



**Bu bir MMO
yayıdır**

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

MİMARİ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İÇİN BİR DEĞERLENDİRME ARACI OLARAK BENZETİM

**AHMET VEFA ORHON
MÜJDE ALTIN
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**



MİMARİ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İÇİN BİR DEĞERLENDİRME ARACI OLARAK BENZETİM

Ahmet Vefa ORHON
Müjde ALTIN

ÖZET

Analitik yaklaşımların aksine benzetim modelleri, karmaşık problemlerin modellenmesi ve çözümünde daha etkili sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, değişkenlerinin fazlalığı ve giriftliği nedeniyle doğal bir karmaşıklık içeren mimari uygulamalar için de benzetim kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Mimari sürdürülebilirlik olgusu açısından bakıldığında, daha az malzemeyle, daha sağlam – dolayısıyla daha sürdürülebilir – yapı sistemlerinin üretilmesine olanak sağlayan sonlu elemanlar yöntemi tabanlı benzetim modelleri, yapıların enerji etkinliğini değerlendiren akışkanlar dinamiği tabanlı benzetim modelleri gibi artık yaygınlaşmış benzetim uygulamaları dışında son birkaç yıldır, özellikle sürdürülebilir yaşam toplulukları için dinamik benzetim oyunları ve karar deneyleri gibi yeni benzetim yaklaşımları da kullanım bulmaya başlamıştır.

Bu çalışmada mimari uygulamalarda yararlanılan benzetim modelleri ve yazılımları sürdürülebilirlik olgusu açısından irdelenmiştir. Gelişim kararlarının sosyal gelişmeyi, çevreyi ve ekonomiyi nasıl etkilediğini göstermek üzere yararlanılan dinamik benzetim oyunları ve karar deneyleri gibi yeni benzetim yaklaşımlarının gelecekte hedeflenen sürdürülebilir yaşam toplulukları için sundukları potansiyel dışında geleceğin sürdürülebilir, akıllı binaları için kullanım potansiyelleri de ayrıca irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mimari sürdürülebilirlik, Benzetim, Benzetim modelleme, Bina benzetimi

ABSTRACT

Simulation models are usually more effective than analytical models to solve complicated problems and to aid in decision-making. That's why, simulation models are increasingly being used to solve architectural problems that have complexity by their nature due to abundance and intricacy of their problem variables.

With respect to architectural sustainability concept, building simulation is a powerful tool for enhancing the environmental performance of buildings, simply aiming to use fewer resources and treat the surrounding environment in a better manner. For example, finite elements analysis (FEA) based building simulations for reducing the amount of materials used; computational fluid dynamics (CFD) based building simulations for enhancing the energy efficiency of buildings. Beside these simulations which have become largely accustomed by now, there are also new simulation approaches such as dynamic simulation games to simulate sustainability of communities. In this paper, building simulation models and software are discussed with emphasis to sustainability of buildings.

Keywords: Architectural sustainability, Simulation, Simulation modeling, Building simulation

1. GİRİŞ

“Benzetim, bir model üzerinde yapılan deneydir” [1]

Benzetim, gerçek, dinamik bir sistemin belirli bir zaman dilimindeki özelliklerini ve davranışlarını (karakteristik) tahmin etme üzere sistemin mantıksal, matematiksel ve sembolik bir modelinin (benzetim modeli) geliştirilmesi ve bu modelin bilgisayar aracılığıyla gerçek sistem örnekleri üzerinde değerlendirilmesi sürecidir. Ele alınan sistemdeki pek çok faktörün etkisinin aynı anda ve etkileşimli olarak incelenebildiği, aşamalı olarak uygulanabildiği, esnek bir çözüm yöntemi sunması nedeniyle benzetim, karmaşık problemlerin modellenmesi ve çözümünde analitik yaklaşımlara kıyasla daha etkili sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, değişkenlerinin fazlalığı ve giriftliği nedeniyle doğal bir karmaşıklık içeren mimari uygulamalar için de, benzetim kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

2. MİMARİ UYGULAMALARDA BENZETİM KULLANIMI

Mimari uygulamalarda benzetim iki temel araç olarak kullanılır:

1. **Analiz aracı** (sistem üzerinde yapılacak değişikliklerin etkilerini tahmin etmek, sistemdeki faktörlerin etkilerini ve birbirleriyle etkileşimlerini incelemek vb. amaçlarla)
2. **Tasarım aracı** (sistemin performansını tahmin etmek, yeni fikir ve tasarımları modellenen sistem üzerinde deneyerek tasarım amaçlı performans değerlendirmeleri yapmak vb. amaçlarla)

Genel uygulamalar için benzetim kullanımının temel amaçları başlıca 6 kategoride toplanabilir [2][3]:

