

T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BÖLÜNMÜŞ DERECE GÜN YÖNTEMİ İLE BİNA ENERJİ TÜKETİMİNİN
BELİRLENMESİ

Serdar KARACA

Danışman: Doç. Dr. Aslıhan KURNUÇ SEYHAN

TEZ JÜRİ ÜYELERİ

Doç. Dr. Ali CELEN

Doç. Dr. Sinem UZUN

Doç. Dr. Aslıhan KURNUÇ SEYHAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERZİNCAN, 2025

© 2025 [Serdar KARACA]. Tüm hakları saklıdır.

ÖZET

BÖLÜNmüş DERECE GÜN YÖNTEMİ İLE BİNA ENERJİ TÜKETİMİNİN BELİRLENMESİ

Serdar KARACA

Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Aslıhan KURNUÇ SEYHAN

2025, 115 Sayfa

Azalan enerji kaynakları ve artan çevresel kaygılar, binalarda enerji verimliliğini artırma ve enerji tüketimini doğru tahmin etme gerekliliğini ön plana çıkarmıştır. Bu bağlamda Derece-Gün (DG) yöntemi, konut ve ticari binalarda ısıtma ve soğutma enerji gereksinimlerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel Isıtma Derece Gün (IDG) ve Soğutma Derece Gün (SDG) yaklaşımları, günlük ortalama dış sıcaklığın referans sıcaklıkla karşılaştırılması esasına dayansa da, gün içi sıcaklık dalgalanmalarını yeterince yansıtamamakta ve geçiş mevsimlerinde sınırlı kalmaktadır. Bu sınırlamaları gidermek amacıyla geliştirilen bölünmüş Derece Gün (bDG) yöntemi, gün içindeki belirlenen zaman dilimlerindeki minimum ve maksimum sıcaklıkları dikkate alarak hem ısıtma hem de soğutma enerjisi ihtiyaçlarını aynı gün içinde modelleyebilmektedir. Bu çalışmada 12:00–14:00 ve 14:00–16:00 olmak üzere iki farklı zaman dilimine göre bölünmüş Derece Gün ve geleneksel Derece Gün yöntemleri farklı referans sıcaklıkları için Erzincan ilinde seçilen mevcut bir binanın ısıtma ve soğutma enerji ihtiyaçları hesaplanmıştır. Geleneksel DG ve bDG yöntemleri ile hesaplanan ısıtma enerjisi ihtiyacı mevcut binanın gerçek ısıtma enerjisi tüketim verileri ile karşılaştırılmıştır. Özellikle 15 °C referans sıcaklığı baz alınarak ve 12:00–14:00 zaman dilimindeki bIDG hesaplamalarının, gerçek enerji tüketimine daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. 15 °C referans sıcaklığı ve 12:00–14:00 zaman diliminde yapılan bIDG hesaplamasında, geleneksel DG yöntemine göre %2.47 daha az yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı belirlenmiş olup, bu sonuç bIDG yönteminin ısıtma enerjisi ihtiyacı belirleme doğruluğunu artırarak ülke genelinde anlamlı düzeyde enerji tasarrufu sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bina enerji tüketimi, Derece gün, Bölünmüş derece gün

ABSTRACT

DETERMINATION OF BUILDING ENERGY CONSUMPTION WITH SPLIT DEGREE DAY METHOD

Serdar KARACA

**Master's Thesis, Erzincan Binali Yıldırım University, Institute of Science and
Technology,**

Department of Mechanical Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ashhan KURNUÇ SEYHAN

2025, 115 Pages

Decreasing energy resources and increasing environmental concerns have brought to the forefront the necessity to increase energy efficiency in buildings and to estimate energy consumption accurately. In this context, Degree-Day (DD) method is widely used to determine heating and cooling energy requirements in residential and commercial buildings. Although the conventional Heating Degree Day (HDD) and Cooling Degree Day (CDD) approaches are based on the comparison of the daily average outdoor temperature with the reference temperature, they cannot adequately reflect the intraday temperature fluctuations and are limited in transitional seasons. The split Degree Day (sDD) method, which was developed to overcome these limitations, can model both heating and cooling energy needs in the same day by taking into account the minimum and maximum temperatures at specified time periods during the day. In this study, the heating and cooling energy requirements of an existing building selected in Erzincan province are calculated for different reference temperatures for two different time periods, 12:00-14:00 and 14:00-16:00, using split Degree Day and conventional Degree Day methods. The heating energy requirement calculated by conventional DD and sHDD methods is compared with the actual heating energy consumption data of the existing building. In particular, it was observed that the sHDD calculations based on the reference temperature of 15 °C and in the 12:00-14:00 time period gave results closer to the actual energy consumption. The sHDD calculation at 15 °C reference temperature and 12:00-14:00 time period determined 2.47% less annual heating energy requirement compared to the conventional DG method, and this result reveals that the sHDD method can provide significant

energy savings throughout the country by increasing the accuracy of heating energy requirement determination.

Keywords : Building energy consumption, Degree day, Split degree day



TEŞEKKÜR

Danışman çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Aslıhan KURNUÇ SEYHAN'a tez boyunca yaptığı katkılardan dolayı, bana inanıp, güvendiği ve her konuda, her zaman yanımda oldukları için sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bana inanan, güvenen, maddi ve manevi her zaman yanımda olan aileme desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Meteorolojik verilerin hızlı tedarik edilmesinde desteklerini esirgemeyen Erzincan Meteoroloji İl Müdürü Sayın Yusuf Ziya DAĞ'a, çalışmada örnek olarak seçilen bina tüketim verilerinin paylaşılmasına müsaade eden Sayın Sinan ŞENGÜL'e teşekkürlerimi sunarım.

Serdar KARACA

Temmuz, 2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
TABLolar DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Enerji Kavramı ve Enerjinin Sınıflandırılması.....	1
1.2. Dünyada Enerjinin Önemi	3
1.3. Ülkemizde Enerjinin Önemi	5
1.4. Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik	6
1.5. Binalarda Enerji Verimliliğinin Önemi	13
1.5.1. Binalarda enerji verimliliği uygulamaları.....	14
1.5.2. Dünyada enerji verimliliğinin önemi.....	20
1.5.3. Türkiye’de enerji verimliliğinin önemi	21
1.5.4. Binalarda ısı yalıtımının önemi	22
1.6. Enerji Tüketimi Tahmin Yöntemlerinin Gerekliği.....	24
1.7. Tezin Amacı ve Kapsamı	25
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	27
2.1. Binalarda Enerji Tüketimini Etkileyen Faktörler	27
2.2. Enerji Tüketimi Tahmin Yöntemleri	27
2.2.1. Sıcaklık aralığı (bin) yöntemi	32
2.2.2. Derece gün yöntemi.....	33
2.2.3. Derece saat yöntemi	35
2.3. Derece Gün Değerleri ile Enerji İhtiyacının Belirlenmesi	35
2.3.1. Isıtma derece gün yöntemi (IDG).....	35
2.3.2. Soğutma derece gün yöntemi (SDG).....	42
2.3.3. Bölünmüş derece gün yöntemi (bDG).....	47
2.4. Literatürde Derece Gün Yöntemi ile Yapılmış Çalışmalar	51
3. YÖNTEM	54
4. BULGULAR	62

4.1. Isıtma ve Soğutma Derece Gün Hesaplaması.....	64
4.2. Bölünmüş Derece Gün Hesaplaması	71
4.3. Binanın Enerji İhtiyacı Hesabı	79
4.3.1 Binaın toplam ısı transfer katsayısının hesabı	80
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	100
KAYNAKÇA	102



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Sektörlere göre enerji dağılımı	14
Tablo 2. Bina enerji analiz yöntemlerinin sınıflandırılması	29
Tablo 3. Erzincan için en sıcak, en soğuk gün ve aylara ait ortalama sıcaklıklar (2014 - 2024)	62
Tablo 4. Isı transfer katsayısı hesaplanacak binanın temel özellikleri	82
Tablo 5. Yapı elemanlarının yüzey alanı ve toplam ısı transfer katsayı değerleri	82
Tablo 6. Bina yapı bileşenlerinin malzeme detayları	83
Tablo 7. Yapı elemanları ısı geçirgenlik katsayısı ve ısı kaybeden yüzey alan bilgileri	85
Tablo 8. Dış yüzeylerin alan ve direnç değerleri	88
Tablo 9. Örnek bina 2024 yılı ısınma enerjisi tüketim verileri	97

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması	2
Şekil 2. Dünya enerji kaynakları	4
Şekil 3. Enerji verimliliğinin çok yönlü faydaları	6
Şekil 4. Kaynaklara göre birincil enerji tüketimi	9
Şekil 5. Sektörlere göre nihai enerji tüketimi	10
Şekil 6. Bina enerji kimlik belgesi örneği	17
Şekil 7. Güneş ışıınının farklı cam çeşitleriyle etkileşimi.....	19
Şekil 8. Bina enerji vizyonu modelinin yapısı.....	21
Şekil 9. Çok katmanlı duvardaki sabit durum termal dirençlerinin temsili gösterimi.....	47
Şekil 10. bIDG'ün tanımlanması.....	48
Şekil 11. bSDG'ün tanımlanması.....	49
Şekil 12. TS 825 Standardına göre Türkiye derece gün bölgeleri iklim haritaları	55
Şekil 13. Ortalama günlük sıcaklık kullanılarak ısıtma derece gün hesaplaması.....	56
Şekil 14. Erzincan'ın Türkiye'deki konumu.....	60
Şekil 15. Erzincan ve ilçeleri.....	60
Şekil 16. Günlük ve saatlik sıcaklık verilerine dayanan ısı haritası (2014-2024)	61
Şekil 17. Erzincan aylık ortalama sıcaklık dağılımı (2014-2024)	63
Şekil 18. Erzincan ili için günlük ortalama sıcaklık dağılımı (2004–2024 ort.)	64
Şekil 19. 15 °C Referans sıcaklığı için ısıtma sezonu	64
Şekil 20. 18 °C Referans sıcaklığı için ısıtma sezonu	65
Şekil 21. 22 °C Referans sıcaklığı için soğutma sezonu	65
Şekil 22. 24 °C Referans sıcaklığı için soğutma sezonu	66
Şekil 23. Yıllık ortalama aylık ısıtma derece günleri (IDG - $T_b=15\text{ °C}$).....	66
Şekil 24. Aylık soğutma derece günleri (SDG - $T_b=22\text{ °C}$)	67
Şekil 25. Aylık ısıtma ve soğutma derece günleri (IDG ve SDG)	68
Şekil 26. Yıllık ortalama aylık ısıtma derece günleri (IDG - $T_b=18\text{ °C}$).....	68
Şekil 27. Aylık soğutma derece günleri (SDG - $T_b=24\text{ °C}$)	69
Şekil 28. Aylık ısıtma ve soğutma derece günleri (IDG ve SDG)	70
Şekil 29. Yıllık toplam derece günün dağılımı (IDG ve SDG)	70
Şekil 30. Aylık ısıtma bölünmüş derece günleri	71
Şekil 31. Aylık ısıtma bölünmüş derece günleri	72
Şekil 32. 15 °C -18 °C Referans sıcaklıkları için aylık bölünmüş ısıtma derece günleri	73

Şekil 33. Aylık soğutma bölünmüş derece günleri.....	73
Şekil 34. Aylık soğutma bölünmüş derece günleri.....	74
Şekil 35. 22 °C -24 °C Referans sıcaklıkları için bölünmüş soğutma derece günleri	75
Şekil 36. Aylık ısıtma bölünmüş derece günleri	75
Şekil 37. Aylık ısıtma bölünmüş derece günleri	76
Şekil 38. 15 °C -18 °C Referans sıcaklıkları için aylık bölünmüş ısıtma derece günleri	77
Şekil 39. Aylık soğutma bölünmüş derece günleri.....	77
Şekil 40. Aylık soğutma bölünmüş derece günleri.....	78
Şekil 41. 22 °C -24 °C Referans sıcaklıkları için aylık bölünmüş ısıtma derece günleri	79
Şekil 42. Binanın uzak uydu görüntüsü.....	80
Şekil 43. Binanın yakın uydu görüntüsü	80
Şekil 44. Binanın fotoğrafları	81
Şekil 45. Kat planları.....	81
Şekil 46. Yıllara göre rüzgar hızı dağılı (2014-2024)	90
Şekil 47. Ocak-Ağustos $h_{dış}$ ısı taşınım katsayısının aylara göre günlük değişimi	91
Şekil 48. Eylül-Aralık $h_{dış}$ ısı taşınım katsayısının aylara göre günlük değişimi	92
Şekil 49. $h_{dış}$ ısı taşınım katsayısının yıllık değişimi	92
Şekil 50. Aylara göre ısıtma enerjisi ihtiyaçları (15 °C referans sıcaklığı)	93
Şekil 51. Aylara göre ısıtma enerjisi ihtiyaçları (18 °C referans sıcaklığı)	94
Şekil 52. Aylara göre soğutma enerjisi ihtiyaçları (22 °C referans sıcaklığı)	95
Şekil 53. Aylara göre soğutma enerjisi ihtiyaçları (24 °C referans sıcaklığı)	96
Şekil 54. Hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları ile gerçekleşen tüketim verilerinin karşılaştırılması.....	97
Şekil 55. Hesaplanan yıllık soğutma enerjisi ihtiyaçlarının karşılaştırılması.....	98

SİMGELER VE KISALTMALAR

ASHRAE	Amerikan Isıtma, Soğutma ve Klima Mühendisleri Derneği
GSYİH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
IEA	International Energy Agency
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
PETDER	Türkiye Petrol Sanayi Derneği
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UEVEP	Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı
IDG	Isıtma Derece Gün
SDG	Soğutma Derece Gün
bIDG	Bölünmüş Isıtma Derece Günü
bSDG	Bölünmüş Soğutma Derece Günü
TEP	Ton Petrol Eşdeğeri

1. GİRİŞ

1.1. Enerji Kavramı ve Enerjinin Sınıflandırılması

Enerji, fizik biliminde temel bir kavram olup doğrudan gözlemlenemese de etkileri ve biçimleri aracılığıyla nicel olarak ölçülebilen bir büyüklüktür. Bunun yerine, bir sisteme etki ederek onun mevcut durumunu değiştirme ya da iş yapma yetisi olarak tanımlanmaktadır. İnsanlık tarihi boyunca bireyler, enerji verimliliğini ön planda tutmuş; aynı işleri daha az enerji kullanarak gerçekleştirme yollarını aramış ve bu doğrultuda sürekli bir gelişim göstermiştir (Koç ve Kaya, 2015).

Enerji, farklı biçimlerde ortaya çıkmakta olup çeşitli kategorilere ayrılabilir. Bu kategoriler arasında kinetik enerji, potansiyel enerji, kimyasal enerji, ısı (termal) enerjisi, elektrik enerjisi, nükleer enerji ve manyetik enerji yer almaktadır. Teknolojik gelişmelerin hız kazanması, sanayileşmenin artması ve dünya nüfusunun hızlı artışıyla birlikte enerjiye duyulan ihtiyaç da giderek büyümektedir. Enerji, üretim süreçlerinin temel girdisi olması bakımından toplumların refah düzeyini belirleyen en önemli unsurlardan biri haline gelmiştir. Günlük yaşamın neredeyse tüm alanlarında enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır (Öztürk, 2024).

Enerjinin korunumu yasasına göre, enerji yoktan var edilemeyeceği gibi yok da edilemez; yalnızca bir formdan başka bir forma dönüşebilir. Bu temel ilke, enerji dönüşümleri ve sınıflandırmaları için çeşitli yöntemlerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Koç ve Kaya, 2015). Enerji kaynağı terimi, enerji üretiminde kullanılan doğal ya da yapay sistemleri ifade eder ve genellikle ekonomik ve fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılır.

Enerji kaynakları, kullanım şekillerine ve yenilenebilirlik durumlarına göre genel olarak yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak iki gruba ayrılmaktadır. Diğer bir sınıflandırma ise dönüştürülebilirlik esasına dayanır; bu bağlamda enerji kaynakları birincil (örneğin kömür, ham petrol, doğal gaz) ve ikincil (örneğin elektrik, hidrojen) kaynaklar olarak ayrılmaktadır. Yenilenemez enerji kaynakları doğada sınırlı miktarda bulunan ve yeniden oluşumları milyonlarca yıl sürebilen kaynaklardır. Bu gruba fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğal gaz) ile nükleer enerji kaynakları dahildir. Buna karşılık, yenilenebilir enerji kaynakları, insan ömrü ölçeğinde sürekli olarak kendini yenileyebilen doğal süreçlerden elde edilen enerji

türleridir. Bu kaynakların yeniden oluşumu için dışarıdan enerji veya uzun zaman dilimleri gerekmemektedir (Koç ve Şenel, 2013).

Yenilenebilir enerji türleri doğrudan iklimsel ve çevresel süreçlerle ilişkilidir. Kendi kendini yenileyebilme yetenekleri ve tükenmez oluşlarıyla ön plana çıkarlar. Bu kapsamda değerlendirilen başlıca yenilenebilir enerji kaynakları; hidrolik enerji, güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, dalga enerjisi ve hidrojen enerjisidir.



Şekil 1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması

Bu enerji kaynakları işlevselliklerine göre üç ana gruba ayrılabilir (Ablabekova, 2008):

1. Dönüştürme Gerektiren Yenilenebilirler: Kullanılmadan önce genellikle elektrik enerjisine dönüştürülmeleri gerekir. Bu gruba güneş enerjisi sistemleri, rüzgar türbinleri, dalga enerjisi sistemleri ve hidroelektrik santraller örnek verilebilir.
2. Doğrudan Kullanılabilir Yenilenebilirler: Bu enerji kaynakları, herhangi bir dönüşüme ihtiyaç duymaksızın doğrudan kullanılabilirler. Rüzgar enerjisi ve güneş fotovoltaik hücreleri bu gruba girer. Ancak bu kaynakların doğası gereği aralıklı (kesintili) olmaları, depolanmalarını zorlaştırmakta ve rezerv tahminlerini güçleştirmektedir.
3. Depolanabilir Yenilenebilir Enerji Kaynakları: Bu gruptaki kaynaklar üretildikten sonra depolanabilir ve ihtiyaç duyulan sektörlerde daha sonra kullanılabilir. Biyoyakıtlar (örneğin biyodizel ve biyoetanol) bu kategoriye örnek olarak gösterilebilir.

Bu üçlü sınıflandırma, yenilenebilir enerji teknolojilerinin çeşitliliğini ve potansiyel kullanım alanlarını ortaya koymakta; aynı zamanda bu kaynakların küresel enerji sistemleri içindeki önemini giderek arttığını göstermektedir.

1.2. Dünyada Enerjinin Önemi

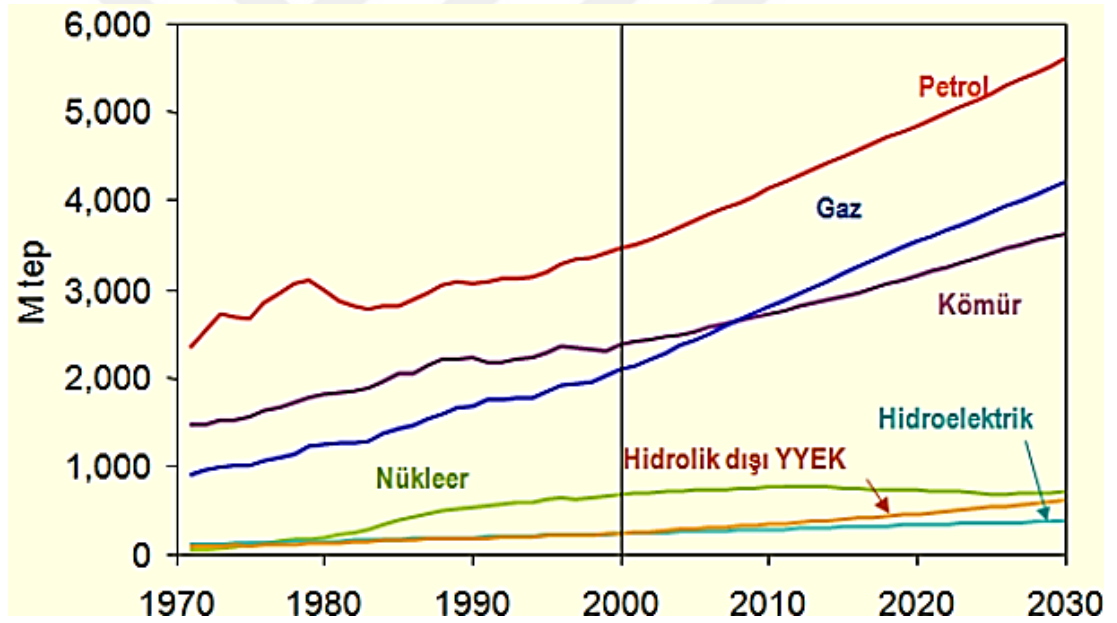
Enerji kaynaklarının kullanıma yönelik seçimi yapılırken; kaynağın çıkarılabilirliği, temin maliyeti ve işleme verimliliği gibi çeşitli değişkenler göz önünde bulundurulmaktadır. Tüm enerji türleri arasında elektrik enerjisi, gerek sanayi gerekse ticaret ve konut alanlarındaki yaygın kullanımı nedeniyle küresel ölçekte en stratejik enerji formu olarak öne çıkmaktadır. Elektrik enerjisi, hem yenilenebilir hem de tükenebilir enerji kaynaklarından üretilme özelliğine sahiptir. Bununla birlikte, hem üretim hem de kullanım açısından en maliyetli enerji türlerinden biri olduğu genel kabul görmektedir.

Sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelik ilgi giderek artmakta olsa da, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisinin birim maliyetinin fosil kaynaklara kıyasla daha yüksek olması, özellikle geçiş sürecindeki ekonomiler açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir. Öte yandan, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde kalkınma düzeyi ve yaşam standartları çoğunlukla kişi başına düşen elektrik tüketimi ile elektrik altyapısının gelişmişliği gibi göstergeler üzerinden değerlendirilmektedir.

Verilere göre Kasım 2025 itibarıyla dünya nüfusu yaklaşık olarak 8.3 milyara ulaşmıştır (Countrymeters, 2025). Bu demografik artış eğilimi, küresel enerji talebinde de paralel bir

yükselişi beraberinde getirmektedir. Özellikle Çin gibi hızlı sanayileşme sürecinde olan ülkelerin, önümüzdeki dönemlerde küresel enerji tüketimine önemli ölçüde katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Günümüzde Çin, Amerika Birleşik Devletleri'nin ardından dünyanın en fazla enerji tüketen ikinci ülkesi konumundadır.

Şekil 2'de dağılımı ve yıllara göre durumu belirtilen dünya genelindeki enerji tüketim profilleri incelendiğinde, toplam tüketimin büyük bir kısmının hâlâ yenilenemeyen enerji kaynaklarına — başta petrol, kömür ve doğal gaz olmak üzere — dayandığı görülmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2002 tarihli Dünya Enerji Görünümü raporunda, petrolün en az 2030 yılına kadar küresel enerji arzı açısından vazgeçilmez bir kaynak olmayı sürdüreceği öngörülmektedir. Ayrıca, 2010 yılında doğal gazın kömürü geride bırakarak öncelikli bir enerji kaynağı hâline gelmesi, tüketim kalıplarında dikkate değer bir değişimin göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Akdağ, 2023).



Şekil 2. Dünya enerji kaynakları

Başta Amerika Birleşik Devletleri ve Çin gibi sanayileşmiş ülkelerde ekonomik büyümeye yönelik kesintisiz arzular ve enerjiye yüksek oranda bağımlı üretim süreçlerinin sürekliliği, petrole olan talebi artırmakta ve bu durum enerji fiyatlarının daha da yükselmesine zemin hazırlamaktadır. Bu çerçevede, enerjinin hem ulusal hem de küresel ölçekte ekonomik sistemler

içerisindeki en büyük gider kalemlerinden biri olarak varlığını sürdürmesi olasıdır (Pamir, 2003).

1.3. Ülkemizde Enerjinin Önemi

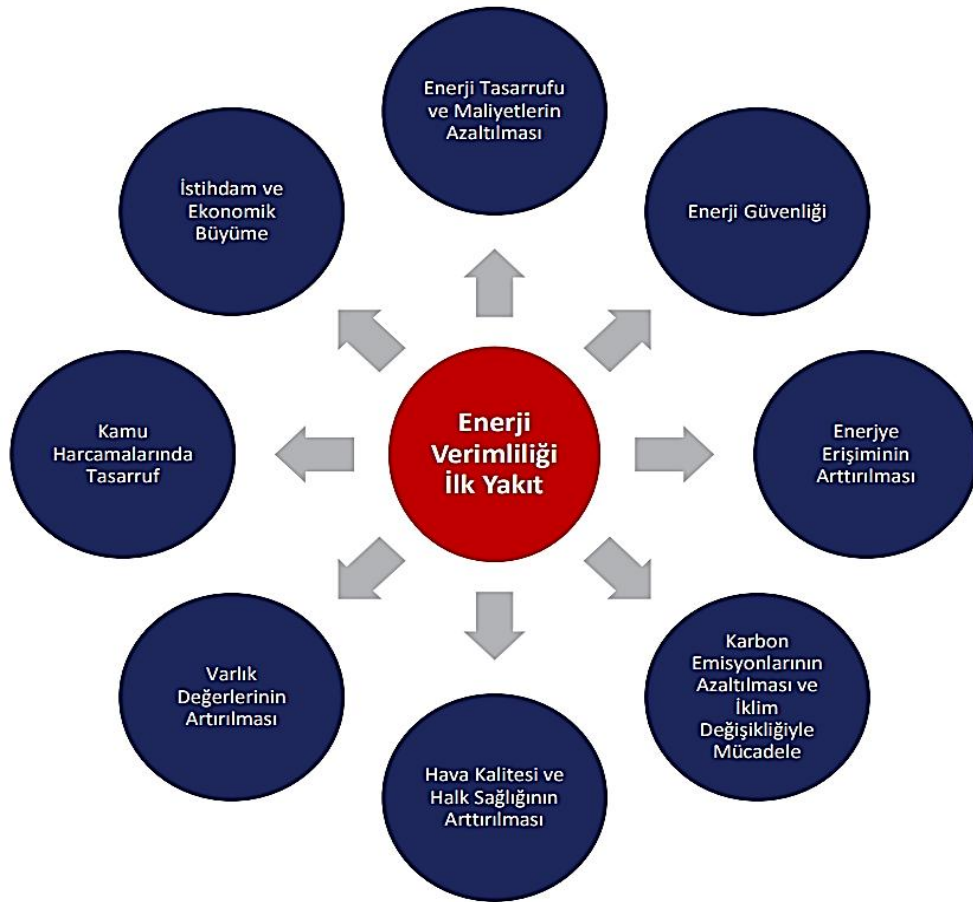
Bir ülkenin enerji tüketimi ile ekonomik büyümesi arasında doğrudan ve güçlü bir bağ bulunmaktadır. Genellikle artan enerji kullanımı, ülkelerin sanayi ve ekonomik yapılarında yaşanan gelişmelerin olumlu bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Ancak Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler açısından bu ilişki, iki yönlü bir sorun teşkil etmektedir. Enerji alanında ithalata yüksek oranda bağımlı olunması ve yerli üretim kapasitesinin sınırlı düzeyde kalması, artan enerji tüketiminin ülke ekonomisi üzerinde baskı oluşturmaya neden olmaktadır. Türkiye’de nüfus artışı ve sanayileşme süreciyle birlikte yükselen enerji talebi, yerli kaynakların yetersizliği ile birleştiğinde, enerji ithalatında sürekli bir artışa yol açmıştır. Bu dışa bağımlılık, enerjiyi yalnızca stratejik bir üretim girdisi olmanın ötesine taşıyarak, aynı zamanda dış ticaret açığı ve döviz kuru dalgalanmaları gibi makroekonomik riskler açısından da kritik bir unsur hâline getirmektedir (Akdağ, 2023).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın (2024) yayımladığı güncel verilere göre, Türkiye’nin 2023 yılı toplam birincil enerji arzı, 2022 yılında kaydedilen 157.8 milyon ton petrol eşdeğeri (TEP) seviyesine kıyasla %0.4 oranında artarak 158.4 milyon tep olarak gerçekleşmiştir. Birincil enerji arzında yerli kaynakların payını gösteren yerelleşme oranı ise %31 düzeyindedir.

Enerji türleri bazında değerlendirildiğinde; katı yakıt arzı %4.7 oranında azalarak 40 milyon TEP’e gerilemiş; buna karşılık petrol arzı %6 artarak 47.8 milyon TEP’e ulaşmıştır. Doğal gaz arzı ise %4.1 oranında azalışla 41.5 milyon TEP olarak kaydedilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları ise %5.9 oranında artış göstererek 28.7 milyon tep düzeyine ulaşmıştır. Yenilenebilir kaynaklara ilişkin alt başlıklar incelendiğinde; güneş enerjisinde %19.3, jeotermal enerjide %7.5 ve biyoenerji ile atık bazlı enerjide %13.2 oranlarında yıllık artışlar kaydedilmiştir. Bu veriler, Türkiye’nin enerji politikasında sürdürülebilirliğe dayalı enerji üretimine yönelik olarak istikrarlı ve anlamlı bir geçiş süreci içerisinde olduğunu göstermektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024).

1.4. Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik

Enerji verimliliği, enerji arz güvenliğini sağlamlaştırmak, iklim değişikliğiyle ilişkili riskleri en aza indirmek ve rekabetçi enerji hedeflerine ulaşmak açısından küresel ölçekte önemli bir fırsat alanı sunmaktadır. Enerjinin etkin bir biçimde üretilmesi ve tüketilmesi, yalnızca enerji ve iklim politikalarının merkezinde yer almakla kalmayıp, aynı zamanda çok boyutlu ekonomik ve toplumsal kalkınma hedeflerine katkı sağlama potansiyeline de sahiptir. Enerji verimliliğindeki gelişmeler; farklı sektörlerde yarattığı çeşitli faydalar aracılığıyla, daha güvenli, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir bir enerji yapısının oluşmasına olanak tanımaktadır (IICEC, 2025).



Şekil 3. Enerji verimliliğinin çok yönlü faydaları

Ülkelerin ekonomik gelişim hedefleri, hızlanmış sanayileşme süreci ve düzensiz göç hareketleriyle birlikte yükselen konut ihtiyacı enerji tüketiminin daha da artmasına sebep olmuştur. Buna karşılık, enerjinin yüksek maliyeti hem ulusal ekonomileri hem de bireylerin ekonomik durumunu olumsuz yönde etkilemektedir. 1973 yılındaki enerji krizi, enerji tasarrufu ve verimliliğinin önemini öne çıkararak, dünya genelindeki yönetimleri enerji koruma

politikalarına öncelik vermeye teşvik etmiştir. Böylece, artan enerji talebini karşılamak ve maliyetleri düşürmek amacıyla enerji verimliliği çalışmalarına önemli ölçüde ağırlık verilmiştir.

Enerji ithalatına yüksek oranda bağımlı olan ve modern enerji hizmetlerine yönelik talebin sürekli arttığı enerji sistemlerinde, verimlilik odaklı yaklaşımlar enerji maliyetlerinin daha öngörülebilir ve yönetilebilir hale gelmesine katkı sunmaktadır. Bu durum özellikle enerji arz güvenliğine ilişkin belirsizliklerin arttığı dönemlerde belirginleşmektedir. Bu gibi dönemlerde enerji maliyetlerinde yaşanan artış ve arz endişeleri, daha rasyonel ve verimli tüketim eğilimlerini teşvik etmekte, bu da ülke ekonomilerinin enerji yoğunluğu göstergelerinde iyileşme sağlamaktadır (IEA, 2019; IEA, 2024a).

Enerji verimliliği genellikle enerji yoğunluğu, sektörel bazda verimlilik göstergeleri ve talep odaklı birim enerji tüketimi verileri gibi ölçülebilir parametreler aracılığıyla analiz edilmektedir (IEA, 2025). Bu ölçütler arasında en yaygın kullanılanı enerji yoğunluğudur ve bu kavram, toplam enerji tüketiminin Gayri Safi Yurtiçi Hasıla'ya (GSYİH) oranı şeklinde tanımlanır. Bu gösterge, ekonomik büyüme ile enerji talebi arasındaki bağlantının makro düzeyde incelenmesine olanak sağlamaktadır (IEA, 2024b). Küresel düzeyde enerji yoğunluğunda gözlenen azalma, ekonomik üretimin birincil enerji tüketimindeki artıştan daha hızlı büyüdüğünü ve dolayısıyla enerji verimliliğinde ilerleme kaydedildiğini ortaya koymaktadır. Enerji yoğunluğu, aynı zamanda Satın Alma Gücü Paritesi'ne dayalı GSYİH verileri kullanılarak da hesaplanabilmektedir. 2000–2023 yılları arasında küresel enerji yoğunluğu, geleneksel GSYİH verileriyle yaklaşık %20, Satın Alma Gücü Paritesi bazlı hesaplamalarda ise yaklaşık %40 oranında azalmıştır (IEA, 2025).

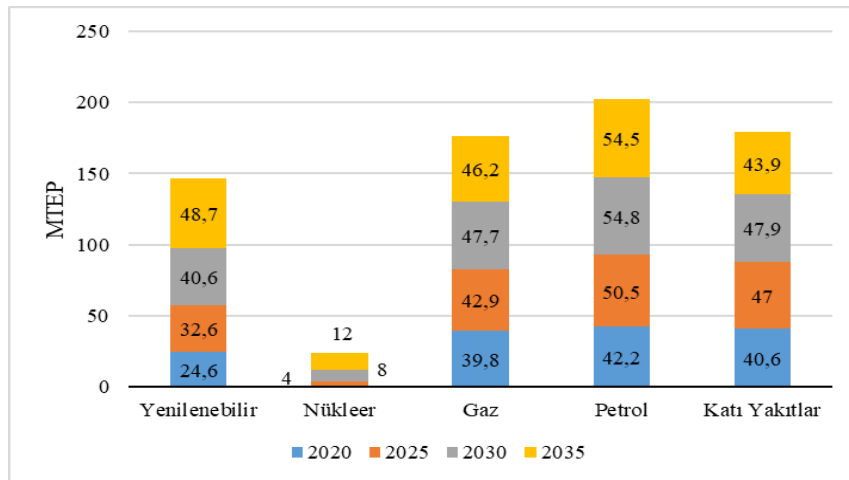
2024 yılı itibarıyla, enerji yoğunluğundaki küresel iyileşme oranı bir önceki yıl olan 2023 ile benzer şekilde yaklaşık %1 seviyesindedir; ancak bu oran, 2022 yılında kaydedilen %2'lik gelişmeye kıyasla ciddi bir yavaşlamaya işaret etmektedir. 2020–2024 dönemine ait yıllık ortalama iyileşme oranı da yaklaşık %1 düzeyindedir. COP28 Zirvesi'nde belirlenen ve enerji yoğunluğunun yılda %4 oranında azaltılması hedefi doğrultusunda küresel enerji verimliliği artış hızının iki katına çıkarılması gerektiği göz önüne alındığında, mevcut ilerleme oranı bu hedefin oldukça gerisindedir (IEA, 2024b). Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından geliştirilen “COP28 Tam Uygulama Senaryosu”, enerji verimliliğini, net sıfır emisyon hedefleriyle uyumlu yol haritalarının temel bileşenlerinden biri olarak tanımlamaktadır. Bu senaryoya göre, 2030 yılına kadar petrol ve doğalgaz talebinde beklenen düşüşün önemli ölçüde

verimlilik artışları ve elektrifikasyon adımlarından kaynaklanacağı öngörülmektedir. Özellikle, petrol talebindeki azalmanın yaklaşık %40'ı yenilenebilir enerji ve düşük emisyonlu yakıt kullanımının artmasından, %30'u elektrifikasyondan, %20'si teknik verimlilik önlemlerinden ve %10'u ise bireysel davranış değişimlerinden kaynaklanacaktır. Elektrikli araçlara geçiş, özellikle bireysel ve ticari taşımacılık alanlarında büyük bir etki yaratırken; ağır taşıt araçlarında yakıt verimliliğinin artırılması ve gelişmiş motor teknolojilerinin kullanımı da petrol tüketiminde önemli azalmalar sağlayacaktır (IEA, 2024c; IEA, 2024d). Doğal gaz talebindeki düşüşün ise yaklaşık %35'inin elektrifikasyondan, %25'inin yenilenebilir enerjiye geçişten, %20'sinin teknik verimlilik iyileştirmelerinden ve %20'sinin davranışsal değişimlerden kaynaklanacağı tahmin edilmektedir. Bu bağlamda, enerji verimliliği çözümlerinin yaygınlaştırılması, fosil yakıt kaynaklı karbon emisyonlarının azaltılmasında belirleyici stratejilerden biri olarak ön plana çıkmaktadır. IEA'nın kapsamlı analizlerine göre, 2030 yılına kadar gerekli olan toplam karbon emisyonu azaltımının en az %35'i yalnızca enerji verimliliğindeki iyileştirmeler sayesinde sağlanabilecektir (IEA, 2024c). Bu değerlendirme, enerji verimliliğinin küresel ölçekte karbonsuzlaşma hedeflerinin gerçekleştirilmesi ve sürdürülebilir enerjiye geçiş süreçlerinin başarısı açısından stratejik önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.

Aynı zamanda, enerji verimliliği, endüstriyel süreçlerde üretim miktarı ve kalitesinden ödün verilmeden ya da binalarda yaşam konforu ve hizmet standartları azalmadan, birim ürün veya hizmet başına düşen enerji tüketiminin asgariye indirilmesini hedefleyen yöntem ve uygulamaları kapsamaktadır. Günümüzde enerji talebi; hızlı sanayileşme, artan yaşam kalitesi ve sürekli yükselen nüfus gibi faktörlerin etkisiyle düzenli bir şekilde artış göstermektedir. Özellikle nüfus artışı, konut ve buna bağlı enerji ihtiyaçlarının artmasına neden olarak enerji gereksinimlerinde doğrudan bir artışa yol açmaktadır. Dünya genelinde ve ülkemizde binalarda kullanılan enerji, toplam enerji tüketiminin yaklaşık %35-40'ını oluşturmakta olup, bu tüketimin büyük bir kısmı ısıtma amaçlıdır. Isıtma için harcanan enerjinin yüksek oranı, yapıların ısı kayıplarını etkin şekilde önleyebilen uygun yapı malzemelerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Tasarım sürecinde; malzemelerin dayanıklılığı, ekonomikliği, kolay temin edilebilirliği ve çevresel koşullara dayanıklılığı başlıca kriterler arasında yer almaktadır. Ayrıca, yüksek konfor ve yaşanabilirlik sunan yapılar talebi, mimar ve mühendisleri tasarım anlayışlarını gözden geçirmeye yönlendirmiştir (Bektaş vd., 2017).

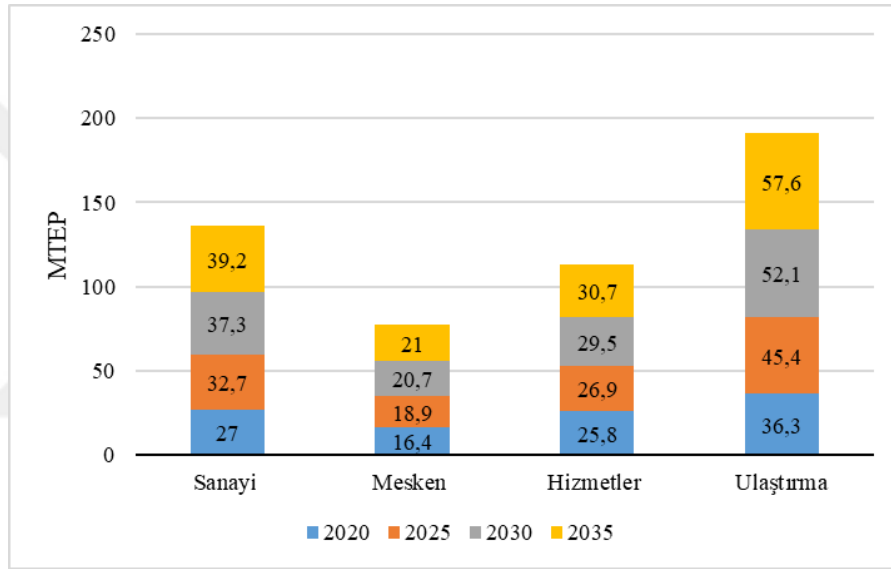
Sağlam bir yapının doğru projelendirilmesi, taşıyıcı sistemlerin uygun seçimi ve yerinde doğru uygulama kadar, enerji verimliliği açısından kaliteli ve dayanıklı yapı malzemelerinin tercih edilmesi de kritik öneme sahiptir. Uygun malzeme seçimi ve tasarım stratejileri ile binalarda %45-50 civarında enerji tasarrufu sağlanarak, genel enerji giderleri önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Konut sektörü, enerji tüketimi açısından sanayi sektörünün ardından ikinci sırada yer almakta olup, bu durum konutlardaki enerji kullanımının ekonomik önemini ortaya koymaktadır (Narin ve Akdemir, 2006). Ancak, hızlı ve plansız kentleşmenin sonucu olarak ortaya çıkan eski ve kalitesiz yapıların yaygınlığı, enerji tüketiminde olumsuz etkiler yaratmaktadır (Demircan ve Uçak, 2009).

Birleşmiş Milletler'in 2021 yılı nüfus projeksiyonlarına göre, dünya nüfusu yaklaşık 7.875 milyar düzeyine ulaşmış, Türkiye'nin nüfusu ise yaklaşık 84,68 milyon olarak kaydedilmiştir (Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], 2021; TÜİK, 2022). Buna karşılık, 2020 yılına ait Birleşmiş Milletler verileri, dünya nüfusunun yaklaşık 7.795 milyar, Türkiye nüfusunun ise yaklaşık 83,61 milyon olduğunu ortaya koymaktadır (TÜİK, 2021; TÜİK, 2022). Bu veriler, yalnızca bir yıl içinde dünya nüfusunun yaklaşık 80 milyon kişi arttığını ve bu artışın küresel enerji talebindeki yukarı yönlü eğilimi doğrudan yansıttığını göstermektedir. Nüfus artışına paralel olarak enerji talebi de yükselmeye devam etmektedir. Hâlihazırda bu talebin önemli bir kısmı fosil yakıt kaynakları ile karşılanmakta, ancak yenilenebilir enerji teknolojilerinin sistemdeki payı da giderek artmaktadır. Bununla birlikte, sadece enerji üretim altyapısının genişletilmesi ya da kaynak çeşitliliğinin artırılması yeterli değildir; enerji verimliliğine yönelik iyileştirme çalışmaları, artan enerji talebini kontrol altına almak için uygulanabilir ve etkili bir çözüm yolu sunmaktadır.



Şekil 4. Kaynaklara göre birincil enerji tüketimi

Şekil 4’te, ülkemizin 2020 yılı birincil enerji tüketimi 147.2 Mtep olarak gerçekleşmiştir. Yapılan projeksiyona göre 2035 yılına kadar birincil enerji tüketimi 205.3 Mtep’e yükselmektedir. 2000-2020 döneminde yıllık ortalama %3.1 oranında artış göstermiş olan birincil enerji tüketimi, 2020-2035 döneminde %2.2 düzeyinde artmaktadır. 2020 yılında 1.7 tep/kşi olan kşi başı birincil enerji tüketimi 2.1 tep/kşi düzeyine çıkmaktadır. 2020 yılında %16.7 olan birincil enerji tüketimi içindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının payı 2035 yılına kadar %23.7 bandına yükselmektedir. Nükleer enerji ise 2035 yılına kadar %5.9’luk paya ulaşmaktadır. 2020 yılında %83.3 olan fosil kaynakların payı 2035 yılına kadar %70.4 olarak gerçekleşmektedir. Kömürün payı %21.4’e inerken, petrol %26.5, doğal gaz %22.5’e gerilemektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022).



Şekil 5. Sektörlere göre nihai enerji tüketimi

Şekil 5’de, 2020 yılında 105.5 Mtep olan nihai enerji tüketimi yapılan projeksiyona göre 2035 yılına kadar 148.5 Mtep’e yükselmektedir. 2020 yılında %34.4 ile nihai enerji tüketimi içinde en yüksek paya sahip olan sanayi sektörünün payı 2035 yılına kadar %38.7’ye yükselmektedir. Mesken ve hizmetler sektörünün toplam içindeki %40.1’lik payı ise 2035 yılına kadar %34.9’a gerilemektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022).

Bu çerçevede enerji tasarrufu, enerji kullanımının bilinçli ve planlı bir şekilde azaltılmasını ifade eder. Enerji israfını önlemeye ve mevcut kaynakların daha etkin kullanılmasını teşvik etmeye yönelik uygulama ve tedbirleri kapsamaktadır. Tasarruf, tüketimin azaltılmasına odaklanırken; enerji verimliliği, aynı hizmet veya üretim çıktısının daha az enerjiyle

gerçekleştirilmesine olanak tanır. Bu iki kavram farklı yönlerde sahip olsalar da birbirlerini tamamlar niteliktedir; zira enerji tasarrufu uygulamaları, enerji verimliliği süreçlerinin başarıya ulaşmasında önemli rol oynar. Enerji verimliliği konusunda kayda değer ilerleme sağlanabilmesi için, bu iki unsurun eş zamanlı ve bütüncül biçimde uygulanması gereklidir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022).

Artan enerji talebi ve çevresel kirlenme sorunlarına karşılık olarak, birçok ülke ulaşım alanında enerji verimliliğini önceliklendiren çeşitli politika adımları atmıştır. Ulaşımında enerji performansını etkileyen üç temel unsur bulunmaktadır:

1. Kentsel planlama ve lojistik sistemleri: Rota optimizasyonu, teslimat zamanlaması ve ulaşım yönetim stratejileri bu kapsamda değerlendirilmektedir.
2. Ulaşım: Karayolu, demiryolu, denizyolu veya havayolu gibi farklı ulaşım alternatiflerinin seçimi enerji verimliliğini doğrudan etkilemektedir.
3. Araçlara özgü teknik özellikler: Yakıt tasarrufu, bakım süreçleri, motor verimliliği ve sürücü alışkanlıkları gibi unsurlar bu başlık altında ele alınmaktadır.

Bu parametrelerin her biri, ulaşım sistemlerinin enerji performansının artırılması açısından temel öneme sahiptir.

