

Farklı Yönere Göre Değişen Opaklık Saydamlık Oranının Isıtma ve Soğutma Enerjisine Etkisi

*Hakan ÜNALAN¹, Emrah GÖKALTUN²

¹Anadolu Üniversitesi, Engelliler Entegre Yüksekokulu

²Anadolu Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Mimarlık Bölümü,

*hunalan@anadolu.edu.tr

(Geliş/Received:12.01.2015; Kabul/Accepted:25.03.2015)

Özet

Sürdürülebilirlik ve enerji etkinliği bağlamında yapılan bu çalışmada, Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel odalarına ait bloğun enerji simülasyon programında modeli hazırlanmıştır. Bu modele iç ortam ve iklim verileri girilerek IMPVP protokolü çerçevesinde ısıtma enerjisi tüketim doğrulaması yapılarak gerçekçi model elde edilmiştir. Gerçekçi modelde farklı opaklık-saydamlık oran alternatifleri kullanılarak söz konusu alternatiflere ait enerji tüketimleri hesaplanmıştır. Bu bağlamda enerji etkin tasarımıda kullanılmak üzere; opaklık-saydamlık oranlarının özellikle ısıtma enerjisi performansı üzerine olan etkisi ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji Etkinliği, Yapı Kabuğu, Yapı Yönlenmesi, Opaklık-Saydamlık Oranı, Enerji Simülasyonu, Enerji doğrulaması.

Effect of Changing Window Wall Ratio by Different Aspects Heating and Cooling Energy

Abstract

In this study, context of Sustainability and energy efficiency, the Anadolu University, Department of Industrial Engineering Academic and Administrative Staff rooms are modeled in energy simulation program. And was acquired calibrated simulation of heating energy consumption of this building block by entering internal environment and climate data, pursuing IMPVP regulations. And then using different window wall ratio alternatives was recalculated heating and cooling energy consumption, in this calibrated model. For use in energy efficient design in this regard; window wall ratio alternatives and its impact on the heating and cooling energy performance has been demonstrated

Keywords: Energy Efficiency, Building Envelope, Building Orientation, Window Wall Ratio, Energy Simulation, Energy Verification / Calibration.

1. Giriş

Giderek artan enerji kullanımı doğal dengeyi artan bir hızla bozmaya devam etmektedir. Bu yüzden sürdürülebilirliği ve enerji ekonomisini dikkate alan 'enerji etkinliği' ön plana çıkmaktadır. Sektörel bazda bakıldığında da binalarda tüketilen enerji; konut için % 21,5, ticari binalar için %18,6 olarak tanımlanmaktadır [1]. Bu bağlamda da İnşaat sektöründeki tasarımcı ve uygulayıcılar için aktif ve pasif tasarım kriterleri dikkat çekmektedir. Aktif tasarım kriterleri binaya entegre edilen sistemler olduğundan enerji maliyetini dolaylı olarak düşürmektedir. Pasif tasarım kriterleri ise

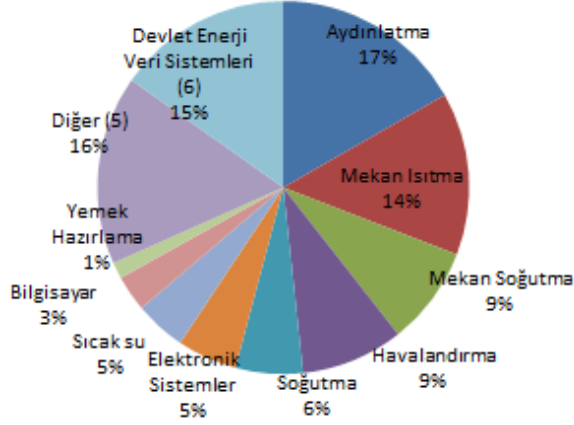
işletme maliyetlerini doğrudan etkilediği için bina inşa edilmeden önce göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Pasif tasarım kriterleri;

- Yer seçimi,
- Yönlenme,
- Yapı formu,
- Yapı kabuğunun fiziksel özellikleri,
- Güneş kontrol sistemleri,
- Doğal havalandırma tasarımı,
- Pencere camlarının fiziksel özellikleri

başta olmak üzere sıralanabilir [3, 4]. Ofislerdeki enerji tüketimine de bakıldığında ısıtma-soğutma ve aydınlatma yükü toplam yükün %50,7'sini oluşturmaktadır (Şekil 1) [2].

