



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİNA ENERJİ ANALİZ YAZILIMLARININ HVAC
SİSTEMLERİNDEKİ HATALARINI AZALTMAK VE GERÇEK
ZAMANLI VERİMLİLİK HESABI İÇİN GERİ BESLEME SİSTEMİ
GELİŞTİRİLMESİ**

YAVUZ ÖZER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. ERSEN KURU**

DÜZCE, 2017

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİNA ENERJİ ANALİZ YAZILIMLARININ HVAC
SİSTEMLERİNDEKİ HATALARINI AZALTMAK VE GERÇEK
ZAMANLI VERİMLİLİK HESABI İÇİN GERİ BESLEME SİSTEMİ
GELİŞTİRİLMESİ

Yavuz ÖZER tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Ersen KURU

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Ersen KURU

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Ali ÖZTRÜK

Düzce Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ulvi BAŞPINAR

Marmara Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 05/04/2017

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

5 Nisan 2017

(İmza)

Yavuz ÖZER



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ersen Kuru 'ya en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve değerli çalışma arkadaşım Hatice Özgüllüoğlu'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

05 Nisan 2017

Yavuz Özer

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	VII
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VIII
KISALTMALAR.....	IX
SİMGELER	X
ÖZET.....	XI
ABSTRACT	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. HVAC SİSTEMLERİNDE ENERJİ ANALİZİ.....	3
2.1 ENERJİ ANALİZ YAZILIMLARI	5
2.2 ENERJİ ANALİZ YAZILIMLARI AVANTAJLARI	7
2.3 ENERJİ ANALİZ YAZILIMLARI DEZAVANTAJLARI.....	8
2.4 ENERJİ ANALİZ YAZILIMLARI GEÇERLİLİK DÜZEYLERİ.....	9
3. ENERJİ ANALİZDE GERİ BESLEME SİSTEMİ.....	10
3.1 GERİ BESLEME SİSTEMİ KAZANÇLARI.....	12
3.1.1 Gerçek Zamanlı Verimlilik.....	12
3.1.2 Yazılım Güvenilirlik Testi.....	13
3.1.3 Enerji Sarfıyatı Veri tabanı	14
3.1.4 Simülasyon Tasarım Kılavuzu.....	15
3.1.5 Katmansal Enerji Harcamaları.....	15
3.1.6 Enerji Sarfıyat Değerlerinin Zamanaşımı Denetimi	16
3.1.7 Güncellemelerin Denetimi.....	16
3.1.8 Gelişmiş Enerji Otomasyonu	17
3.1.9 Detaylı Faturalandırma.....	17
3.2 SİSTEM ALGORİTMASI.....	18
3.2.1 Veri Toplama Seçimi	21
3.2.2 Enerji Ölçüm Sistemi.....	22
3.2.2.1 <i>Fan Enerjisi</i>	22
3.2.2.2 <i>Pompa Enerjisi</i>	23
3.2.2.3 <i>Kazan</i>	23

3.2.2.4 Kalorimetre.....	24
3.2.2.5 Elektrik Sayacı.....	24
3.2.2.6 Sıcaklık Değerleri.....	25
3.2.3 Mevcut Veri Sistemi.....	26
3.2.4 Veri Merkezi.....	26
3.2.5 Enerji Analiz Simülatör Değeri.....	26
3.2.6 Hata Bulma İşlevleri.....	27
3.2.6.1 HVAC Kontrolör Testleri.....	27
3.2.6.2 Teknisyen Testleri.....	28
3.2.6.3 Bakım Testleri.....	28
3.2.6.4 Isı Transfer Testleri.....	28
3.2.6.5 Tasarım Testleri.....	28
3.2.7 Bina Enerji Veri Tabanı.....	29
3.3 SCADA TABANLI SIMÜLASYON UYGULAMASI.....	29
3.3.1 Veri Toplama Birimi.....	31
3.3.2 Sistem Girdileri.....	32
3.3.3 Veri Yorumlama Mekanizması.....	36
3.3.4 Sistem Çıktıları.....	36
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	37
KAYNAKLAR.....	38
ÖZGEÇMİŞ.....	41

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. HVAC iyileştirme potansiyelleri.	7
Şekil 2.2. BESTEST test prosedürleri kıyaslaması.....	9
Şekil 3.1. Geri besleme sistemi.....	10
Şekil 3.2. Veri toplama algoritması.	19
Şekil 3.3. Enerji verileri toplama demo panosu.....	20
Şekil 3.4. Lonbus haberleşme yapısı.	23
Şekil 3.5. Sıcaklık sensörü.	25
Şekil 3.6. BEYOS ana sayfa.	30
Şekil 3.7. BEYOS veri toplama ekran görüntüsü.	31
Şekil 3.8. BEYOS fan enerji değerleri.....	32
Şekil 3.9. BEYOS pompa enerji.	33
Şekil 3.10. BEYOS sıcaklık bilgileri.....	35

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Enerji oranları.....	3
Çizelge 3.1. TEP dönüşümleri.....	34



KISALTMALAR

A	Amper
BEP-TR	Bina enerji performansı
BESTEST	Building energy simulation test
BEYOS	Bina enerji yorumlama sistemi
DC	Doğru akım
HAP	Hourly analys program
HVAC	Heating vantilating air condition
IP	Internet protokol adres
km	Kilometre
L	Litre
mm	Milimetre
MWh	Mega watt saat
OSI	Open system interconnection
SCADA	Supervisory control and data acquisition
TCP	Transmission control protocol
V	Volt

SİMGELER

Ω

Ohm



ÖZET

BİNA ENERJİ ANALİZ YAZILIMLARININ HVAC SİSTEMLERİNDEKİ HATALARINI AZALTMAK VE GERÇEK ZAMANLI VERİMLİLİK HESABI İÇİN GERİ BESLEME SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Yavuz ÖZER

Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ersen KURU
Nisan 2017, 41 sayfa

Bina enerji analiz yazılımları HVAC (heating ventilating air condition) sistem tasarımları başlangıcında mühendislere öngöründe bulunabilmektedir. Bu sayede ileride oluşabilecek hatalar minimize edilip, sanal analizler gerçekleştirilebilmektedir. Sanal analiz oluşumları HVAC sisteminin matematiksel modelinin enerji analiz yazılımlarına entegre edilmesiyle oluşturulur. Gerçek hayattaki veriler %100 doğrulukta matematiksel modele aktarılamayacağı ya da gerçek veriler her zaman aynı tepkiyi vermediği için bina enerji analiz yazılımlarında da birtakım hatalara sebep olmaktadır. Bu hataları azaltmanın yolu kapalı döngü kontrol sistemi oluşturulmasından geçmektedir. Böylelikle bina enerji analiz yazılımlarında oluşan hataların sebepleri irdelenerek, bu hata paylarını azaltmak için çalışmalar yapılabilecektir. Geri besleme sistemi somut ölçümsel verilerle sağlanacağı için de oluşturulan matematiksel modelin gerçek dünyadaki karşılığının mutabakatı sağlanacaktır. Hazırlanan tezde geri besleme sistemi algoritması oluşturulup akademik literatür taraması yapılmıştır. Tezde HVAC bileşenleri, enerji analiz ve geri besleme sistemi hakkında bilgilere yer verilmiştir. Geri besleme sistemi oluşturulurken, kullanıcıların ihtiyaç duyduğu diğer yan ürünler de anlatılmıştır. Geri besleme sistemi kurulduktan sonra toplanan veriler sayesinde gelişmiş enerji otomasyonu, gerçek zamanlı verimlilik ve benzetim tasarım kılavuzu gibi yan ürünlerin de akademik ve pratik analizi yapılmıştır.

Anahtar sözcükler: HVAC enerji analizi, Bina simülasyon yazılımları geçerlilik düzeyleri, Gerçek zamanlı verimlilik.

ABSTRACT

FEEDBACK SYSTEM DEVELOPMENT FOR REDUCING BUILDING ENERGY ANALYSIS SOFTWARE ERRORS ON HVAC SYSTEMS AND REAL TIME EFFICIENCY CALCULATION

Yavuz ÖZER
Düzce University
Graduate School of Natural and Applied Sciences,
Department of Electrical-Electronical and Computer Engineering Master Thesis
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ersen KURU
April 2017, 41 pages

Using building energy analysis software engineers will have an idea about the HVAC systems energy efficiency. In this way, we minimized any errors that may occur in the future. We do virtual analysis that using the mathematical model. Real-life data with 100% accuracy could not be transferred to the mathematical model and real data does not always react the same way so that some errors are causes of Building Energy analysis software. We use closed-loop control systems for reducing this error. We can investigate the errors in building analysis software thanks to using close loop control systems. Feedback system makes real measurement and provides accuracy of the mathematical model. The algorithm created and the academic literature investigated in this thesis. Also we explain HVAC components, energy analysis, feedback system and by-products. After the feedback system is established, we can use by-products free for example; advanced energy automation, real time efficiency, simulation design guide.

Keywords: HVAC energy analysis, Building simulation software validation levels, Real time efficiency.

1. GİRİŞ

Teknoloji ilerledikçe refah düzeyimiz artmakta ve refah düzeyinin ilerlemesi de kullanılan enerjinin artmasına sebep olmaktadır. Teknolojik gelişmelerle güç elektroniği alanı da ilerliyor fakat refah düzeyi için yapılan teknolojik çalışmalara yetişememektedir. Örneğin; her yıl yeni klima sistemleri ve özellikleri geliştiriliyor fakat daha az enerjiyle daha çok iş yapma ve farklı enerji kaynağı keşiflerinde hatırı sayılır gelişmeleri gözlemleyememekteyiz. Kullanılan enerji sarfiyatını daha ekonomik elde etmek için rüzgâr, güneş, nükleer, fosil ve doğal gaz gibi farklı enerji kaynaklarına müracaat edilmektedir. Fakat unutulmamalıdır ki; en ucuz enerji ihtiyaç kadar kullanılan ve tasarruf edilen enerjidir [1].

Enerji kullanımında verimliliğin ilk şartı sisteme uygulanan enerjinin, sonuç haricindeki çıktılarını minimize etmektir. Örneğin; %90 verimlilikte çalışan sistemin verimliliğini artırmak için kayıp oran olan %10 üzerinde çalışmak gerekir. Bu çalışmalarda da en büyük referans geri besleme sistemi oluşturup, yapılan güncellemelerin sık sık kontrolünden geçer. Somut geri besleme izlenimi yapılabilen sistemlerde hata düzeltme imkânı daha yüksektir. Çünkü sistem sık periyotlarla incelendiği için hata olup-olmadığı hemen saptanır ve çözüm yolu bulunur. Örneğin; aracınızın kullanım kılavuzunda ortalama 10 L (litre) yakıt ile 1000 km (kilometre) yol alınabileceği yazarken, bu verinin yıllar sonra da aynı olacağı anlamını ifade etmez. 3 yıl sonra kontrol ettiğinizde aracınız aynı yakıt ile 800 km yol alıyorsa aracınızda sorun olduğunu tespit edip, çözüm yollarına başvurabiliriz. Fakat 3 yıl sonra bu veriyi kontrol etme imkânımız olmasaydı yani gidilen yolu geri besleme olarak kullanıp harcanan yakıtla kıyaslayamasaydık düşen verimlilik oranını tespit edemeyip, hatanın da farkında olamayacaktık.

HVAC sistemlerinin kurulumundan önce bina enerji simülasyon yazılımlarıyla enerji sarfiyat değerleri hesaplanmaktadır. Bu sayede binaya seçilen HVAC bileşenleri kurulmadan önce harcanacak enerji değerleri tahmin edilir. Enerji verimlilik hesaplama yöntemlerinde günümüz teknolojik ve bilimsel altyapısıyla birçok hesaplama türleri geliştirilmiştir. Fakat en gelişmiş bina enerji yazılımları dahi hatalı hesaplamalar yapmaktadır. Binaların matematiksel modelinin çıkarılma zorluğundan dolayı minimum

%3'lük hata payı ile tahmin yapılabilir. Enerji analiz yazılımlarının en büyük sloganının “yüksek kesinlikte tahmin etme” olması da analiz sistemlerinde %100 net veriler sunulmadığının göstergesidir. Hâlbuki özellikle HVAC sistemlerinde %3'lük hata dahi oldukça yüksek enerji sarfiyatına tekabül etmektedir [1].

HVAC sistemlerindeki hataların telafisi simülasyon yazılımlarının daha başarılı hale gelip, hata paylarının azaltılmasıyla mümkün olacaktır. Başarının artırılabilmesi için de oluşan hata üzerinde durup kayıp sebeplerinin araştırılması gerekir. Oluşan hatanın da yıllara göre durumunu inceleyerek, zamanla oluşan sistem yaşlanmasının devamlı kontrol edilmesi gerekir. Bunu için de kapalı sistem kontrol mekanizması oluşturup, geri besleme sistemleriyle dönüş sağlanması gerekir.

Hazırlanan çalışmada bina enerji analiz yazılımları için gerçekleştirilecek geri besleme sistemi algoritması oluşturulmuştur. Algoritma oluşturulurken sektördeki gerçekçi çalışmalarla akademik literatür taraması eşleştirilmiştir. Sadece akademik analizden ziyade sektörün ihtiyaçları analiz edilmiş ve geri besleme sistemi oluşturulurken müteahhit firmalarında ilgisini çekebilecek yenilikler tanıtılmıştır. Tezin ikinci bölümde bina enerji analiz yazılımlarının avantajları, dezavantajları ve verimlilik düzeyleri hakkındaki araştırma sonuçları bildirilmiştir. Bina analiz yazılımlarının günümüzdeki kullanım düzeyi, sektörün ihtiyaçlarını karşılama düzeyi ve teorik-pratik kullanımı irdelenmiştir. Üçüncü bölümde çalışmanın ana teması ve tasarlanması gereken geri besleme sistemi hakkında literatür çalışmalarına yer verilip, örnek geri besleme uygulaması tanıtılmıştır. Geri besleme sisteminin yapılabilirliği hem akademik çalışmalarla hem de somut uygulamayla tanıtılmıştır. Algoritmanın tam zamanlı çalışması ve gerçek testin uygulama maliyetinden dolayı gerçek analiz sistemlerindeki aynı cihaza sahip demo pano üzerinden sistemin uygulanabilirliği ispatlanmıştır. Tezin tam zamanlı uygulaması için destek projelerine başvurulup, ön elemeler başarıyla geçilmiştir. Üçüncü bölümün sonundaki demo uygulaması desteklerle gerçek hayata geçirilip, enerji verimliliği sayesinde ülkemizin enerji ithalatının azalmasına önemli katkılarda bulunulacaktır.

