



**Bu bir MMO
yayıdır**

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

KONUT DIŞI BİNALARDA YILLIK ENERJİ TÜKETİMİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

GÜNAY ÖZDEMİR
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

NURDİL ESKİN
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ



KONUT DIŞI BİNALARDA YILLIK ENERJİ TÜKETİMİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Günay ÖZDEMİR
Nurdil ESKİN

ÖZET

Dünyada ve Ülkemizde tüketilen enerjide, konut ve konut dışı binaların önemli bir paya sahip olduğu bilinmektedir. Binalarda tüketilen enerjinin önemli bir kısmı ise iklimlendirme sistemlerine harcanmaktadır.

Sunulan bu çalışmada, İstanbul Asya yakasında bulunan konut dışı bir binanın HVAC enerji tüketimi zamana bağlı olarak, EnergyPlus simülasyon programı ile hesaplanmış ve enerji tüketimini azaltma yolları araştırılmıştır. Bu kapsamda, binada farklı mahal tasarım sıcaklıkları, binanın mevcut yalıtımı üzerine farklı ek yalıtım kalınlıkları ve pencere camları arasındaki farklı hava boşluklarında bina enerji tüketiminde meydana gelen değişiklikler hesaplanarak, irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ofis binaları, Enerji verimi, Yalıtım, Pencere, Tasarım sıcaklıkları.

ABSTRACT

A great amount of world and Turkey energy demand is connected to the built environment. A significant proportion of the total annual building energy demand is connected to HVAC systems.

In the presented paper, the hourly cooling and heating loads and HVAC energy requirements of a non-residential building located in İstanbul is calculated through a dynamic simulation program Energy Plus. Effects of indoor design temperature, glass air-gap and extra insulation on monthly and yearly energy consumption are analyzed and the results are presented.

Key Words: Office buildings, Energy efficiency, Insulation, Window, Design temperatures.

1. GİRİŐ

Dünyada tüketilen enerjinin büyük bir kısmı, iş veya konut amaçlı yaşam alanları içindeki konfor şartlarının sağlanması için kullanılmaktadır. Dünyada bina şartlandırılması için harcanan enerji aynı zamanda büyük miktarda CO₂ emisyonlarının atmosfere verilmesine de sebep olmakta ve bu durum toplam enerji kullanımının azaltılması ve mevcut enerji kullanımlarının ise daha verimli olan yollarla kullanımı gereğini beraberinde getirmektedir. [1]

Konut ve konut dışı binalar son kullanıcı olarak enerji sarfiyatında en büyük paya sahip olup, enerji verimliliği için kilit hedefi oluşturmaktadırlar. Binalardaki enerji tüketimi dünya çapında 2005 yılından bu yana her yıl yaklaşık %1 oranında artış gösterdi. Elektrik tüketimi için bu artış yaklaşık her yıl için %3 oranında gerçekleşti. [2]

Bu nedenle binalarda mahal ısıtması ve soğutmasında kullanılan enerjinin azaltılmasında rol oynayacak tasarruf yöntemlerinin belirlenmesi, bilhassa enerjinin verimli kullanımı açısından önemlidir. Bu konuda yapılacak çalışmalar binaların işletme stratejilerinin belirlenmesinde ve enerji tasarrufu sağlayan tasarımların yapılabilmesi açısından yol gösterici olacaktır. Detaylı bina simülasyonları yapmayı mümkün kılan modelleme teknikleri ve bilgisayar yazılımları vasıtasıyla, binaya, tasarımı yapılan sistemlere ve çevre koşullarına ait değişkenlerin toplam enerji sarfiyatına olan etkileri irdelenebilmekte ve bu yolla bina ve sistemler detaylı olarak incelenebilmektedir. [3]

Bu çalışmada İstanbul Asya yakasında bulunan ve ofis olarak kullanılan bir binanın mahallerine ait referans ısıtma ve soğutma tasarım sıcaklıkları, binanın mevcut yalıtımının üzerine farklı kalınlıklarda ek yalıtım uygulaması ve pencere camları arasındaki farklı hava boşlukları için binadaki enerji tüketiminin değişimi incelenmiştir. Hesaplamalar EnergyPlus simülasyon programı [4] kullanılarak yapılmış ve geçmiş yıllardaki meteorolojik verilere dayalı İstanbul'a ait saatlik hava verileri [5] programa veri girdisi olarak alınmıştır.

2. OFİS BİNASININ YAPISAL ÖZELLİKLERİ

Çalışmada simülasyonu yapılan ofis binası, İstanbul Anadolu yakasında inşaatı tamamlanmış, açık ve kapalı otopark alanları, spor alanları, üst katları ise ofis amaçlı olarak kullanılan bir bina. Bina zemin kat ile birlikte toplam 9 katlı olup, bir spor salonu, bir restoran, bir dükkan, 229 ofis odası, kat holleri ve 3 katlı kapalı otoparktan oluşmaktadır. Binanın toplam net alanı $26.910,65 \text{ m}^2$, iklimlendirilen bölümlerin toplam net alanı ise $18.707,08 \text{ m}^2$ 'dir. Ofis binasında toplam iklimlendirilen mahal sayısı 259 olup, binada ayrıca 3 katlı kapalı otopark bulunmaktadır. Otoparkta sadece havalandırma yapılmaktadır. Binaya ait ihtiyaç duyulan tüm teknik veriler tez kapsamında temin edilmiştir. [6,7]

Bina konum itibarıyla ayrı ve açık bir alanda bulunmaktadır. Binanın otoparklarının 2 katı toprak altında, üçüncü otopark katı ise kısmen toprak altındadır. Binaya pencere uygulaması cam giydirme şeklinde olup, bina dış yüzeyinin önemli bir kısmını pencereler kaplamaktadır. Zemin kattan itibaren dış yüzeylerin alanı, çatı hariç $4.765,4 \text{ m}^2$ ve pencere alanları çerçeveler ile birlikte $4.862,74 \text{ m}^2$ 'dir. Çatı alanı $1.983,49 \text{ m}^2$ olup, binanın saydam olmayan dış kabuğu (çatı dahil) için toplam ısı geçiş katsayısı $0,752 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve pencere sistemleri için toplam ısı geçiş katsayısı $2,721 \text{ W/m}^2\text{K}$ olmaktadır. Bina kabuğundaki (çatı hariç) saydam olmayan yapıların ortalama kalınlığı $0,3781 \text{ m}$, çatı kalınlığı $0,374 \text{ m}$ ve pencerelerin çerçeveleri de göz önüne alındığında kalınlık değeri $0,0295 \text{ m}$ olmaktadır.

