



Erciyes University Journal of the Institute of Science and Technology
Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

ISSN 1012-2354

Cilt (Volume): 31 , Sayı (Issue): 2, Mayıs/May -2015

<http://fbe.erciyes.edu.tr/>



Binalarda Aydınlatma Enerji Performansının Belirlenmesinde Günışığına İlişkin Değişkenlerin İncelenmesi

Özlem SÜMENGEN¹, Alpin K.YENER²

¹ Erciyes üniversitesi, Mimarlık Fakültesi . Mimarlık Bölümü,

² İstanbul Teknik Üniverstesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

ÖZET

Anahtar Kelimeler:
 Aydınlatma Enerji Performansı, EN 15193, BEP-TR, Konutlarda aydınlatma, Günışığı, Coğrafi konum, Yön.

Binalarda tüketilen aydınlatma enerjisinin, dünyada ve Türkiye’de önemli bir yer tutması, konutlarda aydınlatma enerjisi performansı konusunda çalışmaların gerekliliğini ortaya koymuştur. AB tarafından 2002/91/EC yönetmeliğini takiben yürürlüğe giren EN 15193 Binalarda Enerji Performansı-Aydınlatma Enerjisi Gereksinimleri Standardında konutlar kapsam dışı bırakılmıştır. Bu çalışmada; EN 15193 ve ülkemizde yürürlüğe giren Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği BEP-TR standardı irdelenerek bazı adımlara ilişkin detaylar geliştirilmiştir. Günışığı etkisinin belirlenmesi adımıyla yön parametresinin hesaplara dahil edilebilmesi için bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşımda, Türkiye’de farklı coğrafi konumlarda bulunan İstanbul (41°K 28°D), Kayseri (38°K 35°D) ve Antalya (36°K 30°D) illeri için farklı yönlenme durumlarını ifade eden Ryön katsayıları belirlenmiştir. Yaklaşımın uygulanması, ele alınan TOKİ yerleşkesine ait bir plan şeması üzerinde gerçekleştirilmiş, örnek konutun 3 farklı ilde bulunduğu kabul edilerek farklı yönlenme durumlarının ve coğrafi konumun günışığı aydınlığına ve buna bağlı olarak yıllık aydınlatma enerjisi tüketimine etkisi ortaya konmuştur.

Investigation of daylight parametres which effects lighting energy performance of buildings

Key Words:
 Lighting Energy Performance, EN15193, BEP-TR, Residential Lighting, Daylight, Geographical Location, Window Orientation

ABSTRACT

Nowadays; lighting energy consumption of buildings become an essential factor in worldwide and our country. Therefore the necessity of scientific investigation on this field have revealed. In European Union EN 15193-Energy Requirements for Lighting standard executed according to Building Energy Performance Directive (2002/91/EC). In order to predict the lighting energy performance by using this method, new or existing buildings with various typologies, except residential ones can be evaluated basing on this method. Subsequently “Turkish National Building Energy Performance Calculation Methodology (BEP-TR)” is prepared in accordance of this directive with respect to Turkey’s conditions. In this study; some details enhanced about lighting energy performance determination of residential buildings and new approaches proposed on different window orientation effects related with daylight parametres basing EN 15193 and BEP-TR.

1. Giriş

Dünyada giderek artan enerji ihtiyacı ve kaynakların sınırlı oluşu, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini artırarak binalarda enerjinin verimli kullanılmasına ilişkin çalışmaları gerekli kılmıştır. AB ülkeleri bu çalışmalar kapsamında; 2002 yılında Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'ni (2002/91/EC) yayınlamıştır (1). Bu yönetmelikte; binaların enerji performansının belirlenebilmesinde ortak bir metodoloji oluşturulması hedeflenmiştir ve bir binanın enerji tüketiminde etkili olan ısıtma, soğutma, aydınlatma konularında çeşitli standartlar yayınlanmıştır.

Ülkemizde; elektrik enerjisinin % 45'i binalar tarafından tüketilmekte ve toplam tüketimin % 25'lik kısmı da konutlar tarafından gerçekleştirilmektedir. Tüketilen toplam elektrik enerjisinin % 20'sinin aydınlatma amaçlı kullanılması ile aydınlatma; binalar ölçeğinde; % 56 pay ile elektrik enerjisi tüketiminde ağırlıklı bir sektör haline gelmiştir (2).

Konut binalarında tüketilen aydınlatma enerjisinin, dünyada ve Türkiye'de önemli bir yer tutması, konutlarda aydınlatma enerjisi performansı konusunda çalışmaların gerekliliğini ortaya koymuştur. AB tarafından 2002/91/EC yönetmeliğini takiben EN 15193 Binalarda Enerji Performansı – Aydınlatma Enerjisi Gereksinimleri standardı yayınlanmıştır. Bu standartta, doğal aydınlatma sistemi, lambalar, aygıtlar, kontrol sistemleri, coğrafi konum gibi çeşitli değişkenlere bağlı olarak binanın yıllık aydınlatma enerjisi ve birim alana düşen yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimini ifade eden Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi AESG (Lighting Energy Numeric Indicator -LENI) değeri hesaplanmaktadır. Bu standartta tanıtilen hesap yönteminin ofis, okul, hastane, otel, fabrika gibi kamusal işlevler için uygulanabileceği ifade edilmiş ve konut binaları kapsam dışı bırakılmıştır (3). 2002/91/EC yönetmeliğini takiben ülkemizde de bu konuda çalışmalar yapılmış ve EN 15193 standardı temel alınarak düzenlenen Binalarda Enerji Performansı yönetmeliği BEP-TR; 5/12/2008 tarihli ve 27075 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir (4). BEP-TR standardında tanıtilen yöntem, ofis, eğitim yapıları, hastane, otel, sanayi yapıları için uygulanabilmekte olup, konut binaları için de konut kullanıcı sayısı, kullanım süresi gibi demografik özellikler dahil edilmeden genel bir hesaplama yöntemi önerilmektedir (4). Yapılan çalışmada farklı yönlenme durumları ve coğrafi konumun hacimlerdeki güneş ışığı alımına etkisinin dahil edildiği bir yaklaşım önerilmektedir. Yaklaşım; kullanıcı değişkenlerine bağlı konut-mekan-kullanıcı modeli, güneş ışığı etkisi ve yapma aydınlatma yükünün belirlenmesi olarak tanımlanan 3 ana adımdan oluşmaktadır. Geliştirilen yaklaşım, konut binalarında aydınlatma enerji performansının gerçekçi bir biçimde belirlenebilmesine ilişkin detayları içermektedir. Yaklaşımın mevcut konut binalarına uygulanmasıyla aydınlatma enerjisi tüketiminin gerçekçi bir biçimde öngörülmesi ve buna bağlı olarak aydınlatma enerjisi tasarruf potansiyelinin belirlenebilmesi mümkün olacaktır. Konut-kullanıcı-mekan modeli; aile ve konut tipolojisine bağlı olarak konut mekanlarının doluluk oranlarını ve güneşin doğuş-batış saatlerine ilişkin gündüz ve gece kullanım sürelerini ortaya koymaktadır.

Güneş ışığı etkisine ilişkin adımda EN 15193 standardı esas alınarak, hacim- pencere boyutları, engel durumu, coğrafi konum, güneş ışığına bağlı aydınlatma kontrolü ve farklı yönlenme durumlarına bağlı olarak hacimlerdeki güneş ışığı etkisi belirlenmektedir. Yapma aydınlatma sistemine ilişkin adımda konut hacimlerindeki tüm aygıtların şebekeden çektiği güç hesaba katılmaktadır. Bu değerler; konuta ait her hacim için hesaplanmakta ve ortak alanların da dahil edilmesi ile tüm binaya ait yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi ve buna bağlı olarak Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi AESG değeri belirlenmektedir.

