

**ESKİŞEHİR İKLİM KOŞULLARINDA OFİS  
BİNALARİ İÇİN ISITMA SOĞUTMA ENERĐİ  
PERFORMANSININ YAPI KABUĞUNDAKİ  
YÖNLENME, SAYDAMLİK ORANI VE CAM  
TÜRÜ AÇISINDAN İRDELENMESİ**

**Doktora Tezi**

**Hakan ÜNALAN**

**Eskişehir, 2016**

**ESKİŞEHİR İKLİM KOŞULLARINDA OFİS BİNALARI İÇİN ISITMA  
SOĞUTMA ENERĐİ PERFORMANSININ YAPI KABUĞUNDAKİ  
YÖNLENME, SAYDAMLİK ORANI VE CAM TÜRÜ AÇISINDAN  
İRDELENMESİ**

**Hakan ÜNALAN**

**DOKTORA TEZİ**

**Mimarlık Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Emrah GÖKALTUN**

**Eskişehir**

**Anadolu Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Temmuz, 2016**

*Bu tez çalışması BAP Komisyonunca kabul edilen 1210F158 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir.*

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Hakan ÜNALAN'ın "Eskişehir İklim Koşullarında Ofis Binaları İçin Isıtma Soğutma Enerji Performansının Yapı Kabuğundaki Yönlenme, Saydamlık Oranı ve Cam Türü Açısından İrdelenmesi" başlıklı tezi 28/07/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Mimarlık Anabilim dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Unvanı-Adı Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Doç Dr. Emrah GÖKALTUN

Üye : Prof. Dr. Türkan GÖKSAL ÖZBALTA

Üye : Doç Dr. Cüneyt KURTAY

Üye : Doç Dr. Osman TUTAL

Üye : Doç Dr. Aslı ÖZÇEVİK

Prof. Dr. Nedim DEĞİRMENCİ  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

# ESKİŞEHİR İKLİM KOŞULLARINDA OFİS BİNALARI İÇİN ISITMA SOĞUTMA ENERJİ PERFORMANSININ YAPI KABUĞUNDAKİ YÖNLENME, SAYDAMLIK ORANI VE CAM TÜRÜ AÇISINDAN İRDELENMESİ

Hakan ÜNALAN

Mimarlık Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Temmuz, 2016

Danışman: Doç. Dr. Emrah GÖKALTUN

Dünya toplam enerjisinin %21.5'i konutlarda ve %18.6'sı ticari yapılarda tüketildiği için sürdürülebilir çevre ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının korunumu çerçevesinde, binalarda enerji performansı ve yapı kabuğunu doğrudan etkileyen pasif tasarım kriterleri oldukça önemlidir.

Yapılan bu çalışmada ticari bina stoğu içinde yer alan ve enerjisinin %50'si ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma sistemlerinde tüketilen ofis binaları için; yönlenme, opaklık saydamlık oranları ve cam türleri gibi pasif tasarım parametrelerinin enerji verimliliğine etkisi araştırılmıştır. Seçilen örnek binanın (Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğu), bir yıllık iç ortam ve ısıtma enerjilerine ait ölçüm-hesaplama verileri eşitlenerek, enerji simülasyon programında “gerçekçi/kalibre model” elde edilmiştir. Gerçekçi modelde alternatif yönler ve opaklık saydamlık oranları tanımlanarak “referans enerji tüketimleri” hesaplanmıştır. Sonrasında da bu ‘gerçekçi modellere’ alternatif cam türleri tanımlanarak, “alternatif cam türlerine ait ısıtma ve soğutma enerji tüketimleri” hesaplanmış ve elde edilen bu tüketimler “referans enerji tüketimleriyle” karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak Eskişehir ilindeki yeni yapılacak ofis binaları için; yönlere ve opaklık saydamlık oranlarına dayalı optimum “toplam ısıtma-soğutma enerji tasarrufunu” sağlayan; “dış ve iç camın her ikisinde de ısı kontrolü sağlayan ısı geçirgenlik direnci yüksek low-e kaplamalı üçlü cam” ve “dış camında güneş kontrolü sağlayan gün ışığı geçirgenlik katsayısı düşük ve iç camında ısı kontrolü sağlayan ısı geçirgenlik direnci yüksek low-e kaplamalı üçlü cam” alternatiflerinin kullanılması önerilmiş ve bu cam türlerinin geri ödeme süreleri ortaya konularak “mimari tasarım karar destek mekanizması” oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler: Ofis Binaları Yapı Kabuğu, Enerji Simülasyon Modeli, Yönlenme, Opaklık Saydamlık Oranı, Cam türü**