Binanın inşaatında kullanılan yapı malzemeleri ve bu malzemelerden oluşan yapı elemanları birebir programa tanıtılmıştır [6,8,9]. Tanımlanan her bir malzeme mevcut kalınlık değerleri ile yapı elemanlarının katmanlarını oluşturmaktadır. Çalışmada malzemeler arasında mevcut olan yalıtım amaçlı hava boşlukları için $0,16 \text{ m}^2\text{K/W}$ ısı direnç değeri veri olarak kullanılmış olup, sıva malzemesi dışında tüm saydam olmayan malzemeler güneş ışınımı yutma katsayısı $0,7$ sıva malzemesi için ise $0,4$ olarak alınmıştır.

Pencereler çift camlı olup, camların arasında 12 mm kalınlığında hava tabakası bulunmaktadır ve camların rengi mavidir. Camlara ait tüm malzeme veri tabanından seçilmiştir. Bu camlar aynı zamanda dış yüzeyde balkonlarda bulunan cam kapıları tanımlamada da kullanılmıştır. Cam kalınlıkları 5 mm ve 6 mm şeklinde olup, 5 mm kalınlığındaki cam dış ortam ile temasta iken, 6 mm kalınlığındaki cam iç ortam ile temastadır. Camlı kapılar için de aynı sıralama geçerlidir. Binanın 1. ve 8. katlarında dışa açılan camlı kapılar bulunmaktadır.

Pencereler ve camlı kapılar için kullanılan çerçevelerin toplam ısı geçiş katsayısı malzeme cinsine bağlı olarak $3 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak alınmıştır. Tablo 1'de binada kullanılan cam ve kapı özellikleri verilmektedir. Tanımlanan malzemelerin kullanıldıkları ve binada yer alan yapı elemanları tez kapsamında ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 1. Binada kullanılan cam yüzeylerin özellikleri.

Pencere ve Kapı Camlarının Özellikleri	
Cam Yansıtma Oranı	0,05 ila 0,06
Cam Geçirme Oranı	0,48 ila 0,57
Cam Yayma Oranı	0,84
Cam Isı İletim Katsayısı (W/mK)	0,9

3. OFİS BİNASININ İŞLETME ŞARTLARI

Bina için saat 07.00 ile 21.00 arasındaki saatler çalışma saatleri olarak kabul edilmiş ve tüm HVAC sistemleri, aydınlatma, insan yoğunluğu gibi girdiler bu saatler arasında tanımlanmıştır. Ulusal tatil günleri hariç, binanın çalışma saatleri içinde sürekli işletme halinde olduğu kabul edilmiştir. Yıl içinde 358 gün için binanın ısı yük hesapları yapılmış ve hesap edilen gün sayısı tüm analizlerde sabit tutulmuştur.

Binada muhtelif lokasyonlarda kullanılan elektrikli ve gazlı ekipmanlar, aydınlatma seviyeleri ve insan yoğunluğu değerleri Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Bina mahallerinin iç ısı kazanç bilgileri.

	İnsan Yoğunluğu (m ² /Kişi)	Aydınlatma (W/m ²)	Elektrikli ve Gazlı Cihazlar (Watt)			
			Buzdolabı	Bilgisayar	Televizyon	Ocak
Ofisler	20	11	350	440	80	3000
Holler	20	11	-	-	-	-
Restoran	2	11	350	440	80	6900
Spor Salonu	5	11	350	440	80	-
Dükkan	20	11	350	440	80	3000

Bu değerler anma değerleri olup, gün içinde kullanılan mekana göre saatlik değişimleri çalışmada göz önüne alınmıştır. Zira öğle saatlerinde ofislerde insan sayısı azalırken, restorandaki insan yoğunluğu artış gösterecek, bağlı olarak iç ısı kazançları değişecektir. İnsanların yaydığı ısı miktarları yaptıkları işe göre değişir. Ofisler için bu değer kişi başına 126 W, spor salonu için 400 W ve insanların hareket halinde oldukları kat holleri için kişi başına 207 W olarak alınmıştır [10].

Bina havalandırması insan sağlığı açısından önemli bir etkidir. Programda havalandırma miktarı belirlenirken ASHRAE 62.1 standartlarından faydalanılmıştır [11]. Havalandırma miktarı hem insan sayısına, hem de mahal taban alanına göre hesaplanılmış olup, otoparklar için sadece taban alanları esas alınmıştır.

Havalandırma miktarı denklem (1) ile hesaplanmıştır. Bu formülde R_p kişi başına düşen havalandırma miktarını, R_a birim alan başına düşen havalandırma miktarını, P_z mahaldeki insan sayısını, A_z mahal taban alanını temsil etmektedir. [11]

$$V_h = (R_p \times P_z) + (R_a \times A_z) \quad (1)$$

Temiz hava, iklimlendirilen bütün alanlar için fan-coil üniteleri tarafından sağlanmakta olup, otoparklarda ise motor verimleri 0,8, fan basıncı değeri 400 Pa olan jet fanları kullanılmıştır.

Eski yapılarda hava sızıntısı miktarı pencereler, kapılar, girişler ve bina tesisatı nedeniyle daha fazla olmaktadır. Ancak yeni teknolojiler kullanılan günümüz binalarında bu miktar önemli ölçüde azaltılmıştır. Ofis binası için hava sızıntısı miktarı maksimum 0,2 ACH (mahal hacminde saatlik hava değişim miktarı) olarak alınırken, en alt iki otopark alanı için 0,1 ACH alınmıştır.

Ofis binasında aydınlatma için yıllık elektrik tüketimi 1760,6 GJ ve elektrikle çalışan ofis ekipmanları için yıllık elektrik tüketimi 2291,17 GJ olup, bu değerler tüm simülasyonlar için aynıdır.

Fanlar tarafından sadece mahallerin havalandırması amacıyla harcanan yıllık elektrik miktarı ise 420,27 GJ'dür ve tüm simülasyonlar için sabittir.

