



# SİMÜLASYON DESTEKLİ ENERJİ ETKİN BİNA TASARIMINDA UYGULAMALAR

*Application Examples in Simulation Supported Energy Efficient Building Design*

**Ece KALAYCIOĞLU**  
**A. Zerrin YILMAZ**

## ÖZET

Bildiri kapsamında; enerji etkin bina tasarımının en önemli süreçlerinden olan ve tasarım kararlarının enerji performansına etkilerini en kısa sürede ve en düşük maliyetle tasarımcılara sunan simülasyon araçları, kazanım ve kısıtları ile beraber değerlendirilecektir. Bina enerji performansı simülasyonlarında karşılaşılan kısıtlar, genel olarak bina geometrisinin, bina büyüklüğünün, mekanik sistemlerin tasarlandığı şekliyle modelde ifade edilememesi şeklinde sıralanabilir. Bir başka önemli kısıt, bina yatırımcısı ve tasarım ekibinin, bina enerji performansı simülasyonlarını, tasarımı ve enerji performansını geliştirmek üzere kullanılacak bir araç olarak görmek yerine, genellikle gönüllü yeşil bina sertifikaları kapsamında zorunlu olarak yaptırılan bir işlem olarak görmelerinden kaynaklanmaktadır. Tüm bu kısıtlar, uygulamada karşılaşılan örnekler üzerinden ve önerilen çözüm yolları ile beraber anlatılacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Binalarda enerji verimliliği, Bina enerji performansı simülasyonları, Enerji etkin bina tasarımı.

## ABSTRACT

Within the scope of the paper, simulation tools, which are the most important part of the energy efficient building design and which demonstrate the effects of the design decisions to the energy performance in relatively short period and budget, will be evaluated together with their benefits and constraints. The restrictions encountered in building energy performance simulations may be asserted generally as the limitations in the expression of building geometry, size, and mechanical systems as they designed. Another important constraint emerges from the point of view of the building investor or designer that the simulations are not tools for developing the energy efficient design, but necessary operation for green building certification systems.

**Key Words:** Energy efficiency in buildings, Building energy performance simulations, Energy-efficient building design.

## 1. GİRİŞ

Tüm dünya verilerine bakıldığında her geçen yıl enerji tüketimi artmaktadır. Binalar ise küresel birincil enerji tüketiminin 1/3'ünden sorumludur [1]. Bu durum ülkemiz özelinde de benzerdir [2]. Dolayısıyla, binalarda enerji verimliliği, çok yüksek enerji tasarruf potansiyeli içermektedir. Binalarda sağlanacak enerji verimliliği, aynı zamanda enerjide dışa bağımlılığımızı azaltması, enerjiye ayırdığımız bütçenin azalması, yeni iş sahaları yaratması gibi etkileriyle de oldukça önemlidir.

Binalarda enerji verimliliği birçok tasarım kararına bağlıdır. Bina geometrisi, mekan organizasyonu, yönlendirme, malzemeler, mekanik sistemler, aydınlatma elemanlarının seçimi gibi birçok karar ayrı ayrı binanın kullanım ömrü boyunca gerçekleşecek enerji tüketimini etkileyecektir. Binanın enerji performansı ise bu parametrelerin ortak sonucudur ve minimum enerji tüketimi için optimize edilmelidir. Proje tasarım ve geliştirme aşamasında bu parametreler ile ilgili verilen kararlardan sorumlu olan birçok proje paydaşı bulunmaktadır ve tüm bu paydaşların, verdikleri tasarım kararlarının, binanın toplam enerji performansı konusunda fikir sahibi olmaları oldukça önemlidir.

Bir binada enerji tüketimini azaltabilmek için binanın enerji kullanım özelliklerini ve tüketim profilini bilmek ve enerji kaynaklarını ve sistemini anlamak gereklidir [3]. Bu noktada, binanın pasif sistemlerinin enerji performansına etkileri, yıllık enerji tüketim profili, enerji sistemlerinin çalışma prensibi hakkında detaylı, saatlik analiz sonuçlarına ulaşabilmek, problemleri bulabilmek ve çözüm üretebilmek, enerji performansını artırabilmek üzere simülasyon programlarının kullanımı gerekli hale gelmektedir.

