

Enerji Performansına Dayalı Tasarımda Analiz ve Simülasyon

Analysis and Simulation on Energy Performance Based Design

Gülsu ULUKAVAK HARPUTLUGİL¹

Sürdürülebilirlik, ilişkilendirildiği sektöre bağlı olarak çok çeşitli tanımlar alabilmektedir. Yapı sektöründe bu tanım, “yüksek performanslı bina” gereklilikleri ile örtüşmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir tasarım gerçekleştirebilmek için tasarım süreci başından itibaren performans değerlendirme zorunlu hale gelmiştir. Tasarım süreci boyunca tasarım kararlarının ve dolayısıyla bina performansının değerlendirilmesine yönelik olarak bina performans modelleme/simülasyon araçları giderek önem kazanmaktadır. Bina performans simülasyonlarının daha etkin kullanımına yönelik yapılan çalışmalarda tasarım sürecinin başından itibaren değerlendirme önemli bir yer edinmektedir. Bu makale ile bina performansı, mimari tasarım süreci ve bina performans simülasyonları gibi anahtar kavramlar ile ilgili genel tanımlamalar yapılmakta ve yüksek performanslı bina tasarımında, özellikle enerji performansının öncelikli önem kazandığı tasarım süreci irdeleterek, süreç içinde bina simülasyonunun ve enerji analizinin yeri sorgulanmaktadır. Ayrıca, yüksek performanslı bina elde edilebilmesine yönelik, tasarım süreci içinde kullanılacak tasarım kılavuzlarının oluşturulabilirliği de tartışmaya açılmaktadır.

Anahtar sözcükler: Bina performans simülasyonu; enerji analizi; performans değerlendirme; tasarım kılavuzu; yüksek performanslı bina tasarımı.

The definition of sustainability varies depending on the sector to which it is related. In the building sector, sustainability mainly covers “high performance building” requirements. Thus to achieve sustainable design, it is necessary to carry out a performance assessment during the design process.. In order to assess design decisions and, subsequently, building performance during the design process, building performance modelling/simulation tools have gradually become more important. In studies focusing on improving building performance simulation, assessment in the early phases of design has become the main focus in recent times. In addition to several key issues - defined within the paper as building performance, design process and building performance simulation, this paper aims to reveal the current status of energy analysis and simulation in high performance building design by evaluating the current design process. Through defining components and effective areas of analysis and simulation with the aim of achieving high performance buildings, a discussion about the possibility of developing design guidelines is introduced.

Key words: Building performance simulation; energy analysis; performance assessment; design guideline; high performance building design.

¹Karabük Üniversitesi, Safranbolu Fethi Toker Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Karabük.

¹Department of Architecture, Karabuk University, Fethi Toker Fine Arts and Design Faculty, Karabuk, Turkey.

Yapı Fiziği ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi'nde sözlü olarak sunulmuştur (4-5 Mart 2010, İstanbul).

Presented at the Building Physics and Sustainable Design Congress (March 4-5, 2010, Istanbul, Turkey).

Giriş

Literatüre bakıldığında, binaların performans karakteristiğini tanımlayan çeşitli terminolojilerin kullanıldığı görülmektedir. Yüksek performans elde edebilme bağlamında farklı tanımlamalar yapılabilmektedir. En sık rastlanılan terimler ise, “yeşil bina”, “sürdürülebilir bina” ve yüksek performanslı bina” olarak sıralanabilir. Bina performansını, sürdürülebilir mimarlık çerçevesinde beklentilerin en uygun şekilde karşılanması olarak yorumlamak mümkündür. Bu beklentiler, insanın varlığını sürdürebilmesi, nitelikli bir yaşamının olabilmesi, ekosistem dengelerini bozmadan çevre kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla, uzun dönem çözümler üretmek için gerekli olan tüm etkinlikler olarak tanımlanabilir. Tüm bu beklentiler aynı zamanda sürdürülebilir mimarlığın temel hedefidir. Bu nedenle, mimarlığın “yeşil (*green*)”, “sürdürülebilir (*sustainable*)”, “çevresel (*environmental*)” veya “ekolojik (*ecological*)” kavramlarından herhangi biri ile ifade edilmesinin önemli olmadığı söylenebilir.¹

Bu çerçeveden bakıldığında, hangi ifade kullanılırsa kullanılsın, yüksek performanslı bina elde etmenin en önemli birkaç yararı; (a) doğal kaynakların kullanımının azaltılması, (b) maliyetin düşürülmesi (c) kullanıcı konforu ve sağlığının iyileştirilmesi ve (d) bölgesel altyapının tahribatının azaltılması ile yaşam kalitesinin iyileştirilmesi, olarak sayılabilir.²

Diğer taraftan, tasarım süreci boyunca performans gerekliliklerinin sorgulanması tasarım sürecinde tasarımcıya alternatifler içinden seçim yapmayı kolaylaştıracak destek sistemlerin kullanımını gerektirir. Bu özellikle tasarımın ilk aşamalarında henüz seçenekler çok çeşitliken ve kararlar belirsizken önemlidir. Bu nedenle araştırmacılar tasarım sürecinin ilk aşamasında kullanılacak destek sistemlerin iyileştirilmesi üzerinde çalışmalarını sürdürmektedir.³ Bu noktada bina performans simülasyonlarının bir destek sistem olarak hangi süreç kesitlerinde ve nasıl kullanılması gerektiği önem kazanmaktadır.

Yüksek performanslı binanın başarısı, tasarımının başından itibaren, disiplinler arası bir ekip tarafından binaya entegre sistemler bütünü olarak yaklaşılması ile sağlanır. Bu noktada performansın sınanması için tasarım sürecinin her aşamasında performans simülasyonu gerçekleştirmek ve sonuçları tanımlı sınırlı değerler bağlamında yorumlamak uygun olur.

Bu çalışma ile amaç, performansa dayalı tasarım yaklaşımının vurgulanmasını sağlamaktır. Önemli bir tasarım kararı destek sistemi olan bina performans simülasyonlarının tasarım süreci erken evrelerinde et-

kinliğinin nasıl değerlendirilebileceğini ve bu amaca hizmet edecek bir tasarım kılavuzunun oluşturulabilme potansiyelini tartışmaktır.

Bina Performansı Tanımı

Bina performansı için geliştirilen pek çok tanımlama var olmakla birlikte, Uluslararası Mimarlar Birliği-AIA (*Association of International Architects*) tarafından deklare edilen ve bina performansı hedefini veya amacını belirleyen tanımlamalar şöyledir:⁴

“...binalarda fonksiyonel ve çevresel kaliteye dayalı (örn. Isıl konfor, iç ortam havası, akustik, görsel kalite gibi) bireysel etkinliği sağlamak,

...binalarda bütünlüğe dayalı (örn. esneklik, dayanıklılık, strüktürel ve yangın güvenliği gibi) organizasyonel etkinliği sağlamak,

...bina yakın çevresinin kaynak dağılımı ve entegrasyonuna dayalı (örn. malzeme, arazi, su, enerji, atık, alt yapı gibi) toplumsal etkinliği sağlamak.”

Performans-bazlı bina, hangi amaçla inşa edilecekse, o amaca yönelik ihtiyacı barındırmalıdır. Bu bağlamda tasarım aşaması son derece önemlidir, çünkü binanın kullanım sürecindeki performansını belirleyecek pek çok karar bu aşamada alınmaktadır. “Yüksek performanslı bir bina” tasarlayabilmek için, binanın amaçlanan kullanımı tam karşılaması, bir başka deyişle tasarımcıların kullanıcı gerekliliklerini tam olarak anlaması son derece önemlidir, ancak yeterli değildir. Tasarımcı aynı zamanda binanın kullanıcı gerekliliklerini karşılamak için hangi özelliklere sahip olması gerektiğini de anlamış olmalıdır. Bu gereken özellikler, çözümden bağımsız, hesaplanabilir terimler halinde ifade edildiğinde, “performans gereklilikleri”nden söz ediliyor demektir.