Tablo 3'de mahallerin havalandırma miktarları verilmiştir [11]. Bu çizelgede orta hollerin ayrıca belirtilmesinin sebebi, merdiven ve asansör boşluklarının bu kısımda yer almasından kaynaklanmaktadır. Görüldüğü gibi orta holler, temiz havaya daha fazla ihtiyaç duyulan spor salonu ve restoran gibi ortamlarda havalandırma miktarları fazla alınmıştır.

Tablo 3. Mahallerin havalandırma değerleri.

	$R_p(m^3/s)$ Kişi Başına	$R_a(m^3/s-m^2)$
Ofisler	0,0025	0,0003
Holler	-	0,0003
Orta Holler	-	0,0004
Restoran	0,0038	0,0009
Dükkan	0,0025	0,0003
Spor Salonu	0,01	0,0003
Otoparklar	-	0,0075

Ofis binası yakıt olarak doğalgaz kullanan merkezi sistemle ısıtılıp, merkezi sistemle soğutulacak şekilde tasarlanmıştır. Bütün iklimlendirilen mahallerde 4 borulu fan-coil üniteleri bulunmakta olup, bu sistem binanın referans sistemi olarak tüm analizlerde göz önünde bulundurulacaktır. Tablo 4'deki fan-coil özellikleri referans değerler olarak alınmıştır. Binanın bulunduğu İstanbul iline ait en zorlu hava koşulları verileri Tablo 5'de gösterilmiştir [12]. Bu hava koşulları ısıtma ve soğutma sistemlerinin anma değerlerinin hesaplamasında program tarafından kullanılacaktır.

Tablo 4. Binada kullanılan Fan-coil tasarım özellikleri.

	Fan-coil Özellikleri
Fan Toplam Verimi	0,7
Fan Motor Verimi	0,9
Fan Basıncı (Pa)	75
Isıtma Tasarım Sıcaklığı (°C)	60
Soğutma Tasarım Sıcaklığı (°C)	12

Tablo 5. En büyük kapasite için iklim verileri.

	Kış Dönemi	Yaz Dönemi
Kuru Termometre Sıcaklığı (°C)	-2,6	31,1
Yılın Ayı/günü	2/21	8/21
Gün İçi Sıcaklık Değişimi (°C)	0	7,7
Rüzgar Hızı (m/s)	6,2	5,8
Rüzgar Yönü Kuzeyden (°)	0	30

Kazan verimi 0,8 ve çalışma aralığı 82 °C - 60 °C olurken, soğutma için su soğutma grubu çalışma aralığı 7,22 °C - 12 °C olarak belirlenmiştir. Soğutma grubu için girilen etkenlik değeri (COP) 5,5 anma değeri olup, etkenlik değerinin farklı şartlardaki değişimi simülasyonda göz önüne alınmıştır.

Yıl boyunca binada dış ortam sıcaklığı ile iç tasarım şartlarına ve iç ortam konfor şartlarına bağlı olarak ısıtma, soğutma ve ısıtma/soğutma bir arada olabilmektedir. Buna göre sadece ısıtma yapılan aylar kasım, aralık, ocak, şubat ve mart olarak belirlenirken, sadece soğutma yapılan aylar haziran, temmuz, ağustos olarak belirlenmiştir. Geri kalan 4 ay içinse sistemin hem soğutma, hem ısıtma yapılacak şekilde çalışma şartları tasarlanmıştır. Isıtma ve soğutma dönemlerinde tasarım sıcaklığının farklılığı, havanın nem miktarı ile alakalıdır ve konfor açısından gereklidir. Isıtma döneminde kat holleri 21 °C tasarım sıcaklığına, diğer tüm mahaller 22 °C tasarım sıcaklığına sahiptir. Soğutma döneminde ise kat holleri 25 °C tasarım sıcaklığına, diğer tüm mahaller 24 °C tasarım sıcaklığına sahiptir. [13]

Bu kısma kadar tanımlanan ofis binasına ait yapısal ve mimari özellikler ile tanımlanan HVAC sistemi tüm analizlerde binanın referans hali olarak alınacaktır.

4. OFİS BİNASININ YILLIK ENERJİ TÜKETİMİ VE PASİF ÖNLEMLER

Ele alınan ofis binasında pasif enerji tasarrufu yöntemlerinin irdelenebilmesi için EnergyPlus simülasyon programı ve saatlik iklim verileri kullanılarak binada her zonun saatlik, günlük, aylık ve yıllık ısıtma/soğutma yükleri ve bunu sağlamak için gerekli enerji miktarları, aydınlatma için tüketilen enerji miktarları hesaplanmıştır. EnergyPlus 6.0 - beta versiyonu kullanılarak yapılmıştır.

4.1 Binanın EnergyPlus Simülasyon Programında Oluşturulması

EnergyPlus programının yazılımı, Fortran programlama dili kullanılarak hazırlanan BLAST ve DOE-2 simülasyon programlarına dayanmaktadır. Bu iki program bina ısı yüklerini analiz eden simülasyon programlarıdır. EnergyPlus programı da tıpkı bu iki program gibi enerji analizi ve ısı yük analizi yapmaktadır. EnergyPlus binaların ısıtma ve soğutma yüklerini hesapladığı gibi, binada kullanılan ekipmanların harcadıkları enerji miktarlarını da hesaplayabilmektedir. [14]

EnergyPlus binaların ısı yüklerini enerji dengesi (Energy Balance) yöntemi ile hesaplamaktadır. Bu metoda göre, binanın mimari planına uygun olarak bütün iç ve dış yüzeylerin ısı dengesi, seçilen her zaman adımında iletim, taşınım ve ışınlama olan ısı geçişleri, güneş enerjisinden olan kazançlar dikkate alınarak hesaplanmakta; anlık soğutma ve/veya ısıtma yükleri bulunmaktadır. Bu simülasyon programı, hesaplarda kullanılan binaya ve ortama ait termo-fiziksel özelliklerin sıcaklık ve ortam nem oranlarına göre etkileşimi ve zamanla değişimine izin verdiği için, diğer hesaplama yöntemlerinden daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. [1]

Program birçok modülden oluşmaktadır. Bu modüllere kullanıcı tarafından girilen bilgiler simülasyon sırasında program tarafından kullanılmaktadır.