## 2. SİMÜLASYON DESTEKLİ ENERJİ ETKİN BİNA TASARIMI

Bina enerji performansı simülasyon programları, binada yıl boyunca gerçekleşecek ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma, ekipman, kullanım sıcak suyu gibi farklı ihtiyaçlar için harcanacak enerji miktarının tahmini için kullanılan araçlardır. Bu araçları kullanmak binayı enerji etkin yapmaz, aksine bina tasarım sürecinde alınan her bir tasarım kararının, bu farklı enerji ihtiyacı/tüketimi kalemlerine etkisinin test edilebilmesini ve tasarım sonuçlanmadan önce binanın yıllık enerji tüketiminin optimizasyonunun yapılabilmesini sağlar. Ayrıca, binada enerji tüketimi açısından problemleri tasarım parametrelerinin önceden belirlenmesini ve önlem alınabilmesini sağlar.

Enerji etkin bina, kullanıcı konforundan ödün vermeden, yer aldığı iklim özellikleri gözetilerek tasarlanmış ve ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma gibi enerji ihtiyaçları minimize edilmiş binadır. Ancak genellikle, herhangi bir enerji türünü azaltmak için alınan önlemler, binada diğer enerji tüketimlerini artıracaktır. Örneğin aydınlatma armatürlerinde kullanılan lambaların, daha verimli lambalarla değiştirilmesi, iç kazançları azaltacağından, soğutma yüklerini azaltırken, ısıtma enerjisi tüketimini artıracaktır. Benzer şekilde, bina kabuğunda uygulanan ısı yalıtımı, ısıtma yüklerini azaltırken, soğutma yüklerini artıracaktır. Bina cephesinde, detaylı etütler olmadan uygulanan güneş kontrol elemanları güneş kazançlarını ve soğutma ihtiyacını azaltırken, ısıtma yüklerini artıracaktır. Binada güneşiği kullanımını artırmak üzere kurgulanan bina kabuğu tasarımı, güneş kazançlarını artırırken aydınlatma ihtiyaçlarını azaltacaktır. Bu durumda, binanın soğutma enerjisi ihtiyacının artan güneş kazançları ile artacağına ya da azalan iç kazançlar sayesinde azalacağına karar verebilmek oldukça karmaşık bir problemdir. Yapılacak çeşitli hesaplamalar sonucu cevap elde edilebilse de, günümüz koşullarında bu oldukça zaman alıcı ve maliyetli bir süreçtir. Bu noktada, enerji etkin bina tasarımında simülasyon araçlarının kullanımı kaçınılmazdır.

Bina enerji performansı simülasyon araçlarının kullanım alanları, temel olarak, farklı tasarım alternatiflerinin test edildiği parametrik analizler, kullanıcı konforu analizleri ve sertifikalandırma/derecelendirme amaçlı analizler olarak sıralanabilir.

### 3.1. Bina Enerji Performansı Simülasyon Araçları ve Seçim Kriterleri

Bina enerji performansını artırmak, tüm dünyada, politika geliştiricilerin, araştırmacıların ve yatırımcıların ortak hedefidir. Dolayısıyla geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam eden birçok simülasyon aracı bulunmaktadır. Bazı araçlar, 30-40 yıllık bir geçmişe sahip olmakla beraber, gelişen teknoloji ve sistemlere paralel olarak sürekli güncellenmektedir.

Her bir bina, bulunduğu yer, iklim, tasarımı ve kullanıcılarıyla tamamen özgündür ve barındırdığı pasif ve aktif sistemler de binaya özgü çözümler içerecektir. Tüm bina enerji performansı simülasyon araçları, binaların yıllık enerji tüketimlerini tahmin etmek üzere geliştirilmiş olmakla beraber, binalarda

kullanılabilecek tüm pasif ve aktif sistem hesaplarını, yüksek uzmanlık seviyesinde içerebilmeleri mümkün değildir. Ancak, simülasyon aracı, basitlik ve kullanım kolaylığını; doğruluk, hassasiyet ve temsiliyet yeteneğini ve veri detaylılığını dengelemelidir [4]. Bu doğrultuda, enerji etkin bina tasarımında kullanılacak simülasyon aracı seçiminde göz önünde bulundurulması gereken kriterler aşağıda sıralanmıştır.

