

Sürekli Hal Bina Enerji Analiz Yöntemleri

Sadık ERDOĞAN
Mehmet YILMAZ
Şendoğan KARAGÖZ
Süleyman KARSLI

ÖZET

Enerji konusu binaların dizaynı ve kullanımında önemli bir rol oynamaktadır. Binaların dizayn ve kullanımında alınacak dikkatli uzun dönem kararları binaların performansını önemli ölçüde iyileştirebilir ve böylece enerji tüketimlerini azaltabilir. Alternatif bina dizayn stratejileri, standartlara uygunluk ve ekonomik optimizasyon mevcut enerji analiz tekniklerini kullanarak değerlendirilebilir. Bina enerji analiz yöntemleri sürekli hal ve dinamik yöntemler olarak sınıflandırılabilir. Bu makalede sürekli hal bina enerji analiz yöntemleri anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bina Enerji Analizi, Sürekli Hal Yöntemleri, Dinamik Yöntemler

1. Giriş

Bina enerji analiz (BEA) yöntemleri 1960'ların sonlarında ve 1970'lerin başlarında ortaya çıkmış, binalar ve binalarda kullanılan HVAC sistemlerinin tasarımında gittikçe artan bir rol oynamıştır. Bu yöntemler gittikçe çok geniş tabanlı kullanıcılar tarafından kullanılmış, ekonomik açıdan etkin tekniklerin geliştirilmesiyle birlikte karar alma sürecinde enerji analizinin uygulaması standart uygulama olmaya başlamıştır.

Bu makalede bina enerji analiz yöntemleri sınıflandırılmış ve sürekli hal bina enerji analiz yöntemleri hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir.

2. Bina Enerji Analiz Yöntemleri

Bina enerji analizini yapmak için birçok BEA yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemler modelleme yaklaşımı, yöntemin kompleks olma derecesi ve sürekli olup olmamasına göre sınıflandırılabilir. Çizelge 1 BEA yöntemlerinin sınıflandırılmasını vermektedir.

2.1. Modelleme Yaklaşımına Göre Sınıflandırma

Matematiksel model bir sistemin davranışının tanımlanmasıdır. Giriş değişkenleri, sistem yapısı ve parametreleri/özellikleri ve çıkış değişkenleri olmak üzere üç elemandan oluşur. Matematiksel modelleme, giriş değişkenleri ve sistem yapısı ve parametreleri/özellikleri bilin-

Abstract:

The energy issue plays an important role in the design and operation of buildings. Careful long-term decisions in the design and operation of buildings can significantly improve their thermal performance and thus reduce their consumption of energy. Alternative building design strategies, standards compliance and economic optimization can be evaluated using available energy analysis techniques. Building energy analysis methods can be classified as steady-state and dynamic methods. This paper reviews steady-state building energy analysis methods.

Key Words:

Building Energy Analysis, Steady-State Methods, Dynamic Methods

Makale**Çizelge 1. Bina enerji analiz yöntemlerinin sınıflandırılması**

Sınıflandırma Ölçütü	Sınıflandırma
Modelleme Yaklaşımı	Klasik yöntemler Data-temelli yöntemler
Yöntemin Kompleksliliği	Tek ölçümlü yöntemler Basitleştirilmiş çok ölçümlü yöntemler Ayrıntılı çok ölçümlü yöntemler
Sürekli Olup Olmaması	Sürekli hal yöntemleri Dinamik yöntemler

diğinde çıkış değişkenlerini belirlemeyi içerir. Klasik yaklaşım (forward approach) ve data-temelli yaklaşım (data-driven approach) olmak üzere iki ayrı tip modelleme yaklaşımı bulunmaktadır [1].

Klasik yaklaşımda amaç bilinen bir yapı ve bilinen parametrelere sahip özel bir modelin çıkış değişkenlerini hesaplamaktır. Bu yaklaşımın temel avantajı davranışını belirlemek için sistemin fiziksel olarak inşa edilmesini gerektirmemesidir. Bu nedenle bu yaklaşım ilk dizayn ve analiz aşamasında idealdir ve yaygın olarak kullanılır.

Data-temelli yaklaşımda giriş ve çıkış değişkenleri bilinir ve ölçülür. Amaç sistemin matematiksel tanımlanmasını belirlemek ve sistem parametrelerini hesaplamaktır. Bu yaklaşımda sistem hali hazırda inşa edilmiş ve modelin geliştirilmesi ve/veya tanımlanması için gerçek performans datası mevcut bulunmaktadır. Data-temelli yaklaşım temel tanımlama ve iyileştirme, yenileştirme tasarruflarını hesaplamak için mevcut binaların enerji kullanımını modellemek amacıyla kullanılırlar [1].

2.2. Yöntemin Kompleksliliğine Göre Sınıflandırma

BEA yöntemleri yöntemin kompleksliliğine göre genel olarak “tek ölçümlü yöntemler”, “basitleştirilmiş çok ölçümlü yöntemler” ve “ayrıntılı çok ölçümlü yöntemler” olmak üzere üçe ayrılır (Çizelge 1).

Tek ölçümlü yöntemler manüel yöntemlerdir. Bu yöntemde yıllık ya da mevsimsel enerji kullanımı gibi tek bir enerji kullanım değeri hesaplanır. Bu yöntemler arasında derece-gün yöntemi, düzeltilmiş

derece-gün yöntemi, değişen taban sıcaklığına göre derece-gün yöntemi ve eşdeğer tam yük saati yöntemi gibi yöntemler bulunmaktadır. Tek ölçümlü yöntemler genel varsayımlardan yola çıktığı için yeterince kesin ve güvenilir değildir. Bu yöntemler, uzun dönem ortalama hava datasını kullanan sürekli hal yöntemlerine dayanırlar ve bu nedenle sadece basit bina ve uygulamalar için uygundur. Yeniden ısıtma, karıştırma kutuları kullanan HVAC sistemleri ve bireysel oda kontrolü sağlayan diğer merkezi HVAC ekipmanlarının enerji gereksinimlerini hesaplayamazlar [2, 3].

Basitleştirilmiş çok ölçümlü yöntemler, enerji kullanımını hesaplamalarını birkaç farklı koşul dikkate alınarak yaparlar. Bu yöntemler arasında bin yöntemi, düzeltilmiş bin yöntemi ve grafik yöntemler gibi yöntemler bulunmaktadır. Basitleştirilmiş çok ölçümlü yöntemler özel çalışma koşulları altında tekrarlanan saat sayısı gibi yükün bağlı olduğu çok sayıda değişkeni içerdikleri için gelişmiş bir doğruluğa sahiptirler. Basitleştirilmiş çok ölçümlü yöntemler basittir, başlangıç niteliğindeki enerji kullanım ve çalıştırma maliyetlerinin belirlenmesinde yararlı olabilirler ancak ayrıntılı ve çok ölçümlü yöntemlerin kesinlik ve inceliğine ulaşamazlar [2, 3].

Ayrıntılı çok ölçümlü yöntemler, genellikle bir yıllık süre boyunca bir analiz periyodu süresince her saat başında enerji dengesi hesaplamasını içerirler. Saatlik data değişimlerini hesaba katan bu geçici yöntemler daha doğrudurlar ancak kullanımlarında daha ayrıntılı girdiler gerektirirler. Ayrıntılı çok ölçümlü yöntemler “azaltılmış saat başı yöntemi” ve “8760 saat başı yöntemi” olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir. Azaltılmış saat başı yönteminde genel olarak bir ayın ortalama hava koşullarının 24 saatlik bir profili çıkartılır. Enerji simülasyonları bu ortalama profile göre yapılır ve sonuçlar ayın günleriyle çarpılarak aylık toplam enerji kullanımı bulunur. Azaltılmış saat başı yönteminin temel ilkesi, her ayın normalden daha sıcak ve soğuk günleri için bulunacak bina ve cihaz değerlerinin, normalin üzerinde olacağı varsayımına dayanır. Bu nedenle ortalama hava değerlerini kullanarak yapılacak birkaç günlük simülasyonlarla aylık enerji kullanımı kesin olarak

bulunabilir. Bu yöntemle hesaplama süresi azaltılmış ve bilgisayar belleği ve donanımın depolama alanı zorlanmamış olur. 8760 saat başı yönteminde ise bina ve cihazların çalışması, birbirini izleyen günlere ve gerçek hava verilerine göre yılın 8670 saati için hesaplanır. Bu yöntemde enerji kullanımı miktarı ve saatine ilişkin kesin ve ayrıntılı veriler bulmak için yüksek kalitede veriler kullanılmakta ve kesin bir çalıştırma maliyeti hesaplanabilmektedir [2, 3].