2. HVAC SİSTEMLERİNDE ENERJİ ANALİZİ

İnsanların daha konforlu ve daha yaşanılabilir ortamlara sahip olma isteği iklimlendirme sistemlerinin kullanımını arttırmaktadır. Buna paralel olarak iklimlendirme sistemlerinin tükettikleri enerji miktarları da önemli noktalara varmaktadır.

Çizelge 2.1. Enerji oranları.

Bileşen	% Oranı
Havalandırma Fanları	12,8
Soğutma	14,8
Isıtma	17,6
Pompalar	11,8
Soğutma Kulesi Fanları	0,8
HVAC Ara Toplam	57,9
Aydınlatma	18,3
Elektrikli Ekipmanlar	23,9
HVAC Dışı Ara Toplam	42,2

Toplam enerji tüketiminin %20'sinin konut sektöründe gerçekleştiği ülkemizde, bina enerji sarfiyatının da büyük bölümü HVAC sistemleri tarafından harcanmaktadır [2]. HAP(Hourly Analysis Program) enerji analizi yazılımı benzetim sonuçlarına göre hazırlanmış örnek bir bina enerji sarfiyat tablosu incelediğinde %57,9'luk pay ile en fazla enerji gideri yapılan alan HVAC sistemleridir. HVAC sistemlerinin alt bileşen enerji harcamaları çizelge 2.1'de belirtilmiştir [3].

HVAC sistemlerinin karakteristik yapısından dolayı ülkemizdeki enerjinin önemli bir bölümü bu sistemlerce harcanıyor ve enerji tasarruf potansiyeli de yüksek alanlardandır.

HVAC sistemleri kurulurken disiplinler arası çalışma yapıldığı için ve her disiplin kendi penceresinden bakarak tasarım yaptığından dolayı enerji israfı daha da artmaktadır. Örneğin; mimari tasarımlarda çoğunlukla öncelik estetik biçimlendirmeye ayrılmaktadır. Hâlbuki doğru HVAC seçimi ve kontrolü ile bu sistemlerde %30'a varan enerji tasarrufu sağlamaktadır [4]. Bu örnekte de görüldüğü gibi HVAC sistemleri hem yüksek enerji harcayan hem de detaylı analiz sayesinde yüksek enerji tasarrufu sağlanabilecek sistemlerdir.

Günümüzde araçlarda da HVAC sistemleri kullanıldığı için bu alana yönelik de enerji analiz ve verimlilik çalışmaları yapılmalıdır. Bu tür HVAC sistemlerinde de genel araç enerji harcamasının %30'u kadar HVAC enerji harcaması yapılmaktadır [5]. Tezde bina sistemlerindeki HVAC enerji analizi üzerinde durulmuştur fakat ilerleyen bölümlerde açıklanacak geri besleme algoritması araçlarda da uygulanabilir niteliktedir.

HVAC sistemlerinin enerji verimliliği, performans, enerji tüketimi ve çevresel nedenlerden dolayı önemli olmaktadır. Enerji tasarrufunu etkileyen en önemli parametreler iyi bir projelendirme yapılması, kontrol stratejilerinin doğru belirlenmesi, soğutma ve ısıtma kaynaklarının uygun ve ucuz seçilmesi, enerji kazanım yöntemlerinin uygulanması olarak belirlenebilir. Enerji verimliliğinde kontrol ve kontrol stratejileri, bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle beraber önemli bir rol oynamaktadır. Etkin bir enerji yönetimi uygulaması bu sistemlerin enerji tüketiminde, kullanım amacına bağlı olarak %10 ile %30 arasında azalma meydana getirebilmektedir [6].

HVAC sistemlerinin enerji ihtiyaçları başta elektrik olmak üzere yer altı yakıtları (doğal gaz, fuel-oil, kömür) gibi enerjilerle sağlanmaktadır. Soğutma sistemi ve sirkülasyon sistemleri elektrik enerjisi kullanırken; kazan sistemlerinde doğal gaz ve katı yakıt kullanımları vardır. Sığınak mahalleri gibi yerlerde enerji tamamen elektrikten sağlanır. Bu gibi kritik yerleşkelerde ısıtma işlemlerinde kazan yerine serpantinler kullanılır.

2.1 Enerji Analiz Yazılımları

Enerji analiz yazılımları binaların tasarımı sırasında, binanın gerçekleştirildikten sonraki harcanabilecek enerji ve kurulması gereken HVAC sistemlerinin yapılandırma bilgilerini hesaplayan sistemlerdir. Tasarlanacak HVAC sistemi binasındaki kapalı alan miktarı, binanın iklimsel konumu, kuzey-güney cephe alanları, ısı yalıtım bilgileri ve bina kullanım amaçları belirtilerek hesaplama yapılır. Enerji analiz yazılımının temel girdileri aynı olsa da yazılımların istediği giriş parametreleri farklıdır.

HVAC sistemlerinde cihaz kapasitelerinin doğru belirlenmesi, düşük enerji tüketimli cihazların kullanılması, enerji verimliliği ve enerji performansı açısından önemlidir. Bunun dışında yeni hesaplama yöntemleri geliştirilmiş, yönetmelikler çıkarılmış ve birçok enerji analiz yazılımları geliştirilmiştir. Geçtiğimiz 50 yıl içerisinde dünya çapında yüzlerce enerji analiz yazılımları geliştirilmiştir. Analiz yazılımları kendi içerisinde direk sonuç sunabildiği gibi yardımcı yazılımlarla da kullanıcıyı bilgilendirebilmektedir. Özellikle EnergyPlus yazılımının açık kaynak kodlu olması sayesinde birden fazla 3. parti yazılımlar oluşturulup, yazılımının kullanılabilirliği artırılmıştır. Analiz yazılımlarından *.csv formatında çıktı alınarak, bu veriler Matlab gibi ileri seviye hesaplama yazılımlarıyla da kullanılabilir [7], [8]. Bina enerji tüketimlerini düzenlemek ve denetlemek için çoğu ülke kendi yönetmeliklerini oluşturmuştur.

Türkiye’de en çok kullanılan enerji analiz yazılımları:

BEP-TR(Bina Enerji Performansı); Ulusal Hesaplama Programına göre hazırlanan yazılım enerji kimlik belgesi düzenlenmek amacıyla yalnızca kayıtlı kullanıcılar tarafından kullanılabilir. Bakanlık sunucuları üzerinden çalışan BEP-TR’ye erişim yetkisi enerji kimlik belgesi düzenlemeye yetkili kuruluşlara verilir.

EnergyPlus; Amerikan Enerji Bakanlığı’nın hazırlamış olduğu bir yapı enerji analizi programıdır. Programın açık kaynak kodlu olması, ara yüz eksikliğini ortadan kaldırmak amacıyla Amerikan Enerji Bakanlığı’nın desteklediği ek programlar oluşturmasına olanak vermektedir.

HAP; enerji analiz yazılımı açık kaynak kodlu değildir. Yani yazılımın geliştirilmesi veya yeni özellikler eklenmesi tamamen Carrier firmasına aittir. Özel sektörde kullanılan en stabil enerji analiz yazılımlarındandır.

Dünya çapında yaygın olarak kullanılan 20 enerji analiz yazılımı;

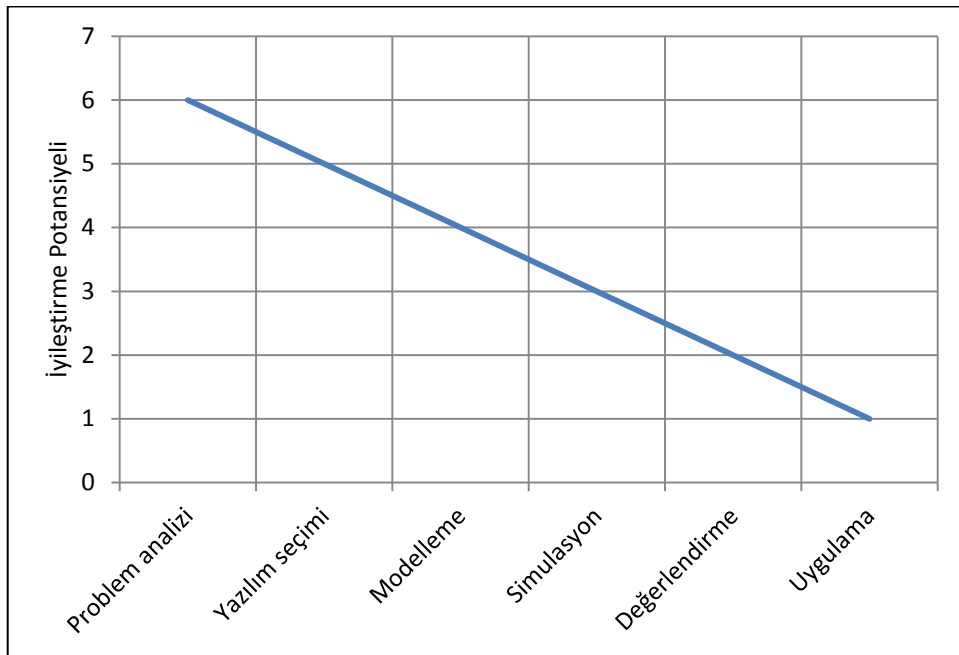
- Building Loads Analysis and System Thermodynamics (BLAST),
- BSim,
- Designer's simulation toolkits (DeST),
- DOE-2.1E,
- ECOTECH,
- Ener-Win,
- Energy Express,
- Energy-10,
- EnergyPlus,
- eQUEST,
- ESP-r,
- Hourly analysis program (HAP),
- HEED,
- IDA indoor climate and energy (IDA ICE),
- IES/Virtual EnvironmentS(IES/VES),
- PowerDomus,
- SUNREL,
- Tas Version,
- TRACE 700,
- TRNSYS.

2.2 Enerji Analiz Yazılımları Avantajları

Enerji analiz yazılımları bina tasarım sırasında yüksek tahmin işlemleriyle harcanılacak enerji hakkında bilgi verebilmektedir. Tasarlanacak mekanik ve elektriksel güç parametreleri seçimini sağlayabilmektedir.

Bina enerji analiz yazılımları sayesinde aydınlatma ve HVAC gibi enerji sarfiyatının fazla yapıldığı bileşenlerin maliyetleri önceden planlanıp, alternatif çözüm yollarını değerlendirmeye olanak sağlamaktadır. %3'lük hata paylarıyla yüksek olasılıkla tahmin etme imkânları vardır. Analiz yazılımları sayesinde tasarım aşamasında olan yeni binaların veya iyileştirme yapılması düşünülen mevcut binaların enerji performansı, inşaattan önce görüntülenebilmekte ve böylece mimar veya mühendis olası senaryoların hepsini test ederek proje için en uygun olanını seçebilmektedir.

Enerji analiz yazılımlarının sağladığı en büyük yararlardan biri de olası hataları başlangıçta tespit etmektir. Şekil 2.1'de grafiklendirildiği gibi hataların giderilme potansiyeli ise yazılım seçiminde maksimum seviyelerde olup, tasarım sonucuna minimuma inmektedir. Hatta sistemi devreye aldıktan sonra geri dönüşü mümkün olmayan seviyede hatalarla karşılaşılabilir.



Şekil 2.1. HVAC iyileştirme potansiyelleri.

2.3 Enerji Analiz Yazılımları Dezavantajları

Enerji analiz yazılımlarında bina ve çevre değerleri matematiksel modelleme ile bilgisayar ortamına aktarıldığı için hesaplamalarda hata payları bulunmaktadır. Çünkü gerçek hayattaki verileri %100 doğrulukta sayısallaştıramayız. Bu yüzden enerji analiz yazılım sonuçlarında hatalı veriler de bulunmaktadır.

2014 yılı kasım ayında ülkemizde 21.010.069 MWh (mega watt saat) elektrik enerjisi harcamıştır [9]. Ortalama 5.462.617 MWh bölümü bina-konut enerji sarfiyatında kullanılmıştır. Çizelge 2.1'deki verilere göre bina-konut içerisinde de sadece 2014 kasım ayı için 2.185.047 MWh enerji binalarda refah hava ve iklimlendirme şartlarının sağlanması için HVAC sistemlerinde kullanılmıştır. Enerji analiz yazılımlarında ideal karşılanan %3'lük hata payı aylık 65.551 MWh enerjiye tekabül etmektedir. Bu değer ise enerji açısından Türkiye'nin ilk dev yatırımı olan Keban Barajı Hidroelektrik santralinin haftalık üretimine tekabül etmektedir.

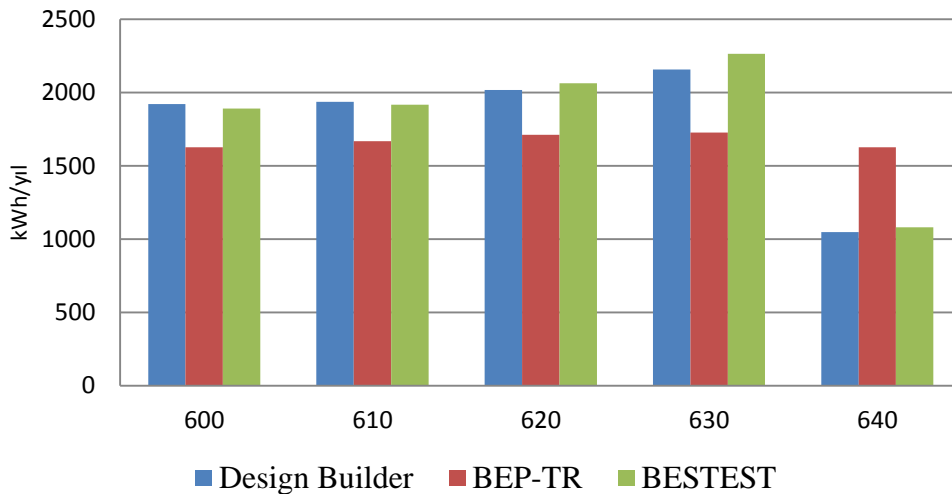
Bina enerji simülasyonu yazılımlarının hesaplama hassasiyeti, bina enerji sınıflarının belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir. Yanlış hesaplamalar bina enerji sınıfının yanlış belirlenmesine yol açabilir. Bu yüzden de ülkemizdeki enerji kimlik belgesi hazırlama referans yazılımı olan BEP-TR adlı programın yeterliliği ve doğruluğu tartışma konusu olmuştur. Sektör tarafından yapılan araştırmalar sonucunda yazılımın ürettiği verilerin son derece tartışmalı ve yanıltıcı olduğu ifade edilmiştir [10]. Bundan dolayı da bina enerji sınıflandırmalarında hatalar oluşabilmektedir.