## ABSTRACT

### **ANALYSYS OF THE HEATING AND COOLING ENERGY PERFORMANCE AT BUILDING ENVELOPE IN TERMS OF ORIENTATION, WINDOW WALL RATIO AND GLASS TYPE FOR OFFICE BUILDING IN ESKISEHIR CLIMATE CONDIDATION**

Hakan ÜNALAN

Architectural Program

Anadolu University, Graduate School of Science, July, 2016

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Emrah GÖKALTUN

Due to World's total energy consumed in 21.5% residential and 18.6% commercial building, in the framework of sustainable environment and non-renewable energy resource conservation, 'building energy performance' and 'passive design criteria', directly affecting building envelope, is important.

In this study the effect of passive design criteria, such as orientation, window wall ratio and glass type, on energy efficiency investigated for office buildings, located in commercial building stock and consumed 50% energy in HVAC and lighting systems. Calibrated model obtained with an annual measured and calculated data of indoor temperature and heating energy verified for selected sample building, Department of Industrial Engineering Academic and Administrative Staff Building block in Anadolu University. 'Reference energy consumption' calculated by defined alternative orientations and window wall ratios on calibrated model. After calculated 'heating and cooling energy consumption of alternative glass types' by defined alternative glass types on these models and these calculations compared with 'reference energy consumption'.

As a result of proposed 'in both the inner and outer panes that provide temperature control in high thermal conductivity resistance with low-e coated triple glass' and 'providing solar control in high solar heat gain coefficient with low-e coated on outer pane and temperature control in high thermal conductivity resistance with low-e coated on inner pane triple glass' to ensure optimum total heating-cooling energy consumption related with orientations and window wall ratios for new office building will be built in Eskişehir and "Architectural design decision support mechanism" created to put forward these glasses payback periods.

**Keywords: Office Building's Envelope, Energy Simulation Modeling, Orientation, WWR, Glass types**

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sürecinde her türlü desteği veren Danışman hocam Doç. Dr. Emrah GÖKALTUN'a, tez çalışmamı derinleştiren ve zenginleştiren Prof. Dr. Türkan GÖKSAL ÖZBALTA'ya, her defasında tez sınırlarımı dikkatle kontrol eden, tecrübe ve farklı bakış açılarıyla tezime yön veren Doç. Dr. Cüneyt KURTAY'a, tezimle ilgili her türlü problemime yorulmadan ve sıkılmadan cevap veren ve bilgilerini içtenlikle paylaşan Doç. Dr. Aslı ÖZÇEVİK'e, olumlu katkılarından dolayı Doç. Dr. Osman TUTAL'a içtenlikle ve minnettarlıkla sonsuz teşekkür ederim.

Enerji etkinliğiyle ilgili ilk konuşmamızda doğru yolda olduğumu hissettiren, çalışmalarını saygıyla ve titizlikle izlediğim Yard. Doç. Dr. Başak GÜÇYETER'e, tezimde zorlandığım bir noktayı sihirli bir dokunuşla düzelten ve manevi desteğini esirgemeyen Yard. Doç. Dr. Yusuf YILDIZ'a, ısı enerjisi ölçüm-kayıt sistemini kuran ve her türlü probleme net ve pratik çözüm üreten Fizik Müh. Erdem Aydın YILMAZ'a, Design Builder ile ilgili her türlü soruma cevap veren ve simülasyon programında uzmanlaşmama katkıda bulunan Mak. Müh. Serkan EMİN'e, EKB ile ilgili yardımlarından dolayı İnş Müh. Fırat ÜMMETOĞLU'na, Meteonorm programında takıldığım bir noktayı çözmemde yardımcı olan Mak. Müh. Eren ÜSTÜNBAŞ'a, kalibre modeli elde ederken istatistik konularında ve formüllerinde yardımcı olan Doç. Dr. Fatih ÇEMREK'e ve Yard. Doç. Dr. Özer ÖZAYDIN'a, geri ödeme süresi konusunda destek veren Doç. Dr. Vedat EKERGİL'e çok teşekkür ederim.

Doktora tez sürecimde beni canı gönülden destekleyen mesai arkadaşlarım Yard. Doç. Dr. Meltem ÖZTEN ANAY'a, Öğr. Gör. Çiğdem İSTEL'e, Öğr. Gör. Hesna TOPÇU'ya ve Mimar Sevinç DURDU'ya çok teşekkür ederim.