### 3.1.1 Simülasyon Aracının Doğrulanmış Olması

Enerji etkin bina tasarımında kullanılabilecek, farklı algoritmalar kullanan bir çok simülasyon aracı bulunmaktadır. Teknik olarak, bir bina simülasyon modelinin farklı araçlar kullanılarak elde edilen sonuçları, birbirinden çok farklı olmamalı ve çelişmemelidir. Bu doğrultuda, kullanılacak simülasyon aracının uluslararası geçerliliği olan standartlarca (ASHRAE, BESTEST ve CEN) doğrulanmış olması, sonuçların güvenilirliği açısından oldukça önemlidir [5].

Tüm bina enerji performansı simülasyon araçları, binada enerji tüketimine sebep olan tüm sistemlerin modellenemediği ve analiz edilemediği simülasyon araçlarıdır. Bu tür araçlarda temel olarak aranan özellikler ise tüm yıl boyunca, yani 8760 saat için, hesap yapabilmemesi, hesaplama aralığının 1 saat veya daha kısa zaman dilimlerine ayarlanabilmesi, tüm yılı kapsayan saatlik detayda sıcaklık, nem rüzgar, ışınım gibi iklimsel verileri kullanabilmesi ve dinamik hesaplama (iteratif yöntemlerle, farklı ısı zonlarının etkileşimini ve bir önceki zaman dilimi hesap sonuçlarını kullanarak) yapabilmemesidir.

### 3.1.2. Bina Enerji Performansı Hedefleri

Enerji etkin bina tasarımında, tasarım sürecinin başında belirlenmiş bir performans hedefi, tasarım sürecinde alınacak kararlar açısından oldukça önemlidir. Konulan bu hedef, binada toplam bir enerji verimliliğini içerebileceği gibi, bina fonksiyonuna, bulunduğu klime veya benzeri sebeplere göre daha özelleşmiş enerji tüketim alanlarına yönelik de olabilir. Günlüğü kullanımını artırmak, soğutma yüklerini azaltmak, doğal havalandırmadan yararlanmak gibi özelleşmiş hedeflerde, bu konular özelinde uzmanlaşmış, detaylı analizler yapabilen programlar kullanmak önemlidir. Örneğin binanın havalandırma ihtiyacı, öncelikle doğal havalandırma teknikleri ile çözülmek isteniyorsa, tüm bina enerji performansı simülasyon araçları yerine, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) hesapları konusunda özelleşmiş bir araç kullanılarak senaryolar test edilmelidir.

### 3.1.3. Bina Tasarım Aşamaları

Simülasyon programlarının çalışabilmesi için bina modelinin program içerisinde oluşturulması gereklidir. Bina modelini oluşturmak için ise binanın geometrisi, kullanılan malzemeler, kullanım senaryoları, iklim, çevre, mekanik sistemler, kullanıcı konfor koşulları, havalandırma sistemleri, elektrik ve aydınlatma sistemleri, yenilenebilir enerji sistemleri, vb. ile ilgili birçok veri girişine gerek duyulur. Ancak bina tasarım sürecine bağlı olarak, simülasyon aracına girilebilecek veriler değişkenlik gösterecektir.

Bina tasarım aşamaları genel olarak ön tasarım, kavramsal tasarım, tasarım geliştirme, detaylı tasarım (uygulama projesi) ve bina kullanım adımlarını içermektedir. Her bir aşamada tasarım kararları detaylandırılmakta, dolayısı ile de simülasyon araçlarında kullanılabilecek daha fazla ve detaylı veri üretilmektedir. Aşağıda verilen Tablo 1, tasarım aşamaları ile her bir aşamada simülasyon modelinin içeriğini ve hangi amaçlarla kullanılabileceğini özetlemektedir.

Tasarımın her aşamasında bina enerji performansının ölçülmesi ve tasarım kararlarının belirlenen hedefe göre test edilmesi önemlidir. Ancak, tasarımın erken aşamalarında, yani bina tasarımına ait detaylı veri bulunmayan aşamalarda, çok detaylı veri girişi gerektiren araçlar kullanıldığında, programın çalışması için gerekli olan veriler eksik kalacaktır. Bu durumda, eksik veriler, konunun uzmanları tarafından belli bir varsayım yöntemi ile belirlenebilir; ancak, simülasyon modelini kuran kişi bina fiziği uzmanı değil ise, tasarım aşamasına, yani binaya ait veri detayına uygun simülasyon araçları seçmesi uygun olacaktır.