18. ve 19. yüzyıllarda başlayan Sanayi Devrimi, üretim odaklı ekonomik yapıların güçlenmesine yol açmış; bu dönüşüm, enerji tüketiminde keskin bir artışı beraberinde getirmiştir. Günümüzde sanayileşmenin küresel ölçekte devam etmesi, enerji ihtiyacının önümüzdeki süreçte daha da artacağına işaret etmektedir. Geleneksel enerji kaynaklarının sınırlı yapısı göz önünde bulundurulduğunda, enerji verimliliğinin artırılması sanayi politikalarında öncelikli bir hedef hâline gelmiştir. Bu bağlamda, üretim kalitesini düşürmeden birim başına daha az enerji tüketmek temel amaç olarak benimsenmiştir.

Bu hedef doğrultusunda uygulamaya alınan başlıca teknolojik çözümler şunlardır:

- Yüksek verimli elektrik motorlarının kullanımı,
- Kazan sistemlerinin modernize edilmesi,
- İleri düzey kompresör teknolojilerinin yaygınlaştırılması.

Bina sektörü, enerji verimliliği açısından yüksek potansiyele sahip bir diğer alandır. Bu alanda verimliliğin artırılması; ısıtma ve soğutma sistemlerinin iyileştirilmesi, aydınlatma teknolojilerinin güncellenmesi ve elektrikli cihazların performanslarının optimize edilmesiyle sağlanabilir. Bu doğrultuda kullanılan temel stratejiler şu şekilde özetlenebilir:

- Enerji tasarruflu ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemlerinin kurulumu,
- Düşük enerji tüketimli aydınlatma teknolojilerinin tercih edilmesi,
- Yüksek yalıtım performansı sunan yapı malzemelerinin kullanımı,
- Enerji etiketi ve verimlilik belgesi bulunan cihazların seçimi ve kullanımı.

Güncel akademik ve uygulamalı araştırmalar, hem yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesine hem de mevcut yapıların enerji verimliliğini artırmaya yönelik iyileştirme çalışmalarına odaklanmaktadır. Enerji tasarrufunun yalnızca ekonomik değil, aynı zamanda çevresel açıdan da önemli getirileri olması, bina sektöründeki verimlilik çalışmalarını sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin ayrılmaz bir parçası hâline getirmiştir (İçme, 2023). Sürdürülebilirlik, insanlığın yaşam modeli nedeniyle ortaya çıkan küresel krizler ve sonuçları sebebiyle gündeme gelmiştir. Son 50 yılda sürdürülebilirlik konusu uluslararası politikalarla desteklenmiş, Birleşmiş Milletler 2016'da "Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları"nı belirleyerek 2030 yılına kadar yoksulluğun ortadan kaldırılması, çevrenin korunması ve herkesin refah içinde yaşaması hedefini koymuştur. Türkiye, sürdürülebilirlik endeksinde 72. sırada yer almakta olup enerji alanında erişim ve temiz enerji kullanımı konusunda ilerleme göstermektedir (Sustainable Development Report, 2024). Enerji, sürdürülebilirliğin temel bileşenlerinden biridir; enerji verimliliği çevresel, ekonomik ve sosyal faydalar sağlar. Çevresel olarak karbon emisyonlarını azaltır, ekonomik açıdan maliyetleri düşürür ve istihdam yaratır, sosyal boyutta ise enerji yoksulluğunun azaltılmasına katkı sağlar.

Avrupa Birliği, 2050'ye kadar sera gazı emisyonlarını net sıfıra indirmeyi amaçlayan "Avrupa Yeşil Mutabakatı" kapsamında 2023'te Enerji Verimliliği Direktifi'ni yürürlüğe koymuş ve 2030'a kadar enerji tüketiminde %11.7 azalma hedeflemiştir (Dışişleri Bakanlığı, 2023). AB ülkeleri enerji verimliliğini öncelikli politika haline getirmiştir. Türkiye de bu alanda Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'nı yayımlamış, 2030'a kadar %16 enerji tasarrufu ve 100 milyon ton emisyon azaltımı hedeflemiştir. Bilimsel araştırmalar ve uluslararası iş birliğiyle enerji verimliliği politikalarının iklim kriziyle

mücadelede kritik rol oynayacağı vurgulanmaktadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024).

1.5. Binalarda Enerji Verimliliğinin Önemi

Binalardaki enerji tüketimi, hem dünya genelinde hem de Türkiye’de toplam enerji kullanımının yaklaşık %35-40’ını teşkil etmektedir. Bu tüketimin büyük bir bölümü ısıtma amaçlı enerji harcamalarından kaynaklanmaktadır. Enerji kullanımına bağlı yüksek maliyetler, konut sektöründe çeşitli enerji verimliliği tedbirlerinin uygulanmasını zorunlu kılmıştır. Tablo 1’de, binalarda enerji tüketiminin farklı sektörler bazında ortalama dağılımı sunulmaktadır. Yüksek enerji tüketen sektörler arasında önemli bir konuma sahip olan binalar, enerji tasarrufu artırma ve iklim değişikliği ile mücadele kapsamında öncelikli çalışma alanı haline gelmiştir. Gelişmiş ülkelerde ve Avrupa Birliği (AB) üyesi ülkelerde, bina sektöründe enerji verimliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik temel stratejilerden biri olarak ön plana çıkmaktadır. Binaların konforlu yaşam alanları sağlaması, yüksek düzeyde kullanıcı memnuniyeti sunması ve çevresel koşullara uyum gösterebilmesi, mimari ve mühendislik tasarım yaklaşımlarında köklü değişiklikleri zorunlu kılmıştır. Binalarda yoğun enerji tüketiminin çevresel ve ekonomik olumsuz etkileri, bu tasarım ilkelerinin şekillenmesinde belirleyici rol oynamıştır (Akdağ, 2023).

Bu bağlamda, yeni inşa edilen yapıların enerji verimliliğini artırmaya yönelik mimari tasarım çözümleri üzerine yapılan araştırmalar giderek artmaktadır. Mevcut yapılar üzerinde uygulanabilirliği ve maliyet etkinliği nedeniyle, ısı yalıtımı halen en yaygın tercih edilen enerji tasarruf yöntemidir. Türkiye’de bina stoğu ağırlıklı olarak betonarme yapı tiplerinden oluşmaktadır. Türkiye’nin, binalarda enerji tüketimiyle ilgili standartlar, yaptırımlar ve düzenlemeler geliştirmeyi teşvik eden Kyoto Protokolü’nün tarafı olmasına rağmen, yasal düzenlemeler ve uygulamalar ağırlıklı olarak yeni binaları kapsamaktadır. Türkiye’de 2000 yılı öncesine ait yapı stokunun fazlalığı, bina sektöründe enerji tüketiminin yüksek olmasında önemli bir etkidir (Soğukoğlu ve Vatan, 2014).

Türkiye’deki binalarda tüketilen enerjinin büyük bir kısmı ısıtma amaçlıdır. Isıtma enerji maliyetlerinin azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, ısı yalıtım malzemelerinin (örneğin dış cephe kaplamaları), çift camlı pencerelerin kullanılması ve ısı

kaybını önlemek amacıyla dış duvar kalınlıklarının artırılması gibi çeşitli yöntemler uygulanmaktadır.

Tablo 1. Sektörlere göre enerji dağılımı

Sektörler	Dağılım Yüzdesi
Binalar	%35
Ulaştırma	%20
Sanayi	%40
Diğer	%5

1.5.1. Binalarda enerji verimliliği uygulamaları

Bina sektöründe enerji verimliliğine ilişkin olarak, 05 Aralık 2008 tarihli ve 27075 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik ile binaların enerji tüketim düzeylerine göre sınıflandırılmasını belirleyen Enerji Performans Belgesi (EPB) alma zorunluluğu getirilmiştir. 2022 yılının sonu itibarıyla toplamda 1.402.694 adet EPB düzenlenmiş olup, bunların 369.712’si mevcut binalara, 1.032.982’si ise yeni inşa edilen yapılara aittir. 2023 yılı sonuna kadar EPB sayısının yaklaşık 1.450.000’e ulaşması hedeflenmektedir. Sertifikalandırılmış binalar arasında yenilenebilir enerji sistemleri kullananların sayısı 73.057 olup, bu sayının 2023 sonuna kadar 85.000 binaya çıkarılması planlanmaktadır. Bunun yanı sıra, 14 Nisan 2008 tarihli ve 26847 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan “Merkezi Isıtma ve Sıhhi Sıcak Su Sistemlerinde Isıtma ve Sıhhi Sıcak Su Giderlerinin Paylaşımı Hakkında Yönetmelik” uyarınca, merkezi ısıtma sistemine sahip tüm binalarda, yaşlarına bakılmaksızın, gider paylaşımı uygulamalarının zorunlu hale getirilmesi sağlanmıştır. Bu kapsamda, 2022 yılı sonu itibarıyla ölçüm ve gider tahsisi belgelerini düzenleme yetkisine sahip 174 adet yetkili ölçüm firması bulunmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023). Ayrıca, doğal kaynaklar ile enerjinin etkin kullanımı yoluyla binalar ve yerleşim alanlarının çevresel etkilerini minimize etmeyi amaçlayan “Binalar ve Yerleşimler İçin Yeşil Sertifika Yönetmeliği” (12 Haziran 2022 tarihli ve 31864 sayılı Resmî Gazete) yayımlanmıştır. Söz konusu yönetmelik; yeşil sertifika uzmanları, değerlendirme kuruluşları ve eğitim kurumlarının niteliklerini, ayrıca yeşil binalar ve yerleşim alanlarının değerlendirilmesine ilişkin usul ve esasları düzenlemektedir. Sertifikasyon süreçlerinin etkin yürütülmesi amacıyla Bakanlık tarafından Ulusal Yeşil Sertifika Sistemi (YES-TR) yazılım platformu geliştirilmiştir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023).

Enerji verimliliği, Türkiye'nin ulusal enerji politikalarında stratejik bir öncelik olarak yer almakta ve bu kapsamda Enerji Verimliliği Kanunu ile ilgili ikincil mevzuat düzenlemeleri bulunmaktadır. İlerlemeyi değerlendirmek amacıyla stratejik eylem planları ve raporlar düzenli olarak güncellenmektedir. Üretim ve tüketim analizleri ile Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'nın (UEVEP) takibi ve etki değerlendirmesi Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından koordine edilmektedir. Aynı zamanda, bina enerji tüketimi ve çevresel konular Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın sorumluluğundadır. 2019 yılında kurulan Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi ise enerji verimliliği, iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik alanlarındaki çalışmaları desteklemektedir. Avrupa Birliği düzeyinde yayımlanan “Enerji Verimliliği Direktifi”, enerji verimliliğini artırmaya yönelik ilk kapsamlı çerçeve olmuştur. Türkiye’de ise 2007 yılında yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu; enerji kullanımını etkinleştirmeyi, israfı önlemeyi, enerji maliyetlerinin ekonomiye olan olumsuz etkilerini azaltmayı ve çevrenin korunmasını amaçlamaktadır. Kanun ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmekte ve toplumun – başlıca tüketici olarak – bilinçlendirilmesini hedeflemektedir (Resmi Gazete, 2007). Bu kapsamda, 2008 yılında yayımlanan “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (BEP-TR)” ile binalarda enerji tüketimini etkileyen iç ortam koşulları, iklimsel faktörler ve ekonomik parametreler göz önünde bulundurularak kapsamlı hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Bu hesaplamalar, binaların birincil enerji tüketimi ve CO₂ emisyonlarının sınıflandırılmasında temel teşkil etmektedir.

Hem mevcut hem de yeni inşa edilen yapılar için geçerli olan yönetmeliğe göre, 2011 yılı sonrasında inşa edilen yapılar “yeni bina” olarak tanımlanırken, bu tarihten önce yapılmış olanlar “mevcut bina” kapsamında değerlendirilir. Söz konusu yönetmelik, özellikle yeni yapıların yapımı ve mevcut binalarda gerçekleştirilen kapsamlı yenilemelerde, enerji performansına ilişkin uyum süreçlerine dair usul ve esasları düzenlemektedir. Ayrıca, bu tür yapıların yenilenebilir enerji teknolojileri ile entegrasyonunun fizibilitesinin değerlendirilmesine yönelik hükümler de içermektedir. Bu standartlar, Türkiye genelinde yürürlükte olup hem ulusal mevzuat hem de Avrupa Birliği normları ile uyumlu bir şekilde uygulanmaktadır. Belirlenen kriterlere uymayan binalara ise ilgili yetkili merciler tarafından inşaat ruhsatı verilmemektedir (EMO, 2008).

Enerji performansının değerlendirilmesi yalnızca mevcut binalarla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda yeni yapıların tasarım aşamasında da gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada,

yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı ile iklimsel faktörlerden kaynaklanan ısı kazanımları ve kayıplarının minimize edilmesine yönelik olarak, doğal aydınlatma, havalandırma ve ısıtma/soğutma gibi parametrelerin optimize edilmesine öncelik verilmektedir. Binaların kullanıldığı alanlarda gün ışığından ve doğal havalandırmadan azami ölçüde yararlanılması suretiyle enerji verimliliği artırılmaya çalışılmaktadır. Mevcut ve yeni binaların enerji performans sınıflarının belirlenebilmesi için enerji kimlik belgesinin hazırlanması zorunludur. Bu sürecin ilk aşaması, binanın enerji tüketim miktarının hesaplanmasıdır. Hesaplama, Türkiye’de geliştirilmiş olan ve Avrupa Birliği standartları, Amerikan Isıtma, Soğutma ve Klima Mühendisleri Derneği (ASHRAE) ile ilgili Türk standartlarının esaslarını birleştiren saatlik dinamik bir yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemle, bina içerisindeki ısıtma, soğutma, aydınlatma ve diğer enerji tüketen sistemlere ilişkin yıllık enerji tüketimi tahmin edilmektedir.

Enerji sınıflandırması ayrıca kullanılan enerji türüne göre farklılaşmaktadır. Hesaplanan enerji tüketim değerleri, ilgili düzenleyici çerçevede tanımlanmış referans bina ile karşılaştırılarak, binaya ait enerji performans sınıfı belirlenmektedir. Elde edilen sonuçlar, enerji kimlik belgesinde kayıt altına alınmaktadır. Bunun yanı sıra, sertifikada binanın yıllık nihai enerji tüketimine bağlı olarak CO₂ emisyon sınıflandırması da yer almaktadır. Türkiye’de enerji kimlik belgesi, bina enerji verilerini işlemek ve ulusal çapta merkezi bir veri tabanı oluşturmak amacıyla geliştirilen web tabanlı BEP-TR yazılımı üzerinden oluşturulmaktadır. BEP-TR sistemine erişim yetkisi, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, yerel belediyeler, lisanslı mühendisler, enerji danışmanlık şirketleri ve akredite edilmiş enerji performans uzmanları ile sınırlandırılmıştır.

Şekil 6’da enerji kimlik belgesinin genel yapısı gösterilmektedir. Söz konusu belge; binanın teknik özellikleri, ilgili kurum ve mevzuatlar, kullanım alanı ve fonksiyonu gibi ayrıntılı bilgileri içermektedir. Enerji tüketimi; ısıtma, soğutma, aydınlatma ve diğer elektrik tüketen sistemler temelinde analiz edilmektedir. Enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik iyileştirmeler, bireysel parametrelerin optimize edilerek bina genelindeki enerji talebinin azaltılmasına yönelik bütüncül bir yaklaşımla gerçekleştirilmektedir (İçme, 2023).

ENERJİ KİMLİK BELGESİ

Bina Genel Bilgileri

Bina Tipi :
İnşaat Yılı :
Kapalı Kullanım Alanı :
Ada, Parseli :
Adresi :
Bina Sahibi :
Adı Soyadı :
Adresi :
Mühterem Tescilasyon Sahibi (4444444444) :
Adı Soyadı :
Adresi :

Bina Resmi



Bina Resmi veya Modeli

Enerji Tüketim Sınıfı

CO₂ Salımı Sınıfı

Enerji Performansı

Yüksek

A

B

C

D

E

F

G

Düşük

SEİ Emisyonu

Düşük

A

B

C

D

E

F

G

Yüksek

Yenilenebilir Enerji Kullanım Oranı

%

0

100

Yenilenebilir Enerji Oranı

Sıhhi Sıcak Su Enerjisi Tüketim Sınıfı

Havalandırma Enerjisi Tüketim Sınıfı

Enerji Kullanım Alanı	Kullanılan Sistem	Yıllık Enerji Tüketimleri		Sınıf
		Isı (kWh/yıl)	Kullanım Alanı Başına (kWh/m ² /yıl)	
TOPLAM				ABCDEF
ISITMA				ABCDEF
SİHHİ SICAK SU				ABCDEF
SOĞUTMA				ABCDEF
HAVALANDIRMA				ABCDEF
AYDINLATMA				ABCDEF

Isıtma Enerjisi Tüketim Sınıfı

Soğutma Enerjisi Tüketim Sınıfı

Aydınlatma Enerjisi Tüketim Sınıfı

EKB ve EKB Uzmanı ile İlgili Bilgiler

Belge No :
Yerli Tarih :
Son Geçerlilik Tarihi :

Belgeyi Düzenleyen

Adı Soyadı :
Firması :
Oda Sicil No :
İmza

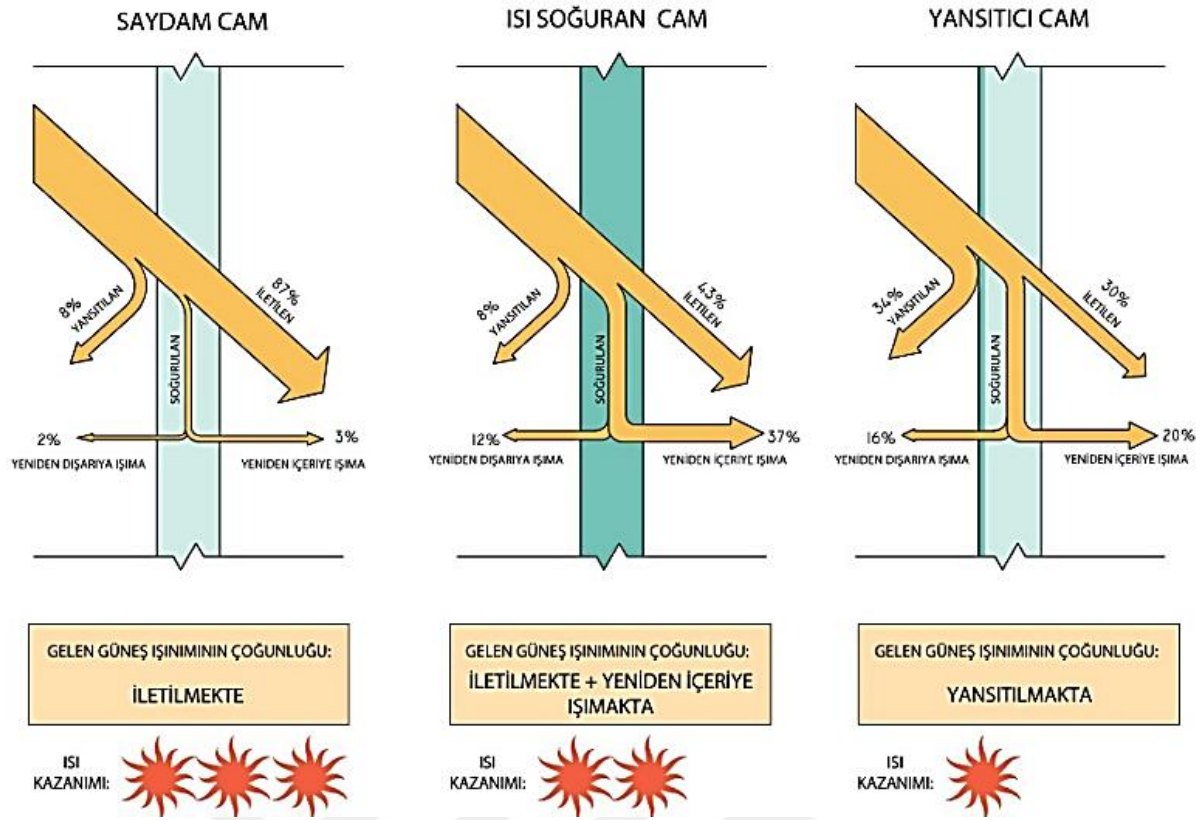
Şekil 6. Bina enerji kimlik belgesi örneği

Aşırı enerji tüketiminin çevre ve ekonomi üzerindeki olumsuz etkileri, günümüz mimari tasarım yaklaşımlarını önemli ölçüde şekillendirmiştir. Bu bağlamda, enerji tüketimini minimize etmeye yönelik yenilikçi tasarım yöntemleri giderek daha fazla ön plana çıkmaktadır. Binalarda artan enerji tüketimine temel katkı sağlayan unsurların başında, özellikle mevcut yapı stoklarında meydana gelen ısı kayıpları gelmektedir. Türkiye’de konutlarda enerji tüketiminin önemli bir kısmı ısıtma amaçlıdır. Dolayısıyla, ısı kayıplarının azaltılmasına yönelik alınacak önlemler, binaların enerji performansını artırmak açısından büyük bir önem taşımaktadır. Mevcut yapıların ısı kayıpları yalnızca tasarımsal eksikliklerden değil, aynı zamanda zaman içinde malzemelerde meydana gelen bozulma ve aşınmalardan da kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, yapıların onarım ve bakım süreçlerinde tercih edilen malzemeler ve uygulamaların kalitesi, binanın ısıtma enerjisi tüketimini doğrudan etkilemektedir. Konutlarda temel konfor unsurlarından biri olan iç mekan sıcaklığı, bina zarfı ile dış ortam koşulları (örneğin, dış hava sıcaklığı, güneş ışınımı ve rüzgar hızı) arasındaki dinamik etkileşimler sonucunda değişkenlik göstermektedir. Mevsimlere bağlı olarak duvarlardan gerçekleşen ısı kazancı veya kaybı, bina içindeki termal konforun belirleyici faktörü olarak kabul edilmektedir. Bu süreç karmaşık

yapıda olup, gün içinde değişen iklimsel faktörlerden etkilenmektedir. Sabit bir yüzey alanı ve bina zarfı boyunca sabit bir sıcaklık farkı söz konusu olduğunda, ısı transferini azaltmanın tek etkili yolu zarfın termal direncini artırmaktır. Mevcut binaların ıslahında karşılaşılan teknik ve ekonomik güçlükler bulunsa da, bu binaların enerji tüketiminin azaltılması sürdürülebilirlik açısından uzun vadede öncelikli bir gerekliliktir (Soğukoğlu ve Vatan, 2014).

Isı Yalıtımı: Isı transferi doğası gereği daha sıcak bölgelerden daha soğuk bölgelere doğru gerçekleşir ve termal direnç azaldıkça ısı akış hızı artar. Kış aylarında ısı kayıplarını, yaz aylarında ise ısı kazanımlarını azaltmak, yalnızca kullanıcıların termal konforunu artırmakla kalmaz, aynı zamanda binanın enerji talebini de azaltır. Bu amaçla, bina yüzeylerinin yüksek termal dirençli yalıtım malzemeleri ile kaplanması “ısı yalıtımı” olarak tanımlanır. Enerji kayıplarını azaltmak için özellikle mevcut yapılarda en yaygın ve maliyet açısından en avantajlı uygulama bu yöntemdir. Betonun düşük termal dirence sahip olması sebebiyle, betonarme yapı elemanlarında yalıtım bulunmadığında ısı kaybı hızlı gerçekleşmektedir. Bu nedenle, mevcut betonarme konutlarda termal konforun artırılması amacıyla yalıtım uygulamalarının yapılması zorunludur. Mevcut yönetmeliklerde termal yalıtım yeni yapılarda zorunlu kılınmış olsa da, mevcut yapı stokunda benzer yasal düzenlemeler bulunmamaktadır. Bu durum, enerji verimliliği konusunda mevcut binalara yönelik mevzuat eksikliklerinin giderilmesi gerektiğini göstermektedir (Soğukoğlu ve Vatan, 2014).

Duvar Boşlukları ve Pencere Tasarımı: Pencere tasarımında doğal aydınlatma, parlama kontrolü, enerji kayıpları ve ısı kazanımları gibi unsurlar dengeli bir şekilde ele alınmalıdır. Pencere boyutu ve cam türü, binanın termal performansını önemli ölçüde etkileyen faktörler olup, iklim koşullarına bağlı olarak istenmeyen ısı kazanımı veya kaybına neden olabilir. Sıcak ve kuru iklimlerde geniş pencereler aşırı ısı kazanımına sebep olurken, soğuk iklimlerde büyük pencereler başlıca ısı kaybı kaynaklarıdır. Farklı güneş radyasyonu emme ve yansıtma özelliklerine sahip çeşitli cam tipleri bulunmaktadır (Şekil 7). Pencere camının iklim koşullarına uygun seçilmesi önemlidir: sıcak bölgelerde ısı girişini azaltmak için yansıtıcı camlar tercih edilirken, soğuk bölgelerde güneş ısısı kazanımını artırmak için emici camlar kullanılabilir (Lechner, 2015).



Şekil 7. Güneş ışınımının farklı cam çeşitleriyle etkileşimi

Rutin Bakım ve Onarım: Mevcut yapılardaki enerji kayıpları sadece tasarım hatalarından ve yanlış mimari tercihlerden kaynaklanmamakta, aynı zamanda zamanla ortaya çıkan malzeme yıpranması, yapısal aşınma ve deformasyonlar da bu kayıplarda önemli bir rol oynamaktadır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), “2030 yılına kadar küresel bina stoğunda sağlanacak en büyük karbon tasarrufunun, mevcut binaların yenilenmesi ve enerji tüketen donanımların değiştirilmesi yoluyla gerçekleşeceğini” belirtmiştir. Düzenli bakım uygulanmadığı durumlarda, binalardaki en büyük enerji kayıpları, yapı zarfı üzerinden meydana gelen istenmeyen ısı girişleri ve çıkışlarından kaynaklanmaktadır. İç mekân termal konforunun sağlanması ve enerji tüketiminin azaltılması amacıyla, ısı kazanımı ve kayıplarının düzenli aralıklarla termal kamera ve benzeri teknolojiyle tespiti büyük önem taşımaktadır. Tespit edilen eksiklikler doğrultusunda yapı zarfına müdahaleler yapılmalıdır. Mevcut betonarme konutlarda enerji verimliliğinin sürdürülebilirliği için, mevcut ekipmanların, işletme kontrol sistemlerinin, kullanım planlarının, aydınlatma ve diğer sistemlerin periyodik olarak gözden geçirilmesi gerekmektedir. Elektrikli cihazların ve sistemlerin düzenli kontrollerinin yapılması ve ömür sürelerinin sonuna gelindiğinde yenilenmesi zorunludur (Levine vd., 2007).

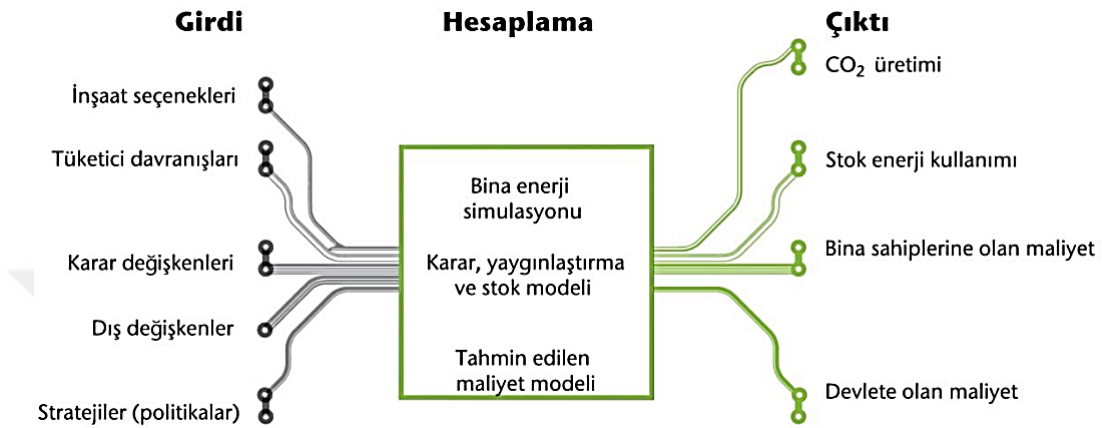
Sonuç olarak; enerjinin bilinçsiz ve yanlış kullanımı pek çok olumsuz sonuca yol açmaktadır. Hızla tükenen doğal kaynakların aşırı kullanımı, ekosistem dengesinin bozulmasına, insan da dâhil olmak üzere birçok canlının yaşam alanlarının kirlenmesine ve sağlık üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu durum, enerji ve doğal kaynakların daha verimli kullanılması adına acil önlemler alınmasının gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır. Mevcut betonarme konutlarda enerji kayıplarının azaltılması ve enerji performansının artırılması için, kullanıcıların düzenli bakımın önemi konusunda bilinçlendirilmesi öncelikli adımdır. Bu bilinçlendirme sağlandıktan sonra, kullanıcılara istenmeyen enerji kazançları ve kayıplarının temel nedenleri ile bunların önlenmesine yönelik etkili yöntemler hakkında eğitim verilmelidir. Türkiye’deki mevcut bina stokunun önemli bir bölümü, uygulanabilir enerji performans standartlarına sahip olmayan yapılardan oluşmakta olup, bu durum ülkenin yüksek enerji tüketimine kayda değer katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, mevcut betonarme konutların Türkiye’nin toplam enerji tüketimini azaltma potansiyeli ayrıntılı şekilde analiz edilmelidir. Ayrıca, enerji tüketiminden kaynaklanan çevresel olumsuz etkileri azaltmak amacıyla ilgili yasal düzenlemelerin kapsamı genişletilmelidir. Bunun yanı sıra, bu doğrultuda uygun tasarım stratejilerinin teşvik edilmesi gerekmektedir. Yeni yapılarda zorunlu olan ısı yalıtımı gibi enerji tasarrufu sağlayan yöntem ve sistemlerin, mevcut binaların yenilenmesi ve iyileştirilmesi sürecinde de ekonomik ve teknik açıdan uygulanabilir olması için standartlar ve yasal gereklilikler oluşturulmalıdır.

1.5.2. Dünyada enerji verimliliğinin önemi

Mevcut yapılar, dünya genelindeki toplam enerji tüketiminin yaklaşık %40’ını teşkil etmektedir. Enerji kullanımındaki bu önemli oran, 2050 yılına kadar küresel karbon salınımının %77 oranında azaltılmasını hedefleyen Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) ve Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) gibi uluslararası kurumların dikkatini çekmiştir.

2006 yılında Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi (WBCSD) tarafından başlatılan ve dört yıl süreyle yürütülen Bina Enerji Vizyonu (BEV) projesi, Brezilya, Çin, Avrupa Birliği, Hindistan, Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi dünya enerji tüketiminin yaklaşık üçte ikisini oluşturan altı büyük ekonomiden elde edilen kapsamlı bina stok verilerini temel alarak olası tasarım stratejilerini sistematik şekilde incelemiştir. Bu proje kapsamında, enerji yatırımları ve tasarım optimizasyonuna yönelik kararları desteklemek amacıyla özel olarak geliştirilmiş bir bilgisayar simülasyon modeli kullanılmıştır (SKD, 2022).

BEV projesi, öncelikli olarak binaların kullanım sürecindeki enerji tüketimine, yani talep tarafına odaklanmaktadır. Proje kapsamında yapılan modellemeler, enerji fiyatları veya karbon maliyetlerindeki küçük artışların bile bina sektöründe enerji tasarrufu uygulamalarının yaygınlaşmasını önemli ölçüde teşvik ettiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, BEV çalışması, Uluslararası Enerji Ajansı'nın belirlediği hedeflere ulaşmak için gerekli olan ek net maliyetlerin, küresel inşaat harcamalarının yaklaşık %7'sine karşılık geldiğini göstermiştir.



Şekil 8. Bina enerji vizyonu modelinin yapısı

1.5.3. Türkiye’de enerji verimliliğin önemi

Türkiye Cumhuriyeti Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı’na göre, 2000 yılı öncesinde inşa edilen yapılar, standart bir referans bina ile kıyaslandığında yaklaşık iki kat daha fazla enerji harcamaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2011). Türkiye’nin taraf olduğu ve karbon salınımlarını azaltmayı hedefleyen Kyoto Protokolü doğrultusunda, birçok ülke inşaat sektöründe enerji tasarrufunu teşvik etmek amacıyla düzenlemeler getirmiş ve standartlar oluşturmuştur. Ancak, bu düzenleyici girişimlerin büyük bir kısmının öncelikli olarak yeni yapılan binalara yönelik olduğu tespit edilmiştir (Soğukoğlu ve Vatan, 2015).

Bu çerçevede, Enerji Verimliliği Kanunu kapsamında 2008 yılında yürürlüğe giren Binalarda Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliği ile binaların Enerji Kimlik Belgesi (EKB) almaları zorunlu hale getirilmiştir. 2011 yılından önce yapı ruhsatı verilen binalar için A’dan G’ye kadar herhangi bir sınıfta EKB edinmek yeterli kabul edilirken, 2011 sonrası inşa edilen binalar için en az C sınıfı EKB alınması zorunluluğu getirilmiştir. Bu doğrultuda, bina stokunun enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik çeşitli yasal düzenlemeler uygulanmaya başlanmıştır (Tuncer, 2012).

1.5.4. Binalarda ısı yalıtımının önemi

Enerji, insan yaşamının sürdürülebilmesi açısından vazgeçilmez temel ihtiyaçlardan biridir. Son yıllarda yaşanan nüfus artışı, hızlı kentleşme süreçleri ve sanayi faaliyetlerindeki yoğunlaşma, dünya genelinde enerji talebinin kayda değer şekilde yükselmesine neden olmuştur. Bu artışa bağlı olarak enerji tüketimi de istikrarlı bir şekilde yükselmeye devam etmektedir. Enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü dış kaynaklardan karşılayan Türkiye, artan enerji talebiyle birlikte ekonomik, çevresel ve toplumsal sağlık bağlamında önemli sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu sorunların önüne geçilebilmesi için en etkili stratejilerden biri, binalarda ısı kayıplarını azaltarak enerji kullanımını düşürmeyi hedefleyen ısı yalıtım uygulamalarıdır (İZODER, 2017).

Türkiye’de enerji tüketiminin büyük kısmı, özellikle kentleşmenin yoğun olduğu bölgelerdeki konut yapılarında gerçekleşmektedir. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü’nün Nisan 2016 tarihli raporuna göre, ülke genelinde toplam enerji tüketiminin %55’i doğal gaz, %25’i elektrik ve %15’i dizel yakıttan oluşmaktadır. Bu kapsamda, doğal gaz tüketiminin en büyük oranını %44 ile kentsel konutlar oluşturmakta; sanayi %22, elektrik üretimi ise %34 oranında pay almaktadır (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2016).

Konutlarda enerji verimliliğini artırmaya yönelik alınabilecek başlıca önlemler arasında; dış cephe ısı yalıtım uygulamaları, ısı köprülerinin ortadan kaldırılması, pencere ve kapılardan kaynaklanan ısı kayıplarının önlenmesi, iç ve dış hava sirkülasyonunun kontrol altına alınması, gölgelendirme sistemlerinin kullanılması ve bina girişlerinde çift kapı sistemlerinin tercih edilmesi yer almaktadır (Yılmazoğlu, 2011). Bu tür yalıtım önlemleri yalnızca enerji tasarrufu sağlamakla kalmamakta, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği ve toplum sağlığını da desteklemektedir. Zira enerji kullanımının azalması, atmosfere salınan zararlı gazların (örneğin karbondioksit, kükürtdioksit vb.) miktarını düşürmekte ve böylece hem hava kirliliği hem de iç mekan hava kalitesi açısından olumlu katkılar sunmaktadır (Şenkal Sezer, 2005).

Isı yalıtımının başarısı; sıcaklık, nem ve rüzgar gibi iklimsel faktörlerin yanı sıra, coğrafi konum ve yükseklik gibi yer şekilleri ile binanın mimari özelliklerine (örneğin cephe geçirgenliği, güneş ışığını yansıtma kapasitesi) bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015). Türkiye’de ısı yalıtımı ile ilgili yasal düzenlemeler ilk kez 1970 yılında yürürlüğe giren “TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları” ile başlamıştır. Bu süreci,

1981 yılında yürürlüğe konan “Isı Yalıtımı Yönetmeliği” izlemiş; 1998 yılında TS 825 standardında kapsamlı bir revizyon gerçekleştirilmiştir. Ardından, 8 Mayıs 2000 tarihinde Resmi Gazete’de yayımlanan “Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği” (No. 24043), 9 Ekim 2008 tarihli yönetmelik (No. 27019), 5 Aralık 2008 tarihli “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” (No. 27075) yürürlüğe girmiştir (BEPTR, 2017). Son olarak 9 Şubat 2022 tarihli ve 31755 sayılı Resmi Gazete’de Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği’nde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik yayımlanan yönetmelik dahilinde binalarda enerji verimliliğine yönelik düzenlemeler getirilmiştir. Bu kapsamda Yönetmelik dahilinde; 1 Ocak 2023’ten itibaren, Neredeyse Sıfır Enerjili Bina (NSEB) niteliğindeki binaların Enerji Kimlik Belgesindeki enerji performans sınıfının B veya daha iyi olması ve aynı zamanda binanın birincil enerji ihtiyacının en az %5’i oranında yenilenebilir enerji kullanımına sahip olması zorunludur. Toplam yapı inşaat alanı 5000 m² ve üzeri olan binaların NSEB olarak inşa edilmesi zorunludur. 1 Ocak 2025’den itibaren, NSEB niteliğindeki binaların Enerji Kimlik Belgesindeki enerji performans sınıfının B veya daha iyi olması ve aynı zamanda binanın birincil enerji ihtiyacının en az %10’u oranında yenilenebilir enerji kullanımına sahip olması zorunludur. Toplam yapı inşaat alanı 2000 m² ve üzeri olan binaların NSEB olarak inşa edilmesi zorunludur.

Enerji tasarrufu odaklı sürdürülebilir yapı tasarımının başarılı bir örneği, ilk olarak Almanya’da geliştirilen ve geleneksel binalara kıyasla yaklaşık %90 oranında enerji tasarrufu sağlayan Pasif Ev modelidir. Türkiye’deki ilk Pasif Ev, 2013 yılında İzmir’in Urla ilçesinde inşa edilmiştir. Bu yapı, hem yapı içi ısıtma hem de sıcak su ihtiyacını güneş enerjisi ile ısıtılan su aracılığıyla karşılamakta; soba, kalorifer veya klima gibi geleneksel ısıtma sistemlerine ihtiyaç duymamaktadır (Yaman vd., 2015).

Enerji politikaları ile kalkınma düzeyi arasında güçlü bir ilişki olduğu bilinmektedir. Uygulama maliyetleri düşük ve erişilebilirliği yüksek olan ısı yalıtımı, ülkelerin ekonomik gelişimine doğrudan katkı sağlamaktadır. Makro düzeyde enerji tasarrufu; çevresel sürdürülebilirliği desteklerken, mikro düzeyde yani bireysel ölçekte ise hane bütçesine katkı sağlamakta ve yaşam konforunu artırmaktadır.

Isı yalıtımı yapılmamış yapılarda meydana gelen yüksek düzeydeki enerji kayıpları, ülke ekonomisi üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Türkiye’nin sahip olduğu coğrafi avantajlar sayesinde hem yenilenebilir hem de geleneksel enerji kaynaklarına erişimin mümkün olmasına

rağmen, enerji tüketiminde tasarruf sağlanması hala öncelikli bir ihtiyaç olarak öne çıkmaktadır (Bayraktar ve Bayraktar, 2016). Isı yalıtımı, yapıların ısıtma ve soğutma ihtiyaçları için harcanan enerji miktarını azaltarak, enerji verimliliği yüksek binaların inşasını mümkün kılmaktadır (Koçu ve Dereli, 2010). Yalıtım sistemlerinin doğru ve etkin biçimde uygulanması durumunda, yapıların yıllık enerji giderlerinde sürekli bir azalma sağlanabilir. Yalıtım uygulamaları, yapı elemanları arasında oluşabilecek ısı köprülerinin ortadan kaldırılmasına katkı sağlayarak, enerji kayıplarını azaltmakta ve genel yapı performansını yükseltmektedir (GN Yapı, 2017). Isı yalıtımı sayesinde iç ortam sıcaklıkları dengelenir; bu durum, yoğunlaşma (kondens) ve hava sızıntısı gibi konforu olumsuz etkileyen sorunların önüne geçilmesini sağlar. Ayrıca, iç mekanlarda nem ve küf oluşumu riskini azaltarak hava kalitesinin korunmasına ve insan sağlığının desteklenmesine olanak tanır (AEB Yapı, 2017).

Bina cephelerinin dış çevresel koşullardan kaynaklı zarar görmesini engelleyerek, korozyon ve yüzey bozulmaları gibi yapı ömrünü kısaltan etkilere karşı koruma sağlar. Isı yalıtımı, dış sıcaklık değişimlerinin neden olduğu ısıl genleşme ve büzölmeye bağlı deformasyonları ve çatlak oluşumunu önlemeye yardımcı olur. Yalıtımın bir diğer önemli katkısı ise, fosil yakıt tüketiminin azalmasına bağlı olarak, özellikle kış aylarında artan ısıtma ihtiyacına paralel şekilde yükselen kükürt dioksit (SO₂) ve karbondioksit (CO₂) gibi zararlı gaz emisyonlarının sınırlandırılmasıdır. Bu durum hava kirliliğiyle mücadeleye önemli bir katkı sağlar (Koçlar ve Manioğlu, 2010). Yaşlanmış veya estetik açıdan yıpranmış binalarda gerçekleştirilen ısı yalıtımı uygulamaları, yalnızca enerji performansını artırmakla kalmayıp, aynı zamanda yapının dış görünümüne estetik bir değer kazandırarak mimari bütünlüğün iyileştirilmesine de katkı sunar.

1.6. Enerji Tüketimi Tahmin Yöntemlerinin Gerekliği

Enerji, ekonomik ve sosyal kalkınmanın temel girdilerinden biri olarak, ülkelerin sürdürülebilir büyüme hedefleri doğrultusunda stratejik bir öneme sahiptir. Bu nedenle, mevcut enerji kaynaklarının etkin ve verimli bir şekilde kullanılması kadar, gelecekteki enerji talebinin doğru tahmin edilmesi de büyük bir gereklilik arz etmektedir. Ülkeler, enerji arz-talep dengesini kurabilmek, enerji yatırımlarını planlayabilmek, altyapı gereksinimlerini karşılayabilmek ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşabilmek için enerji tüketimine yönelik öngörülere ihtiyaç duymaktadır. Gelecekteki enerji tüketim miktarlarına dair sağlıklı ve güvenilir veriler elde etmek, yalnızca enerji arzının sürekliliğini sağlamakla kalmaz; aynı zamanda ekonomik

planlamaların, çevresel etkilerin değerlendirilmesinin ve enerji politikalarının belirlenmesinin de temelini oluşturur. Bu bağlamda, yüksek doğruluk oranına sahip tahmin modellerinin geliştirilmesi kritik bir gerekliliktir.

Enerji tüketimi tahminleri, çoğunlukla geçmiş yıllara ait tüketim verilerinin, nüfus artış oranlarının, ekonomik büyüme hızlarının, sanayi ve hizmet sektörlerindeki gelişmelerin, teknolojik yeniliklerin ve iklim koşullarının dikkate alındığı çok değişkenli modeller aracılığıyla yapılmaktadır. Özellikle yapay zekâ, makine öğrenmesi ve zaman serisi analiz tekniklerinin enerji tahmin modellerine entegre edilmesiyle birlikte, daha esnek, adaptif ve doğru sonuçlar üretebilen sistemler geliştirilmektedir.

Murat ve Ceylan (2006) tarafından yapılan çalışmada da belirtildiği üzere, farklı değişkenlerin kullanıldığı ve sektör bazında özelleştirilmiş enerji tüketimi tahmin modelleri, karar vericilere daha sağlıklı projeksiyonlar sunmakta ve enerji yönetiminin stratejik temellerini oluşturmaktadır. Bu nedenle, enerji politikalarının doğru bir zemine oturtulabilmesi, kaynakların etkin dağılımı ve çevre dostu stratejilerin benimsenebilmesi adına, enerji tüketimi tahmin yöntemlerinin geliştirilmesi ve sürekli güncellenmesi hayati bir öneme sahiptir.

1.7. Tezin Amacı ve Kapsamı

Teknolojinin hızla ilerlemesi ve bu gelişmelere paralel olarak yaşam tarzlarının dönüşmesiyle birlikte, sürekli artan küresel nüfusla birlikte, küresel enerji talebi belirgin şekilde artmıştır. Fosil yakıt rezervleri artan tüketim seviyeleriyle birlikte azaldıkça, alternatif enerji kaynakları arayışı giderek daha acil hale gelmiştir. Aynı zamanda, mevcut enerji kaynaklarının kullanımının optimize edilmesi stratejik önem kazanmıştır. Bu bağlamda, enerji verimliliğinin artırılması enerji talebini yönetmek için en etkili yaklaşımlardan biri olarak öne çıkmaktadır.

Enerji tüketiminin sektörel analizi, endüstriyel sektörün toplam enerji kullanımında en yüksek payı oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Bunu takiben, enerjinin önemli bir kısmı bina sektöründe tüketilmektedir. Binaların enerji talepleri arasında, ısıtma ve soğutma uygulamaları en büyük payı oluşturmaktadır. Toplam bina enerjisi kullanımının önemli bir kısmının ısıtmaya ayrılması göz önüne alındığında, bu alandaki enerji tüketiminin verimliliğindeki iyileştirmeler önemli enerji tasarrufları sağlayabilir.

Buna göre, binalarda enerji verimliliğinin artırılması gelecekteki enerji harcamalarını azaltmak ve ilişkili çevresel etkileri en aza indirmek için çok önemlidir. Binaların enerji talebini doğru bir şekilde tahmin etmek ve öngörmek, sağlam senaryo analizleri geliştirmede ve optimum politika yanıtlarını belirlemede önemli bir rol oynar. Bu, özellikle Avrupa Birliği ve diğer ulusal kuruluşların yargı yetkisi içindeki hem yeni hem de mevcut bina stokları için önemlidir (Economidou vd., 2020).