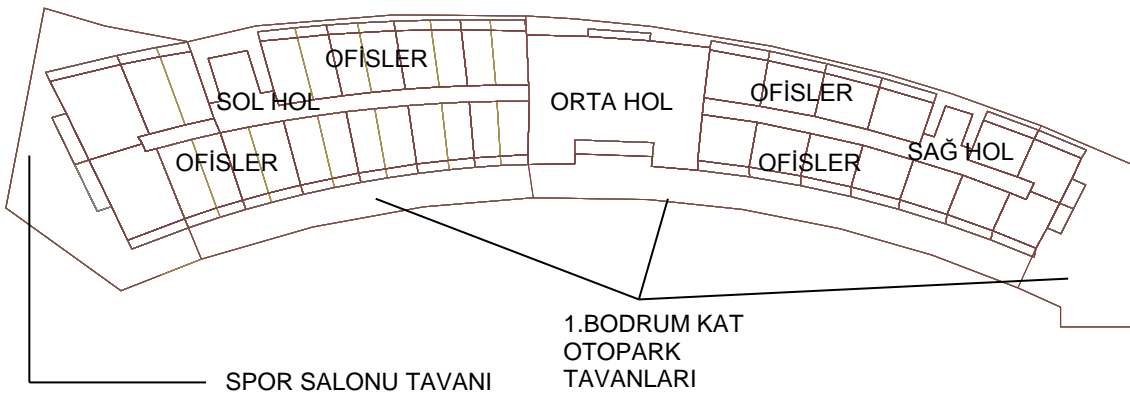
Çalışmada programa ofis binasında kullanılan malzemelerin tanıtımının yapılmasının ardından, binanın yapı elemanları ve bu yapıların koordinatları programa veri olarak girilmiştir.

Programda önce bina yapı elemanlarını oluşturan malzemeler belirlenerek bina yapı elemanları oluşturulmakta, bu yapı elemanlarından bina programa tanıtılmaktadır. Bunun için yapıda kullanılan malzemeler sıralanırken, yaşam bölgesinin dış kısımdan iç kısmına doğru bir sıralama program tarafından doğru kabul edilmektedir. Yani bir ofis odasının dış ortama bakan bir yüzeyi oluşturulurken önce en dıştaki sıva malzemesi, daha sonra tuğla ve en son olarak ofis odasının iç sıva malzemesi sıralamada yerini alır. Tüm bu malzeme ve bina yapı elemanları kullanılarak binadaki her mahal ve bağlı olarak bina programa tanıtılır. Dolayısıyla yapıda mevcut olan malzemeler, malzemelerin kalınlıkları, yüzey pürüzlülükleri, ısı iletim katsayıları, yoğunlukları, özgül ısıları, uzun dalga boylu ışınımı yutma katsayısı, güneş ışınımını ve görünür güneş ışınımı yutma katsayıları gibi tüm yapı elemanlarının termo-fiziksel özellikleri verilmelidir.

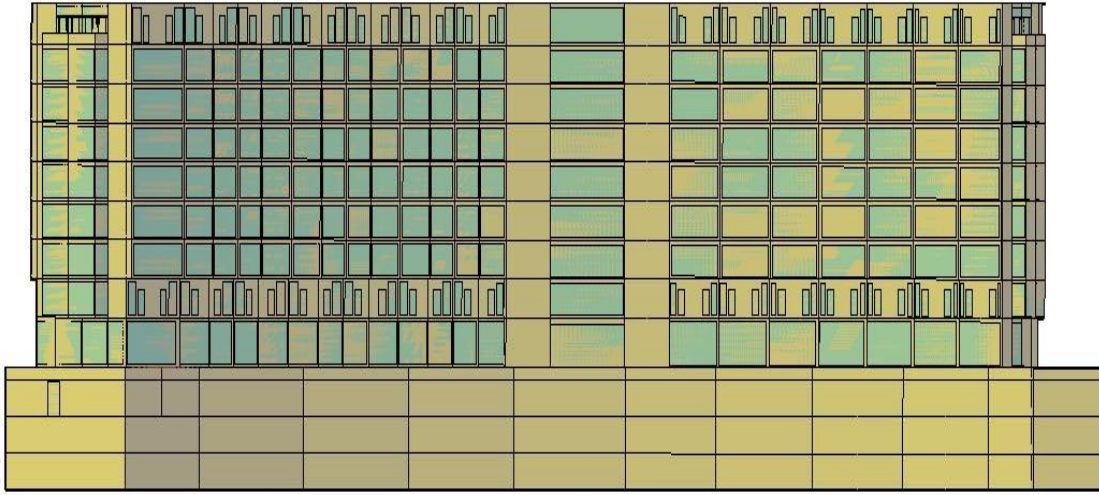
Kütlesi ihmal edilecek olan malzemelerde sadece yüzey pürüzlülüğü, ışınım yutma katsayıları ile ısı direnç katsayısı girilmiş, hava boşlukları ise dirençleri ile temsil edilmiştir.

Pencereler ile ilgili olarak, pencere kalınlıkları, güneş ışınımını geçirme oranları, ısı iletim katsayıları, iki ya da daha fazla camlı pencerelerde kullanılan gaz cinsi, camlar arasındaki mesafe bu bölümde tanımlanmaktadır. Kullanılan gaz cinsinden bazıları program içinde mevcutken, olmayan gaz türü için tanımlama yapmak mümkündür. Binanın çizimi malzeme ve yapı elemanlarının oluşturulmasının ardından yapılmıştır.