2.Yöntem ve Materyal

EN 15193; Binalarda Enerji Performansı - Aydınlatma Enerjisi Gereksinimleri Standardına göre bir hacimde aydınlatma enerjisi gereksiniminin belirlenebilmesi için Eşitlik 1 kullanılmaktadır. Eşitlik 1'de yer alan değişkenler aşağıda açıklanmaktadır.

$$W_{L,T} = \{(P_n \times F_c) \times [(t_D \times F_o \times F_D) + (t_N \times F_o)]\} / 1000 \text{ (kWh)} \quad (1)$$

P_n : Bir hacim veya bölüme ilişkin toplam kurulu aydınlatma gücü (W)

F_c : Sabit aydınlık faktörü

t_D : Gün saatleri kullanımı (h)

F_o : Kullanıma bağlı faktör

F_D : Güneş ışığı bağımlılık faktörü

t_N : Gün saatleri dışında kullanım (h)

Yıllık toplam aydınlatma enerjisine bağlı olarak Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi Eşitlik 2 ile hesaplanmaktadır.

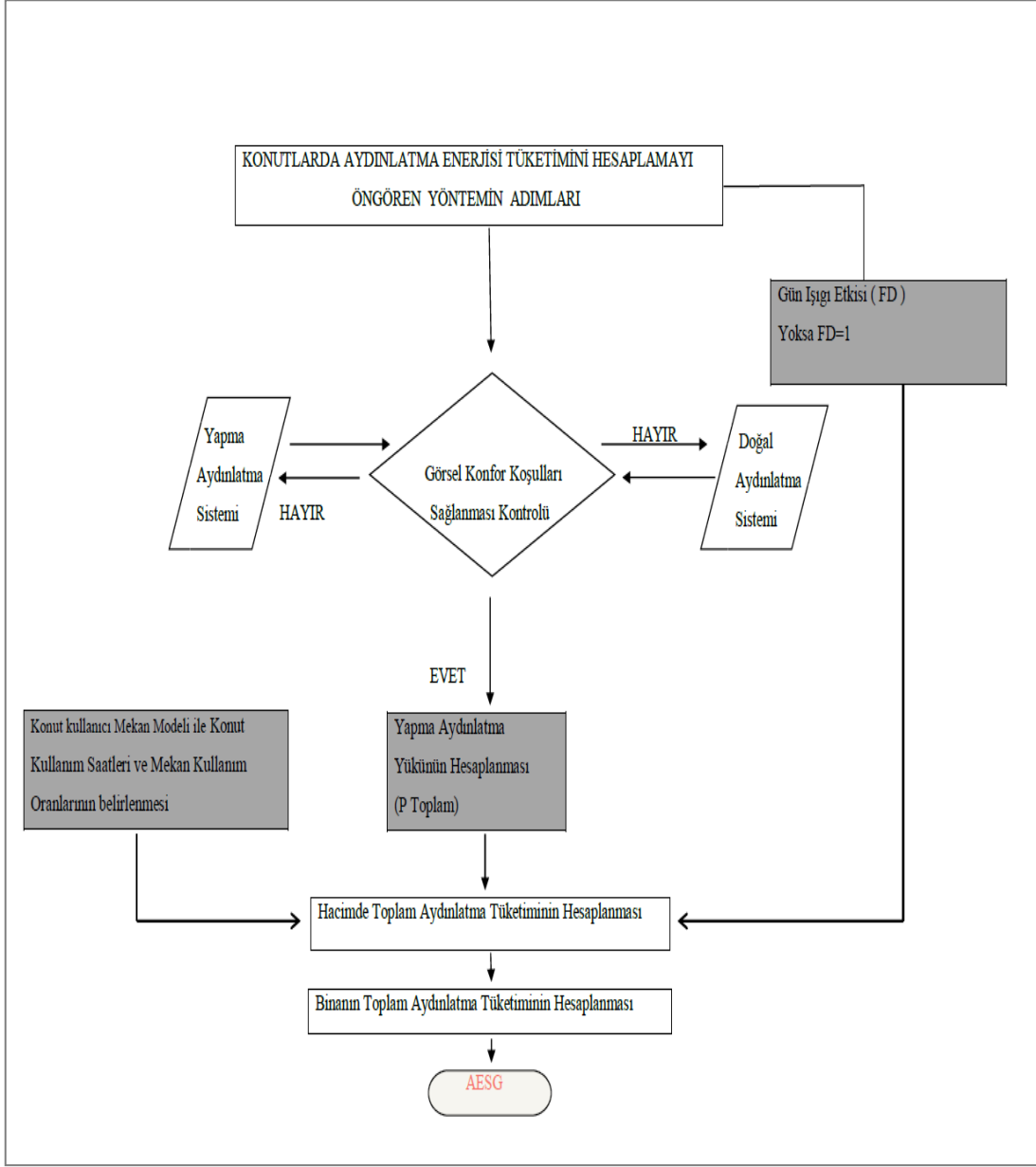
$$AESG = W / A \text{ (kWh/m}^2 \text{ x yıl)} \quad (2)$$

W : Aydınlatma için kullanılan toplam yıllık enerji

A : Binanın toplam kullanılan alanı

Binada acil durum aydınlatması ve otomatik kontrol sistemlerinin bulunması durumunda, binanın toplam aydınlatma enerji tüketiminin bulunması için Eşitlik 1'de hesaplanan $W_{L,T}$ 'ye parazit enerjinin $W_{P,T}$ eklenmesi ile aydınlatma için kullanılan toplam yıllık enerji W 'ye ulaşılmaktadır.

Eşitlik 1'de yer alan; bina tipolojisi, kullanım saatleri, güneş ışığı etkisi, coğrafi konum ve aydınlatma kontrol sistemi gibi değişkenlere ilişkin yapılabilecek kabuller EN15193 standardında verilmektedir. Ancak konut hacimlerinde geçen eylemlerin çeşitliliği, hacim kullanım oranlarının ve saatlerinin aile tipolojisine bağlı farklılıkları ve bu farklılıklara ilişkin değerler standartta yer almamaktadır. Aydınlatma enerjisi tüketiminin belirlenmesinde etkili olan bu değişkenlerin; farklı konut ve aile tipolojileri için ele alınması ve sayısal değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Tez çalışması kapsamında bu değerlerin belirlenmesine ilişkin, önceki bölümde belirtilen konut-kullanıcı modeli geliştirilmiştir. Konutlarda aydınlatma enerjisi tüketimini hesaplamayı öngören yaklaşıma ilişkin genel akış şeması Şekil 1'de yer almaktadır.



Şekil 1. Konutlarda aydınlatma enerjisi tüketimini hesaplamayı öngören yaklaşıma ilişkin genel akış şeması

Yaklaşımda görsel konfor koşullarının sağlanması ön koşul olarak kabul edilmiş ve bu adımda ilgili literatürden yararlanılarak derlenen minimum aydınlık düzeyleri esas alınmıştır. Konut binalarında farklı işlevler için gerekli minimum aydınlık düzeyleri IESNA “The Lighting Handbook 10th edition-Reference and Application” yayınında yer almaktadır. Bunun dışında EN 12464-1 2011-Light and Lighting standardı ve CIBSE -Code for Lighting 2009 kaynaklarında verilen değerler esas alınmıştır (5, 6, 7).

Tablo 1’de konut hacimlerinde görsel konfor koşullarının sağlanması için istenen aydınlık düzeyleri verilmiştir.

Bu kriterlere bağlı olarak; konutlarda her bir hacim için aydınlık düzeyi belirlenerek, görsel konfor koşullarının değerlendirilmesi öngörülmektedir.

Tablo 1’de yer alan aydınlık düzeyleri özel olarak belirtilmedikçe yatay çalışma düzlemi esas alınarak verilmiştir. Bu değerler 25-65 yaş arası yetişkin ve sağlıklı bireyler için öngörülmüştür.

