



## BİNA ENERJİ BENZETİM ARAÇLARI VE SEÇİM ÖLÇÜTLERİ

### (*BUILDING ENERGY SIMULATION TOOLS AND SELECTION CRITERIA*)

Ayça TOKUÇ\*

#### ÖZET/ABSTRACT

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de toplam enerji tüketiminin üçte birinden fazlası binalarda kullanılmaktadır. Bir binanın ömrü boyunca tüketilecek enerji miktarının önemli bir kısmı tasarım aşamasında belirlenmektedir. Her ne kadar binaların enerji gereksinimlerini en aza indirmek amacıyla, tasarımın farklı aşamalarında başvurabilecek pek çok yöntem geliştirilmişse de alınabilecek önlemlerden en fazla yararın elde edilmesi ancak tasarım süreci boyunca değerlendirme yapılması ile olasıdır. Bina enerji benzetim (BEB) araçları, bu amaçla kullanılan en etkili araçlardandır. Bu çalışmanın amacı var olan BEB araçlarının daha yaygın kullanıma yönelik geliştirilmesidir. Bunun için, en çok kullanılan beş BEB aracı değerlendirilmiş ve BEB seçiminde kullanılacak başlıca ölçütler önerilmiştir. Bu ölçütler; aracın kullanılacağı binanın gereksinimleri, hedeflenen tasarım evresi, kullanıcı profili, kullanıcı uzmanlık derecesi, program arayüzü, hesap motorunun hasasiyeti, girdi/çıkış özellikleri ve diğer yazılımlarla bilgi alışverişi yeteneğidir.

*As in all around the world, more than one-third of the total energy consumption in Turkey is used in buildings. A significant part of the amount of energy consumed during the life of a building is determined at the design stage. While many methods were developed for use in different design stages to minimize the energy requirements of a building, however, the greatest benefit from these measures would only be obtained by assessment during the design process. Building energy simulation (BES) is one of the most efficient tools used for this purpose. This article aims to improve the current BES tools for wider use. For this reason, the most widely used five BES tools are evaluated and major criteria for selection of a BES tool are proposed. These criteria include: the requirements of the building, the user profile, the expertise of the users, the targeted design phase, the program interface, accuracy of the calculation motors, input/output properties and capability to share information with other software.*

#### ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

BEB, Bina enerji modellemesi, Enerji performansı, Bina performansı  
BES, Building energy modeling, Energy performance, Building Performance

---

\*1. DEÜ, Mimarlık Fak., Mimarlık Bölümü, İZMİR

## 1. GİRİŞ

Dünya’da kullanılan yıllık birincil enerji miktarı Uluslararası Enerji Ajansı’na göre yılda yaklaşık % 2 artmaktadır. Bu durumda, geçen yirmi yılda (1984–2004) Dünya’nın yıllık enerji ihtiyacı % 49 artmıştır (IEA, 2006). Güncel projeksiyonlar bu yükselme trendinin devam edeceğini göstermektedir (DOE, 2008). Enerji krizleri sonucunda, fosil kaynaklara ve ülke dışına olan enerji bağımlılığını azaltmak üzere çalışmalara verilen önem artmıştır. Bunlara rağmen günümüzde kullanılan enerjinin çoğu halen fosil kaynaklarca karşılanmakta ve dünyadaki yakıt rezervleri hızla azalmaktadır. Bu çerçevede var olan enerjiyi verimli kullanma, yeni enerji kaynakları bulma, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı teknolojiler üretme gibi temellere dayanan projeler günden güne çoğalmaktadır.

Bina sektörüne bakıldığında, binaların küresel enerji tüketimine olan katkıları gelişmiş ülkelerde % 20 ile % 40 arasında seyretmektedir (Pérez-Lombard vd., 2008). Yani binalar, enerji sektöründe önemli yer tutan endüstri ve ulaşım gibi ana sektörlerden daha fazla enerji tüketmektedirler. Yapıda kullanılan enerji miktarı kullanıcı alışkanlıkları ile birlikte; yapının güneşe yönelimi, mimari tasarım, malzeme kararları ve detaylar gibi tasarım sürecinde alınan kararlarla ilişkilidir (Tokuç, 2005). Mimarlıkta, modern mimarlık ve küreselleşme ile kaybolmaya yüz tutmuş olsa da, binanın doğal kaynaklardan mümkün olan en fazla yararı sağlayacak şekilde konumlandırılması ve biçimlendirilmesi mimarlığın kilit taşlarından.

Türkiye’de binalardan kaynaklanan enerji tüketimi dünya trendine paralellik göstermektedir ve tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de binalarda kullanılan enerjiyi azaltmak adına çalışmalar yapılmaktadır. Bunlar arasında, 5 Aralık 2008 tarihli Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği ile Türkiye’de yeni inşa edilecek binalara 01.01.2011 tarihi itibarıyla “Enerji Kimlik Belgesi” alınması zorunluluğunu getirilmesi önemlidir. Böylece binaların enerji ihtiyacının belirlenmesi konusunda tasarım aşamasının belirleyiciliği yasal mevzuatta yerini almıştır (Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 2008). Buna rağmen, ruhsat aşamasında binaların enerji performans değerlendirilmesinde halen TS-825’te tanımlanan gün derece hesabı temelli bina yüzey alanına bağlı bir yöntem kullanılmaktadır (TSE, 2008).

Oysa ki, sürdürülebilirliğe giden yolda, Bina Enerji Benzetim (BEB) araçları gibi mimari tasarım öğelerini ele alan daha detaylı çözüm araçlarının kullanılması, binalarda enerjinin daha verimli kullanılmasını sağlamak için gereklidir. Ancak bu araçlardan yararlanmak isteyen kitlenin, araç seçiminde yararlanabileceği, hangi aracın kendi gereksinimlerine cevap vereceğini gösteren bir rehber bulunmamaktadır. Bu çalışmada, özellikle tasarımcılar için bu açığın doldurmasına yardımcı olmak amaçlanmıştır. Bu nedenle en yaygın BEB’lerle ilgili veriler derlenmiş ve kullanıcıların seçiminde yardımcı olabilecek bir biçimde sunulmuştur. Ayrıca, sonuçta BEB seçiminde kullanılacak başlıca ölçütler belirlenmiştir.