Hayatımın her sürecinde maddi, manevi, fiziksel ve duygusal olarak desteklemekten yorulmayan ve dualarıyla her zaman arkamda olduklarını hissettiren çok değerli annem Aynur ÜNALAN'a ve babam Özdemir ÜNALAN'a, herşeyimi paylaştığım, sevgisi kadar mesleki bilgilerini de paylaşan, canım kadar çok sevdiğim biricik sevgili eşim Y. Mak. Müh. Azize ÜNALAN'a, her yorulduğumda saf sevgileriyle beni manevi ve moral olarak yenileyen evlatlarım Nafi Berk ÜNALAN ve Mert ÜNALAN'a, dualarıyla destek olan tüm akrabalarım ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Temmuz 2016  
Hakan ÜNALAN

.../.../20...

## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

**Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.**

## İÇİNDEKİLER

|   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| BAŞLIK SAYFASI .....  | i            |
| JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI .....   | ii           |
| ÖZET .....  | iii          |
| ABSTRACT .....  | iv           |
| TEŞEKKÜR .....  | v            |
| ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ .....                                 | vi           |
| İÇİNDEKİLER .....   | vii          |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....  | xi           |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....   | xii          |
| SİMGELER DİZİNİ .....   | xx           |
| KISALTMALAR DİZİNİ .....  | xxi          |
| 1. GİRİŞ .....  | 1            |
| 1.1. Sorun / problemin tanımı .....   | 3            |
| 1.2. Amaç .....   | 5            |
| 1.3. Önem .....   | 5            |
| 1.4. Sınırlılıklar .....  | 6            |
| 1.5. Tanımlar .....   | 8            |
| 2. ALANYAZIN (LİTERATÜR TARAMASI) .....   | 12           |
| 2.1. Mevcut Binalarda İyileştirme Alanyazınları .....                             | 12           |
| 2.2. Yapı Kabuğuyla İlgili Alanyazınları .....                                    | 16           |
| 2.2.1. Duvarlar ilgili alanyazınlar .....   | 16           |
| 2.2.2. Cam türleriyle ilgili alanyazınlar .....                                   | 19           |
| 2.3. Opaklık Saydamlık Oranıyla İlgili Alanyazınlar .....                         | 26           |
| 2.4. Yönlenme ile İlgili Alanyazınlar .....                                       | 36           |
| 2.5. Günışığı ve Aydınlatmayla İlgili Alanyazınlar .....                          | 41           |
| 2.6. Farklı Coğrafi Konum ve İklim Değişiklikleriyle İlgili<br>Alanyazınlar ..... | 44           |
| 2.7. Enerji Tüketimi İle İlgili Diğer Alanyazınlar.....                           | 53           |
| 2.8. Alanyazın Değerlendirmesi.....   | 57           |
| 3. YÖNTEM .....   | 60           |
| 3.1. Çalışmanın Kavramsal Modeli .....  | 61           |