1. **Değerlendirme:** Belirlenen kriterlere göre sistem performansının değerlendirilmesi,
2. **Karşılaştırma:** Önerilen sistem tasarımlarının veya politikaların karşılaştırılması,
3. **Tahmin:** Önerilen koşullar altında sistemin performansının tahmin edilmesi,
4. **Duyarlılık Analizi:** Sistemin performansı üzerinde etkili olan faktörlerin belirlenmesi,
5. **Optimizasyon:** En iyi performans değerini veren faktör kombinasyonunun belirlenmesi,
6. **Darboğaz Analizi:** Bir sistemde darboğazların belirlenmesi

Benzetim, mimari uygulamalarda da bu amaçların birisini ya da bir kaçını gerçekleştirmek üzere kullanılır. Bu çalışmada yukarıda verilen amaçları, mimari bir ürün olan bina ölçeğinde gerçekleştirmek üzere benzetim yaklaşımı kullanılan yazılım araçları '*benzetim kullanılan bina yazılımı*' (kısaca *BKBY*) olarak anılacaktır.

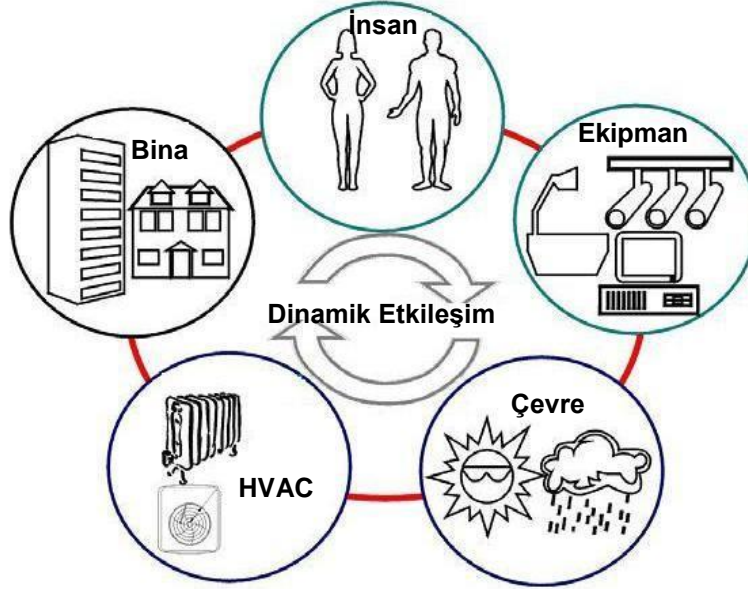
3. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİN DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN BENZETİM KULLANILAN BİNA YAZILIM ARAÇLARI

Bilgisayar ile modelleme ve benzetim, binalarda etkileşimli mimari, mekanik ve mühendislik sorunlarının çözümü için güçlü bir araçtır [4]. Bina performans benzetimleri binalarda sera gazı salınımlarının azaltılmasında, enerji tüketimlerinin ve bina konfor şartlarının önemli miktarda iyileştirilmesinde uzun süredir kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda temel ilke, binaların bağımsız tasarlanmış alt sistem ve bileşenlerin toplamı olarak değil de alt sistemlerinin dinamik etkileşimiyle biçimlenen bir bütün – bir varlık – olarak düşünülmesidir (**Şekil 1**) [4].

Binalarda bilgisayarla benzetim ilk kez 1962 yılında, yer altı nükleer sığınaklarının felaket sonrası kullanımına dair bir çalışmada – kullanıcılar ile sınırlı havalandırma koşulları altındaki mekânın duvarları arasındaki ısı ve nem transferinin saat bazında benzetimini yapmak üzere – kullanılmıştır [5]. Bu çalışmada bilgisayarla elde edilen veriler daha sonra 'Simoc' (simulated occupant) adı verilen insan benzetimleri ile test edilmiştir. Simoc'lar, yüzeyi ortalama bir insanın vücut yüzey alanına eşit,

metal silindirlerin ıslak kumaş ile kaplanması ile yapılmıştır. İnsan vücudundan çıkan ısıyı ve su buharını temsil etmek üzere ortalama bir insanın metabolizma ısı (400 Btu/saat) kadar ısıtılan Simoc'lardan 4 tanesi ile kurulan temsili aile, bir yer altı sığınağına kapatılıp 14 gün boyunca işletilerek, sığınağa konulmuş ölçüm cihazlarından saat-saat veri kaydedilmiştir. Sonuçta, elde edilen verilerin, bilgisayar benzetimiyle uyumlu olduğu görülmüştür [5].