Spekkink’e⁵ göre bir kullanıcı ihtiyacı, pek çok performans gerekliliğinin tanımlanmasını zorunlu kılar. Burada iki farklı dilden söz edilmektedir. Kullanıcı ihtiyacı dili, kullanıcının iyi anladığı ve çoğunlukla işleve yönelik gerekliliği ortaya koyan bir dildir. Örneğin kullanıcı ihtiyacı olarak, ihtiyaç programında da yer aldığı şekliyle “En fazla 25 kişi ile farklı oturma düzeninde (yuvarlak masa veya derslik) toplantı yapabilme imkanı sağlayacak bir mekan” tanımlanmaktadır. Diğer yandan perfor-

¹ Çelebi, vd. 2008, s. 12

² Harputlugil ve Hensen, 2006, s. 333-343.

³ Hopfe, vd. 2005, s. 1-16.

⁴ Bullen, 2006.

⁵ Spekkink, 2005, s. 29.

Tablo 1. RIBA çalışma planı ile TMMOB standart mimarlık hizmetleri iş aşamaları karşılaştırması

RIBA çalışma planı	Gruplama	TMMOB standart mimarlık hizmetleri iş aşamaları
A Ön değerlendirme	Tasarım öncesi çalışmalar	A Hazırlık ve ön etüd çalışmaları
B Programlama		
C Konsept tasarım	Tasarım çalışmaları	B Ön proje çalışmaları
D Tasarım geliştirme		C Kesin proje çalışmaları
E Teknik tasarım		D Uygulama proje çalışmaları D-1 Uygulama projesi D-2 Sistem ve montaj detayları D-3 İmalat detayları
F Üretim bilgisi	Yapım hazırlığı	D Uygulama proje çalışmaları
G Teklif hazırlama		D-4 Teknik şartnameler
H Teklif sunma		D-5 Metraj, keşif, maliyet analizi E İhale çalışmaları
J Saha çalışmaları	İnşaat	F Uygulama denetimi çalışmaları
K İnşaat tamamlama		G Kabul-Teslim
L Geri besleme	İnşaat sonrası	H Geri besleme çalışmaları

mans gerekliliği sıradan bir kullanıcı için bir anlam ifade etmeyen, bir uzmanlık dilidir. Örnekte verilen mekanın performans ihtiyaçları şöyle sıralanabilir;

- Gereken mekan: 3 m²/kişi;
- Mekan biçimi: En/ boy oranı < 1,5:1;
- Havalandırma: Her bir kişi ve her saat için 30 m³ taze hava;
- İç ortam hava sıcaklığı: 19°C < t < 21°C;
- Arka plandaki gürültü düzeyi (dış ortam kaynaklarıyla oluşan): En fazla 35dB (A);
- Reverberasyon süresi: 0,8 - 1,0 sn;
- Masa üstü aydınlatma düzeyi: En az 500 lux.

Buradaki en hassas nokta, kullanıcı ihtiyacının performans gerekliliğine çevrilmesidir ve bu uzmanlık gerektiren bir iştir. Bu çeviri bir kez gerçekleştiğinde, artık tasarımda “performansa dayalı değerlendirme” mümkün kılınmaktadır.

Mimari Tasarım Süreci İçinde Bina Performansını Değerlendirme Yolları

Tasarım süreci, tasarımcının problemle karşılaştığı ilk basamaktan, çözümü ortaya koyduğu son basamağa dek geliştirdiği bir dizi işlemler zinciri olarak tanımlanabilir. Literatüre bakıldığında mimari tasarım sürecinin farklı bakış açılarıyla, farklı basamaklardan oluşan bir süreç olarak ele alındığını görmek mümkündür.^{6,7}

Tasarım pratiğine yönelik olarak planlanmış süreç sınıflandırmalarından biri olan RIBA'nın⁸ (*Royal Institu-*

te of British Architects) ayrıntılı olarak ele aldığı, içinde tasarım sürecini de içeren bir “bina elde etme süreci” olan “Çalışma planı” on bir aşamadan oluşmaktadır (Tablo 1). Bu aşamaları, çizelgede görüldüğü gibi “tasarım öncesi çalışmalar”, “tasarım çalışmaları”, “yapım hazırlığı”, “inşaat” ve “inşaat sonrası” olmak üzere beş grupta toplamak mümkündür.

RIBA çalışma planına çok benzer bir başka plan ise, TMMOB Mimarlar Odası'nın “Serbest Mimarlık Hizmetleri Uygulama ve Mesleki Denetim Yönetmeliği”nde⁹ yer alan “Standart Mimarlık Hizmetleri” başlıklı altında sıralanan sınıflandırılmasıdır. Bu sınıflandırmanın, “tasarım çalışmaları” bölümü, bina elde etme sürecinin “mimari tasarım” kısmını oluşturmakta, yani “tasarım süreci”ni belirlemektedir. Hem RIBA'nın Çalışma Planı, hem TMMOB'nin “Standart Mimarlık Hizmetleri” iş aşamaları mimari tasarım sürecini üç alt sınıfa ayırmaktadır.

1. Ön Proje Çalışmaları: Bu aşamada yapılan tasarım çalışmaları, Hazırlık ve Ön Etüd çalışmalarında (A iş aşaması) belirlenmiş, yorumlanmış ve değerlendirilmiş bilgilerin projede yansıtılmasını amaçlamaktadır. Bu aşamada, kaynak kaybının önlenmesi, ekonomik, sağlam, güvenli, kullanışlı, çevresi ile uyumlu yapıların gerçekleştirilmesi amacıyla, ihtiyaç programının, iş-

⁶ Schwenck ve Sarıyıldız, 1997, s. 1-6.

⁷ Lawson, 1997, s. 32-35.

⁸ RIBA, 2008, s.1.

⁹ TMMOB, 2005, s. 1-15.

lev şemasının, arsa, altyapı, iklim, kadastro, imar durumu, doğal yapı, çevre düzeni, işveren istekleri, vb. veriler ile mimarın aldığı kararların kesinleşmiş olması gerekir. Bu bağlamda TMMOB, ön projede “iklim verilerinin değerlendirilmesi, iklim özelliklerine göre alınan önlemlerin saptanması, çevre yapıların ve doğa özelliklerinin belirlenmesi ve alınan önlemlerin tasara yansıtılması, yapıda genel olarak kullanılacak malzemelerin belirlenmesi”ni şart koşturmaktadır.¹⁰

2. Kesin Proje Çalışmaları: Bu aşama, gerçekleştirilecek yapının mimarisi ve yapım tekniği konularında daha ayrıntılı ve kesinleşmiş bilgiler ve etütler içerir, ön proje çalışmaları sırasında yeterince değerlendirilemeyen ya da tasara yansıtılmayan veriler kesin proje aşamasında değerlendirilir. Bu aşamaya ilişkin ön projede sağlanması gereken gereklilikler yanı sıra “su, ısı ve ses yalıtımları özelliklerinin belirlenmesi, ısıtma, soğutma, iklimlendirme, havalandırma prensiplerinin belirlenmesi ve tasara yansıtılması, yangına karşı önlemlerin tasara yansıtılması, yapıda kullanılacak malzemelerin kesinleştirilmesi” gerekliliği belirtilmektedir.¹⁰

3. Uygulama Proje Çalışmaları: TMMOB Uygulama proje çalışmalarını beş alt aşamaya bölmektedir. Bu alt aşamalardan üçü tasarım çalışmaları içinde, ikisi ise yapım hazırlığı içinde yer alması uygun olacaktır. Tasarım çalışmalarını içeren üç aşamanın ilki yapının inşa edilebilmesi için, mühendislik projelerinin tüm yapım özelliklerini ve ölçülerini, yapıda yer alan tüm donatım sistemlerinin yapıyı etkileyen bütün elemanlarını, sistem detaylarının ve imalatlarla ilgili tüm bilgileri ve referansları, montaj özelliklerini içeren, gerekli tüm ölçülerin ve malzemelerin yazıldığı projelerdir. Diğer iki aşama olan sistem ve montaj detayları ile imalat detayları alt aşamaları, ilk aşama ile birlikte yürütülmek zorundadır.¹⁰

Mimari tasarım sürecinin yukarıda belirtilen aşamalar bağlamında sağlıklı bir değerlendirmeden geçmesi ve performans hedeflerini yakalayacak girişimlerin tasarımda doğru zamanda yer alabilmesini sağlamak üzere “tasarım kararı destek sistemleri”ne ihtiyaç duyulmaktadır.