Enerji analiz yazılımlarındaki hataların proje devreye alındıktan sonraki süreçte telafisi mümkün olmadığı için hesaplama hatalarından kaynaklı dezavantajların giderilmesi gerekmektedir. Hataların tespiti ve dezavantajların giderilmesi için analiz yazılımlarını analiz eden metotlar geliştirilmiştir. Fakat günümüzde bu hataları anlık olarak ortak bir havuzda toplayan veri tabanı bulunmamaktadır. Sahadaki gerçek değerlerle ölçülecek herhangi bir düzeltme mekanizması olmadığı için de enerji analiz yazılımlarının hatalarının dahi ispatı net olarak yapılamamaktadır. Hataların ortaya çıkarılmadığı için de çözüm önerileri oluşturulamamaktadır. Bunlardan dolayı da enerji analiz yazılımlarının en büyük sloganında tahmin kelimesi bulunup, gerçek verileri yakalama oranı verilmemektedir.

2.4 Enerji Analiz Yazılımları Geçerlilik Düzeyleri

Analiz yazılımlarında doğruluk karakteristikleri alınan referans metotlara göre ölçülmektedir. Enerji analiz yazılımlarında geçerlilik tespiti oldukça zordur. Çünkü matematiksel hesaplamalarla simülasyon mertebesinde geliştirilen yazılımlar tekrar matematiksel referanslara göre test edilip, gerçek harcanan değerler referans alınmamaktadır.

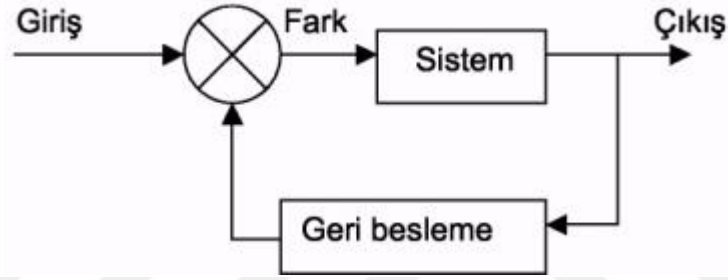
Enerji analiz yazılımlarındaki metodolojiler ancak ve ancak doğrulanmalarıyla geçerlilik kazanırlar. Bu amaçla geliştirilen ve en yaygın olarak kullanılan yöntem BESTEST (building energy test procedure) prosedürüdür. BESTEST, bina enerji simülasyon programlarının test edilmesi ve hata kaynaklarının teşhis edilmesi amacıyla kullanılan bir test yöntemidir. BESTEST prosedürü International Energy Agency tarafından 1995 yılında geliştirilmiş bir metottur ve daha sonra ASHRAE 140 Standardının geliştirilmesinde de kullanılmıştır [11]. Prosedürün amacı, yazılımları karşılaştırmak için tekdüze, açık izahlı test serileri oluşturmak ve yazılımdaki hataları teşhis etmektir. Hiçbir yazılım hesaplama yapmak için aynı tip veri girdilerine ihtiyaç duymadığı için BESTEST analiz yazılımlarını karşılaştırmak için de kullanılmaktadır. Örneğin şekil 2.2'de incelendiği gibi 600 testinde Design Builder analiz yazılımı BESTEST'e yakın değer sunmuş iken BEP-TR düşük değer sunmuştur. 640 testinde ise Design Builder BESTEST'e yakın iken BEP-TR oldukça fazla enerji sarfiyat değeri sunmuştur. Aşağıdaki şekilde de belirtildiği gibi yapılan 5 farklı test prosedüründe referans alınan 3 yazılımın da çıktıları farklı olmuştur.



Şekil 2.2. BESTEST test prosedürleri kıyaslaması.

3. ENERJİ ANALİZDE GERİ BESLEME SİSTEMİ

Geri besleme sistemleri kapalı kontrol döngü sistemlerinde kullanılan yöntemdir. Açık döngü kontrol sistemlerinde sistemin girdilerinin çıktılardan haberi yoktur. Örneğin; ışığı açık bıraktığımız sürece aydınlık elde eder ve enerji harcarız. Fakat elektrik sayacının yani enerji kaynağının geldiği yerin oluşan ışıktan haberi olmamaktadır. Kapalı döngü sistemlerde geri besleme sistemi kullanıldığı için harcanan enerjinin oluşan üründen haberi olup, geri beslemeyle kontrol imkânı sağlayacaktır. Örneğin; odamızda lüksmetre olsaydı buna göre enerji harcaması yapılırdı, bu kontrol mekanizması da kapalı döngüye örnek teşkil edecekti. Lüksmetre de geri besleme elemanını simgelemiş olacaktır. Sistemin modeli şekil 3.1’de ifade edilmiştir.



Şekil 3.1. Geri besleme sistemi.

Mevcut enerji analiz yazılımlarında girdilerin çıktılardan haberi olmadan yani açık döngü kontrol sistemi prensiplerine göre çalışmaktadır. Bu yüzden herhangi bir denetim mekanizması olmadan çıktı üretmektedirler. Fakat analiz yazılımları kapalı döngü kontrol sistemine sahip olsalardı, çıkan sonuçlar girdilerle ilişkilendirilerek düzeltme mekanizması oluşturma imkânı elde edilecektir.

HVAC sistemlerine oluşturulacak geri besleme sistemi için birden fazla disiplinin ortak çalışmada bulunması gerekmektedir. HVAC sistemlerinin kurulumunda makine mühendislerinin payı çokken, kurulum akabinde elektriksel aksam için elektrik mühendislerinin çalışma payı yüksektir. Sistem kurulup on-off olarak tabir edilen çalışması tamamlandıktan sonra sistem otomasyonu için kontrol-bilgisayar mühendisleri alanı çalışmaları başlamaktadır. Tüm bileşenler hazır olduktan sonra bilgisayar tabanlı kontrol ve raporlama işlevleri için bilgisayar mühendisliği disiplini çalışmaları başlayacaktır.

Bina enerji analiz yazılımlarında geri besleme sisteminin günümüze kadar oluşturulamamasının temel sebebi birden fazla alanda çalışmaları bulunan kişilerin ortak çalışması gerektiğinden kaynaklanmaktadır. Buna ek olarak da özellikle yerel BEP-TR gibi yazılımların kullanıma açılma tarihi çok yakındır. Henüz sektörel hayatta analiz yazılımları tam anlamıyla kullanılmadığı ve açıkları herkes tarafından görülmediği için bina enerji analiz sistemleri sadece simülasyon mertebesinde kalmıştır.

Mevcut iş hayatında enerji analizi yapan yerli-yabancı birçok firma bulunmaktadır. Fakat bu tür firmalar ürettiği şebeke analizörü gibi ürünlerindeki verileri bilgisayar ortamına sağlamaktan ileri gidememektedir. Yani sahadaki gerçek verilerle çalışan yazılımlar sadece harcanan enerji değerlerini bilgisayar ortamında gösterecek teknolojik yeterliliktedir. Diğer taraftan enerji bakanlığı yeşil bina sertifikasyonu ile ilgili çalışma yaparken sadece matematiksel altyapıyı kullanmaktadır. Analiz algoritmaları ne kadar mükemmel de olsa, gerçek ölçüm değerleriyle işlem yapılmadığı için her zaman doğru sonuçlar üretilememektedir. İki alandaki sistemsel altyapının birbiriyle entegrasyonu sağlanıp, matematiksel analiz algoritmasının gerçek değer ölçümleriyle beslenerek net ve somut çıktılar üretmesi sağlanmalıdır. Geri besleme sistemi için farklı alanlarda profesyonel çalışma yapan birimlerin ortak bir paydada buluşturulup, iş hacminin gelişmesine katkıda bulunmak ve ülkemizdeki enerji sarfiyatını minimize etmek gerekmektedir.

Bina analiz yazılımlarının akademik altyapısı hâlihazırda mevcut olup, sektörel ihtiyaçlardan dolayı geri besleme sistemi de özel teşebbüslerle oluşturulmaktadır. Çünkü ölçülemeyen enerji değerlerinin kontrolü sağlanamayacağı için bina ve özellikle ticari işletmeler sahadaki enerji harcamalarını mercek altına almaktadırlar. Bina enerji analiz yazılımlarının geri besleme sistemi için de yapılması gereken sadece iki alanın birbirinden haberdar olmasını sağlayacak altyapılar geliştirilmelidir. Bu sayede iki uygulama alanı birlikte çalışarak ülkesel enerji harcamaları ve şahsi ödemelerde verimlilik sağlanmış olacaktır.

3.1 GERİ BESLEME SİSTEMİ KAZANÇLARI

Oluşturulacak geri besleme sistemi sayesinde HVAC sistemlerinin hata payı azaltılacak ve elde edilen verilerle yan ürün niteliğinde kazançlar sağlanacaktır. Sektörün enerji otomasyonu ihtiyaçlarına cevap verebilecek altyapı sayesinde, geri besleme sistemi oluşturulurken büyük yatırımlar yapılan işler için de çözüm sunulabilecektir.

3.1.1 Gerçek Zamanlı Verimlilik

Mühendislik, ekonomi ve sosyoloji gibi disiplinlerde verimlilik hesaplaması yapılırken, faydalı güç çıkışının tüketilen toplam güce bölümüyle bulunur. Fakat bina enerji analiz sistemlerinde verimlilik hesaplanırken matematiksel modellemedeki varsayımlara göre değerlendirme yapılmaktadır. Bina enerji verimlilik ölçeklendirilmesi ile sistemde harcanan enerjinin HVAC sistemlerindeki servislere çıkan enerjiye bölünerek hesaplanması gerçek verimlilik bilgisini verecektir [12]. Günümüzde binalara verilen enerji kimliği dahi herhangi bir geri besleme olmadan, sadece matematiksel modellemelere göre sertifikalandırılmaktadır. Hâlbuki gerçek verimlilik hesabı için mutlaka bina enerji harcamasından geri besleme ile harcanan gerçek enerji bilgisi kullanılarak değerlendirilme yapılması gerekmektedir.

Kontrol sistemlerinde hata çözümü için en net çözüm hata anındaki durumlar analiz edilmesinden geçer. Özellikle HVAC sistemi gibi verimliliğini etkileyen birçok değişken olan sistemlerde oluşan hataya anında müdahale edilmesi gerekir. Örneğin; standart sistemin üzerinde enerji harcaması yapılıyorsa, o an normalin üstünde akım çeken ekipmanlar incelenerek hata bulunabilir ve hemen önlem alınır. Örneği somutlaştıracak olursak; sistem normalde saatlik 1000 A akım çekerken, 1250 A akım çekmeye başladığında hata tespitinde de chiller'in boş yere çalıştığı tespit edilirse hemen önlemi alınabilir. Gerçek zamanlı verimlilik olmazsa bu hata tespit edilemez, edilse de enerji harcama işlemi gerçekleştiği için geri dönüşü olmayacaktır.

HVAC sistemleri tasarım esnasında her ne kadar ideal yapılsa da konuda uzman olmayan teknisyenler tarafından kontrol edildiğinde verimsizleşebilmektedir [13]. Bu tür durumların tespiti için de binadan gerçek zamanlı değerlerin alınması gerekmektedir.

3.1.2 Yazılım Güvenilirlik Testi

Bina enerji analiz yazılımlarının hesapladığı enerji değeri ile binanın gerçekte harcadığı değer karşılaştırılarak varsa hatalı hesaplamaların çözümüne katkı sağlamak için geri besleme sistemi oluşturulmalıdır. Bu sayede gerçek zamanlı hesaplama değerleri de eklenerek analiz yazılımlarının doğruluk karakteristiklerini karşılaştırma imkânı elde edilebilir [14]. Bina analiz yazılımlarının hesaplama metotları farklı olduğu için gerçek enerji harcaması referans alınarak yazılımların farkları çikartılmalıdır [15].

Yazılım çıktılarının güvenilirlik testi için uluslararası geçerliliği olan BESTEST standartları geliştirilmiştir. Metot, simülasyon sonuçlarındaki farklı fiziksel işlemlerin etkisini değerlendiren bir çok test içerir. Prosedürün amacı, açık izahlı test serileri oluşturarak yazılımları karşılaştırmak ve yazılımlardaki hata kaynaklarını teşhis etmektir. Hiçbir yazılım hesaplama yapmak için aynı tip veri girdisine ihtiyaç duymaz. Bu nedenle BESTEST'te değişik bina simülasyon yazılımlarının test edilebilmesi için tasarlanmış testler tanımlanmıştır [16].

BESTEST prosedürleri de matematiksel çıkarımlara göre yazılım geçerlilik oranlarını vermektedir. Yani matematiksel modelin testi tekrar farklı bir matematiksel altyapıyla yapılmaktadır. Bu yüzden yapılan testin uluslararası geçerliliği olsa da %100 net sonuçlar verememektedir.

Gerçek yazılım güvenilirlik testleri için gerçek verilerle işlem yapılması gerekir. Bunun için de sahadan gerçek verilerin alınıp incelenmesi gereklidir. Oluşturulan geri besleme sistemi sayesinde alınacak gerçek verilerle bina enerji analiz yazılımlarının geçerlilik düzeyleri somut olarak gösterilebilecektir. Sektörde kullanılan enerji analiz yazılımlarının doğruluk değerleri çıkarılıp, kullanıcılara referans aldıkları simülasyon değerleri hakkında bilgi verilecektir. Herhangi bir gerçek kontrol mekanizması olmayan enerji analiz yazılımları bu sayede başarı değerleri çikarılacaktır.

