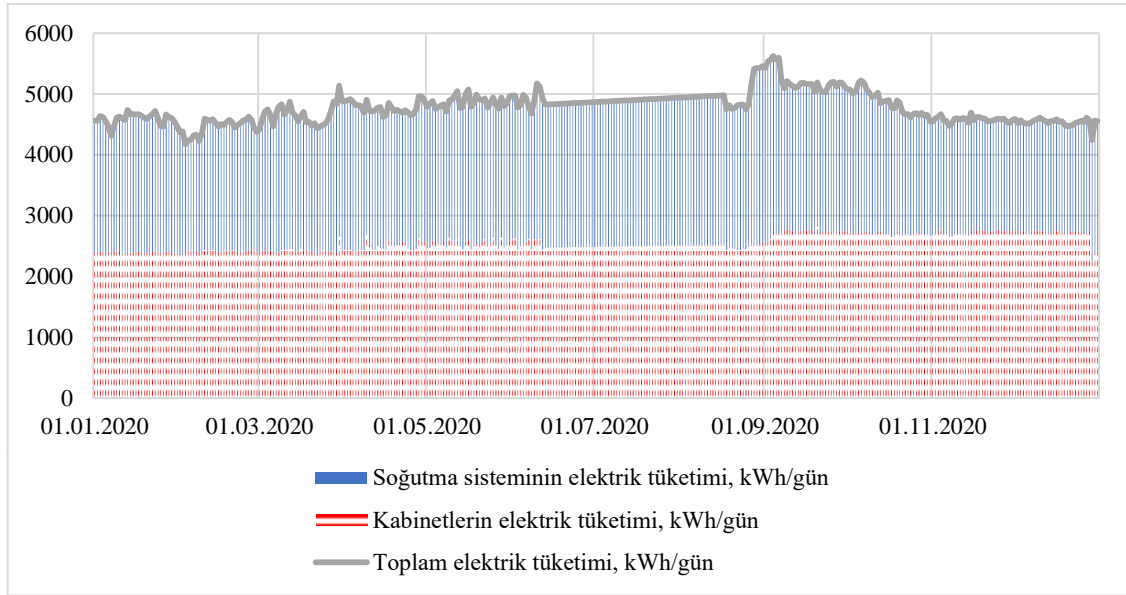
Daha sonra saatlik soğutma talebi ve toplam elektrik tüketimi verileriyle Tablo 3.7’de yer alan denklemler geliştirilmiştir.

Tablo 3.7 Bir Yıllık Saatlik Elektrik Tüketim Verisi ile Geliştirilen Denklemler

	Soğutma talebi	Toplam tüketim
Doğrusal	$y = 0,0029x + 87,118$	$y = 0,0051x + 185,41$
Logaritmik	$y = 2,3851\ln(x) + 75,556$	$y = 4,282\ln(x) + 164,24$
Polinom	$y = 7E-07x^2 + 0,0003x + 88,825$	$y = 1E-06x^2 + 0,0008x + 188,22$
Üstel	$y = 86,896e^{3E-05x}$	$y = 185,73e^{2E-05x}$

Daha sonra bu denklemler ile 10 aylık saatlik tüketim verisi 12 aylığa tamamlanmıştır. Denklemler ile elde edilen tüketimlerden, aylık elektrik tüketim verisine en yakın olan veri üstel denklem ile bulunmuştur. Bu sebeple üstel denklem ile

10 aylık saatlik elektrik tüketim verisi 12 aylığa tamamlanmış ve Şekil 3.16'de verilen 12 aylık günlük elektrik tüketim verisi elde edilmiştir.



Şekil 3.16 Bir Yıl için Günlük Elektrik Tüketimi

Verilerin temin edilmesinden ve yazılım tamamlanmasının ardından ölçüm yapılan Bilgi İşlem Merkezi geliştirilen yazılımda modellenmiştir. BİM bir binanın içinde bulunmaktadır. Bu sebeple duvarlarının dış ortam ile teması yoktur. Bilgi işlem merkezi 12 ay süresince 15 °C'de tutulmaktadır. Bilgi işlem merkezinin duvarlarının temas ettiği ofis ortamları kışın 22 °C, yazın 27 °C'de tutulmaktadır. Bu sebeple dış ortam sıcaklığı verilerinde temas edilen ofislerin sıcaklığı verisi kullanılmıştır. Bilgi işlemin hava değişim oranı 0,6 ACH'dir. Duvarlarının ısı iletkenlik değeri 1,2 W/m²K'dir. Bilgi işlem merkezinde bulunan cihazların tam listesi güvenlik sebebi ile bu çalışmada verilmemiştir. Fakat bulunan cihazların sayısı Tablo 3.8'de görülmektedir.

Tablo 3.8 Bilgi İşlem Merkezinde Bulunan Cihaz Sayısı

Cihaz türü	Adet
Sunucu	113
Veri depolama	94
Blade Sunucu	144
Blade Şasi	14
Blade Bağlantı Araçları	64
Diğer	38

Bilgi işlem merkezi hakkında gereken tüm veriler temin edildikten sonra, merkez geliştirilen yazılımda modellenmiştir. Daha sonra ölçülen kabinetlerin ve soğutma amaçlı elektrik tüketimi verisi ile tahmin edilen veriler Regresyon analizine tabi tutulmuştur (Tablo 3.6, Eşitlik 13).