Tasarım Kararı Destek Sistemleri

Tasarım kararı destek sistemlerinin ana hedefi, süreç içindeki kararların kalitesini iyileştirmeye yönelik bilgi üretimini sağlamaktır. Bu nedenle, karar destek sisteminde sürecin etkinliği değil, elde edilen sonucun kalitesi üzerinde durulmaktadır. Tasarım kararı destek sistemi, karar vericinin yerine geçmez ancak problemin araştırılması ve uygun çözümün bulunması yönünde rehberlik eder. Tasarım kararı sırasında orta-

ya çıkabilecek problemleri başlıca üçe ayırmak mümkündür:¹⁰

- İyi planlanmış karar problemleri
 - Problem tamamıyla anlaşılmalı ve algoritmik sonuçlar üretmek mümkündür.
- Eksik planlanmış karar problemleri
 - Çoklu ve genellikle birbiriyle çatışan hedefler,
 - Hedefler net olarak tanımlanmamış ve ağırlıkları belirsizdir.
 - Kararların sonuçlarını tahmin etmek zordur.
- Planlanmamış karar problemleri
 - Problem tamamen plansızdır.

Tasarım kararı destek sistemleri, eksik planlanmış karar problemlerinin çözümüne yardımcı olmak üzere, bilimsel yöntem ve modeller kullanan, ancak özelliği alan bilgisini ön plana çıkartan bilgisayar programlarıdır.

Bu çalışmada ele alınmakta olan özellikli alan bilgisi, binaların çevresel performans tasarımıdır. Bu bağlamda, Morbitzer¹¹ “Enerji ve Çevresel Tasarım Kararı Destek Sistemi” olarak adlandırdığı binanın performans değerlendirmesine yardımcı olmayı amaçlayan sistemleri, “tasarım rehberleri”, “geleneksel hesaplama yöntemleri”, “korelasyona dayalı yöntemler”, “bina simülasyonu” ve “küçük ölçekli modelleme” olarak sınıflandırmaktadır.

Bu tasarımı yönlendirmeye yardımcı çeşitli araçlar içerisinde, karmaşık bir sistem olarak binanın performansını belirleyebilecek ve detaylı analizini gerçekleştirebilecek en uygun tekniğin bina simülasyonu olduğu söylenebilir. Çünkü simülasyon yardımıyla, bina performansını etkileyen tüm parametreler eş zamanlı olarak, detaylı bir şekilde ve kararsız hal (*un-steady state*) koşullarında ele alınabilmektedir.

Bina Performans Simülasyonları

“Benzeşim” olarak da türkçeleştirilebilen simülasyon, karmaşık bir sistemin basitleştirilmiş bir modelini oluşturarak, gerçek sistemin davranışını tahmin etmek ve analiz etmek üzere bu modeli kullanma süreci olarak tanımlanabilir. Simülasyonun temel amacı, gerçek sistemden dikkatlice çekip çıkartılarak, sadece belirli gereklerle ilgili elemanların dikkate alınması ve görelili olarak daha önemsiz olanların göz ardı edilmesi ile

¹⁰ Sprague, 1989, s. 9-35.

¹¹ Morbitzer, 2003, s. 51-76.

gerçek sistem davranışını doğru olarak tahmin etmek üzere kullanılabilen bir model geliştirmekdir.^{12,13,14}

Bina simülasyonu için farklı pek çok model (ölçekli mimari maketlerden, test hücrelerine kadar değişen çeşitlilikte) oluşturmak mümkün ise de, burada söz konusu olan bilgisayar simülasyonlarıdır.

Binaların performansa dayalı tasarımı söz konusu olduğunda, büyük çok zonlu binalar ve bunların tüm alt-sistemlerinin değerlendirilebilmesini sağlayan, genellikle saatlik bazda ve her mekan için ayrı hesaplamalar gerçekleştirebilen detaylı simülasyon programları, binanın entegre bir bütün olarak performansını analiz edebilen bina performans simülasyon programlarıdır.^{15,16} Bu detaylı simülasyon programları, yaygın olarak, ısı sistemlerinin etkileşimi, ısıtma ve soğutma yükleri ile enerji tüketim hesaplamalarında kullanıldığı için “bina enerji simülasyon programları” olarak nitelendirilmekte ve genelleştirilmektedir. Oysa ki günümüzde diğer alanlarda (mekanların akustik performansı, yapay ve doğal aydınlatma performansı, bileşenler bazında malzeme performansı, yaşam döngüsü değerlendirme, yangın kaçış yolları, vb.) detaylı analiz gerektiren performans sorgusu da “bina performans simülasyonları” yardımıyla gerçekleştirilebilmektedir.

Bugün, bina performans simülasyonunun tasarımcılara uzmanlıklarını daha etkin kullanma, genişletme ve iyileştirme olanağı sunduğu kabul edilmektedir.^{3,14,17,18,19} Simülasyon, tasarımcılar için sadece fikirlerin test edilmesinde değil, aynı zamanda yeni fikirlerin geliştirilmesi ve sunulmasında da önemlidir. Bu bağlamda, bina performans simülasyonunu, tasarım sürecinin başından itibaren, kolay geri dönüşlerle kararların test edilmesi ve çok daha fazla seçeneğin sınanabilmesini sağlamak üzere de kullanabilmeye yönelik araştırmalar halen devam etmektedir.

Mimari Tasarımda Performans Simülasyonu

Mimari tasarım süreci içinde simülasyon programlarının kullanımına yönelik olarak Clarke,²⁰ iki farklı yaklaşımdan söz etmektedir. Birincisi, tasarımcının belirli bir konudaki performans değerlendirmesini (örneğin

farklı pencere boyutlarının etkisi), uygun bir program yardımıyla analiz edip, sonuçları tasarımda uygun değişikliklere dönüştürerek yürütmesidir. Bu aslında tasarım sürecinden simülasyon programlarının ayrıştırılması demektir ve burada tasarımcı sürekli olarak veri modelleri arasında (CAD ve performans simülasyonları verileri) çeviri gerçekleştirmek zorundadır. Tasarım sürecine entegrasyon söz konusu olduğunda, daha doğru olan yaklaşım ise, “bilgisayar destekli tasarım ortamı” yaklaşımıdır. Burada, tasarım süreci içinde, tasarımla ilgili alınan kararlar doğrudan destek ortam içinde değerlendirilerek, performansa yönelik tüm bilgiler geri besleme yoluyla tasarımcıya anında ulaşmaktadır.

Bina performans simülasyonunun tasarım sürecine entegrasyonu, adım adım ilerleyen ve geri dönüşlerle beslenen bir dizi aşamadan oluşur. Problemin analizi ile başlayıp, sonuçların tasarım sentezine dönüştürüldüğü bu süreçte karşılaşılabilecek güçlükler aşağıda sıralanmaktadır²¹ (Şekil 1).