Bu parametrelerden yapı kabuğu ve yönlenme, söz konusu enerji tüketimlerini doğrudan etkileyen ve tasarımda düşünülmesi gereken en önemli iki öğedir [8]. Çünkü bu parametreler binanın dış çevreyle ısı transferi yapan yüzey alanını belirler [9].



Şekil 1. Ofis binalarında enerji tüketim alanları ve oranları [2]

Binalarda enerji etkinliğine yönelik uygulamaların başında; Boyer ve diğerlerinin yaptığı bir çalışmada Çoklu model yaklaşımı ile binalarda enerji simülasyonlarının farklı hedeflere uyarlanabileceğinden ve tasarım ile araştırma yönü ile ilgili olarak mantıksal adımların izlenmesi gerekliliğinden bahsetmişlerdir [6]. Bu sayede binalar inşa edilmeden önce enerji simülasyon programları ile hesaplanan değerler dikkate alınarak enerji tüketimine yönelik tasarruf yapılabilmektedir. Bu bağlamda Ghisi ve Tinker'in yaptığı bir çalışmada odaların hacminin yapı kabuğundaki alanlarına oranı ne kadar az olursa ısıtma-soğutma enerji tüketimini azalırken aydınlatma tüketiminin arttığına değinilmiştir [5]. Ayrıca McKeen ve Fung'un yaptığı bir çalışmada binaların en-boy oranına ve yönlenmesine göre yıllık enerji tüketimlerinde 1:1 den 1:4 e çeşitlendiği enerji modellerinde;

- Güney-kuzey doğrultusunda genişleyen bir binanın enerji modelinde yıllık ısıtma tüketim enerjisinin doğu-batı doğrultusundaki modele göre %29 - %42 oranında azaldığı,
- Güney-kuzey doğrultusunda genişleyen bir binanın enerji modelinde yıllık soğutma

tüketim enerjisinin doğu-batı doğrultusundaki modele göre %25 oranında azaldığı

ortaya konulmuştur [7].

Bu çalışmada Eskişehir'de bulunan Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel Bloğunun enerji tüketim doğrulaması yapılarak alternatif yönlerde alternatif opak saydam oranlarına göre ısıtma enerjisi tüketim değerleri hesaplanıp analiz edilmiştir.

2. Metodoloji

Binalarda enerji simülasyonlarındaki hesaplamaların belirsizlik durumundan dolayı daha gerçekçi sonuç değerler elde etmek gerekir. Bunu sağlamak için enerji departmanının (DOE) öngördüğü protokoller doğrultusunda (M&V ve IMPVP gibi) enerji tüketim doğrulaması yapılmalıdır [11].

Ofis binalarının enerji etkin mimari tasarımı için mimar ve mühendisler bilinçlendirme ve farkındalık oluşturarak, ofis binalarının yapı kabuğundaki saydamlık oranının ısıtma enerjisi performansı açısından irdelenmesi amacıyla:

- Bina enerji performansının Uluslararası Performans Ölçüm ve Doğrulama Protokolü ve standartları (IMPVP 3.4.4. D maddesi) çerçevesinde incelenmesi,
- Örnek binanın enerji tüketimlerinin detaylı olarak ölçülmesi (bir yıl; 8760 saat),
- Bu standartlar kapsamında belirlenen sınır değerler içinde kalacak şekilde enerji simülasyon programında hesaplanan ve tüketilen enerjinin eşitlenmesi ve gerçekçi modelin elde edilmesi,
- Gerçekçi modelde farklı saydamlık oranlarına göre binanın ana ve ara yönlere çevrilmesiyle enerji tüketimlerinin tekrar hesaplanarak karşılaştırılması ve değerlendirilmesi,

esasları ayrıntılı bir şekilde tanımlanmalıdır.

Bina enerji tüketimleri ASHRAE 2002, CIBSE (A Bölümü) ve M&V kapsamında ölçülmüş ve simülasyon modeli ASHRAE 2005, IMPVP ve M&V protokolleri doğrultusunda hazırlanmıştır. İç ortam sıcaklık değerlerinin ve enerji tüketim değerlerinin IMPVP çerçevesinde belirlenen sınır değerlerde olması sağlanmıştır. Sınır şartları 8760 saatlik ölçüm verisine göre;

- Kararlılık katsayısı (hassasiyet yüzdesi / R) ve
 - Karekök ortalama hata payı (RMSE)
- ile değerlendirilir. İç sıcaklıklar sınır şartlara getirildiğinde aynı işlem hesaplanan-ölçülen enerji tüketimi için gerçekleştirilmelidir. Tüm bunları sağlayan enerji simülasyon modeline ise “Gerçekçi Model” adı verilir [10].

