



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Bina Enerji Analiz Yazılımlarının HVAC Sistemlerindeki Hatalarını Azaltmak Ve Gerçek Zamanlı Verimlilik Hesabı İçin Geri Besleme Sistemi Geliştirilmesi

Ersen KURU^{*}, Yavuz ÖZER

Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

** Sorumlu yazarın e-posta adresi: ersenkuru@duzce.edu.tr*

ÖZET

Geçmişte HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) sistemlerinin altyapı ve teknik yeterliliklerinin konfigürasyonu sorundu. Gelişen mekanik, elektrik-elektronik ve bilgisayar teknolojisiyle bu sorunların yerini daha verimli nasıl kullanılabileceği sorusu yer almıştır. Bu tür sistemleri verimli kullanabilmemiz için de mutlaka somut ölçümler yapılmalıdır. Çünkü ölçemediğimiz durumları verimli yönetmemiz söz konusu olamaz. Bina enerji hesaplama yazılımları tasarım aşamasında fikir vermesi için oldukça büyük öneme sahiptir. Fakat geri besleme olarak herhangi bir somut ölçümsel denetim mekanizmaları bulunmamaktadır. Bina otomasyonu, özellikle de HVAC sistemlerinin verimlilik düzeylerinin denetlenmesi için mutlaka geri beslemesi bulunan sistemlerden bilgi alınması gerekmektedir. Bu çalışmada mevcut HVAC otomasyon sistemlerinin enerji verimlilikleri güvenilirlik düzeyleri ve denetim mekanizmalarının güçlendirilmesi için yapılması gereken geri besleme sistemleri hakkında çalışmalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: HVAC enerji analizi, Bina enerji performansı, Yeşil bina sertifikası, Bina simülasyon yazılımları geçerlilik düzeyleri, BESTEST, Gerçek zamanlı verimlilik

Feedback System Development For Reducing Building Energy Analysis Software Errors On HVAC Systems And Real Time Efficiency Calculation

ABSTRACT

In the past, the substructure and technical sufficiency configuration of the HVAC systems was a matter. With the development of mechanic, electrical and computer technology, now it is the question how it can be used efficiently. In order to use these kind of systems efficiently, concrete measurements must be done because it is not possible to direct the circumstances that we cannot measure. Building energy counting software have a great importance for giving ideas at the stage of design. Yet, as feedback, there are no concrete controlling and measuring mechanisms. It is necessary to get information from the systems that have feedback in order to control the efficiency levels of building automation especially of the HVAC systems. In this study, there are studies about what to do in order to strengthen the energy efficiency and reliance levels of the current HVAC

automation systems with the aim of making feedback systems.

Keywords: HVAC energy analysis, Building energy performance, Green building certification, Building simulation software validation levels, BESTEST, Real time efficiency

I. GİRİŞ

GÜN GEÇTİKÇE artan enerji ihtiyaçlarına alternatif kaynaklar aranmaktadır. Kullanılan enerji sarfiyatını daha ekonomik elde etmek için rüzgar, 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.

HVAC sistemlerinin kurulumundan önce bina enerji simülasyon yazılımlarıyla enerji sarfiyat değerleri hesaplanmaktadır. Bu sayede binaya seçilen HVAC bileşenleri kurulmadan önce harcanacak enerji değerleri tahmin edilebilmektedir. 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 yapılabilmektedir. 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. Bu değerlerin telafisi de ancak simülasyon yazılımlarının daha başarılı hale gelip, hata paylarının azaltılmasıyla mümkün olacaktır.

Hazırlanan çalışmanın ikinci bölümde HVAC sistemlerinin genel yapısı, harcanan enerji değerleri ve bu sistemlerin enerji harcama payları hakkında genel bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde bina enerji analiz yazılımlarının avantajları, dezavantajları ve verimlilik düzeyleri hakkındaki araştırma sonuçları bildirilmiştir. Dördüncü bölümde çalışmanın ana teması olan tasarlanması gereken geri besleme sistemi tanıtımı yapılmıştır. Son bölümde ise sonuç başlığıyla HVAC tasarım-denetimlerine yeni bir bakış açısı getiren çalışmanın neticeleri irdelenmiştir.