Regresyon katsayısı, R^2 , değeri Eşitlik 16 ile hesaplanmıştır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - t_i)^2}{\sum_{i=1}^N (t_i)^2} \quad (16)$$

Bu eşitlikte;

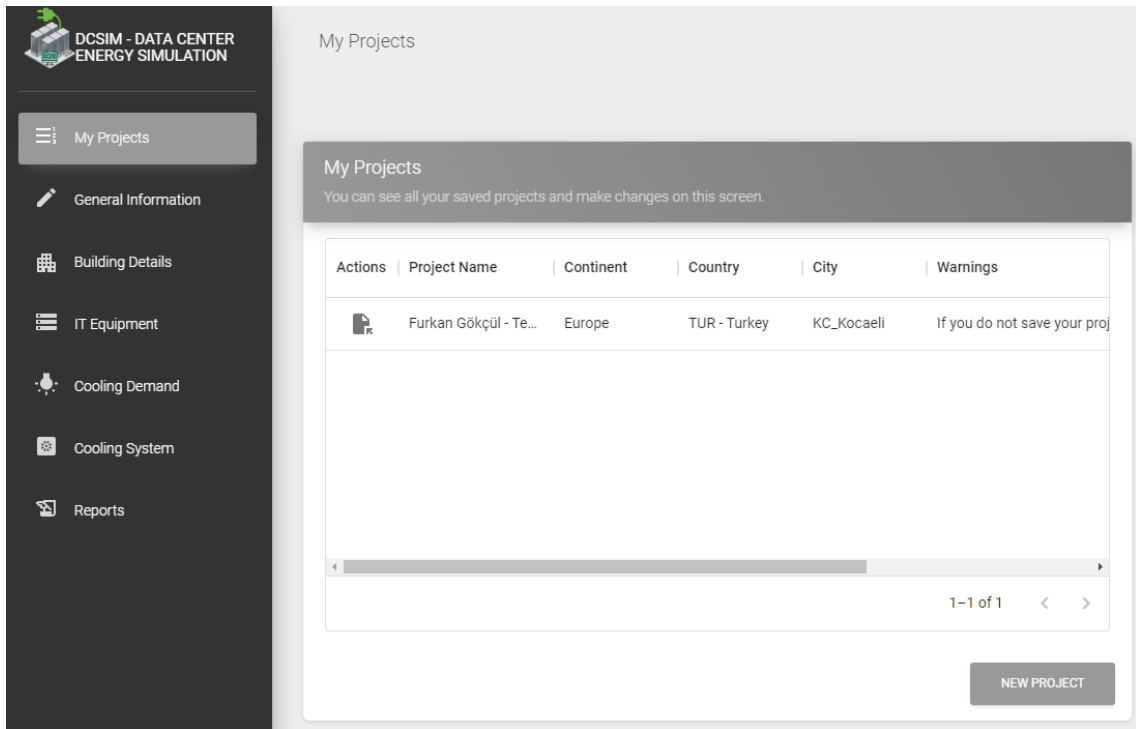
- t_i :Ölçülen i. değer
- y_i :Tahmin edilen i. Değer
- i :Tahmin
- N :Ölçülen değer sayısı

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde geliştirilen yazılımın ekranları ve gerçekleştirilen modellemenin sonuçları verilmiştir.

4.1. DCSim Yazılımı

Veri merkezleri için hazırlanan DCSim yazılımında 7 (yedi) ekran bulunmaktadır. Kullanıcıların oluşturdukları projeleri görebilmeleri ve oluşturdukları projeden devam edebilmelerini sağlamak için Projelerim ekranı hazırlanmıştır. Projelerim ekranı üzerinde kaydedilen projelerini ve oluşturulmuş ama kayıt edilmemiş projeleri listelenmektedir. Kullanıcıların kayıtlı olmayan projeleri için bir veri kaybı olmaması açısından kayıtlı olmayan projeleri 24 saat süreyle sistemde tutulmaktadır. Kullanıcı bu süre içerisinde kaydet butonu ile projesini kaydetmediği durumda oluşturulma süresinden 24 saat geçmesi ile projeleri silinmektedir. Ekran üzerinde aksiyonlar bölümünde bulunan aç aksiyonu ile kullanıcılar projelerini açarak çalışmasına devam edebilmektedir. Projelerim ekranı Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Projelerim Ekranı

Bir kullanıcının proje oluşturması için ilk kullandığı ekran Genel Bilgiler ekranıdır. Bu ekran üzerinde kullanıcı projesine bir isim vermekte ve veri merkezinin bulunduğu kıta, ülke ve şehir bilgilerini girmektedir. Kullanıcının bilgileri girmesi ile başlık 3.1.2.1’de bahsedildiği gibi hesaplamalar için iklim verileri hesaplamalarda kullanılması için önbelleğe alınmaktadır. Genel Bilgiler ekranı Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Şekil 4.2 Genel Bilgiler Ekranı

Bina Detayı ekranı üzerinde kullanıcılar veri merkezinin duvar, pencere, kapı ve iç ısı gibi bilgilerini girmektedir. Ekran üzerinde kolay geçişler yapılması için sekmeden oluşan bir menü yer almaktadır. Kullanıcılar duvar, pencere ve kapı için ortak alan olarak isim verme, yükseklik, genişlik, baktığı yön, cephe, adet ve U değerini girmektedir. Pencere için kullanıcıdan kullandıkları cam ile ilgili bilgiler alınmaktadır. Ekran üzerinde diğer bölümünde ise veri merkezi iç ısısının bilgisi kullanıcıdan alınmaktadır. Kullanıcılar ekle aksiyonu ile ilgili ekleme işlemini yapmaktadır. Bina detayları ekranı Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

Şekil 4.3 Bina Detayları Ekranı

Cihaz Bilgisi ekranı üzerinden kullanıcılar toplam tüketimi veya veri merkezinde bulunan cihazları girerek toplam tüketimi bulması sağlanmaktadır. Ekran açılışında

kullanıcıya toplam tüketimi bilip/bilmediği sorulmaktadır. Cihaz bilgisi ekranı Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

The screenshot shows a web interface titled 'IT Equipments'. Below the title, there is a subtitle: 'It is the screen where the total power demand of the devices in the data center or the devices in the data center is entered.' The main content area contains a question: 'Is the total power demand known?' followed by a dropdown menu with the text 'Select...' and a downward arrow. Below this, there is a note: '***Enter total power of IT equipment or select devices separately'. At the bottom right, there are three buttons: 'PREVIOUS', 'NEXT', and 'SAVE PROJECT'.