Tablo 1. Konut hacimlerinde görsel konfor koşullarının sağlanması için istenen aydınlık düzeyleri

Konut Hacimleri	İşlev	Aydınlık Düzeyi (lux)
Banyo-Wc	Genel	100
	Hazırlık-Ayna	300
Ebeveyn Yatak Odası	Genel-Giyinme	100
Mutfak	Genel	200
	Hazırlık tezgahı	300
Koridorlar-Antre	Genel	100
	Genel (IESNA)	30 zemin
Oturma Odası -Salon	Genel	100
Home Theatre-Cinema	LCD-Plazma	20 zemin
Yaşama Odası	Genel	30 zemin
Yemek Bölümü *	Genel	100
Okuma Köşesi -Çalışma Odası **	Dijital çalışma	300
	Okuma-Yazma	500
Çocuk Odası	Oyun odası	300

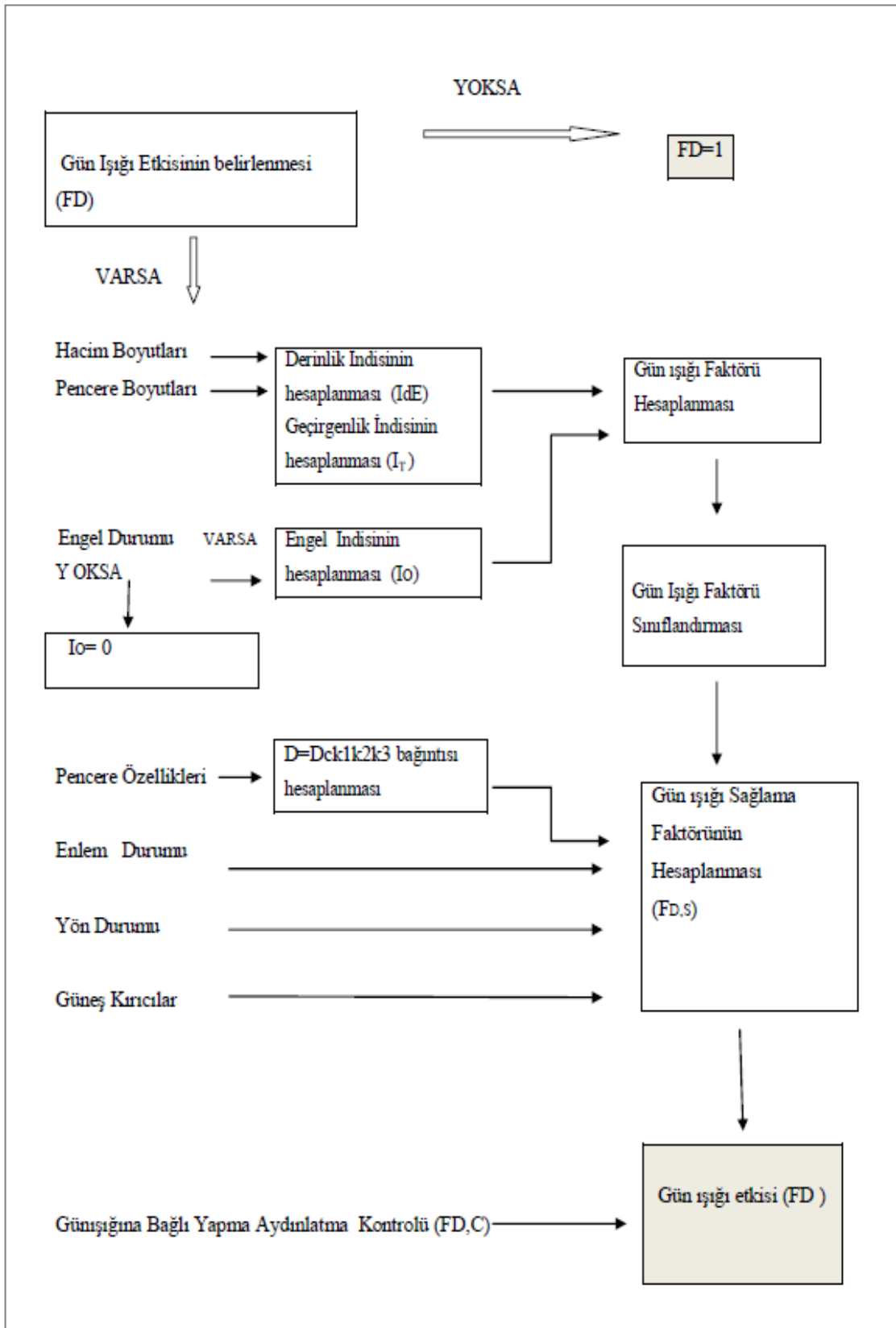
*Yemek bölümü için IESNA-“The Lighting Handbook 10`th edition-2011”de farklı kullanımlar (tercihler) için verilen değerler arasından “informal” kullanım için önerilen 100 lux değeri alınmıştır. **Konutun hangi alanında bu eylem gerçekleşiyorsa okuma-çalışma köşesi için verilen değer kabul edilecektir.

Konut mekanlarının aydınlatılmasında kişisel tercihler, sosyal yaşam ve konut kullanım biçimi gibi birçok değişken etkili olduğundan; aydınlık düzeyi için ancak işlevsel bir sınır değeri verilebilmektedir. Konut-kullanıcı-mekan modelinde; konut hacimlerinin kullanım ve doluluk oranlarını ifade eden-FA (mekanda bulunmama-yokluk oranı) bulanık tabanlı sistem kuralları ile çeşitli senaryolar oluşturularak belirlenmektedir. Senaryolar; aile büyüklüğü, konutta bulunma durumu, oda aktif kullanımı gibi üyelik fonksiyonlarına göre tanımlanmış olup; herbir fonksiyon 3 seviyeden oluşmaktadır. Örneğin; bir aile büyüklüğü fonksiyonu ailedeki kişi sayısını ifade etmekte ve az -orta-yüksek seviye olarak derecelendirilmektedir. Bu üyelik fonksiyonları ile bulanık kural tabanlı sistem yapısına göre konut özgünlüğüne bağlı olarak değişen değerleri ifade eden 27 farklı senaryo üretilmiştir. Günışığı etkisine ilişkin adımda ise, EN 15193 standardı esas alınarak, hacim-pencere boyutları, engel durumu, coğrafi konum, yön ve günışığına bağlı aydınlatma kontrolü değişkenlerine bağlı olarak günışığı etkisi belirlenmektedir. Bu adımların sonucunda belirlenen yıllık aydınlatma enerjisi tüketimine, binada acil durum aydınlatması ve otomatik kontrol sistemlerinin bulunması durumunda, parazit enerjinin de eklenmesi ile toplam aydınlatma enerjisi tüketimi değeri W ve Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi-AESG değeri belirlenebilmektedir. Bu makalede; geliştirilen yaklaşımın günışığı etkisi ve farklı yönlenme durumlarına ilişkin adımları detaylı olarak açıklanmış ve bu değişkenlerin

konut binalarında aydınlatma enerji tüketimine etkisi belirlenmiştir.Bu senaryolara göre, aile tipi ve demografik yapı gibi nicel veriler yardımı ile konut hacim kullanımını ifade eden FA değeri belirlenebilmektedir. Konut hacimlerindeki gündüz-gece kullanım saatleri t_D (gün saatleri içinde kullanım) ve t_N (gün saatleri dışında kullanım) değerleri ile ifade edilmektedir. Konut hacimlerindeki aktif kullanım saat aralıkları, günün 6 saatinin uykuda geçtiği kabul edilerek; 0600-2400 olarak kabul edilmiştir. İncelenen istatistikler ve çalışmalar ışığında, konut hacimleri için gündüz- gece kullanımı ve konutta bulunma durumuna göre farklılaşan kullanım saatleri belirlenmiştir. Yapma aydınlatma sistemine ilişkin adımda; konuttaki her hacmin aydınlatma sistemine ait tüm aygıtların şebekeden çektiği güç hesaba katılmaktadır. Bu değerler herbir hacim için belirlenerek, P_{Toplam} elde edilir.