II. HVAC NEDİR?

HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) sistemleri ısıtma, soğutma ve iklimlendirme sistemlerinde kullanılan konfor ortamı sağlama kontrolörlere sahiptir. Hastane, okul, alışveriş merkezleri hatta veri merkezlerinde yoğunlukla kullanılmaktadır.

İnsan bedeni için havanın önemi oldukça açık olduğu gibi HVAC sistemlerinin de önemi aşikârdır. Özellikle günümüzdeki şehir hayatında yasal mesai saati süresinde haftanın 45 saati kapalı ortamda çalışılmakta, günlük ortalama 1 saat servis kullanıldığı ve günlük 8 saat de şahsi konutlarda vakit geçirildiği düşünülürse zamanımızın %63'ünü doğal hava atmosferi dışında geçirmekteyiz. Yani iş, araç ve konutlarımızda geçirdiğimiz zaman referans alınırsa yaşamımızın yarısından fazlasında HVAC sistemlerini kullanmaktayız.

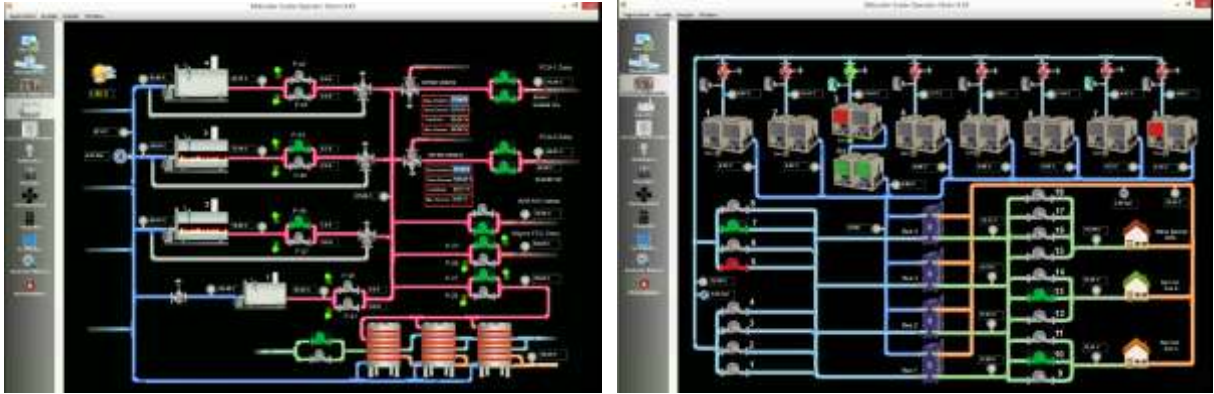
A. HVAC BİLEŞENLERİ

HVAC sistemlerinin genel mimarisini ekipmanlar, alt sistemler ve servisler olmak üzere 3 bölüme ayırabiliriz [1]. Servisler HVAC sisteminin 3 temel yapıtaşı olan ısıtma, soğutma ve havalandırma birimlerinden oluşur [2]. Havalandırma işlemi alt sistemleri hava ve su transferi yapılarak gerçekleştirilir. Ekipmanlar HVAC sisteminin temel gereksinimlerini sağlamaktadır.

Kontrol katmanları da 3 aşamadan oluşturulur. En üst katmanda operatör kullanıcı yer alır. Operatör kullanıcı SCADA üzerinden referans değerlerini ve kullanım zaman aralıklarını yapılandırmaktadır. Diğer katmanlarda ise kontrolör cihazları ve kontrol edilen HVAC saha elemanları bulunmaktadır.

PLC(Programmable Logic Controller) ve RTU(Remote Terminal Unit) ürünlerinde cihaz üzerinden kontrol yapılabilir. RIO(Remote Input Output) sistemlerinde kontrol tamamen bilgisayarlar tarafından yapılır. Kontrol edilen saha birimlerini ise kontaktörler, sürücüler, oransal vanalar, kazan ve santrifüj soğutucu sistemleri oluşturmaktadır.