1. Problemin analizi: Bu ilk adımda, tasarımın erken evrelerinde henüz pek çok bilgi netleşmediği için, belirsiz pek çok tanımla uğraşmak ve “varsayım” zorunlu hale gelmektedir.

2. Yazılım seçimi: Henüz tasarımın başında bilgi eksikliği çok olduğu için, bilinçsizce yapılan seçimler, yanlış yönlendirmelere ve başarısız sonuçlara neden olabilir. Bu aşamada uzman gerekliliği şarttır.

3. Modelleme: Tasarımın erken evrelerinde yeterli detay bilgiye sahip olunmaması nedeni ile basit bir model kurgulanması yeterli olacaktır. Ancak bu, modelden beklenen, gerçeğe uygun boyut, biçim ve yüzey özellikleri gibi değerlendirmede önemli parametreleri göz ardı edecek kadar basitleştirilmiş olamaz.

4. Simülasyon: Tasarımın erken evrelerinde henüz elde edilmemiş veriler nedeniyle eksik kalan bilgilerin (örneğin HVAC sistem bileşenleri ve işletimi) simülasyonun çalıştırılabilmesi için kabul edilmesi aşamasında, “akıllı kabuller”in devreye girmesi ve kullanıcının programın kabullerine güveniyor olması gereklidir.

5. Sonuçların analizi: Elde edilen sonuçlar ile tasarımın erken evrelerindeki değerlendirmeden beklentilerin çakışabiliyor olması şarttır. Bu beklentinin baştan belirlenmiş olması, karşılaşılabilecek pek çok sorunu önceden çözecektir.

6. Tasarım bilgisine dönüştürme: Elde edilen sonuç, tasarımın erken evrelerinde, sürecin sonraki adımlarında yönlendirici nitelik barındırmalıdır. Simülasyon sonuçlarının, optimizasyon ve alternatif çözümleri içermesi, tasarım kararlarını yönlendirmede önemli rol oynar.

¹² Hui, 2002, s. 52-61.

¹³ Aburdene, 1988, s. 354.

¹⁴ Hensen, 2003, s. 18-24.

¹⁵ Hui, 1996, s. 47-89.

¹⁶ De Wilde ve Voorden, 2003, s. 1409-1416.

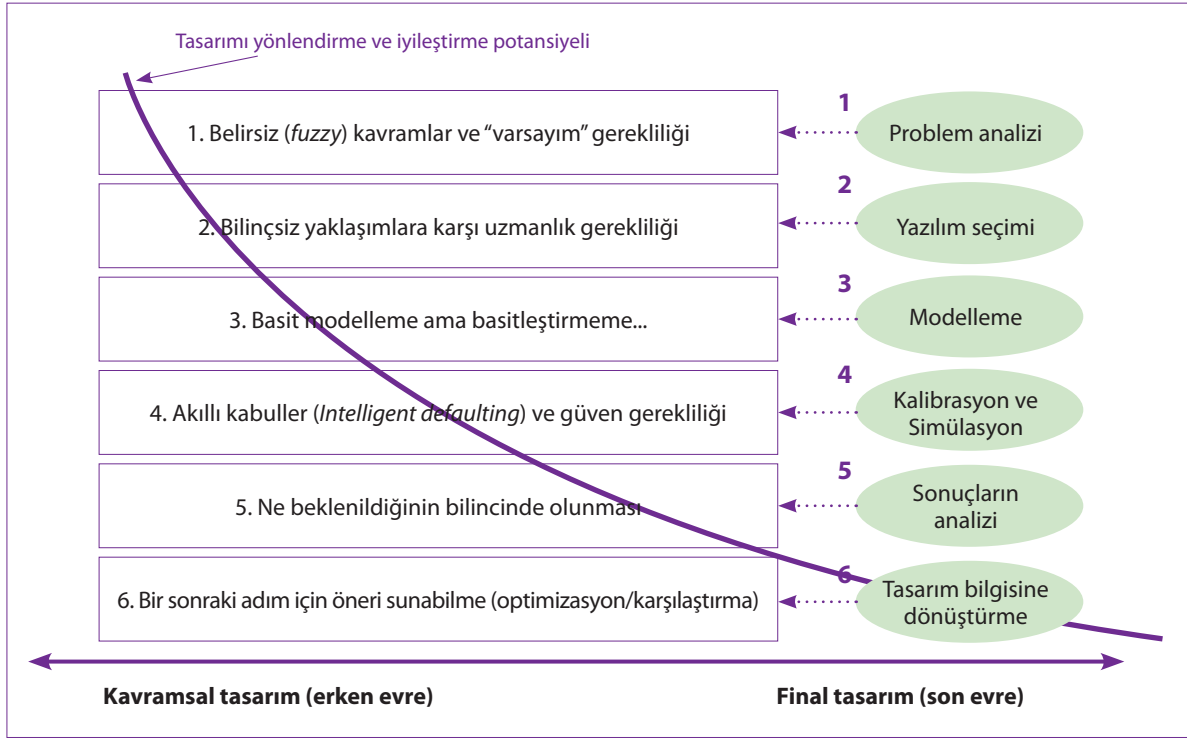
¹⁷ Augenbroe, 2002, s. 891-902.

¹⁸ Hensen, 2004, s. 291.

¹⁹ Djunaedy, vd., 2004, s. 269-278.

²⁰ Clarke, 2001, s. 58.

²¹ Harputlugil, 2007, s. 143-159.



Şekil 1. Simülasyon programlarının tasarım sürecinin erken evrelerine entegrasyonda karşılaşılabilecek sorunlar.²¹

Tasarım süreci içinde performans simülasyonlarından doğru şekilde yararlanabilmek, bu sıralanan güçlüklerle karşı hazırlıklı olmayı ve baş edebileceği yollarının araştırılmasını gerektirir. Bu noktada, (1) istenilen konuyla tam çakışan bir program seçebilmek, (2) bina simülasyonunun "doğruluğu" konusunda gerçekçi olmak ve (3) analizin tarafsızlığı ve kabulleri konusunda dikkatli olmak, ön şartlardır.²²

Performansa Dayalı Tasarımda Bina Simülasyonu

Performansa dayalı tasarımda, özellikle tasarımın erken evreleri için gerekli olan kararların alınmasında etkili olabilecek parametrelerin belirlenmesi, tasarımcının kararlarını kolaylaştırmada önemli rol oynamaktadır. Performans değerlendirmesi için bina performans simülasyonunu sadece binanın performans kanıtlayıcısı olarak kullanmakla sınırlamak, daha etkili olan erken evrelerdeki tasarım desteği şansının değerlendirilememesine neden olacağı düşünülmektedir.²² Bu noktadan hareketle performansa dayalı tasarımda simülasyon uygulamalarının kullanım amacını üç ana başlık altında toplamak mümkündür.