1960'ların sonlarına doğru kullanıma giren GATE (Gas Application to Total Energy) yazılımı, binaların yıllık enerji hesaplarında HVAC benzetimlerinin etkinliğini göstererek, sonraki dönemlerde DOE2, TRNSYS, BLAST gibi benzetim kullanılan bina yazılımlarının önünü açmıştır [5][6].



Şekil 1. Bina modeli bağlamında alt sistemlerin dinamik etkileşimi [4].

Genel olarak 'mimari sürdürülebilirlik' biçiminde anılan olgunun bina ölçeğinde değerlendirilmesine dönük olarak benzetim kullanımı, son yıllarda büyük bir gelişim göstermiştir. A.B.D. Enerji Bakanlığı'na bağlı Enerji Etkinliği ve Yenilenebilir Enerji Ofisi tarafından 1996 yılında oluşturulmaya başlanan "bina enerji yazılım araçları dizini" [7] içerisinde başlangıçta (Ağustos 1996) 50 adet bina yazılım aracı listelenirken, Aralık 2014 itibarıyla bu sayı 417'e yükselmiştir. Bu dizinde binaların enerji etkinliğini, yenilenebilir enerji kullanımını ve sürdürülebilirliğini değerlendirmek amacıyla yararlanılan veritabanları, çalışma sayfaları, bileşen ve sistem analizine ve bina enerji performansının saptanmasına dönük benzetim yazılımları vb. bina yazılım araçları listelenmektedir. Bu dizinde yer alan bina yazılım araçları arasında, benzetim tabanlı olanların sayısı 100'e yakındır.

Sürdürülebilirlik olgusu açısından bakıldığında bu benzetim yazılımları kullanılarak bina ölçeğinde şunlar yapılabilir:

1. Binanın tüm enerji tüketimi & enerji bedeli tahmini (yaşam döngüsü, yıllık, dönemlik vb.)
2. Binanın karbon ayak izinin tahmini
3. Binanın yaşam döngüsü değerlendirmesi
4. Isıtma/soğutma kaynaklı enerji tüketimi & enerji bedeli tahmini
5. Binadaki HVAC sistemlerinin boyutlandırılması ve optimizasyonu
6. Binanın ısı performansının belirlenmesi
7. Binanın ısıl konforunun değerlendirilmesi
8. Sıcaklık dağılımının değerlendirilmesi
9. Yoğuşma sorunlarının analizi
10. Buhar difüzyon akışlarının analizi
11. Nem dağılımının değerlendirilmesi



12. İç mekân hava kalitesinin değerlendirilmesi
13. Çeşitli kirleticilere göre bina içi kirlilik dağılımının belirlenmesi ve değerlendirilmesi,
14. Binanın doğal havalandırma potansiyelinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi,
15. Bina çevresindeki rüzgâr akımlarının binaya etkisinin değerlendirilmesi
16. Binanın güneşiği kullanımına dair değerlendirmeler
17. Aktif/pasif güneş tasarımı
18. Binanın yenilenebilir enerji (Güneş, Rüzgâr vb.) potansiyelinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi
19. Binanın su kullanımına dair değerlendirmeler

Bina Enerji Benzetimi: BKBY araçları arasında en yaygın grup enerji benzetimi yapan yazılımlardır. Bu yazılımlar temelde, HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning - Isıtma, havalandırma ve hava şartlandırma) olgularının hesabına dönük olarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) tabanlıdır. Binanın konumu, strüktürü, yapı malzemeleri, yapı kabuğu bileşenleri, HVAC sistemleri vb. parametreleri dikkate alarak binanın enerji tüketiminin belirli periyotlar için benzetimini yaparlar. Çoğu benzetimde doğal havalandırma, gün ışığı kullanımı gibi parametreler de dikkate alınır. Benzetim için genellikle uzun dönemli meteorolojik gözlemlerden derlenen gerçek iklimsel veriler kullanılır.

Bina enerji benzetimi yapan, yaygın ve ücretsiz yazılımlara örnek olarak EnergyPlus, eQuest, BEopt, EPS-r, DeST (Designer's Simulation Toolkit), HEED (Home Energy Efficient Design), HOT2000 verilebilir; web üzerinden ücretsiz olarak kullanılan BuildingSim, Design Adviser gibi yazılımlar da vardır. Enerji benzetimi yapan ticari yazılımlara örnek olarak DesignBuilder, BEAVER, BSim, BuildingAdvice, TRNSYS (Transient System Simulation Program), ENER-WIN verilebilir. Bu yazılımlar arasında gerek ücretsiz olmaları, gerekse de destekleyen kurumlar nedeniyle standard belirlemeleri nedeniyle çok kullanılan dört tanesine – EnergyPlus, eQuest, BEopt, EPS-r – aşağıda kısaca değinilecektir.