**Tablo 1.** Bina tasarım aşamaları ve her aşamada simülasyon modelinin içeriği.

Tasarım Aşamaları	Simülasyon Modeli İçeriği
Ön Tasarım	Geometrik model yok, iklim analizi, güneş kullanım analizi, bina açıklıkları analizi, vs. yapılabilir.
Kavramsal Tasarım	Binanın genel kütlesi, yapı malzemeleri ve kullanım zaman takvimi için temel öngörüler, komşu binaların ve topografyanın etkisi, güneş panelleri, pencere açıklıkları analizleri, pasif tasarım ilkelerinin etkinliği ve HVAC seçenekleri değerlendirilebilir.
Tasarım Geliştirme	Bina geometrisi, yaklaşık miktar, büyüklük ve biçimine uygun şekilde kullanılan malzemeler, genel sistemler ve ekipmanlar, erken görsel ve ısı konfor analizleri yapılabilir.
Uygulama Projesi	Tüm tasarım detayları, tüm bileşenleri ve kesin ölçüleri içerir, mekanik, elektrik ve strüktürel sistemlerin entegrasyonu yapılır. Detaylı dinamik enerji ve CFD simülasyonları yapılabilir.

### 3.1.4. Simülasyon Aracı Kullanıcısının Uzmanlık Düzeyi

Simülasyon destekli bina tasarımı çeşitli aşamalardan oluşmaktadır. Bunlar genel olarak, bina modelinin oluşturulduğu veri girişi, simülasyonun çalıştırılması, çıkan sonuçlarda hataların ayıklanması ve sonuçların yorumlanması olarak sıralanabilir. Tüm aşamalarla bina enerji performansı simülasyonu uygulaması, iş gücü yoğun, zaman alıcı ve hata yapmaya açık bir süreçtir [6]. Tüm bu aşamalarda, simülasyon aracı kullanıcısının simülasyon konusu üzerine uzmanlık seviyesi, elde edilen sonuçların doğruluğu ve güvenilirliği açısından oldukça önemlidir.

### 3.1.5 Simülasyon Araçları Karşılaştırma

Uluslararası alanda, bina enerji performansını ölçmek adına geliştirilmiş bir çok simülasyon aracı (yazılım) bulunmaktadır. Bu araçların birçoğu, Uluslararası Bina Performansı Simülasyonları Derneği'nin Amerika Şubesi tarafından hazırlanmış "BEST Directory" rehberi aracılığıyla karşılaştırılabilir [7]. Bunun yanı sıra, birçok araştırmacı, kullanıcı ve geliştirici de çeşitli programları karşılaştırdıkları bildiri ve makaleleri yayınlamışlardır. Sousa'nın yayınladığı karşılaştırma tablosunun sadeleştirilmiş bir özeti de aşağıdaki Tablo 2'de verilmiştir [8]. Bu tabloda, Amerikan Enerji Bakanlığı tarafından 1970'lerden beri geliştirilmekte olan açık kaynak kodlu ve ücretsiz olan Energy Plus [9], İngiltere Strathclyde Üniversitesi tarafından yine 1970'lerden beri geliştirilmekte ve yine açık kaynak kodlu ve ücretsiz bir yazılım olan ESP-r [10], İsveç'li özel bir firma tarafından 1990'lı yıllardan beri geliştirilmekte olan IDA ICE [11], İngiltere'li özel bir firma tarafından 1990'lı yıllardan beri geliştirilmekte olan IES [12], ve Amerika'lı özel bir firma tarafından 1980'li yıllardan beri geliştirilmekte olan TRANSYS programlarının [13] bir karşılaştırılması verilmiştir.