3. Örnek Binanın Konumu ve Mevcut Durumu

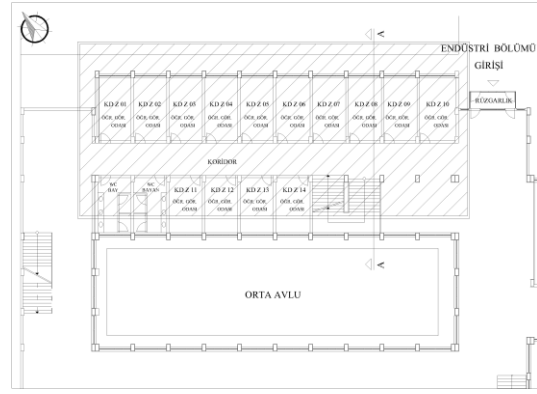
Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel Bloğu 39,81 enleminde ve 30,53 boylamında bulunmaktadır. Kuzey-güney doğrultusuna 38,69°'lik açıyla konumlanmış olan bina, 2000 yılında tamamlanmıştır (Şekil 2). İki katlı betonarme binada zeminde 10 oda, I. katta 9 oda bulunmakta ve birinci kat, zemin kata göre 90 cm'lik bir çıkma yapmaktadır (bölüm başkanı odası 2 oda büyüklüğündedir) (Şekil 3-4). Dış duvarlarda dolgu duvar olarak gaz beton kullanılmış ve zemin katta dışarıya bakan bölümü sırlı tuğla ile kaplanmıştır. Binanın ısı ihtiyacı, ısı merkezi tarafından sağlanmaktadır. Isıtma sistemi olarak doğal gaz ile çalışan kalorifer kullanılmaktadır. Yapı kabuğunda bulunan yapı elamanlarının ısı iletkenlik direnç değerleri Tablo 1’de yer almaktadır.

Tablo 1. Örnek Binanın yapı kabuğu katmanları, malzemeleri ve kalınlıkları

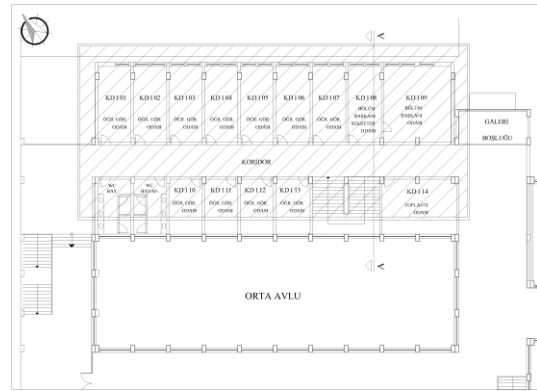
Yapı Kabuğu Elmanı	U (W/m ² K)
Zemin Kat Duvarı	0,875
I. Kat Duvarı	0,96
Betonarme Duvar	3,05
Zemin Oturan Döşeme	2,34
I. Kat döşemesi	3,29
I. Kattaki çıkma altındaki döşeme	3,23
Çatı Döşemesi	3,54
Pencere ve Doğrama	2,80



Şekil 2. Endüstri Mühendisliği Bölümü



Şekil 3. Endüstri Mühendisliği Bölümü Zemin kat planı



Şekil 4. Endüstri Mühendisliği Bölümü I. Kat planı

3.1. Örnek Binanın Modele Girilecek Ölçümlerinin Yapılması

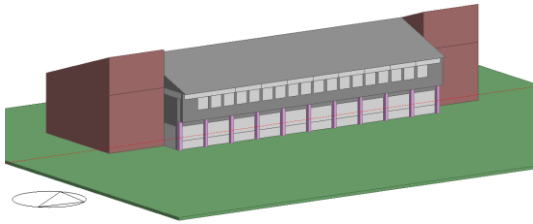
Enerji simülasyon programlarında enerji tüketim hesaplamaları yapılırken gerçeğe daha yakın sonuçlar alabilmek için “Dinamik Hesaplama Modeli” kullanılır. Dinamik

hesaplama modelinde eş zamanlı toplanan veriler kullanılarak özellikle yapı kabuğunun gösterdiği performans ortaya konulur. Örnek binanın enerji tüketimini doğrudan etkileyen iç ve dış ortam verileri ile ısıtma sisteminde tüketilen enerji miktarı ölçülür.