Bina enerji talebi tahminlerinin doğruluğunu artırmak için, mevcut çalışma, bölünmüş Isıtma Derece Günleri (bIDG) ve bölünmüş Soğutma Derece Günleri'nden (bSDG) oluşan yeni bir bölünmüş derece-gün metodolojisinin kullanımını önermektedir. Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından sağlanan meteorolojik verilerle, Erzincan ili için geleneksel derece-gün ve bölünmüş derece gün yöntemleri kullanılarak seçilen mevcut binanın ısı enerjisi ihtiyacı hesaplanmıştır. Bu yaklaşımla, bölgeye özgü iklim koşullarına dayalı bina enerji taleplerini tahmin etmek için literatürde yeni geliştirilmiş olan bölünmüş derece gün yöntemiyle anlamlı bir şekilde katkı sunulması amaçlanmaktadır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

2.1. Binalarda Enerji Tüketimini Etkileyen Faktörler

Konutlarda enerji tüketimi; bireylerin sosyo-ekonomik düzeyi, hane halkı büyüklüğü, yapının yönelimi, bina kabuğunda tercih edilen yapı malzemelerinin ısı özellikleri, bulunduğu bölgenin iklimsel koşulları ve yapının toplam yüzölçümü gibi çok sayıda birbirine bağlı değişkene bağlı olarak şekillenmektedir (Öz, 2006). Bu değişkenler arasında, özellikle ısınmaya yönelik enerji kullanımı, bireylerin yaşam tarzı ve tercihleri doğrultusunda önemli farklılıklar gösterebilmektedir. Örneğin, aynı binada benzer yapısal özelliklere sahip iki ayrı konutta yaşayan farklı ailelerin ısınma enerjisi tüketimi birbirinden belirgin şekilde farklılık gösterebilir. Bu durum, haneler arasındaki ısınma alışkanlıkları, ekonomik imkânlar ya da konfor beklentileri gibi değişkenlerden kaynaklanabilmektedir. Ayrıca, daire cephelerinin yönelimi gibi mimari unsurlar da (örneğin, bir dairenin güneye bakması nedeniyle daha fazla güneş ışığı alması) yapının ısı performansında ve buna bağlı olarak enerji tüketim düzeylerinde anlamlı farklılıklar meydana getirebilmektedir.

2.2. Enerji Tüketimi Tahmin Yöntemleri

İnsan yaşamı, konut ortamları, ekonomik ve sosyal faaliyetler, turizm, tarım ve ulaşım gibi pek çok sektör, iklim koşullarından önemli ölçüde etkilenmektedir. Meteorolojik değişkenler arasında sıcaklık, iklim özelliklerinin belirlenmesinde başat rol oynamaktadır (Sevinç, 2006). Soğuk iklim koşullarında, binaların ve sanayi tesislerinin ısıtılmasına duyulan ihtiyaç artmakta; gerekli yakıt miktarı ise ortalama günlük sıcaklık verilerine dayanarak güvenilir biçimde hesaplanabilmektedir. Dış ortam sıcaklıklarının incelenmesiyle, belirli bir yapının, kentin ya da bölgenin ısınma enerjisi gereksinimi öngörülebilir (Kadıoğlu, 1994).

Sıcaklık, insan yaşamı üzerinde en belirleyici iklim parametresi olarak kabul edilmekte ve insan konforu ile yaşamsal sürdürülebilirlik arasında doğrudan bir ilişki kurmaktadır (Gültekin ve Kadıoğlu, 1997). Enerji, bireylerin temel ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri için vazgeçilmezdir. Bununla birlikte, bir toplumun kalkınması; sanayi, teknoloji ve endüstri alanlarındaki gelişmelere bağlıdır ve bu alanlardaki gelişimin sağlanabilmesi enerjiye erişimi zorunlu kılar. Ne var ki, mevcut fosil yakıt rezervleri giderek azalmaktadır. Bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişin kaçınılmaz olduğunu ortaya koymuştur. Bu kaynaklardan etkin şekilde

yararlanabilmek için, rüzgâr hızı, güneşlenme süresi, sıcaklık ve nem gibi meteorolojik verilerin ve bölgesel iklim özelliklerinin ayrıntılı biçimde analiz edilmesi gerekmektedir. Tüm bu faktörler dikkate değer olsa da, sıcaklık değişkeni canlı organizmalar için temel bir öneme sahiptir; zira canlılar belirli bir sıcaklık aralığında varlıklarını sürdürebilmektedir.

Enerji analizleri, yapıların ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin hem optimum hem de maliyet-etkin bir biçimde tasarlanabilmesi açısından kilit bir rol üstlenmektedir. Konut sektörü, özellikle ısınma, serinletme ve sıcak su ihtiyaçları nedeniyle enerji tüketiminde en yüksek paya sahiptir. Bu nedenle, sistem bileşenlerinin seçiminden önce, yapıların kısa ve uzun vadeli tipik iklim koşulları altında duyacağı enerji miktarının önceden tahmin edilmesi gerekmektedir. Enerji kaynaklarının sınırlılığı ve küresel çapta artan enerji talebi, enerji verimliliği sağlayacak yöntemlerin geliştirilmesini ve alternatif enerji kaynaklarının daha yoğun biçimde araştırılmasını zorunlu kılmaktadır. Özellikle yapı tasarım süreçlerinde, enerji yeterliliği, yapı performansı ve kaynak verimliliği gibi unsurlar enerji tasarrufuna yönelik planlamaları ön plana çıkarmaktadır.

Yapıların enerji tüketimini öngörmek, çoğunlukla sabit tasarım kriterlerine dayanarak yapılan sistem yükü ya da kapasite hesaplamalarından daha karmaşık bir süreçtir. Bu karmaşıklık nedeniyle, enerji analiz yöntemlerine olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Enerji talebinin doğru biçimde tahmin edilmesi, yapı tasarımcılarının inşa maliyetlerini, işletme sırasında duyulacak enerji gereksinimlerini ve sistemlerin genel verimliliğini belirleyebilmesine olanak tanır (Papakostas, 1998; Akbulut, 2019). Son yıllarda bu alanda birçok farklı enerji analiz yöntemi geliştirilmiştir (ASHRAE, 1995). Bu yöntemlerden en erken geliştirilen ve yaygın olarak kullanılanlardan biri, Fransız bilim insanı René Antoine Ferchault de Réaumur'un 1735 yılında tarımsal amaçla ortaya koyduğu derece-gün yöntemidir. Bu yöntemin elde ettiği olumlu sonuçlar, daha sonra yapı enerji analizlerinde de kullanılmasına zemin hazırlamıştır (Öztürk, 2024).

Türkiye'de bina enerji analizlerine yönelik kapsamlı çalışmalar, 1960-1970 yılları arasında ivme kazanmıştır. Bu analizlerin çıktıları, binalarda kullanılan ısıtma, havalandırma, iklimlendirme (HVAC) sistemlerinin tasarımı ve uygulama süreçlerini önemli ölçüde şekillendirmiştir. Günümüzde enerji analiz teknikleri, mimarlar ve mühendisler tarafından yapı tasarımında rehber olarak yaygın biçimde kullanılmakta; bu uygulamalar, ulusal ve uluslararası standartların oluşumuna da katkı sağlamaktadır. Bina enerji analiz yöntemleri; yöntemsel

karmaşıklık düzeyine, süreklilik özelliğine ve modelleme yaklaşımına göre çeşitli sınıflara ayrılabilir (Erdoğan vd., 2012).

Modelleme Yaklaşımına Göre Sınıflandırma: Matematiksel model, bir sistemin davranışını tanımlayan yapıdır ve genellikle üç temel unsurdan oluşur: giriş değişkenleri, sistemin yapısı ve özellikleri ile çıkış değişkenleri. Matematiksel modelleme süreci; giriş değişkenleri ile sistemin yapısı ve parametreleri bilindiğinde, çıkış değişkenlerinin belirlenmesini sağlar. Enerji analizinde iki temel modelleme yöntemi bulunmaktadır: ileri modelleme ve veriye dayalı modelleme (ASHRAE, 2009). İleri modelleme yaklaşımı, fiziksel özellikleri ve yapısı önceden bilinen bir sistem modeli üzerinden çıkış değişkenlerinin hesaplanmasını içerir. Bu yöntemin en büyük avantajı, sistemin fiziksel olarak kurulmasına gerek kalmadan davranışının analiz edilmesine olanak tanınmasıdır. Bu nedenle, sistem tasarımının ilk aşamalarında ve fizibilite çalışmalarında yaygın biçimde kullanılmaktadır. Buna karşın, veri temelli modelleme yaklaşımı, sistemin gerçek işleyişinden elde edilen ölçülmüş giriş ve çıkış verilerine dayanır. Bu yöntemin temel amacı, elde edilen gözlemsel verilere dayanarak sistemin matematiksel tanımını oluşturmak ve parametrelerini tespit etmektir. Özellikle mevcut yapıların enerji kullanımını analiz etmede, mevcut durumun belirlenmesinde ve yenileme ya da iyileştirme senaryoları ile enerji tasarruf potansiyelinin ortaya konmasında sıklıkla kullanılmaktadır (ASHRAE, 2009).

Yöntemin Kompleksliğine Göre Sınıflandırma: Bina Enerji Analizi (BEA) yöntemleri, yöntemsel karmaşıklık düzeyine göre üç ana grupta sınıflandırılabilir:

- Tekil ölçüme dayalı yöntemler
- Basitleştirilmiş çoklu ölçüme dayalı yöntemler
- Ayrıntılı çoklu ölçüme dayalı yöntemler (Tablo 2)

Tablo 2. Bina enerji analiz yöntemlerinin sınıflandırılması

Modelleme Yaklaşımı	Yöntemin Kompleksliği	Sürekli Olup Olmaması
• Klasik yöntemler • Data-temelli yöntemler	• Tek ölçümlü yöntemler • Basitleştirilmiş çok ölçümlü yöntemler • Ayrıntılı çok ölçümlü yöntemler	• Sürekli hal yöntemleri • Dinamik yöntemler

Tekil ölçüm yöntemleri, genellikle manuel olarak uygulanan yöntemlerdir ve enerji tüketiminin yıllık ya da mevsimsel tek bir değer üzerinden tahmin edilmesini temel alır. Bu gruba; derece-gün yöntemi, düzeltilmiş derece-gün yöntemi, değişken referans sıcaklık derece-gün yöntemi ve eşdeğer tam yük saati yöntemi gibi yaklaşımlar dâhildir. Söz konusu yöntemler basit ve uygulaması kolay olsa da, uzun dönemli ortalama meteorolojik verilere ve sabit durum varsayımlarına dayanması nedeniyle doğruluk ve güvenilirlik açısından sınırlılık taşır. Bu nedenle, yalnızca karmaşıklığı düşük binalarda tercih edilir ve bireysel kontrol sunan merkezi HVAC sistemleri ya da yeniden ısıtma gibi sistem bileşenlerini dikkate alma konusunda yetersizdir (Solar Energy Research Institute, 1988; Alarko Carrier, 2007).

Basitleştirilmiş çoklu ölçüm yöntemleri, daha fazla sayıda değişkeni ve çalışma koşulunu göz önünde bulundurarak enerji tüketimini daha doğru tahmin eder. Bu yöntemler arasında; bölme yöntemi, düzeltilmiş bölme yöntemi ve grafiksel yöntemler yer almaktadır. Belirli işletme koşullarında tekrar eden saatlerin dikkate alınması, bu yöntemleri enerji tüketimi ve işletme maliyetlerinin ilk tahmininde daha etkili hâle getirir. Bununla birlikte, detaylı analiz yöntemlerine kıyasla hassasiyetleri daha düşüktür ve sınırlı doğruluk sunar (Solar Energy Research Institute, 1988; Alarko Carrier, 2007).

Ayrıntılı çoklu ölçüm yöntemleri, enerji tüketimini daha hassas bir şekilde tahmin edebilmek amacıyla genellikle bir yıl boyunca saatlik enerji dengesi hesaplamaları yapar. Bu tür yöntemler daha fazla veri girişi ve güçlü hesaplama altyapısı gerektirir. Bu grup; azaltılmış saatlik yöntem ve 8760 saatlik yöntem olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır.

Azaltılmış saatlik yöntem, her ay için ortalama hava koşullarını yansıtan 24 saatlik temsili bir profil oluşturur. Bu profile göre yapılan simülasyon sonuçları, ay içindeki gün sayısı ile çarpılarak toplam enerji kullanımı belirlenir. Bu yöntemin temel varsayımı; ay içerisindeki en soğuk ya da en sıcak günlerin enerji kullanımını yeterince temsil ettiğidir. Bu sayede hesaplama süresi azalır ve bilgisayar kaynakları daha verimli kullanılır.

8760 saatlik yöntem ise yılın her saatine ilişkin verileri kullanarak binanın ve enerji sistemlerinin çalışma performansını değerlendirir. Bu yöntem, yüksek çözünürlüklü meteorolojik veriler ve kullanım senaryoları yardımıyla enerji tüketiminin miktarını ve zamanlamasını oldukça hassas biçimde ortaya koyar. Operasyonel maliyetlerin doğru bir şekilde hesaplanmasına da olanak tanıyan bu yöntem, mevcut enerji analiz yöntemleri arasında

en yüksek doğruluğa sahip olanıdır (Solar Energy Research Institute, 1988; Alarko Carrier, 2007).

Yöntemin Sürekli Olup Olmamasına Göre Sınıflandırma: Bina Enerji Analizi (BEA) yöntemleri, zamana bağlı değişkenlikleri dikkate alıp almamalarına göre de sınıflandırılabilir. Bu doğrultuda, iki temel yöntem türü öne çıkmaktadır: durağan (sabit durum) yöntemler ve dinamik yöntemler (Tablo 2).

Sabit durum yöntemleri, sistemin termal koşullarının zaman içinde değişmediği varsayımıyla işlem yapar ve yapı bileşenlerinin termal ataletinden kaynaklanan kısa süreli sıcaklık değişimlerini dikkate almaz. Bu tür modeller, genellikle saatlik, günlük ya da haftalık veri setleriyle çalışır ve çoğunlukla modelleme sürecinin ilk adımlarında kullanılmaktadır. Bu yöntemler, yapısal olarak sade olduklarından dolayı daha az veri gereksinimine sahiptir ve basit sistemler için yeterli doğrulukta sonuçlar sunabilmektedir. Bu grupta yer alan yöntemler aşağıda sıralanmıştır:

- Temel doğrusal regresyon
- Çok değişkenli doğrusal regresyon
- Bin yöntemi
- Veri odaklı bin yöntemi
- Değişken nokta modelleri
- Düzenlenmiş bin yöntemi (ASHRAE, 2009)

Bu yöntemler, belirli kullanım alanlarında tatmin edici sonuçlar verse de, geçici (transient) etkileri göz ardı etmeleri, bu yöntemlerin karmaşık ya da dinamik sistemlerdeki geçerliliğini sınırlandırmaktadır.

Öte yandan, dinamik yöntemler; yapının ısıtma ve soğutma süreçlerindeki tepkisini, pik yük zamanlarını ve dış çevresel değişkenlikleri hesaba katar. Bu nedenle, dinamik modeller yük yönetimi, arıza tespiti ve sistem kontrolü gibi uygulama alanlarında tercih edilmektedir. Termal geçiş olaylarını dikkate aldıkları için, bu yöntemler özellikle yapının termal kütlelerinin önemli olduğu durumlarda ya da saatlik hava durumu değişkenlerinin analiz edilmesi gereken koşullarda gereklilik arz eder (Al-Homoud, 2001; Bakırcı vd., 2008). Dinamik modelleme teknikleri aşağıdaki gibidir (ASHRAE, 2009):

- Termal ağ modellemeleri
- Yanıt faktörü analizleri
- Fourier serisi yöntemleri
- ARMA (Otokorelasyonlu Hareketli Ortalama) modelleri
- PSTAR (Birincil ve İkincil Terimlerin Analizi ve Yeniden Ölçeklendirme)
- Modal analizler
- Diferansiyel denklem temelli modellemeler
- Bilgisayar destekli simülasyon ve emülasyonlar
- Yapay Sinir Ağı (YSA) modelleri

Bu ileri düzey yaklaşımlar, zaman içinde enerji kullanımının detaylı ve doğru bir şekilde modellenmesini sağlamakta; öngörüye dayalı ya da adaptif kontrol stratejilerinin geliştirildiği durumlarda büyük avantaj sunmaktadır.

2.2.1. Sıcaklık aralığı (bin) yöntemi

Değişken iklim koşullarının ve kullanıcı davranışlarının bina enerji performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek için, geleneksel derece-gün yaklaşımına kıyasla genellikle daha gelişmiş metodolojiler kullanılır. Bu yöntemlerden biri, sabit zaman dilimleri yerine, tanımlanmış aralıklar boyunca ortam sıcaklıklarının dağılımına göre enerji talebini tahmin eden bin yöntemidir (Akbulut, 2019).

Adından da anlaşılacağı gibi, bin yöntemi sıcaklık verilerini ayrı bölmelere veya aralıklara düzenler. Enerji tüketimini tahmin etmek için belirli sıcaklık aralıklarının oluşma sıklığını, ölçülen iklim verilerini ve bu aralıklara verilen sisteme özgü tepkileri kullanır. Bu yaklaşım, belirli dış sıcaklıkların süresini ve sıklığını bina enerji ihtiyaçlarıyla ilişkilendirerek aylık veya yıllık enerji kullanım tahminlerini mümkün kılar. Yöntem, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemlerinin verimliliğinin veya binanın denge noktası sıcaklığının sabit olmadığı durumlarda, yani geleneksel veya değiştirilmiş derece-gün yöntemlerinin yetersiz kalabileceği durumlarda özellikle yararlıdır. Aşağıdaki denklem genellikle bin yöntemini (ASHRAE, 1998) kullanarak enerji tüketimini tahmin etmek için kullanılır:

$$Q_{bin} = N_{bin} \frac{K_{top}}{\eta_h} (T_b - T_o)^+ \quad (1)$$

- K_{top} , Binanın genel ısı transfer katsayısı,
- η_h , HVAC sisteminin verimliliği,
- N_{bin} , Belirli bir sıcaklık aralığına karşılık gelen saat sayısı [h],
- T_o , Aralığın orta noktası sıcaklığı,
- T_b , Denge noktası sıcaklığını ifade etmektedir.

$$Q_{top} = \sum_{i=1}^m Q_{bin,i} \quad (2)$$

Burada m toplam sıcaklık bölmesi sayısını belirtir (ASHRAE, 1998).

Çok çeşitli bina enerji analizlerine uygulanabilir olmasına rağmen, bölme yönteminin bazı sınırlamaları vardır. Özellikle, güneş kazanımları dikkate alınmadığında, yöntemin gerçek enerji kullanımını tahmin etmedeki faydası sınırlı hale gelir (Knebel, 1995). Derece-gün yöntemi gibi, bölme yaklaşımı da iç ısı kazanımlarını, güneş radyasyonunu veya karıştırma kutuları veya yeniden ısıtma bobinleri gibi HVAC alt sistemlerinden gelen ısı katkılarını hesaba katmaz. Klima yükleri genellikle iç ve güneş kazanımlarından önemli ölçüde etkilendiğinden, bölme ve derece-gün yöntemleri kesin tüketim rakamları yerine yalnızca yaklaşık değerler üretme eğilimindedir (Arısoy, 1998). Bununla birlikte, ön tahminler ve karşılaştırmalı analizler için değerli olmaya devam etmektedirler.

2.2.2. Derece gün yöntemi

Derece-gün (DG) yöntemi, özellikle Türkiye’de bina ısıtma ve soğutma sistemleri, havalandırma ve HVAC alanlarındaki yakıt tüketimi tahminlerinde en yaygın tercih edilen enerji değerlendirme tekniklerinden biri olarak kullanılmaktadır (Büyükalaca vd., 2001). Bu yöntem, belirli bir zaman dilimi içerisinde meteorolojik verilere dayanarak, referans alınan bir temel sıcaklıktan günlük, aylık veya yıllık olarak sapmaları analiz etmek suretiyle ısıtma ve soğutma için gereken enerji miktarını tahmin etmektedir.

Isıtma yükü hesaplamalarında yüksek doğruluk sunmasına rağmen, soğutma enerjisi tahminlerinde yöntemin güvenilirliği kısıtlı kalmaktadır (Bulut vd., 2007). Bu durum, soğutma ihtiyacının yalnızca dış hava sıcaklığına değil, aynı zamanda diğer iklimsel faktörlere de güçlü şekilde bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Bununla beraber, Türkiye gibi enerji analizlerinin

gelişmiş ülkeler seviyesinde yaygınlaşmadığı gelişmekte olan ekonomilerde, bu tür yöntemlerin uygulanması ve geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Derece-gün yaklaşımı, ısıtma, soğutma ve havalandırma gereksinimlerinin görece olarak sabit kabul edildiği sistemler için, örneğin konut, ticari ve endüstriyel yapıların enerji analizlerinde oldukça uygundur (ASHRAE, 1998).

1920'lerin sonlarına doğru enerji alanındaki araştırmaların artmasıyla geliştirilen DG yöntemi, farklı coğrafi ve iklim koşullarına sahip bölgelerin aylık ve yıllık enerji taleplerini tahmin etmekte etkin bir araç olarak kabul edilmiştir. Yöntem, temel olarak, ortalama günlük dış hava sıcaklığı ile konfor sıcaklığı arasındaki farkı esas almaktadır. Her ne kadar hava sıcaklığı hesaplamalarda ana parametre olsa da, rüzgarın hızı ve yönü, bölgenin coğrafi konumu, güneş radyasyonu, nem oranı ve yağış miktarı gibi diğer çevresel değişkenler de termal konfor ve enerji gereksinimleri üzerinde belirleyici etkiler göstermektedir (ASHRAE, 2009).

Daha doğru sonuçlar elde edebilmek amacıyla, bu meteorolojik değişkenlerin DG hesaplamalarına dahil edilmesi tercih edilse de, bu durum yöntemin karmaşıklığını artırmaktadır. Pratik uygulamalarda genellikle sadece sıcaklık değeri kullanıldığından, gerçek enerji ihtiyacından sapmalar gözlemlenmektedir. Buna rağmen, derece-gün endeksleri sadece bina enerji performansı değerlendirmelerinde değil, aynı zamanda tarımsal planlama, sel riski tahmini ve yıl boyunca insan faaliyetlerinin enerji talebi analizlerinde de kritik bir role sahiptir. İç mekanlarda ısıtma veya soğutma için gereken enerji miktarı ile bölgenin dış ortam sıcaklığı arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Farklı yapı türleri ve kullanım amaçlarına göre optimum konfor sıcaklıkları değişiklik göstermektedir: Konutlar genellikle 18–20 °C aralığında tutulurken; idari, ticari ve hizmet binaları 15–20 °C, oteller 20–24 °C, eğitim kurumları 15–24 °C, ibadethaneler 15 °C, hastaneler 22–25 °C, askeri tesisler 20°C, yüzme havuzları 28 °C, cezaevleri 20 °C, müzeler ve galeriler 20°C, sergi salonları ile tren istasyonları ve havaalanları gibi ulaşım merkezleri ise 15–20 °C arasında bir sıcaklıkta muhafaza edilmektedir. Donmaya karşı hassas alanlar ise genellikle 5 °C'nin üzerinde tutulmaktadır (Genceli ve Parmaksızoğlu, 2017).

Bu farklı mekânlarda konfor koşullarının sağlanabilmesi için hem iç hem de dış ortam sıcaklıklarının doğru şekilde bilinmesi gerekmektedir. Derece-gün yöntemi, istenilen konfor şartlarının korunması için gerekli enerji miktarını belirlemeye yönelik, basit fakat etkili bir analiz aracı olarak kullanılmaktadır. Günümüzde hesaplama programları ve dinamik

simülasyon teknikleri daha gelişmiş alternatifler sunsa da, derece-gün yöntemi operasyonel kolaylığı ve uygulamadaki pratikliği nedeniyle önemini korumaktadır. Orijinal DG yönteminden türetilen ve farklı amaçlara yönelik geliştirilen çeşitli endeksler bulunmaktadır: Isıtma Derece Günleri (IDG), Soğutma Derece Günleri (SDG), Büyüme Derece Günleri (BDG), Donma Derece Günleri (DDG), Erime Derece Günleri (EDG) ve Ağırlıklı Derece Günleri (ADG) (Gültekin, 1995). Bu çeşitlendirilmiş endeksler, yöntemin tarım, çevre bilimleri ve enerji yönetimi gibi birçok farklı alanda uygulanabilirliğini artırmaktadır (Öztürk, 2024).

2.2.3. Derece saat yöntemi

Derece-saat yöntemi temel olarak saatlik ortam sıcaklığı okumaları ile önceden belirlenmiş bir denge (veya referans) sıcaklığı arasındaki farkın hesaplanmasına dayanır. Bu denge sıcaklığına çeşitli değerler atanabilmesine rağmen, geleneksel uygulama genellikle yalıtımsız binalarda ısıtma hesaplamaları için 18 °C ve soğutma için 22 °C varsayar. Denge sıcaklığını belirlerken, iç mekân konfor gereksinimleri, bina kullanım kalıpları, yalıtım özellikleri ve ısı kazançları ve kayıpları gibi faktörleri dikkate almak önemlidir. Bu nedenle, geleneksel denge sıcaklıklarına güvenmek dikkatli bir şekilde ele alınmalıdır, çünkü bunlar her binanın özel koşullarını doğru bir şekilde yansıtmayabilir (Pusat vd., 2014).

2.3. Derece Gün Değerleri ile Enerji İhtiyacının Belirlenmesi

2.3.1. Isıtma derece gün yöntemi (IDG)

Binalarda termal konforun sağlanması, iç ortam sıcaklığının önceden belirlenmiş bir referans sıcaklık değerinin altına düştüğü durumlarda ısıtma sistemlerinin devreye girmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda, Isıtma Derece Gün (IDG) yöntemi, özellikle soğuk hava koşullarının süresi ve şiddetini değerlendirmek amacıyla kullanılan ve enerji talebinin tahmininde yaygın olarak tercih edilen çok yönlü bir iklim göstergesidir. IDG yöntemi ilk olarak 1920'lerde Amerikan Gaz Birliği tarafından geliştirilmiş ve konutlarda ısıtma yakıt tüketimini açıklamak üzere ampirik olarak 18.3 °C (65 °F) referans sıcaklık kabul edilmiştir (Carpio vd., 2022). Günümüzde yapılan araştırmalar ise ısıtma talebinin doğru modellenebilmesi için bölgesel bina termal performansı ve yerel iklim koşullarını temsil eden uygun referans sıcaklık değerlerinin dikkatle seçilmesinin önemini vurgulamaktadır (CIBSE, 2006; Meng ve Mourshed, 2017; Kheiri, 2020; Azizah vd., 2024).

Isıtma Derece Gün (IDG) indeksleri, binaların enerji talebini tahmin etmek için kullanılan en basit yöntemlerden biridir (Assawamartbunlue, 2013). Bu indeksler, dış ortam sıcaklığı ile iç mekan konfor sıcaklığı arasındaki pozitif farkın zaman içindeki değişimini göstererek, hava koşullarına bağlı iç sıcaklık dalgalanmalarını yansıtır (Letherman ve Al-Azawi, 1986; Salata vd., 2022). IDG değerleri günlük, aylık, yıllık ve çok yıllık periyotlarda toplanarak kullanılabilir. Hesaplaması kolay, kapsamlı ve uygulanabilir bir yöntem olan IDG, binanın geometrik ve termofiziksel özellikleri hakkında bilgi gerektirmez ve bölgesel iklim değişikliklerinin enerji talebi üzerindeki etkilerini ifade etmede etkilidir (Salata vd., 2022). Bu nedenle enerji sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

IDG, yalnızca binalardaki ısıtma enerji ihtiyacını değil, aynı zamanda doğal çevredeki termal konfor koşullarını da yansıtan bir iklim göstergesidir (Day, 2006; Semmler vd., 2009). Kanada Ulusal Araştırma Konseyi (NRC) (Boyd, 1979) ve Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği (ASHRAE, 2017) tarafından endüstri standardı olarak kabul edilen bu metrik, gelecekteki iklim değişikliği etkileri nedeniyle birçok bölgede yüzyıl sonuna kadar azalma eğilimi gösterecektir (Shi vd., 2011; Li vd., 2012; De Rosa vd., 2015; Petri ve Caldeira, 2015; Shi vd., 2018).

IDG hesaplaması, referans sıcaklık ile günlük ortalama dış hava sıcaklıklarının farklarının, sadece referans sıcaklık altındaki günlerde toplanmasına dayanır (Spinoni vd., 2015; Spinoni vd., 2018). Böylece, belirlenen referans sıcaklık değerinin altında gerçekleşen soğuk koşulların şiddeti sayısallaştırılarak, bir bina veya bölge için yıllık ya da aylık ısıtma enerji ihtiyacı IDG değerine orantılı şekilde temsil edilmiş olur (Lindelöf, 2017).

Referans sıcaklığı, bir binanın ısı kayıplarını (iletim yoluyla pencere, duvar, çatı, zemin gibi yapı elemanlarından ve hava değişimi yoluyla sızıntı ve havalandırmadan kaynaklanan) iç kazanımlarla (oturanların ısı yayımı, aydınlatma ve ekipmanlardan sağlanan ısı) ve güneş kazançlarıyla tam olarak dengelediği dış hava sıcaklığı olarak tanımlanır. Bu sıcaklık seviyesinde, ısıtma gereksinimi sıfırdır çünkü bina dış ortamla ısı dengesi halindedir. Bu nedenle, farklı kurumlar ve standartlar farklı referans sıcaklık değerleri önermektedir. Örneğin, ASHRAE tipik olarak 18.3 °C (65 °F) referansını kullanırken, İngiltere Carbon Trust 15.5 °C, Avrupa Birliği ISO 15927-6 standardı 12 °C'yi ve İsviçre SIA 381.206 standardı ise üç farklı referans sıcaklığı (8 °C, 10 °C ve 12 °C) önermektedir (Harvey, 2020). Bu farklılıklar, bölgesel

iklim özellikleri, bina tipi ve kullanım şekline göre referans sıcaklığın değişebileceğini göstermektedir.

IDG değerleri, araştırmacıların ve mühendislerin farklı coğrafi bölgelerdeki yapıların ısıtma ihtiyaçlarını değerlendirmelerini, bölgeler arasında kıyaslamalar yapmalarını ve belli bir zaman dilimi boyunca ısıtma gereksinimindeki değişimleri analiz etmelerini sağlar. Literatürde de bu yöntemin ısıtma yükü tahmininde etkili bir yaklaşım olduğu defalarca vurgulanmıştır (Letherman vd., 1986; Gültekin, 1995). IDG yöntemi, özellikle dış ortam sıcaklıklarına bağlı olarak statik bir ölçüt olarak tanımlanmakta ve hem pratik hem de ekonomik olması nedeniyle yaygın şekilde tercih edilmektedir. IDG'nin hesaplanması, seçilen referans sıcaklık ile günlük ortalama dış ortam sıcaklığı arasındaki farkların toplanması ile gerçekleştirilir; bu fark pozitif olduğunda (yani dış ortam sıcaklığı referans sıcaklığın altındaysa) toplanır (Moustris vd., 2015).

Dinamik yöntemlerle kıyaslandığında IDG yöntemi, hesaplama kolaylığı ve hızlı sonuç alınabilmesi gibi avantajlara sahiptir. Bu da farklı enerji verimliliği senaryoları ve uzun vadeli analizler için uygun bir yöntem olmasını sağlamaktadır (De Rosa vd., 2014). Ayrıca, IDG enerji kıyaslamalarında, politika odaklı değerlendirmelerde ve zaman içindeki bina performansını hava koşullarına göre normalleştirmede sıkça kullanılmaktadır (Pangsy-Kania vd., 2024).

DG hesaplamalarının doğruluğu, veri kullanılabilirliği ve araştırmanın kapsamına bağlıdır. En yüksek hassasiyet, saatlik sıcaklık verilerinin kullanılmasıyla elde edilir (Morakinyo vd., 2019). Ancak bu tür detaylı veri her zaman mevcut olmayabilir. Bu durumda, ASHRAE standardı günlük maksimum ve minimum sıcaklıkların ortalaması ile IDG'yi tanımlamakta ve bu pratik yaklaşım, mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Benzer şekilde, İngiltere Met Ofisi (Avrupa Çevre Ajansı onaylı) günlük maksimum ve minimum sıcaklık verilerini kullanarak hassasiyet ile veri erişilebilirliği arasında bir denge sağlar (Semmler vd., 2010; Spinoni vd., 2015). Günlük verilerin yetersiz olduğu uzun dönemli çalışmalar için ise, IDG aylık ortalama sıcaklıklar ve günlük sıcaklıkların standart sapması (σ) kullanılarak tahmin edilebilmektedir (Gaudard vd., 2014; Fan vd., 2019).

IDG değeri, referans sıcaklık ile mevcut dış hava sıcaklıkları arasındaki farkların, bu sıcaklık referans değerinin altına düştüğü durumlarda toplanmasıyla hesaplanır. Bu kapsamda, bir ısıtma derece günü, dış ortam sıcaklığının referans alınan değerinin altına düştüğü 24 saatlik bir periyotta oluşan sıcaklık farklarının birikimi olarak tanımlanmaktadır. Daha açık bir şekilde ifade etmek

gerekirse, herhangi bir güne ait ısıtma derece günü değeri, referans sıcaklık ile ortalama günlük dış hava sıcaklığı arasındaki farkı temsil eder; ancak bu fark yalnızca dış hava sıcaklığının referans değerin altında olması durumunda dikkate alınır. Eğer ortalama dış hava sıcaklığı referans sıcaklığın üzerinde ise, ısıtma gereksinimi oluşmaz ve IDG değeri sıfır kabul edilir.

IDG değerleri yıllık, aylık veya tercih edilen farklı zaman dilimleri bazında hesaplanabilir. Bir başka deyişle, belirlenen bir periyot boyunca referans değerin altında kalan tüm sıcaklıklar toplanarak o döneme ait IDG değeri elde edilir (Büyükalaca vd., 2001; Bayraktar, 2002). Yapılan araştırmalar, iç ortamda termal konforun sürdürülebilmesi için kabul edilen referans sıcaklık değerinin yaklaşık 18.3 °C olduğunu göstermektedir. Ortam sıcaklığının bu değerin altına düşmesi durumunda ise ısıtma gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Akbulut, 2019).

Uygunsuz bir seçim önemli hatalara yol açabilir, ısıtma yükü ile IDG arasındaki doğrusal ilişkiyi geçersiz kılabilir ve yanıltıcı sonuçlar verebilir (Day vd., 2006; Verbai vd., 2014). Örneğin, Woods ve Fuller (2014), referans sıcaklıklardaki belirsizliklerin IDG değerlerinin tek bir ay içinde 0 DG ile 400 DG arasında değişmesine neden olabileceğini göstermiş ve Elkhafif (1996), resmi bir referans sıcaklıktan hesaplanan IDG'lerin ölçülen ısıtma enerjisi kullanımıyla güvenilir bir şekilde ilişkilendirilemeyebileceğini belirtmiştir. Benzer şekilde, Bhatnagar vd. (2018), IDG ve SDG'nin doğruluğunun büyük ölçüde kullanılan referans sıcaklıkların hassasiyetine bağlı olduğunu ve revize edilmiş referans sıcaklıkların Hindistan gibi bir bölge için iklim sınıflandırmasında değişikliklere yol açabileceğini vurgulamıştır.

Birkaç çalışma, bina özelliklerine, işletme modellerine ve iklim koşullarına özgü referans sıcaklıkların belirlenmesini savunmuştur. Meng ve Mourshed (2017) ve diğer araştırmacılar (Gelegenis, 2009; Roshan vd., 2017; Krese vd., 2018; Papakostas vd., 2020), yayınlanan referans sıcaklıkların bina türüne özgü olması ve periyodik olarak güncellenmesi gerektiğini savundu. Uygun referans sıcaklığı belirlemek zordur çünkü bu, yalnızca ortam sıcaklığının ötesinde birçok faktöre bağlıdır (Lee vd., 2014; Shin ve Do, 2016; Lindelöf, 2017). Bu bağlamda, bazı çalışmalar çok parametrelili yaklaşımlar getirmiştir. Sonderegger (1998) hem hava durumunu hem de kullanıcı davranışı gibi hava durumuyla ilgili olmayan değişkenleri, kamu hizmeti faturalandırması için bir referans modele dahil etti. Diğer çalışmalar, artık sıcaklıkları (Guan vd., 2017), sızmayı (Sherman, 1986) ve saatlik iklim değişimlerini (Huang vd., 1987) ele almış ve ısıtma ve soğutma yüklerini tahmin ederken ek iklim parametrelerini (sıcaklık, nem, güneş radyasyonu) dahil etmenin faydalarını vurgulamıştır. Atalla vd. (2018),

birden fazla iklim faktörünün derece-gün yönteminin hassasiyetini artırabileceğini doğrulamıştır.

Daha yakın tarihli çalışmalar, referans sıcaklıkları tahmin etmek için istatistiksel ve modelleme tekniklerini kullanmıştır. Anjomshoaa ve Salmanzadeh (2017) ve Martinopoulos vd. (2019), referans sıcaklığının aynı kat alanına sahip binalarda değişen bina özelliklerine, iç kazanımlara, kullanıcı davranışına ve hatta yalıtım kalitesine bağlı olduğunu göstermiştir. Meng vd. (2020), yedi farklı kullanım türündeki 119 ticari binaya ait dört yıllık (2012–2016) yarım saatlik gaz tüketim verilerini analiz etmiş ve üç parametrelili değişim noktası regresyon modeli (3pH) kullanarak her bina için referans sıcaklıkları belirlemişlerdir. Sabit referans sıcaklık kullanımının gerçekçi olmadığı, bina tipine özgü referans sıcaklıklarının tanımlanması ve enerji politikalarına entegre edilmesinin gerekli olduğu sonucuna varmışlardır. Tüm bu kanıtlar, IDG hesaplamaları için referans sıcaklığın hem binaların termal özelliklerine hem de çalışma koşullarına karşı oldukça hassas olduğunu ve bu nedenle ısıtma enerjisi talebini değerlendirmek için doğru bir şekilde belirlenmesinin hayati önem taşıdığını göstermektedir.

Sonuç olarak, bir bölgeye ait yıllık, aylık veya günlük IDG verilerini bilmek, binalarda termal konforun sağlanabilmesi için gerekli enerji veya yakıt miktarının doğru şekilde kestirilmesine imkân tanımaktadır. Aradaki ilişki doğrusaldır: Bir yerleşim alanında IDG değeri iki kat arttığında, ısıtma enerjisi veya yakıt gereksiniminin de yaklaşık olarak aynı oranda artacağı söylenebilir (Gültekin, 1995).

Amerika Birleşik Devletleri'nde, maksimum ve minimum sıcaklık bilgilerinin sunulduğu günlük meteorolojik tahminlerin yanı sıra, ısıtma ve soğutma derece günü (IDG ve SDG) değerleri de düzenli şekilde paylaşılmaktadır. Bununla birlikte, birçok meteoroloji istasyonunda toplanan günlük sıcaklık verilerinin uzun yıllara dayalı aylık veya yıllık ortalamalarından türetilen IDG ve SDG verileri, onlarca yıldır bölgesel enerji ve yakıt gereksinimlerinin hesaplanmasında yaygın bir şekilde tercih edilen ve güvenilir bir yaklaşım olmuştur (Kadioğlu, 1994). Isıtma derece günü hesaplamalarının uzun vadeli iklim kayıtlarına dayandırılması, bu verilerin aynı zamanda iklim özelliklerinin değerlendirilmesi ve iklim sınıflandırma süreçlerinde de kullanılabilmesini sağlamaktadır.

Örneğin, Türkiye'de TS 825 standardı, ülkeyi ısıtma derece günü verileri doğrultusunda dört farklı iklim bölgesine ayırmaktadır (Geliş ve Yeşildal, 2020). Bu kapsamda tanımlanan referans

sıcaklık, bir yapıda termal konforun ve yaşanabilir koşulların sağlanabilmesi için gereken asgari iç ortam sıcaklığı anlamında kullanılmaktadır. Diğer bir deyişle, binalarda konforun devamlılığını korumak için ihtiyaç duyulan kritik sıcaklık seviyesini ifade eder. Bununla birlikte, bu değer birçok kullanıcı için genelde geçerli olmakla birlikte, tüm bireyler veya tüm mekanlar için değişmez bir standart niteliğinde değildir. Bina kullanımı, kullanıcıların faaliyet yoğunluğu, günlük kullanım süresi, ayrıca bulunulan coğrafi koşullar ve meteorolojik etkiler, referans sıcaklık gereksiniminin farklılık göstermesine neden olabilir.

Örneğin, Ardahan’da yaşayan bir birey için göreceli olarak ılıman kabul edilen bir hava koşulu, Adana’da yaşayan bir kişi tarafından farklı şekilde algılanabilir. Dolayısıyla, bir iklimde ‘sıcak’ olarak görülen bir gün, başka bir iklimde ‘serin’ kabul edilebilir. Bu nedenle, genellikle soğuk iklimlerde referans sıcaklık yaklaşık 15 °C civarında kabul edilirken, daha ılıman veya sıcak bölgeler için 18 °C veya üzerinde bir değer tercih edilebilmektedir (Bayraktar, 2002). Bu örneklerden de görüldüğü üzere, farklı araştırmalarda, ısıtma derece günü hesaplamalarına dair değişik referans sıcaklık değerleri önerilmiştir.

Kadioğlu (1993) tarafından yapılan araştırmalara göre, pencerelerden sağlanan güneş enerjisi kazançları veya mutfak ekipmanlarından yayılan ısı, iç mekan sıcaklıklarını yaklaşık 3 °C kadar yükseltebilmektedir. Bu nedenle, ısıtma derece günü hesaplamalarında 15 °C’lık bir referans değer tercih edilmesi, birçok koşulda daha sağlıklı ve tutarlı sonuçlar vermektedir. Türkiye’nin farklı bölgelerinde gerçekleştirilen benzer çalışmalar da bu parametrenin bölgesel koşullara göre değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuştur (Kadioğlu vd., 2001). Son yıllarda, küresel enerji maliyetlerinde yaşanan artışlar ve fosil yakıtlardan kaynaklanan çevresel endişeler, pek çok ülkeyi ısıtma hesaplamalarındaki referans sıcaklıklarını yeniden değerlendirmeye ve bu değerleri kendi özgün iklim ve meteorolojik koşullarına göre uyarlamaya yöneltmiştir.

Bir bina veya bölge için IDG hesaplaması yapılırken, referans sıcaklığın altındaki ortalama günlük sıcaklıklar belirlenen süre boyunca (gün, ay veya yıl) toplanmaktadır (Bayraktar, 2002). Aylık veya yıllık derece günü değerleri ise, günlük derece günü toplamalarının birikimi ile elde edilmektedir. Ekonomik açıdan bakıldığında, derece günü verileri ile meteorolojik koşullar arasındaki ilişki, iklim değişikliklerini göz önüne alan ısıtma ve soğutma sistemleri tasarımında üreticilere önemli analizler sunmaktadır (Atalla vd., 2018).

Derece günü hesaplamalarında kullanılan ortalama günlük sıcaklık değerinin belirlenmesi için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. En yaygın olarak uygulanan iki yöntem şunlardır:

(1) Gün içinde belirli saatlerde genellikle 07:00, 14:00 ve 21:00 sıcaklık ölçümleri yapılarak, ortalama sıcaklık aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$T_o = \frac{T_{07} + T_{14} + 2 + T_{21}}{4} \quad (3)$$

Bu yöntem, yüksek doğruluğu nedeniyle meteoroloji teşkilatları tarafından tercih edilmektedir.

(2) Günlük en yüksek ve en düşük sıcaklık değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak hesaplama yapılır; bu yöntem daha basit olup, 24 saat sürekli ölçüm yapamayan istasyonlar tarafından kullanılır. Araştırmalar, 07:00, 14:00 ve 21:00 saatlerinde yapılan ölçümlerle hesaplanan ortalama sıcaklığın, maksimum-minimum ortalama yöntemine kıyasla daha doğru ve gerçekçi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur (Mather, 1974; Kyselý, J. vd., 2004)). $T_o < T_b$ sıcaklık farkı olduğu durumlarda ısıtmaya ihtiyaç olmaktadır. Isıtma sisteminin enerji tüketim değeri;

$$q_t = \frac{K_{top}}{\eta_h} [T_b - T_o(t)]^+ \quad (4)$$

denklem 4 ile hesaplanmaktadır. Burada; K_{top} binanın toplam ısı kayıp katsayısı, t belirlenen zaman, η_h yıllık verim, T_b referans sıcaklığı, T_o Günlük ortalama sıcaklığını ifade etmektedir. K_{top} , η_h ve t den değerleri sabit kabul edildiği durumlarda yıllık ısıtma enerjisi integral kullanılarak denklem 5 ile hesaplanabilmektedir (ASHRAE, 1998):

$$Q_{i,yillik} = \frac{K_{top}}{\eta_h} \int [T_b - t_o(t)]^+ \quad (5)$$

Isıtmanın gerekli olmadığı durumlarda, yani dış ortam ortalama sıcaklığı referans sıcaklığın üzerinde olduğunda, hesaplamada yalnızca pozitif sıcaklık farkları dikkate alınmaktadır. Isıtma derece-gün (IDG) değerleri, günlük ortalama sıcaklık verileri veya daha hassas sonuçlar için saatlik sıcaklık ölçümleri kullanılarak hesaplanabilir (ASHRAE, 1998). $T_o < T_b$ Isıtma derece-gün (IDG) değeri;

$$IDG = \sum_{n=1}^n (T_b - T_o)^+ \quad (6)$$

denklem 6 ile hesaplanmaktadır. Burada; IDG n güne ait ısıtma derece-günlerin kümülatif toplamı, n Periyottaki toplam gün sayısı, T_b Seçilen referans sıcaklık, T_o günlük ortalama hava sıcaklığıdır.

Örneğin, Erzincan için referans sıcaklık 15 °C olarak seçildiğinde, ortalama dış sıcaklığın 0 °C olduğu bir gün için IDG değeri 15 olacaktır. Buna karşılık, ortalama sıcaklık 20 °C olduğunda ısıtma gereksinimi olmadığı için IDG değeri sıfırdır. Bu durum, ortalama sıcaklık azaldıkça ısıtma ihtiyacının IDG değeriyle orantılı olarak arttığını göstermektedir. IDG değerindeki artış, ilgili bölgenin ısıtma için gereken yakıt miktarının da doğrudan artması anlamına gelmektedir.

Bir bölgenin derece-gün değerleri bilindiğinde, o bölge için gerekli yakıt miktarı kolayca hesaplanabilir ve uzun vadeli enerji planlaması yapılabilir. Basit bir ifadeyle, ısıtma için gereken enerji, ısıtma derece-gün değerleri arttıkça aynı oranda yükselmektedir (Gültekin, 1995). Günlük hayatta ABD’de ısıtma yakıtı hesaplamalarında, günlük hava sıcaklığı tahminlerinde ve enerji tasarrufu uygulamalarında IDG verilerinden yoğun olarak faydalanılmaktadır. Gazete ve televizyonlar da günlük minimum ve maksimum sıcaklıkların yanı sıra IDG ve SDG (soğutma derece-gün) değerlerini kamuoyuna aktarmaktadır (Kadioğlu, 1994).