## 2. BİNA ENERJİ BENZETİM ARAÇLARI

Sürdürülebilir bir yapıyı çevre yaratmak için gerçek tasarım performansının değerlendirilmesi gereklidir. Dünyada tasarımcılar halen, karar aşamasında geleneksel maketlerden yararlanmaktadırlar. Ancak yapılarda tüketilen enerjinin azaltılması öne çıkan tasarımların performans değerlendirmesi çok boyutlu bir konudur. Pek çok çalışmada tartışıldığı üzere; tasarım sürecinde binanın enerji gereksinimini azaltmak amacıyla gerek tasarım yoluyla gerekse binaya eklenebilecek teknik sistemler ile alınabilecek çok sayıda önlemler vardır (Baker ve Steemers, 2000; Brown ve DeKay, 2000; Roaf vd., 2003). Ancak alınan bir önlemin; farklı iklimlerde, farklı bina tiplerinde, diğer önlemlerle birleşim detayındaki değişiklikler, kullanım vb. çeşitli etkenlere bağlı olarak farklı sonuçlar ve etkiler ortaya çıkmaktadır.

Ortaya çıkacak binanın performansını öngörmek amacıyla tasarım sürecinin çeşitli aşamalarında uygulanabilecek pek çok hesaplama yöntemi ve araç geliştirilmiştir (Hui, 2001; Tavares ve Martins, 2007). Son yıllarda bilgisayar destekli BEB araçları da tasarımcıların araç kutusuna girmiştir. BEBler, özellikle enerji etkin bina tasarlanması sürecinde verilecek karar alternatiflerinin hızlıca değerlendirmesine yardımcı olan araçlardır. Bu yazılımlar, enerji performansı analizinin yanısıra, bina performansının önemli göstergelerinden olan akustik, görsel ve ısı konfor değişkenlerinin analizinde de kullanılabilir.

“Simülasyon”, karmaşık bir sistemin basitleştirilmiş bir modelinin oluşturulması yoluyla davranışının tahmin edilmesini tanımlar. Türkçe’de “benzetim” olarak kullanılabilir. Tarihte bina performansını tasarım aşamasında ölçmek ve değerlendirmesi için simülasyonların kullanımı, uzun zaman boyunca binanın bir dizi ayırık hesaplama tekniği ile modellemesini ifade ediyordu. Bu yaklaşım farklı hesaplama adımları arasında sadece zayıf bir bağın olduğu parçacıl bir yaklaşımdı. Bu hesaplar analitik formüllere dayanarak yapılmaktaydı. Analitik formüller elde edilirken ise başlangıçta pek çok basite indirgeyici varsayım devreye girmektedir. Bu noktada gerçek binalarda ortaya çıkan enerji ve kütle akışını temsil etmek zor olmakla beraber esas zorluk, tasarımcının yorumda bulunurken modelin sınırlarını göz önünde bulundurması gerekliliğidir.

Bir sonraki aşamada, 1970’lerde, probleme zaman boyutu da eklenmiştir. Halen analitik ve parçacı yöntemler kullanılmakla beraber yapı elemanlarının dinamik yanıtları da modellere girmeye başlamıştır. 1980’lerde kişisel hesaplama elemanlarının yaygınlaşması ile zaman ve mekan dışındaki değişkenlerin birbirine bağlı olarak çözülmesi, yani ısı, görsel ve akustik performansın bir arada değerlendirilebilmesi olanağını getirmiştir. 1990’larda ise etki alanı entegrasyonu ile beraber farklı yazılımların birlikte çalışabilmesi ön plana çıkmıştır (Clarke, 2001). 2000’lerde ise geliştirilen yazılımlara kullanım kolaylığı sağlayacak arayüzler geliştirilmiş ve kullanıcı kitlesi konuda uzman olmayan tasarımcıları kapsayacak şekilde yaygınlaştırılmıştır. Günümüzde en yaygın kullanılan beş BEB aşağıda incelenmiştir.

### 3. BİNA ENERJİ BENZETİM ARAÇLARI

Piyasada kullanılan en yaygın beş BEB aşağıda detaylandırılmıştır. Bunlar;

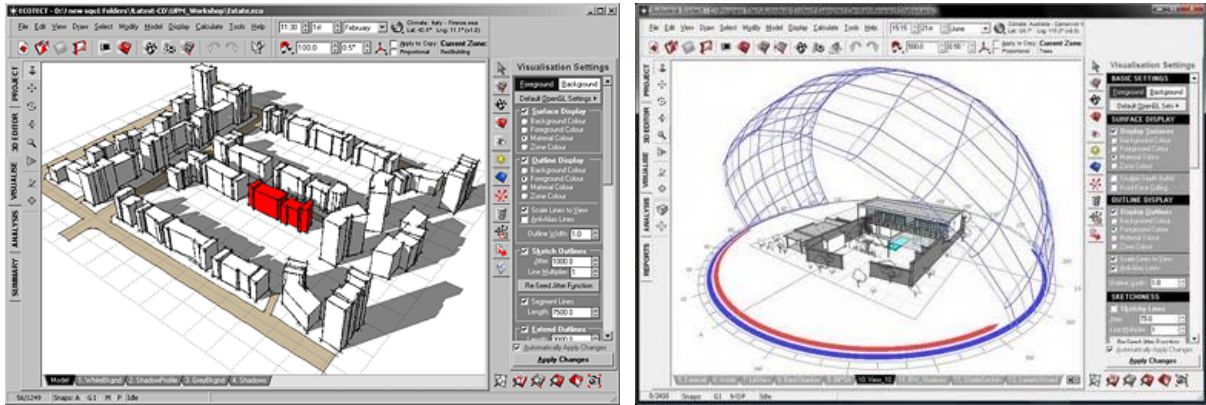
1. ECOTECT,
2. DOE-2,
3. eQUEST,
4. EnergyPlus ve
5. TRNSYS’dir.

#### 3.1. Ecotect

Piyasadaki en kullanıcı dostu BEB olmak iddiasında bulunan ECOTECT çevresel performans analizinin karmaşık süreçlerini, mimarların kullanabileceği şekilde basitleştirmeyi hedefler. Başlangıçta Square One Research firması tarafından geliştirilen yazılım daha sonra Autodesk firması tarafından satın alınmıştır. Bu çalışmada değerlendirilen sürümü Ecotect 5.5, Nisan 2005’te piyasaya sürülmüştür (Şekil 1). Detaylı bilgi için web sayfası: <http://www.ecotect.com>’dur.