Dış ortama ait dış sıcaklık, bağıl nem, rüzgar yönü ve hızı ile basınç ölçümlerini içeren veriler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne bağlı (Metar tipi istasyon) TUMAS sisteminden alınmış ve iklim verisi dosyası oluşturulmuştur. İç ortamda ise; İç sıcaklık, bağıl nem ve net ısıtma enerjisi, datalogger ve kalorimetre aracılığı ile ölçülmüştür. Datalogger'lar zemin ve I. katta iki uç odaya ve bir ara odaya, güneş ışınımına maruz kalmayacak ve iç duvar yüzeyinde 150 cm yükseklikte bulunacak şekilde yerleştirilmiştir (ölçüm aralığı, 15 dakikadır). Kalorimetre ise bloğun girişindeki ısıtma borusuna bağlanmıştır. Kalorimetre, gidiş-dönüş ısısını ölçen iki adet prob, debimetre ve veri kayıt cihazından oluşmaktadır (ölçüm aralığı, 1 dakikadır).

3.2. Enerji Simülasyonu Programında Çalışma Binalarının Modelinin Oluşturulması

Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari personel odalarının yer aldığı bloğun simülasyon modeli, yukarıda belirtilen standartlar doğrultusunda ve binanın mimari karakteristiği dikkate alınarak, Design Builder programında modellenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Endüstri Mühendisliği Bölümünün Simülasyon Modeli

3.3. Ölçüm Yapılan Binaların Enerji Performans Simülasyon Doğruluğu

Bu karşılaştırmada belirtme katsayısı (Coefficient of Determination/R), belirsizlik katsayısı (Coefficient of Variation / RMSE) ve

ortalama hata (MBE) kullanılır. Belirtme katsayısı (R) [%];

$$R^2 = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_{\text{pred},i} - y_{\text{data},i})^2}{\sum_{i=1}^n (y_{\text{data}} - y_{\text{data},i})^2} \right) \times 100 \quad (1)$$

Belirsizlik katsayısı ise (CV / RMSE) [%];

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{\text{pred},i} - y_{\text{data},i})^2}{n - p}}}{\bar{y}_{\text{data}}} \times 100 \quad (2)$$

Ortalama hata ise (MBE) [%];

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{\text{pred},i} - y_{\text{data},i})}{\bar{y}_{\text{data}}} \times 100 \quad (3)$$

Burada;

$y_{\text{pred},i} \dots$; Hesaplanan verinin ölçülen veriye karşılık geldiği değer,

$y_{\text{data},i} \dots$; Ölçülen verinin hesaplanan veriye karşılık geldiği değer,

$y_{\text{data}} \dots$; Ölçülen verilerin ortalama değeri,

$n \dots$; Değerlendirmeye alınan veri sayısı,

$p \dots$; Model içinde kullanılan regresyon sayısıdır.

Simülasyon veri sonuçlarının gerçekçi model elde edilmesinde kabul edilebilir sınır değerleri Tablo 2 de yer almaktadır.

Tablo 2. Uluslararası Ölçüm, Doğrulama ve Enerji İhtiyacı Standartları ve Protokollerinin doğrulama sınır değerleri

	ASHRAE (2002)		IPMVP (2001)		M&V (2008)	
	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE
Saatlik	±10%	30%	-	10-20%	±10%	30%
Aylık	±5%	15%	±20%	-	±5%	15%

Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik Personel Odalarına ait iç mekan sıcaklıklarına ait verilerin; ölçülen ve hesaplanan değerlerinin belirtme katsayısı, belirsizlik katsayısı ve

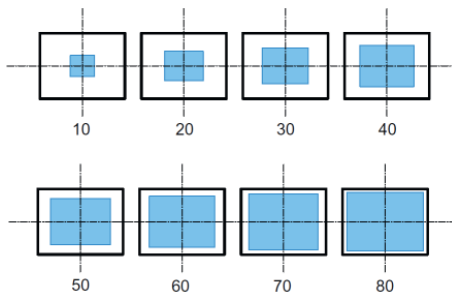
ortalama hata değerleri Tablo 3'de yer almaktadır.