2.1 Aydınlatma enerjisi tüketiminin belirlenmesinde günışığına ilişkin parametreler

Bir hacimdeki gün ışığı etkisi F_D ; hacim ve pencere boyutları, engel durumu, günışığına bağlı kontrol sistemi, camın ışık geçirgenliği, coğrafi konum gibi değişkenlere bağlıdır. Bir hacimdeki günışığı aydınlığının; aydınlatma enerjisi tüketiminin azaltılmasında etkili olabilmesi için belirli değerlere ulaşması gerekmektedir. Günışığının; aydınlatma enerjisi tüketimine olan etkisinin hesaplanmasına ilişkin genel akış şeması Şekil 2’de belirtilmiştir.



Şekil 2. Hacimde günışığı etkisinin belirlenmesine yönelik akış şeması

Şekil 2’de belirtildiği gibi, günışığı etkisi F_D hesaplanabilmesi için; günışığına bağlı yapma aydınlatma kontrolü etkisi $F_{D,C}$ ile hacim boyutları, pencereler, engel durumu, camın ışık geçirgenliği gibi parametrelere bağlı olan günışığı sağlama faktörü $F_{D,S}$ değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Gün ışığı etkisi F_D ; belirlenen günışığı sağlama faktörü ve günışığına bağlı yapma aydınlatma kontrolü değerleri ile Eşitlik 3’e göre hesaplanmaktadır.

$$F_{D,n} = 1 - (F_{D,S,n} \times F_{D,C,n}) \quad (3)$$

$F_{D,S}$:Günışığı sağlama faktörü

$F_{D,C}$: Günışığı’na bağlı yapma aydınlatma kontrolü faktörü

Günışığı almayan hacimlerde $F_D = 1$ kabul edilmekte olup, günışığı alan hacimler için bu değer (%) olarak belirlenerek günışığının yapma aydınlatma enerjisi tüketimine olan etkisi hesaplanmaktadır. Günışığı sağlama faktörünün hesaplanması için; I_T Geçirgenlik indisi, I_{DE} Derinlik indisi ve I_O Engel indisi hesaplanarak D_C değeri Eşitlik 4 ile elde edilmektedir.

$$D_C = (4.13 + 20 \times I_T - 1.36 \times I_{DE}) \times I_O \quad (4)$$

EN 15193 hesap yöntemine göre hacimdeki günışığı sınıfının belirlenmesi için gereken D değeri Eşitlik 5 ile elde edilebilmektedir.

$$D = D_C \times k_1 \times k_2 \times k_3 \quad (5)$$

t : Cam ışık geçirgenliği,

k_1 : Pencere doğrama çarpanı,

k_2 : Cam kirlilik faktörü,

k_3 : Dik gelmeyen ışık düzeltmesi

D_C ve D değerlerine bağlı olarak EN 15193’te ve BEP - TR’de yer alan tabloya göre günışığı sınıfı; etkisiz, zayıf, orta veya güçlü olmak üzere belirlenebilmektedir (3, 4). Gün ışığı sınıflandırmasından sonra $F_{D,S}$ değerine bağlı olarak Eşitlik 3 uyarınca hacimdeki günışığı etkisi F_D belirlenmekte ve bulunan değerler; Eşitlik 1 ve 2 yardımıyla yıllık toplam aydınlatma enerjisi tüketimi $W_{L,t}$ ve buna bağlı olarak Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi AESG değerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

2.2 Aydınlatma enerji tüketiminin belirlenmesinde farklı yönlenme durumlarının hesaba katılmasına ilişkin bir yaklaşım önerisi

Hacimlerde oluşan günışığı aydınlığı; hacim -pencere boyutları, engel durumu, saydamlık oranı, camın ışık geçirgenliği, göğün parıltısı, güneşin pozisyonu, ve atmosfer koşullarına bağlıdır. Bir hacimdeki günışığı aydınlığının hesaplanabilmesi için öncelikle dış ortam aydınlık düzeyinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, farklı gök koşullarını ifade eden kapalı gök, açık gök ve ortalama gök modelleri geliştirilmiş ve CIE tarafından kabul edilmiştir (8, 9).

CIE kapalı gök yönteminde, güneşin direkt etkisi hesaplara katılmadığı için, pencerelerdeki farklı yönlenme durumlarının ve gün içindeki güneş pozisyonunun hacimlerde oluşan günışığı aydınlığı üzerinde bir etkisi bulunmamaktadır. Açık gök ve ortalama gök modellerinde ise farklı yönlenme durumları; güneşin gün ve yıl içindeki pozisyonuna bağlı olarak hacimlerdeki gün ışığı aydınlığında etkili olmaktadır. Literatürde, bu konuda yapılmış çok sayıda bilimsel çalışma bulunmaktadır.

Illuminating Engineering Society The Lighting Handbook’da yer alan bir çalışmada ABD’de farklı enlemlerde bulunan şehirlerde, dört ana yön için günışığı değerleri belirlenmiş ve grafik olarak ifade edilmiştir. Bu grafiklerde; kuzey ve güney yönleri arasında belirgin farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Doğu ve batı yönlerinde de kuzey yönüne göre daha yüksek değerler olduğu görülmektedir (5). Yener A. tarafından yapılan bir çalışmada farklı yönlere bakan hacimlerde ortalama gök modeli ile günışığı aydınlığı değerleri belirlenmiştir. Bu çalışmada ara ve ana yönler ele alınmış ve değerlerin farklılıkları ortaya konmuştur. Bu değerlerde güney yönünün günışığı açısından avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır (10).

Ünver R. ve Yener A. tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda, farklı yönlere bakan hacimlerde günışığı aydınlığı değerleri hesaplanmış ve grafik olarak ifade edilmiştir (11). Çalışmada saat 09.00 ve 15.00 için kapalı ve ortalama gök modelleri uyarınca bir hacimdeki günışığı dağılımı belirlenmiştir. CIE kapalı gök yönteminde güneşin etkisi hesaplara katılmadığı için, hacim yönünün ve zamana bağlı güneş pozisyonunun günışığı aydınlığına etkisi olmamıştır. Ortalama gök modeline göre yapılan hesaplamalarda, aynı saatler ve aynı saydamlık oranları için güneye ve kuzeye yönlendirilmiş hacimlerde günışığı değerleri hesaplanarak karşılaştırılmıştır; güney cephesinde günışığının hacmin derinliklerine kadar ulaştığı ve oluşan aydınlık düzeyinin kuzey cephesinden daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu çalışma, güneş etkisinin hesaplara katılması durumunda pencerelerin yönlenmesinin hacimde oluşan günışığı aydınlığı üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. (11, 12). Küçükdoğu M. ve Yener A. tarafından yapılan çalışmada dört farklı yöne bakan ofis hacimlerinde aydınlatma enerjisi tüketimi değerleri; hacimde günışığına bağlı bir kontrolün olup olmama durumlarına göre hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar; günışığına bağlı yapma aydınlatma kontrolü ile güney yönüne bakan hacimlerde en yüksek tasarrufun sağlandığını göstermektedir (13).

Yukarıda tanıtılan çalışmalar; hacimlerin farklı yönlenme durumlarının günışığı aydınlığına ve buna bağlı olarak da aydınlatma enerjisi tüketimine olan etkisini ortaya koymaktadır.