|   |    |
|---|----|
| 3.1.1. IPMVP ve M&V çerçevesinde enerji tüketim doğrulaması ve gerçekçi model elde edilmesi .....   | 62 |
| 3.1.1.1. Örnek binanın değerlendirilmesi.....   | 62 |
| 3.1.1.2. Örnek binanın modele tanımlanacak ölçümlerinin Yapılması .....   | 63 |
| 3.1.1.3. İç ortam sıcaklık ve enerji tüketimlerinin eşitlenmesi .....   | 63 |
| 3.1.2. Eskişehir'deki tasarım aşamasında ofis binaları için mimari tasarım destek mekanizmasının oluşturulması .....  | 65 |
| 3.1.2.1. Alternatif yön ve alternatif opaklık saydamlık oranlarına göre referans ısıtma-soğutma enerji tüketim değerlerinin hesaplanması .....  | 65 |
| 3.1.2.2. Alternatif cam türlerine göre alternatif ısıtma-soğutma enerji tüketim değerlerinin hesaplanması ..  | 65 |
| 3.1.2.3. Alternatif yönlere ve alternatif opaklık saydamlık oranlarına dayalı optimum enerji tüketimini sağlayan alternatif cam türlerinin ve bu cam türlerinin geri ödeme sürelerinin belirlenmesi ..... | 66 |
| 3.2. Çalışmanın Uygulama Yöntemi .....  | 66 |
| 3.2.1. Örnek binanın mevcut durumu .....  | 66 |
| 3.2.1.1. Örnek binanın özellikleri .....  | 66 |
| 3.2.1.2. Örnek binanın yapı kabuğu elemanları ve katmanları .....   | 69 |
| 3.2.1.2.1. Yapı kabuğu dış duvarları .....  | 70 |
| 3.2.1.2.2. Yapı kabuğu döşemeleri .....   | 72 |
| 3.2.1.2.3. Yapı kabuğu pencereleri .....  | 74 |
| 3.2.1.3. Örnek binanın ısıtma sistemi .....   | 75 |
| 3.2.2. Örnek binadan veri toplanması .....  | 77 |
| 3.2.2.1. Hava sıcaklığı ve bağıl nem kaydedilmesi .....   | 78 |
| 3.2.2.2. Isıtma enerjisinin ölçülmesi ve kaydedilmesi .....   | 80 |
| 3.2.2.3. İklim verilerinin temin edilmesi .....   | 82 |
| 3.2.3. Örnek binanın enerji tüketim doğrulaması yapılarak gerçekçi modelinin elde edilmesi .....  | 82 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.2.3.1. Binalarda enerji simülasyon programının özellikleri .....  | 83  |
| 3.2.3.2. Örnek binanın enerji simülasyon programında aslına uygun modellenmesi .....  | 83  |
| 3.2.3.3. İklim verilerinin oluşturulması ve enerji simülasyon modeline tanımlanması.....  | 86  |
| 3.2.3.4. Ölçülen ve hesaplanan verilerin eşitlenmesi .....  | 88  |
| 3.2.3.4.1. Ölçülen ve hesaplanan iç ortam sıcaklık verilerinin eşitlenmesi .....  | 89  |
| 3.2.3.4.2. Ölçülen ve hesaplanan ısıtma enerjisi tüketim verilerinin eşitlenmesi .....  | 97  |
| 3.3. Optimum Enerji Tüketimini Sağlayan Alternatiflerin Belirlenmesi İçin Alternatif Senaryoların Uygulanması .....   | 97  |
| 3.3.1. Gerçekçi modele uygulanan alternatif yön ve opaklık saydamlık oranlarına göre ısıtma-soğutma enerji tüketimlerinin hesaplanması .....                      | 98  |
| 3.3.2. Alternatif yön ve opaklık saydamlık oranlarına uygulanan alternatif cam türlerinin ısıtma-soğutma enerji tüketim değerlerinin hesaplanması .....           | 104 |
| 4. BULGULAR VE YORUMLAR .....   | 107 |
| 4.1. Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel Bloğunda Ölçülen İç Ortam Sıcaklıklarının Değerlendirmesi .....                 | 107 |
| 4.2. Örnek Binanın BEP-TR ve TS 825 Yönetmeliklerine Göre Enerji Tüketim Hesaplamaları ve Ölçülen Verilerle Karşılaştırılmaları.....                              | 118 |
| 4.3. Gerçekçi Modele Uygulanan Alternatif Yön ve Opaklık Saydamlık Oranlarına Göre Hesaplanan Referans Isıtma-Soğutma Enerji Tüketimlerinin Analiz Edilmesi ..... | 119 |
| 4.4. Alternatif Yönlere ve Opaklık Saydamlık Oranlarına Uygulanan Alternatif Cam Türlerinin Hesaplanan Isıtma-Soğutma Enerji Tüketimlerinin Analiz Edilmesi.....  | 128 |
| 4.5. Alternatif Yönlere ve Opaklık Saydamlık Oranlarına Dayalı Cam Türlerinin Enerji Tasarruf Oranları .....  | 152 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.6. Alternatif Yönlere, Opaklık Saydamlık Oranlara ve Cam Türlerine<br>Göre Geri Ödeme Sürelerinin Belirlenmesi .....  | 177 |
| 5. SONUÇ .....  | 184 |
| KAYNAKÇA .....  | 190 |
| EK-1 Ölçülen ve Hesaplanan iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....   | 200 |
| EK-2 Örnek binanın Enerji Kimlik Belgesi ve BEP-TR Raporları .....  | 236 |
| EK-3 TS 825 Binalarda ısı Yalıtım Kuralları Yönetmeliği'ne göre yıllık ısıtma<br>enerji tüketimi değerleri .....  | 258 |
| EK-4 Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Akademik ve İdari<br>Personel Bloğunun Alternatif Yönlere ve Opaklık Saydamlık Oranlarına Göre<br>Hesaplanan Yıllık Isıtma Ve Soğutma Enerji Tüketimleri..... | 263 |
| EK-5 Örnek Bina Gerçekçi Modelindeki Alternatif Yön ve Opaklık Saydamlık<br>Oranlarına Göre Alternatif Cam Türlerinin Isıtma-Soğutma Enerji Tasarruf<br>Miktarları ve Maliyetleri .....                       | 265 |
| ÖZGEÇMİŞ .....  | 273 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