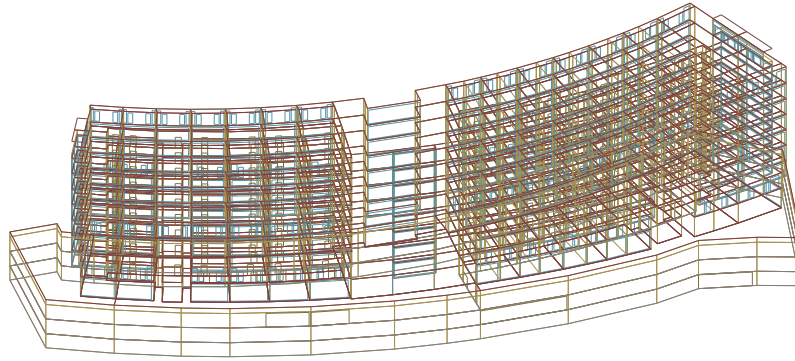
Binanın mimari projesinden yararlanılarak tüm bina her bağımsız bölümü programda tanıtılmış, dış kabuk ve iç yapı elemanlarını meydana getiren malzemeler de tariflenerek binanın çatı, zemin, ara kat, dış kabuk, pencere ve tüm kapı malzemeleri ile birlikte bina çizilmiştir. Binanın simülasyon üst ve cephe görünüşleri sırasıyla Şekil 1'de ve 2'de verilmiştir. Ofislerin ve hollerin konumları ile otopark, dükkanların yerleşimi bu şekillerden de görülebilmektedir. Şekil 3'de ise binanın çeşitli izometrik açılardan tel kafes görünümü verilmiştir.



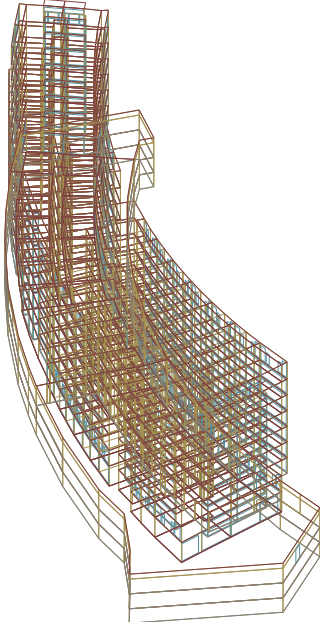
Şekil 1. Ofis binasının EnergyPlus programında oluşturulması ile elde edilen teknik resmi.



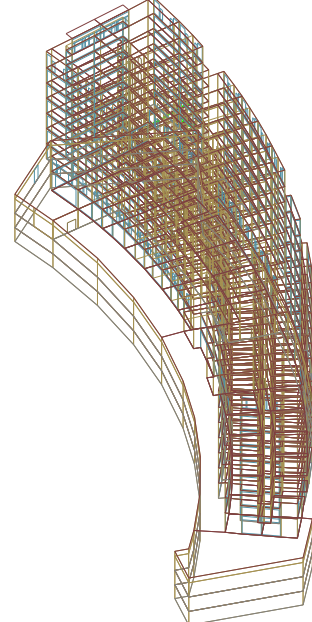
Şekil 2. Ofis binasının EnergyPlus programında oluşturulması ile elde edilen ön cephe görünümü.



a) Kuzey-Batı görünümü



b) Güney-Batı görünümü



c) Kuzey-Doğu görünümü

Şekil 3. Ofis binasının EnergyPlus programında oluşturulması ile elde edilen tel kafes görünümler.

4.2 Bina Enerji Yüklerinin Hesaplanması

Çalışmada önce referans bina şartlarındaki enerji yükleri hesaplanmıştır. Tablo 6'da referans tasarım şartlarında HVAC sistemi ısıtma, soğutma ve elektrik enerjisi tüketimlerinin t ay bazında hesaplanmış değerleri verilmektedir. Burada \dot{Q}_b sıcak su kazanı tarafından çıkış gücü değerini, \dot{Q}_c soğutma grubu enerjisi miktarını ve \dot{W}_{elek} binadaki aydınlatmanın, HVAC sistemlerinin, tüm cihaz ve yardımcı ekipmanların tükettiği toplam elektrik miktarını temsil etmektedir.

Tablo 6. Referans hal aylık bina enerji tüketim değerleri.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
\dot{Q}_b (W)	131178	145713	90222,6	23646,5	3863,71	-
\dot{Q}_c (W)	-	-	-	114404	225214	385260
\dot{W}_{elek} (W)	158932	157400	150035	193585	196561	224975
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
\dot{Q}_b (W)	-	-	119,296	4046,72	34541,5	85607,9
\dot{Q}_c (W)	491899	498562	343291	172334	-	-
\dot{W}_{elek} (W)	240974	239913	226203	202993	161123	166088

4.3 Cam Özelliğinin Enerji Tüketimine Etkisi

Bina dış yüzeyinde kullanılan camların hava boşluklarının artırılması ile enerji tüketiminde meydana gelebilecek değişimler öncelikle irdelenmiştir. Bu maksatla dış camlara ait hava boşluğunun, ısıtma ve soğutma yüklerine ayrıca elektrik tüketimine etkisi incelenmiştir. Binanın mevcut pencere yapısı 5 mm cam + 12 mm hava boşluğu + 6 mm cam şeklinde olup, hava boşluğu mesafesi 16 mm değerine çıkarılarak referans hal değerleri ile karşılaştırılmıştır. Simülasyonda kullanılan 6 mm camın U (W/m^2K), SHGC (güneş ısı kazanç katsayısı), gün ışığı geçirgenliği değerleri sırasıyla 5,778 (W/m^2K), 0,62, 0,57 olup, bu değerler piyasada mevcut TRC Helio Mavi (6 mm) [15] camın 5,7 (W/m^2K), 0,56, 0,55 özelliklerine yakındır. Tablo 7'de analizlerde kullanılan hava boşluğu ve cam adedi mesafeleri verilmektedir.

Tablo 7. Farklı hava boşluğu için yapılan simülasyonlar.