2.3. Yöntemin Sürekli Olup Olmamasına Göre Sınıflandırma

BEA yöntemleri ayrıca “sürekli hal yöntemleri” ve “dinamik yöntemler” olarak iki temel kategoriye ayrılmaktadır (Çizelge 1).

Sürekli hal yöntemleri kısa dönem sıcaklık değişimlerine neden olan ısı kütle etkilerini dikkate almaz. Genel olarak bu modeller saatlik, günlük veya haftalık data için uygundur ve çoğunlukla temel model geliştirilmesi için kullanılırlar. Sürekli hal yöntemleri daha az veri gerektirir ve basit sistemler ve uygulamaları için yeterli sonuçlar sağlarlar. Sürekli hal yöntemleri basit lineer regresyon, çok değişkenli lineer regresyon, bin yöntemi, data-temelli bin yöntemi, değişken noktalı modeller ve düzeltilmiş bin yönteminden oluşmaktadır.

Dinamik yöntemler bina ısınma veya soğuma periyotları ve maksimum yükler gibi etkileri dikkate alır ve bina yük kontrolü, arıza belirleme ve teşhisi ve ekipman kontrolü için uygundur. Binalarda enerji transferlerinin tahmin edilmesi için kullanılan birçok yöntem sürekli hal veya sürekli-periyodik hal ısı transferine dayanmaktadır. Isıl kütle önemli olduğu veya değişken saatlik iklim koşulları ve enerji programlarının hesaba katılmasının gerektiği yerlerde ve her ikisinin hesaba katılmasının gerektiği yerlerde geçici etkiyi dikkate alan dinamik yöntemler kullanılır [5, 7]. Dinamik yöntemler ise ısı ağ, yanıt faktörleri, Fourier seri analizi, ARMA (Auto-Regressive Moving Average) modeli, PSTAR (Primary and Secondary Terms Analysis and Renormalization), modal analiz, diferansiyel denklem, bilgisayar simülasyonu, bilgisayar emülasyonu ve yapay sinir ağlarını içermektedir [1].

Bu makalede sürekli hal bina enerji analiz yöntemleri tanıtılmıştır.

3. Sürekli Hal Bina Enerji Analiz Yöntemleri

Sürekli hal yöntemleri kendi aralarında klasik sürekli hal yöntemleri ve data-temelli sürekli hal yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Çizelge 2’de sürekli hal yöntemleri ve karakteristikleri toplu olarak verilmiştir. Sürekli hal yöntemleri daha az veri gerektirir ve basit sistemler ve uygulamaları için yeterli sonuçlar sağlarlar. Bu yöntemler binanın kullanımını sabit kabul edilebiliyorsa uygun olmaktadır [4].

4. Klasik Sürekli Hal Yöntemleri

4.1. Derece-Gün Yöntemi

Derece-gün yöntemi, farklı yerlerdeki belirli binaların aylık ve yıllık soğutma ve ısıtma gereksinimlerini hesaplamak için 1920’lerin sonlarında geliştirilmiş iyi tasarlanmış bir yöntemdir. Bu yöntem, bir bina için enerji gereksinimlerinin günlük ortalama dış ortam sıcaklığı ve taban sıcaklığı arasındaki fark ile orantılı olduğunu varsaymaktadır. Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme cihazlarının verimleri ve binanın kullandığı enerji miktarı sabit olduğu durumlarda derece-gün yöntemi kullanılabilir.

Isıtma için derece-gün $DD_h (T_{den})$ şu şekilde tanımlanmaktadır [1]:

$$DD_h(T_{den}) = \sum_{\text{günler}} (T_{den} - T_o)^+ \quad (1)$$

Burada DD_h ısıtma derece-gün, (T_{den}) denge sıcaklığı ve T_o günlük ortalama dış ortam sıcaklığıdır. Parantezin üzerindeki artı işareti, sadece pozitif değerlerin göz önüne alınması gerektiğini göstermek için konulmuştur. DD_h ’ın hesaplanmasında bütün bir yıl veya ısıtma sezonu boyunca sıcaklık farklarının toplamı alınmalıdır.

Denge noktası sıcaklığı (T_{den}) derece-gün değerinin esasını teşkil eder. Bir binanın denge noktası sıcaklığı; binanın güneş ısınımı, insanlar, aydınlatma cihazları ve diğer kaynaklardan olan ısı kazancının q_{kaz} binanın iç ortam sıcaklığına (T_i) göre hesaplanan ısı kaybına eşit olduğu dış ortam sıcaklığı (T_o) olarak tanımlanır [1]:

Makale

Çizelge 2. Sürekli Hal Bina Enerji Analiz Yöntemleri [1]

Yöntem	Klasik	Data-Temelli			Yorumlar
		Deneysel veya Kara-Kutu	Kalibrasyonlu Simülasyon	Fiziksel veya Gri-Kutu	
Basit lineer regresyon	-	X	-	-	Bir bağımlı parametre, bir bağımsız parametre.
Çok değişkenli lineer regresyon	-	X	-	-	Bir bağımlı parametre, birden fazla bağımsız parametre.
Düzeltilmiş derece-gün yöntemi	X	-	-	-	18.3°C sabit referans sıcaklığa dayanır.
Değişen taban sıcaklığına göre derece-gün yöntemi veya 3-P değişken noktalı modeller	X	X	-	X	Değişen taban referans sıcaklıkları.
Değişken noktalı modeller: 4-P, 5-P	-	X	-	X	Günlük veya aylık fatura datasını ve ortalama dönem sıcaklıklarını kullanır.
Bin yöntemi ve data-temelli bin yöntemi	X	X	-	-	Çeşitli dış hava sıcaklığı değerine göre bu sıcaklığın merkezinde olduğu her sıcaklık aralığı (bin) için geçen zaman süresi değerinin, bu sıcaklık değerine göre hesaplanan enerji miktarı ile çarpılması.
Düzeltilmiş bin yöntemi	X	-	-	-	Soğutma yük faktörünü dikkate alır.
Çok adımlı parametre tanımlaması	-	-	-	X	Büyük binaların toplam ısı kaybı ve havalandırmasını belirlemek için günlük datayı kullanır.

$$q_{kaz} = K_{top}(T_i - T_{den}) \quad (2)$$

buradan

$$T_{den} = T_i - q_{kaz}/K_{top} \quad (3)$$

elde edilir. Burada K_{top} (W/K) binanın toplam ısı kayıp katsayısıdır. Tüm sürekli hal yöntemlerinde, ısı kazancının analiz yapıldığı sürede ulaşılan en yüksek değerler değil ortalama değerler alınmalıdır. Özellikle güneş ışınımı ortalama değerlere dayanmalı, ışınımın en yüksek değerleri göz önüne alınmalıdır.