|               |   |          |
|---------------|---|----------|
| Çizelge 2.1.  | Optimum yapı kabuğu şartlarını sağlayan; yön, opaklık saydamlık oranı, duvar ve doğrama alternatifleri (İstanbul iklimi için) .....   | 17       |
| Çizelge 3.1.  | Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğu özellikleri .....  | 69       |
| Çizelge 3.2.  | Zemin kat duvarlarının malzemeleri, kalınlıkları ve ısı geçirgenlik katsayısı .....   | 70       |
| Çizelge 3.3.  | Birinci kat dış duvarlarının malzemeleri, kalınlıkları ve ısı geçirgenlik katsayısı .....   | 71       |
| Çizelge 3.4.  | Betonarme duvarları oluşturan yapı malzemeleri, kalınlıkları ve ısı geçirgenlik katsayısı .....   | 72       |
| Çizelge 3.5.  | Zemine oturan döşemeyi oluşturan yapı malzemeleri, kalınlıkları ve ısı geçirgenlik katsayısı .....  | 72       |
| Çizelge 3.6.  | Kat arası döşemeyi oluşturan yapı malzemeleri, kalınlıkları ve ısı geçirgenlik katsayısı .....  | 73       |
| Çizelge 3.7.  | Konsol döşemeyi oluşturan yapı malzemeleri, kalınlıkları ve ısı geçirgenlik katsayısı .....   | 74       |
| Çizelge 3.8.  | Çatı döşemesini oluşturan yapı malzemeleri, kalınlıkları ve ısı geçirgenlik katsayısı .....   | 74       |
| Çizelge 3.9.  | Pencereleri oluşturan yapı malzemeleri ve kalınlıkları .....  | 75       |
| Çizelge 3.10. | Isı merkezindeki kazanların karakteristik özellikleri.....  | 76       |
| Çizelge 3.11. | Örnek binanın 2013 -2014 yılı ısıtma dönemine ait aylık kayıpsız toplam ısıtma enerjileri (kW) .....  | 82       |
| Çizelge 3.12. | Eskişehir ili için TUMAS'dan temin edilen iklim verileri .....  | 86       |
| Çizelge 3.13. | Uluslararası Ölçüm, Doğrulama ve Enerji İhtiyacı Standartları ve Protokollerinin 'enerji tüketim doğrulaması sınır' değerleri .....   | 89       |
| Çizelge 3.14. | Örnek binayı temsil ettiği kabul edilen ofislerin; ölçülen ve hesaplanan iç ortam sıcaklık sınır değerleri (8760 saatlik).....  | 90       |
| Çizelge 3.15. | Modelde kullanılan cam türlerinin özellikleri .....   | 106      |
| Çizelge 5.1.  | Eskişehir ilindeki ofis binaları için alternatif yönler ve saydamlık oranlarında düz cama göre alternatif cam türlerinin enerji tasarruf oranları ve geri ödeme süreleri..... | 188, 189 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Şekil 1.1.  | Dünya yıllık enerji tüketim artışı (mtoe/milyon ton eşdeğer petrol) .....   | 1  |
| Şekil 1.2.  | Dünya enerji tüketim oranlarının sektörel bazda dağılımı .....  | 2  |
| Şekil 1.3.  | Ofis binalarında enerji tüketim alanları ve oranları .....  | 3  |
| Şekil 1.4.  | Eksen doğrultusunda bina boyutları değişimlerine göre bina en/boy oranının değişimi.....                                    | 11 |
| Şekil 2.1.  | Duvar kuruluş alternatifleri .....  | 16 |
| Şekil 2.2.  | Cam türü, gölgeleme elemanları ve opaklık saydamlık oran alternatifleri .....   | 21 |
| Şekil 2.3.  | Güney yönünde opaklık saydamlık ve enerji tasarruf oranlarına göre cam türleri .....  | 25 |
| Şekil 2.4.  | Pencerelerin alternatif yükseklik ve genişlikleri .....   | 27 |
| Şekil 2.5.  | Milan şehri için yönlere ve cam türlerine dayalı ısıtma dönemindeki ısıtma-soğutma enerji tüketimleri .....                 | 29 |
| Şekil 2.6.  | Yönlere ve enerji tüketimlerine göre 20cm-30cm ısı yalıtım alternatiflerinin enerji tüketimleri (kWh/m <sup>2</sup> ) ..... | 35 |
| Şekil 2.7.  | Alternatif opaklık saydamlık oranı ve bina en-boy oranlarına göre dört farklı iklim bölgesindeki enerji tüketimleri .....   | 48 |