Tablo 3. Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik Personel Odalarının ölçülen ve hesaplanan iç ortam sıcaklık sınırları (8760 saatlik)

	Belirtme Katsayısı (R)	Belirsizlik Katsayısı (RMSE (CV))	Ortalama Hata (MBE)
KD Z 01	0,89	16,78	0,62
KD Z 04	0,91	16,60	0,53
KD Z 10	0,94	15,43	0,21
KD I 01	0,96	16,19	1,09
KD I 05	0,95	15,20	0,37
KD I 09	0,94	15,48	0,33
ORTALAMA	0,93	15,95	0,53

3.4. Yönlere Dayalı Optimum Enerji Tüketimini Sağlayan Saydamlık Oranlarının Belirlenmesi

Elde edilen gerçekçi modelde taşıyıcı sisteme müdahale edilmeden ve sadece pencerelerin olduğu yüzey alanı hesaba katılarak, saydamlık oranları; sırasıyla %10, %20, %30, %40, %50 ve %60'a kadar arttırılmıştır (Şekil 6). Betonarme binalarda yapı kabuğu ve taşıyıcı sistemin tasarımına müdahale edilmeden %60 opak saydam oranı elde edilemediği için %70-80 oranlarının enerji tüketimleri hesaplanmamıştır.



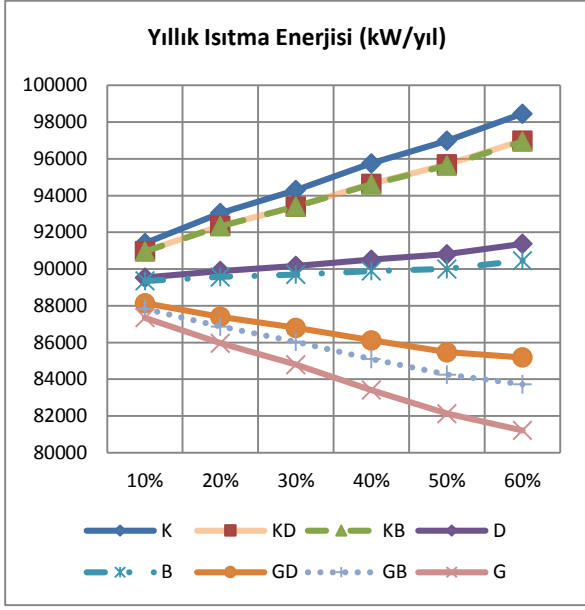
Şekil 6. Gerçekçi modelde kullanılacak saydamlık oranları

Söz konusu alternatif modellerin yapılan enerji hesaplamalarında; Yönlenmeye bağlı olarak saydamlık oranı %10'dan %60'a arttıkça ısıtma enerjisi açısından;

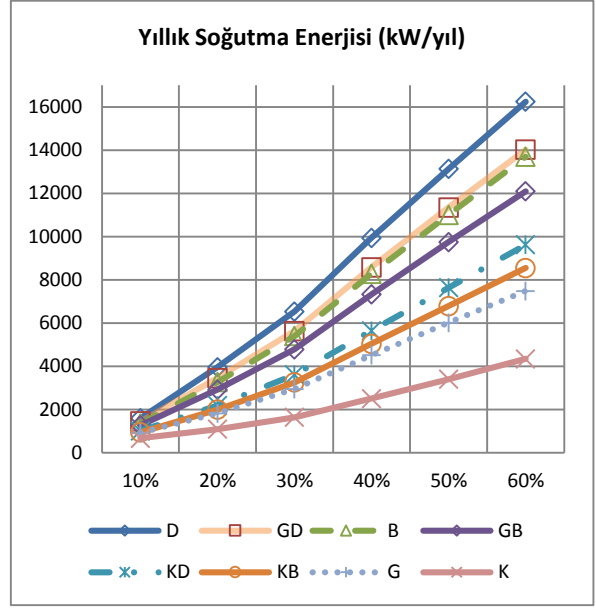
- Kuzey, kuzeydoğu ile kuzeybatı, doğu ve batı yönlerinde sırasıyla; %7.7, %6.6, %2.1 ve %1.2 oranında enerji tüketiminin arttığı,
- Güney, güneybatı ve güneydoğu yönlerinde sırasıyla; %7, %4.7 ve % 3.3 oranında enerji tüketiminin azaldığı,
- Kuzeydoğu ve kuzeybatı yönlerinin enerji tüketim değerlerinin birbirine çok yakın olduğu (Şekil 7),
- Isıtma enerjisi tüketim açısından; kuzey, kuzeydoğu ve kuzeybatı, doğu ve batı, güney, güneybatı ve güneydoğu olarak sıralandığı (Şekil 8)