Geleneksel olarak, derece-gün yöntemi ortalama günlük dış ortam sıcaklığı 18.3°C olduğu zaman uzun dönem ortalama güneş ve iç ısı kazançlarının ısı kaybını karşılayacağı ve enerji tüketiminin 18.3°C ile ortalama günlük dış ortam sıcaklığı ara-

sındaki fark ile orantılı olacağı varsayımına dayanmaktadır. Bu sıcaklık geçmişte tipik binalardaki ortalama koşulları temsil etmektedir. 18.3°C denge noktası sıcaklığı için ısıtma derece-gün veya ısıtma derece-saat değerlerini veren kapsamlı tablolar mevcuttur. (T_{den}) sıcaklığı açıklıkla belirtilmediği durumlarda taban sıcaklığı 18.3°C olarak kabul edilmelidir. Yalıtım düzeyinin artışı veya büyük güneş enerjisi kazançlarının sonucuna bağlı olarak bu taban sıcaklık değeri 18.3°C'den farklılık gösterebilir. Aradaki fark, aylık ve yıllık ısıtma ve soğutma gereksinimlerinin hesaplanmasında önemli hatalara neden olabilir. Bu durum değişen taban sıcaklığına göre derece-gün yönteminin gelişmesine yol açmıştır [1, 4].

Soğutma derece-gün değerleri, ısıtma derece-güne benzer bir bağıntı ile bulunabilir [1]:

$$DD_c(T_{den}) = \sum_{g\ddot{u}nler} (T_o - T_{den}) \quad (4)$$

Her ne kadar soğutma için denge noktası sıcaklığının tanımı ısıtma için yapılan tanımla aynı ise de q_{kaz} , K_{top} ve (T_i) farklı olabileceğinden verilen bir binanın soğutma için denge noktası sıcaklığı ısıtma için hesaplanan değerinden genellikle farklı olmaktadır.

Derece-gün cinsinden yıllık ısıtma enerjisi sarfiyatı;

$$Q_{h,yr} = \frac{K_{top}}{\eta_h} DD_h(T_{den}) \quad (5)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Bu denklem dizayn ısı yükü veya toplam bina kayıp katsayısı belirlendiği zaman göz önüne alınan bölgede ısıtma derece-gün sayısı kullanılarak yıllık ısıtma enerji tüketiminin hesaplanabileceğini göstermektedir. (5) denklemine benzer

$$Q_{c,yr} = \frac{K_{top}}{\eta_c} DD_c(T_{den}) \quad (6)$$

bağıntısı ile K_{top} , değeri sabit olan bir binanın derece-gün cinsinden soğutma için enerji sarfiyatı hesaplanabilir [1].

Genel olarak derece-gün yöntemine dayanan soğutma enerji hesaplamaları ısıtma enerji hesaplamalarından çok daha zordur. Isı kazançları, havalandırma miktarları, insanların davranışı ve iklimlendirme değişkenlik göstermektedir. Fan tahrikli havalandırma için fan enerji gereksinimi de dikkate alınmalıdır. Nem etkilerinin ve kesintili çalışmanın da ayrıca dikkatli bir şekilde göz önüne alınması gerekir. Bu durum, büyük belirsizlik beklenen dış ortam sıcaklığının denge sıcaklığına yakın olduğu ılıman hava koşullarında özellikle çok daha kritiktir [5].

Bir binanın enerji tüketimi dinamik hesaplama yöntemleriyle yapılabilsede derece-gün kavramı önemli bir araç olarak kalmaya devam edecektir. Bir iklimin sertliği derece-gün cinsinden hassasiyetle karakterize edilebilir. Yine derece-gün yöntemi ve bu yöntemin genelleştirilmiş hali yıllık yüklerin tahmin edilmesini sağlayabilir. Tahmin edilen bu değerler, eğer binanın iç ortam sıcaklığı ve iç ısı kazançları nispeten sabit ise ve eğer ısıtma veya soğutma sistemleri bütün bir sezon boyunca çalıştırılıyorsa kesin değerler olabilir. Derece-gün yöntemi bir bölgeden

diğerine ısıtma gereksinimlerini karşılaştırırken enerji tahmin hesaplamalarında da çok faydalı bir yöntemdir [4, 5].

4.2. Düzeltilmiş Derece-Gün Yöntemi

18.3°C sabit taban sıcaklığına dayanan derece-günü kullanarak elde edilen sonuçların doğru olmayışı nedeniyle bir düzeltme faktörü (C_D) kullanılır. C_D , 18.3°C sabit taban sıcaklığına dayanan derece-günün ısıtma etkisi için deneysel düzeltme faktörüdür. Bu faktör ılıman iklimlerde elektrikle ısıtılan evlerin ölçüm dasetasını derece-gün yöntemine dayanan hesaplamalarla ilişkilendirmek için geliştirilmiştir. Bu düzeltme faktörü kullanıldığında (5) denklemini şöyle olur.

$$Q_{h,yr} = \frac{K_{top}}{\eta_h} DD_h(T_{den})(C_D) \quad (7)$$

Burada C_D ısıtma etkisi için deneysel düzeltme faktörüdür (dış dizayn sıcaklığının fonksiyonudur) ve genellikle 0.6 ile 0.8 arasında değişir [5, 6].

Derece-gün yaklaşımının şu eksiklikleri bulunmaktadır [5]:

1. Sadece ısıtma için iyidir.
2. İç ısı kazançlarını hassas olarak dikkate almaz. Uygulama, konutsal binalar ve bina kabuğu ısı iletiminin ve enfiltrasyonun yük baskın faktörler olduğu yapılarla sınırlıdır.
3. Konservatiftir. Derece-gün yöntemi kullanılarak elde edilen değerler daha iyi izolasyonun yapıldığı ve iç yüklerin arttığı durumlarda yüksek çıkabilir, bu durumda düzeltme faktörü (CD) kullanılır.
4. Ortalama koşullara dayanır ve gün-gün hava değişimlerini ve sıcaklığın cihaz performansı üzerine etkisini dikkate almaz.

4.3. Değişen Taban Sıcaklığına Göre Derece-Gün Yöntemi

Geleneksel olarak 18.3°C sıcaklık değeri ısıtma derece-gün hesaplamaları için taban sıcaklığı olarak kullanılır. Ancak bir konutun gerçek denge sıcaklığı; konstrüksiyon tipi ve kalitesi, kullanılan izolasyon seviyesi, iç ve güneş ısı kazançları, termostat ayarı,

Makale

insanların davranışı gibi birçok faktöre bağlıdır. Bunların tümü ülkeden ülkeye, bölgeden bölgeye ve hatta aynı bölgede konuttan konuta değişmektedir. Tüm bu faktörler 18.3°C taban sıcaklığının kullanımını yanlış ve güvenilmez yapar. Bu nedenle tek bir denge noktası sıcaklığı şüphesiz yeterli değildir ve değişen taban sıcaklıklarına olan gereksinim binalarda basitleştirilmiş enerji hesaplamaları için gerçek zorunluluk olmaktadır [5].

Değişen taban sıcaklığına göre derece-gün yöntemi yaygın şekilde kullanılan derece-gün yönteminin genelleştirilmiş bir halidir. Derece-gün kavramı benzer kalır ancak derece-günler binaların denge noktası sıcaklığına göre hesaplanır [5].

Bazı sınırlamalarına rağmen değişen taban sıcaklığına göre derece-gün yöntemi özellikle bina kabuğu ısı yükü baskın binalar için doğru yıllık ısıtma enerji hesaplamaları verebilir. Basitliliğini ve kullanım kolaylığını devam ettirirken geleneksel sabit taban sıcaklığına göre derece-gün yaklaşımının doğruluğunu arttırır. Değişen taban sıcaklığına göre derece gün yöntemi, konutlar ve küçük ticari binalar gibi bina kabuğu ısı yükü baskın binalar için çok uygundur. Bu binalarda enerji kullanımı çiller, soğutma cihazı ve kazanların sergilediği lineer olmayan davranışlar tarafından çok fazla etkilenmez [5, 6].