| Şekil 2.8.  | Alternatif cam türlerine göre farklı bina en-boy oranlarının dört farklı iklim bölgesindeki enerji tüketimleri .....        | 48 |
| Şekil 2.9.  | Simülasyon modeli en boy alternatifleri .....   | 51 |
| Şekil 2.10. | Şehirlere göre ısıtma enerjisi tüketim hesaplamaları .....  | 51 |
| Şekil 2.11. | Şehirlere göre soğutma enerjisi tüketim hesaplamaları.....  | 52 |
| Şekil 2.12. | Şehirlere göre toplam enerji tüketim hesaplamaları .....  | 52 |
| Şekil 3.1.  | Gerçekçi modelde enerji tüketim doğrulama süreci .....  | 64 |
| Şekil 3.2.  | Gerçekçi modelde kullanılan alternatif opaklık saydamlık oranları ve yönler .....   | 65 |
| Şekil 3.3.  | Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğu (örnek bina) .....                       | 67 |
| Şekil 3.4.  | Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğu zemin kat planı .....                    | 68 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 3.5. Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğu birinci kat planı .....                                      | 68 |
| Şekil 3.6. Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğu kesit ve görünüşü .....                                      | 69 |
| Şekil 3.7. Zemin kat duvarlarını oluşturan yapı malzemeleri .....  | 70 |
| Şekil 3.8. Birinci kat dış duvarlarını oluşturan yapı malzemeleri .....  | 71 |
| Şekil 3.9. Betonarme duvarları oluşturan yapı malzemeleri .....  | 71 |
| Şekil 3.10. Zemine oturan döşemeleri oluşturan yapı malzemeleri .....  | 72 |
| Şekil 3.11. Kat arası döşemeleri oluşturan yapı malzemeleri .....  | 73 |
| Şekil 3.12. Konsol döşemeleri oluşturan yapı malzemeleri.....  | 73 |
| Şekil 3.13. Çatı döşemesini oluşturan yapı malzemeleri ve kalınlıkları.....  | 74 |
| Şekil 3.14. Mühendislik Fakültesi bloklarına ait ısı merkezi.....  | 75 |
| Şekil 3.15. Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsü'nde yer alan ısı merkezindeki kazanlar.....   | 76 |
| Şekil 3.16. Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsü'nde yer alan ısı merkezindeki sirkülasyon pompaları .....   | 77 |
| Şekil 3.17. Örnek binanın zemin katında sensörlerin yerleştirildiği ofisler .....  | 79 |
| Şekil 3.18. Örnek binanın I. katında sensörlerin yerleştirildiği ofisler.....  | 79 |
| Şekil 3.19. Örnek bina ofislerine yerleştirilen sensörler.....   | 80 |
| Şekil 3.20. Örnek bina ısıtma sistemine uygulanan ısıtma enerjisi ölçüm ve veri kayıt sistemi .....  | 81 |
| Şekil 3.21. Örnek binanın kayıpsız (ısı akışkandan ölçülen) ısıtma enerjisi grafiği ..   | 82 |
| Şekil 3.22. Örnek binanın Design Builder simülasyon modeli .....   | 84 |
| Şekil 3.23. Örnek binanın zemin katının Design Builder simülasyon modeli.....  | 85 |
| Şekil 3.24. Örnek binanın I. katının Design Builder simülasyon modeli .....  | 85 |
| Şekil 3.25. Meteororm programında Eskişehir ili için otomatik olarak hesaplanan günlük global güneş ışınım şiddeti grafiği (kWh/m <sup>2</sup> ).....      | 87 |
| Şekil 3.26. Meteororm programında Eskişehir ili otomatik olarak hesaplanan aylık yayılı ve global güneş ışınım şiddeti grafiği (kWh/m <sup>2</sup> ) ..... | 88 |
| Şekil 3.27. Z01 ofisinin ısıtma döneminde (28 Kasım) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....                               | 91 |
| Şekil 3.28. Z04 ofisinin ısıtma döneminde (28 Kasım) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....                               | 91 |