Şekil 4.4 Cihaz Bilgisi Ekranı

Kullanıcı veri merkezinde kullanılan cihazları tüketimini bildiği durumda Şekil 4.5'te gösterildiği gibi toplam güç talep değerinin girilmesi istenmektedir.

The screenshot shows the same 'IT Equipments' interface. The dropdown menu for 'Is the total power demand known?' now displays 'Yes, I know' with a close button (X) and a downward arrow. Below this, there is a text input field labeled 'Total Power Demand (W)'. The note '***Enter total power of IT equipment or select devices separately' remains. The 'PREVIOUS', 'NEXT', and 'SAVE PROJECT' buttons are still present at the bottom right.

Şekil 4.5 Cihaz Bilgisi Ekranı

Kullanıcının toplam güç talebini bilmediği durumda Şekil 4.6'de gösterilen ekran açılmaktadır. Bu ekran üzerinden kullanıcı veri merkezinde yer alan cihazlarını girmektedir. Kullanıcıların kolay girebilmesi açısından kullanıcıdan öncelikle cihaz türü değeri alınmaktadır. Bu bilgi doğrultusunda o türe ait tablodaki cihazlar listelenmektedir. Kullanıcı belirtilen liste içerisinde cihazını seçmekte ve adet bilgisini girerek kaydet aksiyonu ile veri merkezi cihazları ilgili tablolara kaydedilmektedir.

IT Equipments

It is the screen where the total power demand of the devices in the data center or the devices in the data center is entered.

Is the total power demand known? No, I do not know. I will enter my devices x | v

Device Type Select... | v

Device Select... | v

Number of Device _____

ADD

Actions	Device Type	Device	Number of D...
No rows			

0-0 of 0 < >

***Enter total power of IT equipment or select devices separately

PREVIOUS

NEXT

SAVE PROJECT

Şekil 4.6 Cihaz Bilgisi Ekranı

Soğutma Talebi ekranı üzerinden kullanıcılar veri merkezi içerisine günlük giren kişi sayısını ve bu kişilerin ne kadar süre ile veri merkezi içerisinde bulunduğunu belirtmektedir. Bununla birlikte kullanıcı veri merkezi içerisinde kullanılan aydınlatma, aydınlatma süresi ve havalandırma ile bilgileri Soğutma Talebi ekranı üzerinden girmektedir. Soğutma Talebi ekranı Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

Şekil 4.7 Soğutma Talebi Hesaplama Ekranı

Soğutma Sistemi ekranı üzerinden kullanıcı veri merkezine ait soğutma sistemi bilgisini girmektedir. Kullanıcı öncelikle Şekil 4.8’deki ekranı görmektedir. Kullanıcı ekran üzerinden öncelikle soğutma sistemi türünü (Klima, Serbest Soğutma gibi) seçmektedir.

Şekil 4.8 Soğutma Sistemi Ekranı

Kullanıcı soğutma türü olarak klima seçmesi durumunda Şekil 4.9’da gösterildiği gibi Toplam Kapasite ve COP değerleri kullanıcıdan alınmaktadır.

Cooling System

This is the screen where you specify your cooling system. Fill in the relevant fields according to your cooling status with Free Cooling or Air Conditioning.

Select Cooling System Air Conditioner x | v

Cooling System Total Capacity (kWh)

COP

PREVIOUS
NEXT
SAVE PROJECT

Şekil 4.9 Soğutma Sistemi Ekranı

Kullanıcı veri merkezi soğutma sistemi olarak Serbest Soğutmayı seçtiği durumda Şekil 4.10'daki gösterilen ekran üzerinden Pompanın Toplam Gücü, Dönüş Sıcaklığı ve Besleme sıcaklığını girmektedir. Bu bilgiler ile hesaplamada kullanılan Şekil 4.10'da gösterilen serbest soğutma sistemi için diğer COP, su yoğunluğu değerleri varsayılan olarak verilmiştir. Bu değer dışındaki hesaplamalar için bu alanlar kullanıcılar tarafından değiştirilmektedir. Bu bilgilerin girilmesi sonrasında kullanıcı raporlama ekranına yönlendirilir. Veri merkezi simülasyon sonuçları, raporlama ekranı üzerinde gösterilmektedir.