1. Tasarımcılara performansa dayalı değerlendirmenin önemini göstermek,
2. Tasarım değerlendirmede karar destek sistemlerinden yararlanmanın artılarını sunmak,

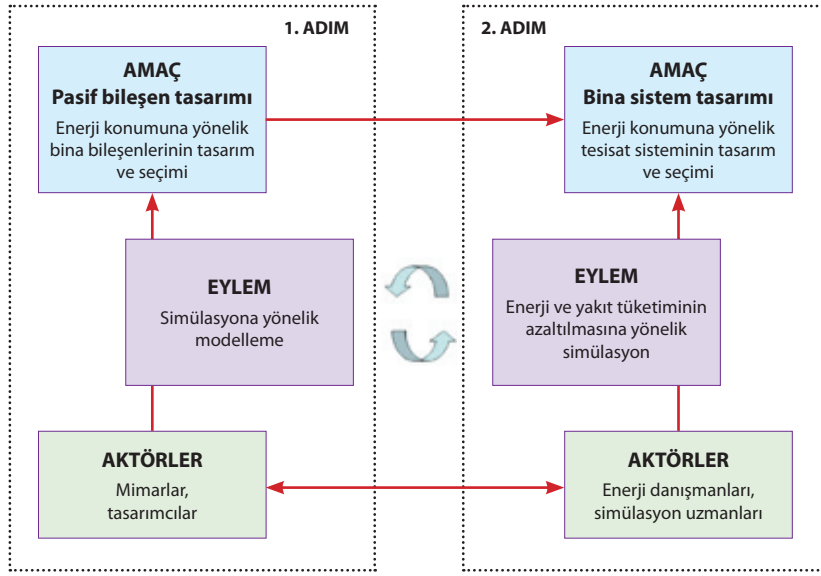
3. İklimsel farklılıkların tasarım kararlarındaki etkinliğini ve önemini göstermek,

Performansa Dayalı Değerlendirme

Mimari tasarımın disiplinler arası bir ekip çalışması ile gerçekleştirilmesi halinde elde edilecek sonuç performansın çok daha başarılı olacağı bugün bu alandaki tüm çalışmaların ortak kabulünü oluşturmaktadır. Tasarım sürecinin ön proje aşamasındaki hedefinde "iklim verilerinin değerlendirilmesi, iklim özelliklerine göre alınan önlemlerin saptanması, çevre yapıların ve doğa özelliklerinin belirlenmesi ve alınan önlemlerin tasara yansıtılması, yapıda genel olarak kullanılacak malzemelerin belirlenmesi" olduğu belirtilmişti. Bu noktada önceliğin enerji tüketiminin ve çevresel etkinin en aza indirilebilmesine yönelik sistem ve malzeme seçimi olduğu söylenebilir. Bir başka deyişle ön proje aşamasında birincil performans hedefi enerji tüketimidir.

Söz konusu olan binaların enerji performansları olduğunda, enerji korunumuna yönelik olarak, tasarım ekibinin iş bölümünü de belirleyen iki temel adımdan söz edilebilir. Bunlardan birincisi, "pasif bileşen tasarımı", ikincisi ise, "bina sistem tasarımı"dır. Pasif bileşen tasarımı, daha çok mimarın kararları ile şekillen-

²² Harputlugil, 2009, s. 53-58.



Şekil 2. Enerji korunumunda iki temel adım.

mekte ve performans iyileştirmeye yönelik olarak bina bileşenlerinin seçimi ve tasarımını içermektedir. Hedefi, pasif bileşenlerin etkinliğinin değerlendirileceği bir bina modelini simülasyona hazır hale getirmektir. İkinci adımda ise, bina tesisat sisteminin seçimi ve tasarlanmasını içeren bina sistem tasarımı gelmektedir. Enerji danışmanları ve simülasyon uzmanlarının devreye girdiği bu aşamada enerji ve yakıt tüketiminin azaltılmasına yönelik alınacak önlemler için simülasyon gerçekleştirilmektedir. Bu iki adım bir döngü ile birbirlerine geri besleme sağlayabilmelidir (Şekil 2).

Birinci adım sonunda elde edilenler,

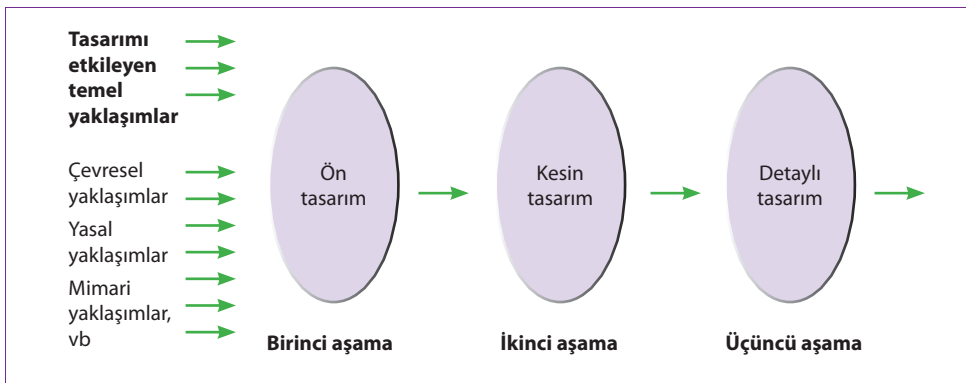
- Enerji korunumuna yönelik bina bileşenlerinin tasarım kararları,
- PV, biyoyakıt, rüzgar türbini gibi yenilenebilir enerjiye dayalı destek sistemlerin tasarım kararları,

- Mekanların ısıtma ve soğutma yükleri olarak sıralanabilir.

Mimari tasarım değerlendirilirken özellikle birinci adımda alınan önlemler önem kazanmaktadır. Bu birinci adımı, üç temel aşama bazında incelemek mümkündür. Bu aşamalar, tasarım sürecinin üç evresi (ön tasarım, kesin tasarım ve detaylı tasarım) ile benzer bir yaklaşımla elde edilmiştir (Şekil 3).

Enerji korunumu birinci adımında sürecin başlangıcını, çevresel gereklilikler (makroklima ve mikroklima), yasal gereklilikler (standart ve yönetmelik kısıtları) ve mimari gereklilikler (fonksiyonel, estetik, vb.) gibi tasarımı etkileyen temel yaklaşımlar oluşturmaktadır.

Eldeki bu ön bilgi ile sürecin ilk aşamasında, pek çok tasarım seçenekleri üretilmektedir. Bu tasarım seçeneklerini üretmek için ihtiyaç duyulan minimum bil-

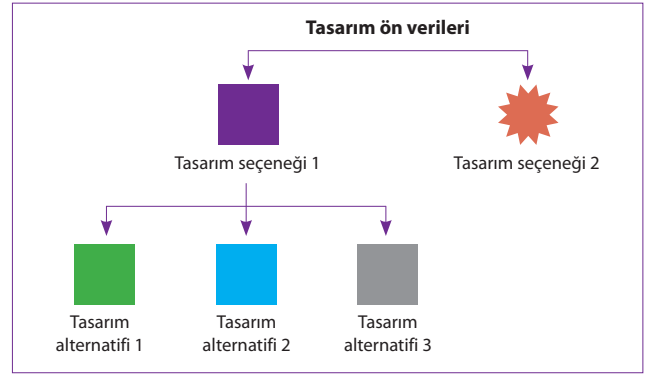


Şekil 3. Enerji korunumuna yönelik bina bileşenleri bazında üç temel aşama.

gi, mekan organizasyonu (zonlama / planlama), biçim / boyut, yönlenme ve yönetmeliklere dayalı bina kabuğu temel gereklilikleri (yalıtım, şeffaf yüzey alanı, vb.) olarak sıralanabilir. Bu bilgiler yardımıyla her bir tasarım seçeneğinden özelleştirilmiş tasarım alternatifleri üretmek mümkündür (Şekil 4).

Sürecin ikinci aşamasında, belirlenen bir tasarım seçeneğinin tasarım alternatifleri üzerinde çalışarak, her bir alternatife ait tasarım bileşenleri değerlendirilir. Bu bileşenlerin belirlenmesinde beklenen gereklilikler Tablo 2'de sıralanmaktadır. Tasarım alternatiflerine bağlı tasarım bileşenleri irdelenerek bir sonraki aşama için tasarım alternatifi ve bileşenlerine karar verilir.