Çeşitli araştırmalarda farklı taban sıcaklıkları kullanılarak derece-gün değerleri hesaplanmaktadır. Genel olarak 18.3°C sıcaklığı merkeze alınarak 2.8°C aralıklarla artırılmış veya azaltılmış sıcaklıklara göre derece-gün değerleri verilmektedir. Örneğin Amerika'nın çeşitli bölgeleri için -13.9°C-25°C aralığında 2.8°C aralıklarla ısıtma derece-gün değerleri hesaplanmıştır. Bakırcı et al. [7] Doğu Anadolu Bölgesi için, Bulut et al. [8] Güneydoğu Anadolu bölgesi için ısıtma derece-gün değerlerini 12, 14, 16, 18, 20 ve 22°C, soğutma derece-gün değerlerini 18, 20, 22, 24, 26 ve 28°C sıcaklıklarında hesaplamışlardır.

Değişen taban sıcaklığına göre derece-gün yönteminin çeşitli fonksiyonel formları bulunmaktadır [6]:

- Elektrik kullanımı, elektrik talebi ve su kullanımı (dış hava sıcaklığının artması ile kullanımı artar):

$$E = \beta_1 + \beta_2 [DD_c(T_{den})] \quad (8)$$

- Gaz kullanımı (dış hava sıcaklığının düşmesiyle kullanımı artar):

$$E = \beta_1 + \beta_2 [DD_h(T_{den})] \quad (9)$$

- Elektrik kullanımı (dış hava sıcaklığının hem artması hem de azalması ile kullanımı artar) (örneğin ısı pompası):

$$E = \beta_1 + \beta_2 [DD_c(T_{den})] + \beta_3 [DD_h(T_{den})] \quad (10)$$

Burada E enerji kullanımını β_1 ve β_2 regresyon katsayılarını göstermektedir.

4.4. Bin yöntemi

Büyük ticari binalar gibi iç ortamda üretilen yüklerin baskın olduğu veya soğutma yüklerinin dış/iç sıcaklık farkına lineer olarak bağlı olmadığı durumlardaki binalar için tek ölçümlü derece-gün yaklaşımı yeterli değildir. Kütle etkileri, soğutma enerjisi, nem ve güneş etkileri, cihaz verimleri ve kısmi yük performansı tek ölçümlü derece-gün yaklaşımıyla dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle çok ölçümlü yöntemlerin kullanılması gereklidir. Yıllık enerji sarfiyatını belirlemek için sürekli hale göre yapılan hesaplamalar, sıcaklık ve zaman aralıkları ayrı ayrı değerlendirildiğinde daha iyi sonuçlar verebilir [4, 5].

Bin değerleri; bir sıcaklık aralığının, belli bir zaman periyodundaki görüldüğü saatlerin sayısı olarak tanımlanır. Bin yönteminde sıcaklık ve zaman aralıkları ayrı ayrı değerlendirilerek gerek aylık, gerekse yıllık enerji sarfiyatı kolaylıkla belirlenebilir. Bin yöntemi günlük ortalama sıcaklık değerleri yerine saatlik iklim değerlerine bağlı olduğundan derece gün yönteminden çok daha hassas sonuçlar verir.

Bin yönteminde, enerji sarfiyatı, çeşitli dış hava sıcaklığı (T_o) değerine göre, bu sıcaklığın merkezinde olduğu her sıcaklık aralığı (bin) için geçen zaman

süresi N_{bin} değerinin, bu sıcaklık değerine göre hesaplanan enerji miktarı ile çarpılmasıyla bulunur [1]:

$$Q_{bin} = N_{bin} \frac{K_{top}}{\eta_h} (T_{den} - T_o) \quad (11)$$

Burada N_{bin} (h) belirli bir sıcaklık aralığında tekrarlanan saat sayısı ve T_o sıcaklık aralığının orta noktasıdır. Eşitlikteki üst indis artı işareti ile parantez içindeki sıcaklık farkının sadece pozitif değerlerinin hesaba katılması gerektiği ifade edilmektedir. T_o sıcaklığı, T_{den} sıcaklığından büyük olduğu durumlarda ısıtma gerekli değildir. Her sıcaklık aralığı (bin) için bu değer hesap edilir. Bulunan Q_{bin} değerleri bütün sıcaklık aralıkları için toplanarak toplam enerji sarfiyatı elde edilir [1]:

$$Q_{top} = \sum_{i=1}^m Q_{bin,i} \quad (12)$$

Burada m sıcaklık aralıklarının toplam sayısını göstermektedir.

Bin yönteminin karakteristikleri aşağıda özetlenmiştir [5, 9]:

1. Isıtma ve soğutma enerji hesaplamaları için iyi bir yöntemdir.
2. Aralıklar sıcaklık aralıklarıdır. Genellikle 2.8°C (5°F sıcaklık aralığına karşılık gelen) büyüklüğünde seçilir. Zaman aralığı ise çoğunlukla günlük 8 saatlik üç grup halinde verilir.
3. Her bir kuru termometre sıcaklık aralığına karşılık gelen ortalama yaş termometre sıcaklıkları datası, enfiltrasyon ve havalandırma ile gelen gizli ısı yüklerinin hesaplanmasında kullanılır.
4. Yöntem, binaların insanlar tarafından kullanıldığı veya kullanılmadığı koşulları dikkate alır ve bina denge noktası sıcaklığını ayarlayarak iç yükleri hesaplara dâhil eder.
5. Bağımsız sistemlerin, cihazların vs. analizi için faydalıdır.
6. Farklı zaman dilimleri için ayrı hesaplamalar yapılarak, zamana bağlı iç yük değişimleri, yoğunluk durumu ve HVAC sistemlerinin çalışma programlarını dikkate alır.
7. Isı pompası sistemlerinin analizi için özel olarak kullanılabilir.

8. Günlük ortalamalar yerine saatlik hava datasına dayanır ve bu nedenle derece-gün yönteminden daha doğrudur.

Ancak bu yöntem güneş etkilerini ihmal eder. Bu durum güneş etkilerini dikkate alan düzeltilmiş bin yönteminin geliştirilmesine yol açmıştır.

4.5. Düzeltilmiş Bin Yöntemi

Bin yöntemi yük profilini dış kuru termometre sıcaklığının fonksiyonu olarak tanımlamak için sadece maksimum yükleri kullanır. Oysaki maksimum yükler yerine farklı yükleri temel alan dizayn dışı koşullarını hesaba katmak önemlidir. Böylece daha doğru yük profillerinin kullanılmasına imkân sağlanmış olur. Düzeltilmiş bin yönteminde, ortalama güneş kazanç profilleri, ortalama iç profiller (insan, aydınlatma ve cihazlar) ve soğutma yükü sıcaklık farkı (CLTD) değerleri zamana bağımlı farklı yüklerin karakterize edilmesi için kullanılır. CLTD bina külesinin geçici etkilerini yaklaşık olarak verir. Her bir yük bileşeninin dış sıcaklığın lineer fonksiyonu olarak geliştirilmesi, yaz ve kış koşulları için bu ayrı yük bileşenlerinin toplam yük profiline katılmasına ve ayrıca denge noktası sıcaklıklarının belirlenmesine imkân verir [5].

Düzeltilmiş bin yöntemi sıcaklık farklarından kaynaklanan ısı iletimine ilaveten yukarıda bahsedilen diğer kazançları da dikkate alan ASHRAE tarafından geliştirilmiş bir klasik sürekli hal yöntemidir. Bu yöntem bin yönteminin geliştirilmiş halidir ve tüm bina ve sistemlerin enerji kullanımını belirlemek için kullanılır [10].

Düzeltilmiş bin yöntemi tek ölçümlü yöntemlerin eksikliklerinin çoğunun üstesinden gelir. Aylık ve yıllık bina enerji hesaplamalarını makul bir şekilde ayrıntılı saatlik simülasyon programlarından daha basit olarak verir. Özellikle düşük kütleli ve iç yük baskın olan binalar için makul sonuçlar elde edilir. Ancak güneş etkileri ve ısı kütle analize baskın olduğu zaman yöntem dikkatli bir şekilde kullanılmalıdır. Bu yöntem 500-2500 m² arasındaki binalar için uygundur [5].