Cooling System

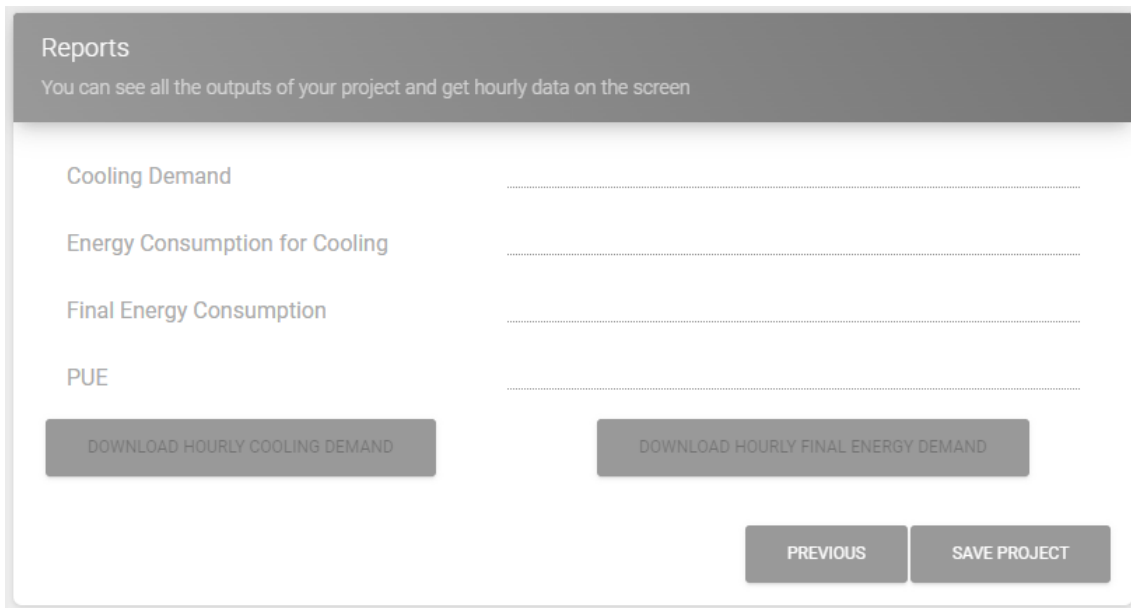
This is the screen where you specify your cooling system. Fill in the relevant fields according to your cooling status with Free Cooling or Air Conditioning.

Select Cooling System	Free Cooling x v
Total Power of Pump (W)	<input style="width: 90%;" type="text"/>
Return Temperature (Tr) (C)	<input style="width: 90%;" type="text"/>
Supply Temperature (Ts) (C)	<input style="width: 90%;" type="text"/>
Pump Efficiency	<input style="width: 90%; border-bottom: 1px solid #ccc;" type="text" value="0.75"/>
Density of Water	<input style="width: 90%; border-bottom: 1px solid #ccc;" type="text" value="0.997"/>
COP	<input style="width: 90%; border-bottom: 1px solid #ccc;" type="text" value="3"/>
c	<input style="width: 90%; border-bottom: 1px solid #ccc;" type="text" value="1.082"/>
h	<input style="width: 90%; border-bottom: 1px solid #ccc;" type="text" value="0.1"/>

PREVIOUS
NEXT
SAVE PROJECT

Şekil 4.10 Soğutma Sistemi Seçim Ekranı

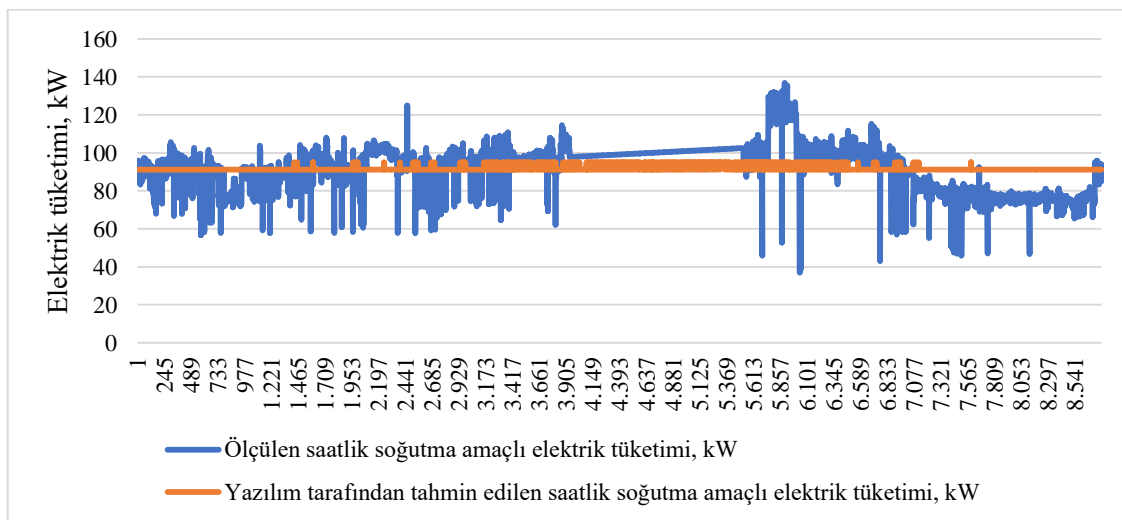
Kullanıcılar anlatılan ekranları kullanması ve ilgili bilgileri girmesi ile son ekranımız olan raporlama ekranı açılmaktadır. Bu ekran üzerinde girdiğimiz bilgiler doğrultusunda hesaplama sonucunda çıkan Toplam Enerji Tüketimi, PUE ve Soğutma Talebi değerleri gösterilmektedir. Kullanıcılar bu ekranı kullanarak saatlik olarak enerji tüketim verisini Excel dosya yapısında bilgisayarına indirmektedir. Raporlama ekranı Şekil 4.11’de gösterilmektedir.



Şekil 4.11 Raporlama Ekranı

4.2. Bilgi İşlem Merkezinin Modellemesi

Elektrik tüketimi ölçülen bilgi işlem merkezinin modeli geliştirilen yazılımda oluşturulmuştur. Oluşturulan model sonucunda yazılım tarafından bilgi işlem merkezinin soğutma amaçlı elektrik tüketimi Şekil 4.12’de görüldüğü üzere tahmin edilmiştir.