ECOTECT, mimarlar tarafından mimarların kullanımı için geliştirilmiştir. Özellikle bina tasarım süreci göz önüne alınarak geliştirilen yazılımdan mühendisler, yerel yetkililer, çevresel danışmanlar, tasarımcılar ve müteahhitler de yararlanmaktadır. Programı kullanmak için, bilgisayarla çizim ve çevresel tasarım alanında tecrübeli olmak faydalı olmakla birlikte şart

değildir. Başlangıç aşamasındaki bir tasarımcı bile geniş kapsamlı destek ve eğitim dosyaları ile hem yazılımı hem de enerji etkin yapı tasarımının temel ilkelerini kolayca öğrenebilir.



Şekil 1. ECOTECT ekran görüntüleri (<http://www.squ1.com/>)

Hemen her projede, tasarımın ilk haftalarında alınan kararlar, binanın toplam performansı üzerinde en çok etkisi olan kararlardır; binanın arazideki yeri, temel biçimi, yönlenmesi, mekan dizimi, mekanların birbiriyle ilişkisi, yapı kabuğu malzemeleri, pencere boyutları, pencere yerleri gibi. ECOTECT, tasarımın hem başlangıç aşamasında hem de son aşamasında gerek tasarım kararlarının değerlendirmesinde gerekse çevresel etkileri optimize etmekte aynı derecede yararlı olmayı hedeflemektedir.

İnteraktif bina tasarım arayüzü ve üç boyutlu modelleyicisi ile bir bina tasarımının nasıl çalışacağını ve performans göstereceğini tamamen anlamak ve değerlendirmek için gerekli çeşitli çevresel tasarım detaylı değerlendirme araçlarını içerir. Bu araçlar yardımıyla; güneş, ısı, aydınlatma, gölge ve gölgeleme tasarımı, enerji ve bina yönetmeliğine uygunluk, akustik, hava akışı, fiyat ve kaynak performansı gibi konularda detaylı değerlendirmeler yapabilmektedir. Buna karşın parametrik analiz veya farklı enerji etkinlik stratejileri için karşılaştırma yapılamaz. Yazılımda analizler CIBSE Admitans Yöntemi'ne göre yapılmaktadır (CIBSE, 1999).

Programda, her boyut ve geometride binanın analizi yapılabilir. Ancak model geometrisi karmaşıklıkla köşe sayısı artar. Hızdan ödün vermeyen yazılımda, farklı tip analizler yapılabilir. Ancak, analiz sonuçları değerlendirirken programın hesaplama yaparken kullandığı varsayımlar göz önünde bulundurularak gereklidir. Daha hassas ve kesin sonuçlar için, gerektiğinde program Energy Plus, ESP-r ve Radiance gibi benzetim programlarıyla beraber çalışabilir.

Yazım motoru, editörü ve sihirbaz (WizardMaker) görsel arayüzü ile veri girişini kolaylaştırmak hedeflenmiştir. Kullanıcı arayüzü sekmeler üzerinden kurgulanmıştır, ancak farklı analizler için gerekli geometrinin ve veri çeşitlerinin uygun biçimde girilmesi gerektiğinden sekmeler arasında gezinti bir dizi seçenekle sınırlandırılmıştır. Ayrıca Açık Grafik Kütüphanesi (OpenGL) arayüzü kaynaklı hatalar nedeniyle program aniden sonlanabilir.

Analizler için istenen girdiler genel olarak; tasarlanan projenin tanımı, bina tipi, binanın bulunduğu ülke, şehir, koordinat ve bunlara bağlı olarak iklim verileridir. Tasarımda mekanlar ayrı bölge (Zone) şeklinde tanımlanmalı ve her bir bölge kendi içinde kapatılmalıdır. Yazılım çizim amaçlı olmadığı için karmaşık bina biçimlerini modellemek daha zordur. Bu durumda geometri Revit, Autocad, ArchiCAD, Sketchup gibi farklı bir ortamda gerçekleştirilerek .3ds veya .dxf uzantılı dosya ile ECOTECT'e aktarılabilir.

ECOTECT analiz sonuçlarını standart grafikler ve çizelge tabanlı raporlara dökmenin yanında yapı yüzeylerinde veya mekanlarda üç boyutlu görselleştirmektedir. Kendi

sonuçlarının yanında, başka programlardan alınan örneğin, hesaplamalı akışkanlar dinamiği sonuçlarını da görselleştirebilir. Yüzeysel haritalar, uzaysal hacim taramaları, veya basit gölge animasyonları gibi araçlarla tasarım etkileşimli görselleştirilen veri, yapı geometrisi ve malzeme özellikleri değişikçe gerçek zamanlı güncellenir.

Çıktılar çizelge, Metafile, Bitmap veya animasyon olarak kaydedilebilir. Uzman kullanıcılar Script aracı sayesinde oluşturduğu komut dosyalarını kullanarak çok sayıda parametreyi, malzemeyi, bölge ayarlarını ve geometriyi otomatik olarak değiştirip analiz edilebilir, sonuçlar program dışına aktarabilir (Crawley vd., 2008).

Programın çıktısı görselleştirmedeki başarısızdır. Ancak bazı konularda çok detaylı veri oluşturur ve bu verilerinin değerlendirilmesinde uzmanlık gerekebilir. Oysa, yenilenebilir enerji kaynaklarının tasarımla bütünleştirilmesi veya su kullanımı gibi sıfır enerjiye ulaşmakta kullanılabilecek tasarımsal stratejiler hakkında kullanıcıya yardımcı olmamaktadır.

Öğrenciler, programı internet sitesinden ücretsiz olarak yükleyebilmektedir, ancak firmaların programı lisanslı olarak satın almaları gerekmektedir. Programın deneme sürümü web sitesinden elde edilebilir.

### 3.2. Doe-2

Amerika Birleşik Devletleri Enerji Dairesi tarafından 1979 yılından beri geliştirilmekte olan yazılım, enerji etkin bina tasarımına yeni teknolojilerin etkilerinin analiz edilmesi ve binalarda enerji korunumu standartları geliştirilmesini hedefler. Yazılımın bu çalışmada değerlendirilen sürümü DOE-2.1E, Eylül 2003'te piyasaya sürülmüştür ve web sitesi: <http://simulationresearch.lbl.gov>'dur.