Makale

5. Data-Temelli Sürekli Hal Yöntemleri

Binaların enerji analizi için kullanılan data-temelli yöntemler kendi aralarında “deneysel (kara-kutu)”, “kalibrasyonlu simülasyon” ve “fiziksel (gri-kutu)” yaklaşımı olmak üzere üç temel kategoriye ayrılmaktadır (Çizelge 2). Bu yaklaşımlar data gereksinimleri, ilgili modelleri geliştirmek için gerekli zaman ve çaba, kullanıcının uzmanlığı, sağlanan bilgi ve güvenilirlik açısından geniş bir farklılık göstermektedir.

Deneysel veya kara-kutu yaklaşımında ölçülen enerji kullanımı ve çeşitli etkin parametreler (iklimsel değişkenler, binanın kullanılması, iç yükler vb.) arasında basit veya çok değişkenli istatistiksel modeller tanımlanır. Regresyon modellerinin şekli ya sadece istatistiksel olabilir ya da binadaki enerji kullanımının bazı temel mühendislik formülasyonuna dayanır. Her bir durumda tanımlanan model katsayılarının hiç bir fiziksel anlamları yoktur veya çok az bir fiziksel anlam taşırlar. Bu yaklaşım uygun data mevcut ise herhangi bir zaman ölçeğiyle kullanılabilir: aylık, günlük, saatlik veya saatin altı. Basit lineer regresyon, çok değişkenli lineer regresyon, değişen taban sıcaklığına göre derece-gün yöntemi, değişken noktalı modeller, bin yöntemi ve çok adımlı parametre tanımlaması bu kategoriye girerler (Çizelge 2) [1, 11].

Kalibrasyonlu simülasyon yaklaşımında mevcut bina simülasyon bilgisayar programı kullanılır ve gözlemlenen enerji kullanım miktarının simülasyon programıyla tahmin edilen değerle yakın bir şekilde uyumunu sağlayacak şekilde programa çeşitli fiziksel girişler ayarlanır veya kalibre edilir. Bu gerçekleştirildiğinde istatistiksel yaklaşımlardan elde edilebilenden daha güvenilir ve geçerli tahminler yapılabilir. Kalibrasyonlu simülasyon yaklaşımı tüm bina ölçüm değerlerinin mevcut olduğu yerlerde kullanılır ve iyileştirme çalışmaları sonucunda gerçekleştirilecek enerji tasarrufunu tahmin etmek için ölçme ve doğrulama çalışmaları gerektirir. Bu yaklaşımın temel sorunları emek-yoğun olması, hem simülasyonda hem de pratik bina çalışmasında yüksek seviyede kullanıcı uzmanlığı gerektirmesi, zaman alıcı olması ve çoğunlukla kalibrasyonu yapan kişiye bağlı olmasıdır. Çeşitli pratik zorluklar gerçek bina

performansını yaklaşık bir şekilde yansıtan kalibrasyonlu simülasyon veya simülasyonu gerçekleştirme-yi engellemektedir. Bu zorluklar arasında simülasyon programlarıyla kullanım için hava datasının ölçülmesi ve adaptasyonu, modeli kalibre etmek için kullanılan yöntemlerin seçilmesi ve simülasyon için gerekli giriş parametrelerinin ölçülmesinde kullanılan yöntemlerin seçilmesi yer almaktadır [1].

Fiziksel veya gri-kutu yaklaşımında binanın veya HVAC&R ekipman/sisteminin belirli anahtar ve toplam fiziksel parametreleri fiziksel veya mekanistik bir model kullanılarak tanımlanır. Bu yaklaşım uygun model denklemlerini oluşturmada ve bu parametreleri tahmin etmede yüksek seviyede kullanıcı uzmanlığı gerektirir. Son yıllarda büyük oranda gelişme gösteren bu yaklaşım diğer mühendislik dalları, tıp ve bilimsel disiplinlerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Fiziksel yaklaşım HVAC&R cihazları, çiller modeli ve bina ısı enerji akışlarında son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu yaklaşım özellikle arıza belirleme ve teşhisinde ve online kontrolde büyük potansiyele sahiptir ancak tüm bina enerji kullanımına uygulanması sınırlıdır [1, 11].

Bina ve ekipman enerji kullanımı için çeşitli tip data-temelli sürekli hal yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler aşağıda tek değişkenli, çok değişkenli, polinom ve fiziksel yöntemler başlıkları altında incelenmiştir.

5.1. Tek Değişkenli Yöntemler

Tek değişkenli yöntemler en yaygın kullanılan yöntemlerdir ve sadece tek bağımsız değişken içerirler. Bu yöntemler bir binadaki enerji kullanımını bina enerji kullanımını etkileyen tek bir değişkene bağlı olarak formüle ederler. Temel enerji kullanımının istatistiksel modellerini tanımlamada önemli bir nokta, fonksiyonel şeklin ve bağımsız değişkenlerin seçimidir. Birçok araştırma dış hava kuru termometre sıcaklığının özellikle aylık zaman ölçeklerinde ayrıca günlük zaman ölçeklerinde en önemli bağımsız değişken olduğunu ortaya koymuştur [1]. Hava koşullarına bağlı enerji kullanımını modellemek için kullanılan tek değişkenli yöntemler ve karakteristikleri toplu olarak Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Data-temelli tek-değişkenli yöntemler [1]

Model Tipi	Bağımsız Değişken(ler)	Denklem Tipi	Örnekler
Tek-parametrelili veya sabit (1-P)	Yok	$E = \beta_1$	Havadan bağımsız talep
İki-parametrelili (2-P)	Sıcaklık	$E = \beta_1 + \beta_2(T_o)$	
Üç-parametrelili (3-P)	Derece-gün/ Sıcaklık	$E = \beta_1 + \beta_2(DD_{T_{den}})$	Mevsimsel hava koşullarına bağlı kullanım (kışın yakıt, soğutma için yazın elektrik)
		$E = \beta_1 + \beta_2(\beta_3 - T_o)^+$	
		$E = \beta_1 + \beta_2(T_o - \beta_3)^+$	
Dört-parametrelili (4-P)	Sıcaklık	$E = \beta_1 + \beta_2(\beta_4 - T_o)^+ - \beta_3(T_o - \beta_4)^+$ $E = \beta_1 - \beta_2(\beta_4 - T_o)^+ + \beta_3(T_o - \beta_4)^+$	Ticari binalarda enerji kullanımı
Beş parametrelili (5-P)	Derece-gün/ Aylık ortalama sıcaklık	$E = \beta_1 - \beta_2(DD_{TH}) + \beta_3(DD_{TC})$	Aynı cihazla sağlanan ısıtma ve soğutma
		$E = \beta_1 + \beta_2(\beta_4 - T_o)^+ + \beta_3(T_o - \beta_5)^+$	

Not: DD derece-gün, T_o aylık ortalama günlük dış kış kuru termometre sıcaklığı anlamına gelmektedir.

Data-temelli tek değişkenli yöntemlerin avantajı kullanımlarının, aylık kullanım fatura datasının ve fatura periyodu boyunca ortalama dış sıcaklıkların mevcut olduğu çok sayıda binalara uygulanabilmesi ve kolayca otomatik hale getirilebilmesidir. Sürekli hal tek değişkenli data-temelli modeller ayrıca günlük dataya da başarıyla uygulanmıştır. Tek değişkenli modeller ayrıca data uygun şekilde sınıflandırılarak ve her bir periyot için modeller tanımlanarak hafta içi ve hafta sonu kullanımı gibi farklılıkları dikkate almak için günlük dataya da uygulanabilir [1].