Bu bölümde, aydınlatma enerji performansının belirlenmesinde günışığı aydınlığının yönlenmeye bağlı farklılığını hesaplara dahil etmek amacıyla geliştirilen yaklaşım tanıtılmaktadır. Günışığına ilişkin incelenen çalışmalarda, düşey yüzeylerde oluşan günışığı aydınlığının; yatay düzlem aydınlık düzeyi, güneş yükseliş açısı, yüzey ve güneş azimut açıları farkının fonksiyonu olduğu ifade edilmektedir. CIE Açık Gök Modeli’nde düşey aydınlık düzeyinin yatay aydınlık düzeyine oranı Eşitlik 6 ile hesaplanabilmektedir (14).

$$E_{H,F} = E_H \times R \quad (6)$$

R katsayısı, yüzey azimutu ile güneş azimutunun farkı ve güneş yükseliş açısı değişkenlerine bağlı olarak çeşitli kaynaklarda verilmiştir. Bu çalışmada Gusev'e ait R değerleri referans alınmıştır (15). Çalışmada öncelikle; her ayın 15. günü için sabah, öğle ve öğleden sonra saatlerini temsil eden güneş yükseliş açıları γ_s ve güneş azimut açıları

α_s hesaplanmış ve 4 ana yön için güneş azimut ve cephe azimut farkı belirlenmiştir. Kaynakta verilen R değerlerine göre her ay için belirlenen değerlerin yıllık ortalaması Rort olarak tanımlanmıştır. Türkiye'de farklı coğrafi konumlarda bulunan İstanbul (41°K 28°D), Kayseri (38°K 35°D) ve Antalya (36°K 30°D) illeri için hesaplanan aylık R ve Rort değerleri Tablo 3, 4 ve 5'te belirtilmiştir.

Tablo 3. İstanbul (41° K 28° D) ili için belirlenen R ve Rort değerleri

İstanbul 41° K 28° D	R değeri –Kuzey	R değeri -Batı	R değeri -Güney	R değeri -Doğu
Ocak	0,37	0,68	1,32	0,68
Şubat	0,37	0,75	1,12	0,75
Mart	0,4	0,85	0,87	0,8
Nisan	0,51	0,79	0,63	0,78
Mayıs	0,64	0,79	0,52	0,77
Haziran	0,66	0,78	0,5	0,77
Temmuz	0,65	0,78	0,5	0,77
Ağustos	0,5	0,79	0,63	0,79
Eylül	0,4	0,79	0,85	0,78
Ekim	0,37	0,75	1,07	0,73
Kasım	0,37	0,7	1,32	0,7
Aralık	0,37	0,68	1,32	0,68
Rort	0,468	0,760	0,890	0,753

Tablo 4. Kayseri (38° K 35° D) ili için belirlenen R ve Rort değerleri

Kayseri - 38°K 35°D	Rdeğeri–Kuzey	R değeri -Batı	R değeri -Güney	R değeri -Doğu
Ocak	0,34	0,7	1,32	0,7
Şubat	0,37	0,74	1,07	0,74
Mart	0,4	0,82	0,85	0,79
Nisan	0,49	0,82	0,64	0,81
Mayıs	0,65	0,79	0,5	0,76
Haziran	0,67	0,79	0,47	0,78
Temmuz	0,65	0,78	0,5	0,78
Ağustos	0,5	0,78	0,61	0,78
Eylül	0,41	0,77	0,82	0,77
Ekim	0,37	0,76	1,07	0,75
Kasım	0,37	0,74	1,12	0,74
Aralık	0,37	0,68	1,32	0,68
Rort	0,469	0,765	0,860	0,757

Tablo 5. Antalya (36°K 30°D) ili için belirlenen R ve Rort değerleri

Antalya 36°K 30°D	R değeri -Kuzey	R değeri -Batı	R değeri -Güney	R değeri -Doğu
Ocak	0,35	0,68	1,28	0,68
Şubat	0,37	0,75	1,07	0,74
Mart	0,4	0,79	0,85	0,78
Nisan	0,49	0,79	0,63	0,79
Mayıs	0,65	0,78	0,5	0,77
Haziran	0,66	0,79	0,48	0,77
Temmuz	0,65	0,79	0,5	0,79
Ağustos	0,5	0,79	0,61	0,79
Eylül	0,42	0,78	0,82	0,78
Ekim	0,41	0,78	0,9	0,78
Kasım	0,37	0,76	1,12	0,74
Aralık	0,34	0,7	1,32	0,7
Rort	0,47	0,766	0,842	0,759

Önceki bölümlerde belirtildiği gibi; EN15193’de tanımlanan hesap yönteminde farklı yönelme durumları ele alınmaktadır. Bu çalışmada elde edilen Rort değerlerine göre;

kuzey yönü için $R_{yön}=1$ kabul edilerek; Tablo 6’da verilen katsayılar elde edilmiştir. Bu katsayı; yön değişkenine bağlı olarak belirlendiği için $R_{yön}$ katsayısı olarak adlandırılmıştır.

Tablo 6. Türkiye’nin farklı coğrafik konumdaki illerine göre hesaplanan $R_{yön}$ katsayıları

İl	Enlem	Boylam	$R_{yön}$ katsayısı			
			Kuzey	Batı	Güney	Doğu
İstanbul	41°K	28° D	1	1,62	1,9	1,6
Kayseri	38°K	35° D	1	1,63	1,83	1,61
Antalya	36°K	30° D	1	1,62	1,79	1,62

Tablo 6’da verilen $R_{yön}$ katsayıları, yönler arasındaki farklılıkları ortaya koymaktadır. Bu çalışmada elde edilen $R_{yön}$ değerinin Eşitlik 5’e çarpan olarak katılması ile yön farklılıklarının hesap yöntemine dahil edilmesi önerilmiştir. Hacimlerde sağlanan günışığı aydınlığının belirlenmesinde bu farklılığın göz önüne alınması ile aydınlatma enerji tüketiminde daha gerçekçi sonuçların elde edilmesi öngörülmektedir.

Eşitlik 7 uyarınca hesaplanan D değeri ve Eşitlik 4 ile bulunan D_C değerine bağlı olarak EN15193’te verilen tablo yardımı ile günışığı sınıfı belirlenebilmektedir. Bu adımdan sonra Şekil 1’de belirtilen akış şemasına göre yöntemin diğer adımları uygulanabilmektedir. Yön değişkeni $R_{yön}$; D değerine doğrudan etki ederek günışığı sınıfını etkilemektedir. Geliştirilen yaklaşım sonucunda hacimlerin günışığı sınıfının ve buna bağlı olarak da aydınlatma enerji performansının yön değişkenine bağlı değişkenlik göstermesi öngörülmektedir.

$$D = D_C \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot R_{yön} \quad (7)$$

3. Geliştirilen yaklaşımın ele alınan konut binasında uygulanması

Çalışmada yer alan yaklaşım; bu bölümde ele alınan örnek konut binasında uygulanarak, farklı yönlenme durumlarının hacimlerdeki günışığı aydınlığına ve yıllık aydınlatma enerji tüketimine etkisi incelenmektedir.