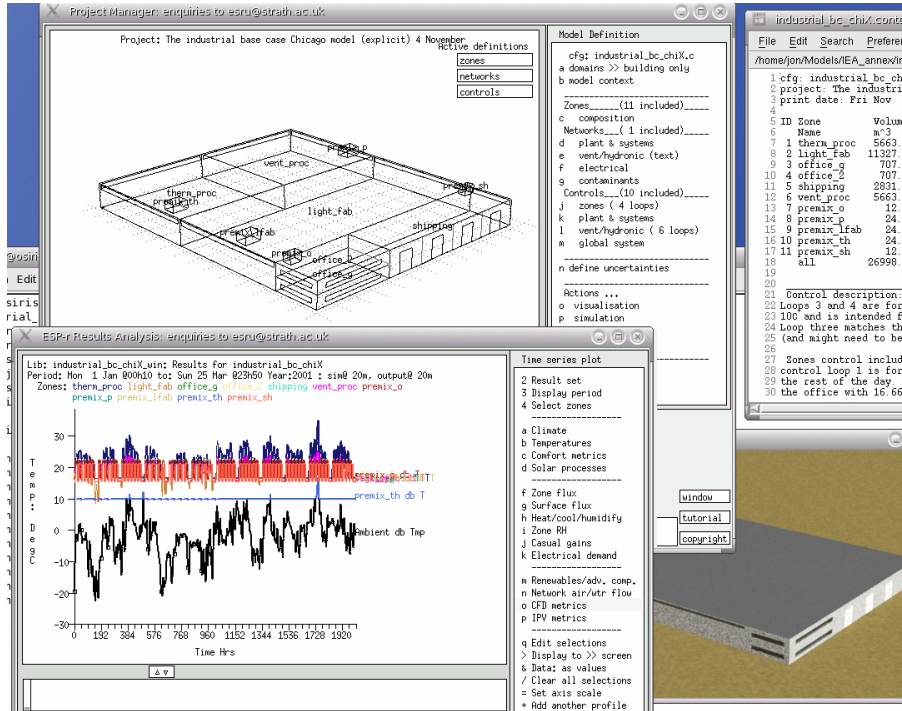
EnergyPlus: A.B.D. Enerji Bakanlığı (DOE) tarafından desteklenip, sunulan yazılım, açık kaynak kodlu, ücretsiz bir enerji etkinliği değerlendirme aracıdır. İlk kez kullanıma sunulduğu 2001 yılından bu yana 120 ülkeden, 85,000 kullanıcı tarafından indirilen yazılım sürekli olarak geliştirilmektedir [7]. Yazılım, HVAC benzetimleri ile ısıtma, soğutma, havalandırma ve diğer enerji akışı benzetimleri dışında, çok bölgeli hava akışları, ısı konforu, su kullanımı, doğal havalandırma ve fotovoltaik (FV) sistem benzetimleri de yapabilir. Ayrıca, genellikle saatlik benzetim kullanan diğer yazılımların aksine daha küçük zaman aralıkları için de hızlı ve etkin benzetim araçları sunar [8]. Bu yazılımın enerji benzetim motorunu kullanan ticari yazılımlara örnek olarak DesignBuilder verilebilir.

eQuest (The Quick Energy Simulation Tool): A.B.D. Enerji Bakanlığı (DOE) için bilimsel araştırmalar yürüten Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı (LBNL) tarafından desteklenen, ücretsiz bir yazılım olan eQuest, 'bina enerji kullanımı analiz aracı' olarak tarif edilmektedir [9]. Program A.B.D.'de en çok kullanılan bina enerji benzetimi yazılımları arasındadır; yılda yaklaşık 10,000 kere indirilmektedir [7]. eQuest yazılımı, öncülü olan DOE-2 programının grafik ve tasarım yardımcısıyla geliştirilmiş bir sürümüdür. Yazılımda kullanılan DOE-2.2 bina enerji benzetimi, endüstri standardı haline gelmiştir. Bu enerji benzetimini esas alan programlara örnek olarak Green Building Studio, BEopt yazılımları verilebilir.

BEopt (Building Energy Optimization): Amerikan Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından sunulan, ücretsiz bir enerji analiz aracıdır. EnergyPlus ve eQuest (DOE-2.2) benzetim motorlarını kullanan yazılım, konutlarda optimum maliyet etkinliğini tanımlamak ve konut tasarımlarını değerlendirmek üzere enerji/maliyet analizleri yapıp, optimizasyon modunda çeşitli tasarım alternatiflerini karşılaştırabilir. NREL, yeni veya mevcut konut yapılarında yapılacak enerji analizlerinin hassas ve tutarlı olarak yapılabilmesi için gerekli benzetim kabullerini 'Ev Benzetimleri Protokolleri' belgesinde tanımlamıştır [10]. Bu protokolü esas alan yazılımın dezavantajı sadece konut binalarıyla sınırlanmış olmasıdır.