3.1.3 Enerji Sarfiyatı Veri tabanı

Geri besleme sistemi ile alınan veriler sayesinde ülke çapında binalarda harcanan gerçek zamanlı enerji değerlerini inceleme imkânı sunacaktır. Oluşturulacak veri havuzu sayesinde devletin uyguladığı yeni tasarruf politikalarını gerçek zamanlı verilerle kontrol etme imkânı bulunacaktır. Örneğin; yeni oluşturulan enerji verimlilik stratejileriyle birçok ideal konunun, mevcut durum sayısal olarak tespit edilmeden ve 11 yıl gibi kısa sürede yapılabilirliği, gerek kurumsal kapasite ve gerekse bütçe açısından irdelenmeden belgeye yerleştirildiği görülmektedir. Bu nedenle niyet çok olumlu olsa da uygulamada önemli aksaklıklar ve belirsizliklerin olacağı düşünülmektedir [12].

İstihbarat teşkilatından basit bir muhasebe yazılımına kadar uygulanan geleceğe yönelik politikalarda geçmiş değerler referans alınmaktadır. Hangi uygulamalarda ne tepkiler elde edildiği ancak geçmiş değerlerin analiziyle mümkün olacaktır. Tecrübeli insanları değerli kılan geçmiş yaşantıları olduğu gibi enerji analizi ve verimliliği çalışmalarını değerli kılan da geçmişe yönelik kayıtların incelenebilme fonksiyonu olacaktır. Ülke çapında oluşturulacak enerji sarfiyatı veri tabanı sayesinde ülkemizin enerji geçmişi ve uygulama analizi oluşturulabilecektir. Bu sayede hangi yatırımlarla enerji verimliliği artmış ve ne gibi optimizasyonlar yapılması gerektiğini yatırımdan sonraki enerji değerlerini inceleyerek bulabiliriz.

Veri tabanı sayesinde muadil binaların enerji sarfiyatı kıyaslanabilir. Veri tabanındaki enerji sarfiyat değerleri sayesinde binalar enerji sarfiyatlarına göre sınıflandırılarak, aynı sınıf içinde fazla sarfiyat olan binalar incelemeye alınabilir.

Yeşil bina sertifikasyonunda olduğu gibi geri besleme sistemi de bakanlık tarafından zorunlu hale getirilmelidir. Bu sayede bölgesel ve ülkesel enerji sarfiyatları raporlanabilir düzeye gelecektir. Bölgesel harcamaların fazla olduğu yerlere bölgesel verimlilik politikaları uygulanıp, analitik çözüm imkânı elde edilebilir.

Geçmişimizi analiz edemediğimizde geleceğimizi planlamamız da eksik kalacaktır. Enerji sarfiyatlarının geçmiş değerleri de ülkesel enerji sarfiyatı veri tabanından geçmektedir. Geri besleme sisteminden elde edilecek veriler sürekli kaydederek enerji sarfiyat veri tabanının oluşmasına da imkân sağlayacaktır.

3.1.4 Simülasyon Tasarım Kılavuzu

Bina enerji simülasyonunda ilk yatırım ve işletme maliyetleri konusunda tasarımcının tecrübesi devreye girer ve daha önce benzer yapılarda karşılaşılan durumlar dikkate alınarak karar verilmeye çalışılır. Enerji analiz veri tabanı yardımıyla farklı bölge ve binaların gerçek zamanlı enerji başarıları incelenerek tasarımcıya yol gösterici nitelikte olacaktır. HVAC sistemlerinde ısıtma ve soğutma yük hesaplamalarının yapılmasında birçok yöntemler kullanılmıştır. Oluşturulması gereken veri tabanı ile bu yöntemlerin karşılaştırılması, yöntemlerin faydaları hakkında yararlı bir bakış açısı sağlayacaktır [17].

Günümüzde artan yerli-yabancı bina enerji analiz yazılımları içerisinde optimum olanı seçmek için hangi amaçlarda hangi analiz yazılımının daha stabil çalıştığı bilgisi kullanıcıya sunulurken yazılım araçları seçiminde kullanıcıya bilgi verilmelidir [18].

Tasarlanacak HVAC sisteminin benzerleri incelenerek yakıt seçimi gibi opsiyonlar bulunmalıdır. Bunun için aynı bölgede yapılan bina türüne göre harcanan enerji değerlerini karşılaştırabilecek altyapı olması gerekir [19]. Bu sayede binanın dikey-yatay, kare-dikdörtgen ve hatta renk seçenekleri gibi tasarımlar yapıldığında oluşan enerji sarfiyatını farklı açılardan inceleme imkânı oluşacaktır.

3.1.5 Katmansal Enerji Harcamaları

HVAC sistemleri enerji sarfiyatı piramidine göre enerji harcamaları 4 farklı katmanda değerlendirilmektedir. Bunlar global, servisler, alt sistemler ve ekipmanlardır [20]. Mevcut enerji analiz yazılımlarında en üst katmanda bulunan global seviyede değerlendirme yapılmaktadır. Fakat en fazla enerji harcamasının yapıldığı bölüm en alt katman olan ekipmanlar bölümüdür.

HVAC sistemlerindeki enerji sarfiyatının büyük bölümünü ekipmanlar oluşturduğu için bu birimdeki sistem elemanlarının detaylı sarfiyatının incelenip, gerekli önlemler temelden sağlanmalıdır. Ayrıca HVAC sistemi tasarlanırken oluşturulan zonlara göre de analiz yaparak, fazla enerji sarfiyatı yapılan bölüm incelenerek direk çözüme ulaşılabilmesi gerekir. Örneğin; izolasyon sorunu olan bölüm varsa bu şekilde teşhis edilerek enerji verimliliği sağlanmış olacaktır.

3.1.6 Enerji Sarfiyat Değerlerinin Zamanaşımı Denetimi

Günümüzdeki enerji analiz verimlilik düzeyleri bir defaya mahsus denetlenip, hemen sertifikasyonu yapılmaktadır. Fakat zamanla yaşlanan bina ve HVAC sistemleri başlangıçta harcanandan fazla enerji sarfiyatı yapabilir. Bu tür denetimler resmi olarak bulunmaktadır. Fakat pratikteki denetimi oldukça zor olduğu için sertifikasyon güncellemeleri eksik kalmaktadır [12]. Oluşturulacak geri besleme sistemi sayesinde binalardan alınan enerji değerleri periyodik ve sistem tarafından otomatik olarak yapılarak gerekli denetim mekanizması oluşturulabilir.

Hesaplanan bina analiz katsayıları ilden ile değiştiği gibi zamanla aynı ildeki katsayı değerleri de değişebilmektedir. Bu dinamik yapıyı güncellemek için binalardan geri besleme alınması zamanaşımı denetimine olanak sağlayacaktır.

Sertifikasyonu sınıflandırılan binalar periyodik olarak denetlenerek, sertifikasyon değerleri sağlanmadığı zamanlarda hemen önlem alınmalıdır. Yeşil bina sertifikasyonu gibi zamanaşımı denetimleri de bakanlık yaptırımına tabi tutularak enerji verimliliğinde süreklilik sağlanacaktır.

3.1.7 Güncellemelerin Denetimi

Özellikle eski binalarda yapılan enerji verimliliği artırmaya yönelik güncellemelerin sonuçlarını değerlendirme imkânı mevcut sistemlerde bulunmamaktadır. HVAC sistemleri genel kabul görmüş metotlardan ziyade yeni stratejiler geliştirip enerji verimliliğini artırma altyapısına sahiptir. Farklı ölkelerde farklı metotlarla yapılan revize işlemlerinin sonuçlarını nesilden nesle aktarmak için verilerin ortak bir veri tabanında kaydedilmesi gerekmektedir. Yalıtımın ve bina dış duvar renginin etkisi gibi değişkenler oluşturulacak veri tabanı sistemine tanıtılarak güncellemelerin sonuçları hakkında çıktı alınabilecektir. Bu sayede yapılan işlemlerin sonuçları denetlenebilirlik kazanacaktır.

Boya renginin dahi enerji verimliliğine etkili olduğu HVAC verimlilik karakteristiğinde yapılan tüm güncellemeler denetlenmelidir. Güncelleme işlemleri olumlu sonuçlanan çalışmalar farklı binalara da entegre edilerek, ölkesel enerji verimliliğine katkı sağlanabilecektir.

3.1.8 Gelişmiş Enerji Otomasyonu

Ölçemediğimizi verimli yönetemeyiz. HVAC ekipmanları oldukça fazla enerji harcadığı için enerji kalitesi için şebeke analizörleri diğer ismiyle kalite analizörleriyle harmonik değerleri ve harcanan enerji istatistiksel olarak incelenmelidir. Çünkü oluşan harmonikler HVAC ekipmanlarının özellikle pompa motorlarının ömürlerinin azalmasında ve güç kayıplarına sebep olmaktadır [17].

Günümüzde elektrik şebekelerinin genişlemesi ve çok sayıda cihazın yanında bir çok tüketiciyi de içermesi harcanan enerjiyi izlemenin önemini arttırmaktadır[21]. Bina ve fabrikalar sadece harmonik değerlerin incelenebilmesi için dahi büyük yatırımlar yapılmaktadır. Geri besleme sisteminde şebeke analizörü gibi ölçüm araçlarından da bilgi alınacağı için sistemin yan ürünü olarak enerji otomasyonunda gerekli veriler de elde edilebilecektir.

3.1.9 Detaylı Faturalandırma

Tüm enerji harcamaları veri havuzunda ayrıntılı olarak birikeceği için bina sahibi harcanan enerji maliyetinin ayrıntılı kalemler halinde alabilecektir. Bu sayede maliyet analizinde HVAC ekipmanlarının birim maliyet bilgisine ulaşabileceğiz. Elektrik faturalarında normalin üstünde artış gözlemlendiğinde sebebi kısa bir sürede tespit edilebilecektir.

Özellikle ticari binalar faturalandırma sistemleri için ek yatırımlar yapmaktadır. Tezde hedeflenen geri besleme sisteminden elde edilecek veriler faturalandırma sistemlerinde gerekli işlemleri de ihtiva ettiği için ek faturalandırma sistemine ihtiyaç duymadan algoritmanın yan ürünü olarak kullanılabilir.

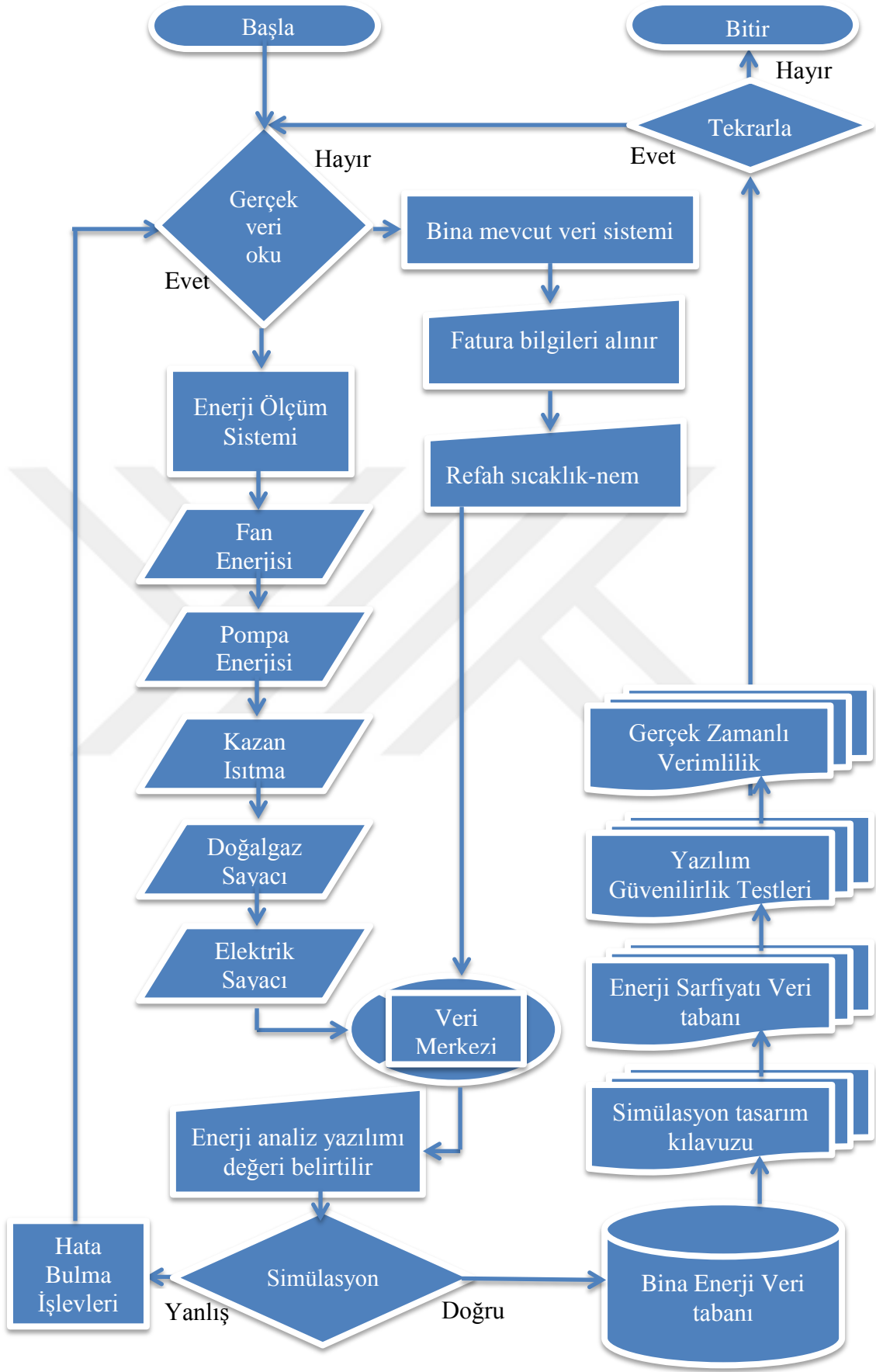
3.2 SİSTEM ALGORİTMASI

Algoritmanın ilk adımında sisteme eklenecek verilerin sahadan gerçek verilerle ya da faturalandırma üzerinden alınması seçeneği bulunmaktadır. Gerçek verilerle ilerlenmesi binanın enerji karakteristiğini çıkarmaktadır fakat mevcut verilerle ilerleneceği zaman faturalardaki hesaplanan enerji değerleri referans alınacaktır. Faturalardaki değerler referans alındığında sistemden elde edilebilecek yan ürünlerde kısıtlamalar olacaktır. Bina tasarım aşamasında gerçek veriler elde etme yatırımları yapılabilirken, bina projelendirme tamamlandıktan sonra yatırım imkânı bulunmamaktadır. Çünkü işletme sahibi ve müteahhitler bina kullanıma başladıktan sonra yatırım potansiyelleri azalmaktadır. Enerji ödemeleri binadaki oturan kişiler tarafından sağlandığı için bina teslimatından sonra geri besleme sistemi için gerekli yatırım genelde sağlanamamaktadır. Sistemin algoritması şekil 3.2’de ifade edilmiştir. Geri besleme sistemi üç ana başlık altında incelenmektedir.