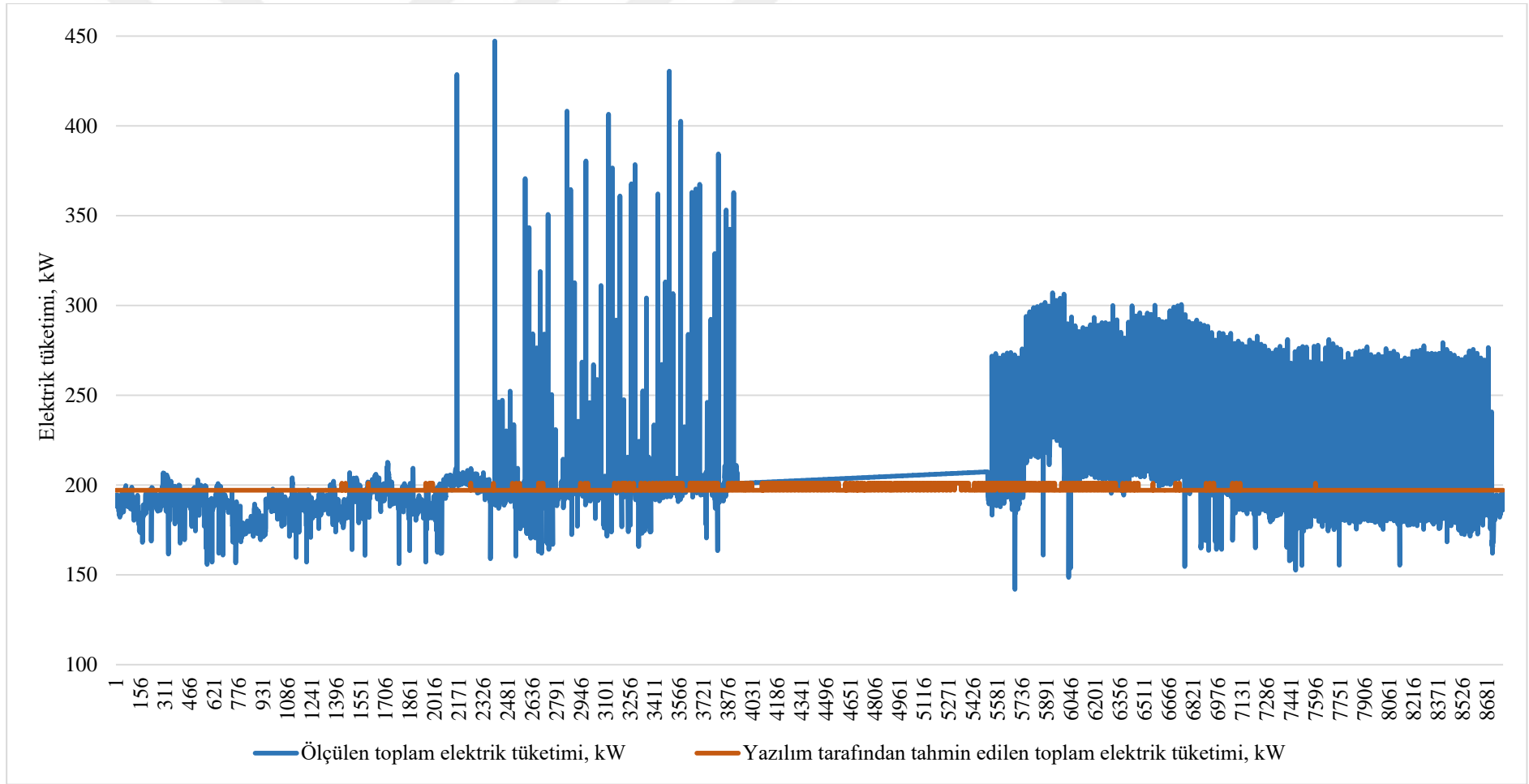


Şekil 4.12 Ölçülen ve Tahmin Edilen Saatlik Soğutma Amaçlı Elektrik Tüketimi

Tahmin edilen ve ölçülen soğutma amaçlı elektrik tüketim ile regresyon analizine tabi tutulmuş ve R^2 değeri 0,987 olarak hesaplanmıştır. Bu değer hedeflenen 0,97 değerinin üstünde olması sebebi ile istenilen hedefe ulaşılmıştır.

Tahmin edilen ve ölçülen toplam saatlik elektrik tüketimi ise Şekil 4.13'te verilmiştir.





Şekil 4.13 Ölçülen ve Tahmin Edilen Saatlik Toplam Elektrik Tüketimi

Tahmin edilen ve ölçülen toplam elektrik tüketim verisi regresyon analizine tabi tutulmuş ve R^2 değeri 0,99 olarak hesaplanmıştır. Bu değerin hedeflenen 0,97 değerinin üstünde olması sebebi ile istenilen hedefe ulaşılmıştır.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında bir bilgi işlem merkezinin elektrik tüketimini tahmin eden, ölçüm verileri ile doğrulanmış bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım bilgi işlem merkezlerinde elektrik tasarruf potansiyelinin hesaplanmasında kullanılabilecek önemli bir araç olarak kullanıma açılacaktır.

Geliştirilen yazılım ile bir bilgi işlem merkezi kurulmadan önce elektrik tüketimi tahmin edilebilmektedir. Aynı zamanda bilgi işlem merkezinin farklı konumlar için de elektrik tüketiminin tahmin edilmesi mümkündür. Böylece olası konumlar arasında enerji verimliliği en yüksek konum, kurulumundan önce belirlenebilecektir. Buna ek olarak, bilgi işlem merkezlerinin FKM kurulmaktadır. Bu merkezlerin konum belirlenmesinde de yazılımdan faydalanabilecektir. FKM'lerde genellikle eski cihazlar kullanılmaktadır. Bu eski cihazların yenileri ile değiştirilmesi arasındaki enerji tasarrufu da yazılım tarafından tahmin edilebilecektir.