Yazılım mimar, mühendis, enerji danışmanı, yapı teknolojisi araştırmacısı, altyapı kuruluşları, yerel yönetimler ve üniversiteler gibi geniş kullanıcı kitlesini hedeflemektedir. Kullanımı uzmanlık gerektirir; önerilen eğitim süresi resmi temel eğitim için 3 gün ve resmi ileri kullanıcı eğitimini için de 3 gündür. Kullanıldığı coğrafya sadece Amerika ile sınırlı değildir; dünya çapında kırktan fazla ülkede tercih edilmektedir.

Yapı tasarımı araştırma ve analizi, retrofit olanakları değerlendirmesi, yapı enerji normları belirlenmesi konularında kullanılabilir. Ayrıca, karmaşık yapı tasarımlarında detaylı, saatlik, çok bölgeli tüm bina enerji analizi yapmak, var olan veya yeni teknolojilerin enerji etkinliğini hesaplamak için de kullanılabilir. Diğer kullanım alanları arasında kaynak talep yönetimi, geri dönüşüm hesapları, enerji etkin bina tasarımcısı (mimar ve mühendis) eğitimi de bulunmaktadır.

Endüstride standart oluşturan bir programdır. Hesap motoru ASHRAE BESTEST protokolü ile ANSI/ASHRAE 140-2001 Standardına göre kabul edilebilir değer aralığında sonuç verdiği doğrulanmıştır. DOE-2.1E'nin beş altprogramı vardır ve sıra ile işletilirler. Önce BDL Processor, girilen veriyi kullanılabilir duruma çevirir. Daha sonra LOADS, SYSTEMS, PLANT ve ECON her birinin çıktısı bir sonrakinin girdisi olacak şekilde çalıştırılır. Bir başka deyişle bina yüklerinin çıktısı, sistemlere girdi, sistemlerin çıktısı tesisata girdi, tesisatın çıktısı ise ekonomiye girdi olarak kullanılır. Her alt program kendi basılı hesap raporunu oluşturur (Winkelmann vd., 1993).

Programın veri girişi metin tabanlıdır. Özel sektörde DOE-2 simülasyon motorunu kullanan yirmiden fazla arayüz geliştirilerek programın kullanılması kolaylaştırmak amaçlanmıştır. Kullanıcı arayüzleri metin tabanlıdan interaktif ve grafiksele kadar çok çeşitlidir. Bu arayüzlerden eQuest bu makalede daha detaylı değerlendirilmiştir.

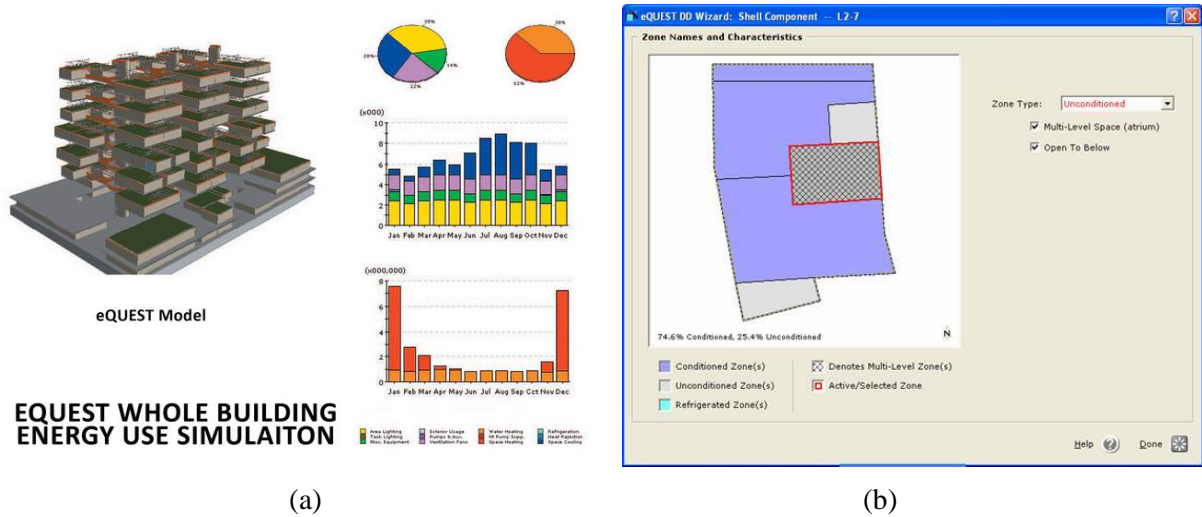
Girdileri yapı geometrisi ve yönlendiği, yapı malzemeleri ve kabuk elemanları, saatlik iklim, iklimlendirme elemanları ve kontrolleri, eleman maliyetleri, yapının çalışması, elektrik, su gibi hizmet bedellerinin tanımlanmasıdır.

Çıktı olarak binanın saatlik enerji kullanımı, yaşam döngüsü analizi, enerji maliyeti analizi gibi 700 farklı bina enerji değişkenini raporlanabilir. Ayrıca 20 kullanıcı seçimli girdi doğrulama raporu ve 50 kullanıcı seçimli aylık veya yıllık özet raporu da oluşturulabilir.

Windows, UNIX, DOS ve VMS gibi farklı platformlarda kullanılabilen programın yazım dili FORTRAN 77'dir. Lisans maliyeti, yazılım ve donanım isteklerine göre 300\$ ile 2000\$ arasında değişebilmektedir.

### 3.3. Equest

eQUEST hem kullanım kolaylığıyla hem de kaliteli sonuçlarıyla kendini kanıtlamış yaygın kullanılan bir BEB'tir (Şekil 2). Adını İngilizce hızlı enerji benzetim aracı kelimelerinin kısaltmasından alan yazılımın öne çıkan özellikleri yapı yaratma sihirbazı, enerji etkinlik ölçümü, grafiksel sonuç gösterme modülü ve DOE-2.2 kullanan enerji hesaplama motorudur. Kaliforniya Eyaleti tarafından finanse edilen yazılımın, bu çalışmada Şubat 2005'te piyasaya sürülen eQUEST 3.55 sürümü incelenmiştir. Web sitesi: <http://www.doe2.com/equest>'tir.