|   |     |
|---|-----|
| Şekil 3.29. Z10 ofisinin ısıtma döneminde (28 Kasım) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....                          | 92  |
| Şekil 3.30. I01 ofisinin ısıtma döneminde (28 Kasım) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....                          | 92  |
| Şekil 3.31. I05 ofisinin ısıtma döneminde (28 Kasım) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....                          | 93  |
| Şekil 3.32. I09 ofisinin ısıtma döneminde (28 Kasım) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....                          | 93  |
| Şekil 3.33. Z01 ofisinin soğutma döneminde (22 Ağustos) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....                       | 94  |
| Şekil 3.34. Z04 ofisinin soğutma döneminde (22 Ağustos) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....                       | 94  |
| Şekil 3.35. Z10 ofisinin soğutma döneminde (22 Ağustos) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....                       | 95  |
| Şekil 3.36. I01 ofisinin soğutma döneminde (22 Ağustos) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....                       | 95  |
| Şekil 3.37. I05 ofisinin soğutma döneminde (22 Ağustos) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....                       | 96  |
| Şekil 3.38. I09 ofisinin soğutma döneminde (22 Ağustos) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....                       | 96  |
| Şekil 3.39. Örnek binanın hesaplanan ve ölçülen aylık ısıtma enerjileri (kW/yıl) .....  | 97  |
| Şekil 3.40. Örnek binanın alternatif opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif yönlerin yıllık ısıtma enerji tüketimi (kW/yıl).....                | 99  |
| Şekil 3.41. Örnek binanın alternatif yönlere göre alternatif opaklık saydamlık oranlarının yıllık ısıtma enerji tüketimi (kW/yıl).....                | 100 |
| Şekil 3.42. Örnek binanın alternatif opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif yönlerin yıllık soğutma enerji tüketimi (kW/yıl) .....              | 101 |
| Şekil 3.43. Örnek binanın alternatif yönlere göre alternatif opaklık saydamlık oranlarının yıllık soğutma enerji tüketimi (kW/yıl) .....              | 102 |
| Şekil 3.44. Örnek binanın alternatif opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif yönlerin yıllık toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimi (kW/yıl)..... | 103 |
| Şekil 3.45. Örnek binanın alternatif yönlere göre alternatif opaklık saydamlık oranlarının yıllık toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimi (kW/yıl)..... | 104 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Şekil 4.1.  | Z01 ofisinin ısıtma dönemindeki (28 Kasım) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....     | 108 |
| Şekil 4.2.  | Z04 ofisinin ısıtma dönemindeki (28 Kasım) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....     | 108 |
| Şekil 4.3.  | Z10 ofisinin ısıtma dönemindeki (28 Kasım) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....     | 109 |
| Şekil 4.4.  | I01 ofisinin ısıtma dönemindeki (28 Kasım) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....     | 109 |
| Şekil 4.5.  | I05 ofisinin ısıtma dönemindeki (28 Kasım) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....     | 110 |
| Şekil 4.6.  | I09 ofisinin ısıtma dönemindeki (28 Kasım) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....     | 110 |
| Şekil 4.7.  | Z01 ofisinin soğutma dönemindeki (22 Ağustos) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....  | 112 |
| Şekil 4.8.  | Z04 ofisinin soğutma dönemindeki (22 Ağustos) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....  | 112 |
| Şekil 4.9.  | Z10 ofisinin soğutma dönemindeki (22 Ağustos) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....  | 113 |
| Şekil 4.10. | I01 ofisinin soğutma dönemindeki (22 Ağustos) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....  | 113 |
| Şekil 4.11. | I05 ofisinin soğutma dönemindeki (22 Ağustos) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....  | 114 |
| Şekil 4.12. | I09 ofisinin soğutma dönemindeki (22 Ağustos) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....  | 114 |
| Şekil 4.13. | Z01 ve I01 ofislerinin ısıtma dönemindeki (28 Kasım) saatlik iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....    | 115 |
| Şekil 4.14. | Z04 ve I05 ofislerinin ısıtma dönemindeki (28 Kasım) saatlik iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....    | 116 |
| Şekil 4.15. | Z10 ve I09 ofislerinin ısıtma dönemindeki (28 Kasım) saatlik iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....    | 116 |
| Şekil 4.16. | Z01 ve I01 ofislerinin soğutma dönemindeki (22 Ağustos) saatlik iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri ..... | 117 |