Bilgi işlem merkezlerinin elektrik tüketimini tahmin etmek amacı ile geliştirilen yazılımın doğrulanması amacı ile bir bilgi işlem merkezinde saatlik elektrik tüketimi ölçülmüştür. Ölçülen veri ile tahmin edilen veri regresyon analizine tabi tutulmuştur. Tahmin edilen ve ölçülen soğutma amaçlı elektrik tüketimi verisi için R^2 değeri 0,987, tahmin edilen ve ölçülen toplam tüketimi verisi için R^2 değeri 0,99 olarak hesaplanmıştır. Bu değer hedeflenen 0,97 değerinin üstünde olması sebebi ile istenilen hedefe ulaşılmıştır.

5.2 Öneriler

Bu tez çalışmasının devamında, bilgi işlem merkezleri için oluşturulan cihaz veri tabanının geliştirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca yazılımın uluslararası kullanıma açılması için bir web sitesi geliştirilme çalışması devam etmektedir. Yazılımın kullanımından sonra gelen taleplere göre yeni versiyonlarının oluşturulması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Ahn, B. L., Jang, C. Y., Leigh, S. B., Yoo, S., & Jeong, H. (2014). Effect of LED lighting on the cooling and heating loads in office buildings. *Applied Energy*, 113, 1484-1489. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.08.050>
- Ahn, B. L., Park, J. W., Yoo, S., Kim, J., Leigh, S. B., & Jang, C. Y. (2015). Savings in Cooling Energy with a Thermal Management System for LED Lighting in Office Buildings. *Energies*, 8(7), 6658-6671. <https://doi.org/10.3390/en8076658>
- Andrae, A. S. G. E., T. (2015). On global electricity usage of communication technology: Trends to 2030. *Challenges*, 6, 117-157.
- ASHRAE. (2007). *ASHRAE Standard 62.1-2007*.
- Cho, J., Yang, J., Lee, C., & Lee, J. (2015). Development of an energy evaluation and design tool for dedicated cooling systems of data centers: Sensing data center cooling energy efficiency. *Energy and Buildings*, 96, 357-372. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.03.040>
- Crawley, D., & Lawrie, L. (2022). *Climate.OneBuilding.Org*. Retrieved 10 Mart 2023 from <http://climate.onebuilding.org/default.html>
- Cupertino, L., Costa, G. D., Oleksiak, A., Piatek, W., Pierson, J.-M., Salom, J., Sisó, L., Stolf, P., Sun, H., & Zilio, T. (2015). Energy-efficient, thermal-aware modeling and simulation of data centers: The CoolEmAll approach and evaluation results. *Ad Hoc Networks*, 25, 535–553.
- Dayarathna, M., Wen, Y. G., & Fan, R. (2016). Data Center Energy Consumption Modeling: A Survey. *Ieee Communications Surveys and Tutorials*, 18(1), 732-794. <https://doi.org/10.1109/Comst.2015.2481183>
- Future Facilities. (2020). *6SigmaRoom*. Retrieved 10 Mart 2023 from <https://www.futurefacilities.com/products/6sigmaroom/>

- Gil, C. R. (2010). *Energy Efficiency in Data Processing Centers* International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Granada.
- Gille, M. (2017). *Design of Modularized Data Center with a Wooden Construction* Luleå University of Technology, İsveç.
- Güğü, G. N. (2018). Free Cooling Potential of Turkey for Datacenters. *European Journal of Science and Technolog*, 14, 17-22.
- Ji, Y. B., & Han, C. L. (2015). Research on the Comprehensive Environmental Performance Assessment System for Green Data Centers. *Iccrem 2015: Environment and the Sustainable Building*, 292-301. <Go to ISI>://WOS:000381088400034
- Kliazovich, D., Bouvry, P., & Khan, S. U. (2012). GreenCloud: a packet-level simulator of energy-aware cloud computing data centers. *Journal of Supercomputing*, 62(3), 1263-1283. <https://doi.org/10.1007/s11227-010-0504-1>
- Koomey, J. G. (2008). Worldwide electricity used in data centers. *Environmental Research Letters*, 3(3). <https://doi.org/Artn> 034008
10.1088/1748-9326/3/3/034008
- Koomey, J. G. (2011). *Growth in data center electricity use 2005 to 2010* Analytics Press, Stanford.
- Li, D., Shang, Y. F., & Chen, C. J. (2014). Software Defined Green Data Center Network with Exclusive Routing. *2014 Proceedings Ieee Infocom*, 1743-1751. <Go to ISI>://WOS:000361544200195
- Marcinichen, J. B., Olivier, J. A., & Thome, J. R. (2012). On-chip two-phase cooling of datacenters: Cooling system and energy recovery evaluation. *Applied Thermal Engineering*, 41, 36-51. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.12.008>

- Opendcim. (2019). *Opendcim Data Center Infrastructure Management*. Retrieved 10 Mart 2023 from <https://opencim.org/>
- Oro, E., Garcia, A., & Salom, J. (2016). Experimental and numerical analysis of the air management in a data centre in Spain. *Energy and Buildings*, 116, 553-561. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.037>
- Rasmussen, N. (2012). Power and Cooling Capacity Management for Data Centers. *APC White Paper 150, 150*, 1-15.
- Sawyer, R. L. (2011). Calculating Total Power Requirements for Data Centers. *Schneider Electric's White Paper 3*, 1-10.
- Schneider Electric. (2019). *StruxureWare Data Center Operation*. Retrieved 10 Mart 2023 from <https://www.schneider-electric.com/en/product-range/61867-struxureware-data-center-operation/>
- Shehabi , A., Smith, S., Sartor, D., Brown, R., Herrlin, M., Koomey, J., Masanet, E., Horner, N., Azevedo, I., & L., R. W. (2016). *United States Data Center Energy Usage* Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California.
- Sunbird. (2019). *Data Center Infrastructure Management*. Retrieved 10 Mart 2023 from <https://www.sunbirdcim.com/what-dcim>
- TEİAŞ. (2022). *Santral Kurulu Güç Raporları*. TEİAŞ.
- TileFlow. (2020). *TileFlow: Data center CFD modeling software*. Retrieved 10 Mart 2023 from <https://tileflow.com>
- TS 825. (2008). *TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*. Retrieved 10 Mart 2023 from http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/cf3e258fbdf3eb7_ek.pdf