görülmektedir. Böylelikle güneşten ışınları sayesinde iç mekan sıcaklıklarını sağlamak amacıyla ısıtma enerjisinde; hesaplanan enerji tüketiminin etkilenme oranları ortaya konulmuştur.

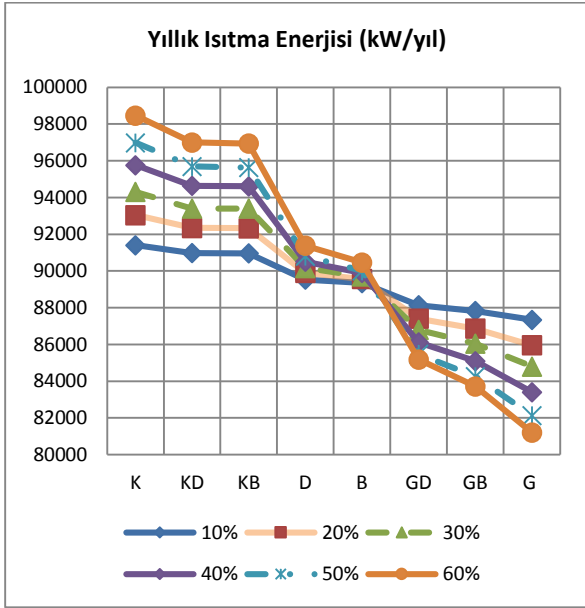
- Yönlenmeye bağlı olarak saydamlık oranı %10'dan %60'a doğru arttıkça soğutma enerjisi açısından;
 - Batı ve doğu, güneydoğu, güneybatı ve kuzeydoğu, kuzeybatı, güney ve kuzey yönlerinde enerji tüketiminin sırasıyla; % 10.2, %9.7, %9.6, %9.1, %8.1 ve %6.5 oranında arttığı (Şekil 9),
 - Batı ve güneydoğu yönlerinin ısıtma enerji tüketim değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu,
 - Yıllık soğutma enerjisi tüketim değerleri açısından; doğu, güneydoğu, batı, güneybatı, kuzeydoğu, kuzeybatı, güney ve kuzey olarak sıralandığı (Şekil 10)
- Yönlenmeye bağlı olarak saydamlık oranı %10'dan %60'a arttıkça toplam ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi açısından;
 - Doğu, kuzeydoğu, kuzeybatı, batı ve kuzey, güneydoğu, güneybatı ve güney yönleri sırasıyla; 18.1, 15.9, 14.8, 11.7, 10.7, 7.6, 0,5 oranında arttığı,
 - Opaklık saydamlık oranı azaldıkça batı yönünün enerji tüketiminin düştüğü (Şekil 11),
 - Enerji tüketim açısından; kuzeybatı, kuzeydoğu, kuzey, batı, doğu, güneydoğu, güneybatı ve güney olarak azalarak sıralandığı (Şekil 12)



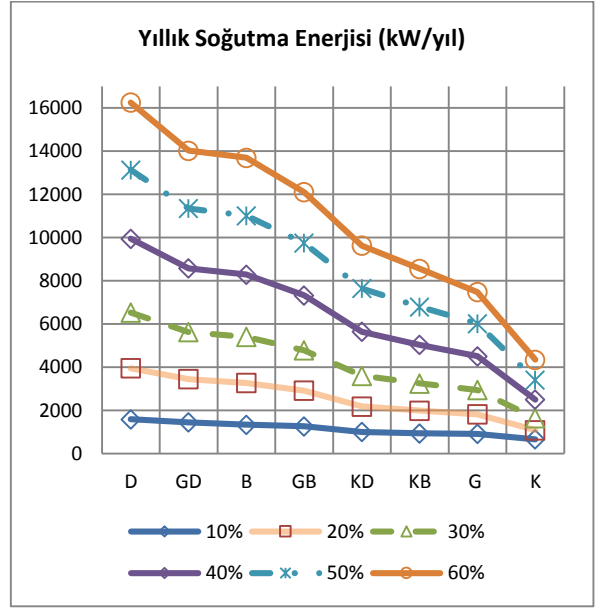
Şekil 7. Endüstri Mühendisliği Bölümü Saydamlık Oranına Göre Yıllık Isıtma Enerjisi