Bunun yanı sıra, meteorolojik istasyonlarda kayıtlı sıcaklık verileri kullanılarak iklim yapısındaki değişikliklerin öngörülmesinde ve coğrafyanın iklim özelliklerine göre sınıflandırılmasında da ısıtma derece-gün verileri önemli bir araçtır.

2.3.2. Soğutma derece gün yöntemi (SDG)

Soğutma Derece Gün (SDG), binalarda soğutma enerji gereksinimini temsil eden önemli bir iklim göstergesidir. Isıtma Derece Gün (IDG) indeksinin bir karşılığı olarak geliştirilen SDG, tarım, turizm ve enerji yönetimi gibi insan yaşamını doğrudan etkileyen alanlarda, gelecekteki iklim koşullarını anlamak ve enerji ihtiyaçlarını planlamak amacıyla yaygın şekilde kullanılmaktadır (You vd., 2014; Azevedo vd., 2015; Indraganti ve Boussaa, 2017; Lindelöf, 2017; Kashki vd., 2022; Karagiannids vd., 2023; Corrales Suastegui vd., 2021).

SDG hesaplaması, belirlenen referans sıcaklık (T_b) üzerine çıkan günlük ortalama dış hava sıcaklıklarının farklarının incelenen dönem boyunca toplanması esasına dayanır. Bu yöntemde yalnızca ortalama sıcaklığın referans sıcaklığın üzerinde olduğu durumlar dikkate alınır ($T_o > T_b$) (Mistry, 2019; Kotakis ve Moustris, 2023). Böylece, yıllık veya aylık bazda ortaya çıkan soğutma ihtiyaçları sayısal olarak ifade edilerek enerji tüketim analizlerinde kullanılabilir hale gelir.

SDG indeksleri, binaların soğutma enerji ihtiyacını tahmin etmek için kullanılan temel yöntemlerden biridir. Bu indeksler, dış ortam sıcaklığı ile iç mekan konfor sıcaklığı arasındaki pozitif farkın saatlik ve günlük ölçümleri üzerinden hesaplanarak, sıcak hava koşullarının iç sıcaklık dalgalanmaları üzerindeki enerjik etkisini ortaya koyar (Letherman ve Al-Azawi, 1986; Assawamartbunlue, 2013; Salata vd., 2022). SDG değerleri günlük, aylık, yıllık ve çok yıllık periyotlarda toplanarak değerlendirilir. Bu hesaplama yöntemi, bina geometrisi veya malzeme özelliklerine dair bilgi gerektirmeden, bölgesel iklim değişikliklerinin enerji talebi üzerindeki etkilerini kolayca analiz etmeye olanak sağlar (Salata vd., 2022).

Ayrıca, SDG yalnızca binaların soğutma enerji gereksinimini yansıtmakla kalmayıp, doğal ortamda termal konfor koşullarının değerlendirilmesinde de yaygın şekilde kullanılmaktadır. Kanada Ulusal Araştırma Konseyi (NRC) (Boyd, 1979) ve Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği (ASHRAE, 2017) tarafından endüstri standardı olarak kabul edilen SDG, enerji tüketimini açıklama ve modellemede literatürde sıkça başvurulan bir metriktir (Day, 2006; Semmler vd., 2009). İklim değişikliğinin etkisiyle, yüzyıl sonuna kadar SDG değerlerinde artış beklenmekte olup, bu da gelecekteki soğutma enerji gereksinimlerinin değerlendirilmesinde kritik bir rol üstlenecektir (Shi vd., 2011; Li vd., 2012; De Rosa vd., 2015; Petri & Caldeira, 2015; Shi vd., 2018).

Ayrıca, binaların enerji tüketimi ile ortam ısı koşulları arasında ilişki kurmak her zaman kolay olmasa da, SDG bu ilişkiyi temsil eden yaygın bir sıcaklık referanslı metrik olarak kabul edilmektedir (Chervenkov ve Slavov, 2025). Özellikle yaz aylarında, ortalama sıcaklıkların referans değerinin üzerine çıktığı günlerde oluşan farkların kümülatif toplamı, soğutma enerji talebinin bir göstergesi haline gelir (De Rosa vd., 2014).

SDG, günlük ortalama sıcaklıkların belirli bir dönemde bir eşik değerin üzerine çıkma veya altına inme miktarını ve süresini ölçmek için yararlıdır (Azizah vd., 2024).

SDG için kullanılan referans sıcaklık, iç mekanlarda oluşan iç kazanımlar ve güneş ısı kazançlarının soğutma yükünü dengelediği, yani mekanik soğutma gereksinimini ortadan kaldırdığı dış hava sıcaklığı olarak tanımlanır. Bu nedenle, SDG için önerilen referans sıcaklık genellikle ısıtma derecesi günü (IDG) hesaplarında kullanılan referans sıcaklıktan daha düşüktür. Örneğin, ASHRAE standartları, soğutma yükü tahminleri için 10 °C gibi farklı referans sıcaklık değerlerinin kullanılmasını önermektedir (Bhatnagar vd., 2018).

SDG yöntemi, IDG'ye benzer şekilde günlük ortalama sıcaklık ile referans sıcaklık arasındaki pozitif farkların toplamı olarak tanımlanır ve binaların soğutma enerji ihtiyacını tahmin etmek için kullanılan basit ve yaygın bir yöntemdir (Moustris vd., 2015). Bu yöntem, veri erişilebilirliği ve uygulama kolaylığı nedeniyle özellikle uzun dönemli enerji talebi analizlerinde, enerji verimliliği politikalarının değerlendirilmesinde ve iklim değişikliğinin etkilerinin incelenmesinde tercih edilmektedir (De Rosa vd., 2014; Pangsy-Kania vd., 2024).

SDG hesaplamalarının doğruluğu kullanılan sıcaklık verisinin kalitesine ve zaman çözünürlüğüne bağlıdır. En hassas sonuçlar, saatlik sıcaklık ölçümlerinin kullanıldığı yöntemlerle elde edilirken (Morakinyo vd., 2019), pratikte günlük ortalama sıcaklıklar ASHRAE standartlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Uzun vadeli veya verinin eksik olduğu durumlarda ise, aylık ortalama sıcaklıklar ve günlük sıcaklıkların standart sapması birlikte kullanılarak tahminler yapılabilmektedir (Gaudard vd., 2014; Fan vd., 2019). Bu çeşitlilik, farklı veri setlerine ve analiz amaçlarına uygun esneklik sağlamaktadır.

İklim değişikliğinin soğutma enerjisi talebi üzerindeki etkilerini değerlendiren birçok çalışma, SDG yöntemini etkin biçimde kullanmıştır. Bu çalışmalar, iklim modelleri ve tarihsel sıcaklık verileri aracılığıyla gelecekteki SDG değişimlerini tahmin ederek, bölgesel enerji planlaması ve politika yapıcılar için önemli bilgiler sağlamaktadır (Papakostas vd., 2010; Spinoni vd., 2015; Berardi ve Jafarpur, 2020; Tomrukcu ve Ashrafian, 2024).

Ayrıca, enerji tüketiminin iklim koşullarıyla ilişkisini inceleyen çalışmalarda, Soğutma Derece Gün Yöntemi (SDG), bölgesel soğutma talebinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir iklim göstergesidir. SDG, belirli bir referans sıcaklık üzerindeki günlük ortalama hava

sıcaklığının bu referans değerden ne kadar fazla olduğunu ölçerek, soğutma ihtiyacını sayısal olarak ifade eder. Bu yöntem, özellikle elektrik tüketimi ile soğutma talebi arasındaki güçlü korelasyonu ortaya koyması nedeniyle enerji analizlerinde önemli bir araç olarak kabul edilmektedir (Dowling, 2013; Ciscar ve Dowling, 2014).

Literatürde yapılan çalışmalar, SDG indeksinin elektrik tüketimi tahmininde yüksek doğruluk sağladığını göstermiştir. Nateghi ve Mukherjee (2017), Levesque vd. (2018), Park vd. (2018) tarafından gerçekleştirilen araştırmalar, SDG ile elektrik tüketimi arasında anlamlı bir pozitif ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, Berardi ve Jafarpur (2020), Mastrucci vd. (2020) ile Steinberg vd. (2020) da SDG'nin bölgesel enerji kullanımını modellemede güvenilir bir gösterge olduğunu belirtmişlerdir.

Isıtma ve soğutma talepleri genellikle zıt yönlerde hareket ettiğinden, bir bölgedeki toplam enerji tüketimindeki değişim, o bölgenin hangi talebin baskın olduğuna bağlıdır (Li, 2018). Tropikal bölgelerde ısıtma talebi neredeyse yoktur; bu nedenle enerji tüketimindeki değişimler büyük ölçüde SDG ile ilişkilidir (Waite vd., 2017; Li, 2018). Bu durum, SDG'nin özellikle sıcak iklim koşullarına sahip bölgelerde enerji talebinin belirlenmesinde kritik bir rol oynadığını göstermektedir.

SDG yönteminin uygulanmasındaki önemli bir zorluk, uygun referans sıcaklık konusunda fikir birliğinin olmamasıdır. Literatürde bu değer 10 °C'den 28 °C'ye kadar değişmiştir ve birçok çalışma referans sıcaklığını hatalı bir şekilde iç mekân konfor sıcaklığı olarak ele almıştır. Ancak, Shi vd. (2018), Belova vd. (2018) ve Roshan vd. (2017) tarafından belirtildiği gibi, referans sıcaklığının binanın termal özelliklerine, iç kazanımlarına ve güneş girdilerine kritik bir şekilde bağlı olan bir değer olan dış denge noktası sıcaklığı olması amaçlandığından bu yaklaşım yanlıştır.

Lee vd. (2014) tarafından vurgulandığı gibi, aylık elektrik kullanımını ortalama sıcaklığa göre çizmek genellikle hem ısıtma hem de soğutma için ortak bir denge noktası belirleyen V şeklinde bir eğri ile sonuçlanır. Güney Kore genelinde yaptıkları çalışmada, hesaplanan denge noktası daha soğuk bölgelerde 14.7 °C'den daha sıcak bölgelerde 19.4 °C'ye kadar değişmiştir ve referans sıcaklığını belirlemede iklimin ve bina özelliklerinin rolünü vurgulamaktadır.

SDG, özellikle yüksek sıcaklıkların görüldüğü sıcak hava koşullarında insanların ortamda güvenli ve konforlu bir şekilde bulunabilmesini sağlamaya yönelik bir göstergedir. İç mekânlarda uygun koşulların sağlanabilmesi için binaların havalandırma ve soğutma sistemleri zorunlu hale gelmiştir. Bu sistemlerin enerji tüketimi, bölgenin soğutma derece günü değerleri ile doğru orantılıdır. Yoğun fosil yakıt kullanımı nedeniyle değişen iklim yapısı, insanları aşırı sıcak ve aşırı soğuk iklim koşullarına maruz bırakmaktadır. Kış aylarında olduğu gibi ısıtma ihtiyacı olduğu gibi, yaz aylarının çok sıcak dönemlerinde de soğutma zorunlu hale gelmektedir. Bu doğrultuda, binaların soğutulması amacıyla çeşitli soğutma cihazları geliştirilmiş ve kullanılmaktadır. Bu cihazların enerji tüketimi, dış ortam sıcaklığına bağlıdır ve bu durum soğutma derece günleri ile ifade edilir.

Isıtma derece günlerinde olduğu gibi, soğutma derece günlerinde de bir konfor sınırı belirleyen referans sıcaklık kullanılır. Bu referans sıcaklık insan konforu dikkate alınarak belirlenir. Yapılan çalışmalar, hava sıcaklığı 24 °C'nin üzerine çıktığında insanların rahatsızlık hissetmeye başladığını göstermektedir. Dolayısıyla, günlük ortalama sıcaklık 24 °C'yi aştığında, mekânların soğutulması ve belirli bir sıcaklıkta sabitlenmesi gerekmektedir. Soğutma derece günü değeri, günlük ortalama sıcaklık ile belirlenen referans sıcaklık arasındaki farktır. Örneğin, referans sıcaklığın 24 °C olarak alındığı bir bölgede, günlük ortalama sıcaklık 28 °C ise, soğutma derece günü değeri 4 °C olacaktır. Günlük en düşük ve en yüksek sıcaklık ortalamaları referans sıcaklığın altında kaldığında ise, soğutma ihtiyacı olmadığından bu değer sıfır olarak kabul edilir. Soğutma ihtiyacı, ortalama sıcaklık referans sıcaklıktan yüksek olduğunda ortaya çıkar. $T_o > T_b$ sıcaklık farkı olduğu durumlarda soğutmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Öztürk, 2024), soğutma derece gün denklem 7 kullanılarak hesaplanır.

$$SDG = \sum_{n=1}^n (T_b - T_o)^+ \quad (7)$$

Burada;

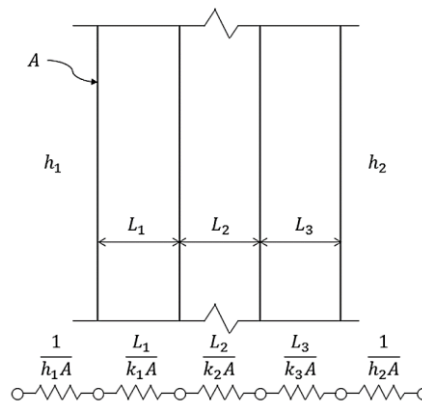
- SDG , toplam soğutma derece günlerini,
- n , analiz edilen toplam gün sayısını,
- T_b , seçilen referans sıcaklığı,
- T_o , günlük ortalama sıcaklığını ifade etmektedir (Gültekin, 1995).

Soğutma için önerilen referans sıcaklık aralığı, yalıtımsız binalarda 23 °C ile 25,5 °C arasında, iyi yalıtımlı yapılarda ise 25.5 °C ile 27.8 °C arasında değişmektedir (Büyükalaca vd., 2001). Referans sıcaklık değerinin artmasıyla birlikte soğutma derece günü değerlerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, deniz seviyesinden yüksek rakımlı bölgelerde soğutma derece günü değerlerinin düştüğü; buna karşın ısıtma derece günü değerlerinin ise hızlı bir şekilde arttığı bilinmektedir (Bulut vd., 2007).

Özetle, SDG metriği, iklimler genelinde soğutma enerjisi ihtiyaçlarını karşılaştırmak için standart bir yol sağlar; ancak doğruluğu, iç kazanımlar, güneş kazanımları ve termal kayıplar arasındaki dengeyi gerçekten yansıtan uygun bir referans sıcaklığın seçilmesine kritik derecede bağlıdır.

2.3.3. Bölünmüş derece gün yöntemi (bDG)

Derece gün yönteminde, enerji tüketiminin hesaplanmasında genel ısı transfer katsayısı, alan ve derece günler kullanılır. Ancak, bu yöntemde ısı transfer katsayısı ve sıcaklık farkı her zaman adımında değişir. Şekil 9, çok katmanlı bir duvardaki sabit durum dirençlerine bir örnek sağlar ve denklem 8, genel ısı transfer katsayısının (U) denklemini gösterir.

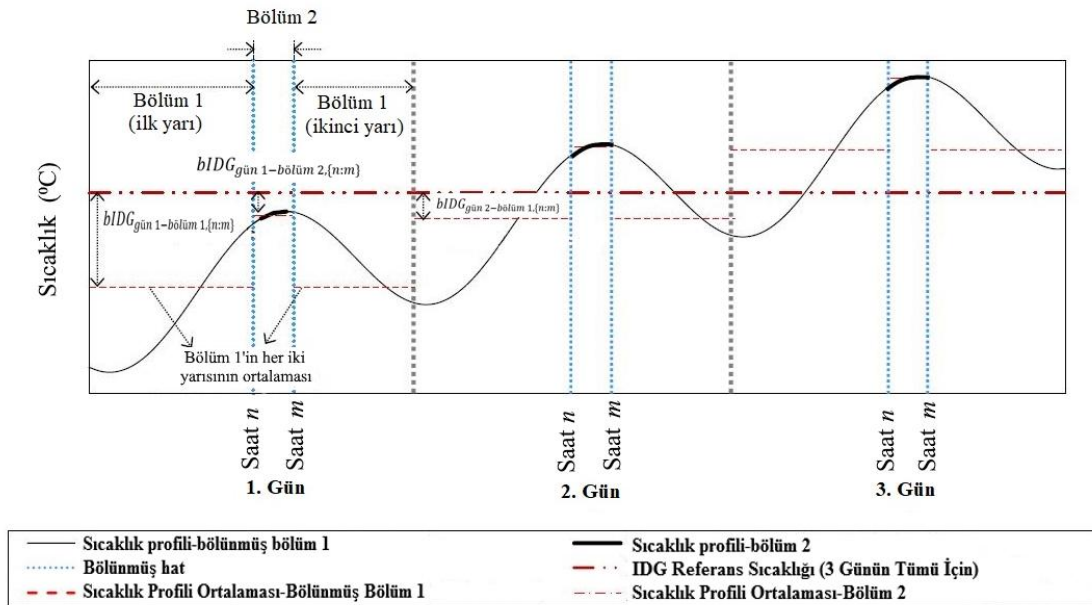


Şekil 9. Çok katmanlı duvardaki sabit durum termal dirençlerinin temsili gösterimi

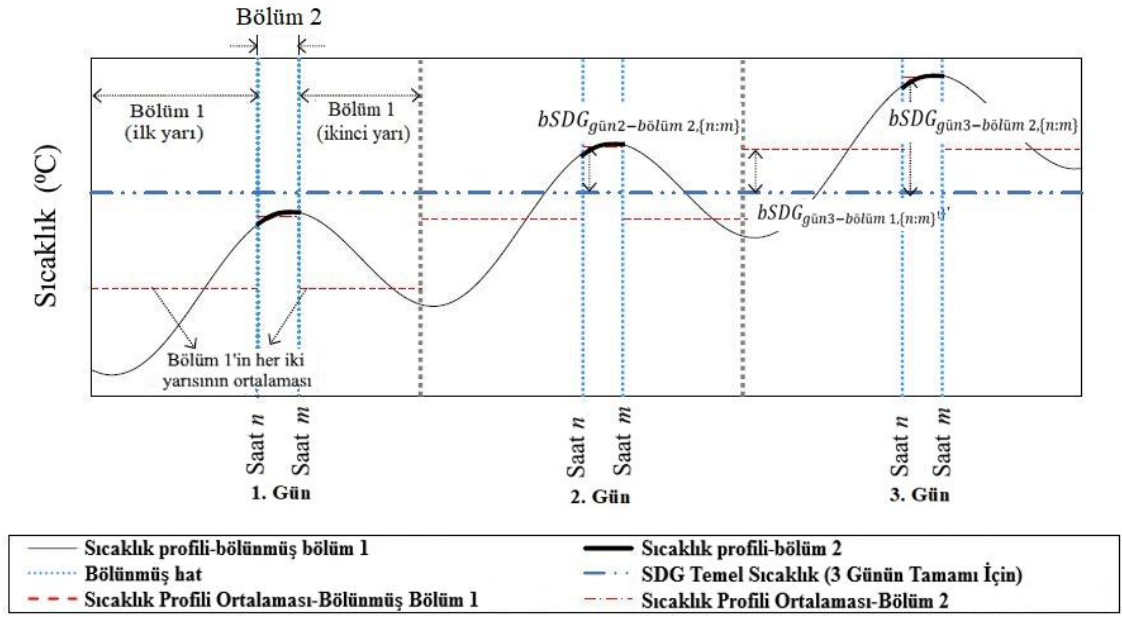
$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \sum_i \frac{L_i}{k_i} + \frac{1}{h_2}} \quad (8)$$

Burada, h_1 ve h_2 duvarın iki yüzünün taşınım/radyasyon ısı transfer katsayılarıdır, L kalınlıktır ve k malzeme tabakası i 'nin ısı iletkenliğidir.

Yüzey taşınımlı ısı transferi her zaman adımında değiştiğinden, genel ısı transfer katsayısı da değişir. Sıcaklık farkı, sabit bir iç sıcaklık için dış sıcaklıktaki dalgalanmalara bağlı olarak da değişir. Bu değişimler, geleneksel derece gün yöntemi kullanılarak tahmini enerji tüketiminde yanlışlıklara neden olur. Bu nedenle, bu değişimleri hesaba katan daha doğru bir muhasebe prosedürü tanımlamaya ihtiyaç vardır. Bu tür prosedürlerden biri, bölünmüş Isıtma Derece Günü (bIDG) ve bölünmüş Soğutma Derece Günü (bSDG) olabilir. bIDG ve bSDG sırasıyla Şekil 10 ve Şekil 11’de gösterildiği gibi tanımlanmıştır, burada sIDG ve sSDG'nin üç gün için hesaplanması gösterilmiştir. Şekil 10 ve Şekil 11’de, üç ardışık gün boyunca sürekli artan tipik sinüzoidal günlük sıcaklık profili farklı senaryoları (yani, Gün 1, Gün 2, Gün 3) göstermek için bir örnek olarak sunulmuştur. Şekil 10 ve Şekil 11’de her gün iki bölüme ayrılmıştır. İlk bölüm, günün başlangıcından n saatine kadar olan süreyi ve m saatinden gün sonuna kadar olan süreyi temsil eder, burada saat n ve saat m, günlük sıcaklığın zirvesi etrafındaki simetrik bir sürenin başlangıcını ve sonunu temsil eder. Günün ikinci bölümü, n saatinden m saatine kadar olan süreyi temsil eder. 1. Günde, her iki bölünmüş bölümün ortalaması (yani, bölüm 1 ve 2) referans sıcaklıktan daha düşüktür. 2. Gün’de, bölünmüş bölüm 1’in ortalaması referans sıcaklıktan düşükken, bölüm 2’nin ortalaması referans sıcaklıktan yüksektir. 3. Gün’de, her iki bölünmüş bölümün (yani, bölüm 1 ve 2) ortalaması referans sıcaklıktan yüksektir.



Şekil 10. bIDG'nin tanımlanması



Şekil 11. bSDG'nin tanımlanması

Denklem 9 ve denklem 10 ile bIDG, denklem 11 ve denklem 12 ile bSDG'nin hesaplanmasını ifade edilmektedir. Burada derece gününün hesaplanmasındaki aynı yaklaşım bir gün içindeki iki aralığa uygulanır, biri n ve m saatleri arasındaki ($1 \leq n, m \leq 24$) aralık $\{n, m\}$ olarak gösterilir ve diğeri günün tamamlayıcı saatleri için aralık $\{n, m\}'$ olarak gösterilir.

$$bIDG_{günlük-bölüm 1,\{n:m\}} = \left(T_{bIDG} - \frac{T_{\{n:m\},max} + T_{\{n:m\},min}}{2} \right)^+ \quad (9)$$

$$bIDG_{günlük-bölüm 2,\{n:m\}'} = \left(T_{bIDG} - \frac{T_{\{n:m\}',max} + T_{\{n:m\}',min}}{2} \right)^+ \quad (10)$$

Burada T_{bIDG} , 18°C olduğu varsayılan IDG için referans sıcaklıktır.

$$bSDG_{günlük-bölüm 1,\{n:m\}} = \left(\frac{T_{\{n:m\},max} + T_{\{n:m\},min}}{2} - T_{bSDG} \right)^+ \quad (11)$$

$$bSDG_{günlük-bölüm 2,\{n:m\}'} = \left(\frac{T_{\{n:m\}',max} + T_{\{n:m\}',min}}{2} - T_{bSDG} \right)^+ \quad (12)$$

Burada T_{bSDG} , 10°C olduğu varsayılan SDG için referans sıcaklıktır.

Yıllık $bIDG$ denklem 13 ve denklem 14, yıllık $bSDG$ denklem 15 ve denklem 16 ile her bir konum için yılın 365 günündeki derece günlerinin toplanmasıyla hesaplanabilir.

$$bIDG_{yıllık-bölüm\ 1,\{n:m\}} = \sum_{i=1}^{365} \left(T_{bIDG} - \frac{T_{\{n:m\},max} + T_{\{n:m\},min}}{2} \right)^+ \quad (13)$$

$$bIDG_{yıllık-bölüm\ 2,\{n:m\}'} = \sum_{i=1}^{365} \left(T_{bIDG} - \frac{T_{\{n:m\}',max} + T_{\{n:m\}',min}}{2} \right)^+ \quad (14)$$

$$bSDG_{yıllık-bölüm\ 1,\{n:m\}} = \sum_{i=1}^{365} \left(\frac{T_{\{n:m\},max} + T_{\{n:m\},min}}{2} - T_{bSDG} \right)^+ \quad (15)$$

$$bSDG_{yıllık-bölüm\ 2,\{n:m\}'} = \sum_{i=1}^{365} \left(\frac{T_{\{n:m\}',max} + T_{\{n:m\}',min}}{2} - T_{bSDG} \right)^+ \quad (16)$$

Bölünmüş derece günleri yöntemlerinde, derece günlerinin hesaplanması için kullanılan benzer prosedür gün içinde iki zaman aralığı için uygulanır. Bu nedenle, bölünmüş derece günleri, derece günlerine kıyasla günlük sıcaklık aralığı hakkında daha fazla bilgi içerir. Ayrıca, iki zaman aralığı için ayrı ısı kaybı katsayıları hesaplanabilir. Günlük enerji tüketiminin derece günleri yöntemi kullanılarak hesaplanmasına benzer şekilde günlük enerji tüketimi denklem 17'de gösterildiği gibi bölünmüş derece günleri kullanılarak hesaplanabilir.

$$Q = n_{bölüm1} \cdot U_{bölüm1} \cdot A \cdot bDG_{bölüm1} + n_{bölüm2} \cdot U_{bölüm2} \cdot A \cdot bDG_{bölüm2} \quad (17)$$

Burada, $n_{bölüm1}$ ve $n_{bölüm2}$ her bir zaman aralığındaki saat sayısı, $U_{bölüm1}$ ve $U_{bölüm2}$ ise iki günlük zaman aralığındaki toplam ısı transfer katsayılarıdır, A alan, $bDG_{bölüm1}$ ve $bDG_{bölüm2}$ ise iki günlük zaman aralığının $bIDG$ veya $bSDG$ 'dir.

Binalardaki termal depolama etkisi nedeniyle, bir binada bir gün boyunca iki zaman aralığının her birindeki enerji tüketimi, önceki aralıklardaki enerji kullanımının hesaba katılmasını

gerektirebilir. Bu etki, her bir zaman aralığındaki daha küçük zaman aralıkları için daha belirgin olabilir. İki değişken arasındaki bu tür bir bağımlılık, bir regresyon modelindeki etkileşim terimi kullanılarak dahil edilebilir. Denklem 18, etkileşim terimini içeren günlük enerji tüketiminin hesaplanmasını göstermektedir.

$$Q = n_{bölüm1} \cdot U_{bölüm1} \cdot A \cdot bDG_{bölüm1} + n_{bölüm2} \cdot U_{bölüm2} \cdot A \cdot bDG_{bölüm2} + c \cdot DG_{bölüm1} \cdot bDG_{bölüm2} \quad (18)$$

Burada c , etkileşim teriminin etkisini kontrol etmek için bir faktördür. Yıllık enerji tüketimi, bir yıl boyunca günlük enerji tüketimlerinin toplanmasıyla denklem 19 kullanılarak hesaplanabilir.

$$Q_y = \sum_{i=1}^{365} (n_{bölüm1} \cdot U_{bölüm1} \cdot A \cdot bDG_{bölüm1}(i) + n_{bölüm2} \cdot U_{bölüm2} \cdot A \cdot bDG_{bölüm2}(i)) \quad (19)$$

Günlük ısıtma ve soğutma enerji tüketimleri sırasıyla denklem 20 ve denklem 21 kullanılarak hesaplanabilir.

$$Q_{i,g} = \frac{n_{bölüm1} \cdot K_{t1} \cdot bIDG_{bölüm1} + n_{bölüm2} \cdot K_{t2} \cdot bIDG_{bölüm2}}{\eta_h} \quad (20)$$

Burada, K_{t1} ve K_{t2} binanın iki zaman aralığındaki toplam ısı kaybı katsayıları ve η_h ısıtma sisteminin yıllık yakıt kullanım verimidir.

$$Q_{s,g} = \frac{n_{bölüm1} \cdot K_{t1} \cdot bSDG_{bölüm1} + n_{bölüm2} \cdot K_{t2} \cdot bSDG_{bölüm2}}{COP} \quad (21)$$

Burada, COP soğutma sisteminin performans katsayısıdır.

Bu hesaplamalarla geleneksel derece gün yöntemine benzer şekilde, önerilen bölünmüş derece gün değerleri bir binadaki soğutma veya ısıtma gereksinimlerini tahmin ederken, bölünmüş derece günün iki değeri artık bir konumdaki günlük sıcaklık aralığı bilgisini de içermektedir

2.4. Literatürde Derece Gün Yöntemi ile Yapılmış Çalışmalar

Büyükalaca vd. (2000) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, Türkiye'ye ilişkin ısıtma ve soğutma derece-günleri uzun dönemli meteorolojik veri setleri kullanılarak belirlenmiştir. Isıtma derece-günleri için 14 °C ile 22 °C arasında değişen beş farklı referans sıcaklık seçilirken,

soğutma derece-günleri için ise 18 °C ile 28 °C arasında altı farklı referans sıcaklık değeri uygulanmıştır. Çalışmada, Türkiye genelindeki 78 meteoroloji istasyonuna ait yıllık ısıtma ve soğutma derece-gün değerleri tablo halinde sunulmuş ve bu değerlere ilişkin haritalar oluşturulmuştur.

Dombaycı vd. (2006), Denizli ilinde yürüttükleri araştırmada, binalarda yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve genleştirilmiş polistiren (EPS) kullanmışlardır. Analitik yöntemin temelini derece-gün yöntemi oluşturmuştur. Isıtma enerjisi kaynakları arasında doğal gaz, kömür, elektrik, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve fuel oil yer almakta olup, bu enerji türlerine bağlı olarak optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Sonuçlar, optimum yalıtım kalınlığı uygulandığında yaklaşık 1.43 yıllık geri dönüş süresi ile metrekare başına 14 ABD doları seviyesinde enerji tasarrufu sağlandığını ortaya koymuştur.

Özel ve Pıhtılı (2008), Adana, Elazığ, Erzurum, İstanbul ve İzmir illerinde ısıtma ve soğutma derece-gün değerlerine dayalı olarak dış cephe duvarları için optimum yalıtım kalınlıklarını incelemiştir. Araştırmada yalıtım malzemesi olarak ekstrüde polistiren tercih edilmiştir. Optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Sonuçlar, optimum yalıtım kalınlıklarının 0.04 m ile 0.084 m arasında değiştiğini, enerji tasarruflarının metrekare başına 21.94 ile 97.12 Türk Lirası arasında farklılık gösterdiğini ve geri ödeme sürelerinin incelenen şehre bağlı olarak 1.45 ile 2.05 yıl arasında değiştiğini ortaya koymuştur.

Öztuna ve Dereli (2009), Edirne ili için doğal gaz, elektrik, fuel oil, LPG ve kömür olmak üzere altı farklı ısıtma yakıtını yaşam döngüsü maliyet analizi yöntemiyle değerlendirmiştir. 25 ısıtma derece-gün değeri referans alınarak taş yünü, genleştirilmiş polistiren (EPS) ve EPS'li sandviç duvar sistemlerinde optimum yalıtım kalınlığı belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar, farklı duvar yalıtım modelleri için optimum kalınlıkların geri ödeme süreleri ve yıllık enerji tüketim miktarlarını ortaya koymuştur. Çalışma sonucunda, yakıt türü olarak kömür ve yalıtım malzemesi olarak EPS kullanıldığında %24 ile %47 arasında değişen önemli enerji tasarrufları tespit edilmiştir. Optimum yalıtım kalınlıkları 0.028 m ile 0.039 m aralığında ve geri ödeme süreleri 2.1 ile 4.2 yıl arasında değişiklik göstermiştir.

Özkan ve Onan (2011), P1-P2 yöntemi ile pencere ve dış duvar yüzey alanlarının bina ısıtma enerji ihtiyacı ve optimum yalıtım kalınlığı üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Çalışma kapsamında Türkiye'nin farklı bölgelerinde çeşitli yalıtım malzemeleri, cam alanları ve yakıt

tipleri için dört farklı ısıtma derece-gün senaryosu değerlendirilmiş ve sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur. Araştırma, sırasıyla 13.996 USD/m², 31.680 USD/m², 46.613 USD/m² ve 63.071 USD/m² düzeylerinde enerji tasarrufu sağlandığını ve yatırımın geri ödeme sürelerinin 2.023, 1.836, 1.498 ve 1.346 yıl olarak gerçekleştiğini göstermiştir. Ayrıca, ekstrüde polistiren (XPS) yalıtım malzemesinin doğal gaz ile birlikte kullanılması durumunda karbondioksit (CO₂) emisyonlarının %50.91 azaldığı; yakıt yağı ile XPS kullanıldığında ise hem CO₂ hem de kükürt dioksit (SO₂) emisyonlarının %54.67 oranında düştüğü belirlenmiştir.

Moran (2018), termal konforu sağlarken enerji verimliliğini artırmak ve atık gaz emisyonlarını en aza indirmek için tasarlanmış TS 825 termal yalıtım standardına uygun bir yaşam döngüsü maliyet analizi yaklaşımı kullanmıştır. Bu çalışmada, dört ayrı derece-gün iklim bölgesinde optimum yalıtım kalınlığı belirlenmiş ve dört farklı yalıtım malzemesi kullanılarak değerlendirilmiştir. Ek olarak, TS 825 yalıtım yönetmeliği çerçevesi, yatırım maliyeti tasarruf analizi, hesaplama yöntemi ve yıllık enerji maliyeti tahmini dahil olmak üzere dört hesaplama metodolojisi kullanılmıştır. Ayrıca, çalışmada optimum yalıtım uygulamasıyla elde edilen enerji tasarruflarıyla ilişkili çevresel etkiler ve ekonomik çıkarımlar araştırılmıştır.

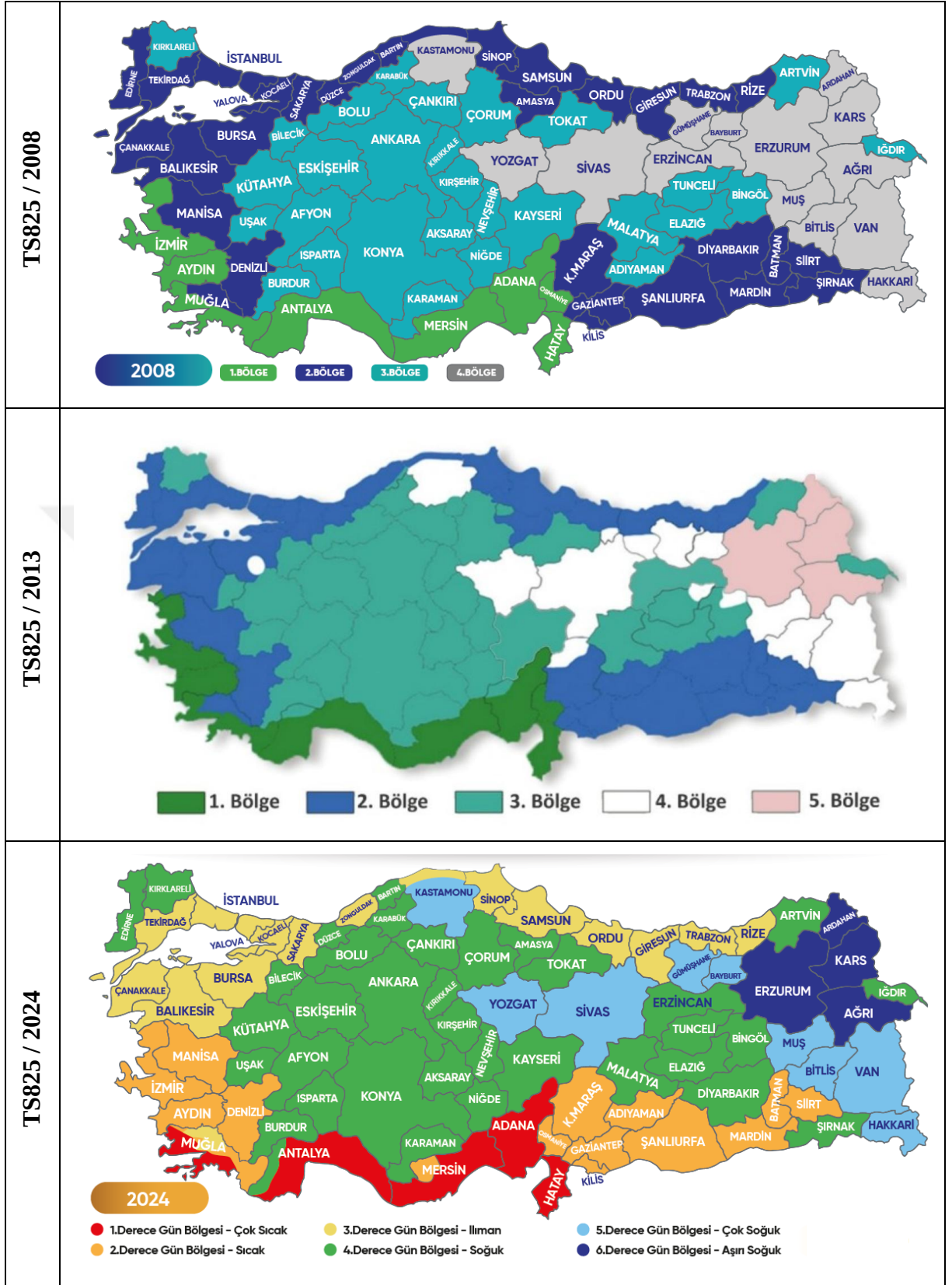
Kheiri vd. (2023), geleneksel derece-gün yönteminin bina enerji tüketimini tahmin etmede bazı sınırlılıklar taşıdığı ortaya koymuşlardır. Hava durumu verilerini daha ayrıntılı biçimde dikkate alan ve günlük ortalama sıcaklıkların ötesine geçen yeni bir yaklaşım olan bölünmüş derece-gün (split-degree day) yöntemini önermektedirler. ABD genelinde 801 farklı lokasyonda yapılan regresyon analizleri sonucunda, önerilen yöntemin toplam yıllık enerji kullanımında %5'in, ısıtma enerjisinde %8'in ve fan enerjisinde %33'ün üzerinde doğruluk artışı sağladığını gösterilmişlerdir. Ayrıca, yüksek ısıl kütleyle sahip binalar ile 24 saat çalışan sistemlerde de daha güvenilir tahminler sunarak bölünmüş derece-gün yönteminin, özellikle referans sıcaklığındaki sapmalara rağmen tahmin doğruluğunu koruması sayesinde, bina enerji modellemelerinde geleneksel derece-gün yaklaşımına kıyasla daha doğru bir alternatif olduğunu ortaya koymaktadırlar.

3. YÖNTEM

Derece-gün yöntemi, özellikle erken tasarım aşamalarında veya büyük ölçekli enerji politikalarının planlamasında, hızlı ve ekonomik tahminler sağlayabilmesi açısından önem taşır. Bununla birlikte, yöntemin doğruluğu; referans sıcaklığının belirlenmesine, bina kabuğunun özelliklerine (duvar tipi, pencere alanı, yalıtım kalınlığı, malzeme özellikleri), hava sızıntıları, güneş ışıınımı, rüzgâr etkisi, iklim koşulları ve kullanıcı alışkanlıkları gibi çok sayıda parametreye bağlıdır (Dombaycı, 2009; Levermore ve Parkinson, 2016).

TS 825'te yıllık net ısıtma enerjisi ihtiyacını belirlemek için ısıtma derece-gün hesaplamasına dayalı statik bir teknik kullanılmaktadır. TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardı, ilk olarak 1970 yılında tavsiye niteliğinde bir yönetmelik olarak çıkmış; 2000 yılı itibariyle yeni binalarda uygulanması zorunlu hale getirilen bir standart olmuştur. Standartta, zaman içerisinde yapılan revizyonlar ile binaların ısı performansının daha da iyileştirilmesi tavsiye edilmiştir (Altun vd., 2019). TS 825/2024 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardında ısınma derece-gün sayılarına göre Türkiye altı iklim bölgesine ayrılmıştır. Bölge 1, ısınma için en az enerji ihtiyacı olan bölgeyi, Bölge 6 ise enerjiye en çok ihtiyaç duyulan bölgeyi temsil etmektedir. TS 825/2008 (Timur, 2025), TS 825/2013 (Atmaca, 2016) ve TS 825/2024 (Timur, 2025) Türkiye’nin derece gün bölgelerine göre iklim haritaları Şekil 12’de üzerinde gösterimi verilmiştir.

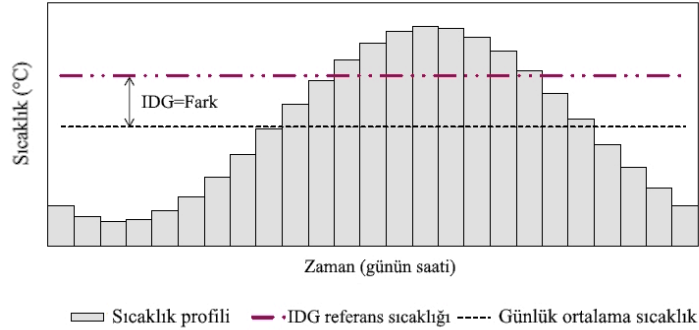
DG hesaplarında, sıcaklık verileri her ne kadar temel veri ise de, nem, rüzgar hızı ve yönü, ısıtım şiddeti ve güneşlenme süresi, şehirleşme gibi bir takım ilave faktörler de önem kazanır. DG hesaplamalarında sonuçların gerçeği daha iyi yansıtması için bütün bu meteorolojik faktörlerin göz önünde bulundurulması gerekir. Her ne kadar sıcaklığın yanı sıra diğer bazı meteorolojik faktörleri de göz önünde bulunduran bir takım DG indeksleri geliştirilmiş ise de çok karmaşık ve kullanımları zor olması nedeniyle kullanımları yaygınlaşmamıştır. Sadece sıcaklık verileri kullanılarak hesaplanan DG değerleri insan konforu için gerekli ısıtma ve soğutma ihtiyacını büyük oranda ortaya koyar (Sevinç, 2006).



Şekil 12. TS 825 Standardına göre Türkiye derece gün bölgeleri iklim haritaları

Ortalama Günlük Sıcaklık yönteminde, derece gününü hesaplamak için ortalama günlük sıcaklık kullanılır. Her gün için IDG, eğer pozitif bir değer ise, IDG için referans sıcaklıktan

ortalama günlük sıcaklık çıkarılarak hesaplanır. Benzer şekilde, her gün için SDG, pozitif bir değer olması halinde, SDG için referans sıcaklığın ortalama günlük sıcaklıktan çıkarılmasıyla hesaplanır. Şekil 13'de ortalama günlük sıcaklık yöntemi kullanılarak IDG hesaplamasına ilişkin bir örnek gösterilmektedir (Kheiri, 2023).



Şekil 13. Ortalama günlük sıcaklık kullanılarak ısıtma derece gün hesaplaması

Esasen derece-günler, belirli bir gün aralığında dış hava sıcaklığı ile referans sıcaklık arasındaki farkların bir toplamıdır (CIBSE, 2016). Özellikle referans sıcaklık, binanın iç sıcaklığını sabit tutmak için ısıtma veya soğutmaya ihtiyaç duyulmadığı eşiği ifade eder ve standart bir sabit değer olmaktan ziyade her bina için dinamik bir parametredir. Örneğin, kullanıcı konfor düzeyi ve iç yükler bu değeri önemli ölçüde değiştirebilir (Balaras, 2005). Bu nedenle, farklı bina tipleri ve iklim bölgeleri için ayrı ayrı referans sıcaklık değerlerinin belirlenmesi önerilmektedir (Hao vd., 2022). DG hesaplanmasında denklem 22 kullanılmaktadır.

$$DG = \sum_{1}^{N} (T_b - T_o)^+ \quad T_o \leq T_b \quad (22)$$

Burada; T_o günlük ortalama dış hava sıcaklığı, T_b referans sıcaklığıdır. Parantezlerin üzerindeki artı işaretleri sadece pozitif değerlerin sayılması gerektiğini göstermektedir (Büyükalaca vd., 2001; Kon ve Yüksel, 2013) N gün sayısı (yıl olarak çalışılacağından 365) alınmaktadır. IDG denklem 23 ve denklem 24 ile tanımlanmaktadır.

$$IDG = \sum_{1}^{N} T_{b_i} - T_o \quad T_b > T_o \quad (23)$$

$$IDG = 0 \quad T_b < T_o \quad (24)$$

N gün sayısı, T_{b_i} (°C) ısıtma referans sıcaklığı olup genellikle 18 °C olduğu varsayılır (Kurekci, 2016), T_o (°C) ortalama günlük dış ortam sıcaklığıdır. SDG denklem 25 ve denklem 26 ile tanımlanmaktadır.

$$SDG = \sum_1^N T_o - T_{b_s} \quad (T_b > T_o) \quad (25)$$

$$SDG = 0 \quad (T_b < T_o) \quad (26)$$

N gün sayısı, T_{b_s} soğutma referans sıcaklığı olup genellikle 10 °C olduğu varsayılır (Kheiri vd., 2023), T_o (°C) ortalama günlük dış ortam sıcaklığıdır. Denklem 27'de gösterildiği gibi, T_o 'yi hesaplamak için iki farklı yaklaşım vardır. Günlük maksimum ve minimum sıcaklık ya da günlük ortalama sıcaklık kullanılarak hesaplanabilir.

$$T_o = \begin{cases} \frac{T_{max} + T_{min}}{2} & , \text{ Günlük max. min. yaklaşım} \\ \frac{\sum_{n=1}^{24} T_{o,n}}{24} & , \text{ Günlük ortalama yaklaşım} \end{cases} \quad (27)$$

Burada, T_{max} maksimum günlük dış ortam sıcaklığı, T_{min} minimum günlük dış ortam sıcaklığı ve $T_{o,n}$ bir günün n saatindeki dış ortam sıcaklığıdır.