- U.S. Green Building Council. (2023a). *LEED Online*. Retrieved 13 May 2023 from <https://www.leedonline.com/projects>
- U.S. Green Building Council. (2023b). *LEED Project Profiles*. Retrieved 13 May 2023 from <https://www.usgbc.org/projects?Rating+System=%5B%22Data+centers%22%5D+New+Construction%22%5D>
- U.S. Green Building Council. (2023c). *Mission and Vision*. Retrieved 13 May 2023 from <https://www.usgbc.org/about/mission-vision>
- Wang, S. H., Huang, P. P. W., Wen, C. H. P., & Wang, L. C. (2014). EQVMP: Energy-efficient and QoS-aware Virtual Machine Placement for Software Defined Datacenter Networks. *2014 International Conference on Information Networking (IcoIN 2014)*, 220-225. <Go to ISI>://WOS:000354395000041
- Yu, J. W., Jiang, Y. Q., & Yan, Y. Q. (2019). A simulation study on heat recovery of data center: A case study in Harbin, China. *Renewable Energy*, *130*, 154-173. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.067>
- Zhu, H., Liao, X. K., de Laat, C., & Grosso, P. (2016). Joint flow routing-scheduling for energy efficient software defined data center networks A prototype of energy-aware network management platform. *Journal of Network and Computer Applications*, *63*, 110-124. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2015.10.017>

EKLER**EK-1 LEED DATA CENTER Sertifikası Alan Bilgi İşlem Merkezleri**

ProjectName	City	Country	LEEDSystem Version	CertLevel	CertDate	Is Certified	Gross Floor Area	Unit
Data Center SONDA - Etapa 1	Quilicura	Chile	v4	Silver	6/4/2021	Yes	102086	sq ft
ZhongYunXin Shunyi cloud DATA CENTER	Beijing	China	v4	Gold	7/29/2020	Yes	430400	sq ft
China Electronics Cloud InnovationCenter	Beijing	China	v4	Gold	4/13/2022	Yes	32116	sq m
SNL CA New Data Center	Livermore	United States	v4	Gold	3/18/2022	Yes	7900	sq ft
Data Center 1	Fuzhou	China	v4	Gold	7/26/2020	Yes	19579	sq m
Yovole Networks Data Center	Beijing	China	v4	Gold	12/12/2017	Yes	376600	sq ft
GDS Shanghai No.13 Data Center SH13	Shanghai	China	v4	Gold	12/17/2021	Yes	18589	sq m
GDS Langfang No.9 Data Center LF9	Langfang	China	v4	Gold	12/17/2021	Yes	32600	sq m
GDS Changshu No.2 Data Center CS2	Changshu	China	v4	Gold	11/1/2022	Yes	33233	sq m
CASSINA DC	CASSINA DE' PECCHI	Italy	v4	Gold	7/6/2022	Yes	10966	sq m
CtrlS Datacenters Ltd DC-2	Navi Mumbai	India	v4	Platinum	12/23/2022	Yes	12395	sq m
Data Center production workshop 2	Beijing	China	v4	Gold	2/13/2023	Yes	36634	sq m
Microsoft Data Centre BN 14	Boydton	United States	v4	Gold	2/18/2022	Yes	24919	sq ft
ZhenRu Communication Bldg, CT-SH Branch	Shanghai	China	v4.1	Platinum	2/19/2023	Yes	358393	sq ft
Suzhou ZhongAnXin Big Data Campus Bld.11	Suzhou	China	v4	Gold	2/28/2022	Yes	12115	sq m
Facebook NCG 1-2	Social Circle	United States	v4	Gold	3/7/2022	Yes	977954	sq ft
Microsoft Data Centre SN7	San Antonio	United States	v4	Gold	5/9/2023	Yes	157057	sq ft
Yotta Infrastructure Solutions LLP-NM1	Navi Mumbai,	India	v4	Gold	7/29/2022	Yes	75587	sq m