Şekil 2. (a) eQUEST model, analiz (<http://tboake.com>), (b) eQUEST ekran görüntüleri (<http://www.gard.com>)

Sihirbazları, dinamik varsayımları, etkileşimli grafikleri, parametrik analizi ve hızlı çalışması ile DOE-2'den daha fazla kullanıcıya hitap eder. Tasarım sürecinin tüm aşamalarında tüm takım elemanları tarafından kullanılabilir. Bunların içinde bina tasarımcıları, kullanıcıları, sahipleri, enerji danışmanları, denetçiler, üniversiteler ve araştırmacılar bulunur.

Programı hem deneyimsiz hem de deneyimli kullanıcılar kullanabilir. Sihirbaz ile kullanımda enerji analizi ile ilgili deneyim gerekmez, hatta kullanıcılar bu sırada hata ile varsayılan değerleri değiştirirlerse değer tipografisi yeşilden kırmızı vurguluya döner. Ancak detaylı arayüzü kullanmak için yapı yeknolojisi bilgisi gereklidir, ayrıca diğer BEB'lerle, özellikle DOE-2 tabanlı araçlarla deneyim kullanımda yardımcıdır.

Tasarımın başlangıçtaki kavramsal analiz aşamasından bitirme aşamasına kadar tüm tasarım süreci boyunca kullanılabilen nadir programlardandır. Isıl hesaplamalar, enerji simülasyonu ve karşılaştırmalı hesaplamalar ile tüm bina enerji performans analizi yapar. Mimaride daha çok şematik ve detaylı tasarım aşamalarına odaklı olmakla beraber büyük binaların ileri aşama mühendislik tasarımlarında da kullanılabilir.

Yazılımın grafik ara yüzü Windows tabanlıdır. Üç boyutlu modelleme aracı ile şematik ve detaylı tasarım sihirbazları mevcuttur. Arayüz daha çok metin tabanlı girdi ister. Sihirbaz

yaklaşımı deneyimli kullanıcılara rahatlık getirmekle birlikte esnek kullanımı ve dolaşımı engeller. Tasarım sihirbazı, bazı basit tanımlamaların yapılmasına izin verse de detaylı mekanik sistem ve elemanları içermemektedir. Ancak yapım, işletmeye alma ve kullanım sonrası aşamalarda detaylı analiz dokümanları oluşturulabilir.

Tasarımcı bakış açısından, alternatif karşılaştırma ve seri parametrik analiz yapabilme özellikleri yazılımın güçlü yönleridir. Büyük modellerde bina sistemleri ve tüm bina seviyeleri arasındaki ilişkileri hızla kurar ve gösterir. Alınabilecek çeşitli enerji etkinlik önlemlerini ve “ise” senaryolarını değerlendirebilir. Ancak DOE-2.1E'nin yeteneklerinin hepsine sahip değildir, örneğin hava değişimi ve iklimlendirme analizlerinde daha basit ve sınırlı modeller kullanır, ayrıca kullanıcı tanımlı fonksiyonlar da eQUEST'te desteklenmemektedir (Crawley vd., 2008).

Gerekli girdi parametrelerinin çoğu ilk mimari tasarım kararlarından sonrasına odaklıdır. Daha çok metinsel, detaylı ve teknik veri girişi gereklidir. Deneyimsiz kullanıcılar program kabullerini kullanmak zorunda kalırlar, ki bu kabuller Kaliforniya eyaleti kanunlarına göre yapılmıştır. IP birimlerini kullanması Türkiye açısından kullanımda olumsuz bir özelliktir.

Çıktı özeti, grafiksel rapor özetlerinin birbirine eklenmesinden oluşur. Pek çok ayrı simülasyonun sonucu, parametrik sekme sonuçları, yıllık üstüste bindirilmiş veya azar azar artan mali analiz sonuçları, binlerce simülasyon değişkeni ve saatlik simülasyon sonuçları bir arada verilir. Bu nedenle, yazılımın raporunu yorumlamak ve alternatif karşılaştırmalarını tasarımda kullanabilmek için iyi bir bilgi düzeyine sahip olmak gereklidir.

eQUEST, iki boyutlu bilgisayar destekli çizim dosyalarının, çok bölgeli modelleme ve eğik yüzey veya eğimli çatı modellerinden içeri veri aktarımına izin verir, ancak hiçbir üç boyutlu CAD, BIM, gbXML vb. model ile veri paylaşımı yapamaz.

Kaliforniya eyaleti tarafından kamu finansmanı ile oluşturulan yazılım ücretsiz olarak web sayfasından indirilebilir. Program ile birlikte Kuzey Amerika'daki binden fazla yerel iklim verisi de kullanılabilir.

### 3.4. Energy Plus

EnergyPlus, Amerikan Enerji Bakanlığı tarafından geçerliliğini kanıtlamış BLAST ve DOE-2.1E yazılımlarının deneyimleri üzerine binalarda gerekli hizmetleri en az enerji tüketerek sağlanması amaçlı tasarımlara, bina içindeki enerji akışlarının simülasyonunu yaratarak yardımcı olmak üzere geliştirilmiş bir uygulamadır. Bu çalışmada Kasım 2008'de piyasaya sürülen EnergyPlus 3.0 incelenmektedir (Şekil 3). Daha detaylı bilgiye web sitesi olan <http://www.energyplus.gov>'dan erişilebilir.

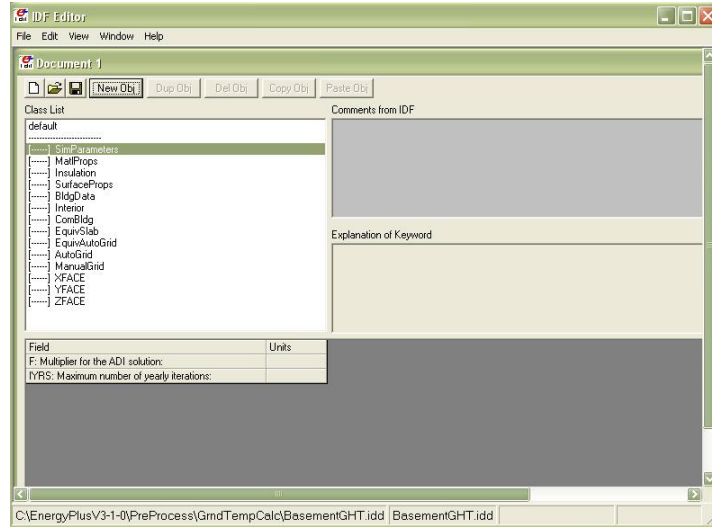
Hedef kitlesi mimarlık ve mühendislik firmaları, danışmanlık şirketleri, ulusal ajanslar, üniversiteler ve araştırmacılarıdır. Yüksek düzeyde yazılım bilgisi gerekli değildir. Analiz kısmında mühendislik bilgisi yararlıdır.

