



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMINDA DERECE-SAAT TABANLI EKONOMİK DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ

BİROL KILKIŞ
BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ

YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMINDA DERECE-SAAT TABANLI EKONOMİK DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ

Birol KILKIŞ

ÖZET

Yeni binalarda yenilenebilir enerji sistemlerinin payı ilk yatırım maliyeti olarak binanın toplam yatırım maliyetinin belirli bir oranı olarak ilgili yönetmelikte öngörülmüştür. Ancak bu oranın tek başına yeterli bir ölçüt olamayacağı açıktır. Bu makalede yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı sürdürülebilir sistemlerin binalarda en uygun harmanlama ile nasıl kurgulanabileceğini araştırmaya destek olacak bir alternatif çözümlene algoritması önerilmektedir. Binanın bulunduğu yörenin yıllık derece-saat ısıtma ve yıllık derece-saat soğutma değerlerine bağlı kalarak, iklim bölgelerine göre soğutmada gizli yüklerin de tahminine göre taze hava ihtiyacına göre düzeltilmeli olarak hazırlanan bu algoritmada ısı depolama sisteminin etkileri göz önünde bulundurulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Isıtma derece-saat, soğutma derece saat, sürdürülebilir enerji sistemlerinin ekonomikliği

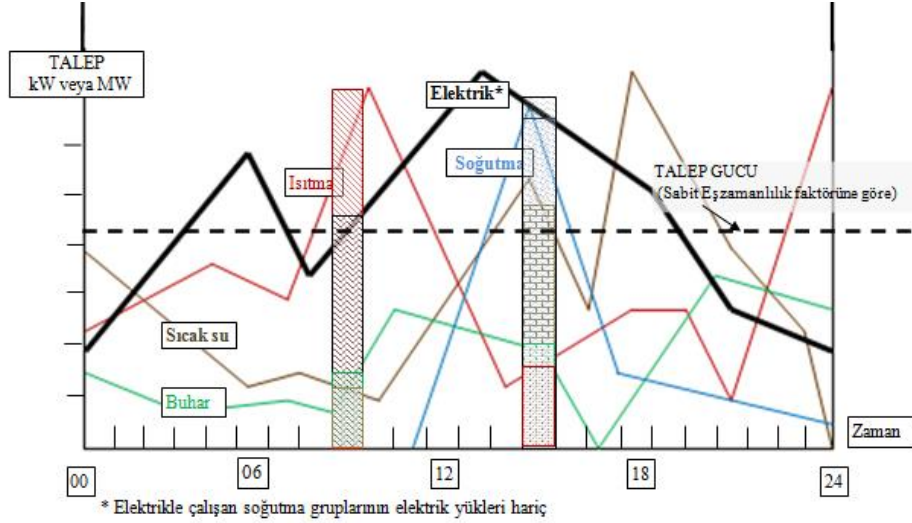
ABSTRACT

According to the applicable by-law, new buildings need to invest a certain amount of money on sustainable energy systems, defined in a given ratio of the total building investment. However it is clear that such a legal investment ratio limit will not be sufficient to assess the environmental contributions of sustainable energy systems. A simplified methodology is presented in order to pave way to a more comprehensive investigation based on degree hour values for the region and the building in question.

Key Words: Heating degree-day, cooling degree-day, economy of sustainable energy systems

GİRİŞ

Şekil 1’de bir ticari binanın değişik ısı ve elektrik yüklerinin tipik saatlik salınımları görülmektedir. Her bir yükün salınım görünümü kendine özgü olup tepe yüklerin çakışmaması dışında saatlik yük oranları da farklıdır. Tüm bu değişik türdeki ve farklı davranış biçimlerindeki yüklerin yıl boyunca sergiledikleri salınımlar hassas bir biçimde bilinmediğinde, bilinse bile göz önünde tutulmadığında günlük, yıllık toplamlar cinsinden hassas bir çözümlenmenin mümkün olmayacağı açıktır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının saat tabanında arz ettiği enerji de kesikli ve eş zamansızdır. Bu eş zamansızlık hem değişik yenilenebilir enerji kaynakları arasında (örneğin güneş enerjisi varken rüzgâr esmeyebilir) hem de yükler arasındadır (Şekil 2). Bina davranışı ile yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki ilişkinin hem ekonomiklik hem de zararlı salımlar açısından saatlik verilere gereksinim vardır. Her ne kadar binaların saatlik yüklerini tahmin eden birçok yazılım mevcut ise de bu yazılımların kullanımı her zaman pratik veya ekonomik olmayabilir.