Bir binadaki toplam ısıtma enerji ihtiyacı DG değerleri kullanılarak denklem 28 ile ifade edilebilir (Arısoy vd., 2000);

$$Q = 24 \cdot U \cdot A \cdot DG \quad (28)$$

Burada Q binadaki toplam ısıtma amaçlı enerji ihtiyacı (kWh), U toplam ısı transfer katsayısı, A alan ve DG derece-gün değeridir. Konutlardaki ısıtma amaçlı enerji ihtiyacı büyük oranda fosil yakıtlardan ve kısmen de elektrik ve diğer enerji kaynaklarından sağlanır. Herhangi bir binadaki toplam ısıtma amaçlı enerji ihtiyacı bilinirse, yakıt tüketimi (ısıtma amaçlı) miktarını aşağıdaki bağıntıyla hesaplamak mümkündür (Durmayaz vd., 2000).

Belirli bir bina için ısıtma amaçlı yıllık enerji tüketimi Q_t (kWh), binanın sürekli ısıtıldığı varsayılarak denklem 29 şeklinde yazılabilir (Kolokotroni vd., 2010).

$$Q_t = \frac{U' \cdot IDG_y \cdot 24}{\eta} \quad (29)$$

Burada U' , toplam bina ısı transfer katsayısını (W/K) ifade etmektedir. IDG_y , yıllık toplam Isıtma Derece Günleri'ni ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{gün}$) temsil eder ve saat cinsine çevrilebilmesi için 24 (saat/gün) ile çarpılır. η ise ısı kaynaklarının verim katsayısını göstermektedir ve değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir ($0 < \eta < 1$). Belirlenen binanın toplam ısı transfer katsayısı U' denklem 30'daki şekilde tanımlanır.

$$U' = \sum_1^M UA + I(\rho c_p)_{hava} \frac{V}{3600} \quad (30)$$

Bu denklem, hem iletim hem de havalandırma kaynaklı ısı kayıplarının bütünleşik bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanır. Burada M ısı kayıplarının gerçekleştiği bölgeleri temsil eder (yani dış duvarlar, pencereler, tavan ve taban). U yapı bileşenlerinin ısı transfer katsayısını ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$), A ilgili bileşenin yüzey alanını (m^2)dır (Parsons 1997). Denklem 30'nin ikinci kısmı doğal havalandırma ısı kayıplarını temsil etmekte olup, I hava değişim oranını (ACH) (hava değişim sayısı/saat, h^{-1}) ve V hacmi (m^3) ifade etmektedir. Denklemde yer alan $(\rho c_p)_{hava}$ havanın yoğunluğu ve özgül ısısını belirtmekte olup havanın hacimsel termal kapasitesidir ve aşağıdaki denklem 31 ile hesaplanmaktadır.

$$(\rho c_p)_{hava} = \left[1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \times \left[1005 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] = 1206 \text{ J}/\text{m}^3 \text{K} \cong 1200 \text{ J}/\text{m}^3 \text{K} \quad (31)$$

$(\rho c_p)_{hava}$ Denklem 30'da yerine yazıldığında binanın toplam ısı transfer katsayısı U' Denklem 32'deki şekilde tanımlanır (Moustris vd., 2015)

$$U' = \sum_1^M UA + \frac{1}{3}IV \quad (32)$$

U yapı bileşenlerinin toplam ısı transfer katsayısı denklem 33 ile hesaplanmaktadır.

$$\sum_1^M UA = U_{dd}(A_{dd} - A_p) + U_p A_p + U_b A_b + U_t A_t \quad (33)$$

Burada:

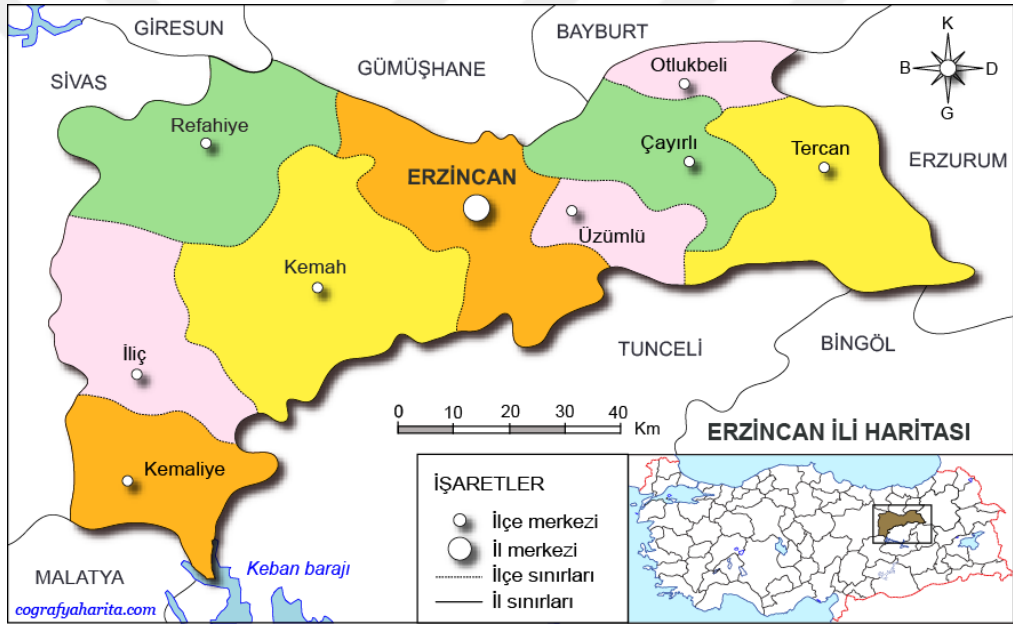
- U_{dd} , Dış duvarların ısı geçiş katsayısı (W/m²K),
- U_p , Pencere (çift cam) yüzeylerinin ısı geçiş katsayısı (W/m²K),
- U_T , Tavan yüzeyinin ısı geçiş katsayısı (W/m²K),
- U_t , Taban yüzeyinin ısı geçiş katsayısı (W/m²K),
- A_{dd}, A_p, A_T, A_t , Sırasıyla dış duvar, pencere, tavan ve taban alanlarıdır (m²).

Bu çalışmada, Türkiye'nin doğu illerinden Erzincan'a ait meteorolojik sıcaklık verileri kullanılarak, ısıtma ve soğutma ihtiyacının değerlendirilmesine yönelik geleneksel ve bölünmüş derece gün analizleri gerçekleştirilmiştir. Erzincan, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan bir ildir. Hem coğrafi konumu hem de iklim özellikleri açısından bölgesinin tipik özelliklerini taşır. Erzincan, Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Erzurum, Sivas, Bayburt, Gümüşhane, Bingöl, Tunceli, Elazığ illerine komşu, Yaklaşık 39°45'K (kuzey enlemi) ve 39°30'D (doğu boylamı) arasında, Fırat Nehri'nin kollarından biri olan Karasu Nehri boyunca uzanan Erzincan Ovası üzerinde yer alır. Rakımı yaklaşık 1.200 metredir.

Erzincan'da karasal iklim hüküm sürer. Ancak Şekil 14'te görüldüğü gibi Doğu Anadolu Bölgesi'nde olmasına rağmen doğudaki birçok şehre göre biraz daha ılımandır (Coğrafyaharita, 2025 a). Şekil 15'de ise Erzincan ve ilçeleri görülmektedir. Ocak ayında sıcaklık çoğu zaman -10 °C'nin altına düşebilir. Gece-gündüz sıcaklık farkı fazla olup hava yaz aylarında sıcak ve kurak geçer, sıcaklıklar 30 °C'yi aşabilir (Coğrafyaharita, 2025 b).

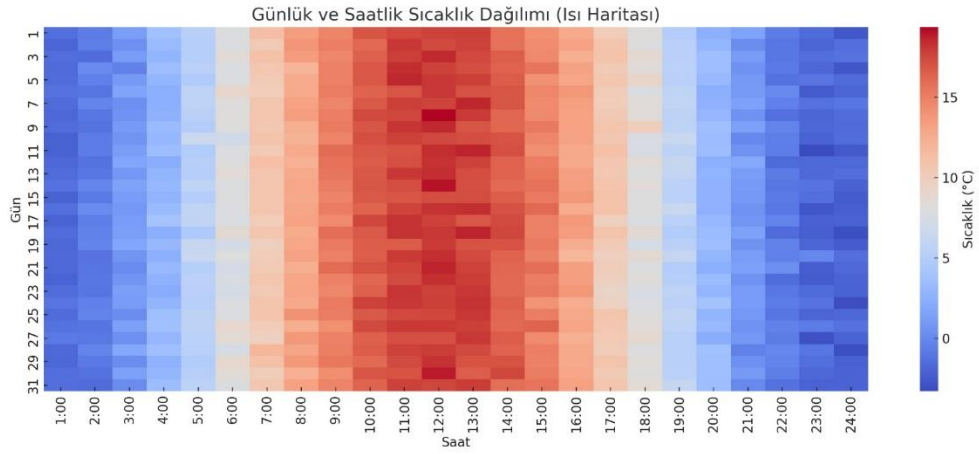


Şekil 14. Erzurum'un Türkiye'deki konumu



Şekil 15. Erzurum ve ilçeleri

Erzurum'da tipik olarak karasal iklim hakimdir. Kışlar çok soğuk, yazlar sıcak ve kuraktır. Sıcaklıklar yıllık ortalama; 10.6–11 °C, aylık ortalama (MGİM, 1929–2024); Ocak: –2.8 °C (ortalama en düşük –6.8 °C, en yüksek +1.8 °C), Temmuz: +23.8 °C (ortalama en düşük +15.6 °C, en yüksek +31.5 °C)'dir. En düşük; –31.2 °C (15 Ocak 1950), En yüksek; +40.6 °C ölçülmüştür.



Şekil 16. Günlük ve saatlik sıcaklık verilerine dayanan ısı haritası (2014-2024)

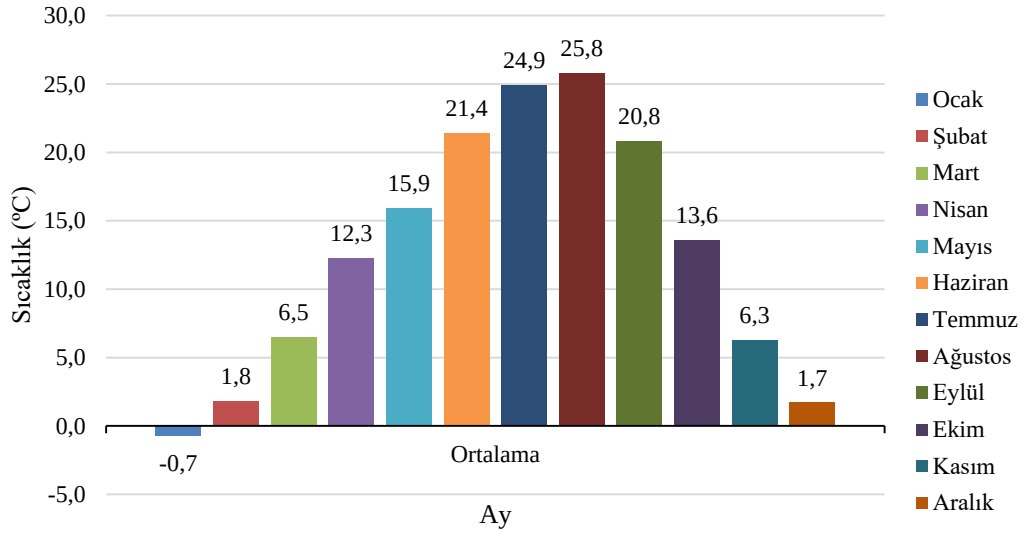
Erzincan yüksek rakımıyla oldukça belirgin bir karasal iklime sahiptir: sert, uzun kışlar; sıcak, kuru yazlar; yağışlar ilkbaharda yoğunlaşır. Bu çeşitlilik, hem tarımsal faaliyet hem doğal yaşam açısından belirleyici olur. Şekil 16’da Erzincan’ın 2014-2024 yılları arasında 11 yıllık günlük ortalama sıcaklıkları ile oluşturulan ısı haritasında günlük sıcaklık dağılımı görülmektedir.

4. BULGULAR

Bu çalışmada, Erzincan iline ait son on bir yıllık (2014–2024) saatlik ve günlük ortalama sıcaklık verileri kullanılarak, Isıtma Derece Günleri (IDG), Soğutma Derece Günleri (SDG) ve Bölünmüş Derece Günler (bDG) değerleri aylık ve yıllık bazda hesaplanmıştır. Elde edilen veriler, ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacının zaman içerisindeki değişimini ortaya koymak ve uzun dönemli iklimsel eğilimleri analiz etmek amacıyla değerlendirilmiştir. Derece gün verileri, yalnızca bir bölgedeki iklim koşullarının enerji talebine etkisini ölçmekle kalmaz; aynı zamanda iklim değişikliğinin yerel düzeydeki yansımalarını da analiz edebilme olanağı sağlar. Bu doğrultuda, yıllık toplam IDG ve SDG değerlerinin zamana bağlı değişimi incelenmiş, görselleştirilmiş ve aylık ortalama değerler analiz edilerek yıllar arasındaki farklılıklar değerlendirilmiştir. Tablo 3'te Erzincan'da genellikle en soğuk günlerin Ocak ayında, en sıcak günlerin ise Temmuz ve Ağustos aylarında yaşandığı görülmektedir.

Tablo 3. Erzincan için en sıcak, en soğuk gün ve aylara ait ortalama sıcaklıklar (2014-2024)

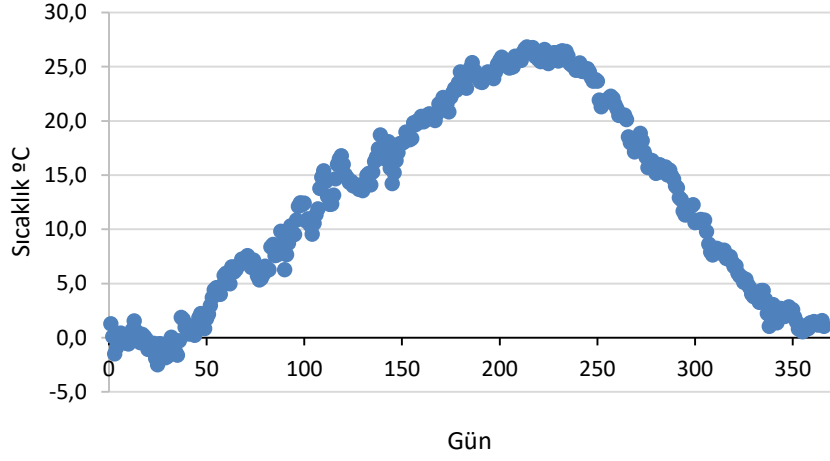
		1. Gün		2. Gün		3. Gün		Ortalama	
		Gün	Sıcaklık ° C	Gün	Sıcaklık ° C	Gün	Sıcaklık ° C	Ay	Sıcaklık ° C
2014	Sıcak	16.Ağu	29.5	18.Ağu	29.4	3.Ağu	29.3	Ağustos	26.4
	Soğuk	6.Oca	-8.8	5.Oca	-7.7	7.Oca	-7.4	Ocak	-0.5
2015	Sıcak	31.Tem	30	11.Ağu	29.9	30.Tem	29.4	Ağustos	26.2
	Soğuk	10.Oca	-11.7	11.Oca	-9.2	9.Oca	-8.5	Ocak	-2.9
2016	Sıcak	18.Tem	28.9	17.Tem	28.4	21.Ağu	28.4	Ağustos	26.1
	Soğuk	28.Oca	-17.1	27.Oca	-16.1	20.Ara	-15	Aralık	-2.9
2017	Sıcak	2.Ağu	30.4	11.Ağu	30.2	3.Ağu	29.8	Ağustos	27.0
	Soğuk	24.Oca	-7.9	31.Oca	-7.7	29.Oca	-7.3	Ocak	-2.6
2018	Sıcak	12.Tem	29.7	11.Tem	29.4	31.Tem	28.8	Temmuz	25.6
	Soğuk	29.Ara	-5.9	29.Ara	-5.9	31.Ara	-2.8	Ocak	2.1
2019	Sıcak	16.Ağu	29.7	15.Ağu	28.8	31.Tem	28.8	Ağustos	24.8
	Soğuk	11.Oca	-11.5	12.Oca	-11.5	31.Ara	-9.1	Ocak	-1.4
2020	Sıcak	26.Tem	29.7	20.Tem	28.8	27.Tem	28.7	Temmuz	25.7
	Soğuk	10.Şub	-9.9	11.Şub	-9.9	9.Şub	-8.2	Şubat	0.1
2021	Sıcak	20.Tem	30.8	21.Tem	30.2	19.Tem	30.1	Temmuz	25.7
	Soğuk	23.Oca	-9.1	22.Oca	-8.9	20.Oca	-8.4	Ocak	0.6
2022	Sıcak	15.Ağu	28.5	30.Tem	28.4	14.Ağu	28.4	Ağustos	27.1
	Soğuk	30.Oca	-11.1	29.Oca	-10.7	22.Oca	-8.7	Ocak	-3.7
2023	Sıcak	9.Ağu	30.5	10.Ağu	30.4	11.Ağu	29.5	Ağustos	26.6
	Soğuk	13.Şub	-10.6	12.Şub	-10.1	11.Şub	-8.9	Şubat	-2.2
2024	Sıcak	22.Ağu	29	21.Ağu	28.6	23.Ağu	28.6	Ağustos	25.8
	Soğuk	2.Ara	-9.8	3.Ara	-8.7	1.Ara	-8.4	Aralık	-0.9



Şekil 17. Erzincan aylık ortalama sıcaklık dağılımı (2014-2024)

Şekil.17’de Erzincan’da yıllık sıcaklık değişimini mevsimsel döngüler çerçevesinde oldukça belirgin şekilde ortaya koymaktadır. Ocak ayında -0.7°C ile en düşük ortalama sıcaklık gözlenirken, en yüksek ortalama sıcaklık Temmuz ayında 25.8°C ile kaydedilmiştir. Bu durum karasal iklimin karakteristik bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Aralık (1.7°C), Ocak (-0.7°C) ve Şubat (1.8°C) aylarında sıcaklık değerleri düşük seyretmekte; bu da Erzincan’ın iç kesimlerde yer almasının ve yüksekliğinin etkisini yansıtmaktadır. Mart ayında sıcaklık 6.5°C iken Mayıs’ta 15.9°C ’ye yükselerek hızlı bir artış göstermektedir. Bu geçiş dönemi, kar erimeleri ve tarımsal faaliyetler açısından kritik önemdedir. Haziran (21.4°C), Temmuz (25.8°C) ve Ağustos (24.9°C) ayları Erzincan’da sıcaklıkların zirve yaptığı dönemdir. Temmuz, yıllık sıcaklık ortalamasında en yüksek değere sahip aydır. Eylül ayında ortalama sıcaklık 20.8°C iken, Kasım ayında bu değer 6.3°C ’ye kadar düşmektedir. Bu hızlı azalma, bölgenin karasal iklim geçişlerini net olarak yansıtmaktadır. Kış aylarında ısınma ihtiyacının arttığı, yaz aylarında ise çok önemli miktarda olmasa da soğutma ihtiyacının belirginleştiği bir yapı mevcuttur.

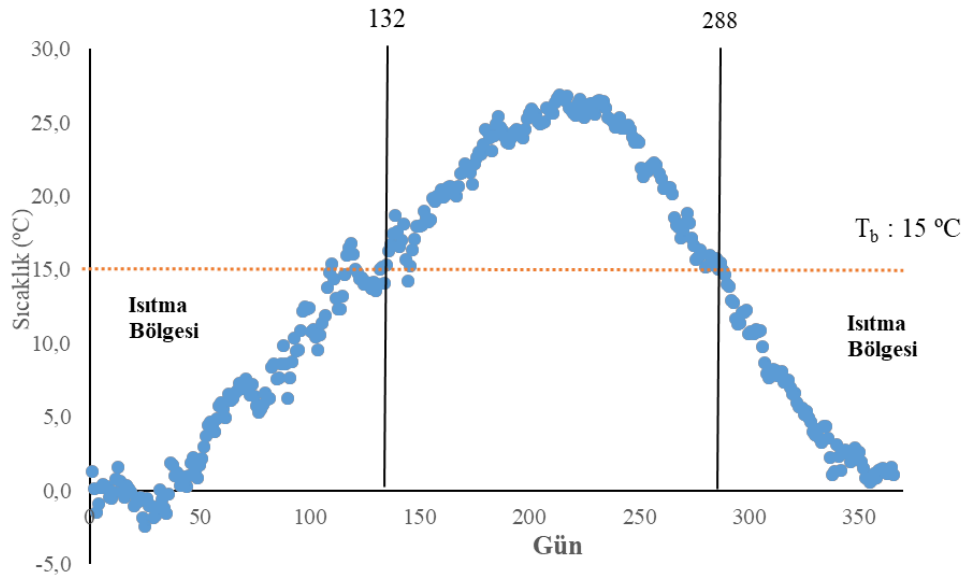
2014–2024 yılları arasındaki günlük ortalama dış hava sıcaklıklarının ortalamaları alınarak Erzincan iline ait karakteristik günlük sıcaklık eğrisi elde edilmiştir. Bu eğri (Şekil 18), yıl boyunca sıcaklık değişiminin zamansal örüntüsünü temsil etmektedir.



Şekil 18. Erzincan ili için günlük ortalama sıcaklık dağılımı (2004–2024 ort.)

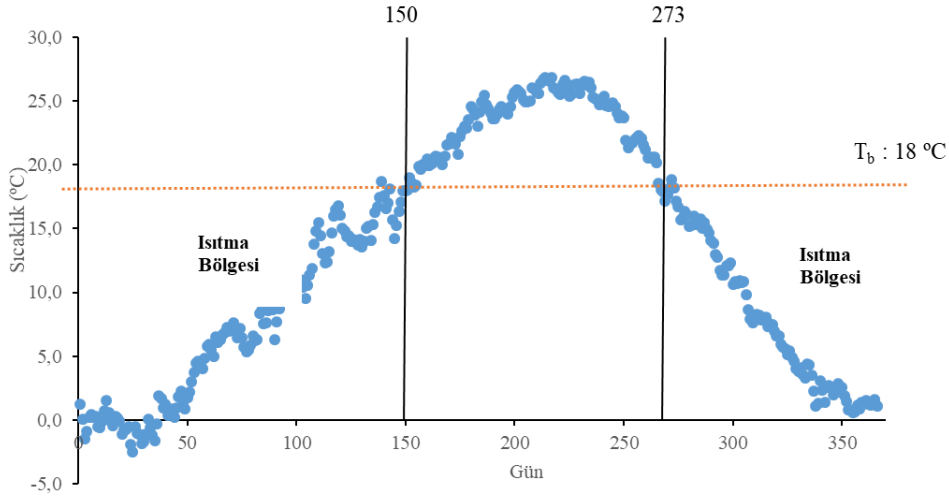
4.1. Isıtma ve Soğutma Derece Gün Hesaplaması

Isıtma Derece-Gün (IDG) ve Soğutma Derece-Gün (SDG) kavramları, yılın farklı iklimsel dönemlerine bağlı olarak enerji gereksiniminin belirlenmesinde kritik rol oynamaktadır. Soğuk mevsimlerde IDG değerleri artış göstererek ısıtma enerjisi ihtiyacının arttığını gösterirken; sıcak mevsimlerde ise SDG değerlerinde belirgin bir yükseliş gözlemlenmekte, bu da soğutma sistemlerinin devreye girmesini gerektirmektedir. Binalarda enerji tüketimini etkileyen en önemli iklimsel parametrelerden biri dış ortam sıcaklığıdır. Çalışmada, Erzincan ilinin 2004–2024 dönemine ait saatlik sıcaklık verileri kullanılarak yapılan IDG veSDG hesaplamalarında referans sıcaklıklar IDG için 15 °C ve 18 °C, SDG için ise 22 °C ve 24 °C olarak alınmıştır.



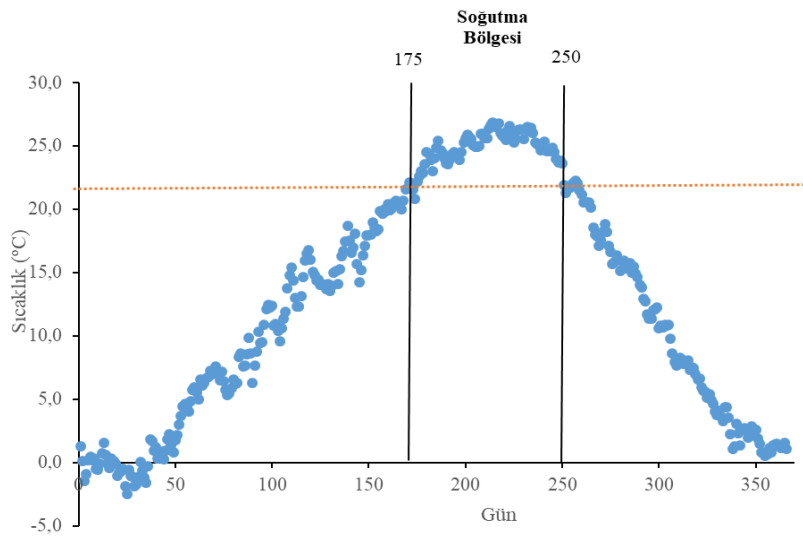
Şekil 19. 15 °C Referans sıcaklığı için ısıtma sezonu

Erzincan ili için 2014-2024 yıllarına ait günlük ortalama sıcaklık verileri ile IDG hesaplamalarında referans sıcaklığı 15 °C olarak kabul edildiğinde 243 gün ısıtma yapılması gerekliliği ortaya çıkıyor. Buna göre 1 Ocak – 13 Mayıs tarihlerinde 132 gün, 16 Ekim – 31 Aralık tarihlerinde ise 78 gün boyunca ısıtma yapılması gerekmektedir (Şekil 19).



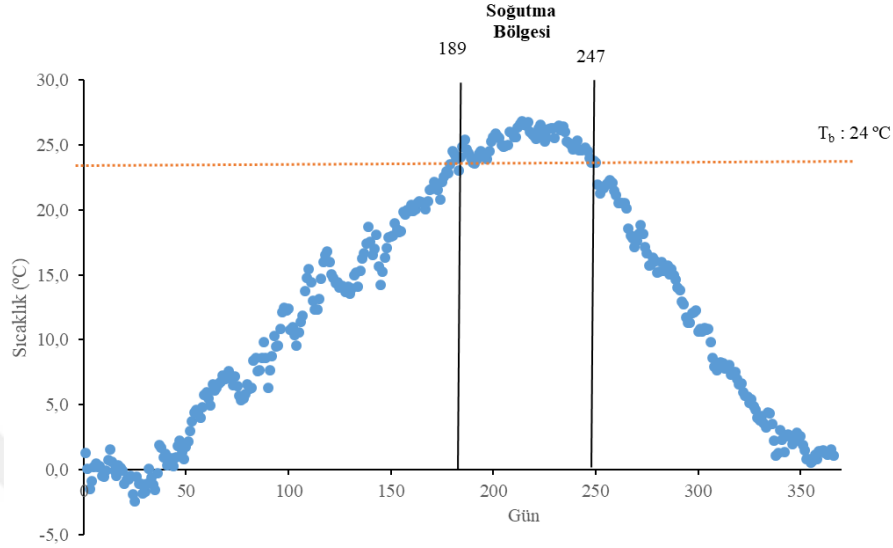
Şekil 20. 18 °C Referans sıcaklığı için ısıtma sezonu

Erzincan ili için 2014-2024 yıllarına ait günlük ortalama sıcaklık verileri ile IDG hesaplamalarında referans sıcaklığı 18 °C olarak kabul edildiğinde 243 gün ısıtma yapılması gerekliliği ortaya çıkıyor. Buna göre 1 Ocak – 31 Mayıs tarihlerinde 150 gün, 1 Ekim – 31 Aralık tarihlerinde ise 93 gün boyunca ısıtma yapılması gerekmektedir (Şekil 20).



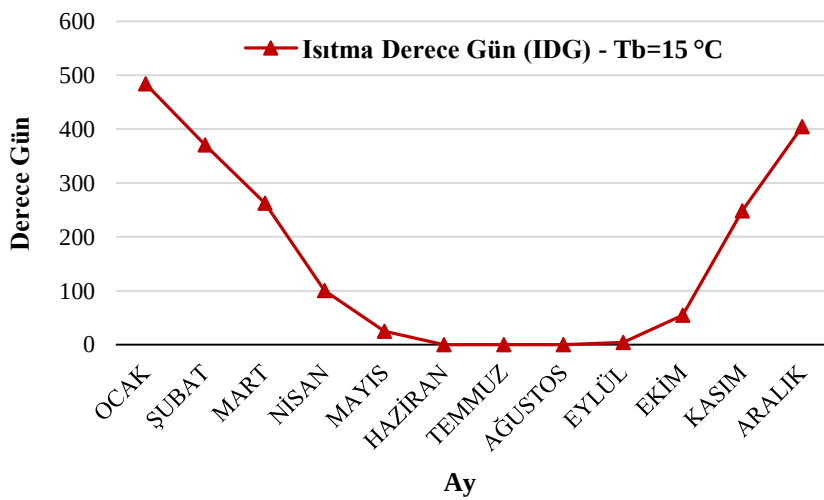
Şekil 21. 22 °C Referans sıcaklığı için soğutma sezonu

Erzincan ili için 2014-2024 yıllarına ait günlük ortalama sıcaklık verileri ile SDG hesaplamalarında referans sıcaklığı 22 °C olarak kabul edildiğinde 75 gün soğutma yapılması gerekliliği ortaya çıkıyor. Buna göre 25 Haziran – 8 Eylül tarihlerinde soğutma yapılması gerekmektedir (Şekil 21).



Şekil 22. 24 °C Referans sıcaklığı için soğutma sezonu

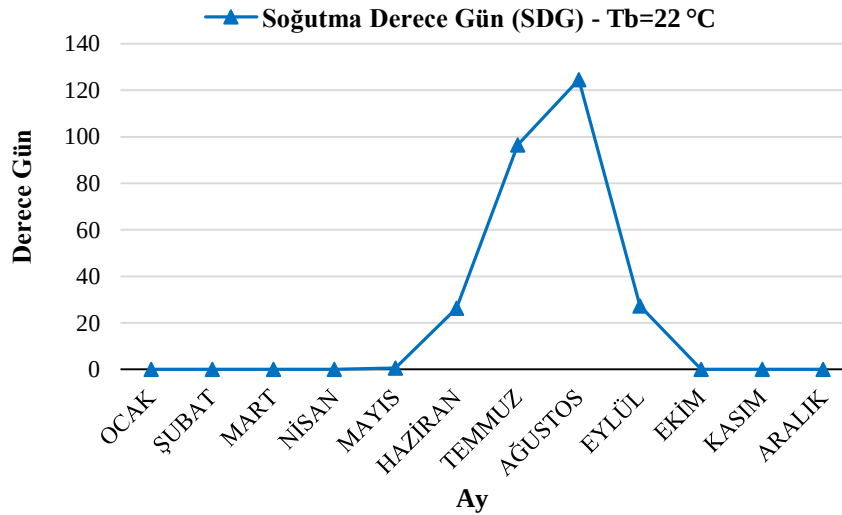
Erzincan ili için 2014-2024 yıllarına ait günlük ortalama sıcaklık verileri ile SDG hesaplamalarında referans sıcaklığı 24 °C olarak kabul edildiğinde 58 gün soğutma yapılması gerekliliği ortaya çıkıyor. Buna göre 9 Temmuz – 5 Eylül tarihlerinde soğutma yapılması gerekmektedir (Şekil 22).



Şekil 23. Yıllık ortalama aylık ısıtma derece günleri (IDG - $T_b=15\text{ °C}$)

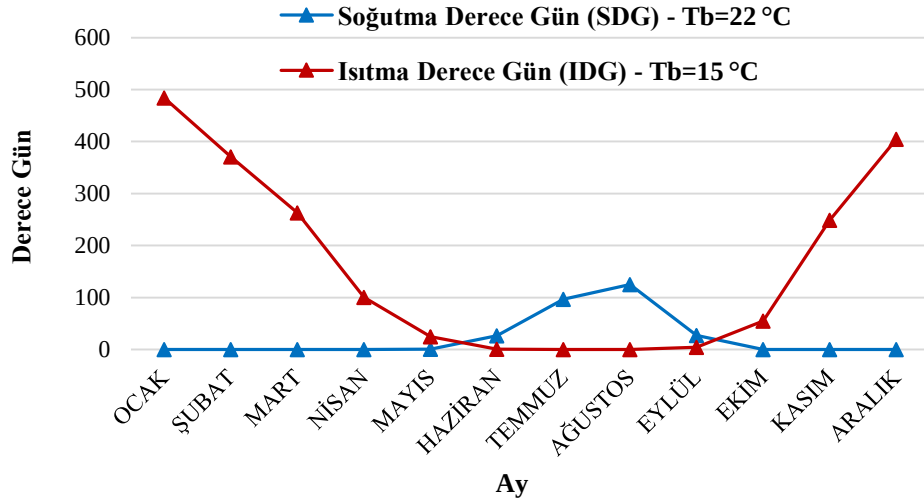
Şekil 23, Erzincan iline ait 2004–2024 dönemi verileriyle hesaplanan aylık ortalama Isıtma Derece Günleri (IDG) değerlerinin dağılımını göstermektedir. Referans sıcaklık 15 °C alınarak yapılan hesaplamalara göre, ısıtma ihtiyacı kış aylarında (özellikle Ocak, Şubat ve Mart) oldukça yüksektir. Bu aylar boyunca dış ortam sıcaklıklarının 15 °C'nin oldukça altında seyrettiği ve dolayısıyla binalarda ciddi düzeyde ısıtma enerjisi talebi olduğu anlaşılmaktadır. Nisan ayından itibaren sıcaklıklar artmakta ve IDG değerleri azalmaktadır. Haziran ayından Eylül sonuna kadar ısıtma ihtiyacı neredeyse ortadan kalkmakta, sonbahar aylarında ise IDG değerleri tekrar artış göstermektedir.

Bu sonuçlar, Erzincan'ın sert karasal iklim koşullarına sahip olduğunu ve enerji verimliliği açısından binalarda özellikle kış dönemine yönelik yalıtım ve ısıtma sistemlerinin optimize edilmesinin kritik olduğunu ortaya koymaktadır.



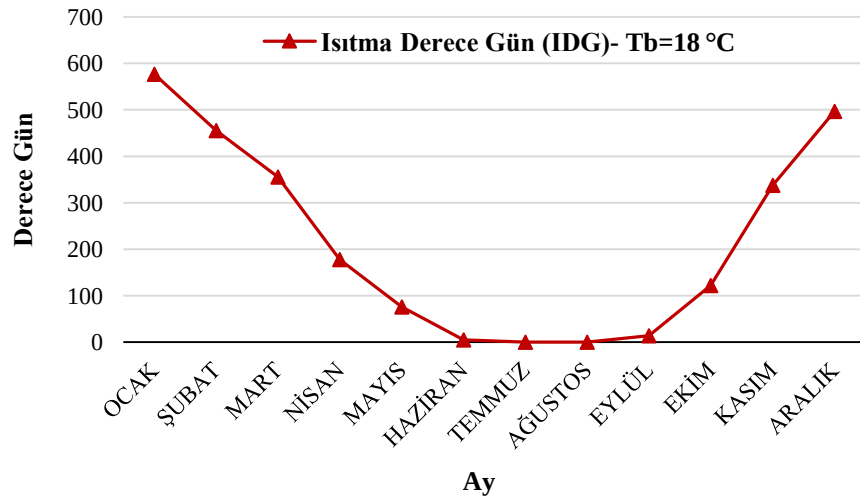
Şekil 24. Aylık soğutma derece günleri (SDG - $T_b=22\text{ °C}$)

Şekil 24, Erzincan ilinde 22 °C referans sıcaklık baz alınarak hesaplanan aylık ortalama Soğutma Derece Günleri (SDG) dağılımını göstermektedir. İlkbahar ve yaz başına kadar (Ocak–Mayıs) SDG değerleri sıfıra yakındır. Bu durum, bu dönemde dış ortam sıcaklıklarının referans sıcaklığın altında kaldığını ve soğutma ihtiyacının oluşmadığını göstermektedir. Haziran ayından itibaren SDG değerlerinde artış gözlemlenmektedir ve en yüksek seviyeye Temmuz ve Ağustos aylarında ulaşılmaktadır. Bu aylar, Erzincan'da yaz mevsiminin en sıcak dönemini temsil etmekte ve soğutma enerjisi gereksiniminin yoğunlaştığı zaman aralığını göstermektedir. Ancak genel olarak yıl boyunca SDG değerleri sınırlı kalmaktadır. Bu durum, Erzincan'da enerji yönetimi açısından ısıtma ağırlıklı bir strateji gerektirdiğini ve soğutma sistemlerinin yılın sınırlı bir döneminde çalıştırıldığını göstermektedir.



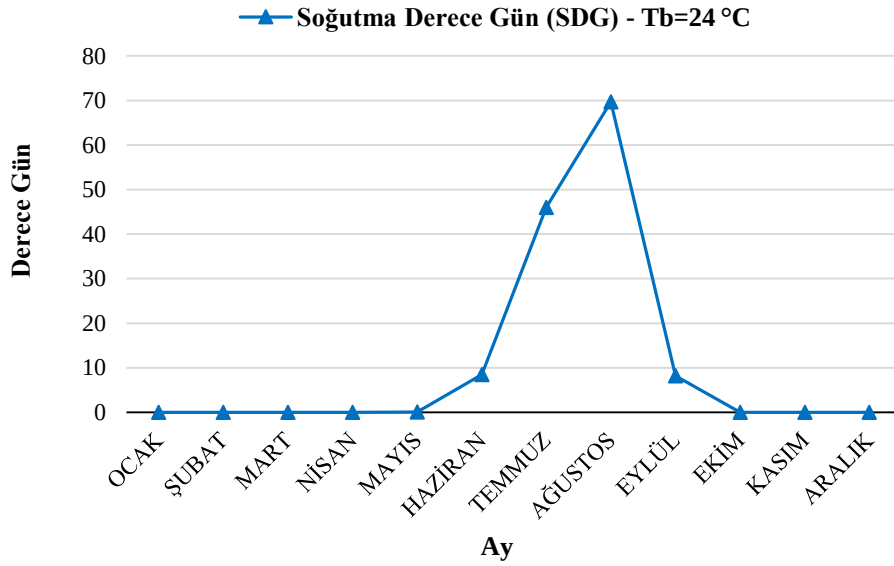
Şekil 25. Aylık ısıtma ve soğutma derece günleri (IDG ve SDG)

Şekil 25, Erzincan ilinde 2004–2024 yılları arasındaki ortalama aylık ısıtma (IDG) ve soğutma (SDG) derece günlerini birlikte sunmaktadır. Grafiksel dağılım, yıl boyunca enerji talebinin mevsimsel eğilimini açıkça ortaya koymaktadır. Ocak–Mart ve Ekim–Aralık dönemlerinde IDG değerlerinin yüksekliği, bu dönemlerde dış ortam sıcaklıklarının referans sıcaklık olan 15 °C'nin oldukça altında olduğunu ve ısıtma sistemlerinin yoğun biçimde çalıştığını göstermektedir. Temmuz ve Ağustos aylarında SDG değerleri anlamlı biçimde artmakta, bu da dış ortam sıcaklıklarının 22 °C'nin üzerine çıktığını ve soğutma ihtiyacının belirginleştiğini göstermektedir. Bahar geçiş dönemlerinde her iki değer de düşüktür, bu da enerji talebinin minimal olduğu “konforlu” dönemleri tanımlar.



Şekil 26. Yıllık ortalama aylık ısıtma derece günleri (IDG - $T_b=18\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Şekil 26’da Erzincan ilinin 2014-2024 yılları arasındadaki ortalama sıcaklık verilerine göre 18 °C referans sıcaklığı için geleneksel yöntemle hesaplanan ısıtma derece günlerine ait aylık dağılım görülmektedir. Buna göre Haziran-Eylül döneminde ısıtma ihtiyacı bulunmazken Mayıs ve Ekim aylarında konfor sıcaklığını yakalamak için kısmen ısıtma ihtiyacı bulunmaktadır.

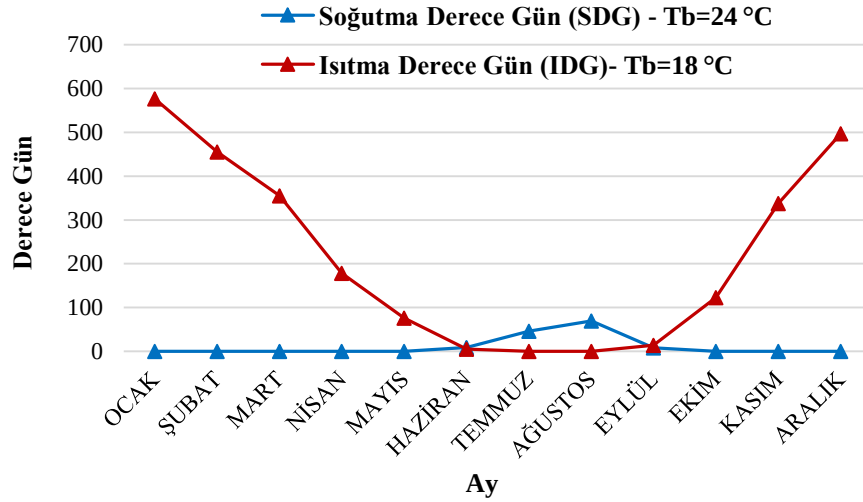


Şekil 27. Aylık soğutma derece günleri (SDG - $T_b=24\text{ °C}$)

Şekil 27’de Erzincan ilinin 2014-2024 yılları arasındadaki ortalama sıcaklık verilerine göre 24 °C referans sıcaklığı için geleneksel yöntemle hesaplanan soğutma derece günlerine ait aylık dağılım görülmektedir. Buna göre Temmuz ve Ağustos aylarında döneminde soğutma ihtiyacı en yüksek mertebelere ulaşırken, Haziran ve Eylül aylarında konfor sıcaklığını yakalamak için kısmen soğutma ihtiyacı bulunmaktadır.

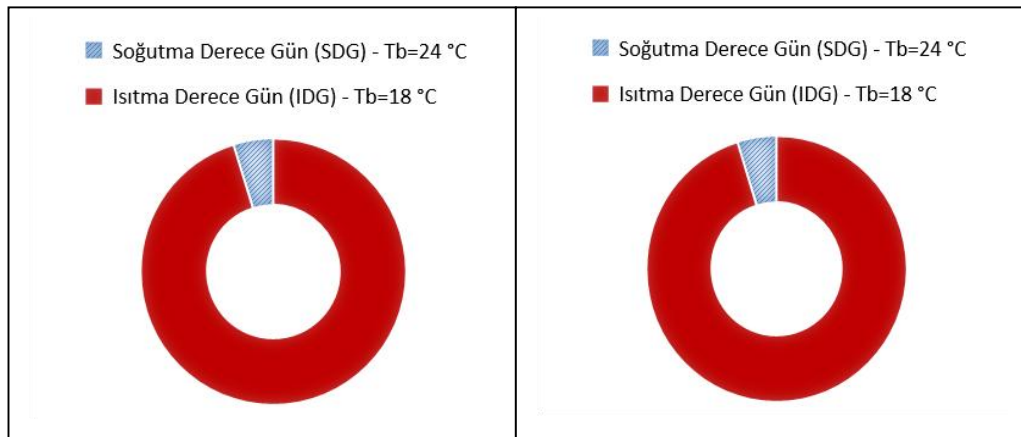
Şekil 28’de Isıtma derece günleri, dış ortam sıcaklıklarının referans sıcaklığın altına düştüğü günlerdeki enerji ihtiyacını temsil eder. Erzincan için elde edilen aylık ortalama IDG değerleri, özellikle Ocak, Şubat, Mart, Kasım ve Aralık aylarında belirgin düzeydedir. En yüksek IDG değeri Ocak ayında 584 olarak gözlemlenmiştir. Mayıs–Eylül ayları arasında IDG değeri yok denecek kadar azdır. Bu dağılım, Erzincan’ın soğuk ve uzun kış koşullarına sahip bir kara iklimi etkisinde olduğunu göstermektedir. Bu nedenle binalarda ısı yalıtımı, pencere performansı, sızdırmazlık ve yüksek verimli ısıtma sistemlerinin kullanımı, enerji verimliliği açısından kritik önem taşımaktadır. Bu sonuçlar, Erzincan’daki enerji verimliliği politikalarında kış mevsimine odaklı yalıtım uygulamaları ve verimli ısıtma sistemlerinin öncelikli olması gerektiğini, yaz

döneminde ise doğal havalandırma ve düşük kapasiteli soğutma çözümleri ile enerji talebinin karşılanabileceğini ortaya koymaktadır.



Şekil 28. Aylık ısıtma ve soğutma derece günleri (IDG ve SDG)

Şekil 28’de Soğutma derece günleri, dış ortam sıcaklıklarının 24 °C’yi aştığı günlerdeki soğutma ihtiyacını yansıtır. Erzincan’da yılın büyük kısmında SDG değeri sıfıra yakındır. SDG değeri sadece Temmuz ve Ağustos aylarında anlamlı düzeydedir. Diğer tüm aylarda SDG değeri sıfıra yakındır veya ihmal edilebilir düzeydedir. Bu durum, Erzincan’da binalarda soğutma sistemlerinin enerji yükü açısından sınırlı etkiye olduğunu ve yılın büyük kısmında soğutmaya gerek duyulmadığını göstermektedir. Pasif soğutma teknikleri (gece havalandırması, doğal gölgeleme) bu dönemde yeterli olabilir.