## 3.2. Bina Enerji Performansı Simülasyon Kullanımında Karşılaşılan Kısıtlar

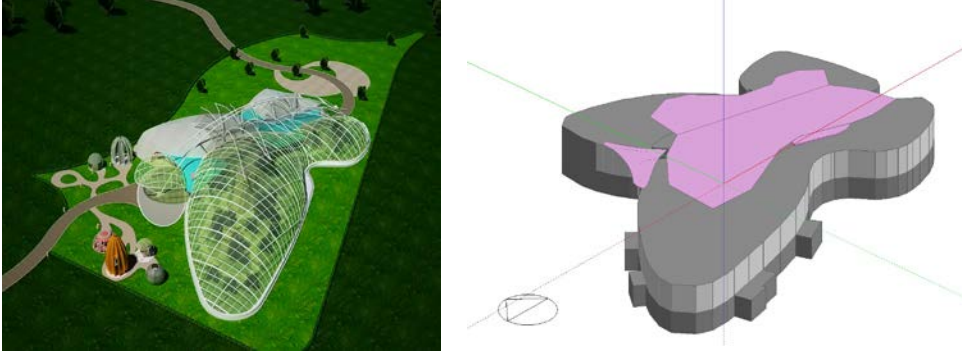
Simülasyon aracı seçimine bağlı olarak, enerji etkin bina tasarımında simülasyon aracı kullanımında çeşitli kısıtlarla karşılaşabilmektedir. Bu kısıtlar, temel olarak, bina tasarımının simülasyon aracında temsil edilmesi ile ilgili problemlerden kaynaklanmaktadır ve bina geometrisi, büyüklüğü, mekanik sistem tasarımı gibi konularda karşılaşılmaktadır.

**Tablo 2.** Çeşitli simülasyon araçlarının karşılaştırılması.

	Energy Plus	ESP-r	IDA ICE	IES	TRNSYS
Yük Hesabı	+	+	+	+	+
Lineer olmayan sistemlerin iteratif çözümü	+	+	+	+	+
Çeşitli zaman aralıklarında hesaplama	+	+			
Diğer CAD programlarından bina geometrisini içe aktarabilme	+	+	+	+	+
Bina geometrisini diğer CAD programlarında kullanmak üzere dışa aktarabilme	+	+	+		
Yapı malzemelerinden nem geçişinin hesaplanması	+		+	+	+
Güneş analizleri	+				+
Zonların yüzey sıcaklıkları	+	+	+	+	+
Pencerelerden gerçekleşecek hava akışı analizi	+	+		+	+
Güneş ışığı analizleri ve aydınlatma kontrolü	+	+	+	+	
Rüzgar basıncı katsayılarının otomatik hesabı				+	
Doğal Havalandırma	+	+	+		+
Doğal ve mekanik havalandırma				+	
Pencerelerin doğal havalandırma için kontrolü	+	+	+		+
Yenilenebilir güneş enerjisi	+	+		+	+
Fotovoltaik paneller	+	+		+	+
Hidrojen sistemleri		+			+
Rüzgar enerjisi		+			+
Elektrik jeneratörleri	+				+
Elektrik şebeke bağlantısı	+	+			+
İdealize edilmiş HVAC (Bina enerji ihtiyacı)	+	+	+	+	+
HVAC sistemlerin standart kurulumu	+	+	+	+	+
Karbondioksit salım hesabı			+	+	+
Her zon için cebri havalandırma cihazı tanımı	+	+	+	+	+

### 3.2.1. Bina Geometrisi ve Büyüklüğü

Bina enerji performansı simülasyon araçlarında, bina geometrisi, yani duvar, döşeme, çatı, pencere gibi yapı elemanları, ısı geçişi ve güneş kazancı hesapları için temel verileri oluştururlar. Ancak gerçekte bina geometrileri oldukça karmaşık olabilmektedir. Dolayısı ile, görselleştirme amaçlı yapılan bir modellemenin tersine, bina geometrisi sadeleştirilerek simülasyon modeline aktarılmalıdır. Şekil 1'de Konya Kelebek Müzesi için yapılan mimari görselleştirme modeli ile bina enerji performansı modeli arasındaki fark görülebilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken hususlar, mahallerin hacimsel büyüklüklerinin ve ısı geçişi olacak yapı elemanı yüzey alanlarının tasarlandıkları durumlardan farklılaşmaması, güneş kazançlarının mahallere doğru aktarılabilmesi, mahallerdeki ısı kütlesi etkisinin doğru ifade edilebilmesidir.