Şekil 1. Dinamik Bina Yüklerinin Farklı Profilleri, Farklı Oranları ve Farklı Türleri.

Güneş ve rüzgâr enerjisi için istatistiksel saatlik veriler genellikle her yöre için bulunduğundan çözüm binaların saatlik yüklerinin daha basit bir yöntemle tahmin edilmesinde odaklanmaktadır.

DERECE-SAAT TABANINDA YAKLAŞIK ÇÖZÜM

Yıllık bina ısıtma ve hissedilir soğutma yüklerinin hesabı için kısa ve yaklaşık yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemin özü ısıtma derece-saat ve hissedilir soğutma derece-saat verilerine dayanmaktadır. Bu değerler son yıllarda değişik araştırmalar sonucu ortaya çıkarılmış bulunmaktadır. Ülkemizin tüm illeri için ve birçok meteoroloji istasyonları için bu değerler hesaplanmıştır [1]. Çözümlerinin saatlik tabanda yapılmasının önemi ise literatürde geniş biçimde izah edilmiştir [2].

Yeni yöntemde saatlik tabanda ısıtma yükleri ve hissedilir soğutma yükleri şu şekilde hesaplanmaktadır:

Isıtma döneminde:

$$q_h(t) = U_h \times IDS(t) = U_h (T_{iç} - T_o(t)) \quad (\text{kW-h}) \quad (1)$$

Burada, t yıl içerisinde birer saatlik zaman dilimidir.

Soğutma döneminde:

$$q_c(t) = U_c \times SDS(t) = U_c (T_o(t) - T_{iç}) \quad (\text{kW-h}) \quad (2)$$

Yukarıdaki eşitliklerde,



$IDS(t)$: Yıl içerisinde t saat dilimindeki ısıtma derece-saat değeri, (K)

$SDS(t)$: Yıl içerisinde t saat dilimindeki hissedilir soğutma derece saat değeri, (K)

$q_h(t)$: t saat dilimindeki saatlik hissedilir ısıtma yükü, (kW-h)

U_h : Yapı zarfının ısıtma mevsimi ortalaması genel ısı transfer katsayısı, (kW-h/K)

$T_o(t)$: t saatindeki dış ortam kuru-termometre sıcaklığı, (K)

Söz konusu yöreye ilişkin meteorolojik saatlik verilerden elde edilir.

$T_{iç}$: İç tasarım konfor sıcaklığı, (K)

Eğer $T_{iç}$ bina otomasyonu ile gün boyu değiştiriliyor ise $T_{iç}$ de zamanın bir fonksiyonu olarak ele alınır. Aksi durumda ısıtmada 22°C (295 K) sabit alınır. Derece-saat verilerinin de bu sıcaklıkta hesaplanmış olmasına dikkat edilir. Soğutma için sabit değer 24°C (297K) dir.

$q_c(t)$: t saat dilimindeki saatlik hissedilir soğutma yükü, (kW-h)

U_c : Yapı zarfının soğutma mevsimi ortalaması genel ısı transfer katsayısı, (kW-h/K)

Bu eşitliklerde iç hava sıcaklığının gün boyu sabit tutulduğu varsayılmalıdır. Genelde bina dış cephelerindeki ısı taşınım ve ışınım katsayıları ısıtma ve soğutma mevsimlerine göre değişiklik gösterdiğinden U değerleri yaz ve kış değerleri olarak ikiye ayrılmıştır. Eğer yukarıdaki eşitliklerdeki U değerleri biliniyor ise saatlik dış sıcaklıklar da meteorolojik verilerden bilindiğine göre derece-saat olarak saatlik ısıtma ve hissedilir soğutma yükleri yukarıdaki eşitliklerden hesaplanabilir. Saatlik meteorolojik veriler içerisinde ışınım, rüzgâr yönü ve şiddeti bağıl nem değerleri de bilindiğinden mevsim ortalamalı U değerlerine özel düzeltme çarpanları uygulanarak U değerlerinin de saatlik değişkenler ($U(t)$) haline getirilerek daha duyarlı çözümler elde edilebilirse de bu konu ileriki çalışmalarda ele alınacaktır. Bu tür bir düzeltme çarpan serisinin aşağıdaki şekilde olacağı tahmin edilmektedir:

$$U_h(t) = \left(\frac{V_r(t)}{V_{ro}} \right)^a U_h \quad (\text{kW-h/K}) \quad (3)$$

$$U_c(t) = \left(\frac{I(t)}{I_o} \right)^b \left(\frac{V_r(t)}{V_{ro}} \right)^c U_c \quad (\text{kW-h/K}) \quad (4)$$

Burada $V_r(t)$ bina cephesine gelen saatlik ortalama rüzgâr hızı (m/s), V_{ro} rüzgâr hızının tasarım değeri (m/s), $I(t)$ bina cephesine gelen saatlik ortalama ışınım değeri, I_o ise tasarım değeridir.