Sürekli hal tek değişkenli data-temelli modellerin dezavantajları şunlardır: (i) ısı kütlesi gibi dinamik etkilere duyarlıdır; (ii) sadece sıcaklığı dikkate alırlar, nem ve güneş ısı kazancı gibi diğer değişkenleri dikkate almazlar; (iii) sık açma-kapamanın olduğu yüklere sahip binalar ve çok değişken noktalı binalar için uygun değildirler. Ticari binalarda genellikle eş zamanlı ısıtma ve soğutma yapılır ve yüksek iç ısı üretimine sahiptirler. Bu binalarda enerji kullanımını HVAC sisteminin tipine ve kontrol stratejisine çok bağımlıdır. Bu nedenlerle ticari binalarda enerji kullanımı sadece dış hava sıcaklığına bağlı değildir. Bunun sonucunda tek değişkenli modellerin ticari binalarda enerji kullanımını modellemede kullanılması pek tavsiye edilmemektedir [1].

5.1.1. Basit Lineer Regresyon Yöntemleri

Basit lineer regresyon modeli, iki parametrelili (2-P)

değişken noktalı bir modeldir (Şekil 1b,c). Hava koşullarına bağlı enerji kullanımını modellemek için kullanılan en basit deneysel model, lineer bir ilişkiye sahiptir:

$$E = \beta_1 + \beta_2(T_o) \quad (13)$$

Burada E enerji kullanımını β_1 ve β_2 regresyon katsayıları ve T_o dış hava kuru termometre sıcaklığıdır. Bu denklemde β_1 doğrunun y eksenini kestiği noktayı, β_2 ise doğrunun eğimini göstermektedir (Şekil 1b,c). 2-P modellerinde enerji kullanımını tek bir bağımsız değişkenle lineer olarak değişmektedir. 2-P modelleri ısıtma ve soğutma enerji kullanımının dış hava sıcaklığı ile lineer olarak değiştiği binaların modellemesinde kullanılırlar. Ekonomizer çevrimi gibi ilave kontrol özellikleri olmayan ve gizli ısı yükleri olmayan sabit hava debili sistemlerde soğutma ve ısıtma enerji kullanımını modellemek için uygundur [1, 6, 12, 13].

5.1.2. Değişken-Noktalı Yöntemler

Genellikle çok zonlu ticari binalarda ısıtma ve soğutma enerji tüketimleri, karşılaşılan tüm dış ortam sıcaklıklarında sıcaklığa bağlı olarak değişme eğilimindedir. Bu nedenle denge noktası sıcaklığının altında (veya üstünde) sabit enerji kullanımını esas alan değişen taban sıcaklığına göre derece-gün yöntemi uygun değildir. Lineer iki-parametrelili regresyon modelleri VAV kontrolü veya gizli ısı yükleri

Makale

gibi sistem etkilerinin neden olduğu ısıtma ve soğutma enerji kullanımını ile dış ortam sıcaklığı arasındaki lineer olmayan ilişkiyi yakalayamazlar [13]. Değişken noktalı modeller her iki etkiyi de içerir ve bunun sonucu olarak enerji tasarrufunu ölçmek için temel modeller olarak yaygın kullanım bulmuşlardır [14].

Üç parametrelili (3-P) değişken noktalı model aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Çizelge 3, Şekil 1d,e):

$$E = \beta_1 + \beta_2(\beta_3 - T_o)^+ \quad (14)$$

$$E = \beta_1 + \beta_2(T_o - \beta_3)^+ \quad (15)$$

Burada β_1 sabit terim, β_2 eğim ve β_3 değişim noktasıdır. β_1 temel enerji kullanımını, β_2 ise β_3 değişim noktasından daha düşük (veya daha yüksek) çevre sıcaklık değerleri için doğrunun eğimini göstermektedir. $()^+$ notasyonu parantez içerisindeki terimlerin negatif olduklarında sıfır alınacaklarını göstermektedir. 3-P modelleri enerji kullanımının dış hava sıcaklığının bazı aralıklarında dış hava sıcaklığıyla lineer olarak değiştiği ve diğer aralıklarında sabit kaldığı binaların enerji kullanımının modellenmesi için uygundur. Örneğin dış hava sıcaklığını bağımsız değişken olarak kullanan üç noktalı soğutma modelleri genellikle konutlarda elektrikli iklimlendirme yapan binaların elektrik kullanımını modellemek için uygundur. Benzer şekilde dış hava sıcaklığını bağımsız değişken olarak kullanan üç noktalı ısıtma modelleri genellikle gazlı veya sıvı yakıtlı konutlardaki ısıtma enerji kullanımını modellemek için uygundur [1, 6, 12, 13].

Dört parametrelili (4-P) değişken noktalı modele ait korelasyon denklemi aşağıda verilmiştir (Çizelge 3, Şekil 1f,g):

$$E = \beta_1 + \beta_2(\beta_4 - T_o)^+ - \beta_3(T_o - \beta_4)^+ \quad (16)$$

$$E = \beta_1 - \beta_2(\beta_4 - T_o)^+ + \beta_3(T_o - \beta_4)^+ \quad (17)$$

Burada β_1 sabit terim, β_2 sol eğim, β_3 sağ eğim ve β_4 değişim noktasıdır. β_1 , tam β_4 değişim noktasındaki

temel enerjiyi β_2 ve β_3 , β_4 değişim noktasından daha düşük ve yüksek dış ortam havası sıcaklıklarını temsil eden doğruların eğimlerini göstermektedir. Dış hava sıcaklığını bağımsız değişken olarak kullanan dört-parametrelili modeller değişken hava debili sistemler ve/veya yüksek gizli ısı binalarda ısıtma ve soğutma enerji kullanımını modellemek için uygundur. Ayrıca bu modeller ekonomizer çevrimlerinin neden olduğu lineer olmayan ısıtma ve soğutma enerji kullanımını modellemek için kullanılırlar [1, 6, 12, 13].