	Referans	Simülasyon1
Cam Adedi	2	2
Camlar Arası Mesafe (mm)	12	16

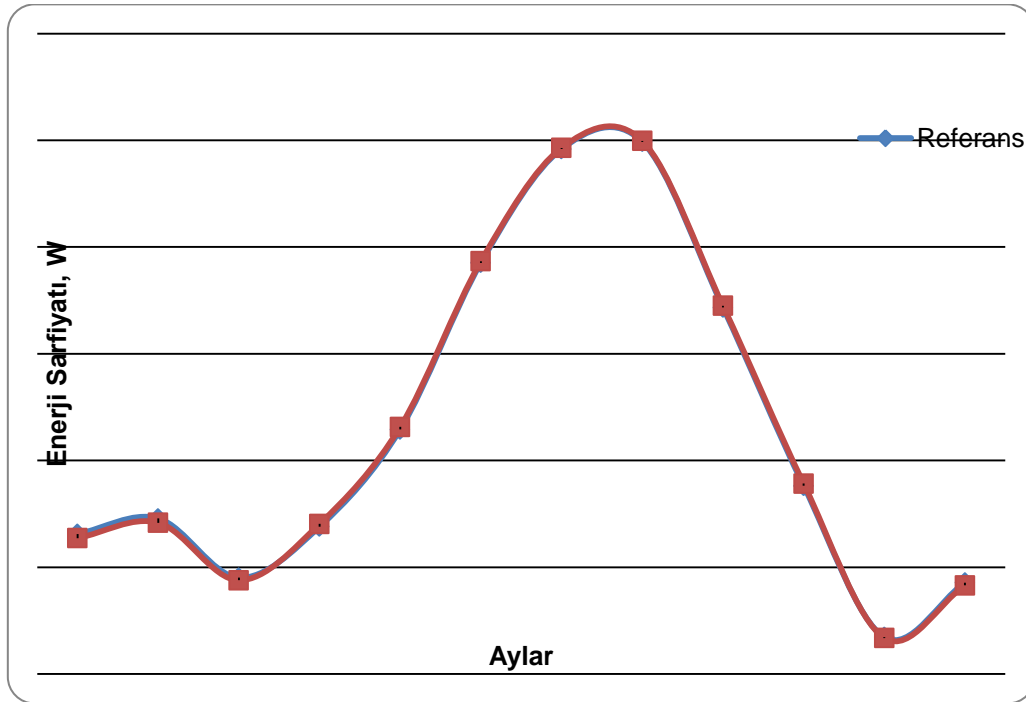
Tablo 8'de referans ve simülasyon1'deki şartlar için pencere yapılarına ait termofiziksel özellikler verilmiştir. K_p değeri çerçevelerinde dahil edildiği toplam ısı geçiş katsayıları olup, U değeri sadece pencere yapılarına ait toplam ısı geçiş katsayılarını ifade etmektedir.

Tablo 8. Farklı hava boşluğu için pencere yapılarının ve kullanılan camın termofiziksel özellikleri.

	K_p (W/m^2K)	U (W/m^2K)	SHGC (Güneş ısı kazanç katsayısı)	Gün ışığı geçirgenliği
Referans	2,721	2,693	0,45	0,326
Simülasyon1	2,71	2,681	0,45	0,326

Pencerelerde camlar arası mesafenin 16 mm'ye çıkarılması ile yapılan simülasyonlar sonucunda referans hal için yıllık 1716,32 GJ olan doğalgaz tüketimi %2,73 oranında azalırken, referans halde 1.209,23 GJ elektrik tüketen su soğutma grubunun elektrik tüketimi %0,3 artmıştır. Camlar arası hava boşluğu mesafesinin 12 mm'den 16 mm'ye çıkarılması, toplam elektrik tüketimini %0,064 arttırmıştır. Bu artış soğutma yükünden kaynaklanmaktadır. Fan-coil üniteleri ve sirkülasyon pompaları tarafından referans şartlarda tüketilen yıllık elektrik enerjisi miktarı sırasıyla 163,86 GJ ve 210,29 GJ olurken, camlar arası hava boşluğu mesafesinin 16 mm değerine çıkarılması ile tüketilen elektrik miktarları fan-coil üniteleri için %0,037 azalırken, sirkülasyon pompaları için %0,052 artmıştır.

Pencerelerde camlar arası mesafenin 16 mm'ye çıkarılması şubat ayında referans durumunda 447,5 GJ olan doğalgaz tüketimi %2,73 oranında azaltırken, ağustos ayında 235,6 GJ olan soğutma grubu elektrik tüketimi %0,14 oranında arttırmıştır. Şekil 4'de 16 mm hava boşluklu pencere yapıları için elde edilen ısıtma ve soğutma enerji tüketim değerlerinin toplamı aylık olarak verilmektedir.



Şekil 4. Cam boşluğunun bina HVAC enerji sarfiyatı üzerine etkisi.

4.4 Yalıtımın Enerji Tüketimine Etkisi

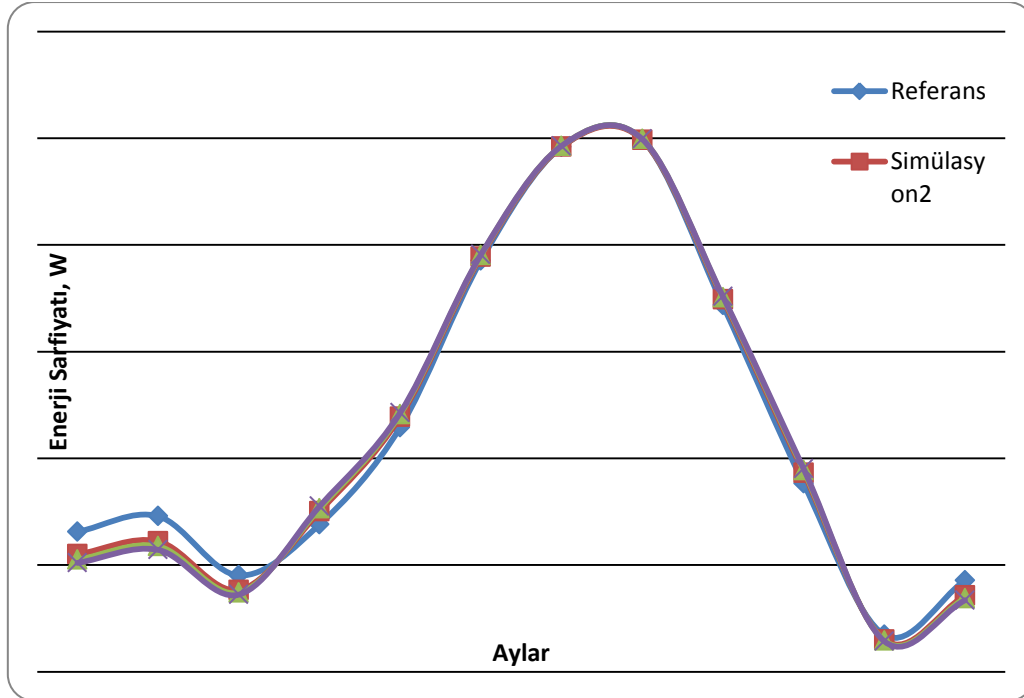
Bu bölümde ilave olarak yerleştirilen yalıtım malzemesinin ve bu malzemenin kalınlığının enerji tüketimini nasıl etkilediği irdelenmiştir. İlave yalıtım malzemesi sadece bina dışında güneş alan opak yüzeylere yerleştirilmiştir. İlave yalıtım kalınlıkları 4 cm, 6 cm ve 8 cm olarak alınmış, ilave yalıtım kalınlıkları için simülasyonlar yapılmıştır. Binada zaten mevcut olan yalıtım malzemeleri üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Tablo 9'da artan yalıtım kalınlığı sonucu bina kabuğunun çatıda dahil toplam ısı geçiş katsayısındaki değişim verilmiştir. K_{dd} bina kabuğunun toplam ısı geçiş katsayısını ifade etmektedir.