Isıtma sistemlerinin temel bileşenlerini kazan ve pompalar oluşturmaktadır. Kazan çıkışlarına eklenen pompalar ile kazan çıkış sıcaklığı blok pompalarına iletilir. Blok pompalarıyla da ilgili zonlara sıcak su sirkülasyonu yapılmış olacaktır. Soğutma işlemi ısıtma işleminde olduğu gibi genelde su ile yapılmaktadır. Santrifüj soğutma olarak da adlandırılan chiller sistemleriyle su soğutularak ilgili bölümlere soğuk su iletimi ve sirkülasyonu yapılmaktadır. Santrifüj soğutma sistemlerinde 12 C civarında servislerden gelen su 5 C düşürülerek 7 C olarak pompalar yardımıyla tekrar servislere gönderilir. Bu sirkülasyon sayesinde konfor değeri sağlanır.



Şekil 1. HVAC SCADA Ekranları

SCADA sistemleri HVAC otomasyonun çalışma durumlarını yapılandırır ve arıza durumlarında acil müdahalede bulunma imkânı sunmaktadır. Operatör kullanıcı ile saha ekipmanları arasında köprü vazifesi görmektedir. Özellikle HVAC sistemlerinin büyük olduğu binalarda ekipmanlara hâkimiyet SCADA ara yüzü ile sağlanmaktadır. Yoksa her gün çalışma saati geldiğinde açıp, geçtiğinde kapama gibi işlemler elle yapılacaktır. Hem iş gücü hem de HVAC sistemlerinin kontrolü açısından SCADA sistemleri yüksek öneme sahiptir. Gelişen mobil teknolojiler sayesinde tüm HVAC sistemi cep telefonundan dahi kontrol edilebilmektedir.

HVAC bileşenlerinin optimum halde çalışması için disiplinler arası çalışma yapmak gerekmektedir. Sistemin ilk tasarımında mimar ve makine mühendisleriyle başlayıp elektrik, kontrol ve bilgisayar mühendisliğine kadar çalışma alanları bulunmaktadır.

B. HVAC ENERJİ TÜKETİMİ

Bina enerji sarfiyatında en büyük paya HVAC sistem bileşenleri sahiptir. HAP (Hourly Analysis Program) enerji analizi yazılımı simülasyon 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 tablo 1'de belirtilmiştir. [3]

Tablo 1. Bina Enerji Analiz Tablosu

Bileşen	(%)
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
Genel Toplam	100

HVAC sistemlerinin enerji ihtiyaçları başta elektrik olmak üzere yer altı yakıtları (doğal gaz, fuel-oil,kömür) gibi enerji kaynaklarıyla sağlanmaktadır [4].

HVAC sistemlerinin karakteristik yapısından dolayı ülkemizdeki enerjinin önemli bir bölümü bu sistemlerce harcanmaktadır. HVAC sistemleri kurulurken disiplinler arası çalışma yapıldığı için de her disiplin kendi penceresinden bakarak tasarım yapmaktadır. Örneğin; mimari tasarımlarda çoğunlukla öncelik estetik biçimlendirmeye ayrılmaktadır [5]. Hâlbuki doğru HVAC seçimi ve kontrolü ile bu sistemlerde %30'a varan enerji tasarrufu sağlamaktadır [6]. Doğru HVAC seçimi de profesyonel veri madeni işlemeçiliği ile mümkün olmaktadır [7].

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 [8]. Ayrıca HVAC sistemleri sadece günlük yaşam alanları olan bina ve araçlarda da kullanılmamaktadır. Askeri ve afet yardım çadırlarında da kullanılmaktadır [9]. Bu şartlardaki HVAC sistemlerinin verimlilik önemi normal şartlara göre daha fazla artmaktadır.

III. ENERJİ ANALİZ YAZILIMLARI

Enerji analiz yazılımları binaların tasarımı sırasında harcanabilecek enerji, kurulması gereken HVAC sistem büyüklük konfigürasyon bilgilerini hesaplayan yazılımlardır. Tasarlanacak HVAC sistemi binasındaki kapalı alan miktarı, binanın iklimsel konumu, kuzey-güney cephe alanları, ısı yalıtım bilgileri ve bina kullanım amaçları belirtilerek hesaplama yapılır.