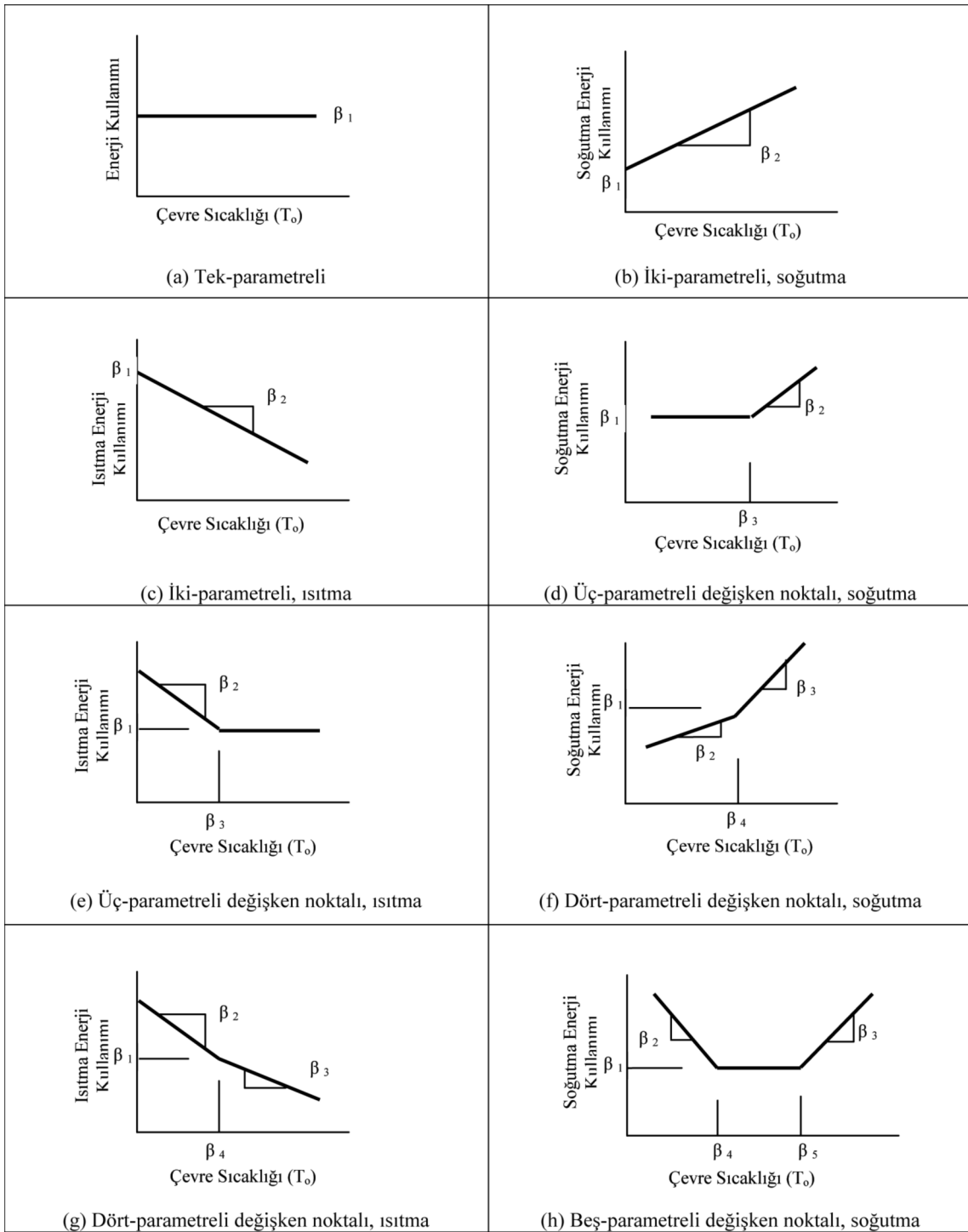
Beş parametrelili (5-P) değişken noktalı modele ait korelasyon denklemi aşağıda verilmiştir (Çizelge 3, Şekil 1h):

$$E = \beta_1 + \beta_2(\beta_4 - T_o)^+ + \beta_3(T_o - \beta_5)^+ \quad (18)$$

Burada β_1 sabit terim, β_2 sol eğim, β_3 sağ eğim, β_4 sol değişim noktası ve β_5 sağ değişim noktasıdır. Görüldüğü gibi bu modeller iki değişim noktasına (β_4 ve β_5) ve bir temel seviye tüketim değerine (β_1) sahiptirler. Bu modeller fiziksel olarak belirli dış hava sıcaklık aralığında ne ısıtma ne de soğutma gerektirmeyen konutlar için geliştirilmiştir. Dış hava sıcaklığını bağımsız değişken olarak kullanan beş-parametrelili modeller elektrikle ısıtılan ve soğutulan binaları modellemek için uygundur. Örneğin elektrikli ısı pompası datası veya elektrikli çiller/iklimlendirme cihazları ve elektrik rezistans ısıtmalı binalarda tüm binaya ait elektrik datası kullanılarak ısıtma ve soğutma yüklerini içeren enerji tüketim datası modellenebilir. 5-P değişken noktalı modeller kullanılarak ayrıca değişken hava debili sistemlerdeki fan elektrik tüketimi de modellenebilir [1, 6, 12, 13].

5.2. Çok Değişkenli Yöntemler

Konutsal enerji tüketimi (ısıtma ve soğutma ile ilgili) genellikle dış hava kuru termometre sıcaklığının kuvvetli bir fonksiyonudur. Oysaki büyük ticari binaların enerji tüketimi iklimsel koşulların (kuru termometre ve yaş termometre sıcaklıkları ve güneş yükleri), bina karakteristiklerinin (kayıp katsayıları, ısı kapasite, iç yükler), bina kullanımı (12 saat veya 24 saat, taze hava miktarı), sistem karakteristikleri (toplam hava debisi, ekonomizer çevrimi) ve kulla-



Şekil 1. Konutsal ve ticari binalarda enerji kullanımını modellemek için kullanılan sürekli hal tek değişkenli modeller [1, 17]

nılan HVAC ekipmanının tipinin kompleks bir fonksiyonudur. Bu nedenlerle büyük ticari binaların enerji tüketimini modellemek için çok değişkenli yöntemlerin kullanılması daha uygundur [15].

Çok değişkenli regresyon modellerinde bina enerji tüketiminin modellenmesi için birden fazla bağımsız değişken bulunmaktadır. Çok değişkenli lineer regresyon yöntemi şu şekilde karakterize edilmektedir:

Makale

$$E = \beta_1 + \beta_2 X_1 + \beta_3 X_2 + \beta_4 X_3 + \beta_5 X_4 + \beta_6 X_5 + \beta_7 X_6 \quad (19)$$

Burada E enerji kullanımını, β_1 - β_7 regresyon katsayılarını ve X_1 - X_6 bağımsız değişkenleri göstermektedir. Bağımsız değişkenlerin sayısı modele göre değişmektedir. Mühendislik temeli olan çok değişkenli bir lineer regresyon modeli şu yapıya sahiptir [1]:

$$Q_{bina} = \beta_1 + \beta_2 (T_o - \beta_4) + \beta_3 (T_o - \beta_4) + \beta_5 (T_{dp} - \beta_7) + \beta_6 (T_{dp} - \beta_7) + \beta_8 q_{sol} + \beta_9 E_{int} \quad (20)$$

Burada E_{int} iç elektrik cihazlar ve aydınlatma yükünü, q_{sol} güneş yüklerini ve T_{dp} dış yaş termometre sıcaklığını göstermektedir. Bu modelde dış hava sıcaklığına ilaveten (T_o) E_{int} , q_{sol} ve T_{dp} diğer bağımsız değişkenler olmaktadır. Katipamula et al. [16] sabit hacimli HVAC sistemleri için (20) denkleminin aşağıdaki şekilde basitleşebileceğini bulmuştur:

$$Q_{bina} = \beta_1 + \beta_2 T_o + \beta_6 T_{dp} + \beta_8 q_{sol} + \beta_9 E_{int} \quad (21)$$

Ancak enerji tüketimini belirlemek için çok değişkenli regresyon modelleri kullanılırken dikkatli olunmalıdır. Genellikle modele bağımsız değişkenlerin eklenmesi daima korelasyonun gücünü artırır, ancak her bir regresyon katsayısının bağıl belirsizliği (standart hata) ve bu nedenle öngörü değeri azalır. Ayrıca bağımsız değişkenler arasındaki çoklu bağımlılık (multicollinearity) regresyon katsayıları değerlerinin belirsizliğini artırır [17].

5.3. Polinom Yöntemleri

Polinom modelleri pompalar, fanlar ve çillerler gibi cihazların davranışını modellemek için saf istatistiksel modeller olarak yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Brandemuehl et al. [18] pompalar tarafından tüketilen enerji ve su kütleli debisi için lineer ve ikinci dereceden modelleri karşılaştırmış ikinci dereceden modellerin lineer modellerden daha üstün olduğunu bulmuştur. Ayrıca fanlar için fan elektrik tüketiminin ikmal havası kütleli debisinin fonksiyonu olarak lineer ve ikinci dereceden polinom tek değişkenli modeller kullanılmış ve karşılaştırılmıştır. Literatürde üçüncü dereceden polinom analitik modeller de kullanılmıştır. Örneğin Englander [19] değişken

debili iklimlendirme sisteminde ikmal fanının ve dönüş fanının güç tüketimini akış debisinin fonksiyonu olarak sırasıyla şu şekilde korele etmiştir:

İkmal Fanı:

$$P_e = 25.0 - 0.36 \dot{V}_s + 0.0507 \dot{V}_s^2 - 0.000587 \dot{V}_s^3 \quad (22)$$

Dönüş Fanı:

$$P_e = 9.0 - 0.0888 \dot{V}_{ra} + 0.00601 \dot{V}_{ra}^2 - 0.000425 \dot{V}_{ra}^3 \quad (23)$$

Burada P_e motorun tükettiği elektrik gücü (kW), \dot{V} akış debisini (m^3/s) göstermektedir. Farklı araştırmacılar farklı polinom şekillerini kullanmışlardır.