Yazılım arayüz ve eklentilerden çok simülasyon motoru üzerine odaklıdır. Veriyi metin dosyalarından alır, işler, sonuç ve raporları da metin dosyaları olarak verir. Kullanıcı dostu bir arayüz için çalışmalar devam etmektedir.

Yazılım paketinde veri giriş dosyaları yaratmak, düzenlemek ve çalıştırmak için kullanılabilen üç farklı araç bulunmaktadır: IDF Editörü, EP-Launch ve HVAC-Diagram. EnergyPlus Örnek Dosya Üreticisi de şu anda test edilen ve sadece BETA sürümü ile kullanımda olan, bir sonraki sürümde pakete eklenmesi beklenen bir araçtır. Bu araç web tabanlı olup küçük ve basit binalar için gerekli metin tabanlı veri dosyalarının yaratarak e-posta ile kullanıcıya gönderilmesi amaçlıdır.

Tüm bina enerji hesaplamaları, ısı analiz, ısı konfor, ASHRAE 55 kriterleri (PMV, DISC TSENS ve PPD değerleri), çevresel performans analizi, gerçek zamanlı enerji fiyat

hesaplamaları ve ek enerji ekonomisi raporlama özellikleri vardır. Ayrıca tasarım esnekliğini artırıcı kullanıcı tanımlı zaman aralığında hesap yapabilmek veya yenilenebilir enerji kaynaklarının bina ile entegre çalışmasının gözlemlenebilmesi gibi özellikleri de vardır.



Şekil 3. EnergyPlus IDF editör (<http://energyplus.software.informer.com>)

Simülasyon motoru değişken zaman adımıyla ısıtma, soğutma, sistem ve elektrik sistemi cevabını hesaplar. Bu entegre çözüm daha keskin mekan sıcaklık tahmini sağlar, yani sistem boyutlandırması, kullanıcı konforu ve kullanıcı sağlığı hesapları daha nettir. Performans değerlendirme analizleri daha çok mimari kararların verilmesinden sonra pek çok mühendislik verisinin girilmesini veya varsayılan değerlerin kullanılmasını gerektirmektedir. Bu durumda tasarımcının geri dönüşlerle tasarımını beslemesini zorlaştırmaktadır (Crawley vd., 2001).

EnergyPlus giriş very dosyaları yaratan ve sonuçları grafikselleyen pek çok kullanıcı arayüzü mevcuttur. Bunların bazıları Demand Response Quick Assessment Tool, DesignBuilder, Easy EnergyPlus, EFEN, Hevacomp ve HLCP'dir. Bu sürümde üç boyutlu bir çizim programı olan Google SketchUp için Enerji Tasarımı eklentisi kullanıma sunulmuştur. Bu eklenti sayesinde yapı geometrisini EnergyPlus'a aktarmak, geometri üzerinde değişiklik yapmak kolaylaşmıştır. Ayrıca geometri değişikliklerinin sonuca etkilerini izlemek SketchUp'tan çıkmadan mümkündür.

Yükleri hesaplamakta EnergyPlus algoritmasını kullanır. Her sürümü için IEA BESTest ve HVAC testleri sonuçları web sitesinde mevcuttur. Yazılım dili Fortran 2003'tür. Windows, Linux ve Macintosh işletme sistemlerinde çalışabilir. DrawBDL, EcoTect, EnergyPlugged, ESP-r, Green Building Studio, EzDrawPlus, IFCtoIDF, TSe+ ve EzPlus-Parm gibi yazılımlarla arada veri alışverişi mümkündür.

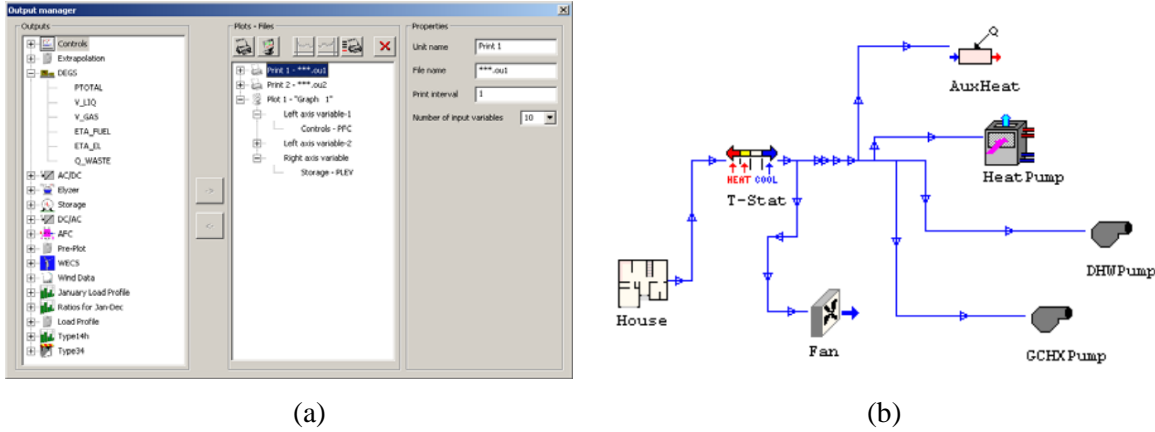
EnergyPlus kullanım tipine göre farklı, ticari ve ticari olmayan, lisanslama seçenekleri sunmaktadır. Ticari lisanslar içinde de son kullanıcı lisansı ücretsiz olup dağıtıcı lisansı ücretlidir. Ayrıca program ile birlikte kullanım için piyasada geliştirilmiş bazı ek araçlar ve arayüzler bulunmaktadır. Bunlar için ayrıca ücret ödemek gerekebilir. Buna ek olarak dünya çapında 2000'den fazla yerin iklim verisi web sitesinden ücretsiz indirilebilmektedir.