ESP-r: 1974 yılından bu yana geliştirilen, açık kaynak kodlu, ücretsiz bir bina enerji ve performans benzetimi yazılımıdır. İskoçya'da bulunan University of Strathclyde başta olmak üzere altı kurum tarafından desteklenmektedir [11]. Bütünleşik bir enerji modelleme aracı sunan yazılım enerji

kullanımı, gaz emisyonları, güneşiği kullanımı, doğal havalandırma, kirlilik dağılımı, FV cephe vb. benzetimleri yapabilir (**Şekil 2**).



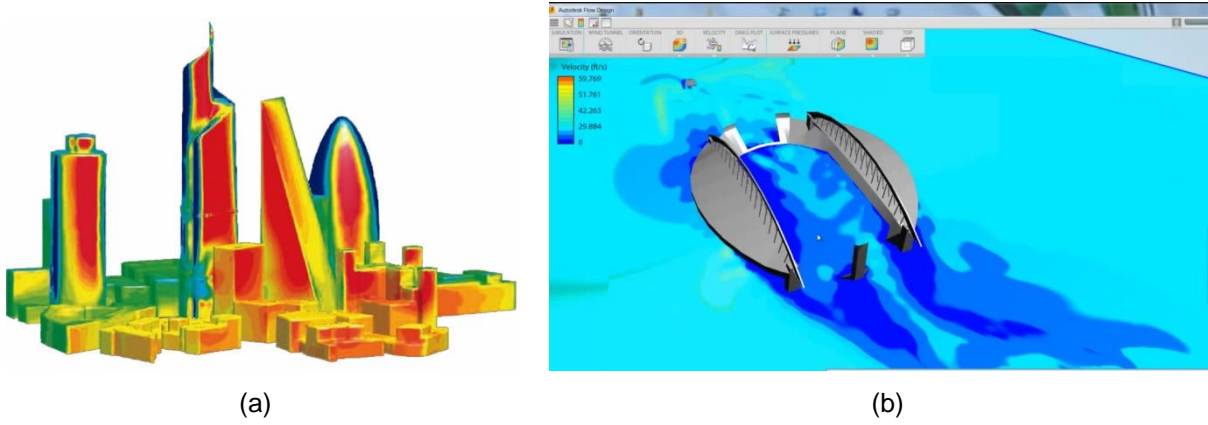
Şekil 2. ESP-r yazılımının ara yüzü [11].

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Benzetimi: Sıvı ve gazların katı yüzeyler ile etkileşimlerini simüle etmek üzere hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) benzetimleri, bina yazılımlarında yaygın biçimde kullanılmaktadır. Hava akışı, sıvı akışı, ısı akışı, ısı transferi, radyasyon, güneş radyasyonu, nem, yoğuşma vb. pek çok yapı fiziği olgusunun benzetimi için HAD benzetimleri kullanılır. HVAC olgularının hesabı için HAD'ne ihtiyaç duyulması nedeniyle bina enerji yazılımları da HAD tabanlıdır. Yukarıda değinilen bina enerji benzetimi yazılımları dışında, HAD benzetimi kullanılan yaygın yazılımlara örnek olarak scSTREAM, AnTherm verilebilir.

scSTREAM: 1984 yılından bu yana geliştirilen yazılım, mimari uygulamalarda çoğunlukla binaların iklim kontrolünün analizinde kullanılmaktadır. Bu analizler yapı içindeki ve dışındaki hava ve ısı akışlarına dair çevresel sorunların değerlendirilmesi için kullanılmaktadır.

AnTherm (Analysis of Thermal Behavior of Building Construction Heat Bridges): Binanın ısı performansını değerlendirmek üzere Avrupa Standardlarını dikkate alan ticari bir yazılımdır. Binanın ısı konforunun ve ısı performansının değerlendirilmesi dışında binadaki ısı köprülerinin analizi, buhar difüzyon dağılımının, yüzey yoğuşmalarının analizi vb. yapı fiziği benzetimleri için de kullanılır.

Hava akışı hesapları yapabilen HAD yazılımları, bina çevresindeki rüzgâr akımlarının binaya etkisine dair benzetimler yapmak üzere de kullanılabilir. Nitekim bina içerisindeki doğal havalandırmanın değerlendirilmesine dönük hava akışı benzetimleri yapan yazılımlar genellikle bu amaç için de kullanılabilir [12]. Bina ve bina adası ölçeğinde rüzgâr benzetimleri için kullanılacak HAD yazılımlarına örnek olarak scSTREAM, Ansys, Autodesk Flow Design verilebilir (**Şekil 3**).