Birinci bölüm sahadan enerji tüketim değerlerini elde etme metotlarıyla ilgilidir. Birinci bölüm sonunda toparlanan veriler veri toplama merkezinde incelemeye hazır hale getirilir.

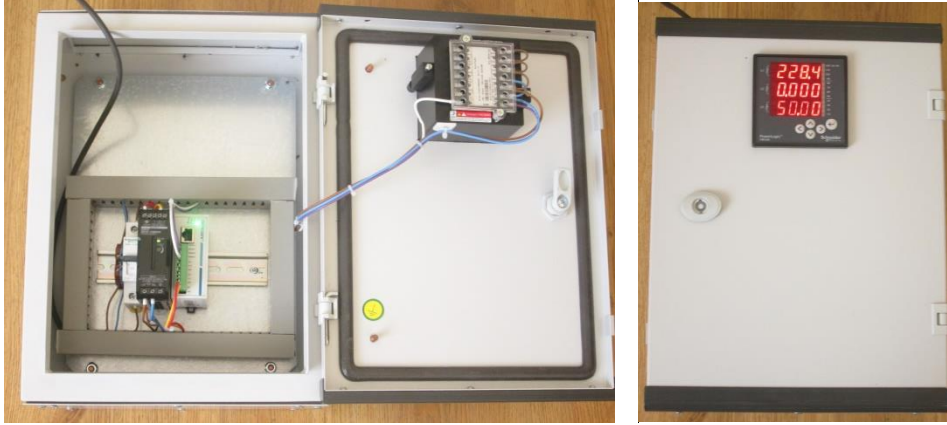
İkinci bölümde toparlanan veriler veri işleme merkezinde değerlendirme aşamasına alınır. Bu bölümde hesaplanan enerji değerleri ile benzetim yazılımından okunan enerji değerleri arasındaki fark incelenir. Belirlenen toleranstan yüksekse hata bulma mekanizması işletilir. Hata tespitiyle hem mevcut binadaki enerji sarfiyatı optimize edilebilecek hem de enerji analiz yazılımlarının enerji hesaplama metodolojileri düzeltilebilecektir. Sahadaki değerler tutarlıysa örnek bina olarak kaydedilir. Örnek bina olarak alınan veriler yan ürün olarak da kullanılabilir.

Geri besleme sisteminin son bölümünde ise elde edilen veri ve sonuçlanan işlemler çıktı haline getirilir. İlk bölüm seçeneklerinde gerçek veri okumadan, elle veri girişi seçildiğinde kısıtlı çıktı alınır. Geri besleme sisteminden optimum yarar sağlamak ve çıktı bölümünün tamamından faydalanmak için sisteme veri girişinin sahadan gerçek değerlerle sağlanması gereklidir. Simülasyon kontrol adımında veri merkezinde elde edilen enerji harcama değerleriyle bina enerji analiz yazılımından elde edilen değerler karşılaştırılır. Karşılaştırma değerleri arasındaki fark yüksekse bu hatanın çözümüyle mevcut bina enerji verimliliğine katkı sağlamak ve bina enerji analizi yazılımındaki hatalı hesabın teşhis edilebilmesi için hata bulma denetim mekanizması çalıştırılır.



Şekil 3.2. Veri toplama algoritması.

Sistemin uygulanabilirliği ve eğitim amaçlı içeriğinde Şebeke analizörü ve modbus gateway olan pano tasarımı yapılmıştır. Şebeke enerji değerleri analiz edilerek modbus protokolü üzerinden SCADA (supervisory control and data acquisition)sistemine aktarılmaktadır. Modbus gateway ve Şebeke analizörü arasında RS485-Modbus RTU protokolü kullanılmıştır. SCADA ve gateway arasında da TCP/IP(Transmission control protocol / Internet protocol)-Modbus TCP altyapısıyla veriler aktarılmıŐtır.



Şekil 3.3. Enerji verileri toplama demo panosu.

Tez demo uygulaması için hazırlanan pano Şekil 3.3'te olup, sektörde kullanılan bileŐenlerle aynıdır. Sadece demo uygulama olduğu için 1 adet Şebeke analizörü ve Modbus gateway ünitesi kullanılmıştır. Pano içeriğindeki ekipmanlar:

- RS485 ve Modbus RTU destekli Şebeke analizörü
- RS485 Modbus RTU-TCP Ethernet Gateway
- GÜç kaynağı, Modbus Gateway ünitesi için 24 V (volt) DC (doğru akım)

Şebeke analizöründen RS485 ile alınan veriler gateway cihazı kullanılarak Ethernet aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılmıŐtır. Şebeke analizörü ve gateway bağlantısı için 2x75 mm (milimetre) standart kablo kullanılıp, iki cihaz arasındaki RS485-A ve RS485-B bağlantıları düz olarak bađlanmıŐtır. Bilgisayar ve gateway bağlantısı için de düz jak çakımlı standart Ethernet kablosu kullanılmıştır. Gateway IP parametreleri bilgisayar subnet'ine uygun formatta olacak Şekilde üretici firmanın özel olarak geliŐtirdiđi parametre yapılandırma yazılımıyla gerçekteŐirilmıŐtir. Gateway cihazının IP ve port değerleri bilgisayara tanıtılarak Modbus sürücüsü olan WinCC yazılımıyla analizör değerleri bilgisayar ortamına aktarılmıŐtır.

3.2.1 Veri Toplama Seçimi

Enerji ölçüm sisteminden veri toplayabilmek için farklı ölçüm cihazları ve endüstriyel haberleşme metotları kullanılmaktadır. Kullanıcı ara yüz tarafında bu farklılıklar belirtilmeyecektir. Fakat geri besleme sisteminin teknik kısmının en kapsamlı bölümüdür. Çünkü fan gibi düz kontaklı yapılan sistemler şebeke analizörü ve Modbus haberleşme protokolüyle haberleşirken, sürücülü kontrol yapılan HVAC bileşenlerinde farklı haberleşme tipleri bulunmaktadır. Geri besleme sisteminin günümüze kadar yapılabilirliğini zorlaştıran en önemli işlevlerdendir.

Gerçek veriler ya da fatura bilgileri veri merkezine aktarılır. İlk adımda elde edilen referans değerler simülatör değeriyle karşılaştırılması için simülatör enerji değerleri sisteme belirtilir. Belirlenen toleranstan büyük enerji farkı varsa hata bulma işlevi çalıştırılır. Bina enerji analiz yazılımı ile gerçek değerler arasında fark yoksa bu değerlerin incelenip raporlama yapılabilmesi için bina enerji veri tabanına aktarılır.

Veri toplama bölümü geri besleme sisteminin ana omurgasıdır. Buradaki çalışma niteliği ne kadar kaliteli olursa sistemin başarısı da o düzeyde artacaktır. Veri toplama bölümünde oluşacak hata tüm sistemi etkileyecektir. Kurulum maliyeti açısından da en kapsamlı kalem veri toplama seçim bölümüdür. Yatırım maliyetlerinin en büyük bölümü bu bölüme yapılmaktadır.

3.2.2 Enerji Ölçüm Sistemi

Geri besleme sisteminin en önemli noktası sahadan enerji harcama değerlerini merkezi veri tabanına aktarabilmektir. Bina enerji analiz yazılımları sektöründe gerçek değer alınmadan yapılmasının en önemli faktörü de sahadaki gerçek değerlerin bilgisayar ortamına aktarılmasındaki zorluktan kaynaklanmaktadır. Tek ölçüm türü ve haberleşme protokolü olmaması verilerin merkezi sisteme aktarılmasını zorlaştırmıştır. Aşağıdaki konu başlıklarında farklı enerji harcama birimleri ve enerji bilgilerinin aktarılması hakkında bilgi verilmiştir.

3.2.2.1 Fan Enerjisi

Havalandırma fanları HVAC sistemlerinde kirli havanın dışarı atılması ve hava sirkülasyonu için kullanılan bileşenlerdendir. Genel olarak mutfak ve tuvalet gibi mahallerde kullanılır. Ayrıca olası yangın anında duman tahliyesi için de fanlar kullanılır. Havalandırma fanları diğer HVAC ekipmanlarına nazaran yüksek enerji gerektiren sistemlerden değildir. Fakat sürekli çalışması gereken bileşenlerden olduğu için enerji verimliliğinde yaşlanma süreleri ve doğru büyüklük seçimleri büyük önem arz etmektedir.

Fan motorlarının harcadığı enerjiyi ölçebilmek için şebeke analizörleri kullanılır. Şebeke analizörleri de endüstriyel haberleşme protokolü olarak Modbus RTU kullanılmaktadır. Modbus, günümüzde milyonlarca otomasyon sisteminde kullanılan, istemci sunucu yapısında yer alan bir haberleşme protokolüdür. Uygulama seviyesinde mesajlaşma protokolü olan Modbus, OSI (operating system interconnection) haberleşme mimarisinde 7. katmanda yer almaktadır. Dolayısıyla, seri port ve TCP/IP gibi farklı haberleşme protokol ve standartları üzerinde çalışabilir. 1979 yılında Modicon firmasınınca tasarlanan Modbus, bu gün otomasyon pazarında vazgeçilmez bir standart haline gelmiş olup, hem üreticiler hem de açık kaynak topluluklarınca sürekli geliştirilen ve desteklenen bir protokol olmayı başarmıştır [22]. Endüstriyel haberleşme yapılandırmasında SCADA tarafı istemci, sahadaki diğer ekipmanlar da sunucu olarak ayarlanır. Bu sayede seri haberleşmede 247 adet, TCP haberleşmede bilgisayarın donanımsal desteklediği sayıya kadar bağlantı sağlanabilir. Sahada kurulan sistemlerde genellikle Modbus gateway üniteleri kullanılır. Bu sayede farklı lokasyonlardaki seri haberleşen cihazlar ayrı noktalarda toparlanıp, TCP/IP üzerinden merkezi birime aktarılır.

3.2.2.4 Kalorimetre

Kalorimetreler ortak ısıtma sistemi olan yerlerde her mahallin harcadığı enerji değerini hesaplayabilmektedir. Bu sayede ortak yakıt kullanımında her mahal harcadığı kadar enerji bedeli ödemektedir. Hem ortak ısıtmanın verimlilik avantajlarından yararlanma hem de adil ödeme imkânı sunmaktadır.

Kalorimetreler akım üzerinden haberleşme metodu olan MBUS endüstriyel haberleşme sistemiyle haberleşmektedir. Okunacak kalorimetre cihazı sayısına göre seçilecek MBUS gateway cihazı seri haberleşme metoduyla verileri okumaktadır. Kalorimetre cihazındaki yazmaç adresleri sorgulanarak değerler merkezi sistemde toplanır.

3.2.2.5 Elektrik Sayacı

Elektrik sayaçları şebekede harcanan net enerji değerini ölçen cihazlardır. Günümüz teknolojisinde 3 zamanlı ve çift yönlü elektrik sayaçları bulunmaktadır. Saat dilimlerine göre farklı tarifeler ihtiva eden sistemlerde 3 zamanlı saatler kullanılır. Elektriğin hem üretilip hem de tüketildiği sistemlerde is çift yönlü elektrik saatleri kullanılmaktadır.

Elektrik sayaçları üzerinde 2 farklı haberleşme seçeneği bulunmaktadır. RS485 ve optik port üzerinden veri transferi yapılabilmektedir. İki kanaldan da MOD-C endüstriyel haberleşme altyapısı kullanılmaktadır. Transparan şekilde sorgulamayla çalışan protokol, gönderilen sorgu parametrelerine göre cevap vermektedir. Uzaktan sayaç okuma sistemleri için geliştirilmiş haberleşme altyapısının SCADA sistemlerinde entegrasyonu zordur. Çünkü çoğu elektrik sayacı üreticilerinin kendine özgü OBIS kodu bulunmakta ve SCADA sistemleri için hazır sayaç okuma sürücülerini bulunmamaktadır. Bu yüzden elektrik sayaçlarını SCADA sistemlerine aktarılabilmesi için 3. parti gateway cihazlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

MOD-C protokolü OBIS kod sorgulama olarak bilinen uluslararası standartlarda IEC 62056-21 protokolü olarak bilinen elektrik sayaçlarını okuma için geliştirilmiş endüstriyel haberleşme protokolüdür. MOD-C protokolünde her üretici kendine özel OBIS kod tanımlamaları yaptığı için uluslararası standartlara sahip olsa da özerk bir yapı oluşturmuştur. Modbus gibi standart bir adres yapısı yoktur. Bu yüzden protokol sadece uzaktan elektrik sayacı okuma işlemlerinde kullanılıp, SCADA sistemlerine aktarımı zorlaşmıştır.

3.2.2.6 Sıcaklık Değerleri

Sıcaklık sensörleri HVAC sistemlerinin temel kontrol elemanlarıdır. İklimlendirme kontrolü tamamen iç ve dış sıcaklık değerlerine göre sağlanmaktadır. Kontrol işlemleri sıcaklık sensörüne HVAC sistemlerinde kullanılan sıcaklık sensörleri direncin sıcaklık tabanındaki değişimine göre değer üretmesine göre ortam sıcaklık durumunu belirlemektedirler.

HVAC sistemlerinde yoğunlukla kullanılan sıcaklık sensör tipleri;

- PT100
- PT1000
- NTC
- PTC

Sıcaklık ölçme hassasiyeti ve sensör mesafesine göre uygun seçim yapılır. Örneğin; PT100 tipi sensörlerde 100 Ω 0°C'ye tekabül ederken, PT1000 tiplerinde 1000 Ω aynı değeri sağlamaktadır. PT1000 sensörlerde 1 Ω 'luk değişim daha az sıcaklık değerine tekabül edeceği için uzun mesafelerde kullanıma daha elverişlidir.