Üçüncü aşamada seçilen tasarım bileşenlerinin detayları tasarlanmaya başlar. Detaylarda önceliği, pasif ısıtma ve pasif soğutma sistemlerinin etkinleştirilmesi-

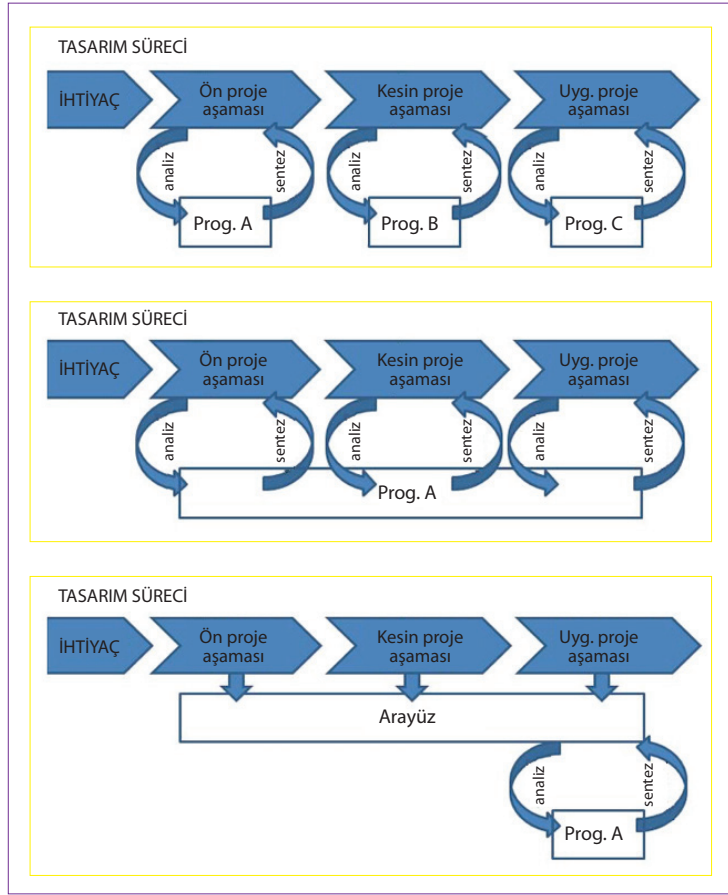


Şekil 4. Tasarım seçeneği ile tasarım alternatifleri ilişkisi.

ne yönelik değerlendirme almalıdır. Yapay iklimlendirme sistemlerinin bu noktadan sonra gerekliliği tartışılabilir ve destek sistem olarak değerlendirmeye alınabilir.

Tablo 2. Enerji korunumuna yönelik tasarımda birinci adıma ait aşamalar

Aşamalar	Gereklilikler
<p>AŞAMA 1</p> <p>Bina tipi Ofis, okul, konut, vb.</p> <p>Arsa Çevre binalar, ağaçlar, vb.</p> <p>İklimsel koşullar Güneş, rüzgar, nem, iklim, vb.</p> <p>Yasalar Yönetmelikler, standartlar, vb.</p> <p>On tasarım</p> <p>Tasarım alternatifleri</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mekan organizasyonu (zonlama / planlama) - Biçim / boyut - Yönlenme - Yönetmeliklere dayalı bina kabuğu temel gereklilikleri (yalıtım, şeffaf yüzey alanı, vb.)
<p>AŞAMA 2</p> <p>Tasarım seçeneği 2 (seçilen)</p> <p>TA= Tasarım alternatifleri</p> <p>Kesin tasarım</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cam tipi, boyutu, konumu, gölgeleme, vb. - Isı depolama - Doğal /yapay aydınlatma stratejisi - Doğal havalandırma / hava değişim oranı (air change rate) - HVAC gereklilikleri (evet/hayır)
<p>AŞAMA 3</p> <p>TA2b'nin tasarım bileşenleri (seçilen)</p> <p>TA= Tasarım alternatifleri</p> <p>Detaylı tasarım</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Pasif ısıtma sistemleri değerlendirmesi - Pasif soğutma sistemleri değerlendirmesi - Isıtma ve soğutma sistemlerinin iyileştirilmesi (eğer gerekli ise)



Şekil 5. Tasarım aşamaları boyunca simülasyonun analiz-sentez sürecine katkısı.

Bu süreç sonunda tasarlanmakta olan binanın destek sisteme gereksinim duyduğu ısıtma ve soğutma yükleri de belirlenmiş olacaktır. Böylece bina mekanik sisteminin tasarımını içeren ikinci temel adıma geçilebilir.

Burada pasif bileşen tasarımına ait veriler değerlendirilerek, tasarım alternatifleri oluşturulmasına yönelik kararlarda ve bunların tasarım bileşenlerinin neler olacağına belirlenmesinde hangi parametrelerin öncelikli önem taşıdığına ortaya çıkartılabilmesi önemlidir. Her tasarım kendine özgüdür ve bu nedenle kendi özelinde öne çıkan parametreleri vardır. Bu parametrelerin, her tasarımda hem içerikleri hem değerleri değişmekle birlikte, her tasarımda az veya çok yer alan ve bina performansını önemli oranlarda etkileyen parametrelerin (yönlenme, mekan boyutları, kabuk bileşenlerinin temel gereklilikleri (opak ve şeffaf yüzey bileşenleri), ısı depolama kapasitesi, iç metabolizmik kazançlar, hava değişim oranı) mutlaka dikkate alınması önemlidir. Burada hedeflenen, tasarım sürecinin başından itibaren çeşitli aşamalarda alternatifleri içinden seçim yapılmasını gerektiren bir dizi parametrenin, bi-

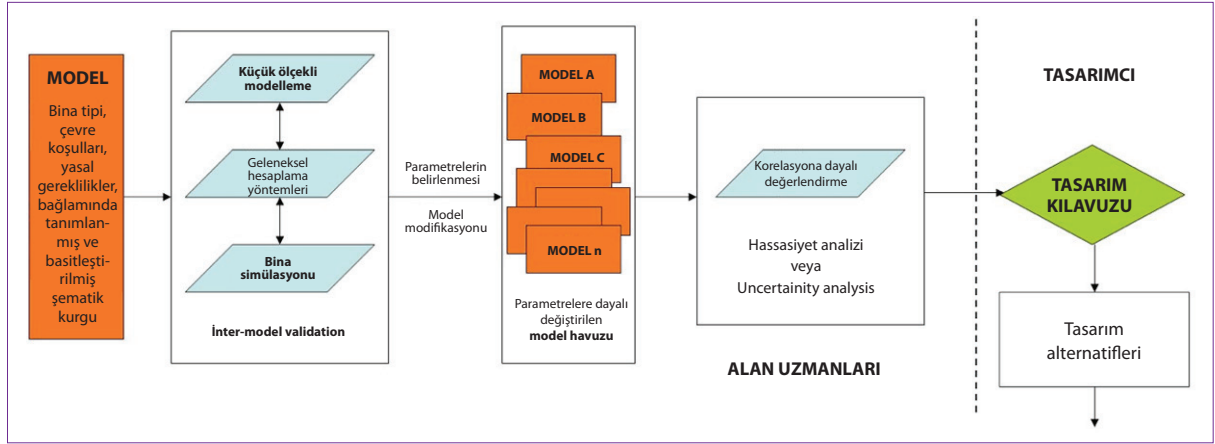
nanın sonuç performansına olan etkisinin belirlenebilmesini sağlamaktır.

Karar Destek Sistemlerinden Yararlanma

Tasarım alternatifleri içinden seçim yaparken özellikle bina performans simülasyonlarının katkısının ve tasarım sürecine entegrasyon olasılıklarının tartışılması önemlidir. Literatüre bakıldığında entegrasyona yönelik öneriler genellikle tasarım süreci detay düzeyi ile performans simülasyonlarının detay düzeyi eşlenerek belirlenmektedir.²³ Bir başka deyişle, basit bir simülasyon programını tasarımın ilk evrelerinde, detaylı programları ise tasarım daha detaylı ve karmaşık hale geldiğinde kullanmak gerektiği genel kanı olarak belirlenmiştir.