Şekil 9. Alternatif opaklık Saydamlık oranına göre yıllık soğutma enerji tüketimi

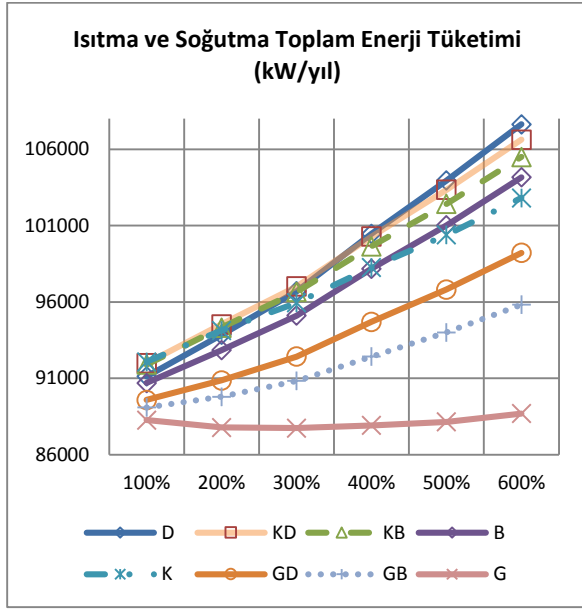


Şekil 8. Endüstri Mühendisliği Bölümü Yönlenmeye Göre Yıllık Isıtma Enerjisi

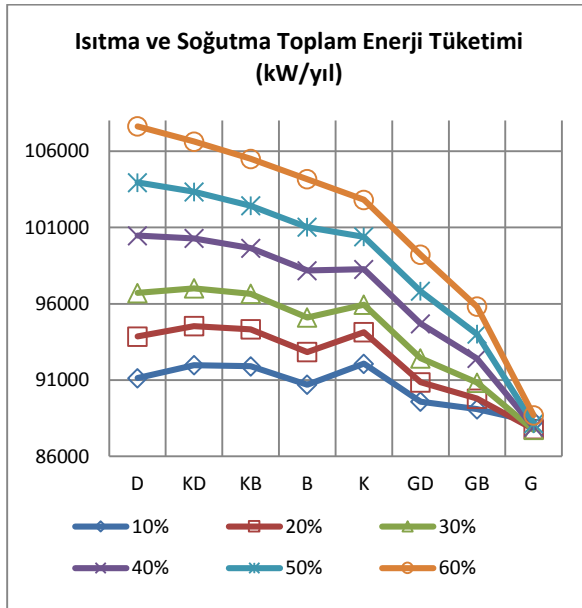


Şekil 10. Alternatif yönlere göre yıllık soğutma enerji tüketimi

görülmektedir. Böylelikle güneşten ışınları sayesinde iç mekan sıcaklıklarını sağlamak amacıyla toplam ısıtma ve soğutma enerjisinde; hesaplanan enerji tüketiminin etkilenme oranları ortaya konulmuştur.



Şekil 11. Alternatif opaklık saydamlık oranına göre yıllık toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimi



Şekil 12. Alternatif yönlere göre yıllık toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimi

4. Sonuç

Bu çalışmada örnek bina olarak seçilen Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari personel bloğu üzerinde, ASHRAE, CIBSE, M&V ve IMPVP uluslararası standartlarının belirlediği şartlarda iç ve dış

ortam verileri ölçülerek ve ısıtma enerjisi doğrulaması yapılarak “gerçekçi model” elde edilmiştir. Bu gerçekçi model üzerinde %10 - %60 aralığında opak saydam oranları düzenlenerek gerçekçi model; ana ve ara yönlere döndürülerek yeniden ısıtma ve soğutma enerji tüketimleri hesaplanmıştır.