Mevsimlik U tasarım değerleri U_h ve U_c ise belirli bir bina için yönetmeliklerde mevcut ısıtma ve soğutma tasarım yüklerinin standart (Statik) hesap yöntemleri ile ortaya çıkan saatlik tasarımsal yük değerlerinden (Q_h ve Q_c) bulunur:

$$U_h = \frac{Q_h}{IDS_D} = \frac{Q_h}{(T_{iç} - T_{oD})} \quad (\text{kW-h/K}) \quad (5)$$

$$U_c = \frac{Q_c}{SDS_D} = \frac{Q_c}{(T_{oD} - T_{iç})} \quad (\text{kW-h/K}) \quad (6)$$

Burada IDS_D ve SDS_D sırası ile ısıtma ve hissedilir soğutma derece-saat değerlerinin dış tasarım (Dizayn) koşullarındaki değerleridir. T_{oD} mevsimsel dış tasarım sıcaklığıdır. Q değerleri ise salt bina tasarım yükleri olup sistem verimlerini içermez. Bahar (İlkbahar ve sonbahar) mevsimleri kırılıma dâhil edilecekse (dört mevsim) bu iki bahar dönemi için (Shoulder season) ortalama U_{hc} değeri olarak U_c ve U_h değerlerinin o yöredeki ısıtma ve soğutma mevsimleri dönemlerini (gün tabanında) ağırlıklı ortalaması kullanılabilir.

Elektrik yüklerinin ve sıcak su yüklerinin saatlik değişimleri bina özelinde ayrıca tipik mevsimsel tabanda günlük yük profilleri dikkate alınarak çözümlenmelidir. Bu konuda literatürde çalışmalar mevcuttur [3].

Eğer yıllar boyunca bir ekonomiklik çözümlenmesi yapılacak ise bina hissedilir yükleri her takip eden sene için % 3 arttırılır. Isıtma yükleri için ise % 2 oranında azaltılır [4]. Bu değerler Ülke ortalamasında binaların eskime payı ve bakım yetersizliği yanında küresel ısınmanın genel etkisi göz önünde tutularak önerilmiştir. Soğutma derece-saat değerleri gizli soğutma yüklerini içermediklerinden bu değerlere belirli bir zam katsayısı uygulanarak yaklaşık da olsa gizli soğutma yükleri de dikkate alınmış olur. Bu zam katsayısı Ege, Marmara, Akdeniz ve Güney Doğu Anadolu için 1,75, diğer yöreler için 1,4 olarak önerilmiştir. Bu yaklaşık hesapta % 50 taze hava rejimi kabul edilmiştir.

Derece-saat değerleri binanın yıllık toplam ısıtma ve hissedilir soğutma yüklerini oldukça duyarlı biçimde (Binanın ısı özellikleri belli ise) verebilir. Bu toplam değerler saatlik yüklerin altında kalan alanların zamana karşı toplamıdır (integralidir). Saatlik yük salınımları ise binaya, yöreye, meteorolojik koşullara bağlıdır.

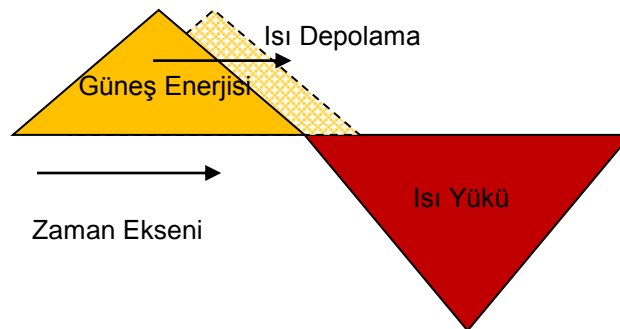
Aynı şekilde, yenilenebilir enerji kaynaklarının saatlik salınımlarının altındaki alanların toplamı yıllık toplam brüt enerji arzını verir. Örneğin, güneş enerjisinin yıllık toplamı (kW-h) her yöre için güneş enerjisi atlasında mevcuttur. Rüzgâr enerjisinin ise:

Yıllık ortalama kapasite faktörü x tasarım hızına bağlı güç üretimi x yıllık saat

şeklindeki bir ifade rüzgâr enerjisinin toplam yıllık kW-h verir ancak bu enerji kaynağı bina güç yüklerinin karşılanmasında veya üretilen güç ısı pompasının tahrikinde kullanılacak ise ısıtma veya soğutma yükleri ile ne derece uyumludur bunun da saatlik tabanda incelenmesi gerekir.

Diğer bir deyişle, kW-h birimindeki büyüklükler matematiksel olarak zaman boyutundan bağımsız olarak eşleştirilebilir ama kW büyüklükler hiç eşleşmeyebilir (örtüşmeyebilir). Bu eşzamansızlığın göz önünde tutularak enerji depolamasının etkisi ortaya çıkarılmalıdır (Şekil 2).

Bir ekstrem durum aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 2. Güneş enerjisi sisteminde En Olumsuz Koşul ($EÇ = 0$).



Depolama olmaksızın güneş enerjisi bu ekstrem örnekte hiç işe yaramamaktadır. Burada $E\check{C}$ (Eş-zamanlılık çarpanı) sıfır değerindedir (Depolama olmadığı takdirde). Bu kuramsal şekilde güneş enerjisi varken ısı yükü yoktur. Isı yükü varken de güneş enerjisi yoktur. Deponun ise ne denli yarar (örtüşüm, eşzamanlılık) sağlayacağı seçilecek depolama kapasitesine bağlıdır ve gene bu hesaplar gerçek saatlik yük ve enerji arz (amadelik) salınımları olmadan bilinemez. Elektrik üretiminde ise şebeke bağlantısı merkezi bir depo olarak düşünülebilir.

Arz ve talebin uygulama sırasındaki gerçek eşleşmeme (örtüşmeme, eşzamansızlık) durumu ve bunun tüm hesaplara etkisi de ancak gerçek saatlik salınımlardan görülür.

Eş-zamanlılık çarpanı ($E\check{C}$) ise yıllık bağlamda saatlik değerlerle tahmin edilirse bu yöntem oldukça duyarlı sonuçlar verebilir. Ama bu olası duyarlık yöreye, bina özelliklerine, meteorolojik koşullara, bina işletimine ve kullanım düzenine bağlıdır. Bunun hesaplandığını varsayalım, o zaman,

$$\begin{aligned} & \text{Güneş Enerjisinin Binaya Mevsimlik (Yıllık) Net Katkısı} \\ & = (E\check{C}) \times \text{Mevsimlik (Yıllık) Toplam Işınım Değeri (kW - h/yıl)} \times \bar{\eta} \\ & \times \text{Toplaç Güneş Işınımı Yüzey Alanı} \end{aligned} \quad (7)$$

Buradaki ortalama verim (yıllık veya mevsimlik) sistemin güneşi takip edip etmediğine ediyorsa nasıl takip ettiğine ve dış hava koşullarına ve işletme sıcaklıklarına/yüklerine bağlıdır.

Örneğin belli bir yöre için toplam ışınım değeri güneş atlasından alındıktan sonra güneş enerjisi sisteminin özelliklerine ve güneş ışınlarına olan yönüne göre brüt toplam ışınım enerjisi hesaplanır. Dış koşullara göre sistemin ortalama verimi bulunur. Örneğin PV sisteminde dış hava sıcaklıklarının saatlik değerlerine göre PV verimi saatlik tabanda hesaplanır. Su veya buhar üreten sistemlerde de talep sıcaklığı önemlidir. Örneğin düzlemsel sıcak su toplacında toplaç verimi talep edilen su sıcaklığına ve dönüş suyu sıcaklığına bağlıdır. Verimi etkileyen ısı kayıpları da rüzgâr, bulutluluk, nem ve dış hava sıcaklıklarına bağlıdır.