Mekanik montaj tipine göre de; daldırma tip, kelepçe tip ve oda tipi sensörler bulunmaktadır. Şekil 3.5'te daldırma tip PT100 sensör bulunmaktadır.



Şekil 3.5. Sıcaklık sensörü.

3.2.3 Mevcut Veri Sistemi

Geri besleme sisteminde gerçek enerji harcama değerleriyle işlem yapılma imkânı bulunmayabilir. Çünkü bina sahipleri sahadan veri toplama için gerekli altyapı yatırımını karşılamak istemeyebilir. Sektördeki yapıyı planlanan binaların ki özellikle özel mülklerin büyük kısmı sonradan oluşacak yatırımlara sıcak bakmayacaktır. Verimlilik analizi yapılarak yapılacak yatırımın kısa sürede kendini tölere edeceği ispatlansa da nakit yatırım yapmaktan çoğu bina sahibi geri duracaktır. Bu gibi durumlarda da geri besleme sisteminden yararlanılabilmesi için elle veri girilmesi sistemine dayanan yani eldeki verilerle sisteme enerji harcama değerleri eklenir. Bu sayede bina sahiplerine ek yatırım yaptırımında bulunmadan enerji sınıflandırması ve bina enerji analiz yazılımıyla hesaplanan değerleri incelenebilecektir.

Mevcut verilerde kullanılacak değerler temel olarak binaya kesilen faturalarla oluşturulur. Isınma enerjisinin harcama değeri için yakıt faturası kullanılır. Yakıt türüne göre TEP dönüşümü yapılarak sisteme belirtilir. HVAC elektriksel ekipmanlarının harcadığı enerji değerleri hesabı için de elektrik fatura değerleri kullanılır.

Elle veri girme sisteminde kullanılacak diğer parametrelerde HVAC çalışma saatleri ve sisteme referans kabul edilen sıcaklık-nem parametreleridir.

3.2.4 Veri Merkezi

Mevcut enerji otomasyonundan ya da elle girilen veriler merkezi havuzda biriktirilerek bina enerji simülöründe kullanılmak üzere hazırlanır. Enerji ölçüm sisteminden gelen fan, pompa, ısıtma ve soğutma enerji harcamaları bina enerji simülasyonunda kıyaslanmak üzere TEP değerine çevrilir.

3.2.5 Enerji Analiz Simülör Değeri

Bina tasarımı öncesinde hesaplanan bina enerji analiz yazılım değerleriyle veri merkezindeki enerji değeri karşılaştırılmak için sisteme belirtilir. Enerji analizi yapılmamış binalarda ise geri besleme sisteminin yan ürünlerinden faydalanabilmek için enerji analiz değeri doğru kıyas edilmiş varsayılp, veri merkezinde toplanan veriler bina enerji veri tabanına aktarılır.

3.2.6 Hata Bulma İşlevleri

Enerji analiz yazılımıyla gerçek hesaplanan değerler arasındaki farkın sebepleri araştırılması için hata bulma işlevleri çalıştırılır. HVAC sistemlerindeki enerji harcama temellerinden olan HVAC kontrolör, teknisyen kullanım, bakım kontrol, ısı transfer ve tasarım kontrolleri yapılır.

Tüm hata bulma işlevleri tamamlandıktan sonra sistemin tekrar gerçek enerji değerlerinin saptanması için algoritmanın ilk baştaki adımı olan “mevcut otomasyon” sorgu ekranına tekrar dönüş yapılır.

Hataları değerler giderildikten sonra sistemin enerji harcaması ve bina enerji analizindeki değeri tekrar kontrol edilir ve karşılaştırılan iki değer arasında fark yoksa veri merkezindeki değerler bina enerji veri tabanına aktarılır.

3.2.6.1 HVAC Kontrolör Testleri

Günümüzde kurulan HVAC sistemlerinin büyük çoğunluğu mikroişlemci tabanlı kontrolör üniteleriyle kullanılmaktadır. Sahadan alınan giriş-çıkış bilgileri mikroişlemci tabanlı kontrolöre belirtilerek ısıtma ya da soğutma mekanizması çalıştırılır. Bu sayede sistemdeki hangi ekipmanın ne zaman çalışacağı merkezi birim tarafından kontrol edilebilir.

HVAC sistemlerinde enerji sarfiyatının bina enerji analiz yazılımında hesaplanan değerden farklı olması durumunda ilk kontrol edilmesi gereken HVAC sistemlerinin çalıştırılma senaryosudur. Çünkü saha tarafındaki ekipmanların verimliliği optimum seviyede dahi olsa kontrolör cihazındaki yanlış yönetim sisteminden dolayı enerji sarfiyatı artabilir. Kontrolörlerdeki en büyük hata HVAC senaryosundaki hatalardan kaynaklanmaktadır. Bu hataların teşhisi için de mikroişlemciye yazılımı çözebilecek personel tarafından yapılabilir. Sektördeki kalifiyeli mühendis eksikliğinden dolayı hata bulmada en çok efor sarf edilecek konu başlığıdır.

HVAC sistemlerindeki kontrol referansı sahadaki sensörler sayesinde sağlanır. Sıcaklık, basınç ve nem sensörleri sayesinde diğer ekipmanlar kontrol edilir. Bu yüzden enerji sarfiyatının fazla olduğu durum tespitinde bu giriş-çıkış birimleri ve sensörlerin kalibrasyon testi yapılmalıdır. Örneğin; soğutma birimi için kullanılan chiller sistemi sıcaklık referans sensöründe sorun varsa chiller sistemlerini yanlış çalıştıracak ve enerji sarfiyatındaki verimliliği bozacaktır. Aynı durum kazan ve basınca duyarlı çalışan pompa sistemlerinde de geçerlidir.

3.2.6.2 *Teknisyen Testleri*

HVAC sistemlerindeki enerji sarfiyatını kullanıcıların tecrübe ve sistem bilgileri de etkilemektedir. Sistem mükemmel olsa da kullanım hatasından kaynaklı fazla enerji sarfiyatı da olmaktadır. Örneğin; sıcaklık set değerinin 1°C dahi yüksek olması durumunda fazla enerji sarfiyatına sebep olacaktır. Bu yüzden hatalı durum kontrolünde HVAC kontrolcüsü teknisyen personelin de kontrolden geçirilmesi gerekmektedir. HVAC bilgisinin yetersiz olduğu teşhis edilen personeller yetkili kişilerce eğitime alınıp sertifikalandırılması gerekmektedir. Dış açığın büyük kısmının enerjiden kaynaklandığı ülkemizde, HVAC teknisyenlerine verilecek eğitimle hem mevcut binanın daha az enerji sarfiyatında bulunması hem de dış ticaret açığımıza destek olunacaktır.

3.2.6.3 *Bakım Testleri*

Mekanik ve elektrik ihtiva eden tüm sistemlerde olduğu gibi HVAC sistemlerinin de yaşlanma süresi bulunmaktadır. Yaşlanma süresiyle periyodik bakımı gelen ekipmanlar fazla enerji sarfiyatına sebep olacaktır. Bakım yaptırmak için ayrılacak küçük bütçelerle yüksek miktardaki enerji sarfiyatının önüne geçilebilmiş olacaktır.

3.2.6.4 *Isı Transfer Testleri*

HVAC sistemleri ısıtma ya da soğutma işlevlerinde ısı iletim sıvıları kullanarak refah düzeyini sağlayabilmektedir. Isı iletim sırasında oluşacak kayıp kümülatif olarak artacağı için hızlıca çözüm bulunmalıdır.

Isı transfer testini gerçekleştirmek için boru hattındaki giriş ve çıkış sıcaklık değerleri kıyaslanır. Ya da termal kamera kullanılarak ısı iletim borularındaki izolasyon kayıpları teşhis edilebilir.

3.2.6.5 *Tasarım Testleri*

HVAC sistemlerinin ilk kurulumunda makine mühendisleri görev almaktadır. İlk tasarım aşamasında oluşacak hatalı durum binada geri dönülmez enerji kayıplarına sebep olabilmektedir.

HVAC sistemlerinin ilk tasarım kaynağı binanın mimarisinden geçtiği için görsel tasarımlarda enerji sarfiyatı değerlendirmeye alınmayabiliyor. Bu tür hatalarında mevcut binaya ait çözümü olamayacaktır fakat hatanın teşhis edilip, sonraki binalarda aynı hataya düşülmemesi de ülke çıkarlarımız için gereklidir.

3.2.7 Bina Enerji Veri Tabanı

Bina enerji veri tabanı hem bireysel bina analizi hem de ülkesel analizde kullanılabilir. Bina enerji değerlerinin kaydedilmesiyle geçmiş analizi yapılarak güncel durum ve gelecek enerji sarfiyatları yorumlanabilir.

Enerji veri tabanı sayesinde sadece binaların sarfiyat değerleri değil, aynı zamanda HVAC mühendisleri için simülasyon tasarım kılavuzu ve yazılım güvenilirlik testleri olarak da kullanılabilir.

Kıyaslama yapılabilmesi ve aylık verimlilik gibi değerler ancak bilgi birikiminin olduğu veri havuzu sayesinde yapılabilir. Ülke çapında geliştirilecek enerji havuzu sayesinde ulusal enerji haritası ve verimlilik analizleri çıkarılacaktır.

3.3 SCADA Tabanlı Simülasyon Uygulaması

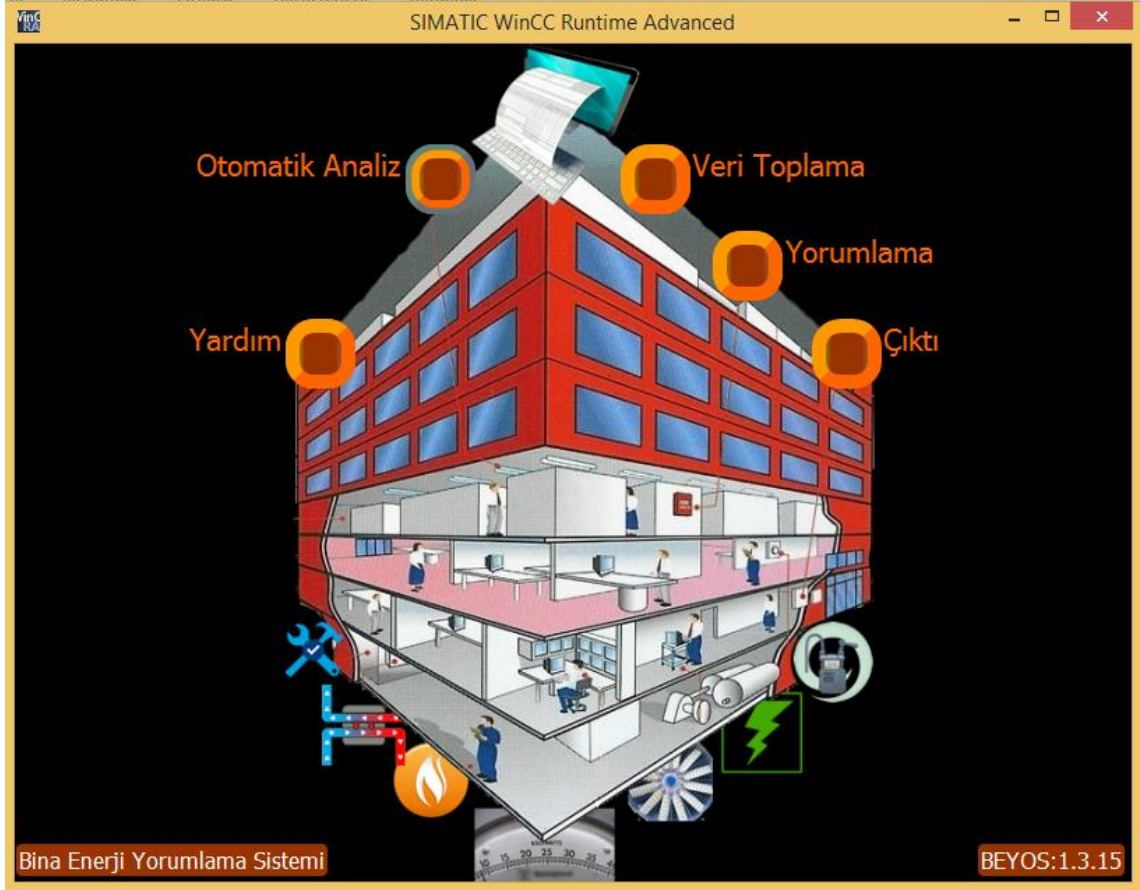
Geri besleme sisteminin ilk adımında ekipmanlardan detaylı bilgi almak için şebeke analizörleri kullanılır. Tüm pompa ve diğer ekipmanlara entegre edilmesi sayesinde hangi birimin ne kadar enerji sarfiyatı yaptığı hakkında veri elde imkanı olacaktır. Şebeke analizörleri Modbus Gateway ünitesiyle merkezi veri tabanına aktarılır. Tek bir gateway ünitesine 247 adet şebeke analizörü bağlanabileceği için sistem büyüklüğüne göre 1 ya da 2 adet Modbus Gateway ile ekipman enerji sarfiyatları veri tabanına aktarılabilir.

İkinci adımda ise doğalgaz sayacından günlük, aylık ve yıllık harcama bilgileri temin edilir. Doğalgaz olmayıp katı yakıtla ısınan sistemlerde yıllık temin edilen katı yakıt bilgisi eklenir.

Üçüncü adımda bina tasarım esnasında hesaplanan simülasyon değerleri geri besleme sistemine bildirilir.

Dördüncü adımda binadan alınan gerçek zamanlı enerji harcama verileriyle bina simülasyon değerleri karşılaştırılır. Belirlenen toleransın üstünde olan durumlarda sebep araştırması için ekipmanların harcadığı enerji değerleri ayrıntılı olarak incelenir. Çözüm için geri besleme kütüphanesine eklenecek öneriler sunulur.

Son adımda ise olumlu ya da olumsuz çıktı alınan bilgiler veri tabanına eklenir. Binadan alınan değerler normal, simülasyon yazılım değeri hatalı ise sistem simülasyon yazılım tasarımcılarına durumu raporlayacaktır.