Tablo 9. İlave yalıtım için bina kabuğunun toplam ısı geçiş katsayıları.

	Ref.	Simülasyon2 (4cm)	Simülasyon3 (6cm)	Simülasyon4 (8cm)
K_{dd} (W/m ² K)	0,752	0,4	0,331	0,283

Bina dış yüzeylerine sırasıyla 4 cm, 6cm ve 8 cm ek yalıtım eklenmesi sonucunda referans durumdaki kazan tarafından yıllık tüketilen 1716,32 GJ doğalgaz sırasıyla %15,19, %18,3 ve %20,34 oranlarında azaltmıştır. Referans durumda şubat ayı için kazan tarafından tüketilen doğalgaz miktarı artan ek yalıtım kalınlıkları sonucu sırasıyla %16,1, %19,27 ve %21,52 azalmıştır. Ek yalıtımların eklenmesi referans halde 1.209,23 GJ olan soğutma grubu elektrik tüketimini, artan yalıtım kalınlıkları için sırasıyla %0,68, %0,93 ve %1,02 oranında arttırmıştır. Referans durumda ağustos ayı için 235,6 GJ soğutma grubu elektrik tüketimi artan yalıtım kalınlığı neredeyse sabit kalmış bir iyileşme gerçekleşmemiştir.

Fan-coil üniteleri tarafından referans şartlarda tüketilen yıllık elektrik enerjisi miktarı artan yalıtım kalınlığı ile sırasıyla %0,84, %1 ve %1,2 oranlarında azalmıştır. Sirkülasyon pompalarında ise artan yalıtım kalınlığı ile birlikte elektrik tüketimi sırasıyla %0,47, %0,57 ve %0,71 oranlarında azalmıştır. Fan-coil ve pompaların tükettiği elektrik miktarı, ısıtma dönemindeki enerji ihtiyacının azalmasına bağlı olarak iyileşme göstermiştir. Artan yalıtım kalınlıkları ile toplam bina elektrik tüketimi sırasıyla %0,108, %0,15 ve %0,162 artmıştır. Bu artışın ana nedeni soğutma yükünün artmasıdır. Şekil 5'de ek yalıtım kalınlıklarına bağlı olarak binaya ait ısıtma ve soğutma enerji değerlerindeki toplam değişim aylık bazda verilmiştir.



Şekil 5. Ek yalıtımın bina HVAC enerji sarfiyatı üzerine etkisi.

4.5 Mahal Tasarım Sıcaklıklarının Enerji Tüketimine Etkisi

Bu bölümde mahal tasarım sıcaklıklarındaki değişikliklerin enerji sarfiyatına etkisi irdelenmiştir. Mahal tasarım sıcaklığının 1 °C azaltılması eylül ayındaki ısıtma ihtiyacını neredeyse sıfırlamıştır. Isıtma ihtiyacının en fazla olduğu şubat ayında 0,5 °C ve 1 °C'lik sıcaklık azaltılması kazan yükünü referans hale göre sırasıyla %7,96 ve %15,66 oranında azaltmıştır. Sıcaklık değerindeki 0,5 °C'lik artış ise kazan yükünü şubat ayı için referans değere göre %8,2 arttırmıştır. Tüm yıl için mahal tasarım sıcaklıklarındaki 0,5 °C ve 1 °C'lik azalma, referans mahal sıcaklığı şartlarında 1716,32 GJ olan doğalgaz tüketimini sırasıyla %10,37 ve %19,96 oranlarında azaltırken, mahal ısıtma tasarım sıcaklık değerindeki 0,5 °C'lik artış doğalgaz tüketimini referans değere göre %11,28 oranında arttırmıştır. [16]

Ağustos ayında yapılan mahallerin soğutma tasarım sıcaklığındaki 0,5 °C'lik azalma, soğutma yükünü %3,99 arttırırken, referans şartlarda 235,6 GJ olan soğutma grubu (chiller) elektrik tüketimini %3,6

oranında artmıştır. Yine ağustos ayında soğutma tasarım sıcaklığının 0,5 °C ve 1 °C'lik artışı, soğutma yükünü sırasıyla %3,88 ve %7,71 azaltırken, soğutma grubu (chiller) elektrik tüketimini sırasıyla %3,6 ve %7,11 oranında azaltmıştır. Mahallerin soğutma tasarım sıcaklığının aşağı çekilmesi, çalışılan ortamlarda konfor şartlarının sağlanması için enerji tüketimini arttırmıştır. Tüm yıl boyunca referans mahal sıcaklıkları için, soğutma grubunun elektrik tüketimi 1209,23 GJ olmaktadır. Mahallerde soğutma dönemlerinde tasarım sıcaklığındaki 0,5 °C'lik azalma soğutma grubunun yıllık elektrik tüketimini referans değere göre %3,6 arttırırken, mahallerin soğutma tasarım sıcaklığının 0,5 °C ve 1 °C'lik artışı soğutma grubunun yıllık elektrik tüketimini referans değere göre sırasıyla %3,71 ve %7,21 azaltmıştır. [16]

5.SONUÇ

Çift camlı pencerelerde artan hava boşluğu mesafesi ısıtma yükünü azaltmıştır. Fakat soğutma döneminde soğutma grubu tarafından tüketilen elektrik miktarını arttırmıştır. Soğutma yüklerini azaltmak amacıyla, güneş ısı kazancını azaltmaya yönelik, özellikle yaz aylarında farklı önlemler almak mümkündür. Jaluzi gibi gölgeleme sistemlerinin gün ışığının aydınlatmada fazlasıyla yeterli olduğu saatlerde kullanılması ile soğutma yükünde ve iç ortam konforunda iyileşmeler sağlanabilir.