### 3.5. Trnsys

1975 yılından beri piyasada olan TRNSYS Wisconsin Üniversitesi ve Colorado Üniversitesi ortak yapımı bir proje sayesinde dünyaya gelmiştir. Projenin sonunda o günün teknolojisinde daha esnek bir simülasyon aracının eksikliği görülmüş ve enerji sisteminin her bileşeninin ayrı



bir eleman olarak modellendiği modüler bir yazılım ortaya konması fikri doğmuştur. Böylece bileşenlerin birbirine eklenmesi ve çıkarılması ile simülasyonlar kolayca oluşturulabilecekti (Bradley ve Kummert, 2005). Bu makalede yazılımın Ocak 2006'da piyasaya sürülen TRNSYS 16.01.0000 sürümünü temel alınmıştır (Şekil 4). Daha ayrıntılı bilgi için web sitesi: <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>'dir.



Şekil 4. (a) TRNSYS Simülasyon Stüdyosu çıktı aracı (Bradley ve Kummert, 2005), (b) TRNSYS toprak kaynaklı ısı pompası modeli (<http://sel.me.wisc.edu/trnsys>)

Tasarımcı, araştırmacı, danışma şirketi gibi çeşitli kullanıcılara hitap eden programın temel paketi başlangıç kullanıcıları tarafından kullanılabilir. Ancak kütüphane dışında yeni eleman tanımlama gibi konularda uzmanlık gerekmektedir.

Isıl performans, sistem analizi ve boyutlandırılması, karmaşık hava akışı analizi, güneş ve güç modellemesi, control sistemleri gibi modellemeler yapılabilmektedir. Başlangıçta sadece güneş tabanlı ısıl hesaplamaların yapılması için tasarlanan yazılım zaman içinde tüm özelliklere sahip bir BEB haline gelmiştir, hatta arabalardaki iklimlendirme sistemleri ve trafik akışı gibi farklı konulardaki modellemelerde de kullanılmaktadır. En esnek BEB'lerden biri olan TRNSYS'in modüler sisteminde her bir eleman "Tip" adını alır. Tipler çeşitli karmaşıklıkta olabilir ve standart dışındaki elemanlar da kullanıcı tarafından tanımlanabilir.

Simülasyon Stüdyosu adlı grafik arayüzü sürükle bırak mantığıyla çalışmaktadır. TRNBuild modülü ile girdi dosyası oluşturma, TRNEdit modülü ile ise düzenleme yapılabilmektedir. Programda bina ve sistem hakkında hiçbir varsayımda bulunulmamaktadır, yani kullanıcının bina ve sistem hakkında detaylı bilgisi olmalı ve bu veriyi arayüze girmelidir. Girdi dosyası bina tanımı, sistem bileşenlerinin karakteristikleri, bileşenlerin birbirleriyle nasıl ilişki kurduğu ve program tarafından sağlanan iklim verisini içerir. Girdilerin tümü metin tabanlıdır.

Yaşam boyu maliyet, aylık özetler, histogramlar, zaman birimine göre istenen değişken değer grafikleri, simülasyon ilerledikçe çevrim içi değişken basımı gibi çıktılar alınabilir. Ana çıktı formatı metin tabanlıdır.

TRNSYS hesap motoru aslında standart numerik tekniklerle denklem çözme üzerine kurulmuştur ve tüm sistemi temsil eden cebri ve difransiyel denklemleri çözer. Yazılımla beraber kullanıcıların standart kütüphanede olan elemanları modifye etmesi veya kütüphanede olmayan elemanları eklemeleri için geniş bilgi sağlanmaktadır, örneğin; bileşen rutinleri üzerine ana denklemler, tarihçe ve açıklamalarını içeren dokümanlar, modelleme süresinde belirlenen zaman adımı, başlangıç ve bitiş zamanı. Yeni bileşenler Matlab/Simulink, Excel/VBA veya EES gibi diğer yazılımlarla kullanarak ta sisteme doğrudan gömülebilir. Kütüphane dışında oluşturulan bireysel eleman matematiksel modellerinin doğrulanması önemlidir. Ek bileşen kütüphaneleri sürekli web üzerinden güncellenmektedir.

Detaylı çok bölgeli bina modellemesine ek olarak yazılım kütüphanesi güneşle su elde etme ve fotovoltaik sistemler, düşük enerjili binalar ve iklimlendirme sistemleri, yenilenebilir enerji sistemleri, kojenerasyon, yakıt hücreleri vb. bileşenler içerir.

COMIS, CONTAM, EES, Excel, FLUENT, GenOpt ve MATLAB gibi simülasyon programlarıyla bir arada çalışabilir. Kullanım için TRNSYS'i ve kütüphanelerini lisanslı almak gerekmektedir. Deneme sürümü mevcuttur.

#### 4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Sürdürülebilirliğe ulaşmak, karbon salımını azaltılmak, kaynak tüketimini azaltmak veya bina ekonomisini artırmak gibi farklı birçok konuda enerji etkin bina tasarımı gerekliliği ön plana çıkmaktadır. BEB, bu amaçla kullanılan en etkili araçlardandır ve bu çerçevede BEB'lere olan ihtiyaç ve talep te artmaktadır. Bu arada, bilim ve teknolojiadaki ilerlemelere paralel olarak her geçen gün daha gelişmiş BEB'ler piyasaya sürülmektedir. Günümüzde Amerikan Enerji Bakanlığı'nın BEB araçları rehberinde neredeyse 300 farklı araç listelenmektedir (DOE, 2009). Her ne kadar, günümüzde bu araçlar piyasada genel kabul görmüş ve yaygın olarak kullanılan araçlar olmasalar da gitgide daha yaygın kullanım alanı bulmaktadırlar. Ancak literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, uzun süreden beri kullanılagelen yaygın araçlar arasında bile araçların yeteneklerini belirtmek için kullanılan ortak bir dilin olmadığı görülmüştür (Crawley vd., 2008). Bu nedenle,

Kullanılacak BEB yazılımı seçiminde çeşitli ölçekte farklı değişkenleri göz önünde bulundurulabilir. Bu çalışmada en yaygın beş BEB incelenmiş ve bunların özelliklerinden yola çıkarak BEB seçiminde kullanılabilir olacak ölçütler araştırılmıştır. BEB'ler başlangıçta daha çok araştırma kurumları ve teknik uzmanlar tarafından kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Yakın zamana kadar sadece bu kullanıcı kitlesine hitap eden yazılımların çoğu halen yapıda meydana gelen enerji akışı konusunda uzman kullanıcılara hitap etmektedir. Ancak burada incelenen araçlar, uzmanların yanında başlangıç düzeyde kullanıcıların da kullanabileceği, hatta yapı fiziğinin temel konularını kullanıcılarına öğreten yazılımlardır. Bu da daha az uzmanlık gerektiren yazılımların daha yaygın kullanılabilirliği savını ortaya çıkarmaktadır.