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[10]. 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 yazılımlarla da kullanılabilir [11-12].

Bina enerji tüketimlerini düzenlemek ve denetlemek için çoğu ülke kendi yönetmeliklerini oluşturmuştur [13]. Çünkü enerji sarfiyatı fazla olduğu için bina enerji harcamalarının mutlaka denetim altında olması gerekmektedir.

Türkiye’de en çok kullanılan enerji analiz yazılımları aşağıdaki gibidir:

1. BEP-TR; 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.

2. 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.

3. HAP; enerji analiz yazılımı açık kaynak kodlu değildir. Yani yazılımın geliştirilmesi veya yeni özellikler eklenmesi tamamen Carrier firmasına aittir. Energyplus’a göre en büyük avantajının kullanıcı dostu ara yüzü olarak kabul edilebilir.

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, ECOTECT, 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 [8-14].

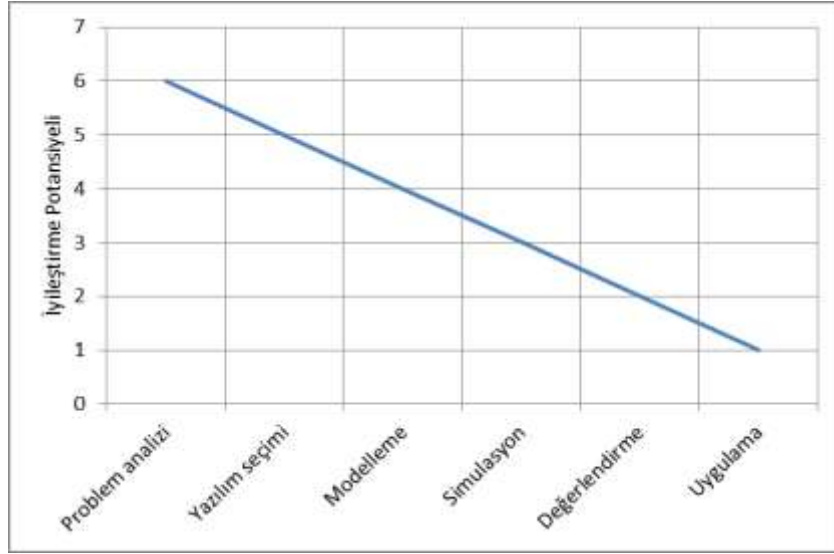
A. ENERJİ ANALİZ YAZILIMLARI AVANTAJLARI

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

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 imkânı sağlamaktadır. 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 [15].

Enerji analiz yazılımlarının sağladığı en büyük yararlardan biri de olası hataları başlangıçta tespit etmektir. Hataların giderilme potansiyeli ise yazılım seçiminde maksimum seviyelerde olup, tasarım

sonucuna minimuma inmektedir. Hatta sistemi devreye aldıktan sonra geri dönüşü mümkün olamayacak seviyede hatalarla karşılaşılabilir.



Şekil 2. HVAC sistemlerindeki hataların iyileştirme potansiyeli ekranları

B. ENERJİ ANALİZ YAZILIMLARI DEZAVANTAJLARI

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 elektrik enerjisi harcamıştır [16]. Bu değer ortalama 5.462.617 MWh bölümü bina-konut enerji sarfiyatında kullanılmıştır. 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 santralının aylık üretiminin çeyreğine tekabül etmektedir.