Tasarım aşamaları boyunca simülasyonun analiz-sentez sürecine katkısına yönelik çeşitli teorik yaklaşımlar geliştirmek mümkündür (Şekil 5).

²³ Hensen, 1991, s. 15-17.



Şekil 6. Enerji ve çevresel tasarım destek sistemlerinin tasarım sürecine katkısına yönelik önerilen kurgu.

Ancak, tasarımın henüz başında, tasarıma ait elde çok az bilgi varken, bir sonraki adımı atabilmek için verilecek kararın değerlendirmesinde o aşama için uygun görülen basit bir analiz programı değil, çok daha detaylı bir programa gerek duyulabilir. Örneğin, henüz bina geometrisi tasarlanırken, çevre binalarla etkileşimde ya da binanın kendi biçimi nedeniyle gerçekleşecek hava hareketlerinin analizi için, oldukça detaylı bir uygulama olan Sayısal Akışkanlar Dinamiği'ne (CFD) dayalı hesaplama gerekebilir. IBPSA (Uluslararası Bina Performans Simülasyonu Birliği) simülasyon programlarının gerekliliğini ve işleyiş sürecini anlattığı çalışmasında, simülasyonun gerçek değerinin, ancak uygun simülasyon programının, tasarım özelindeki gereksinime yönelik uygulanmasıyla anlaşılabilirliğini belirtmektedir.

Bu nedenle, simülasyon programlarının tasarım sürecine doğrudan katkısı ancak kesin proje aşaması sonrası mümkün olmaktadır. Ön proje aşaması için performansla dair gereken bilginin tasarım kılavuzları yardımıyla sağlanması gerektiği düşünülmektedir. Böylece tasarımcıların, simülasyon programlarını süreç içinde doğru kullanabilmek için, aynı zamanda simülasyon uzmanı olma zorunlulukları da ortadan kalmış olacaktır.

İklimsel Farklılıklara Göre Tasarım

Performansa dayalı tasarımda iklime dayalı tasarımın bölgesel anlamda uygulanması bağlamında her tasarım parametresinin total performansı iyileştirecek değer aralıklarının belirlenmesi ve bölgelere bağlı olarak anlam ve ağırlığının anlaşılması da önemlidir. Burada amaç, iklime dayalı tasarımın göz ardı edildiği proje uygulamalarının, binaların enerji performansı üzerindeki olumsuz etkilerinin görülebilmesidir. Bina performans simülasyonları yardımı ile iklimsel farklılıklara bağlı belirlenen hassas parametreler ile bölgesel bazda tasarım özgünlüklerinin elde edilebilirliği de sorgulanabilmektedir.

Tartışma

Performansa dayalı tasarımın yukarıda aktarılan karmaşık süreci göz önüne alındığında, simülasyon programlarının tasarım sürecine entegrasyonunun doğrudan değil, dolaylı gerçekleştirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu yolla tasarımcıların, simülasyon programlarını süreç içinde doğru kullanabilmek için, aynı zamanda simülasyon uzmanı olma zorunlulukları da ortadan kalmış olacaktır. Yukarıda listelenen enerji ve çevresel tasarım destek sistemleri içerisinde tasarım kılavuzu dışında kalanlar, doğru sonuç elde edebilmek için uzmanlık bilgisi gerektirmektedir. Uzman olmayan tasarımcının bu destek sistemleri dolaylı yoldan kullanılmasının bir yolu, bu sistemler yardımıyla bir tasarım kılavuzu oluşturmaktır. Böylece tasarım sürecinin başından itibaren performansa yönelik değerlendirme, belirli kalıplar çerçevesinde tasarımcıya hazır olarak sunulabilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, sunulan kılavuzun içeriğinin tasarım özgürlüğünü kısıtlayıcı nitelik barındırmamasıdır. Bu nedenle tasarım kılavuzu uzmanlar tarafından yeterli esneklikte hazırlanmalı, böylece tasarımların, katı sınırlandırmalardan uzak tutulması sağlanmalıdır.

Şekil 6'da tasarım kılavuzunu yapılandırırken, diğer enerji ve çevresel tasarım destek sistemlerinin uzmanlar tarafından nasıl değerlendirilebileceği gösterilmektedir. Burada öncelikle "Şematik Model" in olası ön kısıtlar çerçevesinde ve yukarıda aktarılan tasarım sürecinin 1. aşamasına referans verecek şekilde oluşturul-

²⁴ Harputlugil, vd., 2009, s. 905-912.

²⁵ Hassasiyet analizi: Hassasiyet genel bir tanımlamadır. Eğer bir A parametresi, bir başka B parametresinde bir değişime neden oluyorsa ve her ikisi de ölçülebiliyorsa, A'ya göre B'nin hassasiyeti belirlenebilir. Basit olarak, hassasiyet analizinin amacı, girdideki değişimlere bağlı olarak, çıktıdaki nicel değişimleri karşılaştırmaktır.

ması önerilmektedir. Bu noktada çeşitli tasarım alternatiflerinin ortaya çıkması kaçınılmazdır. Tüm alternatifler bina performans simülasyonları tarafından sanal ortamda üretilebilir. İkinci adımda, sonuç performansı doğrudan etkileyeceği ön görülen farklı tasarım parametrelerine dayalı olarak elde edilecek bu alternatiflerin sınanabilmesine olanak tanıyacak şekilde model varyasyonları oluşturularak bir model havuzunda toplanmaktadır. Havuzdaki modellerin sonuç performanslarının değerlendirilmesi "hassasiyet analizi"ne^{24,25} dayalı olarak gerçekleştirilmektedir. Bu noktada da yine performans simülasyonları yardımıyla elde edilen verilerin kullanılması önemlidir. Buradan elde edilecek sonuçların tasarımcının uzmanlık bilgisi gerektirmeden anlayabileceği bir biçime sokulması ile tasarım kılavuzları hazırlanabilir. Sonuçta elde edilen ve tasarımcıya sunulan bu tasarım kılavuzunun, yine bir destek sistem olarak, tasarım alternatiflerinin üretilmesine katkı koacağı düşünülmektedir.

Sonuç

Mimari tasarımda çoğunlukla önceliği enerji etkinliği ve çevresel performans değil, işlev ve estetik biçimlenmektedir. Böylece çoğunlukla tasarıma yardımcı araçlar bina tasarım rolünü değil, enerji etkinliği ve çevresel performansını değerlendirme rolünü üstlenmektedirler. Bu bağlamda simülasyon programları süreç içinde "bunu nasıl gerçekleştirebilirim?" sorusunun cevabını değil, "bunu yaptığımda ne olur?" sorusunun cevabını aramak için kullanılmaktadır. Eğer tasarımcı en iyi tasarım seçeneğini yakalayabilmek için tasarım seçeneklerini test etmek isterse, her bir öneri seçeneği ayrı ayrı simüle ederek sonuçlarını karşılaştırmak zorundadır. Tasarımcının ulaşmak istediği asıl amaca bağlı olarak, tasarım seçenekleri içinden seçim yapmak üzere, parametre değerleri azaltılarak veya çoğaltılarak ve sonuçları karşılaştırılarak en iyi sonucu veren bulmaya çalışılmaktadır. Sonuçta aslında tasarımcı simülasyon programına "bunu yaptığımda ne olur?" sorusunu sorup, analiz ve karşılaştırma gerçekleştirerek "bunu nasıl gerçekleştirebilirim?" sorusunun cevabını bulmaya çalışılmaktadır. Ancak asıl sorun bu yöntemle tüm olası seçeneklerin test edilmesinin mümkün olup olmadığıdır. Her ne kadar tasarımcı kendi sunduğu seçenekler içerisinde seçim yapmakta olsa da, hiç göz önünde bulundurmadığı bir seçeneğin daha iyi sonuç vermeyeceğini garanti edemez. Bugün hiçbir simülasyon programı için bu anlamda kullanılabilmeye yönelik bir yöntem geliştirilememiştir. Bu nedenle tasarım araçları halen çeşitli tasarım parametreleri değiştirilerek sonuçlarının karşılaştırılması ve değerlendirilmesine yönelik pratik yarar sağlamaktadır.