Görüldüğü gibi sistem yukarıdaki denklemle ne kadar basitleştirilirse basitleştirilsin, faktörlerin hesabı çok karmaşıktır ve ancak tam anlamı ile tüm verileri veren saatlik tabanlı bina modellemesi ve güvenilir meteorolojik saatlik verilerle çözülebilir.

$$\begin{aligned} & \text{Her bir yenilenebilir Enerji Sisteminin Katkı Payı} \\ & = \frac{E\check{C} \times \text{yıllık net enerji üretimi}}{\text{Yıllık ısıtma derece - saat ve sıcak su gereksinimi}} \quad (\text{Isıtmada}) \quad (8) \end{aligned}$$

Geleneksel enerji kaynaklarının ve sistemlerinin talebin varsa arta kalan kısmını karşılamak üzere kullanılmasının CO₂ salımı ve parasal maliyeti (yakıt ve enerji) de bu eşitlik tabanında hesaplanabilir.

SONUÇ

Sonuç itibarı ile yaklaşık yöntem eş tabanlı mukayeseler için rahatlıkla kullanılabilir ($E\check{C}$ çarpanı ve verimler birbirini pay ve paydada yer aldıkları için götürür ve sistem çözümlemesi zaman boyutundan adeta bağımsız olur). Ancak bunun gerçekleşmesi için her bir değişik yenilenebilir enerji kaynağı ve sistemi kendi başına hesaplanır. Sonra bireysel katkıları toplanır



Aksi durumlarda $E\dot{C}$ nin detaylı bir matris hazırlığı içinde incelenmesi gerekir ve 1 ile 0 arasında değişir ki bunun etkisi en az toplam hata payı olarak % 30 dolayında olur.

Ayrıca:

Derece-saat kavramı gizli soğutma yüklerini veremez. Aynı şekilde elektrik yüklerini de vermez. Yıllık toplam ısıtma ve soğutma yüklerinin saatlik değişimlerini ve her birinin oranını (güç/ısı, sıcak kullanım suyu/ısıtma, sıcak kullanım suyu/soğutma, varsa buhar/güç gibi oranlar) vermez.

Özetle, talep tarafındaki saatlik tabandaki değişken yüklerin ve yük oranlarının her gün temelindeki saatlik değişimleri ile arz tarafındaki yenilenebilir enerji kaynaklarının ne denli eşleşebildiği, güneş, rüzgâr gibi enerji kaynaklarının, kojenerasyon gibi bir sistemlerin kapasite faktörü ile emre amadelik (örneğin güneş enerjisi akşamları yoktur). Kısacası arz ve talep taraflarındaki saatlik eşleşimi derece-saat bilgisi vermez. Bu durumda belli bir saatte güneş enerjisi var mı rüzgâr enerjisi var mı, varsa ne kadar ve o saat güç ve ısı yükleri ne kadar. Bunlar ne denli eşleşiyor, eşleşmiyorsa fosil yakıtlar ve şebeke elektriği ne kadar kullanılıyor bilinmelidir.

Mutlak hesaplar yani mukayese değil de gerçek değerlendirme, örneğin kurulu/kurulumuna karar verilmiş bir sistemin geri ödemesi kaç yıldır sorusunu hesabı söz konusu ise EF değeri hiç olmazsa mantıklı bir biçimde tahmin edilmelidir.

Güneş için default değerler:

Depolu sistemlerde $EF = 0,8$

Deposuz sistemlerde $EF = 0,6$ alınabilir

Rüzgâr enerjisi için EF , yıllık kapasite faktörünün bir orantısı olarak düşünülebilir:

$$EF = KF \times 0,8$$

Jeotermal toprak kaynaklı ısı pompası için $EF = 0,95$

Hava kaynaklı ısı pompası için $EF = 0,85$

Kojenerasyon sistemi $EF = 0,9$ (elektrik yük takibinde)

$$EF = 0,8 \text{ (ısı yükü takibinde)}$$

Bu default değerlerin duyarlı biçimde geliştirilmesinin projeye getireceği ek yük ve maliyet ile saatlik yük hesabının çıkarılması ile elde edilecek tasarruf dikkatle sorgulanmalıdır.

Yaklaşık yöntem seçeneysel mukayeselerde rahatlıkla kullanılabilir çünkü ikili karşılaştırmalarda, $E\dot{C}$ değerleri ve verim değerleri (yaklaşık olarak birbirini götürür ve çözüm $E\dot{C}$ den ve verimden (yaklaşık) bağımsız olur, zaman bağımlılığı da ortadan kalkar.