3.1 Ele alınan konut binasının tanıtılması

Bu çalışmada;

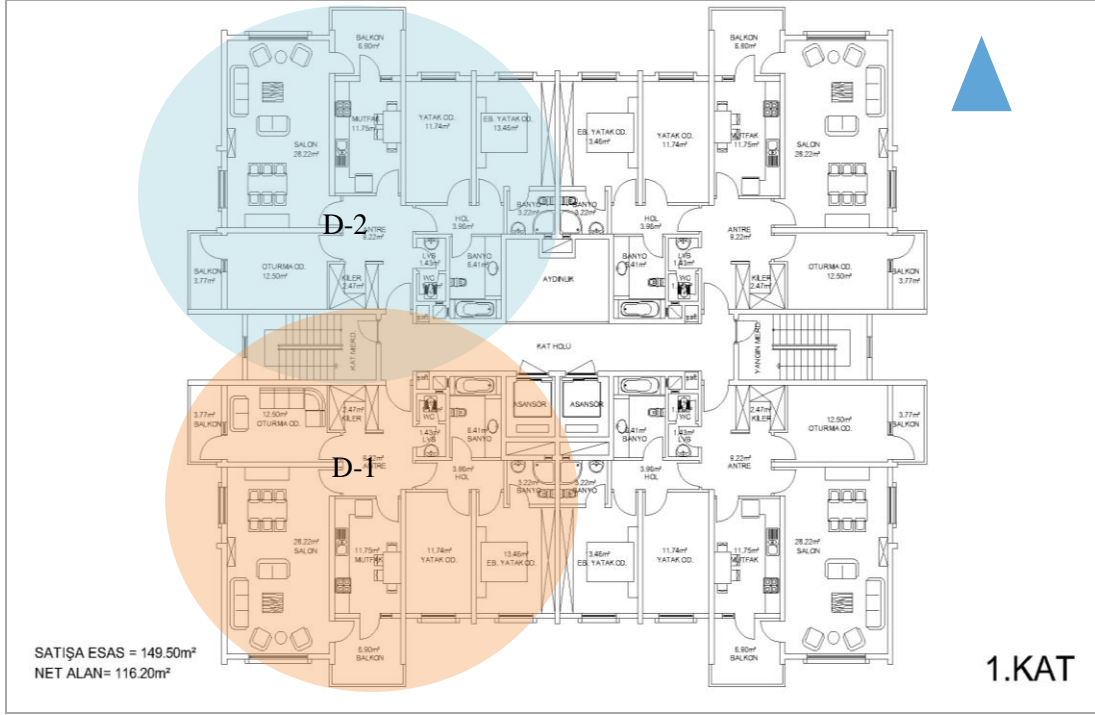
Kayseri ilinde yer alan TOKİ yerleşkesine ait konut binasının plan şeması örnek konut olarak ele alınmıştır. Mevcut binanın fiziksel verileri sabit kalmak koşulu ile yukarıdaki bölümlerde Ryön değerleri belirlenen ve Türkiye’de farklı coğrafi konumlarda bulunan İstanbul (41°K 28°D), Kayseri (38°K 35°D), ve Antalya (36°K 30°D) illeri için hesaplamalar yapılmıştır. Tablo 7’de ele alınan konut binası ve aydınlatma enerji tüketimleri hesaplanan dairelerin özellikleri özetlenmiştir.

Tablo 7. Örnek konuta ilişkin temel özellikler

Bina tipi	Yüksek katlı konut
Kat sayısı	Zemin + 12 kat Her katta 4 daire mevcuttur.
Ele alınan daireler	Her daire 4+1 oda sayısına sahiptir ve toplam 149,50 m ² ’dir. Yaklaşım, 1. katta yer alan D1 ve D2 üzerinde uygulanmıştır (Şekil 3).
Yönlenme durumu	D1 dairesindeki hacimlerin günışığı açıklıkları Güneye ve Batıya yönlenmiştir. D2 dairesindeki hacimlerin günışığı açıklıkları Kuzeye ve Batıya yönlenmiştir.
Engel durumu	Pencerelerin önünde dış engel bulunmadığı kabul edilmiştir. Mutfak ve yaşama odası hacimlerinin önünde bulunan balkonlar alt kattaki pencereler için yatay engel kabul edilmiş ve hesaba katılmıştır.

Bu çalışmada konut binasının bulunduğu coğrafi konum ve Ryön değerinin sonuçlara etkisinin belirlenmesi amaçlanmaktadır; öncelikli olarak tek konutun iki farklı yönlenme durumuna göre hesaplamaları yapılmıştır.

Ryön değerinin aydınlatma enerjisi tüketimine etkisinin karşılaştırılabilmesi için belirlenen D1 ve D2 konutlarına ilişkin plan şeması Şekil 3’te belirtilmiştir.



Şekil 3. Örnek konut plan şeması - TOKİ

D1 konutunda; mutfak, ebeveyn yatak odası, çocuk odası gibi konut hacimleri güneye yönelirken, yaşama odası batı, salon ise güney ve batıya yönelmiştir. D2 konutunda ise mutfak, ebeveyn yatak odası, çocuk odası gibi konut hacimleri kuzeye yönelirken yaşama odası batı, salon ise kuzey ve batıya

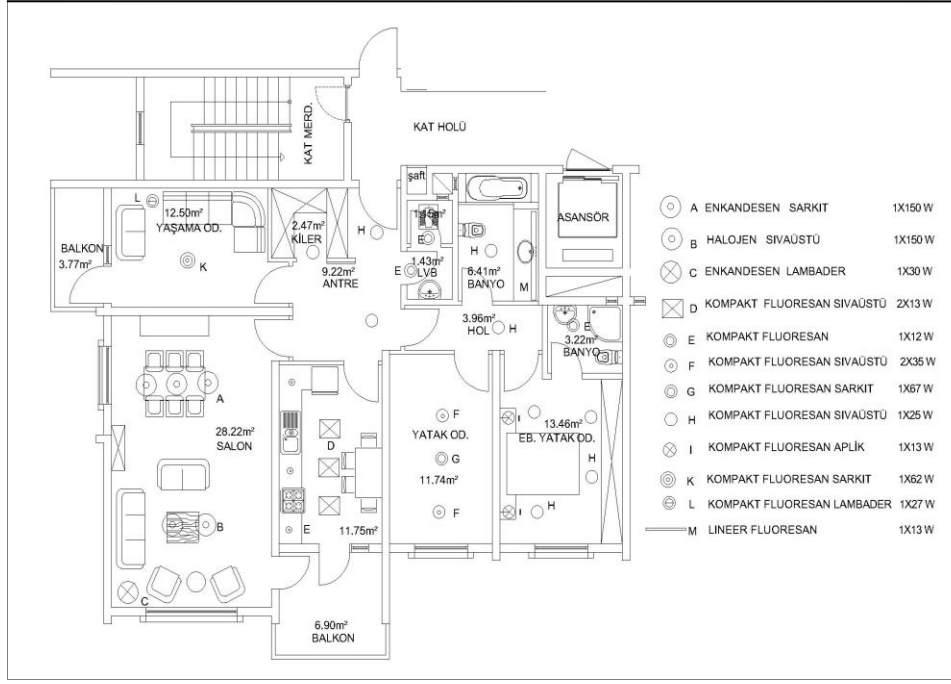
yönelmiştir. Bu durumda D1 konutu güney yönelimli; D2 konutu kuzey yönelimli kabul edilebilmektedir. Tablo 8'de D1 ve D2 konut hacimlerinin Bölüm 2.2'de açıklanan yaklaşıma göre belirlenen güneşliği sınıfları yer almaktadır.

Tablo 8. D1 ve D2 konutlarında güneşliği alan hacimlerin güneşliği sınıflandırmaları

Oda Tipi	D1 Konutu		D2 Konutu	
	Yön	Güneşliği Sınıfı	Yön	Güneşliği Sınıfı
Ebeveyn Yatak Odası	Güney	Orta	Kuzey	Zayıf
Mutfak	Güney	Etkisiz	Kuzey	Etkisiz
Salon	Güney ve Batı	Güçlü	Kuzey ve Batı	Güçlü
Yaşama Odası	Batı	Etkisiz	Batı	Etkisiz
Çocuk Odası	Güney	Orta	Kuzey	Zayıf

Ele alınan örnek konut binası için aydınlatma enerji tüketiminin hesaplanmasında; çalışmanın giriş bölümünde ana hatlarıyla tanımlanan konut-kullanıcı modeline göre aile büyüklüğü ve konutta bulunma durumu orta seviye olarak ifade edilen aile tipi kabul edilmiştir. Bu aile tipi tanımlaması; okula giden bir çocukları bulunan üç kişilik bir aileyi temsil etmektedir. Bu ailede; anne yarı zamanlı bir işe gitmekte, çocuk yarım gün okulda/kreşte ve baba ise gün boyunca işyerinde bulunmaktadır. Örnek konut için kabul edilen aydınlatma sistemi Şekil 4'te belirtilmiştir.