Digital Realty: Hillsboro- OR-1/PDX 11	Hillsboro	United States	v4	Silver	11/16/2021	Yes	565616	sq ft
Apple Data Center GuiAn	Guiyang	China	v4	Gold	1/25/2021	Yes	39209	sq m
LAMDA Hellix Athens 2	Athens	Greece	v4	Gold	9/7/2016	Yes	1788	sq m
Telia Helsinki Data Center	Helsinki	Finland	v4	Gold	12/21/2018	Yes	363328	sq m
Ford Enterprise Data Center 2 - 'EDC2'	Flat Rock	United States	v4	Gold	1/3/2020	Yes	217000	sq ft
Data Center	Ulanqab	China	v4	Gold	2/22/2021	Yes	39185	sq m
Project Cardinal at 15 Defu Ave 1	Singapore	Singapore	v4	Gold	10/7/2021	Yes	14401	sq m
TI Sparkle Metamorphosis-2	Metamorphosi	Greece	v4	Gold	8/3/2021	Yes	4209	sq m
GDS Shanghai No.17 Data Center SH17	Shanghai	China	v4	Gold	9/28/2022	Yes	43575	sq m
SANDMAN	Singapore	Singapore	v4	Gold	6/19/2022	Yes	27232	sq m
WSU New Data Center	Detroit	United States	v4	Silver	7/24/2020	Yes	11175	sq ft
GDS Langfang No.8 Data Center LF8	Langfang	China	v4	Gold	12/20/2021	Yes	13603	sq m
Data Center OJSC Sberbank of Russia	Moscow	Russia	v4	Silver	10/7/2019	Yes	11786	sq m
SG-5	Singapore	Singapore	v4	Silver	10/11/2022	Yes	31966	sq m
Project Alfa	Singapore	Singapore	v4	Gold	1/24/2023	Yes	14552	sq m
GDS Beijing No.13 Data Center	Beijing	China	v4	Gold	3/24/2023	Yes	50787	sq m
GDS Langfang No.4 Data Center	LANGFANG	China	v4	Gold	3/23/2023	Yes	46947	sq m
Equinix Singapore Pte Ltd - SG4	Singapore	Singapore	v4	Silver	3/27/2022	Yes	23844	sq m
Ford Enterprise Data Center 1 - 'EDC1'	Dearborn	United States	v4	Gold	9/3/2019	Yes	217714	sq ft
Construction of Nextra Data Ltd. Pune-2	Pune	India	v4	Silver	2/27/2020	Yes	162183	sq ft
GDS Langfang No.3 Data Center LF3	Langfang	China	v4	Gold	12/17/2021	Yes	41871	sq m
GDS Beijing No.7 Data Center BJ7	Beijing	China	v4	Gold	9/25/2021	Yes	36693	sq m
CPIC R&D and Backup Data Center	Chengdu	China	v4	Silver	5/24/2016	Yes	15323	sq m
Project Wildcat - Data Center	Foulum	Denmark	v4	Gold	3/5/2021	Yes	29300	sq m
Building 725	Albuquerque	United	v4	Gold	4/17/2020	Yes	16000	sq ft

		States						
GDS Changshu No.1 Data Center CS1	Changshu	China	v4	Gold	10/30/2022	Yes	32665	sq m
GDS Shanghai No.14 Data Center SH14	Shanghai	China	v4	Gold	9/20/2022	Yes	16910	sq m
GDS Shanghai No.12 Data Center SH12	Shanghai	China	v4	Gold	9/21/2022	Yes	11246	sq m
GDS Chongqing No.1 Data Center CQ1	Chongqing	China	v4	Gold	10/7/2022	Yes	16302	sq m
Etisalat Jabel Ali Data Centre A	Dubai	United Arab Emirates	v4	Silver	1/6/2023	Yes	25046	sq m
University Park Data Center	University Park	United States	v4	Certified	1/19/2018	Yes	56687	sq ft
GDS Tianjin No.1 Data Center	Tianjin	China	v4	Gold	3/14/2023	Yes	54676	sq m
Turkiye Is Bankasi AS Atlas Veri Merkezi	Istanbul	Turkey	v4	Gold	3/19/2018	Yes	14332	sq m
DATA CENTER ECMWF presso TECNOPOLO di BO	Bologna	Italy	v4	Platinum	10/19/2021	Yes	14125	sq m
Ping An Fin. Mgt. College Info. Center	Shenzhen	China	v4	Gold	11/10/2022	Yes	24621	sq m
GDS Beijing No.8 Data Center BJ8	Beijing	China	v4	Gold	9/25/2021	Yes	35518	sq m
Microsoft Data Centre MWH04 North	Quincy	United States	v4	Gold	1/7/2023	Yes	111427	sq ft
Equinix DA11	Dallas	United States	v4	Silver	7/30/2021	Yes	240000	sq ft
CMB Financial Innovation Tower	Shenzhen	China	v4	Silver	10/21/2020	Yes	66470	sq m
Microsoft Data Centre DUB 13	Dublin	Ireland	v4	Gold	11/1/2022	Yes	117865	sq m
GDS Langfang No.5 Data Center	LANGFANG	China	v4	Gold	3/23/2023	Yes	47975	sq m
Grainger Lake Forest Data Center	lake forest	United States	v4	Gold	7/3/2014	Yes	27000	sq ft
Equinix PE3 Stage 1	Perth	Australia	v4	Certified	2/12/2023	Yes	6546	sq m

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Furkan GÖKÇÜL
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	Gazi Anadolu ve Teknik Meslek Lisesi , Yenimahalle , ANKARA	2015
Üniversite	Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Selçuklu, KONYA	2020
Yüksek Lisans :	Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği, Selçuklu, KONYA	Devam Ediyor

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2018 - 2022	Kuveyt Türk Katılım Bankası A.Ş.	Kıdemli Yazılım Mühendisi
2022 – Halen	Architech Bilşim Sistemleri ve Pazarlama Ticaret A.Ş.	Kıdemli Yazılım Mühendisi

UZMANLIK ALANI

Yazılım

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

- Gökçül, F., Güğül, G. N., 2023, “*Bilgi İşlem Merkezlerinin Enerji Talebinin Modellenmesi ve Simülasyonu İçin Bir Yazılım Aracı Geliştirilmesi*”, Selcuk 8th International Conference On Applied Sciences May 19 - 21, Konya, Türkiye
- Güğül, G. N., Gökçül, F., 2023, “*Ursula Eicker. Sustainability analysis of zero energy consumption data centers with free cooling, waste heat reuse and renewable energy systems: A feasibility study*”, Energy, 262, 125495, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125495>
- Gökçül, F., Hahanov, V., Güğül, G. N., Ölmez, B. B., Kuru, M., 2021, “*Energy Analyze Tool for Renewable Energy Assited Data Centers*”, 2021 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Batumi, Georgia, pp. 1-6, doi: 10.1109/EWDTS52692.2021.9581050.