Ancak mutlak hesaplarda $E\dot{C}$ faktörü ve verim devreye gireceğinden ek bir kapsamlı çalışma yapılarak $E\dot{C}$ nin daha doğru kestiriminin yapılması gerekir. Böyle bir çalışma ile toplam hata payı % 15 e kadar inebilir. Bu çalışma yapılmaz ise ve yukarıdaki default değerlerle hata payı \pm % 15 e kadar çıkabilir (toplamda % 30).

Ancak şu da unutulmamalıdır ki tüm bina benzetim modelleri ve programlarının da hata payları ortalama olarak toplamda % 20 - %25 den az değildir. Dolayısı ile net ek hata payı % 5 dolayında olacağından yaklaşık yöntem saatlik modelleme olmaksızın mutlak hesaplar için de kullanılabilir. Ancak bu tipik ve tahminsel hata paylarının açıkça belirtilmesi ve kullanıcının da bilmesi yerinde olur.



SİMGELER

$IDS(t)$:	Yıl içerisinde t saat dilimindeki ısıtma derece-saat değeri, (K)
$SDS(t)$:	Yıl içerisinde t saat dilimindeki hissedilir soğutma derece saat değeri, (K)
$q_h(t)$:	t saat dilimindeki saatlik hissedilir ısıtma yükü, (kW-h)
U_h :	Yapı zarfının ısıtma mevsimi ortalaması genel ısı transfer katsayısı, (kW-h/K)
$T_o(t)$:	t saatindeki dış ortam kuru-termometre sıcaklığı, (K) Söz konusu yöreye ilişkin meteorolojik saatlik verilerden elde edilir.
$T_{iç}$:	İç tasarım konfor sıcaklığı, (K)
$q_c(t)$:	t saat dilimindeki saatlik hissedilir soğutma yükü, (kW-h)
U_c :	Yapı zarfının soğutma mevsimi ortalaması genel ısı transfer katsayısı, (kW-h/K)
$EÇ$	Eşzamanlılık çarpanı
$V_f(t)$	Bina cephesine gelen saatlik ortalama rüzgâr hızı, (m/s)
V_{ro}	Rüzgâr hızının tasarım değeri, (m/s)
$I(t)$	Bina cephesine gelen saatlik ortalama ışınım değeri, (W/m ²)
I_o	Bina cephesine gelen saatlik ortalama ışınım değerinin tasarım değeri, (W/m ²)
IDS_D	Isıtma derece-saat değerlerinin dış tasarım (Dizayn) koşullarındaki değeri
SDS_D	Hissedilir soğutma derece-saat değerlerinin dış tasarım (Dizayn) koşullarındaki değeri

KAYNAKLAR

- [1] BÜYÜKALACA, O., BULUT, H., YILMAZ, T., “Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey”, Applied Energy, 69/4, 269-2832, 2001.
- [2] Carrier, “The Benefits of 8760 Hour-By-Hour Building Energy Analysis”, <<http://dms.hvacpartners.com/docs/1001/public/04/811-584.pdf>> Son okunduğu tarih 25.12.2014.
- [3] EDWARDS, R. E., NEW, J., PARKER, L. E., “Predicting Future Hourly Residential Electrical Consumption: A Machine Learning Case Study”, *Energy and Buildings*, March 2012.3.
- [4] KILKIŞ, B. ve KILKIŞ, Ş., “Yenilenebilir Enerji Kaynakları İle Birleşik Isı Ve Güç Üretimi”, 550 sayfa, *TTMD Yayını*: Ankara, Kasım 2014.

ÖZGEÇMİŞ

Birol KILKIŞ

Dr. Kılış, 1949 yılında Ankara da doğdu. 1970 yılında ODTÜ Makine Mühendisliği Bölümünden yüksek şeref derecesi ile mezun oldu. Aynı bölümden M. Sc ve Doktora derecelerini alarak von Karman Enstitüsünden Akışkanlar Mekaniği dalında şeref derecesi ile mezun oldu. 1981 yılında TÜBİTAK Teşvik Ödülünü Kazandı. ASHRAE Yüksek Performans Binaları Komitesi üyesi ve ASHRAE TC 7.4 Sürdürülebilir Binalar İçin Ekserji Analizi Teknik Komitesi Başkanıdır. Diğer beş komitenin de üyesidir. Halen Başkent Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Profesör kadrosunda hizmet vermektedir. Ayrıca Enerji Mühendisliği Yüksek Lisans Programı Ana Bilim Dalı Başkanı, Avrupa Birliği Güneş Enerjisi Paneli Yönetim Kurulu Üyesidir.