Bir binanın ömrü boyunca tüketileceği enerji miktarının önemli bir kısmı tasarım aşamasında belirlenmektedir ve binaların enerji gereksinimlerini en aza indirmek temel bir tasarım problemidir. Bu problemi çözerken farklı yaklaşımlar kullanmak mümkündür. Bir BEB çözüm sırasında basitleştirilmiş veya daha karmaşık bir çözüm yolunu kullanabilir hatta bazı araçlar tanımlanan değişkenlere göre farklı yollardan çözüm yapma yeteneğindedirler. Ancak genelde yazılım geliştiricileri, geliştirdikleri aracın bir probleme nasıl yaklaştığını kullanıcıya belirtmemektedirler. Bu durumda, çözümün güvenilirliğini, yani doğruya en yakın sonuçlar elde edip etmediğini ASHRAE'nin geliştirdiği BESTEST gibi testlerle değerlendirmek gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

2000'li yıllara kadar geliştirilen BEB'lere getirilen en büyük eleştiri, yazılımlarda yapı tanımlanması için daha çok metin tabanlı ve fazla sayıda değişken girişi gerekliliği idi. Yazılımların yeni sürümlerinde daha kullanıcı odaklı arayüzler geliştirilerek bu sorun oldukça azaltılmaktadır, hatta bazı yazılımlar çizim tabanlı programlarla veri değiş tokuşu yapabilmekte ve geometri ölçeğinde bu sorunu hiç yaşamamaktadır. Yapının coğrafi konumu, ile ilgili veriler GIS yazılımlarından, iklimle ilgili değişkenler standartlaşmış TMY gibi uzantılarla veri bankalarından alınabilir. Hatta başka yazılımların hesap sonuçlarını kendi hesaplamalarına girdi olarak kullanan yazılımlar bile mevcuttur. Bu, başka yazılımlara bilgi aktarma yeteneği güçlü olan yazılımlar için daha çok tercih edilmesine neden olabilir.

Bu çalışma sonucunda, BEB seçiminde kullanılmak üzere başlıca seçim ölçütleri belirlenmiştir. Önerilen ölçütler aşağıda verilmiştir:

- Proje gereksinimleri
- Kullanıcı uzmanlık derecesi
- Hedeflenen tasarım evresi
- Yazılımın arayüzü
- Yazılımın yetenekleri
- Hesap motorunun hasasiyeti
- Girdi/çıkış özellikleri
- Diğer yazılımlarla bilgi alışveriş yeteneği
- Erişilebilirlik

## KAYNAKLAR

- Baker N., Steemers K. (2000): “Energy and Environment in Architecture: A Technical Design Guide”, FN Spoon, Londra.
- Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (2008). 05.12.2008 tarihli 27075 sayılı Resmî Gazete.
- Bradley D., Kummert M. (2005): “New Evolutions In Trnsys—A Selection of Version 16 Features”, Kanada, 9. Uluslararası IBPSA Konferansı.
- Brown G. Z., DeKay M. (2000): “Sun, Wind and Light: Architectural Design Strategies”, 2. Baskı, Wiley, John and Sons.
- CIBSE, Bina Hizmetleri Mühendisleri İmtiyazlı Kuruluşu (1999): “CIBSE Guide Book”, The Chartered Institute of Building Services Engineers, London.
- Clarke J. A. (2001): “Energy Simulation in Building Design”. 2. Baskı, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Crawley D. B., Lawrie L. K., Winkelmann F. C., Buhl W. F., Huang Y. J., Pedersen C. O., Strand R. K., Liesen R. J., Fisher D. E., Witte M. J., Glazer J. (2001): “EnergyPlus: Creating A New-Generation Building Energy Simulation Program”, Energy and Buildings, Cilt 33, Sayı 4, s. 319–331.
- Crawley D. B., Hand J. W., Kummert M., Griffith B. T. (2008): “Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs”, Building and Environment, Cilt 43, Sayı 4, s. 661–673.
- DOE, Amerika Birleşik Devletleri Enerji Dairesi. (2008): “International Energy Outlook 2008”, DOE, Washington DC, Amerika.
- DOE, Amerika Birleşik Devletleri Enerji Dairesi Yapı Enerji Yazılım Araçları Rehberi, [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory), Erişim Tarihi: 10.02.2009.
- Hui S. (2001): “Low Energy Building Design in High Density Urban Cities”, Renewable Energy, Cilt 24, Sayı 3–4, s. 627–640.
- IEA, Uluslararası Enerji Ajansı. (2006): “Key World Energy Statistics, 2006”, OECD/IEA, Paris.
- Pérez-Lombard L., Ortiz J., Pout C. (2008): “A Review on Buildings Energy Consumption Information”, Energy and Buildings, Cilt 40, Sayı 3, s. 394–398.
- Roaf S., Fuentes M., Thomas S. (2003): “Ecohouse 2: A Design Guide”, Architectural Press, Cambridge.
- Tavares P. F. A. F., Martins A. M. O. G. (2007): “Energy Efficient Building Design Using Sensitivity Analysis”, Energy and Buildings, Cilt 39, Sayı 1, s. 23–31.
- Tokuç A. (2005): “İzmir’de Enerji Etkin Konut Yapıları İçin Tasarım Kriterleri”, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi.
- TSE, Türk Standartları Enstitüsü (2008): “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Winkelmann F. C., Birdsall B. E., Buhl W. F., Ellington K. L., Erdem A. E., Hirsch J. J., Gates S. (1993): "DOE-2 supplement: version 2.1 E", DOE, Washington, DC, Amerika.