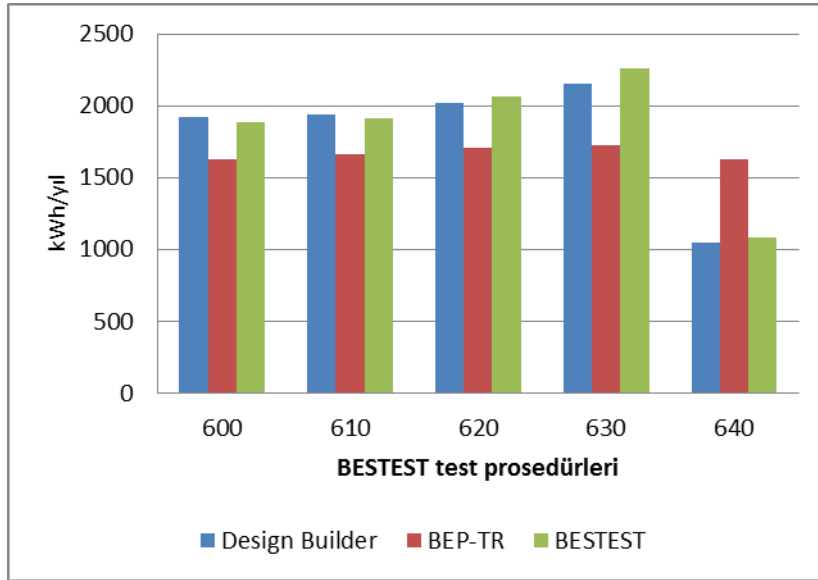
Bina enerji simülasyonu yazılımlarının hesaplama hassasiyeti, bina enerji sınıflarının belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir. Yanlış hesaplamalar bina enerji sınıfının yanlış belirlenmesine yol açabilir. Ülkemizdeki enerji kimlik belgesi hazırlama referans yazılımı olan BEP-TR adlı programın yeterliliği ve doğruluğu tartışma konusu olmuştur. Sektör tarafından yapılan araştırmalar sonucunda yazılımın ürettiği verilerin son derece tartışmalı ve yanıltıcı olduğu ifade edilmiştir [17].

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 metodlar geliştirilmiştir. Fakat günümüzde bu hataları anlık olarak ortak bir havuzda toplayan veri tabanı bulunmamaktadır.

C. ENERJİ ANALİZ YAZILIMLARI GEÇERLİLİK DÜZEYLERİ

Analiz yazılımlarında doğruluk karakteristikleri alınan referans metotlara göre ölçülmektedir. Enerji analiz yazılımlarında geçerlilik tespiti oldukça zordur.

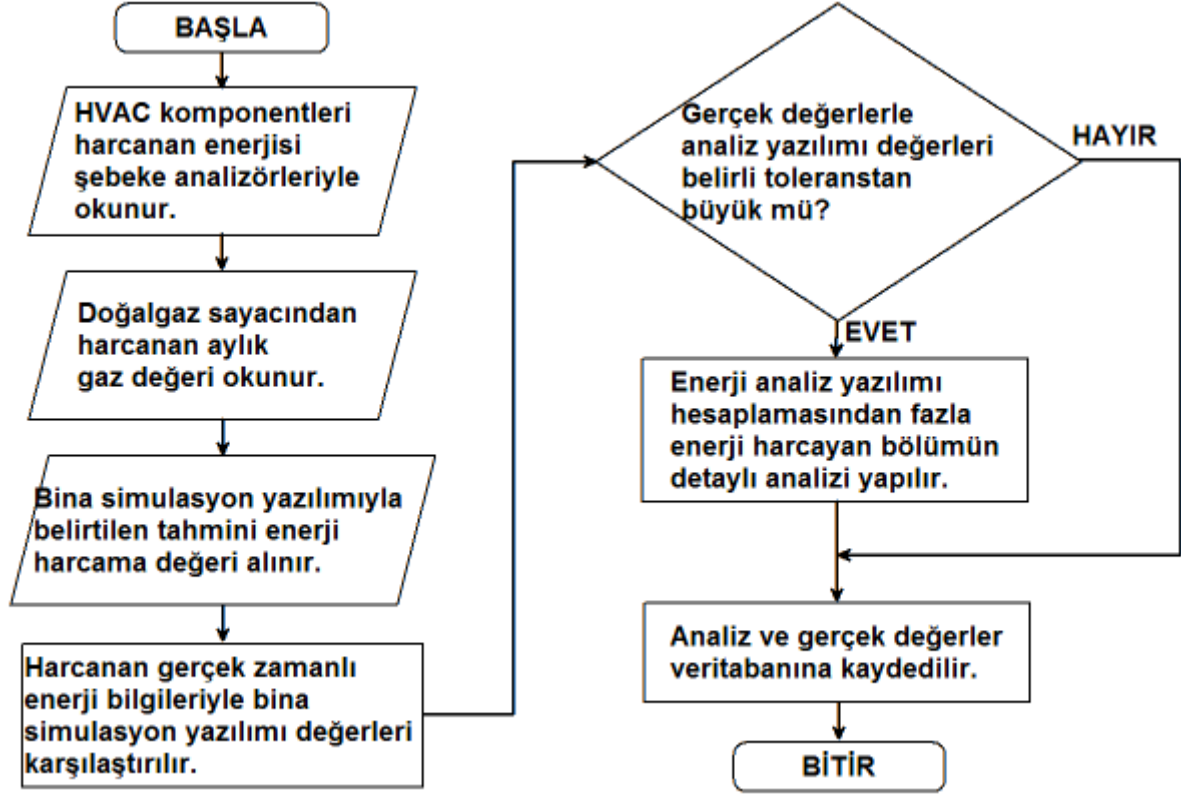
Enerji analiz yazılımlarındaki metodolojiler ancak ve ancak doğrulanmalarıyla geçerlilik kazanırlar. Bu amaçla geliştirilen ve en yaygın olarak kullanılan yöntem BESTEST (Building Energy Simulation Test) prosedürüdür. BESTEST, bina enerji simülasyon programlarının test edilmesi ve hata kaynaklarının teşhis edilmesi amacıyla kullanılan bir test yöntemidir. BESTEST prosedürü International Energy Agency (IEA) tarafından 1995 yılında geliştirilmiş bir metottur ve daha sonra ASHRAE 140 Standardı'nın geliştirilmesinde de kullanılmıştır [18]. 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 7'de 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 [19].