Isıtma döneminde ilave yalıtım ve ilave yalıtım kalınlığının artışı ısıtma yükünü olumlu olarak etkilemektedir. Önemli bir nokta, ilave yalıtımın kalınlığının artışı, ısıtma yükündeki iyileşmeyi azalan bir şekilde olumlu olarak etkilemektedir. Bu iyileşme ısı geçişindeki azalmaya ve ofis binasının ısı depolama potansiyelinin artmasıyla ilişkilidir. Dış duvar kalınlığındaki artış sadece binanın ısı depolaması kapasitesini değil, çatı katına çıkıldıkça sıcaklık değerlerini de etkilemektedir.

Soğutma dönemindeki yük artışını doğal havalandırma yolu ile azaltmak mümkün olabilir. Bu durumda camlar arasındaki hava boşluğu mesafesinin artışı ve ilave yalıtım seçenekleri daha cazip bir hale gelecektir. Enerji tüketimini etkileyen diğer bir önemli etken mahallerin tasarım sıcaklıkları olup, mahal sıcaklık değerlerindeki 0,5 °C gibi düşük sıcaklık farklılıkları, çalışmaya konu olan bina gibi büyük binalarda enerji tüketimini önemli ölçüde etkilemektedir.

KAYNAKLAR

- [1] ESKİN, N., “Konut Dışı Binaların Yıllık Enerji İhtiyacının İncelenmesi”, IX. ULUSAL TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ, MMO, 2009.
- [2] World Energy Council, “World Energy Perspective, Energy Efficiency Policies – What Works and what does not”, www.worldenergy.org, 2013.
- [3] CLARKE, J. A., “Energy Simulation in Building Design”, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2001.
- [4] EnergyPlus Energy Simulation Software, The US Department of Energy, <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>, 2012.
- [5] EnergyPlus Weather Data, The US Department of Energy, http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm, 2012.
- [6] ÖZBEK G., Kişisel görüşme, 2011.
- [7] ÖZDEMİR G., “Konut Dışı Binalarda Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji kaynaklarının Kullanımı”, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Mart 2013.
- [8] TS-825, “Binalarda ısı yalıtım kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2008.
- [9] GENÇELİ O. F., “Çözümlü ısı iletimi problemleri”, İTÜ Makine Fakültesi, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
- [10] ASHRAE, “ASHRAE Handbook of Fundamentals”, Atlanta, GA, 2005.
- [11] ASHRAE Standard 62.1, “Ventilation for acceptable indoor air quality”, American Society of Heating, Ventilation and Air Conditioning Engineers, Atlanta, GA, 2004.
- [12] Url-1 ”http://apps1.eere.energy.gov/buildings/EnergyPlus/cfm/weather_data3.cfm/region=6_



- europa_wmo_region_6 /country=TUR/cname=Turkey”, alındığı tarih: 11.11.2011.
- [13]ASHRAE, “ASHRAE Handbook – HVAC Applications”, Atlanta, GA, 2007.
- [14]EnergyPlus, “Energy Plus Energy Simulation Software Getting Started with Energy Plus”, U.S. Department of Energy, Washington, USA, October 12, 2010.
- [15] <http://www.trakyacam.com.tr/>, alındığı tarih: 11.12.2014.
- [16]ÖZDEMİR G., ESKİN N., “Konut Dışı Binalarda Mahal Sıcaklıklarının Enerji Tüketimine Etkileri”, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği (TTMD) Dergisi (Yayınlanacak).

ÖZGEÇMİŞ

Günay ÖZDEMİR

1987 yılında İstanbul'da doğdu. 2003 yılında Pendik Lisesi'nden, 2007 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2013 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Isı Akışkan Yüksek Lisans Programını bitirdi. 2007'den beri Makine Mühendisleri Odası Üyesidir. 2007-2013 arası özel sektörün çeşitli alanlarında çalıştı. 2014 yılı itibarıyla Trakya Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve bu görevine hala devam etmektedir.

Nurdil ESKİN

Boğaziçi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden önce lisans, daha sonra Y. Lisans diplomalarını alarak 1981 yılında Yüksek Makine Mühendisi olarak mezun olmuştur. 1982-1990 yılları arasında önce Parsons-Brinkerhoff TSB şirketinde İstanbul Metro ve Tüp Geçit Projesi'nde makine mühendisi olarak çalışmış, daha sonra farklı firmalarda özellikle metro ve raylı taşıma sistemlerinde havalandırma, iklimlendirme, drenaj ve yangın güvenliği konularında mühendis ve proje müdürü olarak görev almıştır.

1990 yılında İ.T.Ü. Makine Mühendisliği programında “Akışkan Yataklı Kömür Yakıcısı Modeli ve İkinci Kanun Analizi” başlıklı tezi ile Doktora, 1997 yılında Doçent, 2004 yılında Profesör unvanını almıştır. İ.T.Ü. Makine Fakültesinde bölüm başkan yardımcılığı, Yüksek lisans ve Doktora programları Koordinatörlükleri gibi çeşitli idari kademelerde görev almış, 2008-2011 yılları arasında Akademik işlerden sorumlu Dekan Yardımcılığı görevini yürütmüştür. TÜYAK Vakfı kurucu üyesi ve yönetim kurulu üyesi de olan Prof. Dr. Eskin'in İki-Fazlı Akışlar, HVAC, Yangın Güvenliği, Isı Tekniği Uygulamaları, Akışkan Yataklı Kazanlar, Binalarda Enerji Verimliliği, Yoğuşma Modelleri ve Analizleri konularında yazılmış ve yayınlanmış kitap, kitap bölümleri, bilimsel rapor, ulusal ve uluslararası makale ve bildiriler olmak üzere toplam 110 adet yayını, “A Cooling Device and a PhaseSeparatorUtilizedTherein” isimli buluş ile Yaratıcı (Inventor) ve Kullanıcı (Applicant) olarak dünya patenti vardır. Prof. Dr. Nurdil ESKİN halen İ.T.Ü. Makine Fakültesinde Profesör olarak görev yapmaktadır.