Bu sistem; tüm lambaların enerji etkin ürünlerden seçilmiş olmayacağını ifade etmek amacıyla bir kısmı enerji tasarruflu bir kısmı da halojen-enkandesen lambalardan oluşmaktadır. Tanımlanan aile modelinin; genel anlamda enerji tasarruflu-kompakt flüoresan lamba tercih etmesi bununla beraber; konukların ağırlandığı salon hacminde ise, düşük verimlilikteki halojen ve enkandesen lambaları tercih ettiği bir aydınlatma sistemi önerilmiştir. Salon hacminin, sadece konukların ağırlandığı durumlarda kullanıldığı, onun dışında genel olarak yaşama odasının kullanıldığı kabul edilmiştir.



Şekil 4 . Örnek Konut plan şeması ve aydınlatma tasarımı

Tablo 9’da verilen değerler incelendiğinde, konutta önerilen aydınlatma sisteminin her hacim için Tablo 1’de istenen aydınlık düzeylerini sağladığı görülmektedir. Ayrıca, konuttaki her hacim için R_a değerleri minimum 80 olan

lambalar seçilerek renksel geriverim açısından da görsel konfor koşulları sağlanmıştır. Aydınlatma enerji tüketiminin hesaplanmasına ilişkin güç değerleri P_{Toplam} Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Konut hacimlerinde istenen ve mevcut aydınlık düzeylerinin karşılaştırılması

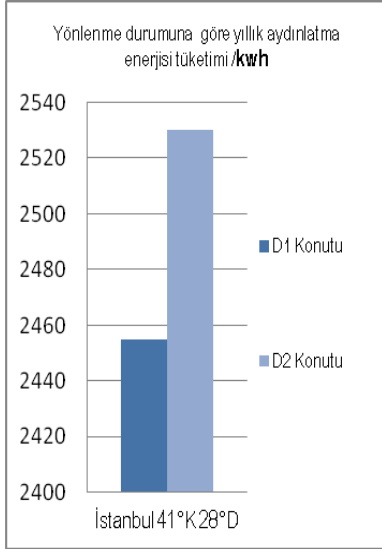
Oda Tipi	İşlev	İstenen Aydınlık Düzeyi (Lux)	Mevcut Aydınlık Düzeyi (Lux)	Lamba Tipi	P_{toplam} (Watt)
Banyo-WC	Genel	100	107	Kompakt Fluoresan Tüp Fluoresan	38
	Hazırlık-Ayna	300	305		
E.Yatak odası	Genel -Giyinme	100	104	Kompakt Fluoresan	126
Mutfak	Genel	200	209	Kompakt Fluoresan	114
	HazırlıkTezgahı	300*	303		
Koridor-Antre	Genel	100	100	Kompakt Fluoresan	138
Salon	Genel	100	113	Enkandesen /Halojen	780
	Yemek bölümü	100	100	Halojen	
Yaşama Odası	Genel	100	101	Kompakt Fluoresan	89
	Zemin	30	43		
Çocuk Odası	Genel	300	324	Kompakt Fluoresan	207
	Çalışma	500**	500		

* Değerler tezgah düzlemi için verilmiştir. **çalışma bölümünde okuma yazma işlevi için istenen değerler referans alınmıştır.

Yapma aydınlatma sistemine ilişkin bu verilere bağlı olarak Eşitlik 1 uyarınca İstanbul (41°K 28°D) Kayseri (38°K 35°D) ve Antalya (36°K 30°D) illeri için hesaplanan aydınlatma enerjisi tüketim değerleri ve karşılaştırmalar aşağıda belirtilmiştir.

3.2 Konut binasının İstanbul'da bulunması durumuna ilişkin elde edilen sonuçlar

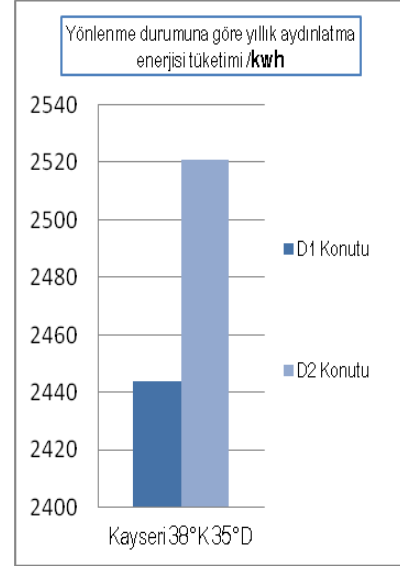
İstanbul (41°K 28°D) ili için Tablo 6'da yer alan Ryön katsayıları Eşitlik 7'de belirtildiği gibi hesaplamalara dahil edilmektedir. Güneş ışığı etkisi F_D ; Şekil 1'de verilen akış şemasına göre yönleme dahil edilerek Eşitlik 1 uyarınca yıllık toplam aydınlatma enerjisi tüketimi belirlenmektedir. İstanbul ili için Ryön katsayısı değerleri Tablo 6'da belirtildiği gibi; kuzey yönü için Ryön katsayısı:1 kabul edilerek güney yönü için 1.9 olarak belirlenmiştir. Buna göre; D1 konutuna ilişkin yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi 2455 kWh olup, D2 konutu için 2530 kWh değerine çıkmaktadır. Bu değerlere ilişkin grafikler Şekil 5'de belirtilmiştir.



Şekil 5. İstanbul (41° K 28° D) ilindeki D1 ve D2 konutlarının yıllık aydınlatma enerji tüketimleri

3.3 Konut binasının Kayseri'de bulunması durumuna ilişkin elde edilen sonuçlar

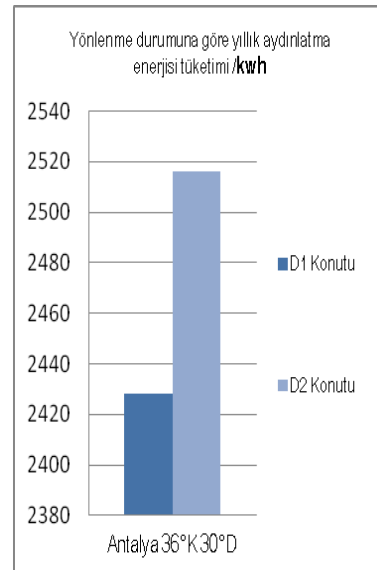
Kayseri (38°K 35°D) ili için Tablo 6'da yer alan Ryön katsayıları Eşitlik 7'de belirtildiği gibi hesaplamalara dahil edilmektedir. Güneş ışığı etkisi F_D ; Şekil 1'de verilen akış şemasına göre yönleme dahil edilerek Eşitlik 1 uyarınca yıllık toplam aydınlatma enerjisi tüketimi belirlenmektedir. Kayseri ili için Ryön katsayısı değerleri Tablo 6'da belirtildiği gibi; kuzey yönü için Ryön katsayısı:1 kabul edilerek, güney yönü için 1.83 olarak belirlenmiştir. Buna göre, D1 konutuna ilişkin yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi 2441 kWh olup, D2 konutu için 2521 kWh değerine çıkmaktadır. Bu değerlere ilişkin grafikler Şekil 6'da belirtilmiştir.