Şekil 3. BESTEST Düşük Isıl Kütle Test Karşılaştırması

IV. ENERJİ ANALİZ YAZILIMLARI GERİ BESLEME SİSTEMİ

Binalara eklenecek geri besleme sisteminin akış diyagramı aşağıda gösterilmiştir. Yapılacak bu sistem sayesinde 10 başlıkta incelenen sonuçlar elde edilecektir.



Şekil 4. Geri Besleme Akış Diyagramı

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. Binadan alınan değerler olumlu ise örnek teşkil etmesi açısından veri tabanından diğer kullanıcılara bildirilecektir.

Oluşturulan enerji bilgi raporları sayesinde çıktının olumlu ya da olumsuz durumları verimlilik için önem arz etmektedir. Ülke çapında yaygınlaştırılacak geri besleme sayesinde önümüzdeki beş yıl sonra HVAC enerji analiz yazılımlarının hatalarının azaltılması hedeflenmektedir.

Aşağıda açıklanan 10 madde için bina enerji analiz yazılımlarına geri besleme sistemi eklenmesi gerekmektedir.

A. GERÇEK ZAMANLI VERİMLİLİK

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 [20]. 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.

HVAC sistemleri tasarım esnasında her ne kadar ideal yapılsa da konuda uzman olmayan teknisyenler tarafından kontrol edildiğinde verimsizleşebilmektedir [21]. Bu tür durumların tespiti için de binadan gerçek zamanlı değerlerin alınması gerekmektedir.

B. YAZILIM GÜVENİLİRLİKLERİ TESTİ

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 [22]. Bina analiz yazılımlarının hesaplama metodları farklı olduğu için gerçek enerji harcaması referans alınarak yazılımların farkları çıkartılmalıdır [23].

C. ENERJİ SARFIYATI VERİ TABANI

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 [20].

D. SİMÜLASYON TASARIM KLAVUZU

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 [24].

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. [25].

Tasarlanacak HVAC sisteminin benzerleri incelenerek yakıt seçimi gibi opsiyonlar bulunmalıdır [26]. Bunun için aynı bölgede yapılan bina türüne göre harcanan enerji değerlerini karşılaştırabilecek altyapı olması gerekir [27]. Bu sayede binanın dikey-yatay, kare-dikdörtgen ve hatta renk seçenekleri gibi tasarımlar yapıldığında oluşan enerji sarfiyatını farklı açılardan inceleme imkânı oluşacaktır.