Şekil 3. (a) Ansys yazılımında rüzgâr basıncının bina adasında dağılımını gösteren benzetim grafiği. [13] **(b)** Autodesk Flow Design yazılımında bir stadyumun içinde ve dışında rüzgâr akış hızlarını gösteren benzetimin anlık grafiği.

Yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) benzetimi: Yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) için temel kavramlar ve benzetim yaklaşımları, genel bir program çerçevesiyle birlikte Forsberg [14] tarafından ortaya konmuştur. Binanın yaşam döngüsü değerlendirmesi için benzetim kullanılan bina yazılımlarına örnek olarak EQUER ve GaBi verilebilir.

EQUER: Çevresel göstergeleri dikkate alarak binanın yaşam döngüsünün yıllık benzetimlerini yapar. Yazılım, COMFIE isimli benzetim modeline bağlı olarak çalışmaktadır; bu binanın enerji gereksinimine ve sıcaklık profiline dönük saat bazında hassas tahminler yapan bir enerji benzetim aracıdır.

GaBi 4: Veri kalitesinin değerlendirilmesine dönük olarak hassasiyet analizinde ve senaryo hesaplamada Monte Carlo benzetimi kullanılmıştır [15]. Nitekim YDD için kullanılacak yazılım araçları için genel kuralların ortaya konduğu çerçeve belgesinde [16] YDD yöntemi için önem taşıyan belirsizlik analizlerinde Monte Carlo benzetiminin kullanımı önerilen yöntemler arasındadır.

Fotovoltaik (FV) Benzetimi: Meteorolojik verileri de dikkate alarak FV sistemlerin tasarımı, enerji üretimlerinin tahmini, fayda-değer analizi, yapı sitesine gelen güneş radyasyonunun değerlendirilmesi vb. amaçlarla kullanılan FV benzetim yazılımlarına örnek olarak Archelios PRO, Pvcad, BlueSol verilebilir. FV analiz amaçlı bu programlar dışında energyPlus başta olmak üzere yaygın enerji benzetim yazılımları da genellikle daha genel maksatlı FV benzetimleri sunarlar; güneş yörüngesi diyagramlarının belirlenmesine, gün ışığı kullanımının değerlendirilmesine dönük analizler enerji benzetim yazılımlarının çoğunda mevcuttur. Yenilebilir enerji (rüzgar, güneş vb.) kullanan bina elektrik güç sistemlerinin benzetimi için AEPS System Planning, BuildingAdvice gibi yazılımlar kullanılabilir.

4. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİN DEĞERLENDİRİLMESİNE DÖNÜK DİNAMİK BENZETİM OYUNLARI

Sürdürülebilirlik olgusuna dönük mimari problemlerde benzetimin bir tasarım ve analiz aracı olarak bina ölçeğinde kullanımına olanak sağlayan bina yazılım araçları dışında özellikle son yıllarda sürdürülebilirlik odaklı dinamik benzetim oyunları da potansiyel bir araç olarak karşımıza çıkmaya başlamıştır. Mikro ve hatta makro ölçekte yerleşim alanları (site, kasaba, şehir vb.) için alınan gelişim kararlarının sosyal gelişmeye, çevreye ve ekonomiye etkilerine dair uzun dönemli benzetimler yapmak üzere yararlanılan dinamik benzetim oyunları, günümüzde sürdürülebilir yaşam topluluklarının oluşturulması için bir araç olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu benzetim oyunlarına örnek olarak Planit-Sustainability verilebilir. Bu etkileşimli, dinamik benzetim oyunu İngiltere'de 450 atölye çalışmasında 6000 kullanıcı tarafından kullanılmıştır; bu benzetimde yerleşime dair gelişim kararlarına takımlar halinde katılan katılımcılar verdikleri kararların yerleşimin sosyal, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğine zaman içindeki etkilerini görme fırsatı bularak tecrübe edinirler [17] (**Şekil 4**).



Şekil 4. Planit-Sustainability kullanıcıların yerel sürdürülebilir gelişmeye dair tecrübelerini arttırmayı amaçlayan, etkileşimli, dinamik benzetim oyunudur [17].

Bu benzetim oyunlarından edinilen tecrübe sonraki süreçte 'PlanIt OS' ismiyle anılan "Şehir İşletim Sistemlerinin (Urban Operating Systems)' yaratılmasına esin kaynağı olmuştur. Şehir işletim sistemi (ŞİS) olarak anılan sistemlerin amacı geleceğin sürdürülebilir, akıllı şehirlerinin ve yaşam topluluklarının idaresi için ihtiyaç duyulacak, binalara ve şehir altyapılarına bütünleşik, akıllı çözüm alt yapılarının sağlanmasıdır [18]. ŞİS, geliştirilmesi için geri besleme sağlamak Kuzey Portekiz'de Paredes şehrinde denmektedir [19]. Sistemin hedeflerinden biri akıllı binalara şehir çevresi hakkında veri akışı sağlayarak binanın çevreyle etkileşimini sağlamaktır. Böylece bina, şehirde elektrik talebinin zirveye çıktığı anlarda elektrik kullanımını optimize etmek, kullanıcılarını trafik akışını rahatlatmak üzere uygun park yerlerine ya da ulaşım araçlarına yönlendirmek vb. işlevler kazanacaktır. ŞİS, London City Havaalanı (Londra) gibi yapılarda da denmektedir [19].