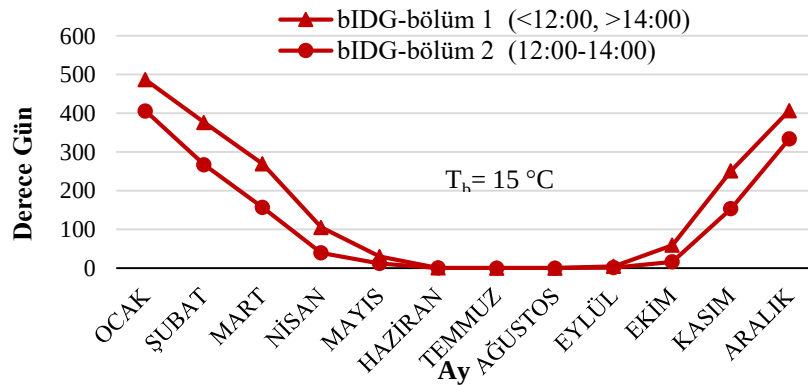


Şekil 29. Yıllık toplam derece günün dağılımı (IDG ve SDG)

Şekil 29, Erzincan ilinde 2004–2024 dönemine ait yıllık toplam Isıtma Derece Günleri (IDG) ve Soğutma Derece Günleri (SDG) değerlerinin oranlarını göstermektedir. Grafik verilerine göre yıllık toplamın %95’inden fazlası IDG değerlerinden oluşmaktadır. Soğutma ihtiyacını temsil eden SDG’nin yıllık payı oldukça düşüktür. Bu dağılım, Erzincan’ın soğuk iklim kuşağında yer aldığını ve enerji tüketiminin neredeyse tamamen ısıtma amacıyla yapıldığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle enerji verimliliği stratejileri ve bina tasarımlarında öncelik, ısı kaybını azaltacak uygulamalara verilmelidir (yalıtım, pencere verimliliği, hava sızdırmazlığı). Yenilenebilir enerji sistemlerinin (örneğin güneş kolektörleri) konumlandırılması da bu ısıtma yükünü hafifletmede stratejik olabilir. Soğutma ihtiyacının sınırlı olması, yılın büyük bölümünde pasif soğutma çözümleriyle enerji tasarrufu yapılabileceğini göstermektedir. Yıllık toplam derece gün değerleri incelendiğinde IDG: 1.484 ve SDG: 179’dür. IDG’nin toplam derece gün yükü içindeki oranı yaklaşık %89 olup, SDG yalnızca %11 düzeyindedir. Bu oran, Erzincan’daki bina enerji taleplerinin büyük ölçüde ısıtma kaynaklı olduğunu ve iklimin ısıtma ağırlıklı bir profil sunduğunu göstermektedir.

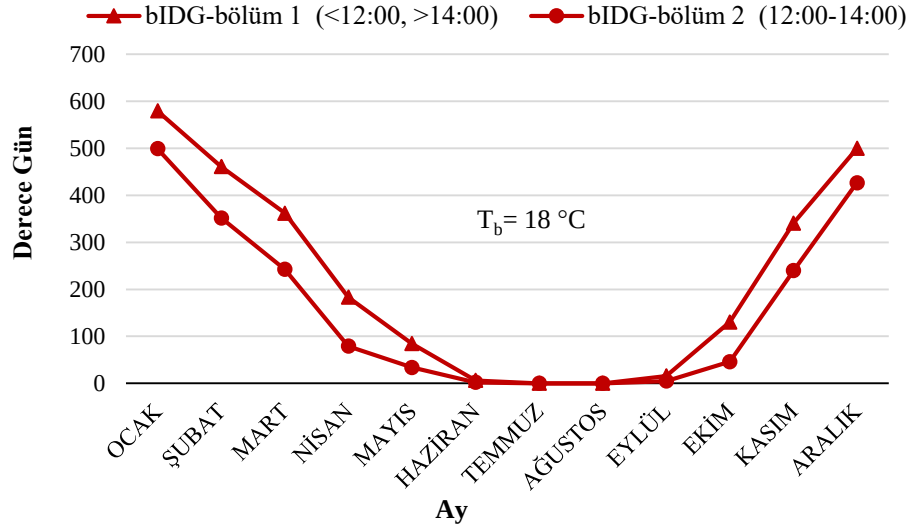
4.2. Bölünmüş Derece Gün Hesaplaması

Bölünmüş derece gün hesaplaması (bDG), geleneksel toplam derece gün hesaplamasına göre çok daha ayrıntılı, hedefe yönelik ve bağlama duyarlı enerji analizleri yapmayı sağlar. Geleneksel derece gün hesabı tüm yılı tek bir referans sıcaklıkla değerlendirir. Ancak bu yaklaşım günün farklı saatlerindeki sıcaklık değişimlerini dikkate almaz. Bölünmüş derece gün hesaplaması belirli zaman diliminde ne kadar enerjiye ihtiyaç duyulduğunu belirlemeyi sağlar. Çalışmada iki farklı zaman dilimi dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Öncelikle meteorolojik veriler dikkate alınarak 12:00-14:00 zaman dilimi ve günün geri kalan kısmı, sonrasında 14:00-16:00 zaman dilimi ve günün geri kalan kısmı incelenmiştir.



Şekil 30. Aylık ısıtma bölünmüş derece günleri

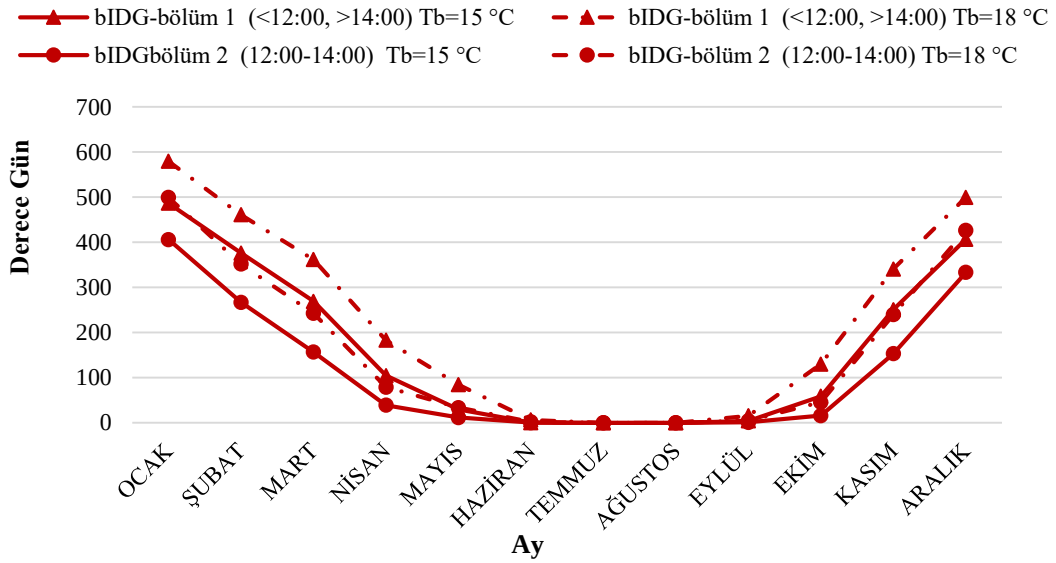
Şekil 30’da, 15 °C referans sıcaklık değeri esas alınarak, bIDG değerleri iki farklı zaman diliminde hesaplanmıştır. Günün bölüm 2 dışında kalan kısmı (bölüm 1 - <12:00, >14:00) ve 12:00–14:00 saat aralığı (bölüm 2). Isıtma Derece Günleri (IDG), dış ortam sıcaklığının konfor sıcaklığının altında olduğu durumlarda, ısıtma ihtiyacını niceliksel olarak ifade etmekte kullanılan bir göstergedir. Bu çalışma kapsamında kullanılan eşik sıcaklık değeri 15 °C’dir. Grafik incelendiğinde, Ocak, Şubat ve Aralık aylarında bIDG değerlerinin en yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Bu durum, Erzincan’da kış aylarında uzun süreli ısıtma ihtiyacına işaret etmektedir. Özellikle Ocak ayında, günün bölüm 2 dışında kalan kısmına ait (bölüm 1 - <12:00, >14:00) veri ile hesaplanan bIDG değeri 500 derece gün seviyelerindedir. Öğle saatlerine ait bIDG değerleri (12:00–14:00) ise günün en sıcak zamanı olması nedeniyle daha düşüktür.



Şekil 31. Aylık ısıtma bölünmüş derece günleri

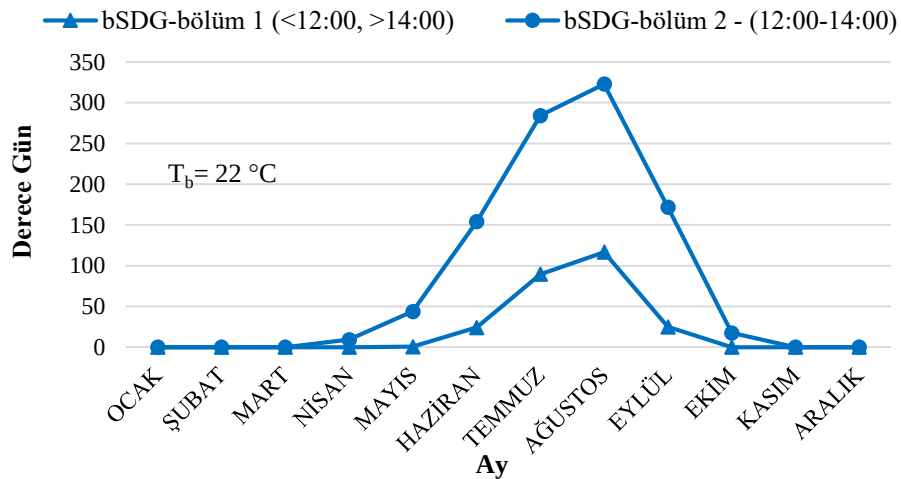
Şekil 31’de, 18 °C referans sıcaklık değeri esas alınarak, bIDG değerleri bölüm 1 (<12:00, >14:00) ve bölüm 2 (12:00–14:00) olmak üzere iki farklı zaman diliminde hesaplanmıştır. Ocak ve Aralık ayları, hem bölüm 1 hem de bölüm 2 için en yüksek bIDG değerlerine sahiptir. Bu da bu aylarda ısıtma ihtiyacının en yüksek seviyede olduğunu göstermektedir. Kasım, Şubat ve Mart aylarında da yüksek düzeyde ısıtma ihtiyacı gözlenmektedir, ancak Ocak ve Aralık kadar kritik değildir. Mayıs – Eylül ayları arasında bIDG değerleri sıfıra yakın, yani bu dönemde ısıtma ihtiyacı yok denecek kadar azdır. Şubat, Mart ve Kasım ayları da yüksek ısıtma gereksinimi barındırmaktadır. Nisan–Ekim ayları arasında bIDG değerleri oldukça düşüktür. Özellikle Haziran–Eylül döneminde değerler sıfıra yaklaşarak ısıtma ihtiyacının ortadan

kalktığını göstermektedir. Öğle saatlerine ait bIDG değerleri (bölüm 2), tüm yıl boyunca günlük ortalamalara göre daha düşüktür. Bu durum, günün en sıcak saatlerinde ısıtma gereksiniminin daha az olduğunu göstermektedir.



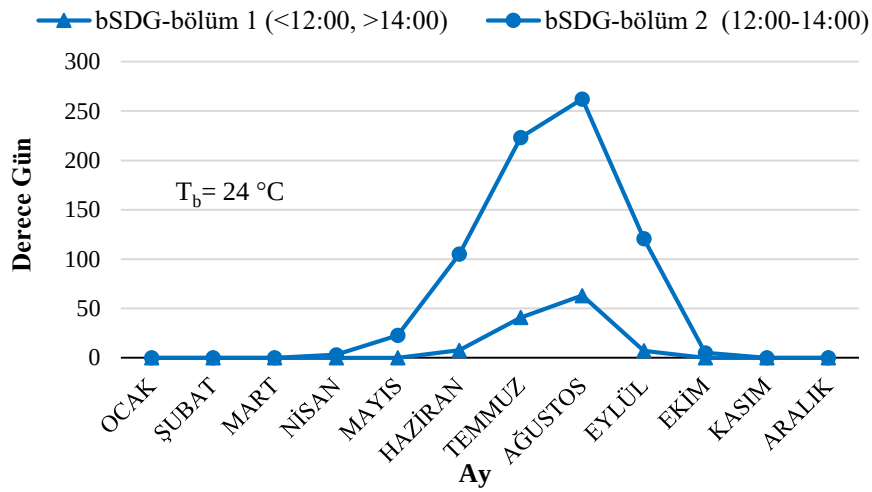
Şekil 32. 15 °C -18 °C Referans sıcaklıkları için aylık bölünmüş ısıtma derece günleri

Şekil 32’de, farklı zaman aralıklarında ve farklı referans sıcaklık değerlerinde hesaplanan ısıtma derece günleri (bIDG) değerlerinin aylık dağılımı gösterilmektedir. Grafik, iki farklı zaman dilimi (bölüm 1: $<12:00, >14:00$ ve bölüm 2: $12:00-14:00$) ile iki farklı referans sıcaklık ($T_b = 15^\circ\text{C}$ ve $T_b = 18^\circ\text{C}$) kombinasyonlarına göre dört farklı senaryoyu içermektedir. Tüm senaryolarda derece günler, kış aylarında (Ocak, Şubat, Aralık) maksimum seviyelere ulaşırken; yaz aylarında (Haziran, Temmuz, Ağustos) minimum seviyelerindedir.



Şekil 33. Aylık soğutma bölünmüş derece günleri

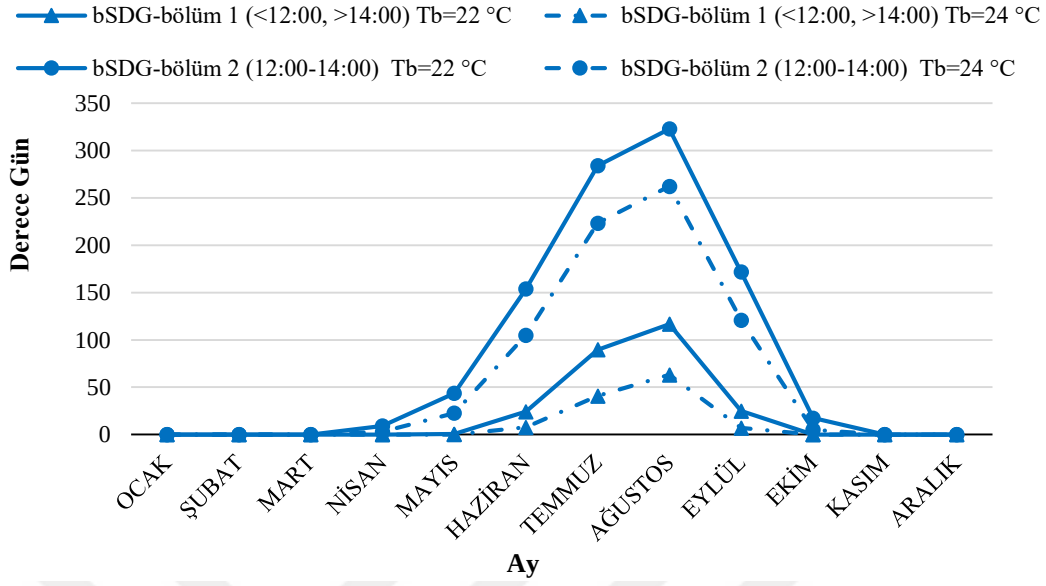
Şekil 33'te, 22 °C referans sıcaklık değeri esas alınarak, bSDG değerleri bölüm 1 (<12:00, >14:00) ve bölüm 2 (12:00–14:00) olmak üzere iki farklı zaman diliminde hesaplanmıştır.. Referans sıcaklık değeri olarak 22 °C alınmıştır. Bu değer, bina içi konfor koşulları göz önüne alınarak belirlenmiştir. Grafik incelendiğinde, soğutma ihtiyacının Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında belirgin şekilde arttığı gözlemlenmektedir. Özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında bSDG değerleri en yüksek düzeydedir. Bu dönemler, Erzincan'da en fazla soğutma enerjisi ihtiyacının ortaya çıktığı aylardır. Öğle saatlerine karşılık gelen 12:00–14:00 zaman dilimine ait bSDG değerleri (bölüm 2), bölüm 1 ortalamalarına göre çok daha yüksektir. Bu fark, özellikle yaz ortasında dış hava sıcaklıklarının hızla arttığını ve konfor sıcaklığının üzerinde uzun süre kaldığını göstermektedir.



Şekil 34. Aylık soğutma bölünmüş derece günleri

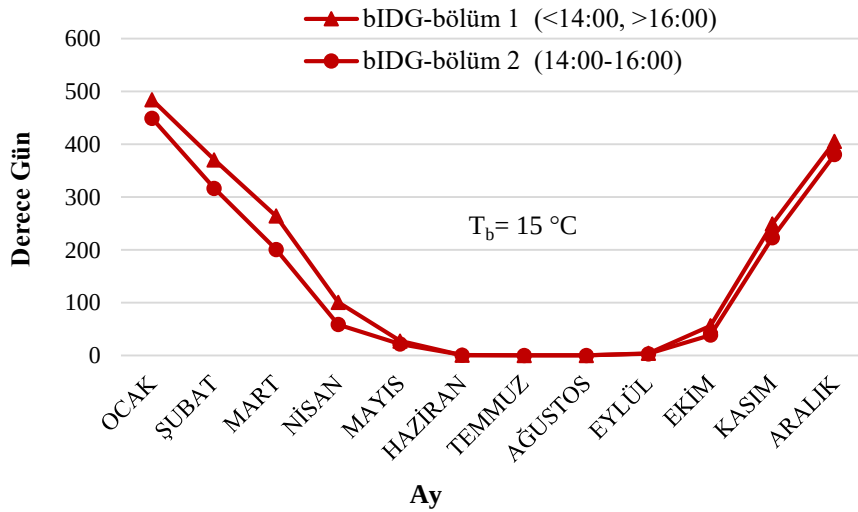
Şekil 34'te, 24 °C referans sıcaklığına göre hesaplanan bölünmüş Soğutma Derece Günleri (bSDG) değerlerinin aylık dağılımını göstermektedir. Soğutma Derece Günleri dış ortam sıcaklıklarının belirli bir konfor seviyesinin (örneğin 24 °C) üzerinde kaldığı süre ve sıcaklık farklarını temsil eder. Bu değerler, soğutma (klima) ihtiyacını değerlendirmek için kullanılır. Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları, hem bölüm 1 hem de bölüm 2'de yüksek bSDG değerlerine sahiptir. Bu da yaz aylarında soğutma ihtiyacının yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle Temmuz ve Ağustos, bölüm 2 ye göre en yüksek soğutma ihtiyacının yaşandığı aylardır. 12:00–14:00 saatleri arası sıcaklıkların referans sıcaklık olan 24 °C'nin çok üzerinde seyrettiği görülmektedir. Eylül ayında değerler hızlı bir düşüşe geçmekte ve sonbahardan itibaren soğutma ihtiyacı ortadan kalkmaktadır. Öğle saatlerine (bölüm 2) göre hesaplanan bSDG, bölüm 1 ortalamalarına göre oldukça yüksektir. Bu, soğutma yükünün gün içinde asimetrik dağıldığını, yani özellikle öğle saatlerinde klima yükünün en yüksek seviyelere

ulaştığını gösterir. Bu fark, özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında dramatiktir, bu da soğutma sistemlerinin pik talebinin bu saatlerde gerçekleştiğini gösterir.



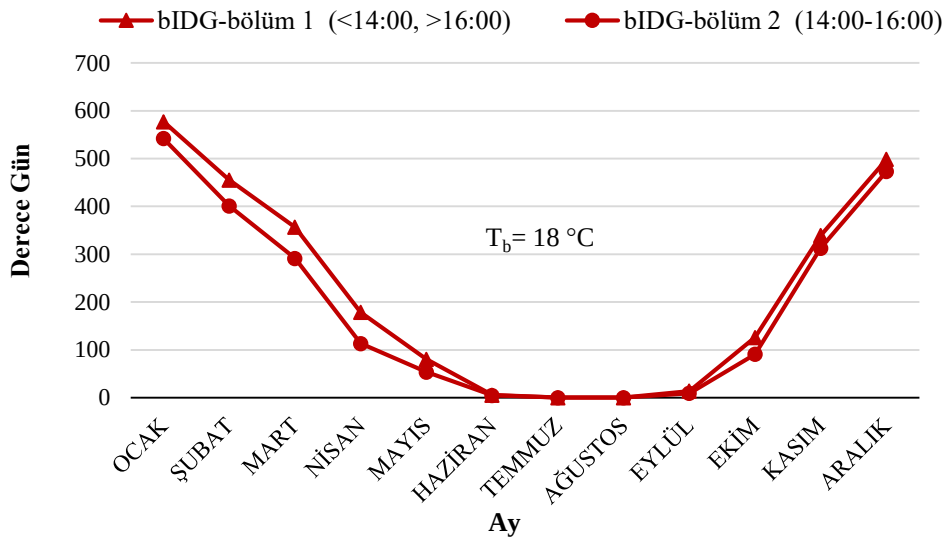
Şekil 35. 22 °C -24 °C Referans sıcaklıkları için bölünmüş soğutma derece günleri

Şekil 35’de, bölünmüş soğutma derece günleri (bSDG) değerlerinin aylık dağılımı verilmiştir. Grafik, iki farklı zaman dilimi (bölüm 1: <12:00, >14:00 ve bölüm 2: 12:00–14:00) ve iki farklı referans sıcaklık değeri ($T_b = 22\text{ °C}$ ve $T_b = 24\text{ °C}$) kombinasyonlarına göre dört farklı senaryo içermektedir. Soğutma derece günleri, dış ortam sıcaklığının belirli bir referans sıcaklığın üzerine çıktığı durumlarda hesaplanan bir değerdir ve soğutma ihtiyacının göstergesidir. bSDG değerleri yaz aylarında (Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül) pik yaparken, kış ve ilkbahar aylarında (Ocak–Nisan, Kasım, Aralık) sıfıra yakın değerlere sahiptir.



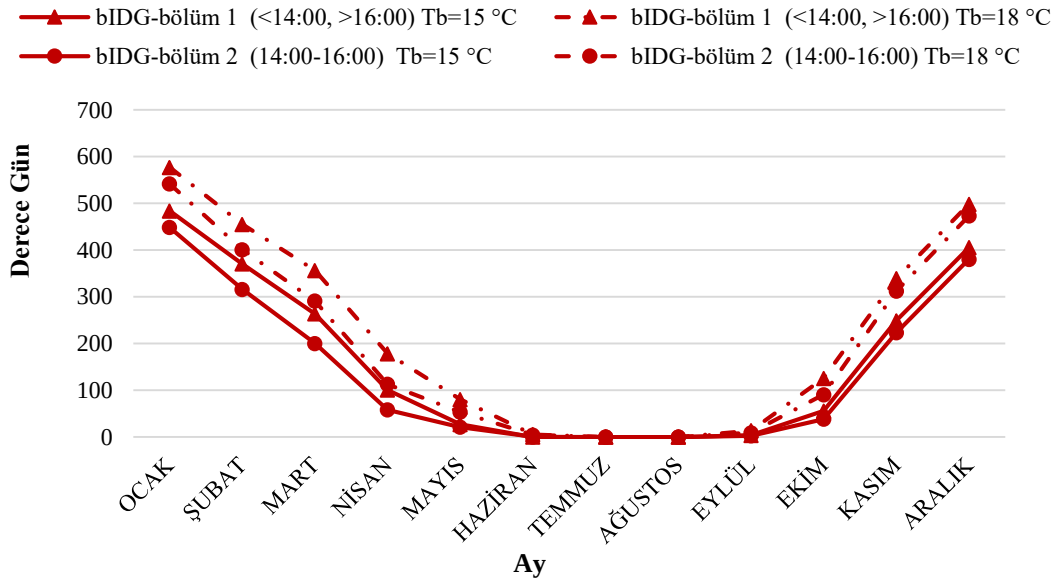
Şekil 36. Aylık ısıtma bölünmüş derece günleri

Şekil 36’da, 15 °C referans sıcaklık değeri esas alınarak, bIDG değerleri Bölüm 1 (<14:00, >16:00) ve bölüm 2 (14:00–16:00) olmak üzere iki farklı zaman diliminde hesaplanmıştır. Grafik incelendiğinde, Ocak, Şubat ve Aralık aylarında bIDG değerlerinin en yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Bu durum, Erzincan’da kış aylarında uzun süreli ısıtma ihtiyacına işaret etmektedir. Özellikle Ocak ayında, bölüm 2 verisi ile hesaplanan bIDG değeri 500 derece gün seviyelerindedir. Öğle saatlerine ait bIDG değerleri (14:00–16:00) ise günün en sıcak zamanı olması nedeniyle daha düşüktür.



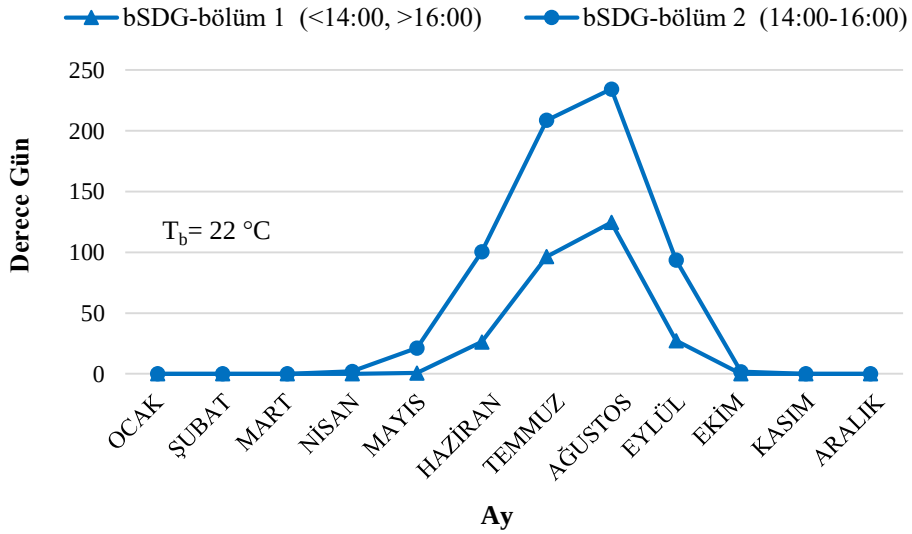
Şekil 37. Aylık ısıtma bölünmüş derece günleri

Şekil 37’de, 18 °C referans sıcaklık değeri esas alınarak, bIDG değerleri Bölüm 1 (<14:00, >16:00) ve bölüm 2 (14:00–16:00) olmak üzere iki farklı zaman diliminde hesaplanmıştır. Ocak ve Aralık ayları, hem bölüm 1 hem de bölüm 2 için en yüksek bIDG değerlerine sahiptir. Bu da bu aylarda ısıtma ihtiyacının en yüksek seviyelerde olduğunu göstermektedir. Kasım, Şubat ve Mart aylarında da yüksek düzeyde ısıtma ihtiyacı gözlenmektedir, ancak Ocak ve Aralık kadar kritik değildir. Mayıs – Eylül ayları arasında bIDG değerleri sıfıra yakın, yani bu dönemde ısıtma ihtiyacı yok denecek kadar azdır. Isıtma ihtiyacı özellikle Ocak ve Aralık aylarında pik yapmaktadır. bIDG değerleri bu aylarda en yüksek seviyededir. Şubat, Mart ve Kasım ayları da yüksek ısıtma gereksinimi barındırmaktadır. Nisan–Ekim ayları arasında bIDG değerleri oldukça düşüktür. Özellikle Haziran–Eylül döneminde değerler sıfıra yaklaşarak ısıtma ihtiyacının ortadan kalktığını göstermektedir. Öğle saatlerine ait bIDG değerleri (bölüm 2), tüm yıl boyunca günlük ortalamalara göre daha düşüktür. Bu durum, günün en sıcak saatlerinde ısıtma gereksiniminin daha az olduğunu göstermektedir.



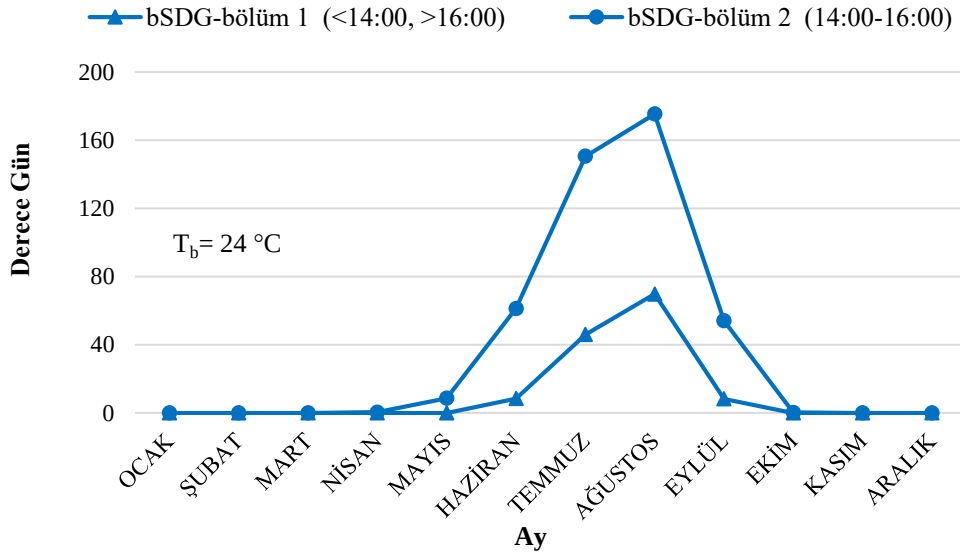
Şekil 38. 15 °C -18 °C Referans sıcaklıkları için aylık bölünmüş ısıtma derece günleri

Şekil 38’de, bölünmüş ısıtma derece günleri (bIDG) değerlerinin aylık dağılımı gösterilmiştir. Grafik, farklı zaman dilimlerinde (bölüm 1: <14:00 ve >16:00, bölüm 2: 14:00–16:00) ve iki farklı referans sıcaklık değeri ($T_b = 15\text{ °C}$ ve $T_b = 18\text{ °C}$) için elde edilen dört senaryoyu içermektedir. Aynı zaman diliminde, $T_b = 18\text{ °C}$ için bIDG değerleri, $T_b = 15\text{ °C}$ 'ye göre daha yüksektir. Çünkü dış ortam sıcaklığı daha yüksek bir referans olan 18 °C 'nin altına daha uzun süre düştüğü için bIDG değeri daha fazla hesaplanır. Yani, konfor sıcaklığının daha yüksek tutulduğu binalarda, ısıtma ihtiyacı daha fazladır.



Şekil 39. Aylık soğutma bölünmüş derece günleri

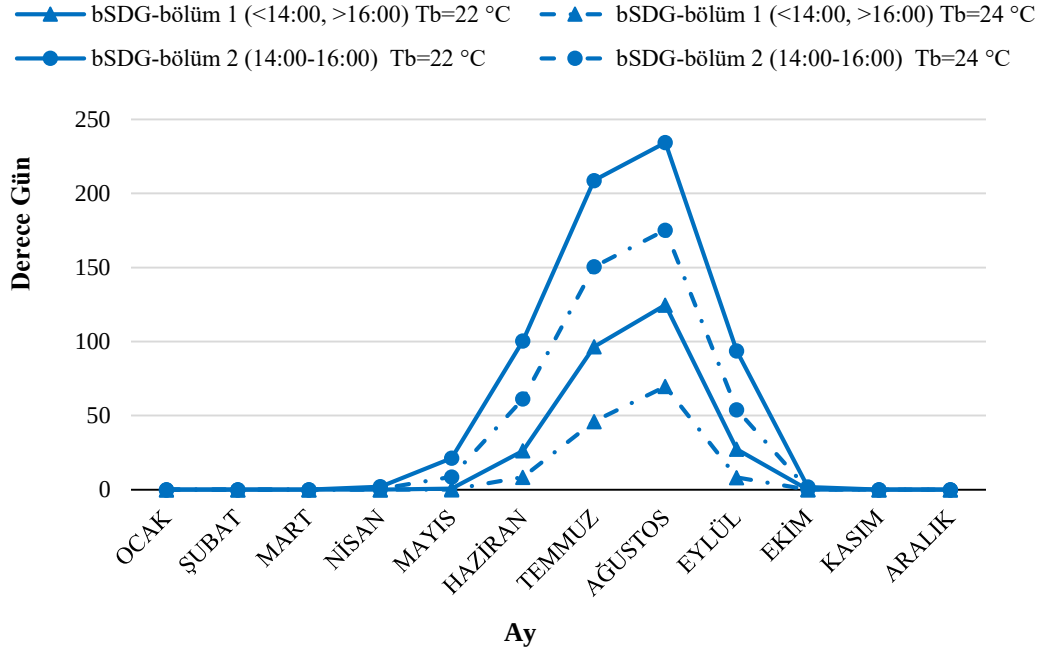
Şekil 39’da, 22 °C referans sıcaklık değeri esas alınarak, bSDG değerleri Bölüm 1 (<14:00, >16:00) ve bölüm 2 (14:00–16:00) olmak üzere iki farklı zaman diliminde hesaplanmıştır. Referans sıcaklık değeri olarak 22 °C alınmıştır. Bu değer, bina içi konfor koşulları göz önüne alınarak belirlenmiştir. Grafik incelendiğinde, soğutma ihtiyacının Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında belirgin şekilde arttığı gözlemlenmektedir. Özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında bSDG değerleri en yüksek düzeydedir. Bu dönemler, Erzincan’da en fazla soğutma enerjisi ihtiyacının ortaya çıktığı aylardır. Öğle saatlerine karşılık gelen 14:00–16:00 zaman dilimine ait bSDG değerleri (bölüm 2), bölüm 1 ortalamalarına göre çok daha yüksektir. Bu fark, özellikle yaz ortasında dış hava sıcaklıklarının hızla arttığını ve konfor sıcaklığının üzerinde uzun süre kaldığını göstermektedir.



Şekil 40. Aylık soğutma bölünmüş derece günleri

Şekil 40’da, 24 °C referans sıcaklığına göre hesaplanan bölünmüş Soğutma Derece Günleri (bSDG) değerlerinin aylık dağılımını göstermektedir. Soğutma Derece Günleri dış ortam sıcaklıklarının belirli bir konfor seviyesinin (örneğin 24 °C) üzerinde kaldığı süre ve sıcaklık farklarını temsil eder. Bu değerler, soğutma (klima) ihtiyacını değerlendirmek için kullanılır. Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları, hem bölüm 1 hem de bölüm 2’de yüksek bSDG değerlerine sahiptir. Bu da yaz aylarında soğutma ihtiyacının yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle Temmuz ve Ağustos, bölüm 2 ye göre en yüksek soğutma ihtiyacının yaşandığı aylardır. 14:00–16:00 saatleri arası sıcaklıkların referans sıcaklık olan 24 °C’nin çok üzerinde seyrettiği görülmektedir. Eylül ayında değerler hızlı bir düşüşe geçmekte ve sonbahardan itibaren soğutma ihtiyacı ortadan kalkmaktadır. Öğle saatlerine (bölüm 2) göre hesaplanan

bSDG, günlük ortalamalara göre (bölüm 1) oldukça yüksektir. Bu, soğutma yükünün gün içinde asimetrik dağıldığını, yani özellikle öğle saatlerinde klima yükünün en yüksek seviyelere ulaştığını gösterir. Bu fark, özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında dramatiktir, bu da soğutma sistemlerinin pik talebinin bu saatlerde gerçekleştiğini gösterir.



Şekil 41. 22 °C -24 °C Referans sıcaklıkları için aylık bölünmüş ısıtma derece günleri

Şekil 41’de, soğutma derece günleri (bSDG) değerlerinin aylık dağılımı gösterilmiştir. Grafik, farklı zaman dilimlerinde (bölüm 1: <14:00 ve >16:00, bölüm 2: 14:00–16:00) ve iki farklı referans sıcaklık değeri ($T_b = 22\text{ °C}$ ve $T_b = 24\text{ °C}$) için elde edilen dört senaryoyu içermektedir. Aynı zaman diliminde, $T_b = 24\text{ °C}$ için bSDG değerleri, $T_b = 22\text{ °C}$ 'ye göre daha yüksektir. Çünkü dış ortam sıcaklığı daha yüksek bir eşik olan 24 °C 'nin üstüne daha uzun süre çıktığı için bSDG değeri daha fazla hesaplanır. Yani, konfor sıcaklığının daha düşük tutulduğu binalarda, soğutma ihtiyacı daha fazladır.

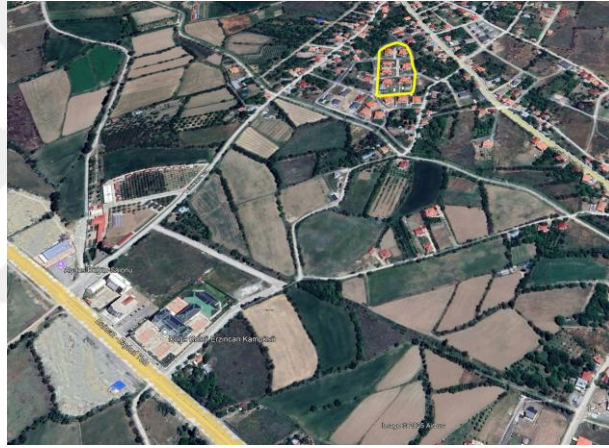
4.3. Binanın Enerji İhtiyacı Hesabı

Bir binanın enerji ihtiyacının hesaplanması, enerji verimliliği analizleri, sürdürülebilir bina tasarımı ve enerji performans sınıflandırmaları açısından temel bir adımdır. Bu süreçte binanın geometrik özellikleri, yapı kabuğunun ısı yalıtım düzeyi, pencere ve cephe oranları, yönlenme durumu, kullanım amacı ve iç ısı yükleri gibi parametreler dikkate alınır. Ayrıca, hesaplama yapılacak bölgenin iklimsel verileri (dış tasarım sıcaklıkları, güneşlenme süresi, nem ve rüzgâr

bilgileri) de önemli girdi olarak değerlendirilir. Enerji ihtiyacı hesabı kapsamında, öncelikle ısıtma ve soğutma dönemlerine ait ısı kayıpları ve kazançları belirlenir; ardından havalandırma, aydınlatma ve kullanıcı kaynaklı iç yüklerle birlikte toplam enerji ihtiyacı hesaplanır.

4.3.1 Binanın toplam ısı transfer katsayısının hesabı

Isı yükü hesaplaması yapılacak yapının bulunduğu sitede 7 bina bulunmaktadır, incelemeye alınan bina B Blok binasıdır. Site Erzincan il merkezine göre kuzey batı yönünde bulunmakta olup sitenin geniş açılı uydu görüntüsünde sarı çerçeve ile işaretlenmiş görünümü Şekil 42’de verilmektedir. Ayrıca yakın görünümlü uydu görüntüsünde (Şekil 43) seçilmiş bina işaretlenmiştir. Ön cephesi güneye bakmaktadır. Bina Erzincan İli Merkez İlçesinde müstakil konut olarak inşa edilmiştir. Binada 2 konut bulunmaktadır.



Şekil 42. Binanın uzak uydu görüntüsü

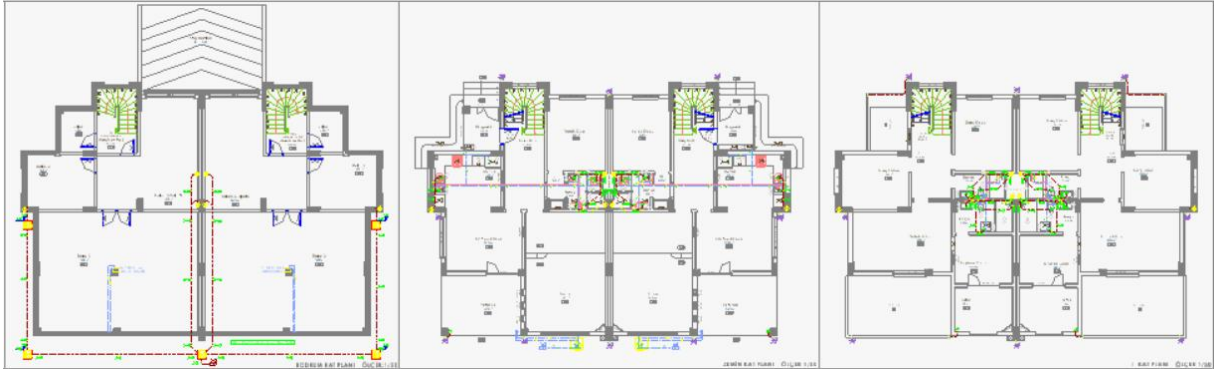


Şekil 43. Binanın yakın uydu görüntüsü

Binaya ait fotoğraflar Şekil 44’de verilmektedir. Isı kaybı hesabı yapılan binanın normal kat planları Şekil 45’te yer almaktadır.



Şekil 44. Binanın fotoğrafları



Şekil 45. Kat planları

Türkiye’de binalarda ısı enerjisi kayıplarının hesaplanmasında ve birim hacim başına müsaade edilebilecek en büyük ısı enerjisinin belirlenmesinde TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardı kullanılmaktadır (Atmaca, 2016). TS 825 / 2013 göre, Türkiye’deki 5 bölge arasında Erzincan Merkez üçüncü ısı bölgesinde bulunduğu kabul edilir. Seçilen binanın özellikleri

Tablo 4’de binanın temel özellikleri Tablo 4’te, binaya ait yapı elemanlarının yüzey alanı ve toplam ısı transfer katsayı değerleri (U) Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 4. Isı tranfer katsayısı hesaplanacak binanın temel özellikleri

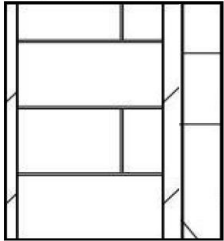
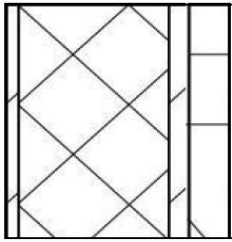
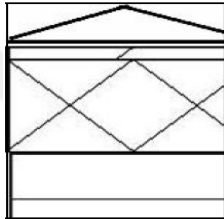
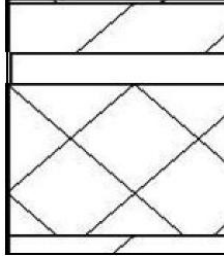
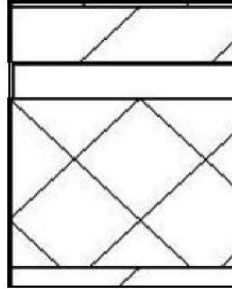
Bilgi	Özellik
İl- İlçe	Erzincan Merkez
Binanın Bölgesi	3. Bölge
Bina Kullanım Amacı	Konut
Bina Tipi	İkiz Villa
Dış Hava Sıcaklık	-18 °C
Durumu	Bitişik Nizam Müstakil
Kat Adedi	1 Bodrum + 1 Zemin + 1 Normal kat
Binanın statik yapısı	Betonarme karkas
Bina Eni (metre)	20 m
Bina Boyu (metre)	15 m
Bina Yüksekliği (metre)	6 m
Kat Yüksekliği (metre)	3 m
Binanın Oturum Alanı	300 m ²
Bina İnşaat Alanı (ısıtılan alan)	723.84 m ²
Çatı durumu	Üzeri kullanılmayan

Tablo 5. Yapı elemanlarının yüzey alanı ve toplam ısı transfer katsayı değerleri

Binadaki Yapı Elemanı	Isı Geçirgenlik Katsayısı U (W/m ² K)	Isı Kaybeden Yüzey A (m ²)
Dış Duvar	0.367	245
Kolon-Perde	0.43	296
Çatılı Tavan Kullanılmayan	0.303	252
Ara Kat Tabanı	0.74	1
Islak Hacim Ara Kat Tabanı	0.755	1
Komşu Mahale Bitişik Duvar	0.668	1
Toprak Temaslı Taban	0.381	300
Pencere Dış	2.3	94.3

Bina yapı bileşenlerine ait malzemeler, malzeme özellikleri ve kalınlıkları Tablo 6’da yer almaktadır.

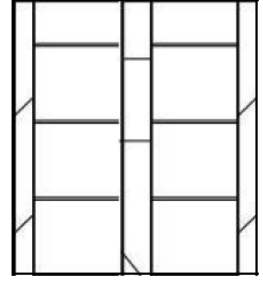
Tablo 6. Bina yapı bileşenlerinin malzeme detayları

Malzeme detayları ve kalınlıkları		Kalınlık	
Dış Duvar	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0.02 m	0,02 > 0,25 > 0,03 > 0,07 > 0,005 mt. 
	TS EN 771-1'e uygun dolu veya düşey delikli tuğla	0.25 m	
	Çimento harcı	0.03 m	
	Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 1316	0.07 m	
	Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış	0.005 m	
Kolon – Perde	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0.02 m	0,02 > 0,25 > 0,03 > 0,07 > 0,005 mt. 
	Donatılı beton	0.25 m	
	Çimento harcı	0.03 m	
	Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 1316	0.07 m	
	Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış	0.005 m	
Çatılı Tavan (Kullanılmayan)	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0.02 m	0,02 > 0,15 > 0,002 > 0,12 mt. 
	Donatılı beton	0.15 m	
	Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0.002 m	
	Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtım malzeme	0.12 m	
Ara Kat Tabanı	İğne yapraklı ağaçlardan elde edilmiş olanlar	0.005 m	0,005 > 0,05 > 0,03 > 0,15 > 0,02 mt. 
	Çimento harçlı şap	0.05 m	
	Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 1316	0.03 m	
	Donatılı beton	0.15 m	
	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0.02 m	
Islak Hacim Ara Kat Tabanı	Granit	0.004 m	0,004 > 0,05 > 0,002 > 0,03 > 0,15 > 0,02 mt 
	Çimento harçlı şap	0.05 m	
	Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0.002 m	
	Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 1316	0.03 m	
	Donatılı beton	0.15 m	
	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0.02 m	

Komşu Mahale Bitişik Duvar

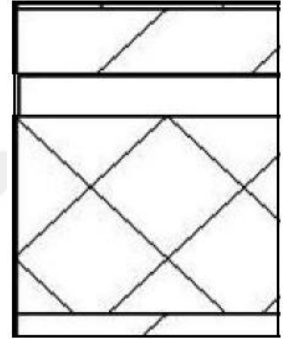
Kireç harcı. kireç-çimento harcı	0.02 m
TS EN 771-1'e uygun dolu veya düşey delikli tuğla	0.085 m
Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 1316	0.03 m
TS EN 771-1'e uygun dolu veya düşey delikli tuğla	0.085 m
Kireç harcı. kireç-çimento harcı	0.02 m

0,02 > 0,085 > 0,03 > 0,085 > 0,02 mt.