Yapılan ölçüm ve hesaplama analizlerine göre;

- Eskişehir iklim bölgesinde ısıtma dönemi (7 ay), soğutma dönemine (2 ay) göre daha uzundur. Soğutma döneminde, gece dış sıcaklık değeri düştüğü için soğutma yükü azalmaktadır.
- Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yıllık ısıtma enerjisi yıllık toplam ısıtma soğutma enerjisinin % 85,9 ile % 99,3’ünü oluşturduğu için, enerji tüketiminde “ana etken” olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı enerji etkinliği ve enerji tüketiminde dikkat edilmesi gereken en önemli ögenin ısıtma enerjisi olduğu ve buna bağlı olarak da, ısıtma enerji tüketimini azaltmak için yapı kabuğunda ısıl direnci yüksek malzeme seçilmesi ve kullanılması ön plana çıkmaktadır.
- Yapı kabuğunun yönlendirilmesine bağlı olarak;
 - a. Opaklık saydamlık oranı arttıkça kuzey yönlerindeki ısıtma enerjisinin toplam ısıtma soğutma enerjisini arttırdığı,
 - b. Opaklık saydamlık oranı arttıkça güney yönlerindeki soğutma enerjisinin toplam ısıtma soğutma enerjisini arttırdığı,
 - c. Batı ve özellikle doğuya bakan yüzeylerin/cephelerin çok çabuk ısındığı ve soğuduğu,
 - d. Eskişehir’de örnek bina mimari karakteristik özelliklerine benzer yeni bina tasarımlarında: toplam ısıtma soğutma enerji tüketimi için optimum opaklık saydamlık oranının;
 - i. Güney yönünde % 30 oranında,
 - ii. Diğer tüm yönlerde ise %10 oranında

olması gerektiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak pasif tasarım parametreleri her binada farklı özellikler gösterdiğinden, opaklık-saydamlık oranı için net bir standart değer getirmek oldukça zordur. Her bina için enerji simülasyon programı ve enerji tüketiminde uzmanlaşmış meslek grupları tarafından ayrı ayrı modeller oluşturulması ve hesaplamalar

yapılması gerekmektedir. Fakat karasal iklimin hakim olduğu iklim bölgelerinde;

- Tüm yapı kabuğu genelinde ısıl direnci arttıracak malzeme kullanılması,
- Kuzey yönlerine bakan bina cephelerindeki ısı yalıtım malzemesi kalınlığının, diğer yönlere bakan bina cephelerine göre kalın olması ve soygaz içeren pencere ve camlı kapı doğramaları kullanılması,
- Güney yönlerinde ise, güneş ışınım geçirgenlik katsayısı düşük olan cam türü kullanılması,
- Doğu ve batıya bakan yönlerde ise, gölgeleme elemanlarının kullanılması enerji tüketimi ve enerji korunumu açısından olumlu sonuçlar verecektir.

5. Kaynaklar

1. <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/TableView.aspx?table=1.1.3> (Erişim Ekim 2014),
2. <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/TableView.aspx?table=3.1.4> (Erişim Ekim 2014),
3. Uslusoy Şenyurt S., Altın M., Enerji Etkin Tasarımın Çati Ve Cephelere Yansımasi, 7. National Roof&Facade Symposium, İstanbul, Nisan 2014,
4. <http://vancouver.ca/files/cov/passive-design-large-buildings.pdf> (Erişim Ekim 2014),
5. Ghisi E. and Tinker J., Optimising Energy Consumption in Office as a Function of Window Area And Room Size, 7.th International IBPSA Conference, Brezilya, Ağustos 2001
6. Boyer H., Garde F., Gatina J.C., A Multi-Model Approach to Building Thermal Simulation for Design and Research Purposes, Energy and Buildings (28), s 71-78, 1998,
7. Mc Keen P. And FUNG A.S., The Effect of Building Aspect Ratio on Energy Efficiency: A Case Study for Multi-Unit Residential Buildings in Canada, Buildings 2014 (4), s 336 – 354
8. Chiras, D. The Solar House: Passive Heating and Cooling; Chelsea Green Publishing: White River Junction, VT, USA, 2002; s. 19–24.
9. Danielski, I.; Fröling, M.; Joelsson, A. The Impact of the Shape Factor on Final Energy Demand in Residential Buildings in Nordic Climates. Mid Sweden University: Östersund, Sweden, 2012
10. Ke M. T., Yeh C.H., Jian J.T., Analysis of building energy consumption parameters and energy savings measurement and verification by applying eQUEST software, Energy and Buildings (61), s 100–107, 2013,

11. Güçyeter B., A Method on Energy-Efficient Retrofitting for Existing Building Envelopes, Doktora Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kasım 2010