Şekil 6. Kayseri (38° K 35° D) ilindeki D1 ve D2 konutlarının yıllık aydınlatma enerji tüketimleri

3.4 Konut binasının Antalya'da bulunması durumuna ilişkin elde edilen sonuçlar

Antalya (36°K 30°D) ili için Tablo 6'da yer alan Ryön katsayıları Eşitlik 7'de belirtildiği gibi hesaplamalara dahil edilmektedir. Antalya ili için Ryön katsayısı değerleri Tablo 6'da belirtildiği gibi; kuzey yönü için Ryön katsayısı:1 kabul edilerek güney yönü için 1.78 olarak belirlenmiştir. Buna göre, D1 konutuna ilişkin yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi 2428 kWh olup, D2 konutu için 2516 kWh değerine çıkmaktadır. Bu değerlere ilişkin grafikler Şekil 7'de belirtilmiştir.

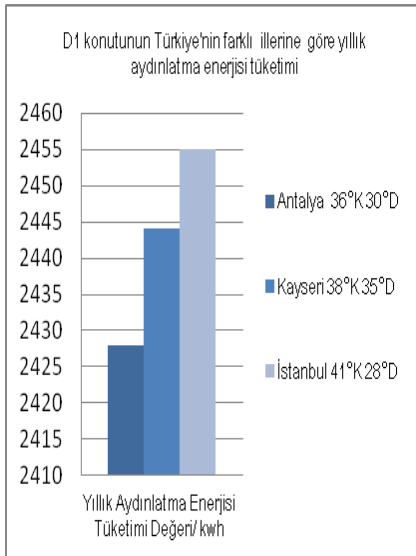


Şekil 7. Antalya (36°K 30°D) ilindeki D1 ve D2 konutlarının yıllık aydınlatma enerjisi tüketimleri

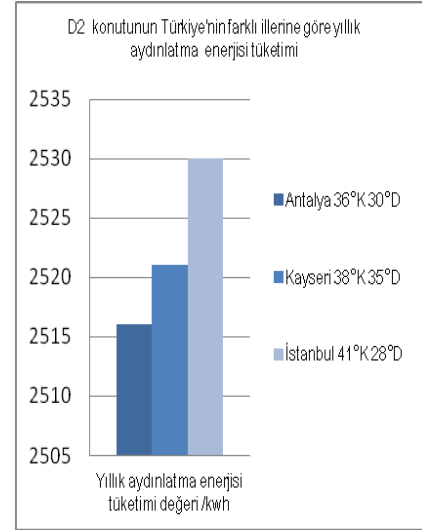
4. Sonuçların karşılaştırılması ve değerlendirme

Bu çalışmada, konut binalarında aydınlatma enerji performansının gerçekçi bir biçimde belirlenebilmesine ilişkin geliştirilen yaklaşım tanıtılmış ve farklı örnekler üzerinde uygulanmıştır. EN 15193 standardında tanımlanan yöntemde binalarda aydınlatma enerjisi tüketiminin belirlenmesinde etkili olan günışığına ilişkin parametreler tanıtılmış, bunlara ek olarak farklı yönelme durumlarının hesaba katılmasına ilişkin bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Geliştirilen yaklaşımda farklı yönlerdeki günışığı açıklıklarının aydınlatma enerji performansı üzerindeki etkisini hesaplara dahil etmek amacıyla Ryön katsayısı geliştirilen yaklaşımda belirlenmiştir. Ryön katsayısının hesap yöntemine dahil edilmesiyle güney yönelimli bir hacimde oluşan günışığı aydınlığı ile kuzey yönelimli bir hacimde oluşan günışığı aydınlığının farkı ve bu durumun aydınlatma enerji performansına etkisi sayısal olarak ifade edilebilmektedir. Ryön değeri güneş azimut ve güneş yükseliş açılarına bağlı olarak belirlenmekte olduğundan, ele alınan yörenin enlemi bu değerinde etkili olmaktadır. Sonuç olarak, Ryön değerinin farklı coğrafi konumlar için ayrı ayrı belirlenmesi gerekmektedir. Ele alınan örneklerde, günışığı açıklıkları güney yönelimli D1 konutu ile günışığı açıklıkları kuzey yönelimli D2 konutu arasında yıllık aydınlatma enerji tüketimi değerleri arasında belirgin farklar görülmektedir. Balkonun yatay engel etkisi oluşturduğu mutfak, yaşama odası hacimlerinde günışığı sınıfını değiştirmede, engel etkisinin olmadığı çocuk odası ve yatak odası hacimlerinde ise farklı yönelmelerin günışığı sınıfı ve aydınlatma enerjisi tüketimi değerlerinde daha etkili olduğu ortaya çıkmaktadır. Salon hacminde; açıklıklar günışığı alımı için elverişli boyutlarda olduğu için hacimdeki günışığı; farklı yönelme durumlarında güçlü sınıfta olup değişkenlik göstermemiştir. (Tablo 8). Şekil 8 ve 9'daki grafiklerde D1 ve D2 konutlarının Türkiye'de farklı coğrafi konumda yer alan İstanbul (41°K 28°D), Kayseri (38°K 35°D) ve Antalya (36°K 30°D) illeri için belirlenen yıllık aydınlatma enerjisi tüketim değerleri karşılaştırmalı olarak görülebilmektedir.



Şekil 8. D1 konutunun 3 il için yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi



Şekil 9. D2 konutunun 3 il için yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi

Bu veriler ışığında; farklı yönelme durumları ve coğrafi konumların aydınlatma enerjisi tüketiminin belirlenmesinde etkin bir role sahip olduğu ortaya konmuştur. Geliştirilen yaklaşımla konut binalarının aydınlatma enerji performansı tasarım aşamasında belirlenerek, gerekli görülen düzenlemeler sonucunda görsel konfor ve enerji etkinlik açılarından uygun aydınlatma sistemi tasarımlarının gerçekleştirilmesi mümkün olabilecektir. Bununla birlikte, geliştirilen yaklaşımın mevcut konut binalarına uygulanmasıyla aydınlatma enerjisi tüketiminin gerçekçi bir biçimde öngörülmesi sonucunda aydınlatma enerjisi tasarruf potansiyeli belirlenebilecektir.

Kaynaklar

1. Directive on Energy Performance of Buildings, 2002/91/EC, Brüksel, 2002
2. <http://www.tedas.gov.tr/BilgiBankasi/KitaplikIstatistikBilgiler>
3. EN 15193 Energy Performance of Buildings-Energy Requirements for Lighting, 2006
4. BEP-TR Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemi, Ek 05-Aydınlatma / 07 Aralık 2010 Perşembe, Resmi Gazete, Sayı: 27778, 2010
5. IESNA /Illuminating Engineering Society –The Lighting Handbook Reference and Application /10th Edition, 2011
6. EN 12464-1 Light and Lighting-Lighting of Workplaces, 2011
7. CIBSE /The Society of Light and Lighting- Code For Lighting, 2009
8. CIE Publication 22/ Standardization of Luminance Distribution on Clear Skies, Paris, 1973
9. CIE Publication /Spatial Distribution of daylight-CIE Standard General Sky/ CIE S011 /E.2003 Vienna, 2003

197, Bregenz, Eylül 1998.

11. Ünver, R., Yener, A.K., “Kapalı ve Ortalama Gök İçin, İç Aydınlık Düzeylerinin Karşılaştırılması”,*3.Ulusal Aydınlatma Kongresi*, ss:41-46, İstanbul, 23-24 Kasım 2000

12. Ünver. R., Yener, A.K., “Internal Illuminances in Istanbul for Overcast and Average Skies”, *Light & Lighting 2000 International Conference*, Bükreş, Romanya, 11-13 Mayıs 2000

13. Yener, A.K., Küçükdoğu, M., “Energy Conservation In Office Lighting”, *24th Session of the CIE*, Publication No.133, ISBN 3 900 734 93 3, ss:129-131, Varşova, 24-30 Haziran 1999

14. Aydınli, S., “Über die Berechnung der zur Verfügung stehenden Solarenergie und des Tageslichtes” VDI Verlag, Berlin, 1981

15. Anon, Handbuch für Beleuchtung, Ecomed Verlag, 1992