5. SONUÇ

Benzetim, karmaşık sistemlerin tasarımı ve analizinde kullanılan en güçlü değerlendirme araçlarından birisidir. Bu nedenle mimari uygulamalar için de benzetim kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Mimari uygulamalarda benzetim kullanımının en önemli avantajı, yeni fikir ve tasarımların modellenen sistem değiştirilmeden rahatça uygulanmasına, önerilen değişikliklerin mevcut sistemde analizine ortam sağlayarak tasarım sürecini hızlandırması ve zenginleştirmesidir. Buna karşılık dezavantajları açısından bakılırsa; benzetim, geliştirilip kullanılan benzetim modelinin etkinliğiyle sınırlandırılmış bir çeşit deneme-yanılma yöntemidir; bu nedenle özellikle optimizasyon amaçlı kullanımlarda optimum çözümün üretileceğinin garantisi yoktur. Bu durumlarda alternatif çözümler ortaya koyarak optimum sonuca en yakın çözümü seçmek kullanıcıya kalır.

Bilgisayar mimarisindeki gelişmeler sayesinde gelecekte mimari sürdürülebilirlik olgusunun giderek daha fazla önem kazanmasıyla birlikte, sürdürülebilirlik odaklı benzetim kullanımının neredeyse tüm bina yazılımları için vazgeçilmez hale gelmeye başlaması şaşırtıcı değildir. Nitekim herkesin ücretsiz biçimde erişebileceği, pek çok üniversitenin ve ulusal laboratuvarların desteklediği, çalışmada değinilen açık kaynak kodlu bina enerji benzetimi yazılımları ortaya çıkarken bu benzetimlerin bina yazılımlarına standart biçimde katılabilmeleri için gerekli ortak altyapı da oluşturulmaya başlanmıştır. Örneğin: Yapı Bilgi Sistemi (BIM) içinde saklanan yapı bilgilerini benzetim araçlarının da aralarında bulunduğu mühendislik analiz araçlarına kolaylıkla aktarmak üzere, dünyada BIM üreten başlıca

yazılım firmaları bir araya gelerek 1999 yılından itibaren Green Building XML (gbXML) adını verdikleri bir açık şema oluşturmaya başlamışlardır [20].

Çalışmada sürdürülebilirliğe dair bina yazılımları için referans olarak gösterilen A.B.D. Enerji Bakanlığı'nın bina enerji yazılım araçları dizini [7] içerisinde Aralık 2014 itibarıyla listelenen 417 yazılım aracı içerisinde ne yazık ki Türkiye'den hiçbir örnek yoktur.