E. KATMANSAL ENERJİ HARCAMALARI

HVAC sistemleri enerji sarfiyatı piramidine göre enerji harcamaları 4 farklı katmanda değerlendirilmektedir. Bunlar global, servisler, alt sistemler ve ekipmanlardır[28]. 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 ulaşılabilmeli gerekir [29].

F. ENERJİ SARFIYAT DEĞERLERİNİN ZAMANAŞIMI DENETİMİ

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 bulunmamaktadır. Fakat pratikteki denetimi oldukça zor olduğu için sertifikasyon güncellemeleri eksik kalmaktadır [20]. 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.

G. GÜNCELLEMELERİN DENETİMİ

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[7]. Farklı ülkelerde farklı metotlarla yapılan revize işlemlerinin sonuçlarını nesilden nesile 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.

H. GELİŞMİŞ ENERJİ 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 [24].

Günümüzde elektrik şebekelerinin genişlemesi ve çok sayıda cihazın yanında bir çok tüketiciyi de içermesi harcanan enerjiyi izlemenin önemini arttırmaktadır[30].

I. DETAYLI FATURALANDIRMA

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.

J. BULANIK KONTROL DENETİMİ

Geri besleme sayesinde oluşan hatalı ve olumlu durumlar girdileriyle birlikte sisteme tanıtılacaktır. Yapay zeka ile tecrübe sahibi ve insan gibi düşünebilen bir sistem tasarlanabilecektir.

V. SONUÇ

Özellikle son yarım asırda artan enerji ihtiyacına insanoğlu gün geçtikçe alternatif kaynaklar aramaktadır. Hâlbuki sorunun temelinde gereksiz enerji sarfiyatı olduğu için sorunu buradan irdelemek gerekir. Çünkü altı delik olan bir havuzu doldurmak için üzerine devamlı su takviyesinden ziyade altındaki deliği kapatmak gerekmektedir. Bu bağlamda özellikle elektrik enerjisinin önemli bölümünü doğalgaz ile karşılayan ve doğalgazın da ithal edildiği ülkemizde enerji israfını önleyip, enerji sarfiyatlarımızı optimum harcama seviyesine indirmeliyiz. Resimdeki çözünürlük arttıkça resmin kalitesi arttığı gibi biz de optimum enerji sarfiyatını sağlamak için enerji harcama bilgilerinin çözünürlüğünü arttırmamız gerekmektedir. Çözünürlüğü artırılmış verilerdeki hatalı durumları çözüp, bu durumların tekrar oluşmaması için otomatik kontrol, otomatik kontrol için de geri besleme özelliği olan sistemler geliştirilmek zorundayız. Ülke çapında oluşturulacak enerji geri besleme sistemi sayesinde enerji sarfiyatı mikroskobik açıdan incelenip net çözümler oluşturulmalıdır. Oluşturulması gereken sistemin ilk devreye alma maliyeti yüksek olmayıp, zaten halihazırdaki binalarda veri alınacak çoğu ekipman bulunmaktadır. Yapılacak iş ise sadece bu verilerin sağlıklı bir şekilde merkezi veri tabanında biriktirilip incelenmesi gerekmektedir. İşletmeler için küçük fakat bu küçük enerji israfları tespit edilip bakanlık statüsünde yaptırımlar getirilmelidir. Bu sayede hem işletme daha verimli enerji harcaması yapacak, hem de devletimizin dışa bağımlılığı azalmış olacaktır. Hayati öneme sahip proje gerçek hayattaki uygulanabilirliği araştırıldı ve akademik literatür taraması yapılmıştır. Projeye engel teşkil edecek herhangi bir sorun bulunmamıştır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2015.06.06.306 Proje Başlığı: Ticari Binaların Enerji Verimliliği Bakımından İncelenmesi)