**Şekil 1.** Konya Kelebek Müzesi mimari modeli ve simülasyon modeli [14].

Enerji performansı simülasyon araçları temel olarak binada tüm yıl boyunca (8760 saat), belirli zaman aralıklarında (1, 10, 30, vb. dakikada bir) ve dinamik olarak (bir önceki zaman diliminin sonucu kullanılarak) ısı geçişi hesabı yaparlar. Dolayısıyla ısı geçişi yapılacak yüzeylerin sayısı ne kadar fazla ise hesap süresi de o kadar uzayacaktır. Bina modeli kurulurken, yüzey sayılarının mümkün olduğunca azaltılması önemlidir. Ancak, toplam alanı oldukça büyük binalarda modellenen yüzey sayısı, simülasyon aracının kapasitesini aşabildiği durumlar yaşanabilmektedir. Böyle durumlarda ısı zonlar, fonksiyonlarına, yöneliş durumlarına, bina kabuğu özelliklerine, mekanik sistem bağlantılarına göre birleştirilebilir. Benzer plana sahip katlar, bir defa modellenip, sonuçlar kat adediyle çarpılarak çoğaltılabilir. Şekil 2’de 25 katlı bir konut binasının enerji modeli görülmektedir. Bu modelin hem veri giriş prosedürünü hızlandırmak hem de simülasyonun çalışma hızını artırabilmek amacıyla, plan yerleşimi, ısı geçiş karakteri ve mekanik sistemleri anlamında benzer katları, simülasyon programında tek bir sefer modellenmiş ve sonuçlar tekrarlayan kat adedi ile çarpılarak toplam sonuca dönüştürülmüştür.



**Şekil 2.** Tepe Mesa mimari modeli ve simülasyon modeli [14].

### 3.2.2. Mekanik Sistemler

Enerji performansı simülasyon araçlarında, mekanik sistemler temel olarak üretici bir ekipman ile mahale koşullayan ekipmanlar arasındaki bir akışkanın (su, hava, vb) döngüsü olarak ele alınır ve tanımlanırlar. Bu döngüler, kapalı bir sistem olarak çalışır ve program algoritmasında özel uygulamalar yapılmadıkça farklı sistem döngüleri karıştırılmazlar ya da ayrılamazlar. Ancak gerçek durumlarda, klima santrali üfleme havasının, fan-coil cihazından geçirilmesi, klima santrali ile mahale verilen taze havaya karşılık, kirliliğin ayrı bir egzoz fanı aracılığıyla yapılması veya aynı mahale farklı santrallerden üfleme ve çekiş yapılması gibi durumlar, genel olarak mekanik sistemlerin simülasyon aracında modelini zorlaştırmaktadır. Burada yapılabilecek olan, kullanılan simülasyon aracının yeteneklerini iyi tanıyıp, mevcut sistemi en doğru ifade eden yönteme karar vermektir.

### 3.2.3. Bina Yatırımcısı / Tasarımcısı Bakış Açısı

Ülkemizde bina enerji performansı simülasyonları, halen bir tasarım aracı olarak görülmekten çok, çoğunlukla gönüllü yeşil bina sertifikasyon sistemlerine başvurmuş projelerde, puan almak üzere, binanın enerji performans seviyesinin belirlenmesi amaçlı kullanılmaktadır. Bina enerji performansı simülasyonlarının amacı ve işlevi doğru anlaşılammıştır. Sertifikasyon sistemleri için, bina enerji performansı simülasyon aracı kullanıldığında, binanın enerji performansının iyileşeceği yönünde yanlış bir kanı hakimdir. Bu durum, simülasyonu bir araç olarak değil, bir amaç olarak görmekten kaynaklanmaktadır. Bina enerji performansı simülasyonları, tasarım ekibine karar alma süreçlerinde yardımcı olacak şekilde ve konunun uzmanları tarafından kullanılmalı ve tasarım sürecine dahil edilmelidir. Bu durum, alışılmış tasarım sürecinde, başlangıçta adapte olunması zor ve süreç yönetimini değiştiren bir anlayış gerektirmektedir, ancak entegre tasarım stratejileri uygulanarak simülasyon destekli enerji-etkin tasarım süreci yönetilebilir.

### SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Küresel ölçekte binalar, en fazla enerji tüketen sektörlerden biridir ve binalarda enerji verimliliğinin artırılması, ciddi bir enerji tasarruf potansiyeli içermektedir. Ancak, binaların yıllık enerji tüketimleri, her bir ihtiyaç türü özelinde (ısıtma, soğutma, havalandırma, vb.) detaylı olarak incelendiğinde, binanın tasarım aşamasında alınan her karardan aynı anda olumlu ve olumsuz yönde etkilenebildikleri görülmektedir. Dolayısıyla enerji etkin bina tasarımı, oldukça karmaşık bir probleme dönüşmektedir. Bu noktada, binanın yıllık enerji performansını ölçen ve her bir tüketim noktasına dair detaylı sonuçlar verebilen simülasyon araçlarını kullanmak, enerji etkin bina tasarımı için zorunlu hale gelmektedir.