Bugün için tasarım süreci içinde simülasyonu ya doğrudan ya da dolaylı olarak kullanma yöntemleri geliştirilmektedir. Simülasyonun doğrudan kullanımında, özellikle performansa dayalı yaklaşımla kurgulanmış standartlarla desteklenmesi önemlidir. Karşılaştırma tabanı oluşturacak referans binaya ait değerler standartlarca belirlenmiş ve simülasyon programı bu verilere dayalı kalibre edilerek referans binanın simülasyonu gerçekleştirilmiş olmalıdır. Ön proje aşamasındaki tasarım alternatifleri içerisinde yapılacak seçimde referans binaya ait bu sonuçların göz önünde bulundurulması önemlidir. Kesin proje aşamasında ise programlar yardımı ile performans doğrulaması gerçekleştirilebilir.

Süreç içerisinde simülasyon programlarının dolaylı kullanımı ise bu programlar desteğiyle nicelleştirilen verilere dayalı oluşturulacak tasarım kılavuzları yardımıyla mümkündür. Bu çalışma, böyle bir kılavuzun oluşturulabilmesine yönelik tartışmayı da içermektedir. Bu yaklaşımın geçerliliğini mümkün kılacak iki önemli konu; (1) farklı bina tipleri ve değişik iklim bölgeleri için tasarım kılavuzları oluşturulması ve (2) gerçek zamanlı tasarım süreci içindeki başarısının görülmesidir.

Kaynaklar

- Aburdene, M. F., (1988). "Computer Simulation of Dynamic Systems", Wm. C. Brown Publishers, Dubuque, IA, 354.
- Augenbroe G., (2002). "Trends in Building Simulation", Building and Environment, v. 37, p. 891-902.
- Bullen, D., (2006). "Building Performance: Past, Present and Future", The AIA Journal of Architecture, Vol. January, http://info.aia.org/nwsltr_aiaj.cfm?pagename=aiaj%5Fa%5F20051020%5Fpast%5Fpresent (Erişim tarihi: 10 Eylül 2010).
- Clarke, J., (2001). "Energy Simulation in Building Design", Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 58.
- Çelebi, G., Gültekin, A. B., Harputlugil, G., Bedir, M. ve Tereci, A., (2008). "Yapı Çevre İlişkileri", ISBN / ISSN: 978-9944-89-645-0, Çizgi Basım Yayın Ltd. Şti., Türkiye, İstanbul.
- De Wilde, P., Voorden, V., (2003). "Computational Support For The Selection Of Energy Saving Building Components", Proceedings of Building Simulation'03 Conference, IBPSA, Eindhoven, the Netherlands, p. 1409-1416.
- Djunaedy, E., Hensen, J. L. M., Loomans, M. (2004). "Selecting an appropriate tool for airflow simulation in buildings", Building Services Engineering Research and Technology, vol. 25, no. 3, p. 269-278.
- Harputlugil G.U., Hensen, J.L.M., (2006). "Relation Between Building Assessment Systems and Building Performance Simulation", International Build & Human Environment Research Week Proceedings, 3-7 April, Delft University of Technology, Netherlands, p. 333-343.
- Harputlugil, G. U., (2007). "Mimari Tasarım Süreci İçinde Bina Enerji Simülasyon Programı Uygulamalarının

- Yeri”, *Teknoloji Dergisi*, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları, Cilt:10, sayı: 3, s. 143-159.
- Harputlugil, G. U.; (2009). *Enerji Performansı Öncelikli Tasarım Sürecinin İlk aşamasında Kullanılabilecek Tasarıma Destek Değerlendirme Modeli*, Basılmamış Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Harputlugil, G. U., Wilde, P.d., Hensen, J., Çelebi, G., (2009). *Development of A Thermally Robust School Outline Design for the Different Climate Regions of Türkiye*, Proceedings of the 11th IBPSA Building Simulation Conference, 26-30 July, Strathclyde University, Glasgow, UK, p. 905-912.
- Hendrick, A., (2000). *“A Core Object Model For Architectural Design”*, PhD Thesis, Catholic University Louvain, Department of Architecture, Belgium, p. 28-30.
- Hensen, J. L. M. (2004). *“Towards more effective use of building performance simulation in design”*, in Proc. 7th International Conference on Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, 2-5 July, Technische Universiteit Eindhoven, D-291.
- Hensen, J.L.M. (2003). *“Simulating building performance: just how useful is it?”*, REHVA Journal, nr. 4, Federation of European Heating, Ventilating and Air-conditioning Associations - REHVA, Brussels, p. 18-24.
- Hensen, J.L.M., (1991). *“On the Thermal Interaction of Building Structure and Heating and Ventilating System”*, PhD Dissertation, Energy Systems Research Unit, Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde, UK, p. 15-17.
- Hitchcock, R.J., (2003). *“Standardized Building Performance Metrics - Final Report”*, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory Report, USA, p. 3-9.
- Hopfe C. J., Struck C., Harputlugil G. U., Hensen J. L. M., De Wilde P., (2005). *“Exploration of the Use of Building Performance Simulation for Conceptual Design”*, IBPSA-NVL Conference, 20 October, Technische Universiteit Delft, Netherlands, p. 1-16.
- Hui, S. C. M., (1996). *“Energy Performance of Air-Conditioned Buildings in Hong Kong”*, PhD Thesis, City University of Hong Kong, HongKong: p. 47-89
- Hui, S. C. M., (2002). *“Using Performance-based Approach in Building Energy Standards and Codes”*, In Proc. Of the Chongqing-Hong Kong Joint Symposium 2002, 8-10 July, Chongqing, China, p. A52-61.
- Lawson, B., (1997). *“How Designers Think? The Design Process Demystified”*, Third Edition, Biddles Ltd. Press, UK, p. 32-35.
- Morbitzer, C. A., (2003). *“Towards the Integration of Simulation into the Building Design Process”*, PhD dissertation, Energy Systems Research Unit, Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde, UK, p. 6-10, 51-76.
- RIBA, (2008). *“Outline Plan of Work 2007”*, RIBA, Royal Institute of British Architects, Amended November 2008, UK, p. 1-3.
- Schwenck, M., Sarıyıldız, S., (1997). *“An Integrated Software Environment for the Architectural Design Process”*, In: L. Hempel, H. Kirschke (eds.); Digital Proceedings IKM 1997 (CD-ROM). Bauhaus-Universität Weimar, Weimar, Germany, p. 1-6.
- Spekkink, D., (2005). *“Performance Based Design of Buildings”*, Performance based building Thematic Network, PeBBu Domain 3 Final Report, Netherlands, p. 29.
- Sprague, R.H. (1989). *“A Framework for the Development of Decision Support Systems,”* in: R.H. Sprague and H.J. Watson (eds.). *Decision Support Systems: Putting Theory Into Practice*, Prentice-Hall, London, p. 9-35.
- TMMOB, (2005). *“Serbest Mimarlık Hizmetleri Uygulama ve Mesleki Denetim Yönetmeliği”*, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Ankara, s. 1-15.