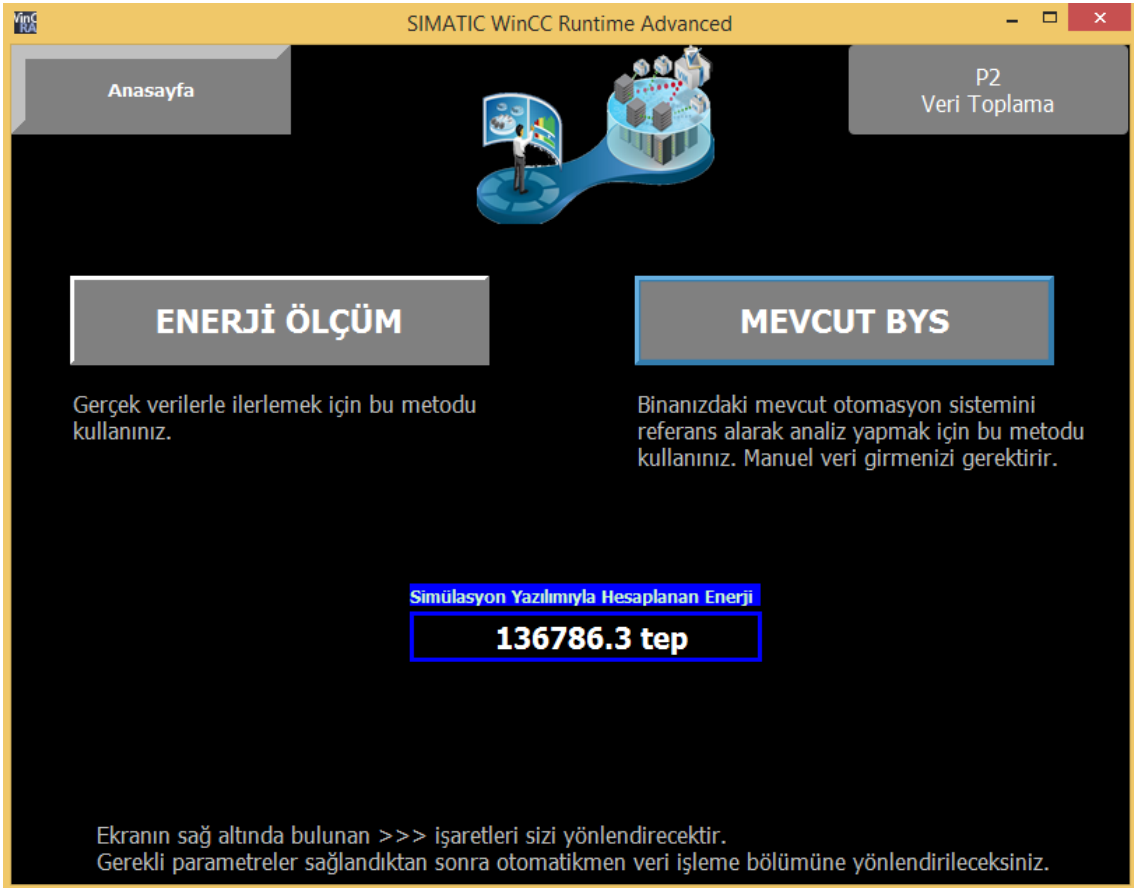
Şekil 3.6. BEYOS ana sayfa.

Hazırlanan test panosu için yapılan SCADA yazılımının ana sayfası şekil 3.6’da gösterilmiştir. BEYOS (bina enerji yorumlama sistemi) uygulaması demo yazılımı ana sayfasında 5 seçenek bulunmaktadır.

- Otomatik analiz; sekmesinde tüm uygulamaları yönlendirecek yazılım sihirbazı sayesinde sadece açılan pencerelerdeki bilgileri ekleyerek ve ekranın sağ altında bulunan “ileri” butonlarıyla analiz sisteminizi oluşturabilirsiniz.
- Veri toplama; biriminde sisteme veri girişinin elle başlatılmasını sağlayabilirsiniz.
- Çıktı; bölümünde analiz yapılmış eski verilerin değerlendirilme işlevleri yapılabilmektedir.
- Yardım; bölümünde sistemle ilgili temel bilgilere erişebilirsiniz.

3.3.1 Veri Toplama Birimi

Geri besleme mekanizması 2 farklı metot ile sahadan veri toplayabilmektedir. Binada kurulu bina otomasyon sistemi varsa ve ekstradan kurulum yatırımı yapılmayacaksa mevcut sistemdeki kurulu bilgilerle geri besleme sistemine bilgiler aktarılır. Sistem için gerekli bütçe ayrılabilirse, daha net veri ölçümü ihtiva eden sahadan veri transferi ile enerji değerleri toparlanabilir. Bölümün ekran görüntüsü şekil 3.7’de gösterilmiştir.



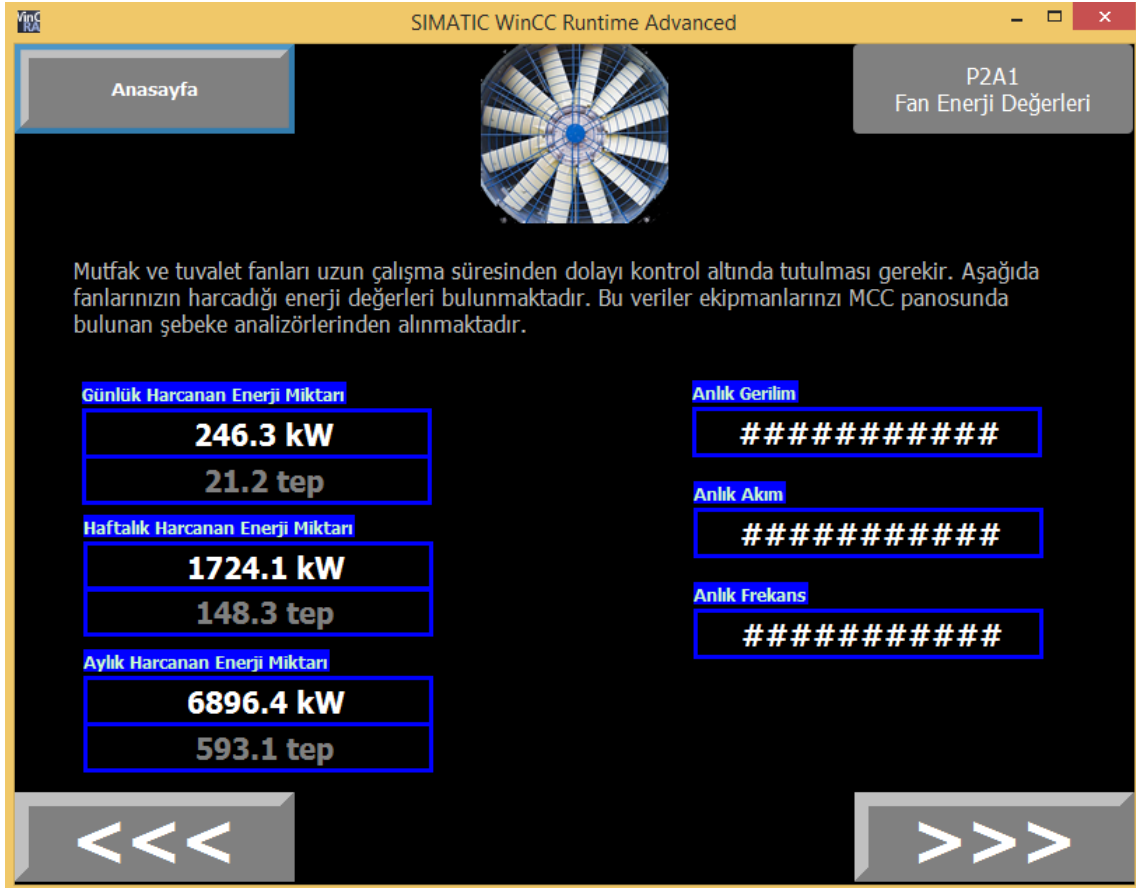
Şekil 3.7. BEYOS veri toplama ekran görüntüsü.

Ekranın alt bölümünde bina projelendirme aşamasında hesaplanan enerji değeri sisteme eklenir. Bu veri sistemdeki tüm veriler hesaplandıktan sonra veri merkezinin alt biriminde kıyaslama yapılmak için kullanılacaktır. Buradaki değere göre veri merkezindeki toplanan veriler bina enerji veri tabanına aktarılacak veya hata bulma işlevleri sekmesine yönlendirilecektir.

Simülasyon yazılımıyla hesaplanan enerji değeri ekranda kWh cinsinden yazılır fakat bu değer arka planda TEP cinsine otomatik çevrilerek sisteme devam edilir. Bunun için ekranda yazılan değer 0,086 katsayısı ile çarpılır [25].

3.3.2 Sistem Girdileri

Veri toplama ekranında enerji ölçüm sekmesi seçildikten sonra ilk açılacak pencere aşağıdaki gibidir. Fanların MCC panosu farklı yerlerde olan binalar için birden fazla şebeke analizörü kullanılması gerekir. BEYOS demo uygulamasında tek MCC panosundan enerji harcaması yapıldığı kabul edilip ekranda veri tabanından alınan değerler gösterilmiştir. Şekil 3.8’de veri tabanından alınan değerler TEP dönüşümleri ifade edilmiştir.



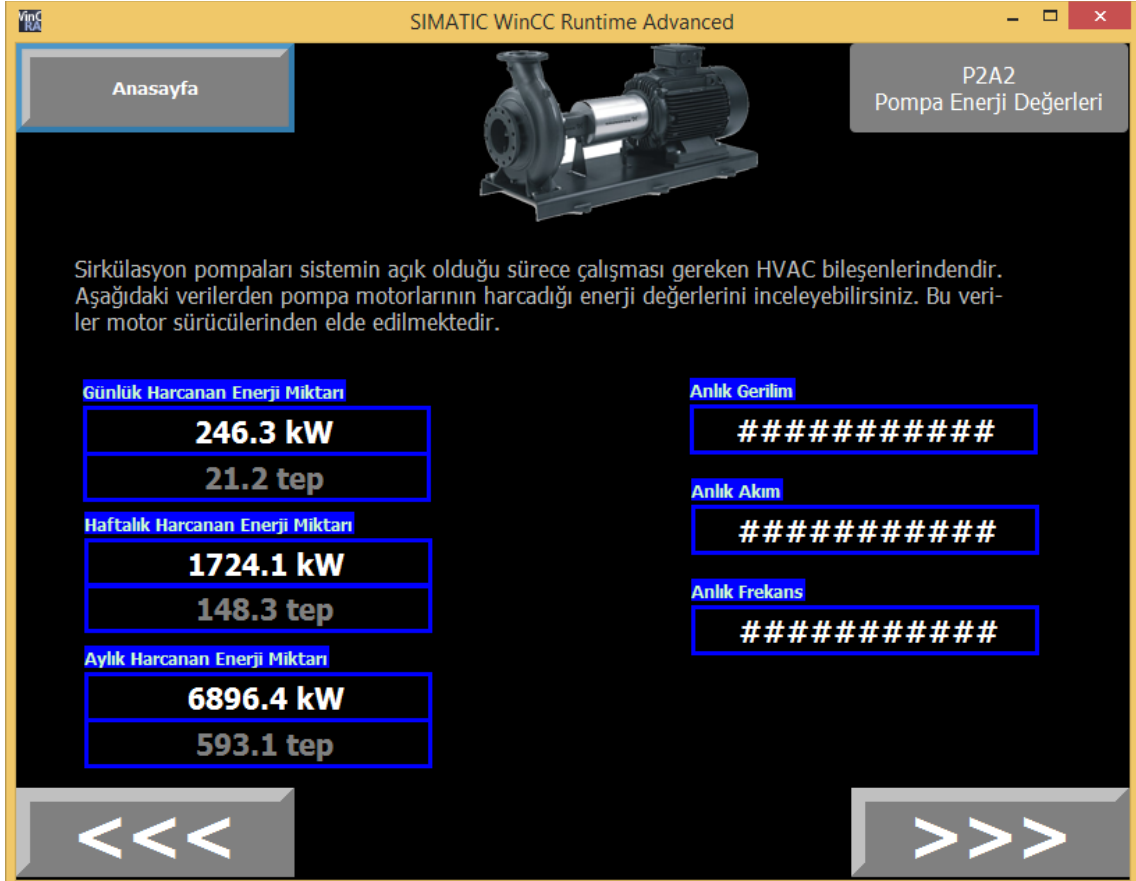
Şekil 3.8. BEYOS fan enerji değerleri.

Ekranda anlık gerilim, akım ve frekans değerleri de gösterilmiştir. Frekans ve gerilim düşümleri de verimliliği etkileyeceği için bina enerji analizinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

kW cinsinden ölçülen değerler arka planda TEP cinsine çevrilerek analiz işlemlerine devam edilir.

Pompa değerleri de fan değerleriyle aynı metotla işlenmektedir. Sadece pompa sistemleri genellikle sürücü güç elektroniği teknolojisiyle kullanıldığı için şebeke analizörüne ihtiyaç kalmadan direk pompa sürücüsünden veri alma imkânı

bulunmaktadır. Geri besleme sisteminde gerçek saha değerleri kullanıldığında elektriksel karakteristikler de incelenip, harmonik değerleri verimliliği olumsuz etkilediğinde önlem alınabilecek altyapı oluşturulacaktır. Şekil 3.9’da pompa enerji değerlerinin gösterildiği ekran görüntüsü alınmıştır.