5.4. Fiziksel Yöntemler

Polinom modelleri istatistiksel modellerdir ve bunların fiziksel temeli bulunmamaktadır. Polinom modellerinin aksine fiziksel modeller temel termodinamik veya ısı transferi esaslarına dayanmaktadır. Genellikle daha az parametreye sahip oldukları ve matematiksel formülasyonları binanın veya cihazın performansını veren gerçek fiziksel prensiplere dayanabildiğinden çoğunlukla fiziksel modeller tercih edilirler. Bu modellerin model katsayıları daha güçlü model tahminlerinin elde edilmesine imkan sağlarlar. Bu modeller literatürde çok yaygın kullanılmamıştır, sadece birkaç çalışma [20] ticari bina enerji kullanımıyla ilişkili parametre tahmini için sürekli hal fiziksel modellerini kullanmıştır. Müstakil konutlardan farklı olarak büyük binalarda ayrıntılı planlı deneyler yapmak ve iç çalkantıları temsil eden değerleri elde etmek zor olduğundan bu binalarda fiziksel modeller yaygın bir kullanıma sahip değildir [1].

Fiziksel yöntemlerden birisi Gorden and Ng [21] tarafından geliştirilen modeldir. Bu model $1/COP$ ile $1/Q_{evap}$ arasında lineer bir ilişki olduğunu kabul eder. Performans datasını kullanarak bulunan lineer regresyon katsayıları göz önüne alınan çillerdeki tersinmezlikleri karakterize eder. Katsayılar belirlendiği zaman basit model, çiller COP'unu evaporatör yükünün bir fonksiyonu olarak hesaplar. Modelin en basit şekli aşağıda verilmiştir [22]:

$$\frac{1}{COP} = \beta_1 + \beta_2 \left(\frac{1}{Q_{evap}} \right)$$

$$\beta_1 = -1 + \left(\frac{T_{cwRT}}{T_{chwST}} \right) + f_{HX} \quad (24)$$

$$\beta_2 = \left(\frac{q_{evap} T_{cwRT}}{T_{chwST}} - q_{cond} \right)$$

Burada T_{cwRT} kondensere giren su sıcaklığı (K), T_{chwST} evaporatörden çıkan su sıcaklığı (K), Q_{evap} evaporatör yükü, q_{evap} evaporatördeki iç kayıp miktarı, q_{cond} kondenserdeki iç kayıp miktarı, f_{HX} boyutsuz terim (normal olarak ihmal edilebilir), β_1 ve β_2 lineer regresyon katsayılarıdır.

Basit model sadece çiller yükünün (evaporatör debisi, soğutulan suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları) ve ilgili RMS güç tüketiminin ölçülmesini gerektirir. Soğutulan su iklim ve kondenser su giriş sıcaklıklarındaki değişimler göz önüne alınmamıştır. Basit model evaporatör ve kondenser sıcaklıklarının sabit sıcaklık kontrolü yapıldığı çiller sistemleri, kontrolün ve iklimin evaporatör ve kondenser sıcaklıklarını sınırladığı çiller sistemleri, evaporatör ve kondenser sıcaklıklarının çiller yükünün fonksiyonu olduğu çiller sistemlerine uygulanabilir. Gordon and Ng tarafından bu model geliştirilerek evaporatör ve kondenser ısı değiştiricilerindeki kayıpları, soğutulan su iklim ve kondenser su giriş sıcaklığının fonksiyonu olarak tanımlayan sıcaklığa bağımlı model ortaya çıkarılmıştır.

Kaynaklar

- [1] ASHRAE Handbook—Fundamentals (SI). Chapter 19. Energy estimating and modeling methods. 2009.
- [2] Alarko Carrier Bülteni. 8760 saatlik bina enerji analizi. Sayı: 21, Nisan 2007.
- [3] Solar Energy Research Institute. Engineering principles and concepts for Active solar systems. Taylor & Francis, 1988.
- [4] Said, S. A. M., Habib, M. A., Iqbal, M. O. Database for building energy prediction in Saudi Arabia. Energy Conversion and Management, 44, 191–201, 2003.
- [5] Al-Homoud, M. S. Computer-aided building energy analysis techniques. Building and Environment, 36, 421–433, 2001.
- [6] Reddy, T.A., Saman, N.F., Claridge, D.E., Haberl, J.S., Turner, W.D., Chalifoux, A.T. Baseline methodology for facility-level monthly energy use—Part 1: Theoretical aspects. ASHRAE Transactions, 103(2), 1997.
- [7] Bakırcı, K., Ozyurt, O., Karagoz, S., Erdogan, S. 2008. Variable-base degree-day analysis for provinces of the Eastern Anatolia in Turkey. Energy Exploration & Exploitation, 26, 111–132, 2008.
- [8] Buyukalaca, O., Bulut, H., Detailed weather data for the provinces covered by the Southeastern Anatolia Project (GAP) of Turkey. Applied Energy, 77, 187–204, 2004.
- [9] Papakostas, K.T., Sotiropoulos, B.A. Bin weather data of Thessaloniki, Greece. Renew Energy, 11, 69–76, 1997.
- [10] Knebel, D.E. Simplified energy analysis using the modified bin method. ASHRAE Report, 1983.
- [11] Reddy, T. A., Maor, I. Procedures for reconciling computer-calculated results with measured energy data. ASHRAE Research Project 1051-RP. 2006.
- [12] Kissock, K. A methodology to measure energy savings in commercial buildings. Ph.D. dissertation, Mechanical Engineering Department. Texas A&M University. College Station, TX. December, 1993.
- [13] Kissock J.K., Reddy, T.A., Claridge, D.E. Ambient-temperature regression analysis for estimating retrofit savings in commercial buildings. Transactions of The ASME, 120, 168–176, 1998.
- [14] Haberl, J.S. Literature review of uncertainty of analysis methods (Inverse Model Toolkit). Report to the Texas Commission on Environmental Quality. Texas Engineering Experiment Station Texas A&M University System, 2004.
- [15] Katipamula, S., Reddy, T.A., Claridge, D.E. Bias in predicting annual energy use in commercial buildings with regression models developed from short data sets. ASME

Makale

- International Solar Energy Conference Proceedings. 1995.
- [16] Katipamula, S., Reddy, T.A., Claridge, D.E. Development and application of regression models to predict cooling energy consumption in large commercial buildings. Proceedings of the 1994 ASME/JSME/JSES International Solar Energy Conference, San Francisco, p. 307, 1994.
- [17] Kissock, J.K., Haberl, J.S., Claridge, D.E. Development of a toolkit for calculating linear, change-point linear and multiple-linear inverse building energy analysis models. ASHRAE Research Project 1050-RP, 2002.
- [18] Brandemuehl M.J., Krarti M., Phelan J. Methodology development to measure in-situ chiller, fan, and pump performance. Volume I: Final Report for ASHRAE Research Project 827-RP (TC 9.6 Systems Energy Utilization). 1996.
- [19] Englander, S.L. Ventilation control for energy conservation: Digitally controlled terminal boxes and variable speed drives. Thesis for Master of Scienc. Princeton University, USA. 1990.
- [20] Reddy, T.A., Deng, S., Claridge, D.E. Development of an inverse method to estimate overall building and ventilation parameters of large commercial buildings. Journal of Solar Energy Engineering 121-147, 1999.
- [21] Gordon, J.M., Ng, K.C. Thermodynamic modeling of reciprocating chillers. Journal of Applied Physics, 75(6), 2769-2774, 1994.