**Toprak Temaslı Taban**

Kristal yapılı püskürük ve metamorfik taşlar	0.03 m
Çimento harçlı şap	0.05 m
Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 1316	0.05 m
Donatılı beton	0.05 m
Donatısız beton	0.4 m
Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0.002 m
Donatısız beton	0.1 m
Kum. çakıl. kırma taş (mıcır)	0.5 m

0,004 > 0,05 > 0,002 > 0,03 > 0,15 > 0,02 mt



Isı geçiş direnci, bir yapı elemanının ısıya karşı gösterdiği direnci ifade eder ve birim sıcaklık farkı başına 1 m² yüzeyden geçen ısı miktarını sınırlar. TS 825 standardı çerçevesinde, bir yapı bileşeninin toplam ısı geçiş direnci R_{toplam} , yüzey geçiş dirençleri ve malzeme katmanlarının ısı dirençlerinin toplamı ile elde edilir. R değeri ne kadar yüksekse, yapı elemanının ısıyı iletme kapasitesi o kadar düşüktür. TS 825'e göre belirli iklim bölgeleri için azami U değerleri (dolayısıyla asgari R değerleri) tanımlanmıştır. Bu nedenle her yapı bileşeni için katmanlar detaylı olarak belirlenip, ısı dirençleri hesaplanarak ısı yalıtımı yeterliliği kontrol edilir. Verilen bina özelliklerine göre binanın ısı iletkenlik direnci R Tablo 6 ve Tablo 7'de yer alan veriler kullanılarak denklem 34 ile hesaplanmıştır.

$$R = \frac{1}{h_{iç}} + \frac{x_1}{\lambda_1} + \frac{x_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{h_{dış}} \quad (34)$$

Burada $h_{iç}$ ve $h_{dış}$ sırasıyla iç ve dış ortamın ısı taşınım katsayılarıdır.

Tablo 7. Yapı elemanları ısı geçirgenlik katsayısı ve ısı kaybeden yüzey alan bilgileri

Binadaki Yapı Elemanı	Yapı Elemanı Kalınlığı d(m)	Isı İletkenlik Hesap Değeri W/mK	Isı İletkenlik Direnci R (m ² K/W)	Isı Geçirgenlik Katsayısı U (W/m ² K)	Isı Kaybeden Yüzey A (m ²)
Dış Duvar			Malzeme Toplamları	0.367	245
İç yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci	0	0	0.13		
Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0.02	1	0.02		
TS EN 771-1'e uygun dolu veya düşey delikli tuğlalarla duvarlar	0.25	0.5	0.5		
Çimento harcı	0.03	1.6	0.019		
Ekstrüde polistiren köpüğü - TS11989 EN 13164'e uygun	0.07	0.035	2		
Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları	0.005	0.35	0.0142857		
Dış yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci	0	0	0.04		
Kolon-Perde			Malzeme Toplamları	0.4305	296
İç yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci	0	0	0.13		
Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0.02	1	0.02		
Donatılı	0.25	2.5	0.1		
Çimento harcı	0.03	1.6	0.01875		
Ekstrüde polistiren köpüğü - TS11989 EN 13164'e uygun	0.07	0.035	2		
Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları	0.005	0.35	0.0142857		
Dış yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci	0	0	0.04		
Çatılı Tavan Kullanılmayan			Malzeme Toplamları	0.303	252
İç yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci	0	0	0.13		
Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0.02	1	0.02		
Donatılı	0.15	2.5	0.06		
Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0.002	0.19	0.011		
Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtım malzemeleri (cam yünü, taş yünü vb.) TS 901 EN 13162 10) 'ye uygun (8-500)	0.12	0.04	3		
Dış yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci	0	0	0.08		
Ara Kat Tabanı			Malzeme Toplamları	0.74	1
İç yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci	0	0	0.17		
İğne yapraklı ağaçlardan elde edilmiş olanlar	0.005	0.13	0.038		
Çimento harçlı şap	0.05	1.4	0.036		
Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 1316	0.03	0.035	0.857		
Donatılı	0.15	2.5	0.06		
Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0.02	1	0.02		
Dış yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci	0	0	0.17		
Islak Hacim Ara Kat Tabanı			Malzeme Toplamları	0.755	1
İç yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci	0	0	0.17		
Granit	0.004	2.8	0.001		
Çimento harçlı şap	0.05	1.4	0.036		

Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0.002	0.19	0.011		
Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0.03	0.035	0.857		
Donatılı	0.15	2.5	0.06		
Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0.02	1	0.02		
Dış yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci	0	0	0.17		
Komşu Mahale Bitişik Duvar			Malzeme Toplamları	0.668	1
İç yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci	0	0	0.13		
Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0.02	1	0.02		
TS EN 771-1'e uygun dolu veya düşey delikli tuğlalarla duvarlar	0.085	0.5	0.17		
Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0.03	0.035	0.857		
TS EN 771-1'e uygun dolu veya düşey delikli tuğlalarla duvarlar	0.085	0.5	0.17		
Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0.02	1	0.02		
Dış yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci	0	0	0.13		
Toprak Temaslı Taban			Malzeme Toplamları	0.381	300
İç yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci	0	0	0.17		
Kristal yapılı püskürük ve metamorfik taşlar (mozaik vb.)	0.03	2.3	0.013		
Çimento harçlı şap	0.05	1.4	0.036		
Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0.05	0.035	1.429		
Donatılı	0.4	2.5	0.16		
Donatısız	0.05	1.65	0.03		
Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0.002	0.19	0.011		
Donatısız	0.1	1.65	0.061		
Kum, çakıl, kırma taş (mıcır)	0.5	0.7	0.714		
Dış yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci	0	0	0		
Pencere Dış			Malzeme Toplamları	2.3	94.3

Geleneksel derece gün hesaplamalarında TS 825'e göre bu değerler sabit kabul edilerek hesaplamalar yapılır. Ancak çalışmamızda bölünmüş derece gün yönteminde seçilen zaman dilimleri için ayrı ayrı dış ısı taşınım katsayıları ile ısı iletkenlik direnci hesaplanmıştır. Isı iletkenlik direnci hesaplamalarında $\frac{1}{h_{dış}}$ dış ortam ile temas halinde bulunan yapı bileşeninin yani dış yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direncini ifade etmektedir. Hesaplanan çalışmada dış duvar, kolon-perde, çatılı tavan hesaplamaları için denklem 35 tanımlanmıştır.

$$\frac{1}{h_{dış}} = R_{DDt} = R_{KPt} = R_{ÇTt} \quad (35)$$

Binanın hacmi $V = 1791.5 \text{ m}^3$ olup havalandırma ve yapı sızdırmazlığı kaynaklı mevsimsel ortalama saatlik hava değişim oranı için $I = 0.8$ ve hava değişimi/saat (1 ACH) varsayılmıştır. Buna göre binanın toplam ısı transfer katsayısı denklem 36 ile hesaplanmıştır.

$$U' = \sum_1^M UA = \frac{1}{R_{(DD-DDt)} + \frac{1}{h_{dış}}} \cdot A_{DD} + \frac{1}{R_{(KP-KPt)} + \frac{1}{h_{dış}}} \cdot A_{KP} + \frac{1}{R_{(\text{ÇT}-\text{ÇTt})} + \frac{1}{h_{dış}}} \cdot A_{\text{ÇT}} \cdot 0.8 + \frac{1}{R_{AKT}} \cdot A_{AKT} \cdot 0.5 + \frac{1}{R_{IHAKT}} \cdot A_{IHAKT} \cdot 0.5 \cdot A_{KMBD} \cdot 0.5 + \frac{1}{R_{TTT}} \cdot A_{TTT} \cdot 0.5 + \frac{1}{R_{PD}} \cdot A_{PD} \quad (36)$$

Burada:

- R_{DD} , Dış duvarların ısı iletkenlik direnci ($\text{m}^2\text{K} / \text{W}$).
- R_{DDt} , Dış duvarların yüzeyel ısı iletkenlik direnci ($\text{m}^2\text{K} / \text{W}$).
- R_{KP} , Kolon ve perdelerin ısı iletkenlik direnci ($\text{m}^2\text{K} / \text{W}$).
- R_{KPt} , Kolon ve perdelerin dış yüzeyinin yüzeyel ısı iletkenlik direnci ($\text{m}^2\text{K} / \text{W}$).
- $R_{\text{ÇT}}$, Çatılı tavan(kullanılmayan) ısı iletkenlik direnci ($\text{m}^2\text{K} / \text{W}$).
- $R_{\text{ÇTt}}$, Çatılı tavanın dış yüzeyel ısı iletkenlik direnci ($\text{m}^2\text{K} / \text{W}$).
- R_{AKT} , Ara kat tabanı ısı iletkenlik direnci ($\text{m}^2\text{K} / \text{W}$).
- R_{IHAKT} , Islak hacim ara kat tabanı ısı iletkenlik direnci ($\text{m}^2\text{K} / \text{W}$).
- R_{KMBD} , Komşu mahale bitişik duvar ısı iletkenlik direnci ($\text{m}^2\text{K} / \text{W}$).
- R_{TTT} Toprak temaslı taban ısı iletkenlik direnci ($\text{m}^2\text{K} / \text{W}$).
- R_{PD} , Pencere(dış) ısı iletkenlik direnci ($\text{m}^2\text{K} / \text{W}$).

Ara kat tabanı, ıslak hacim ara kat tabanı, komşu mahale bitişik duvar, toprak temaslı taban ve pencere dış yapı bileşenleri h değerleri değişmediğinden UA değerleri ile infiltrasyon değerinin toplamı U'_{sbt} denklem 37 de hesaplanmıştır.

$$U'_{sbt} = \frac{1}{R_{AKT}} \cdot A_{AKT} \cdot 0.5 + \frac{1}{R_{IHAKT}} \cdot A_{IHAKT} \cdot 0.5 + \frac{1}{R_{KMBD}} \cdot A_{KMBD} \cdot 0.5 + \frac{1}{R_{TTT}} \cdot A_{TTT} \cdot 0.5 + \frac{1}{R_{PD}} \cdot A_{PD} + \frac{1}{3} IV \quad (37)$$

Binaya ait veriler denklem 37 de yerlerine yazıldığında U'_{sbt} denklem 38 deki gibi 752.85 W/K olarak hesaplanmıştır.

$$U'_{sbt} = 0.74 * 1 * 0.5 + 0.755 * 1 * 0.5 + 0.668 * 1 * 0.5 + 0.381 * 300 * 0.5 + 2.3 * 94.3 + \frac{1}{3} 0.8 * (1791.5) = 275.12 + 477.73 = 752.85 \text{ W/K} \quad (38)$$

Denklem 38 ile hesaplanan U'_{sbt} değeri denklem 36 da yerine yazıldığında U' aşağıdaki şekilde elde edilir. (Denklem 39)

$$U' = \sum_1^M UA = \frac{1}{R_{(DD-DDt)} + \frac{1}{h_{dış}}} \cdot A_{DD} + \frac{1}{R_{(KP-KPt)} + \frac{1}{h_{dış}}} \cdot A_{KP} + \frac{1}{R_{(\zeta T-\zeta Tt)} + \frac{1}{h_{dış}}} \cdot A_{\zeta T} \cdot 0.8 + 752.85 \text{ W/K} \quad (39)$$

Hesaplanan çalışmada dış duvar, kolon-perde, çatılı tavan için alan ve direnç değerleri Tablo 8'de yer almaktadır.

Tablo 8. Dış yüzeylerin alan ve direnç değerleri

	$A_{DD} \text{ (m}^2\text{)}$	$R_{(DD-h_D)} \text{ (m}^2\text{K/W)}$
Dış Duvar (DD)	245	2.683
Kolon-Perde (KP)	296	2.283
Çatılı Tavan Kullanılmayan (ÇT)	252	3.221

Tablo 8'de verilen değerler yerine yazılarak denklem 40 elde edilmiştir.

$$U' = \sum_1^M UA = \frac{1}{2.683 + \frac{1}{h_{dış}}} \cdot 245 + \frac{1}{2.283 + \frac{1}{h_{dış}}} \cdot 296 + \frac{1}{3.221 + \frac{1}{h_{dış}}} \cdot 252 \cdot 0.8 + 752.85 \text{ W/K} \quad (40)$$

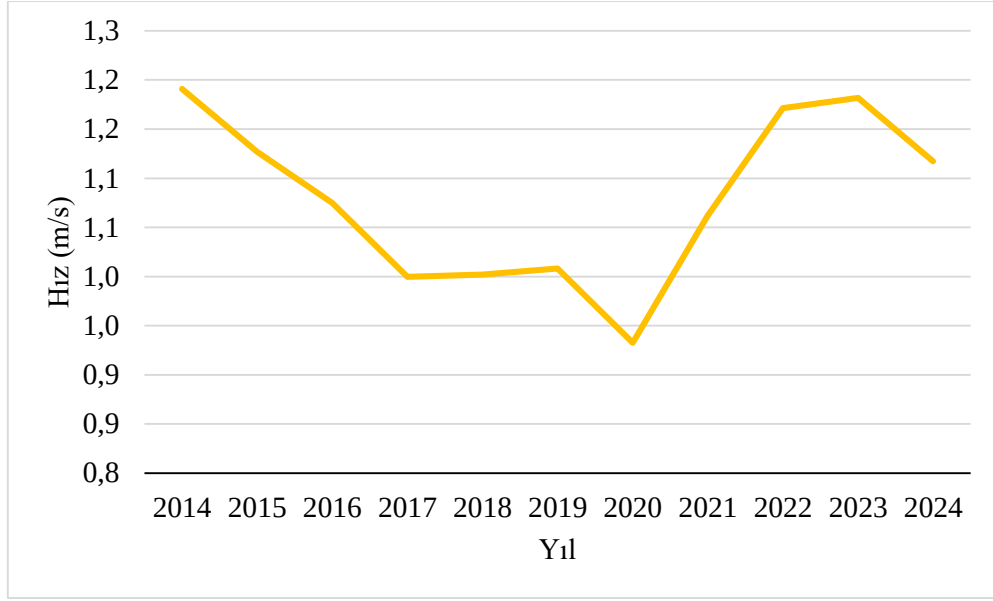
Taşınım ısı transfer katsayısı, binanın ve bina çevresinin geometrisi, bina kabuğundaki konum, bina yüzey pürüzlülüğü, rüzgar hızı, rüzgar yönü, yerel hava akış modelleri ve yüzey-hava sıcaklık

farkları gibi çeşitli faktörlerden etkilenir (Blocken vd., 2009). CHTC'nin doğru bir şekilde değerlendirilmesi yapı kabuğu bileşenlerinin ısı analizleri için büyük önem taşımaktadır. Literatürde yer alan çalışmalar (Defraeye vd., 2011; Mirsadeghi vd., 2013). CHTC hesaplamalarındaki uygun olmayan kullanımın bina enerji tüketiminde %20–40 oranında hatalara neden olabileceğini göstermektedir. $h_{dış}$ değerlerini elde etmek için analitik, sayısal ve deneysel yöntemler olarak kategorize edilebilecek farklı yöntemler vardır (Clarke, 2007). Analitik yöntemler, yalnızca belirli akış rejimleri ile sınırlı olup genellikle düz plakalar ve silindirler gibi basitleştirilmiş geometrilere uygulanabilir (Cai ve Zhang, 2003). Buna karşılık, sayısal yöntemler özellikle Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) dış yüzey taşınım ısı transfer katsayısının ($h_{dış}$) tahmininde güçlü ve esnek bir araç olarak öne çıkmaktadır. Son yıllarda, CFD yöntemleri rüzgar yönüne bakan cepheler üzerinde $h_{dış}$ değerlerinin hesaplanması amacıyla başarıyla uygulanmış ve bazı durumlarda deneysel verilerle doğrulanmıştır (Blocken vd., 2009; Defraeye vd., 2011). Ancak bu tür simülasyonların yüksek hesaplama maliyetleri gerektirmesi ve özellikle rüzgar yönündeki cepheler ile çatılarda elde edilen sonuçların doğruluğunun hâlen geliştirilmesi gerektiği literatürde vurgulanmaktadır. Öte yandan, hem küçültülmüş ölçekli rüzgar tüneli deneyleri hem de tam ölçekli saha ölçümleri, günümüzde dış yüzey ısı taşınım katsayılarına ilişkin veri elde etmek için en güvenilir yöntemler arasında yer almaya devam etmektedir. Rüzgâr özellikleri ısıtılan bir binanın dış cephesinde ısıl direnci etkilemekte ve infiltrasyon yoluyla binadaki ısı kaybını etkilemektedir. Bir yüzey boyunca havanın hızı artarsa, o yüzeyden daha düşük sıcaklıkta bulunan havaya ısı alışverişi artmaktadır.

Bina yüzeyi ile dış çevre arasındaki ısı alışverişinin niceliksel olarak belirlenmesi, dış yüzey taşınım ısı transfer katsayısı (CHTC) dağılımının detaylı şekilde anlaşılmasını gerektirir. Bina dış yüzeyleri için taşınım ısı transfer katsayısı $h_{dış}$ ASHRAE görev grubu tarafından belirlenen bilgisayarlı enerji hesaplamaları için ısıtma ve soğutma yüklerini belirleme prosedürüne göre denklem 41'de tanımlanmaktadır (ASHRAE, 1975. Defraeye vd., 2011).

$$h_{dış} = 18.6 \cdot u_{yerel}^{0.605} \quad u_{yerel} = 0.5 \text{ için } u_{10} < 2 \text{ m/s değilse } u_{yerel} = 0.25 U_{10} \quad (41)$$

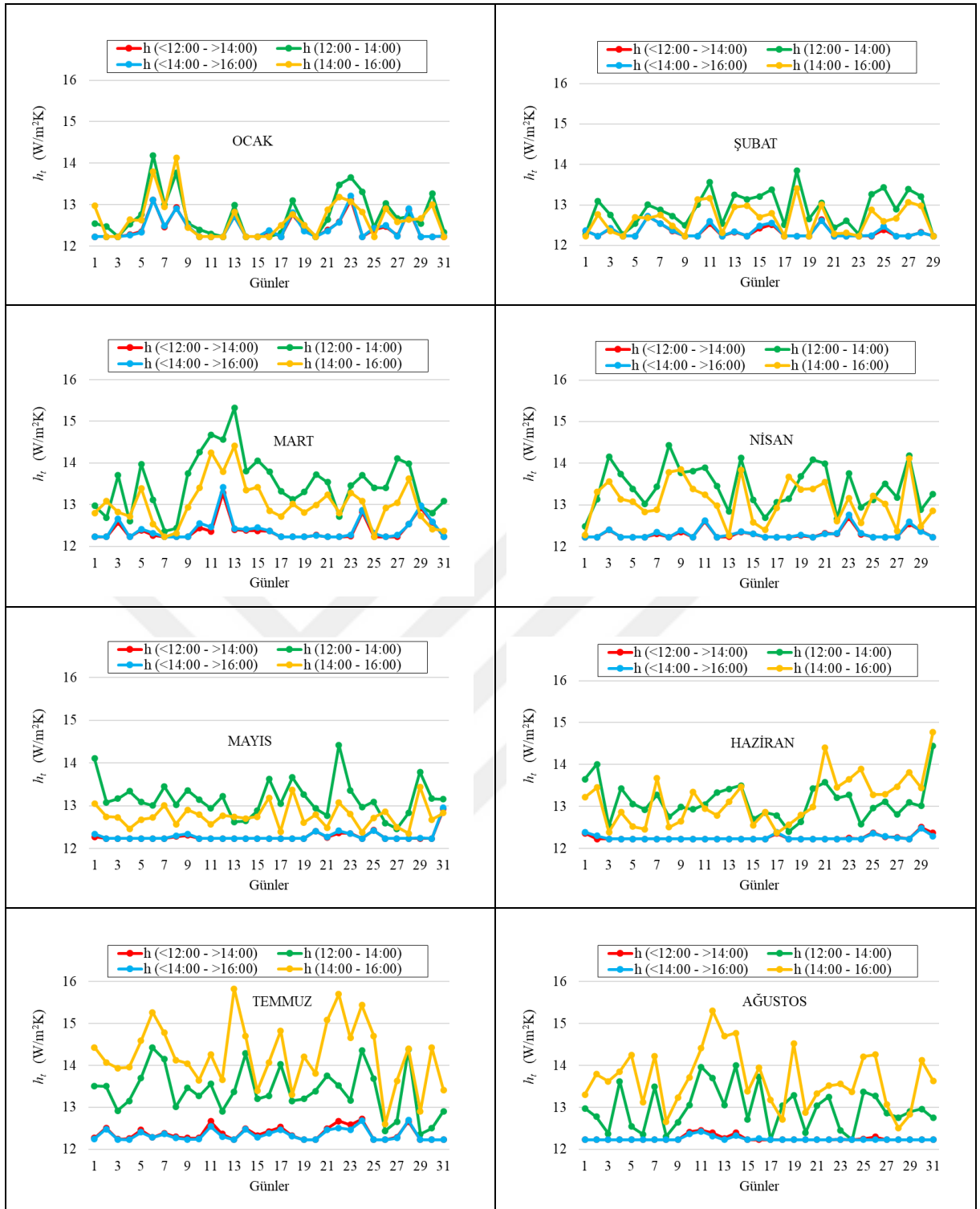
Burada u_{yerel} hesaplama yapılan lokasyondaki ortalama rüzgar hızını, u_{10} ise yerden 10 metre yükseklikteki kara tabanlı meteoroloji istasyonlarından elde edilen rüzgar hızıdır. Erzincan Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan 2014-2024 yıllarına ait günlük ortalama rüzgar hızlarına ait grafik Şekil 46'da verilmektedir.



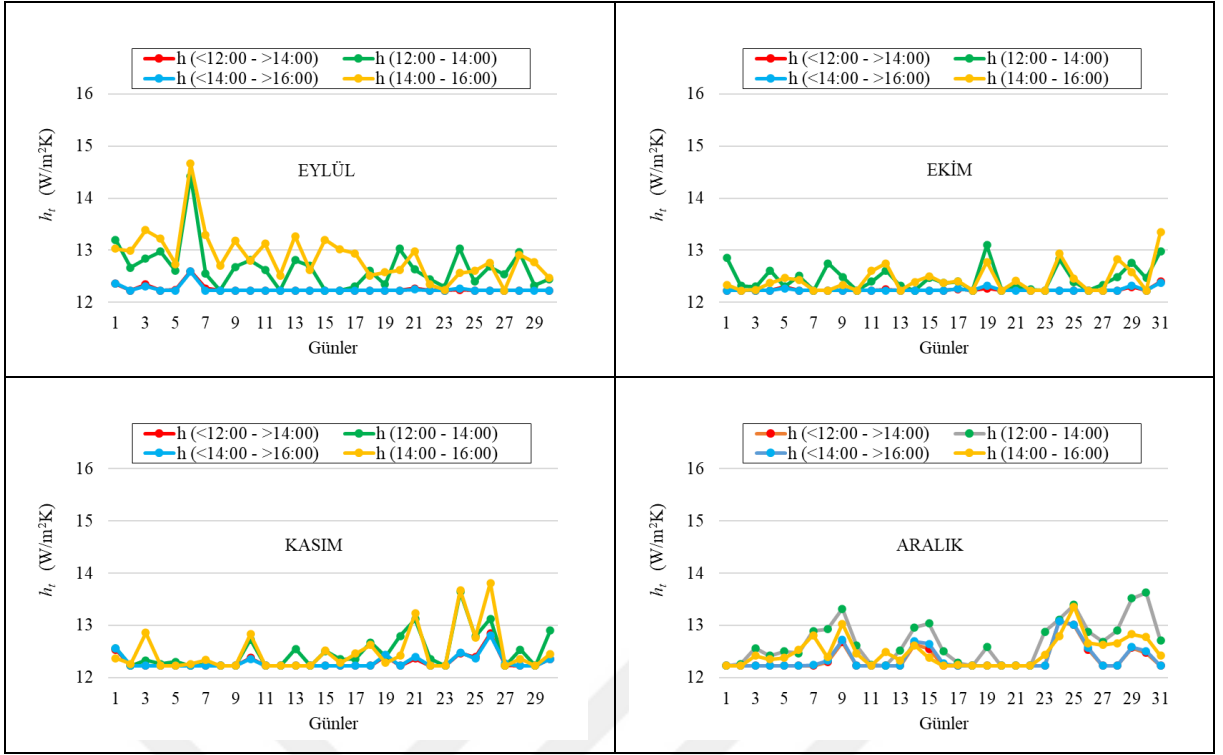
Şekil 46. Yıllara göre rüzgar hızı dağılı (2014-2024)

2014–2017 yılları arasında rüzgar hızında istikrarlı bir azalma. 2017–2020 yıllarında ise minimum seviyeye doğru gerilemiştir. 2020 sonrası (2021–2023 rüzgar hızı belirgin şekilde artmıştır. 2024'te ise tekrar hafif bir azalma eğilimi görülmektedir. 2020'deki ani düşüş, muhtemelen iklimsel anomali, düşük basınç sistemlerinin azlığı veya pandemi kaynaklı emisyon düşüşü gibi nedenlere bağlı olabilir. 2021 sonrası artış, iklim dengelenmesi veya global dolaşım sistemlerinin yeniden güçlenmesi ile açıklanabilir.

Meteorolojiden alınan veriler denklem 41 kullanılarak $h_{dış}$ yılın her günü için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Dış ısı taşınım katsayısı ($h_{dış}$. W/m²K) değerlerinin yıl boyunca günlere göre değişimi, çalışmada belirlenen bölünmüş derece gün hesaplamalarının yapıldığı aynı zaman dilimlerine ayrılarak Şekil 47'de Ocak-Ağustos ayları ve Şekil 48'de ise Eylül-Aralık ayları için gösterilmiştir. İncelenen zaman dilimleri; gün ortasında belirlenen zaman aralıkları ve bunların sışında kalan (öncesi ve sonrası) olacak şekilde dört farklı zaman dilimi oluşturulmuştur. Grafikte 12:00 – 14:00 için yeşil, <12:00 – >14:00 için kırmızı, 14:00–16:00 için sarı ve <14:00 – >16:00 için mavi renk kullanılmıştır.

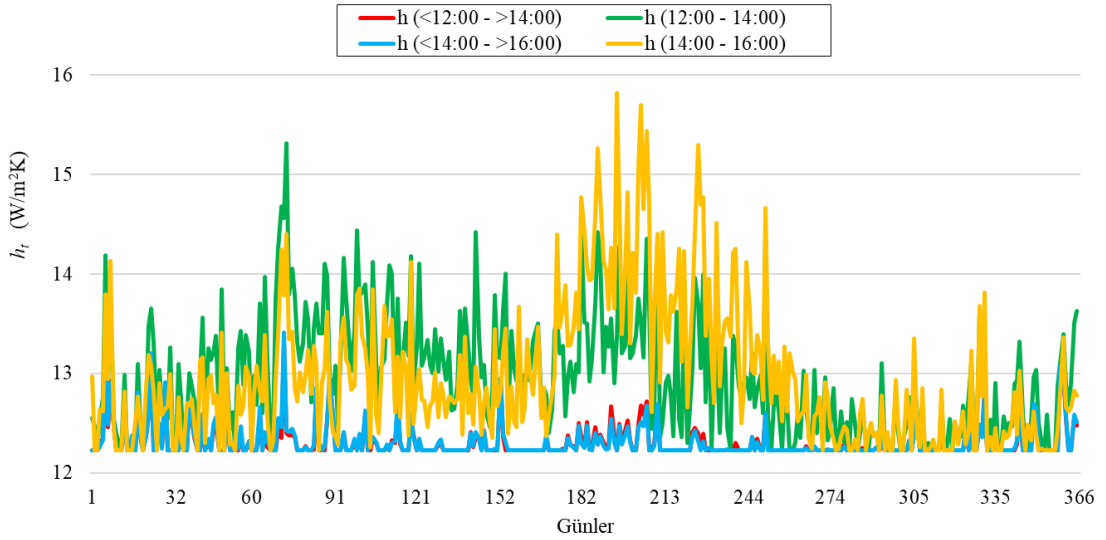


Şekil 47. Ocak-Ağustos $h_{dış}$ ısı taşınım katsayısının aylara göre günlük değişimi



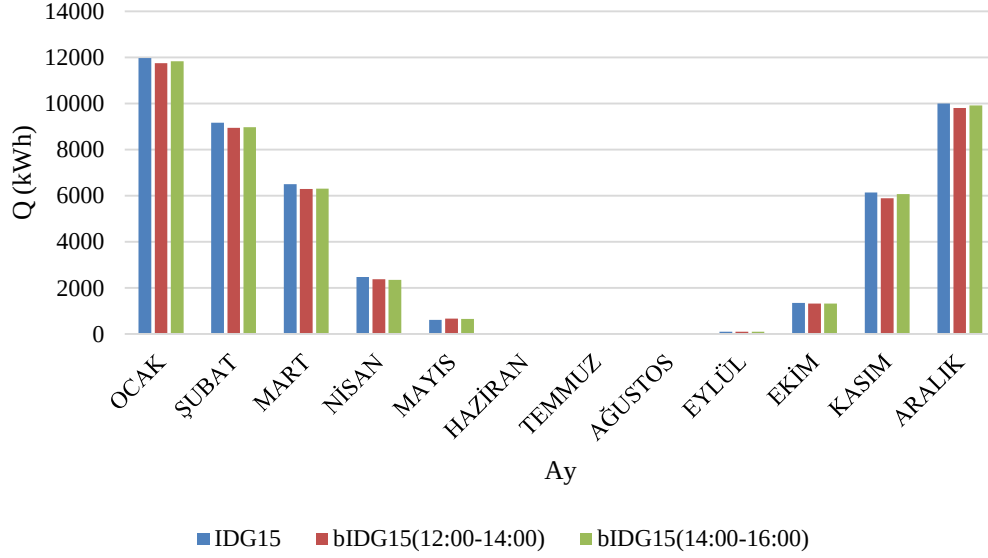
Şekil 48. Eylül-Aralık $h_{dış}$ ısı taşınım katsayısının aylara göre günlük değişimi

$h_{dış}$ ısı taşınım katsayısının yıl boyunca değişimi Şekil 49’da görülmektedir.



Şekil 49. $h_{dış}$ ısı taşınım katsayısının yıllık değişimi

Dolayısıyla hesaplanan $h_{dış}$ değerleri denklem 40 de yerine yazılarak binanın toplam ısı iletim katsayısı bulunmuş, denklem 29 yardımıyla binanın Q ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplanmıştır. Bu hesaplamada η verim katsayısı doğal gaz yoğuşmalı kombi verimleri 1’e çok yakın olduğundan 1 kabul edilmiştir.

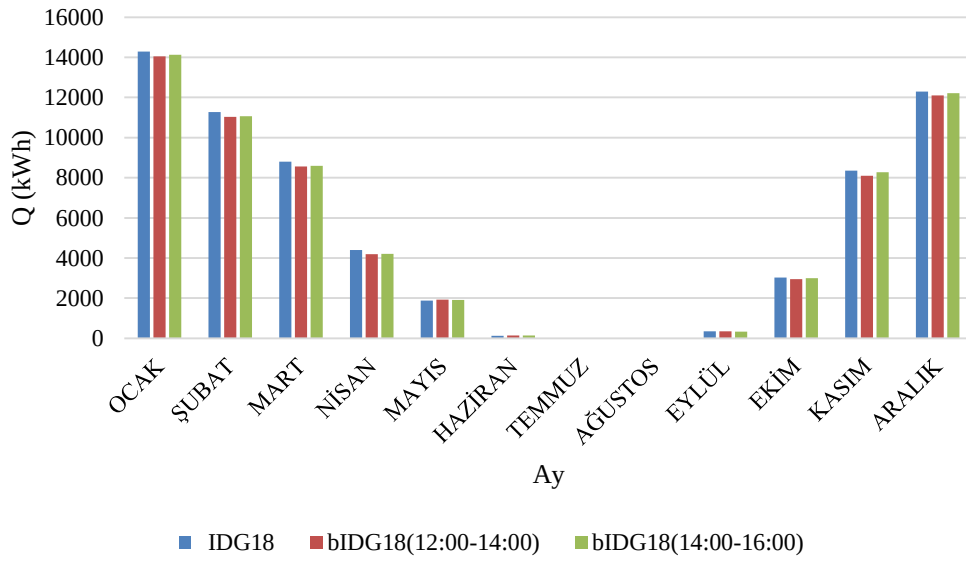


Şekil 50. Aylara göre ısıtma enerjisi ihtiyaçları (15 °C referans sıcaklığı)

Şekil 50’de aylar bazında değişen ısıtma enerjisi ihtiyacı (Q) değerlerini göstermektedir. Referans sıcaklığı 15 °C olarak belirtilmiş olup, en yüksek değerler Ocak, Şubat ve Aralık aylarında gözlemlenmiştir. Bu durum, kış aylarında ısıtma talebinin artması ya da yüksek enerji kullanımı/akışı ile ilişkilendirilebilir. Aynı zamanda enerji tüketiminin mevsimsel olarak yoğunlaştığı aylar oldukları anlaşılmaktadır. Mart ayında değerler hala yüksektir, ancak Nisan ve Mayıs aylarında dramatik bir düşüş gözlenmektedir. Bu azalma, dış sıcaklıkların artmasıyla birlikte enerji ihtiyacının azalmasını göstermektedir. Eylül ve Ekim aylarında düşük seviyeler devam etmekte. Kasım ayında ise hızlı bir artış gözlenmektedir. Bu artış, ısıtma ihtiyacının yeniden başladığını göstermektedir.

IDG yöntemi yalnızca günlük ortalama sıcaklık üzerinden hesaplandığı için gün içi değişimleri göz ardı etmektedir. Bu eksiklik, özellikle enerji modellemesi ve ısıtma sistemlerinin dinamik davranışlarını inceleyen çalışmalar için önemli bir sınırlamadır. Bu bağlamda, Bölünmüş Derece Günü (bDG) yöntemi, günün farklı saat dilimlerinde ayrı ayrı derece günü hesaplayarak daha ayrıntılı analizler yapılmasına olanak tanımaktadır. Bu çalışmada, 15 °C referans sıcaklığına göre hesaplanan IDG ve bIDG değerleri kullanılarak bir bölgenin aylık bazda ısıtma enerji ihtiyacı analiz edilmiştir. Özellikle 12:00–14:00 ve 14:00–16:00 saat dilimlerinde hesaplanan bIDG değerleri karşılaştırılarak, gün içindeki ısıtma gereksiniminin değişimi

değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, enerji verimli bina tasarımı ve ısıtma sistemlerinin saatlik kontrol stratejilerinin belirlenmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.



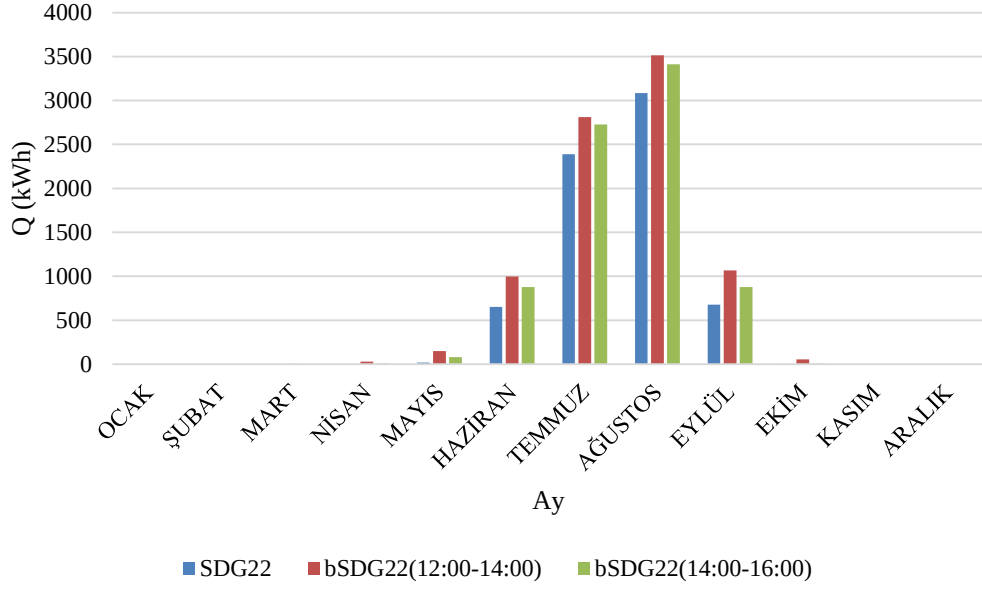
Şekil 51. Aylara göre ısıtma enerjisi ihtiyaçları (18 °C referans sıcaklığı)

Şekil 51’de aylar bazında değişen ısıtma enerjisi ihtiyacı (Q) değerlerini göstermektedir. Şekil 50 ile karşılaştırıldığında bu sefer yaygın bir referans sıcaklık olan 18 °C referans sıcaklık değeri olarak belirlenmiştir. En yüksek olan değerler, sırasıyla Ocak, Şubat ve Aralık aylarında olduğundan bu aylarda yüksek ısıtma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu durum hava sıcaklıklarının düşük olmasından kaynaklı olarak Mart ayında da devam etmekte olup havaların ısınmasıyla birlikte Nisan ve Mayıs aylarında ısıtma ihtiyacı düşüş eğilimi gösterir. Yılın sonuna doğru havaların tekrar soğumasıyla birlikte Ekim’de tekrar ısıtma ihtiyacı başlar ve Kasım ayında yeniden hızla artar.

IDG yöntemi, yıllık ve aylık ısıtma ihtiyacını genel olarak tahmin etmede başarılıdır; ancak saatlik ya da zaman aralıklı değişimleri göz ardı eder. bIDG yöntemi özellikle sistemlerin saatlik kontrol stratejilerinin değerlendirilmesinde avantaj sağlar. Gündüz saatlerinde ısıtma ihtiyacının azaldığı, dolayısıyla sistemin o saatlerde düşük kapasiteyle çalışabileceği ya da tamamen kapatılabileceği bIDG analizleri sayesinde belirlenebilir.

Binaların enerji modellemelerinde, bIDG yöntemiyle yapılan hesaplamalar, kontrol sistemlerinin verimli çalışmasını sağlayacak şekilde zamanlamalı ısıtma stratejileri geliştirmek

için kullanılabilir. Özellikle geçiş aylarında (Nisan, Mayıs, Ekim), gün içindeki sıcaklık artışı öğleden sonra ısıtma ihtiyacını düşürdüğünden, bu saatlerde sistem devre dışı bırakılabilir veya modülasyonlu çalıştırılabilir.

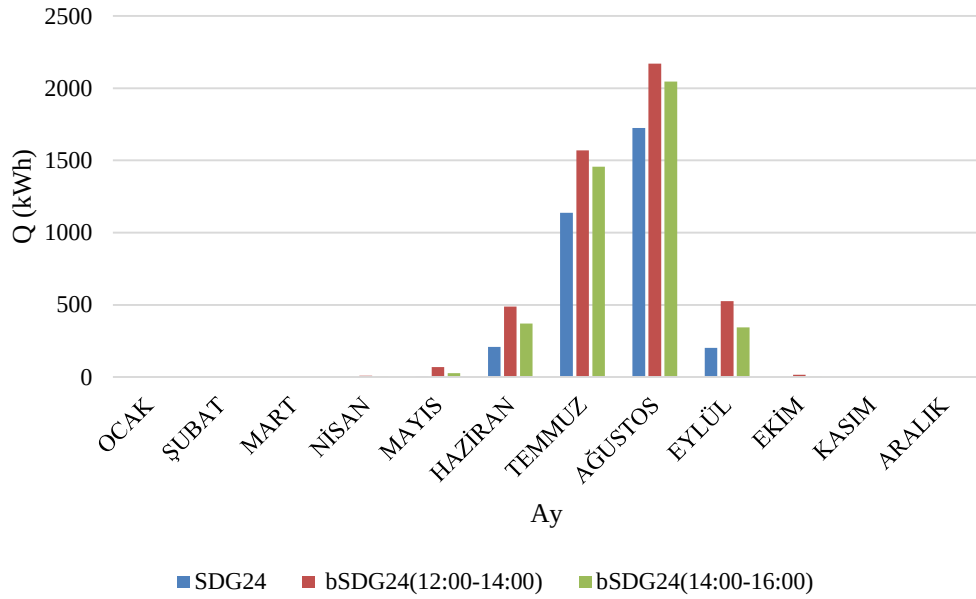


Şekil 52. Aylara göre soğutma enerjisi ihtiyaçları (22 °C referans sıcaklığı)

Şekil 52’de aylar bazında değişen soğutma enerjisi ihtiyacı (Q) değerlerini göstermektedir. 22°C referans sıcaklığına göre hesaplandığını gösterir. Bu referans sıcaklık soğutma yükleri için kullanılmaktadır. Dış ortam sıcaklıkları 22 °C referans değerinin altında olduğundan iklimlendirme sistemleri soğutma yapmaz. Yaz aylarında hazirandan itibaren soğutma sezonu başlar, eylül ayında sıcaklıklar 22 °C'nin altına düştüğü için soğutma ihtiyacı ortadan kalkar. Temmuz’da soğutma sistemi tam kapasiteye yaklaşır. Ağustos ayı ise pik soğutma yükü dönemidir.

Öğle saatleri (12:00–14:00) ve öğleden sonra (14:00–16:00) arasındaki farklar Temmuz ve Ağustos aylarında minimum düzeydedir, bu da günün bu saatlerinde sıcaklığın sürekli olarak 22 °C'nin üzerinde seyrettiğini ve soğutma yükünün sabit olduğunu gösterir. Haziran ve Eylül aylarında, özellikle 14:00–16:00 diliminde daha yüksek bSDG₂₂ değerleri gözlenmektedir. Bu durum, öğleden sonra güneşlenmenin artmasıyla sıcaklıkların daha yüksek değerlere ulaştığını ve dolayısıyla soğutma ihtiyacının bu saatlerde arttığını göstermektedir. Mayıs ve Ekim’de.

bSDG₂₂ değerleri çok düşüktür. Bu aylar, yılın soğutma sezonuna giriş ve çıkış dönemleri olup, yalnızca kısa süreli soğutma ihtiyacı doğmuştur.



Şekil 53. Aylara göre soğutma enerjisi ihtiyaçları (24 °C referans sıcaklığı)

Şekil 53’de aylar bazında değişen soğutma enerjisi ihtiyacı (Q) değerlerini göstermektedir. 24 °C referans sıcaklığına göre hesaplandığını gösterir. İç ortam referans sıcaklığı 24 °C alınarak oluşturulmuş soğutma yükü (Q) profiline aittir. Kış ve ilkbahar aylarında (Ocak–Mayıs) soğutma yükü sıfır ($Q = 0$), dış ortam sıcaklığı yılın bu döneminde 24 °C’nin altında, dolayısıyla soğutma ihtiyacı yoktur. Haziran ayında soğutma ihtiyacı başlıyor. Artan dış sıcaklıklarla birlikte yük yükseliyor, ve Ağustos ayında pik yaptıktan sonra Eylül ayı ile birlikte yük azalarak soğutma ihtiyacı sona eriyor.

Öğle saatleri (12:00–14:00) ve öğleden sonra (14:00–16:00) arasındaki farklar Temmuz ve Ağustos aylarında minimum düzeydedir, bu da günün bu saatlerinde sıcaklığın sürekli olarak 24 °C’nin üzerinde seyrettiğini ve soğutma yükünün sabit olduğunu gösterir. Haziran ve Eylül aylarında, özellikle 14:00–16:00 diliminde daha yüksek bSDG₂₄ değerleri gözlenmektedir. Bu durum, öğleden sonra güneşlenmenin artmasıyla sıcaklıkların daha yüksek değerlere ulaştığını ve dolayısıyla soğutma ihtiyacının bu saatlerde arttığını göstermektedir. Mayıs ve Ekim’de, bSDG₂₄ değerleri çok düşüktür. Bu aylar, yılın soğutma sezonuna giriş ve çıkış dönemleri olup, yalnızca kısa süreli soğutma ihtiyacı doğmuştur.

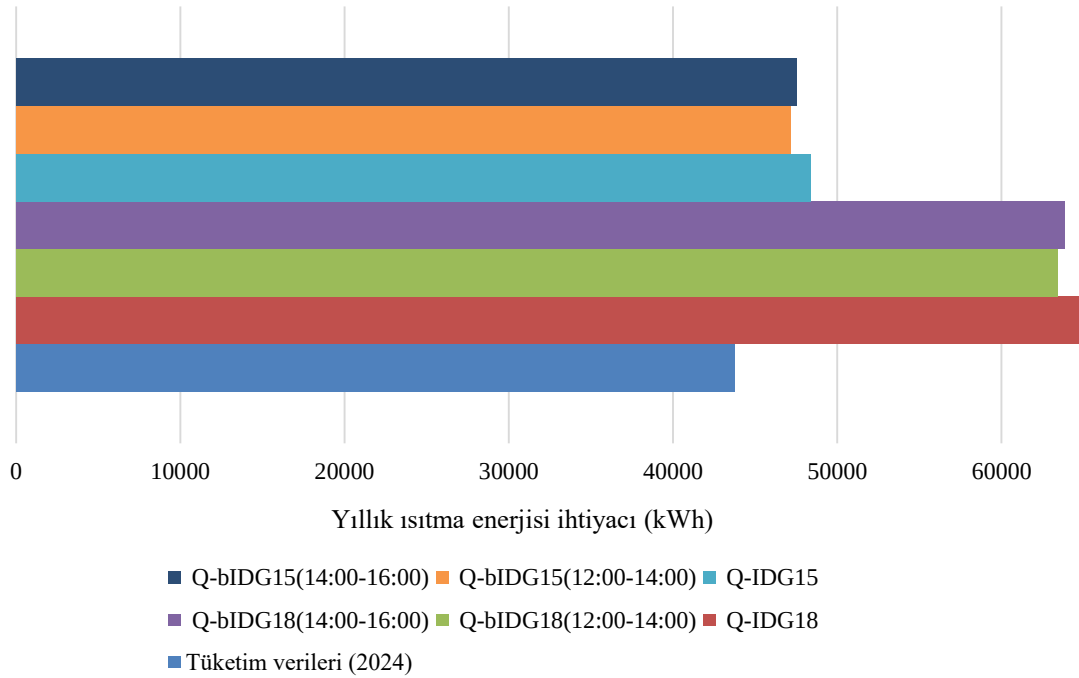
Çalışmada örnek olarak seçilen ikiz villanın bina sahibinin rızası doğrultusunda gerçekleşen 2024 yılı doğal gaz tüketim verileri tedarik edilerek ihtiyaç duyulan ısıtma enerjisi Tablo 9 ile paylaşılmaktadır. Bu ısıtma enerjisi verileri yıl boyunca sıcak su ve pişirme amacıyla tüketilen doğal gaz miktarı arındırıldıktan sonra sadece ısıtma için kullanılan doğal gaz tüketim verilerini içermektedir. Bu tüketim verileri bireysel ısıtma sistemli (kombi) örnek binaya ait olduğundan birçok değişkene bağlı olarak kullanıcıların konfor sıcaklığı tercihleri farklılıklar gösterebilmektedir.