Simülasyon destekli enerji etkin bina tasarımında, öncelikle, simülasyon aracının yıllık iklim verilerini kullanarak saatlik ve daha kısa zaman aralıklarında hesaplama yaparak sonuç verebiliyor olması ve uluslararası standartlara göre doğrulanmış olması, sonuçların güvenilirliği açısından önemlidir. Bunun yanı sıra, binanın enerji performansı hedefleri de kullanılacak simülasyon programı seçiminde önemli bir kriter olabilmektedir. Genellikle, tüm bina enerji simülasyonu yapabilen araçlar kullanılsa da, bazı durumlarda, doğal havalandırma, güneşiği kullanımı, yenilenebilir enerji sistemleri, vb. gibi konularda özelleşmiş araçlara ihtiyaç duyulabilmektedir. Simülasyon araçlarında bina modelleri temel olarak binaya ait verilerin girişi yapılarak oluşturulur ve bu veriler ancak, bina tasarımı ilerledikçe elde edilebilir. Dolayısıyla, erken tasarım aşamalarında, binaya ait veriler yetersiz olduğunda, simülasyon aracının çalışması için gereken verilerin konunun uzmanı tarafından belirli varsayımlar üzerine tahmin edilerek girilmesi, yine elde edilecek sonuçların güvenilirliği açısından önemlidir. Simülasyon araçlarını, bina fiziği alanında uzman kişilerin kullanıyor olması, veri girişinin yanı sıra, programda oluşan hataların ayıklanması, sonuçların doğruluğunun sınanması ve yorumlanması açısından da oldukça kritiktir.

Simülasyon programlarının, bina enerji performansı analizleri için kullanımında karşılaşılan bazı kısıtlar da bildiri kapsamında sıralanmıştır. Bunlar temel olarak, binanın mimari ve mekanik sistem tasarımlarının, simülasyon aracında ifadesi ile ilgili problemlerden kaynaklanmaktadır. Ancak uygulama alanında en büyük kısıt, bina enerji performans simülasyon araçlarının bir tasarım aracı olarak görülmemesi olarak ifade edilebilir.

Sonuç olarak, simülasyon destekli enerji etkin bina tasarımı, ülkenin enerji verimliliğine katkı sağlayacak, enerjide dışa bağımlılığı azaltacak, enerji için harcanan bütçeyi azaltacak ve yeni iş alanlarının açılmasına katkıda bulunacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] IEA International Energy Agency, <https://www.iea.org/buildings/>, 21.01.2019 tarihinde edinilmiştir.
- [2] TÜRKYILMAZ, O., ÖZGİRESUN, C., “Türkiye Enerji Görünümü 2013”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 2013.
- [3] KLİMCZAK, M., BOJARSKI, J., ZIEMBICKI, P., KESKIEWICZ, P., “Analysis of the Impact of Simulation Model Simplifications on the Quality of Low-Energy Buildings Simulation Results”, *Energy & Buildings* 169, 141-147, 2018.
- [4] TOZZI, P. Jr., JO, J. H., “A Comparative Analysis of Renewable Energy Simulation Tools: Performance Simulation Model vs. System Optimization”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 80, 390-398, 2017.
- [5] ATTIA, S., “Building Performance Simulation Tools: Selection Criteria and User Survey”, *Architecture et climat, Université catholique de Louvain*, 2010
- [6] ANDRIAMAMONJY, A., SAELENS, D., KLEIN, R., “An Automated IFC-based Workflow for Building Energy Performance Simulation with Modelica”, *Automation in Construction* 91, 166-181, 2018.
- [7] Building Energy Software Tools Directory, <https://www.buildingenergysoftwaretools.com/>, 27.02.2019 tarihinde edinilmiştir.
- [8] SOUSA, J., “Energy Simulation Software for Buildings: Review and Comparison”, *Information Technology for Energy Applications 2012*.
- [9] Energy Plus, <https://energyplus.net/>, 27.02.2019 tarihinde edinilmiştir.
- [10] ESP-r, <http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm>, 27.02.2019 tarihinde edinilmiştir.
- [11] IDA ICE, <https://www.equa.se/en/>, 27.02.2019 tarihinde edinilmiştir.
- [12] IES-VE, <https://www.iesve.com/>, 27.02.2019 tarihinde edinilmiştir.
- [13] TRANSYS, <http://www.trnsys.com/>, 27.02.2019 tarihinde edinilmiştir.
- [14] EKOMİM Ekolojik Mimarlık Hizmetleri, <http://www.ekomim.com/referanslar/> 21.01.2019 tarihinde edinilmiştir.