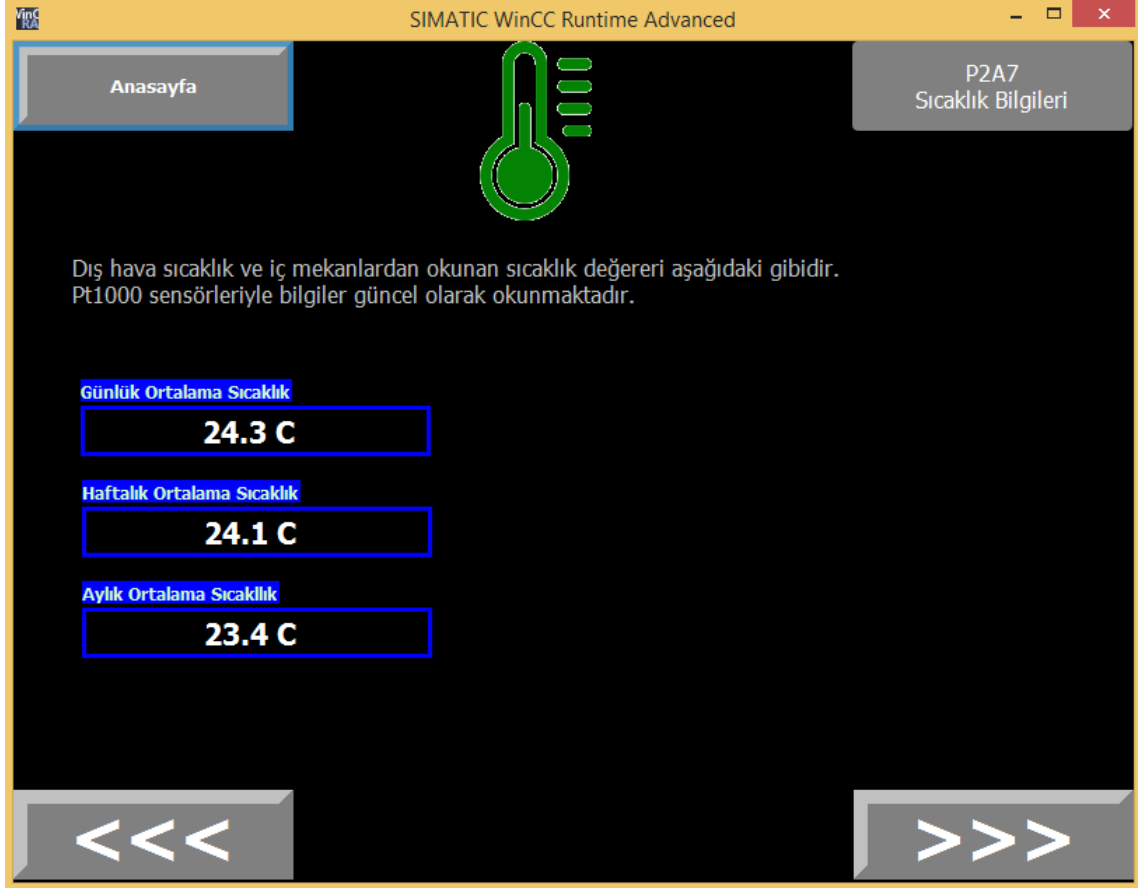


Şekil 3.9. BEYOS pompa enerji.

Isıtma yani kazan bilgileri kazanın teknolojik altyapısına göre lonbus endüstriyel haberleşme protokolü kullanılarak merkezi sisteme aktarılabilir. Kullanılan yakıt türüne göre TEP dönüşümü yapılarak analiz işlemlerine devam edilir. Çizelge 3.1’de HVAC sistemlerinde kullanılan TEP dönüşümleri ifade edilmistir [25].

Çizelge 3.1. TEP

Yakıt Türü	TEP Katsayısı
Doğalgaz (m ³)	0,825
Taşkömürü (ton)	0,610
Briket (ton)	0,500
Fuel Oil-4 (ton)	0,960
Fuel Oil-5 (ton)	1,003
Fuel Oil-6 (ton)	0,986



Şekil 3.10. BEYOS sıcaklık bilgileri.

Sıcaklık bilgilerinin kullanım amacını referans değer kontrolü ve enerji sarfiyatının elde edilen neticeyle kıyaslanabilmesi içindir. Şekil 3.10'da sıcaklık ekran görüntüsü bulunup, bu bilgiler sisteme PLC cihazları tarafından aktarılır. Ortalama sıcaklık değerlerine göre çıkarımlarda bulunup mahallerin refah düzeyinin incelenebilmesi imkânı bulunacaktır. Aynı mevsimsel şartlar olduğu halde sıcaklık değerlerinde yüksek farklılıklar varsa enerji sarfiyatı incelenmesinde kaynak parametre olacaktır.

3.3.3 Veri Yorumlama Mekanizması

Sistemdeki veriler hesaplandıktan sonra bina enerji analizinde herhangi bir sorun yoksa bina enerji veri tabanına aktarılır. Hatalı durum tespiti durumunda hata bulucu sekmesiyle sistemdeki olası hata analiz denetimleri başlatılır. Loglama işleviyle de sistemdeki verilerin raporlanabilmesi için veri tabanı sekmesine geçilir.

3.3.4 Sistem Çıktıları

Hata analizinin yan ürünleri olarak nitelendirilecek, veri çıktıları bölümünde yapılan sistemden rapor alınan birimdir. Tezin 3. bölümünde detaylı açıklandığı gibi aşağıdaki raporlar oluşturulur. Gerçek veri çıktıları sistemin uzun süre çalıştıktan sonra elde edilebileceği için demo uygulamasında kısıtlı veri alımı yapılabilecektir.



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

HVAC sistemlerindeki enerji sarfiyatı ülkemizdeki enerji sarfiyatının %20'lerine tekabül etmektedir. Bundan dolayı HVAC enerji harcamaları mercek altına alınıp, israf edilen kısmının önleminin alınması büyük önem arz etmektedir. İsrif edilen enerjinin önlenmesi için de iki ana başlık bulunmaktadır. Birincisi, tasarım sırasındaki modelleme hatalarının tespiti ve önlenmesidir. İkincisi ise harcanan enerjinin anlık takibi yapılarak, enerji sarfiyatını ölçüp kontrol altına almaktır. İki sistem için de HVAC sistemlerinin enerji sarfiyatı gerçek saha değerlerinden alınıp, düzeltme mekanizması için geri besleme kontrolü oluşturulmalıdır. HVAC sistemleri son 50 yılda yaygınlaşıp, enerji tasarrufu politikaları ise 20 yıl önce dünya gündemine girmiştir. Yeni gelişmekte olan bir alan olmasından dolayı HVAC sistemlerinin enerji analizi sadece matematiksel modellemede kalmıştır. Somut ölçümler içeren eden herhangi bir sistem geliştirilmemiştir. Mevcut bina enerji analiz yazılımlarının çıktı ve güvenilirlik testlerinin sadece matematiksel modellemeyle olmasından dolayı en ideal yazılımlarda dahi %3'lük hata payları bulunmaktadır. Hazırlanan tezde bina enerji analiz yazılımlarının hatalarının tespiti ve gerçek zamanlı enerji harcamaları için somut ölçümler yapabilen geri besleme sistemi geliştirilmiştir. Bu kapsamda enerji analizi test panosu ve yazılımı hazırlanarak sistemin uygulanabilirliği gösterilmiştir. Tez içeriğinde HVAC enerji analizleri raporlanarak sistemin gerekliliği sunulmuştur. Geri besleme sisteminin oluşturulabilmesi için gerekli donanımsal ve yazılımsal altyapı hakkında bilgi verilmiştir. Tezin içeriğinde geri besleme sistemine bilgi aktarılacak endüstriyel haberleşme protokolleri araştırma sonuçları sunulmuştur. Böylece; büyük yatırım gerektiren ülkesel çalışmanın tüm fizibilitesi hazırlanmıştır. Aynı zamanda tezde anlatılan sistem gerçek yaşama aktarıldıktan sonra ülkemizde harcanan enerji mercek altına alınabileceği ve sertifikasyon işlemlerindeki güvenilirlik seviyesi artırılabilceği gösterilmiştir. Geri besleme sistemindeki somut ölçümlerle analiz yazılımlarının hatalarının azaltılabileceği ve sistem için gerekli tüm bileşenler açıklanmıştır. Bu sayede disiplinler arası çalışma gerektiren uygulamanın; makina, elektrik, elektronik ve bilgisayar mühendislik alanlarına uygulanabilirliği sunulmuştur. Ortak çalışma gerektiren HVAC sistemlerinde israf edilen enerjinin her disiplinin kendi penceresinden baktığından da kaynaklandığı ve bu israfın önlenmesi için oluşturulacak geri besleme sisteminde her disiplinin ortak çalışma yapması gerekliliği gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] E. Kuru ve Y. Özer, “Bina Enerji Analiz Yazılımlarının HVAC Sistemlerindeki Hatalarını Azaltmak Ve Gerçek Zamanlı Verimlilik Hesabı İçin Geri Besleme Sistemi Geliştirilmesi,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 4, s. 4, ss. 305–316, 2016.
- [2] A. Altundağ, E. Gedik, A. Ergün, K. Arslan, ve R. Ekiciler, “Bir Hastanede Ameliyathane Klima Santrali Isıtma Hattının Ekserji Analizi,” *Makine Teknoloji Elektronik Dergisi*, c. 12, s. 4, ss. 103–114, 2015.
- [3] Ü. Gökhan, “Sürdürülebilir Binalar İçin HVAC Sistemleri Seçimi, Tasarımı ve Enerji Analizi,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [4] M. Fasiuddin and I. Budaiwi, “HVAC system strategies for energy conservation in commercial buildings in Saudi Arabia,” *Energy & Buildings*, vol. 43, no. 12, pp. 3457–3466, 2011.
- [5] M. F. I. Mohd-Nor and M. P. Grant, “Building information modelling (BIM) in the malaysian architecture industry,” *WSEAS Transactions on Environment and Development*, vol. 10, pp. 264–273, 2014.
- [6] H. K. Ozturk, Ö. Atalay ve A. Yılcı, “Yapılarda Kullanılan HVAC Sistemlerinde Kontrol ve Enerji Verimliliği,” *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, c. 90, ss. 69–76, 2005.
- [7] P. May-ostendorp, G. P. Henze, C. D. Corbin, B. Rajagopalan, and C. Felsmann, “Model-predictive control of mixed-mode buildings with rule extraction,” *Building and Environment*, vol. 46, no. 2, pp. 428–437, 2011.
- [8] A. Afram and F. Janabi-sharifi, “Gray-box modeling and validation of residential HVAC system for control system design,” *Applied Energy*, vol. 137, pp. 134–150, 2015.
- [9] K. Esra, “Enerji İşleri Genel Müdürlüğü Aylık Enerji İstatistikleri Raporu,” Enerji Bakanlığı, Türkiye, Rap. 12, 2014.
- [10] A. Gürkan, “Binalarda Enerji Kimlik Belgesi Uygulamaları Raporu,” Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, Türkiye, 2012.

- [11] C. D. Şahin, G. Gökçen, ve Z. Arslan, “Bina Enerji Performansı Simülasyonlarının Geçerliliği: BESTEST Prosedürü,” *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, Türkiye, 2013, ss. 935–945.
- [12] L. Pérez-lombard, J. Ortiz, I. R. Maestre, and J. F. Coronel, “Constructing HVAC energy efficiency indicators,” *Energy & Buildings*, vol. 47, pp. 619–629, 2012.
- [13] G. Escrivá-escrivá, “Basic actions to improve energy efficiency in commercial buildings in operation,” *Energy & Buildings*, vol. 43, pp. 3106–3111, 2011.
- [14] M. Ke, C. Yeh, and J. Jian, “Analysis of building energy consumption parameters and energy savings measurement and verification by applying eQUEST software,” *Energy & Buildings*, vol. 61, pp. 100–107, 2013.
- [15] A. Dombaycı, C. H. Bayrakçı, ve A. E. Özgür, “Konutlarda Soğutma Enerjisi Tüketiminin Farklı Baz Sıcaklıkları İçin Derece Gün Yöntemiyle Tahmini,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Journal of Natural and Applied Sciences*, c. 13, s. 3, ss. 311-314, 2009.
- [16] C. D. Şahin, G. Gökçen, ve Z. Arslan, “Bina Enerji Performansı Simülasyonlarının Geçerliliği: BESTEST (Building Energy Simulation Test) Prosedürü,” *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, Türkiye, 2014, ss. 935–945.
- [17] Ş. Demirbaş ve S. Bayhan, “Güç Sistemlerinde Harmoniklerin Gerçek Zamanlı Ölçüm ve Analizi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 24, s.3, ss. 461–468, 2009.
- [18] A. Tokuç, “Bina Enerji Benzetim Araçları ve Seçim Ölçütleri,” *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 5, s. 3, ss. 19-30, 2009.
- [19] O. S. Asfour and E. S. Alshawaf, “Effect of housing density on energy efficiency of buildings located in hot climates,” *Energy & Buildings*, vol. 91, pp. 131–138, 2015.
- [20] J. A. D. Angulo, J. J. P. Díez, J. A. F. Tevar, and M. R. Heras, “Energetic experimental evaluation of the active systems of the RDB building 70 of the SSP-ARFRISOL,” *Energy & Buildings*, vol. 87, ss. 272–281, 2015.
- [21] S. Yılmaz ve M. Görmemiş, “Enerji Analizörleri İçin Geliştirilen Delphi Tabanlı Bir Enerji İzleme Yazılımı,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim. Dergisi*, c. 12,

s. 3, ss. 359–368, 2006.

[22] R. Bayındır, Ş. Sağıroğlu, İ. Çolak, ve A. Özbilen, “İzlenebilir Elektrik Enerjisi Dağıtım Sistemlerinin Bilgi Güvenliği Açısından Endüstriyel Risklerinin Araştırılması ve Çözüm Önerileri,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 24, s.4, ss. 715–723, 2009.

[23] E. Korkmaz, “Tek Kademeli Bir Derin Kuyu Pompası Karakteristiklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 19, s. 1, ss. 1–8, 2015.

[24] K. Won and G. Sang, “Mechatronics Fieldbus based distributed servo control using LonWorks / IP gateway / web servers,” *Mechatronics*, vol. 20, no. 3, pp. 415–423, 2010.

[25] Anonim, (12 Mart 2017). [Online]. Erişim:

<http://enver.eie.gov.tr/PortalDesign/PortalControls/WebContentGosterim.aspx?Enc=51C9D1B02086EAFB3226180508D2B541>.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Yavuz ÖZER
Doğum Tarihi ve Yeri :1989 Kütahya
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :yvzozr@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2017
Lisans	Bilgisayar ve Kontrol Öğrt.	Marmara Üniversitesi	2013
Lise	Bilgisayar	Kütahya Tic. Mes. Lisesi	2006