V. KAYNAKLAR

- [1] J. Cho, S. Shin, J. Kim, H. Hong (2014) DOI: **10.1016/j.optcom.2010.04.035**.
- [2] L. Lombard, J. Ortiz, I. Maestrec, J. Coronel (2012) DOI: **10.1016/j.enbuild.2011.12.039**.
- [3] G. Ünlü, *Sürdürülebilir binalar için HVAC sistemleri seçimi, tasarımı ve enerji analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara-Türkiye, (2010).
- [4] H. A. Gabbar, F. Musharavati, S. Pokharel (2014) DOI: **10.1016/j.egypro.2014.12.430**.
- [5] G. Harputlugil *Megaron* **6(1)** (2011) 1-12.
- [6] M. Fasiuddin, I. Budaiwi (2011) DOI: **10.1016/j.enbuild.2011.09.004**
- [7] B.P. Pitt, *Applications of data mining techniques to electric load profiling*, Doktora Tezi, Manchester Üniversitesi, Manchester-İngiltere, (2000).
- [8] C. Dullinger, W. Struckl, M. Kozek (2015) DOI: **10.1016/j.applthermaleng.2014.11.065**.
- [9] C.P. Quagliaa, N. Yu, A.P. Thrall, S. Paolucci (2014) DOI: **10.1016/j.enbuild.2014.07.063**.
- [10] J.A. Orosaa, A.C. Oliveira (2011) DOI: **10.1016/j.advengsoft.2011.05.028**.
- [11] P.M. Ostendorp, G.P. Henze, C.D. Corbin, B. Rajagopalan, C. Felsmann (2011) DOI: **10.1016/j.buildenv.2010.08.004**.
- [12] A. Afram, F. Sharifi (2015) DOI: **10.1016/j.apenergy.2014.10.026**.
- [13] L. Lombard, J. Ortiz, J. Coronel, R.I. Maestre (2011) DOI: **10.1016/j.enbuild.2010.10.025**.
- [14] D. Crawley, J. Hand, M. Kummert, B. Griffith (2008) DOI: **10.1016/j.buildenv.2006.10.027**.
- [15] M.A. Aktacir, B.Yenigün, E.Yaka, *Bina enerji yazılımları ve soğutma yükü hesabı için WEB tabanlı bir yazılım*, **1. Ulusal İklimlendirme Soğutma Eğitimi Sempozyumu**, Balıkesir-Türkiye, (2012).
- [16] E. Karakiş, *Enerji Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü aylık enerji istatistikleri raporu*, (2014).
- [17] Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, *Binalarda enerji kimlik belgesi uygulamaları raporu*, (2012).
- [18] C.D. Şahin, G. Gökçe, Z.D. Arslan, *Bina enerji performansı simülasyonlarının geçerliliği: bestest prosedürü*, **11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi**, İzmir-Türkiye, (2013) 935.
- [19] G.G. Akkurt, C.D. Şahin, S. Takan, Z.D. Arsan *TTMD Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi* **88** (2013) 23.
- [20] L. P. Lombard, J. Ortiz, I. Maestre, F. Coronel (2012) DOI: **10.1016/j.enbuild.2011.12.039**.
- [21] G. Escriva (2011) DOI: **10.1016/j.enbuild.2011.08.006**.
- [22] T.M. Ke, H.C. Yeh, J.T. Jian (2013) DOI: **10.1016/j.enbuild.2013.02.012**.
- [23] A. Dombaycı, H. Bayrakçı, A. Özgür *Süleyman Demirel Üniversitesi Journal of Naturel and Applied Sciences*, **13(3)** (2009) 301.
- [24] Ş. Demirbaş, S. Bayhan *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* **24(3)** (2009) 461.
- [25] A. Tokuç *DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* **5(3)** (2009) 20.
- [26] A. Avgelis, A.M. Papadopoulos (2009) DOI: **10.1016/j.enbuild.2009.02.011**.
- [27] O.S. Asfour, E.S. Alsthawaf (2015) DOI: **10.1016/j.enbuild.2015.01.030**.
- [28] J.A. Angulo, J.J. Díez, J.A. Tevar, M.R. Heras (2015) DOI: **10.1016/j.enbuild.2014.09.062**.
- [29] N.A. Sadeghifam, M.S. Zahraee, M.M. Meynagh, I.Kiani (2015) DOI: **10.1016/j.enbuild.2014.10.052**.
- [30] S. Yılmaz, M. Görmemiş *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* **12(3)** (2006) 359.