## ÖZGEÇMİŞ

### Ece KALAYCIOĞLU

Dr. Ece Kalaycıoğlu, 2007 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversitede 2007 yılında yüksek lisans çalışmalarına başlamış ve bu süreçte 2008 -2009 yılları arasında Politecnico di Torino Üniversitesi'nde Bina Performans Direktifleri ve enerji sertifikasyon sistemleri üzerine tez çalışması yapmıştır. 2010 yılında Yüksek Mimar ünvanını almıştır. Son olarak, 2017 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi'nden Doktor derecesini tamamlamıştır. 2009 - 2016 yılları arasında EKOMİM Ekolojik Mimarlık Hizmetleri adlı firmada çalışmıştır. 2017 Eylül ayından bu yana Özyeğin Üniversitesinde öğretim görevlisi olarak çalışmakta ve Fiziksel Çevre Kontrolü derslerini vermektedir. Çalışma konuları arasında, bina enerji performansı, aydınlatma ve güneş ışığı performansı modelleme ve simülasyonları, enerji etkin ve sürdürülebilir mimari tasarım geliştirme, kullanıcı ısı ve görsel konfor analizleri, sıfır/yaklaşık sıfır enerji/karbon bina tasarımı, yenilenebilir enerji sistemleri ve bölgesel enerji sistemleri yer almaktadır.

### A. Zerrin YILMAZ

1979 yılından beri İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Fiziksel Çevre Kontrolü Birimi'nde görev yapmakta olan, 1983-1984 yılları arasında “Lawrence Berkeley Laboratory Passive Solar Group” ile çalışan ve 1993 yılından beri İTÜ'de aynı birimde görevini profesör olarak sürdüren A. Zerrin Yılmaz'ın enerji etkin tasarım, bina fiziği, yeşil bina, yeşil yerleşim, bina enerji simülasyonu ve enerji modelleme, iklimsel konfor, binalarda güneş enerjisi kullanımı ve yoğunlaşma kontrolü konularında ulusal ve uluslararası 100 den fazla yayını, ulusal ve uluslararası araştırmaları, yürüttüğü yüksek lisans ve doktora tezleri ve bu alanlarda uygulamaları bulunmaktadır. Binalarda enerji verimliliği, yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımı, bina enerji modelleme ve enerji etkin iyileştirme gibi alanlarda çeşitli ulusal projeler ve AB projeleri dahil uluslar arası projelerde çoğunlukla yönetici olarak yer almıştır. Bu alandaki CITYNET AB projesi Avrupa Komisyonu tarafından star projeler arasına alınmıştır. Binalarda Enerji Performansı hesaplama yöntemi araştırmasında BEP-TR hesaplama





yönteminin net enerji hesaplama modülünü geliştiren grubun koordinatörlüğünü yapmıştır. Ayrıca, Türkiye için konutlara yönelik yeşil bina sertifikalandırma sisteminin oluşturulmasında, enerji verimliliği kredilerinin belirlenmesi ve farklı konut tipolojileri için referans binaların tanımlanması konusunda görev yapmıştır. EPBD-Recast kapsamında AB ülkelerinde Referans Bina çalışmaları yapmak üzere kurulmuş TASK-FORCE1 ekibinin Türkiye'den davetli üyesi olarak görev yapmıştır. REHVA bünyesinde Akdeniz ülkeleri için yaklaşık sıfır enerji bina seviyelerinin belirlenmesi için oluşturulmuş çalışma grubu içerisinde yer almıştır. Eskişehir Kocakır Mevkii'nde yer alan ve 80 bin nüfus için öngörülen "sıfır enerjili ve sıfır atıklı ekolojik yerleşme biriminin planlanması" araştırmasının İTÜ adına yürütücülüğünü yapmıştır.