Erzincan için 4 kişilik bir ailenin pişirme ve sıcak su tüketim verileri incelendiğinde bu ihtiyaçların karşılanması amacıyla hane başı günlük ortalama 1 m³ doğal gaz tüketildiği kabul edilerek hesaplamalar gerçekleştirilmiş olup örnek binaya ait 2024 yılı tüketim verileri Tablo 9'da verilmektedir.

Tablo 9. Örnek bina 2024 yılı ısıtma enerjisi tüketim verileri

Q (kWh)	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	TOPLAM
2024	8.166	9.631	6.612	5.119	1.859	1.014	0	0	0	239	2.705	8.426	43.771

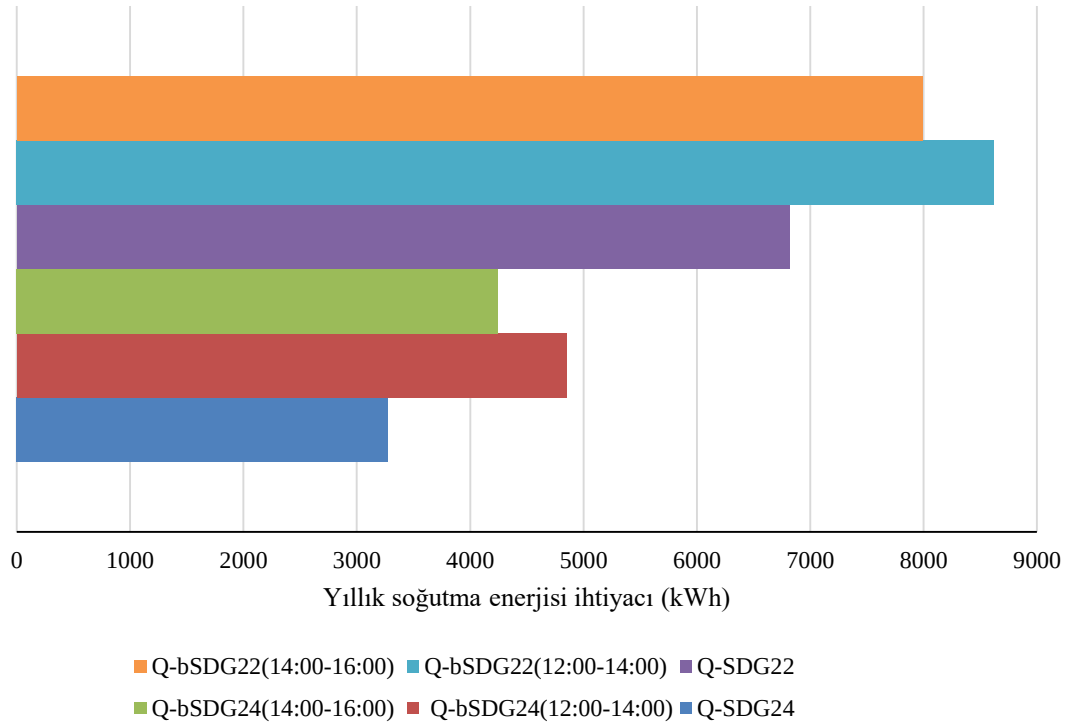
Şekil 54'te 15 °C ve 18 °C için ısıtma derece gün yöntemi, bölünmüş derece gün yöntemleri ile hesaplanan yıllık ısı enerjisi ihtiyacı ve 2024 yılında tüketilen yıllık ısı enerjisi verileri karşılaştırılmıştır.



Şekil 54. Hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları ile gerçekleşen tüketim verilerinin karşılaştırılması

Yıllık toplam ısı enerjisi ihtiyacı referans sıcaklık 18 °C için geleneksel yöntemle (Q-IDG₁₈) 64782 kWh, 12:00–14:00 saat dilimine göre bölünmüş derece gün yöntemiyle (Q-bIDG_{18(12:00-14:00)}) 63415 kWh ve 14:00–16:00 saat dilimine göre bölünmüş derece gün yöntemiyle (Q-bIDG_{18(14:00-16:00)}) 63853 kWh olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler binanın gerçek tüketim verilesi olan 43771 kWh ile karşılaştırıldığında Q-IDG₁₈ gerçek değerden %32.43 daha fazla olup en yüksek değere sahip, onu sırasıyla %31.45 fazlalık ile Q-bIDG_{18(14:00-16:00)} ve %30.98 fazlalık ile Q-bIDG_{18(12:00-14:00)} izlemektedir. Gerçek değere en yakın değer Q-bIDG_{18(12:00-14:00)} ile elde edilmiş olup Q-IDG₁₈'ten %2.15 daha azdır.

Yıllık toplam ısı enerjisi ihtiyacı 15 °C referans sıcaklıkta Q-IDG₁₅ için 48352 kWh. Q-bIDG_{15(12:00-14:00)} için 47185 kWh ve Q-bIDG_{15(14:00-16:00)} için 47548 kWh olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler binanın gerçek tüketim verilesi olan 43771 kWh ile karşılaştırıldığında Q-IDG₁₅ gerçek değerden %9.48 daha fazla olup en yüksek değere sahip, onu sırasıyla %7.94 fazlalık ile Q-bIDG_{15(14:00-16:00)} ve %7.24 fazlalık ile Q-bIDG_{15(12:00-14:00)} izlemektedir. Gerçek değere en yakın değer Q-bIDG_{15(12:00-14:00)} ile elde edilmiş olup Q-IDG₁₅'ten %2.47 daha azdır.



Şekil 55. Hesaplanan yıllık soğutma enerjisi ihtiyaçlarının karşılaştırılması

Yıllık toplam soğutma enerjisi ihtiyacı referans sıcaklık 24 °C için geleneksel yöntemle (Q-SDG₂₄) 3276 kWh 12:00–14:00 saat dilimine göre bölünmüş derece gün yöntemiyle (Q-bSDG_{24(12:00-14:00)}) 4849 kWh ve 14:00–16:00 saat dilimine göre bölünmüş derece gün yöntemiyle (Q-bSDG_{24(14:00-16:00)}) 4247 kWh olarak hesaplanmıştır (Şekil 55). Binanın soğutma enerjisinin gerçek tüketim verileri mevcut değildir. Bu sebeple hesaplama yöntemleri kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Q-SDG₂₄ en düşük soğutma yüküne sahip olup Q-bSDG_{24(12:00-14:00)} ondan %32.43 ve Q-bSDG_{24(14:00-16:00)} ise %22.86 daha fazladır. Yıllık toplam soğutma enerjisi ihtiyacı 22 °C referans sıcaklıkta Q-SDG₂₂ için 6816 kWh, Q-bSDG_{22(12:00-14:00)} için 8621 kWh ve Q-bSDG_{22(14:00-16:00)} için 7.988 kWh olarak hesaplanmıştır. Q-SDG₂₂ en düşük soğutma yüküne sahip olup Q-bSDG_{22(12:00-14:00)} ondan %20.93 ve Q-bSDG_{22(14:00-16:00)} ise %14.66 daha fazladır. Erzincan ilinin yaz dönemindeki yüksek sıcaklık değerleri göz önüne alındığında soğutma enerjisi ihtiyacının olduğu çok açıktır. Geleneksel derece gün yöntemi soğutma enerjisi ihtiyacı hesaplamalarında düşük kalmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Erzincan iline ait son on bir yıllık (2014–2024) saatlik ve günlük ortalama sıcaklık verileri kullanılarak, bir binanın ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçları geleneksel derece-gün yöntemi (IDG/SDG), bölünmüş derece-gün yöntemi (bIDG/bSDG) kullanılarak aylık ve yıllık bazda hesaplanmıştır. Hesaplanan ısıtma enerjisi ihtiyacı binaya ait gerçek ısı enerjisi tüketim verileri ile karşılaştırılmıştır.

Yıllık toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı referans sıcaklığın 18°C olarak alındığı durumda geleneksel yöntemle ($Q\text{-IDG}_{18}$) 64.782 kWh hesaplanırken, bölünmüş derece-gün yöntemiyle $Q\text{-bIDG}_{18(12:00-14:00)}$ için 63.415 kWh ve $Q\text{-bIDG}_{18(14:00-16:00)}$ için 63.853 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, binanın gerçek yıllık tüketimi olan 43.771 kWh ile karşılaştırıldığında; geleneksel yöntemin %32.43, $b\text{IDG}_{18(14:00-16:00)}$ yönteminin %31.45 ve $b\text{IDG}_{18(12:00-14:00)}$ yönteminin %30.98 oranında daha yüksek değerler verdiği görülmüştür. Gerçek değere en yakın tahmin $Q\text{-bIDG}_{18(12:00-14:00)}$ yöntemiyle elde edilmiş olup geleneksel yöntemle göre %2.15 daha düşük çıkmıştır. Referans sıcaklığın 15°C 'ye düşürülmesiyle birlikte, geleneksel yöntemle hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı 48.352 kWh ($Q\text{-IDG}_{15}$), bölünmüş derece-gün yöntemiyle 47.185 kWh ($Q\text{-bIDG}_{15(12:00-14:00)}$) ve 47.548 kWh ($Q\text{-bIDG}_{15(14:00-16:00)}$) olarak hesaplanmıştır. Gerçek tüketimle kıyaslandığında; geleneksel yöntemin %9.48, $b\text{IDG}_{15(14:00-16:00)}$ yönteminin %7.94 ve $b\text{IDG}_{15(12:00-14:00)}$ yönteminin ise %7.24 oranında yüksek çıktığı görülmüştür. Bu durumda en yakın sonuç $b\text{IDG}_{15(12:00-14:00)}$ ile elde edilmiş olup geleneksel yöntemle göre %2.47 daha düşük enerji tahmini sunmuştur. Her ne kadar bu fark yalnızca teorik enerji ihtiyacında tasarruf olarak görülsede, söz konusu verimlilik; binaların yalıtım kalınlığı, mimari tasarım ve enerji tüketim alışkanlıkları gibi pek çok yapısal faktörü doğrudan etkilemektedir. Bu küçük gibi görünen iyileştirmenin, ülke genelindeki tüm binalara uygulandığı senaryolarda, toplam enerji tüketiminde ciddi bir azalma sağlanabileceği öngörülmektedir. Özellikle dışa bağımlı olunan enerji kaynakları göz önüne alındığında, bu tür iyileştirme ve optimizasyonların ülke ekonomisine katkısı da kayda değer düzeyde olacaktır. Diğer yandan geleneksel derece-gün yönteminin ısıtma enerjisi ihtiyacını gerçek tüketim verisinden yüksek tahmin ettiğini, bu nedenle ısıtma sistemlerinin gereğinden büyük kapasitelerde boyutlandırılmasına yol açabileceğini göstermektedir. Gerekenden boyutlandırmalar, yalnızca ilk yatırım maliyetlerini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda sistemlerin düşük kısmi yüklerde çalışmasına ve dolayısıyla düşük verimle enerji tüketimine neden olmaktadır. Diğer yandan, saatlik bazda analiz imkânı sunan bölünmüş derece-gün

yöntemleri, iklim verilerindeki kısa süreli dalgalanmalara daha duyarlı olup ısıtma ihtiyaçlarının daha gerçekçi şekilde tahmin edilmesini sağlamaktadır.

Binaya ait gerçek soğutma enerjisi tüketim verileri mevcut olmadığından, soğutma enerjisi ihtiyacının değerlendirmesi yalnızca hesaplama yöntemlerinin kendi içindeki kıyaslamalarına dayandırılmıştır. Dolayısıyla, yöntemlerin mutlak doğruluğu değil, görelî performansları değerlendirilmiştir. Soğutma yüklerinin hesaplanmasında, referans sıcaklık 24 °C olarak alındığında geleneksel yöntemle ($Q\text{-SDG}_{24}$) 3.276 kWh, bölünmüş yöntemle sırasıyla 12:00-14:00 saat diliminde 4.849 kWh ve 14:00-16:00 saat diliminde 4.247 kWh ($Q\text{-bSDG}_{24(14:00-16:00)}$) olarak hesaplanmıştır. $Q\text{-SDG}_{24}$ en düşük soğutma enerjisi ihtiyacını verirken, bölünmüş yöntemle elde edilen değerler $Q\text{-bSDG}_{24(12:00-14:00)}$ için %32.43 ve $Q\text{-bSDG}_{24(14:00-16:00)}$ için %22.86 oranında daha yüksektir. Benzer şekilde, referans sıcaklığın 22 °C olarak alındığında soğutma enerjisi ihtiyacı $Q\text{-SDG}_{24}$ için 6.816 kWh, $Q\text{-bSDG}_{22(12:00-14:00)}$ için 8.621 kWh ve $Q\text{-bSDG}_{22(14:00-16:00)}$ için 7.988 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu durumda geleneksel yöntemle göre bölünmüş yöntemlerle elde edilen değerler $Q\text{-bSDG}_{22(12:00-14:00)}$ için %20.93 ve $Q\text{-bSDG}_{22(14:00-16:00)}$ %14.66 oranında daha yüksektir.

Sonuç olarak, ısıtma enerjisi ihtiyacı tahmininde bölünmüş derece-gün yöntemlerinin geleneksel derece gün yöntemine göre daha doğru ve enerji verimliliği açısından daha avantajlı sonuçlar sunduğu ortaya konmuştur. Özellikle iklim değişikliği koşullarının etkisini artırdığı günümüzde, HVAC sistemlerinin doğru kapasiteyle boyutlandırılmasında saatlik bazlı enerji analizlerinin gerekliliği daha da belirgin hale gelmektedir.

KAYNAKÇA

- Ablabekova. A. (2008). *Comparison of renewable energy sources with fossil fuels in terms of economic activity*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- AEB Yapı. (2017). *Isı yalıtımının faydaları*. <https://www.aebyapi.com/tr/-isi-yalitiminin-faydalari.aspx> adresinden 22 Haziran 2025 tarihinde edinilmiştir.
- Akbulut. G. (2019). *Ardahan ili için iklim ve enerji analizi*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Altun, M., Akçamete, A., & Akgül, Ç. M. (2019). *Dış sıcaklık verisinin bina ısıtma enerji gereksinimine etkisinin ve TS 825 derece-gün bölge kümelenendirmesinin geçerliliğinin incelenmesi*. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(6), 1062-1075.
- Akdağ. M. (2023). *Binalarda enerji verimliliğinde kullanılan malzemelerin ve maliyetin enerji verimliliğine etkisi*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Alarko Carrier. (2007. Nisan). 8760 saatlik bina enerji analizi. *Alarko Carrier Bülteni*. Sayı 21.
- Al-Hadhrani. L. M. (2013). Comprehensive review of cooling and heating degree days characteristics over Kingdom of Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 27. 305–314.
- Al-Homoud. M. S. (2001). Computer-aided building energy analysis techniques. *Building and Environment*. 36(4). 421–433.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2017). *2017 ASHRAE Handbook: Fundamentals*. ASHRAE.
- Anjomshoaa, A., & Salmanzadeh, M. (2017). Estimation of the changeover times and degree-days balance point temperatures of a city using energy signatures. *Sustainable cities and society*, 35, 538-543.
- Arisoy. A. (1998). İklim verileri. III. Uluslararası Yapıda Tesisat Bilimi ve Teknolojisi Sempozyumu. İstanbul.
- Kurekci, N. A. (2016). Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey's provincial centers. *Energy and buildings*, 118, 197-213.
- Ashrae Handbook. (1998). *Refrigeration*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

- ASHRAE. (2009). *ASHRAE Handbook—Fundamentals (SI): Chapter 19. Energy estimating and modeling methods*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- ASHRAE. (1975). *ASHRAE Task Group. Procedure for determining heating and cooling loads for computerising energy calculations. Algorithms for building heat transfer subroutines*. New York; 1975
- Assawamartbunlue. K. (2013). An investigation of cooling and heating degree-hours in Thailand. *Journal of Clean Energy Technologies*. 1(2). 87–90.
- Atalla, T., Gualdi, S., ve Lanza, A. (2018). A global degree days database for energy-related applications. *Energy*, 143, 1048-1055.
- Azevedo, J. A., Chapman, L., & Muller, C. L. (2015). Critique and suggested modifications of the degree days methodology to enable long - term electricity consumption assessments: a case study in Birmingham, UK. *Meteorological Applications*, 22(4), 789-796.
- Azizah. N. W., Puspaningrum. E. Y., & Diyasa. I. G. S. S. M. (2024). Analyzing the relationship between meteorological parameters and electric energy consumption using support vector machine and cooling degree days algorithm. *Journal of Information Systems and Informatics*. 6(2). 729–750.
- Balaras, C. A., Dascalaki, E. G., Droutsas, K. G., & Kontoyiannidis, S. (2016). Empirical assessment of calculated and actual heating energy use in Hellenic residential buildings. *Applied Energy*, 164, 115-132.
- Bakırcı. K., Ozyurt. O., Karagöz. S., & Erdoğan. S. (2008). Variable-base degree-day analysis for provinces of the Eastern Anatolia in Turkey. *Energy Exploration & Exploitation*. 26(2). 111–132.
- Bayraktar. D., & Bayraktar. E. A. (2016). Mevcut binalarda ısı yalıtım uygulamalarının değerlendirilmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 7(1). 59–66.
- Bayraktar. K. G. (2002). *Türkiye için dış hesap sıcaklıkları ve derece gün sayılarının değerlendirilmesi*. (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Bektaş. V., Çerçevik. A. E., & Kandemir. S. Y. (2017). Binalarda ısı yalıtımının önemi ve ısı yalıtım malzemesi kalınlığının yalıtıma etkisi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 1.

- Belova, I. N., Ginzburg, A. S., & Krivenok, L. A. (2018). Heating seasons length and degree days trends in Russian cities during last half century. *Energy Procedia*. 149. 373–379.
- BEPTR. (2017). *BEP TR web sitesi*. <http://www.bep.gov.tr/BEPTRWEB/SSSDetay.aspx>
- Berardi, U., & Jafarpur, P. (2020). Assessing the impact of climate change on building heating and cooling energy demand in Canada: Canadian weather year for energy calculation special report on emission scenarios. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 121. 109681.
- Bhatnagar, M., Mathur, J., & Garg, V. (2018). Determining base temperature for heating and cooling degree-days for India. *Journal of Building Engineering*. 18. 270–280.
- Blocken, B., Defraeye, T., Derome, D., & Carmeliet, J. (2009). High-resolution CFD simulations for forced convective heat transfer coefficients at the facade of a low-rise building. *Building and Environment*. 44(12). 2396-2412.
- Boake, T. M. (2011). Sustainable design part three: The basic principles of passive design [PowerPoint slides]. Waterloo Architecture. Cambridge, Canada.
- Boyd, D. W. (1979). *Degree Days: The Different Types*. National Research Council Canada.
- Bulut, H., Büyükalaca, O., & Yılmaz, T. (2007). Türkiye için ısıtma ve soğutma derece-gün bölgeleri. *Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*.
- Büyükalaca, O., Bulut, H., & Yılmaz, T. (2001). Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey. *Applied Energy*. 69(4). 269-283.
- Cai, R., & Zhang, N. (2003). Explicit analytical solutions of 2-D laminar natural convection. *International journal of heat and mass transfer*. 46(5). 931-934.
- Carpio, M., López-Ochoa, L. M., Las-Heras-Casas, J., & Verichev, K. (2022). Influence of heating degree day calculation methods in designing the thermal envelope of buildings. *Journal of Building Engineering*. 46. 103604.
- Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE). (2006). *TM41: Degree Days: Theory & Application*. CIBSE.
- Chervenkov, H., & Slavov, K. (2025). Population-weighted degree-days over Southeast Europe—Near past climate evaluation and future projections with NEX-GDDP CMIP6 ensemble. *Climate*. 13(4). 66.
- Ciscar, J.-C., & Dowling, P. (2014). Integrated assessment of climate impacts and adaptation in the energy sector. *Energy Economics*. 46. 531–538.
- Clarke, J. (2007). *Energy simulation in building design*. Routledge.

- Coğrafyaharita. (2025 a). *Erzincan'ın Türkiye'deki konumu* <http://cografyaharita.com/haritalarim/40-erzincan-ili-lokasyon-haritasi.png> adresinden 31 Temmuz 2025 tarihinde edinilmiştir.
- Coğrafyaharita. (2025 b). *Erzincan'ın İlçeleri* <http://cografyaharita.com/haritalarim/41-erzincan-ili-haritasi.png> adresinden 31 Temmuz 2025 tarihinde edinilmiştir.
- Corrales-Suastegui, A., Ruiz-Alvarez, O., Torres-Alavez, J. A., & Pavia, E. G. (2021). Analysis of cooling and heating degree days over Mexico in present and future climate. *Atmosphere*, 12(9), 1131.
- Countrysmeters. (2025). Dünya nüfusu. <https://countrysmeters.info/en/World> adresinden 22 Haziran 2025 tarihinde edinilmiştir.
- Day, T. (2006). *Degree-Days: Theory and Application* (Vol. 106). The Chartered Institution of Building Services Engineers.
- De Rosa, M., Bianco, V., Scarpa, F., & Tagliafico, L. A. (2014). Heating and cooling building energy demand evaluation: A simplified model and a modified degree-day approach. *Applied Energy*, 128, 217–229.
- De Rosa, M., Bianco, V., Scarpa, F., & Tagliafico, L. A. (2015). Historical trends and current state of heating and cooling degree-days in Italy. *Energy Conversion and Management*, 90, 323–335.
- Defraeye, T., Blocken, B., & Carmeliet, J. (2011). Convective heat transfer coefficients for exterior building surfaces: Existing correlations and CFD modelling. *Energy Conversion and Management*, 52(1), 512-522.
- Demircan, N., & Uçak, S. (2009). Türkiye'de enerji verimliliği ve tasarruf potansiyeli. III. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 3. Ankara.
- Ding, K., Calautit, J. K., & Jimenez-Bescos, C. (2024). Significance of external wind conditions on the convective heat transfer coefficients (CHTC) and energy performance in multi-zone high-rise buildings. *Energy and Buildings*, 320, 114570.
- Dombaycı, Ö. A., Gölcü, M., & Pancar, Y. (2006). Optimization of insulation thickness for external walls using different energy sources. *Applied Energy*, 83(9), 921–928.
- Dowling, P. (2013). The impact of climate change on the European energy system. *Energy Policy*, 60, 1–12.
- Durmaz, A., Kadioğlu, M., & Şen, Z. (2000). An application of the degree-hours method to estimate the residential heating energy requirement and fuel consumption in Istanbul. *Energy*, 25(12), 1245-1256.

- Economidou, M., Todeschi, V., Bertoldi, P., D'Agostino, D., Zangheri, P., & Castellazzi, L. (2020). Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings. *Energy and Buildings*, 225, 110322.
- Elkhafif, M. A. (1996). An iterative approach for weather-correcting energy consumption data. *Energy economics*, 18(3), 221-230.
- EMO. (2008). *Binalarda enerji performansı yönetmeliği* (27075). https://www.emo.org.tr/mevzuat/mevzuat_detay.php?kod=111 adresinden 22 Haziran 2025 tarihinde edinilmiştir.
- Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (2016, Nisan). *Aylık enerji istatistikleri raporu-4*. Enerji kimlik belgesi. (2025). EKB – Enerji kimlik belgesi. <https://www.enerjikimlikbelgesi.com/> adresinden 22 Haziran 2025 tarihinde edinilmiştir.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023, <https://enerji.gov.tr/enerji-isleri-genel-mudurlugu-denge-tablolari>
- Erdoğan, S., Yılmaz, M., Karagöz, Ş., Karşlı, S. (2012). Sürekli Hal Bina Enerji Analiz Yöntemleri. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*.
- Fan, J.-L., Hu, J.-W., & Zhang, X. (2019). Impacts of climate change on electricity demand in China: An empirical estimation based on panel data. *Energy*, 170, 880–888.
- Gaudard, L., Romerio, F., Dalla Valle, F., Gorret, R., Maran, S., Ravazzani, G., Stoffel, M., & Volonterio, M. (2014). Climate change impacts on hydropower in the Swiss and Italian Alps. *Science of the Total Environment*, 493, 1211–1221.
- Gelegenis, J. J. (2009). A simplified quadratic expression for the approximate estimation of heating degree-days to any base temperature. *Applied Energy*, 86(10), 1986-1994.
- Geliş, K., & Yeşildal, F. (2020). Klasik ve modern yapı elemanları kullanılması durumunda ısı iletim katsayısının değişimi ile minimum yalıtım kalınlığının tayini. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(4), 869–877.
- Genceli, O. F., & Parmaksızoğlu, C. (2017). *Kalorifer tesisatı*. TMMOB Makine Mühendisleri Odası. MMO Yayın No: 352.
- GN Yapı. (2017). *Termal kamera çekimi*. <https://www.gnyapi.com.tr/termal-kamera-cekimi> adresinden 22 Haziran 2025 tarihinde edinilmiştir.
- Guan, H., Beecham, S., Xu, H., & Ingleton, G. (2017). Incorporating residual temperature and specific humidity in predicting weather-dependent warm-season electricity consumption. *Environmental Research Letters*, 12(2), 024021.
- Gültekin, M. L. (1995). *Türkiye’de derece-günlerinin dağılımı*. (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir.

- Gültekin. M. L.. & Kadioğlu. M. (1997). Isıtma derece-günler ve Türkiye genelindeki dağılımı. *II. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*. İstanbul Teknik Üniversitesi. 171-179.
- Harvey. L. D. (2020). Using modified multiple heating-degree-day (IDG) and cooling-degree-day (SDG) indices to estimate building heating and cooling loads. *Energy and Buildings*. 229. 110475.
- Hao, Z., Zhang, X., Xie, J., Yin, K., & Liu, J. (2022). Balance point temperature and heating degree-days in different climate conditions for building energy efficiency applications. *Building and Environment*, 216, 109013.
- HKU. (2022). *Factors that influence energy consumption*. http://www3.hku.hk/mech/mscourses/MEBS6016/CIBSE-B8_Reducing.pdf adresinden 22 Haziran 2025 tarihinde edinilmiştir.
- Huang, Y. J., Ritschard, R., Bull, J., ve Chang, L. (1987). Climate indicators for estimating residential heating and cooling loads. ASHRAE Winter on Lerence, C New York, NY, January 18-21.
- IICEC. (2025). *Türkiye enerji verimliliği görünümü 2025*. https://iicec.sabanciuniv.edu/sites/iicec.sabanciuniv.edu/files/inlinefiles/IICEC_TEE0_25.pdf adresinden 22 Haziran 2025 tarihinde edinilmiştir.
- Incropera. F. P., DeWitt. D. P., Bergman. T. L., & Lavine. A. S. (2007). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (6th ed.). Wiley.
- Indraganti. M.. & Boussaa. M. (2017). A method to estimate the heating and cooling degree-days for different climate zones of Saudi Arabia. *Building Services Engineering Research and Technology*. 38(3). 327–350.
- International Energy Agency (IEA). (2019). *Multiple benefits of energy efficiency*. <https://www.iea.org/reports/multiple-benefits-of-energy-efficiency-2019> adresinden 22 Haziran 2025 tarihinde edinilmiştir.
- International Energy Agency (IEA). (2024a). *Energy efficiency*. <https://www.iea.org/energy-system/energy-efficiency-and-demand/energyefficiency> adresinden 22 Haziran 2025 tarihinde edinilmiştir.
- International Energy Agency (IEA). (2024b). *Energy efficiency progress tracker*. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-efficiencyprogress-tracker> adresinden 22 Haziran 2025 tarihinde edinilmiştir.
- International Energy Agency (IEA). (2024c). *Energy efficiency 2024*. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2024> adresinden 22 Haziran 2025 tarihinde edinilmiştir.

- International Energy Agency (IEA). (2024d). *From taking stock to taking action 2024*. <https://www.iea.org/reports/from-taking-stock-to-taking-action> adresinden 22 Haziran 2025 tarihinde edinilmiştir.
- International Energy Agency (IEA). (2025). *Energy statistics data browser*. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-databrowser> adresinden 22 Haziran 2025 tarihinde edinilmiştir.
- İçme, E. N. (2023). *Enerji verimliliği açısından bina enerji performansı gereklerinin analiz edilmesi*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- İZODER. (2017). *Isı, su, ses ve yangın yalıtımcıları derneği web sitesi*. <http://www.izoder.org.tr/sayfa/31/genel-bilgi-almak-istiyorum>
- Kadioğlu, M. (1993). İstanbul için ısıtma ve soğutma derece-gün hesaplamaları. *I. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*. İstanbul.
- Kadioğlu, M. (1994). İstanbul için ısıtma ve soğutma derece-gün hesaplamaları. *1994 Temiz Enerji Sempozyumu Bildirisi*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Kadioğlu, M., Şen, Z., & Demir, İ. (2001). Variations and trends in Turkish seasonal heating and cooling degree-days. *Climate Change*, 49, 209–223.
- Karagiannidis, A., Lagouvardos, K., Kotroni, V., & Galanaki, E. (2023). Analysis of current and future heating and cooling degree-days over Greece using observations and regional climate model simulations. *Environmental Sciences Proceedings*, 26(1), 149.
- Kashki, A., Karami, M., & Imanipour, H. (2022). Investigating the changes in cooling degree day requirements under climate change conditions in Southern Khorasan Province, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(7), 649.
- Kheiri, F. (2020). *An improved method for the estimation of the energy consumption and savings of code-compliant office buildings in different climates* (Doktora tezi). Texas A&M University.
- Kheiri, F., Haberl, J. S., & Baltazar, J. C. (2023). Split-degree day method: A novel degree day method for improving building energy performance estimation. *Energy and Buildings*, 289, 113034.
- Koç, E., & Kaya, K. (2015). Enerji kaynakları-yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47.
- Koç, E., & Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 54(639), 32-44.

- Koçlar Oral, G.. & Manioğlu, G. (2010, Nisan). Bina cephelerinde enerji etkinliği ve ısı yalıtımı. In 5. *Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu*. Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi. İzmir.
- Koçu, N.. & Dereli, M. (2010). Dış duvarlarda ısı yalıtımı ile enerji tasarrufu sağlanması ve detaylarda karşılaşılan sorunlar (Konya kentinden öneriler). In 5. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*. Dokuz Eylül Üniversitesi. İzmir.
- Kolokotroni, M.. Davies, M.. Croxford, B.. Bhuiyan, S.. & Mavrogianni, A. (2010). A validated methodology for the prediction of heating and cooling energy demand for buildings within the Urban Heat Island: Case-study of London. *Solar Energy*, 84(12), 2246-2255.
- Kon, O., & Yüksel, B. (2013). Kamu Binalarının Isıtma Yüküne Göre Dış Duvarlarının Optimum Yalıtım Kalınlıkları ve Enerji Tüketimleri. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(1), 30-47.
- Kotakis, K.. & Moustiris, K. (2023). Changes in cooling degree-day requirements for energy planning and adaptation policies. *Energy & Buildings*, 277, 112569.
- Krese, G., Lampret, Ž., Butala, V., & Prek, M. (2018). Determination of a Building's balance point temperature as an energy characteristic. *Energy*, 165, 1034-1049.
- Kurekci, N. A. (2016). Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey's provincial centers. *Energy and buildings*, 118, 197-213.
- Kyselý, J., & Huth, R. (2004). Heat-related mortality in the Czech Republic examined through synoptic and'traditional'approaches. *Climate research*, 25(3), 265-274.
- Lechner, N. (2015). *Heating. cooling. lighting: Sustainable design methods for architects*. John Wiley & Sons.
- Lee, K., Baek, H. J., & Cho, C. (2014). The estimation of base temperature for heating and cooling degree-days for South Korea. *Journal of applied meteorology and climatology*, 53(2), 300-309.
- Letherman, K. M.. & Al-Azawi, M. M. J. (1986). Predictions of the heating and cooling energy requirements in buildings using the degree-hours method. *Building and Environment*, 21(3-4), 171-176.
- Levermore, G. J., & Parkinson, J. B. (2017). An empirical model for the urban heat island intensity for a site in Manchester. *Building Services Engineering Research and Technology*, 38(1), 21-31.

- Levesque. A., Pietzcker. R. C., Baumstark. L., Simon. D. S., & Arnulf. G. (2018). How much energy will buildings consume in 2100? A global perspective within a scenario framework. *Energy Research & Social Science*. 41. 514–527.
- Levine. M., Ürge-Vorsatz. D., Blok. K., Geng. L., Harvey. D., Lang. S., Levermore. G., Mehlwana. A. M., Mirasgedis. S., Novikova. A., Rilling. J., & Yoshino. H. (2007). Residential and commercial buildings. In B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, & L. A. Meyer (Eds.). *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. xx-xx). Cambridge University Press.
- Li. D. H. W., Yang. L., & Lam. J. C. (2012). Impact of climate change on energy use in the built environment in different climate zones — A review. *Energy*. 42. 103–112.
- Lindelöf. D. (2017). Bayesian estimation of a building's base temperature for the calculation of heating degree-days. *Energy and Buildings*. 134. 154–161.
- Martinopoulos, G., Alexandru, A., & Papakostas, K. T. (2019). Mapping temperature variation and degree-days in metropolitan areas with publicly available sensors. *Urban Climate*, 28, 100464.
- Mastrucci. A., Min. J., Usubiaga-Liano. A., & Rao. N. D. (2020). A framework for modelling consumption-based energy demand and emission pathways. *Environmental Science & Technology*. 54. 1799–1807.
- Mather. J. R. (1974). *Climatology: Fundamentals and applications*. McGraw-Hill.
- Meng. Q., & Mourshed. M. (2017). Degree-day based non-domestic building energy analytics and modeling should use building and type specific base temperatures. *Energy and Buildings*. 155. 260–268.
- Meng, Q., Xi, Y., Zhang, X., Mourshed, M., & Hui, Y. (2021, August). Evaluating multiple parameters dependency of base temperature for heating degree-days in building energy prediction. In *Building Simulation* (Vol. 14, No. 4, pp. 969-985). Beijing: Tsinghua University Press.
- Meng. Q., Mourshed. M., & Hui. Y. (2021). Evaluating multiple parameters dependency of base temperature for heating degree-days in building energy prediction. *Building Simulation*. 14. 969–985.
- Mirsadeghi. M., Costola. D., Blocken. B., & Hensen. J. L. (2013). Review of external convective heat transfer coefficient models in building energy simulation programs: Implementation and uncertainty. *Applied thermal engineering*. 56(1-2). 134-151.

- Mistry. M. N. (2019). Historical global gridded degree-days: A high-spatial resolution database of SDG and IDG. *Geoscience Data Journal*. 6. 214–221.
- Morakinyo, T. E., Ren, C., Shi, Y., Lau, K. K. L., Tong, H. W., Choy, C. W., & Ng, E. (2019). Estimates of the impact of extreme heat events on cooling energy demand in Hong Kong. *Renewable energy*, 142, 73-84.
- Moran. H. (2018). *Farklı derece gün bölgelerine göre optimum yalıtım kalınlığının yatırım-tasarruf yöntemine göre hesaplanması ve çevresel etki analizi*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Moustris. K. P., Nastos. P. T., Bartzokas. A., Larissi. I. K., Zacharia. P. T., & Paliatsos. A. G. (2015). Energy consumption based on heating/cooling degree-days within the urban environment of Athens. Greece. *Theoretical and Applied Climatology*. 122. 517–529.
- Murat. Y. S., & Ceylan. H. (2006). Use of artificial neural networks for transport energy demand modeling. *Energy Policy*. 34(17). 3165-3172.
- Narin. M., & Akdemir. S. (2006). Enerji verimliliği ve Türkiye. *Türkiye Ekonomik Kurumu UEK-TEK 2006 Uluslararası Ekonomi Konferansı*. 2. Ankara.
- Nateghi, R., & Mukherjee, S. (2017). A multi-paradigm framework to assess the impacts of climate change on end-use energy demand. *PloS one*, 12(11), e0188033.
- Öz. M. E. (2006). *Bursa için konutlarda enerji tüketim karakteristiklerinin belirlenmesi ve bu konutlar için yakıt hücreleri ile alternatif enerji tüketim sistemlerinin karşılaştırılması*. (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Özel. M., & Pıhtılı. K. (2008). Isıtma ve soğutma derece-gün değerlerini kullanarak optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*. 26(3). 191-197.
- Özkan. D. B., & Onan. C. (2011). Optimization of insulation thickness for different glazing areas in buildings for various climatic regions in Turkey. *Applied Energy*. 88(4). 1331-1342.
- Öztuna. S., & Dereli. E. (2009). Edirne ilinde optimum duvar yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 10(2). 139-147.
- Öztürk. A. (2024). *Artvin ili için iklim ve enerji analizi*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Pamir. A. N. (2003). *Dünyada ve Türkiye’de enerji*. Türkiye’nin enerji kaynakları ve enerji politikaları. <http://metalurji.org.tr/dergi/dergi134/d134-73100.pdf> adresinden 22 Haziran 2025 tarihinde edinilmiştir.

- Pangsy-Kania. S., Bieganska. J., Flouros. F., Sokol. A., & Kania. A. (2024). Heating and cooling degree-days vs climate change in years 1979–2021: Evidence from the European Union and Norway. *Econ. Environ.* 88. 619.
- Papakostas. K. T. (1999). Technical note: Bin weather data of Athens. Greece. *Renewable Energy*. 17. 265-275.
- Papakostas, K., Mavromatis, T., & Kyriakis, N. (2010). Impact of the ambient temperature rise on the energy consumption for heating and cooling in residential buildings of Greece. *Renewable Energy*, 35(7), 1376-1379.
- Papakostas, K. T., Pavlou, S., & Papadopoulos, A. M. (2020). Ambient air temperature and degree-day data analysis of the period 2006–2017 for Cyprus. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 141(1), 435-445.
- Park. C., Fujimori. S., Hasegawa. T., Takakura. J., & Takahashi. K. (2018). Avoided economic impacts of energy demand changes by 1.5 and 2 °C climate stabilization. *Environmental Research Letters*. 13. 045010.
- Park. S., Shim. J., & Song. D. (2021). Issues in calculation of balance-point temperatures for heating degree-days for the development of building-energy policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 135. 110211.
- Parsons. R. (1997). ASHRAE Handbook fundamentals: Atlanta. American society of heating. Refrigeration. and Air Conditioning Engineers. Inc. 27-10.
- PETDER. (2023). PETDER üyesi olan ve olmayan şirketlere ait akaryakıt satışları verisi. *Petrol ve Sanayi Derneği*.
- Petri. Y., & Caldeira. K. (2015). Impacts of global warming on residential heating and cooling degree-days in the United States. *Scientific Reports*. 5. 12427.
- Pusat. Ş., Ekmekçi. İ., Dündar. A. C., Ermiş. K., & Şen. Y. (2014). *İstanbul için tipik meteorolojik yıl ve derece-saat hesabı*. II. Ulusal İklimlendirme Soğutma Eğitimi Sempozyumu ve Sergisinde sunulan bildiri. Balıkesir.
- Resmi Gazete. (2007). Enerji verimliliği kanunu (26510 Mükerrer).
- Roshan. G. R., Ghanghermeh. A. A., & Attia. S. (2017). Determining new threshold temperatures for cooling and heating degree-day index of different climatic zones of Iran. *Renewable Energy*. 101. 156–167.
- Salata. F., de Lieto Vollaro. A., de Lieto Vollaro. R., & Gugliermetti. F. (2022). Estimating building cooling energy demand through the cooling degree-hours in a changing climate: A modeling study. *Sustainable Cities and Society*. 76. 103518.

- Semmler, T., McGrath, R., Steele-Dunne, S., Hanafin, J., & Nolan, P. (2010). Influence of climate change on heating and cooling energy demand in Ireland. *International Journal of Climatology*, 30, 1502–1511.
- Sevinç, S. (2006). *Bursa’da binaların ısıtılmasında gerekli olan enerji ve yakıt miktarının derece gün yöntemiyle hesaplanması*. (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir.
- Sherman, M. (1986). Infiltration degree-days: a statistic for quantifying infiltration-related climate. *ASHRAE Trans.;*(United States), 92(CONF-8606125-).
- Shi, Y., Cui, L., Tian, Z., & Yu, Q. (2011). Impact of temperature change on heating and cooling energy consumption of residential buildings in East China. *Journal of Natural Resources*, 26, 460–467.
- Shi, Y., Wang, G., Gao, X., & Xu, Y. (2018). Effects of climate and potential policy changes on heating degree-days in current heating areas of China. *Scientific Reports*, 8, 10211.
- Shi, Y., Zhang, D. F., Xu, Y., & Zhou, B. T. (2018). Changes of heating and cooling degree-days over China in response to global warming of 1.5 °C, 2 °C, 3 °C and 4 °C. *Advances in Climate Change Research*, 9(3), 192–200.
- Shin, M., & Do, S. L. (2016). Prediction of cooling energy use in buildings using an enthalpy-based cooling degree days method in a hot and humid climate. *Energy and Buildings*, 110, 57-70.
- SKD Türkiye. (2022). *Enerji tüketiminde dönüşüm için BEV*. <https://www.skdturkiye.org/files/yayin/Enerji-Tuketiminde-Donusum-Icin-BEV.pdf> adresinden 22 Haziran 2025 tarihinde edinilmiştir.
- Soğukoğlu, M., & Vatan, M. (2014). Mevcut BA konut binalarında enerji verimliliğinin artırılması için mimari çözüm önerileri. *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 21, 13-22.
- Solar Energy Research Institute. (1988). *Engineering principles and concepts for active solar systems*. Taylor & Francis.
- Sonderregger, R. C. (1998). A baseline model for utility bill analysis using both weather and non-weather-related variables. *ASHRAE transactions*, 104, 859.
- Spinoni, J. V., Vogt, J. V., Barbosa, P., Dosio, A., McCormick, N., Bigano, A., & Füßel, H. M. (2015). European degree-day climatologies and trends for the period 1951–2011. *International Journal of Climatology*, 35(1).
- Spinoni, J., Vogt, J. V., Barbosa, P., Dosio, A., McCormick, N., Bigano, A., & Füßel, H. M. (2018). Changes of heating and cooling degree-days in Europe from 1981 to 2100. *International Journal of Climatology*, 38(51), e191–e208.

- Steinberg, D. C., Mignone, B. K., Macknick, J., Sun, Y., Eureka, K., Badger, A., Livneh, B., & Averyt, K. (2020). Decomposing supply-side and demand-side impacts of climate change on the US electricity system through 2050. *Climatic Change*, 158, 125–139.
- Sustainable Development Report. (2024). *Sustainable development goals index*. <https://dashboards.sdgindex.org/map>
- Şenkal Sezer, F. (2005). Türkiye’de ısı yalıtımının gelişimi ve konutlarda uygulanan dış duvar ısı yalıtım sistemleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10(2), 79–85.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2011). *İklim değişikliği ulusal eylem planı 2011-2023*. Ankara.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2015). *Isı yalıtım uygulama kılavuzu*. Ankara.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2023). Çevresel göstergeler çevresel etki değerlendirmesi. izin ve denetim genel müdürlüğü. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/cevresel-gostergeler-turkce-2023-20250102095312.pdf> adresinden 22 Haziran 2025 tarihinde edinilmiştir.
- T.C. Dışişleri Bakanlığı. (2023). Enerji verimliliği direktifi kabul edildi: “Enerji verimliliği öncelikli” temel ilkesine hukuki bir dayanak getirildi. https://www.ab.gov.tr/enerji2_53569.html adresinden 22 Haziran 2025 tarihinde edinilmiştir.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). *Ulusal enerji verimliliği eylem planı 2022 gelişim raporu*. <https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EVCED/tr/EnerjiVerimlili%C4%9Fi/UlusalEnerjiVerimlili%C4%9FiEylemPlan%C4%B1/Belgeler/UEVEP2022Gelisimi.pdf>
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023a). Ölçme ve değerlendirme. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-verimlili%C4%9Fi/olcme-degerlendirme>
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023b). Ulusal enerji denge tabloları (2000-2021). <https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari>
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). 2023 yılı ulusal enerji denge tabloları. <https://enerji.gov.tr/duyuru-detay?id=30488> adresinden 22 Haziran 2025 tarihinde edinilmiştir.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). Enerji verimliliği 2030 Stratejisi ve II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2024-2030). <https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/BHIM/tr/Duyurular/T%C3%BCrkiyeninEnerjiVerimlili%C4%9Fi>

[i%C4%9Fi2030Stratejisi ve II Ulusal Enerji Verimlili%C4%9Fi Eylem Plan%C4%B1_2024_01161407.pdf](https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Dunya-Nufus-Gunu-2021-37250) adresinden 22 Haziran 2025 tarihinde edinilmiştir.

- Taştan. S.. & Birol. Y. E. (2023). Türkiye'nin enerji arz güvenliğinin ölçülmesi ve öngörüsü. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 75. 194-206.
- Timur DİZ, Yeni TS 825 Standardının Getirdiği Yenilikler, İzoder Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği, *MMO TS 825 Bilgilendirme Toplantısı* 24.04.2025
- Tomrukcu, G., & Ashrafian, T. (2024). Climate-resilient building energy efficiency retrofit: Evaluating climate change impacts on residential buildings. *Energy and Buildings*, 316, 114315.
- Tuncer. T. (2012). *Konutlarda enerji verimliliği ve derece gün bölgelerine göre farklı malzemelerde optimum yalıtım kalınlığının tespiti* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2021). Dünya nüfus günü 2021. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Dunya-Nufus-Gunu-2021-37250>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2022). Dünya nüfus günü 2022. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Dunya-Nufus-Gunu-2022-45552>
- Verbai, Z., Lakatos, Á., & Kalmár, F. (2014). Prediction of energy demand for heating of residential buildings using variable degree day. *Energy*, 76, 780-787.
- Waite. M., Cohen. E., Torbey. H., Piccirilli. M., Tian. Y., & Modi. V. (2017). Global trends in urban electricity demands for cooling and heating. *Energy*. 127. 786–802.
- Woods, J., & Fuller, C. (2014). Estimating base temperatures in econometric models that include degree days. *Energy Economics*, 45, 166-171.
- Yaman. Ö., Şengül. Ö., Selçuk. H., Çalikuş. O., Kara. İ., Erdem. Ş., & Özgür. D. (2015). Binalarda ısı yalıtımı ve ısı yalıtım malzemeleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH)*. (487). 62–75.
- Yılmazoğlu. M. Z. (2011). Binalarda ısı yalıtımının örnek iki binada karşılaştırılması ve ekonomik analizleri. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*. (Ocak-Şubat). 48–56.
- You. Q. L., Fraedrich. K., Sielmann. F., Min. J. Z., Kan. S. C., Ji. Z. M., & others. (2014). Present and projected degree-days in China from observation, reanalysis and simulations. *Climate Dynamics*. 43. 1449–1462.