Yerleşimlerin yerel sürdürülebilirliğine dair dinamik benzetim oyunları, çevresel kaynakların yönetimi için uygun stratejilerin belirlenmesinde ve çevresel problemlerin dinamiklerinin değerlendirilmesinde önemli bir araç haline gelmeye başlamıştır. Sonraki süreçte, bu benzetimler geleceğin sürdürülebilir, akıllı şehirlerinin ve yaşam topluluklarının idaresi için ihtiyaç duyulacak şehir işletim sistemleri (ŞİS) için esin kaynağı olmuştur. Bina kullanıcılarının akıllı binalar aracılığıyla şehirle etkileşimine olanak tanıyan ve bu etkileşimleri izleyen sistemler gelecekte yaygın biçimde kullanılmaya başladığında, gerçeğe çok yakın sonuçlar veren şehir benzetimleri de mümkün olacaktır. Günümüzde bazı yerleşimlerde ve yapılarda denenmeye başlanan ŞİS, geleceğin binalarında yaygınlaştığında şehirle bina etkileşimini gerçeğe yakın biçimde benzetebilen bu yazılımlar sayesinde benzetim, sadece bir analiz ve tasarım aracı olmaktan çıkıp binanın sürdürülebilir olarak işletilmesine de olanak tanıyan bir işletim aracı haline gelecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Korn, G. A., Wait. C. W., "Digital Continuous- System Simulation", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1978.
- [2] Pegden, C. D., Shannon, R. E., Sadowski, R. P., "Introduction to simulation using SIMAN", Singapore: McGraw-Hill, 1995.
- [3] Dengiz, B. "Benzetim", www.baskent.edu.tr/~bdengiz/benzetimslayt-09/yenibenzetim1.ppt, erişim: 15.11.2014.
- [4] Hensen, J. L. M., "Towards more effective use of building performance simulation in design", Proc. 7th International Conference on Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, Technische Universiteit Eindhoven, 2004.
- [5] Kusuda, T., "Early history and future prospects of building system simulation", Proc. Building Simulation '99, International Building Performance Simulation Association – IBPSA, 2001, sf. 3-15.
- [6] Ford, A., Modeling the Environment: An Introduction to System Dynamics Modeling of Environmental Systems. Island Press, 2011.
- [7] DOE–EERE, "Building Energy Software Tools Directory", U.S. Department of Energy (DOE) – Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE), http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/, erişim: 22.12.2014
- [8] energyPlus, "EnergyPlus: The Most Powerful Predictor of a Building's Energy Efficiency", energyPlus FactSheet, 2010.
- [9] DOE2, "The Home of DOE-2 based Building Energy Use and Cost Analysis Software", <http://www.doe2.com/>, erişim: 21.12.2014.
- [10] Wilson, E., Metzger, C. E., Horowitz, S., Hendron, R. "Building America House Simulation Protocols", National Renewable Energy Laboratory – NREL, Technical Report, 2014.
- [11] ESP-r, "ESP-r Overview", University of Strathclyde Energy Systems Research Unit – ESRU, <http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm>, erişim: 20.11.2014.
- [12] Jiang, Y., Alexander, D., Jenkins, H., Arthur, R., Chen, Q. "Natural ventilation in buildings: measurement in a wind tunnel and numerical simulation with large eddy simulation", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2003 , 91(3), sf. 331-353.
- [13] Ansys, "Wind Engineering", <http://www.ansys.com/Industries/Construction/Wind+Engineering>, erişim: 29.12.2014
- [14] Forsberg, P., "Modelling and Simulation in LCA", CPM Technical Report, 2000.
- [15] GaBi, "GaBi 4 Manual: Introduction to GaBi 4", Mart 2003.
- [16] UNEP SETAC, "Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases", United Nations Environment Program, 2011.



- [17] Planit-Sustainability, “planitsustainability: A Local Sustainable Development Learning Solution”, Fact Sheet, PixelFoundation.
- [18] PlanIT, “Living Planit”, <http://www.living-planit.com>, erişim:01.01.2015.
- [19] PlanIT Valley, “PlanIT Valley – the living laboratory and benchmark for future urban communities”, http://www.living-planit.com/design_wins.htm, erişim:01.01.2015.
- [20] gbXML, “Open Green Building XML schema: a Building Information Modeling Solution for Our Green World” <http://www.gbxml.org/>, erişim: 26.12.2014

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Vefa ORHON

1971 yılı Balıkesir doğumludur. 1992 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık bölümünden mezun olmuştur. Lisansüstü eğitimine aynı üniversitede Yapı Bilgisi anabilim dalında devam ederek 1995 yılında yüksek lisansını, 2003 yılında doktorasını tamamlamıştır. 1996 yılında DEÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık bölümü Yapı Bilgisi anabilim dalında araştırma görevlisi olarak akademik hayatına başlamış, 2004 yılında Yardımcı Doçent olmuştur. Mimarlık bölümünde lisans ve lisansüstü dersleri dışında, zaman zaman inşaat mühendisliği bölümünde de lisans seviyesinde ders vermektedir. Basic programlama dillerini (VB6, VB.Net) profesyonel seviyede bilmekte ve mimarlıkta parametrik tasarıma dönük Geodel (GEOmetry Deriving/Defining Language) isimli bir yazılım geliştirmektedir. Malzeme, sürdürülebilirlik ve parametrik tasarım konularında çalışmaktadır.

Müjde ALTIN

1974 yılı İzmir doğumludur. 1997 yılında DEÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı üniversitenin Yapı Bilgisi Anabilim Dalı'ndan 1999 yılında Yüksek Mimar ve 2005 yılında Doktor unvanını almıştır. DEÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Yapı Bilgisi Anabilim Dalı'nda 1998-2006 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 2006-2014 yılları arasında Yard. Doç. Dr. olarak görev yapmış, 2014 yılından itibaren de Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Mimarlık Bölümü'nde verdiği lisans ve lisansüstü derslerinin yanı sıra, bazı dönemlerde İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde de lisans seviyesinde “Yapı Elemanları” dersini vermektedir. Yapı bilgisi, enerji, yenilenebilir enerji kaynakları, güneş mimarisi, sürdürülebilir mimarlık, binaların çevresel değerlendirilmesi ve yeşil bina değerlendirme sistemleri konularında çalışmaktadır.