|  |     |
|--|-----|
| Şekil 4.17. Z04 ve I05 ofislerinin soğutma dönemindeki (22 Ağustos) saatlik iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....                               | 117 |
| Şekil 4.18. Z10 ve I09 ofislerinin soğutma dönemindeki (28 Kasım) saatlik iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri .....                                 | 118 |
| Şekil 4.19. Örnek binanın kuzey, kuzeydoğu, doğu ve güneydoğu yönlerine göre yıllık ısıtma enerjisi (kWh/yıl) tüketimi .....                       | 120 |
| Şekil 4.20. Örnek binanın güney, güneybatı, batı ve kuzeybatı yönlerine göre yıllık ısıtma enerjisi (kWh/yıl) tüketimi .....                       | 121 |
| Şekil 4.21. Örnek binanın kuzey, kuzeydoğu, doğu ve güneydoğu yönlerine göre yıllık soğutma enerji tüketimi .....                                  | 123 |
| Şekil 4.22. Örnek binanın güney, güneybatı, batı ve kuzeybatı yönlerine göre yıllık soğutma enerji tüketimi .....                                  | 124 |
| Şekil 4.23. Örnek binanın kuzey, kuzeydoğu, doğu ve güneydoğu yönlerine göre yıllık toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimi .....                    | 126 |
| Şekil 4.24. Örnek binanın güney, güneybatı, batı ve kuzeybatı yönlerine göre yıllık toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimi .....                    | 127 |
| Şekil 4.25. Örnek binanın kuzey yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri .....    | 129 |
| Şekil 4.26. Örnek binanın kuzey yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri .....    | 130 |
| Şekil 4.27. Örnek binanın kuzeydoğu yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri. 132 |     |
| Şekil 4.28. Örnek binanın kuzeydoğu yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri. 133 |     |
| Şekil 4.29. Örnek binanın doğu yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri .....     | 135 |
| Şekil 4.30. Örnek binanın doğu yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri .....     | 136 |
| Şekil 4.31. Örnek binanın güneydoğu yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri. 138 |     |
| Şekil 4.32. Örnek binanın güneydoğu yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri. 139 |     |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 4.33. Örnek binanın güney yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri .....                      | 141 |
| Şekil 4.34. Örnek binanın güney yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri .....                      | 142 |
| Şekil 4.35. Örnek binanın güneybatı yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri.                       | 144 |
| Şekil 4.36. Örnek binanın güneybatı yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri.                       | 145 |
| Şekil 4.37. Örnek binanın batı yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri .....                       | 147 |
| Şekil 4.38. Örnek binanın batı yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri .....                       | 148 |
| Şekil 4.39. Örnek binanın kuzeybatı yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri.                       | 150 |
| Şekil 4.40. Örnek binanın kuzeybatı yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri.                       | 151 |
| Şekil 4.41. Örnek binanın kuzey yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları .....     | 153 |
| Şekil 4.42. Örnek binanın kuzey yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları .....     | 154 |
| Şekil 4.43. Örnek binanın kuzeydoğu yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları ..... | 156 |
| Şekil 4.44. Örnek binanın kuzeydoğu yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları ..... | 157 |
| Şekil 4.45. Örnek binanın doğu yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları .....      | 159 |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 4.46. Örnek binanın doğu yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları .....      | 160 |
| Şekil 4.47. Örnek binanın güneydoğu yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları ..... | 162 |
| Şekil 4.48. Örnek binanın güneydoğu yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları ..... | 163 |
| Şekil 4.49. Örnek binanın güney yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları .....     | 165 |
| Şekil 4.50. Örnek binanın güney yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları .....     | 166 |
| Şekil 4.51. Örnek binanın güneybatı yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları ..... | 168 |
| Şekil 4.52. Örnek binanın güneybatı yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları ..... | 169 |
| Şekil 4.53. Örnek binanın batı yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları .....      | 171 |
| Şekil 4.54. Örnek binanın batı yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları .....      | 172 |
| Şekil 4.55. Örnek binanın kuzeybatı yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları ..... | 174 |
| Şekil 4.56. Örnek binanın kuzeybatı yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları ..... | 175 |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 4.57. Kuzey yönünde alternatif opaklık saydamlık oranları ve cam türlerinin geri ödeme süreleri.....     | 179 |
| Şekil 4.58. Kuzeydoğu yönünde alternatif opaklık saydamlık oranları ve cam türlerinin geri ödeme süreleri..... | 180 |
| Şekil 4.59. Doğu yönünde alternatif opaklık saydamlık oranları ve cam türlerinin geri ödeme süreleri.....      | 180 |
| Şekil 4.60. Güneydoğu yönünde alternatif opaklık saydamlık oranları ve cam türlerinin geri ödeme süreleri..... | 181 |
| Şekil 4.61. Güney yönünde alternatif opaklık saydamlık oranları ve cam türlerinin geri ödeme süreleri.....     | 181 |
| Şekil 4.62. Güneybatı yönünde alternatif opaklık saydamlık oranları ve cam türlerinin geri ödeme süreleri..... | 182 |
| Şekil 4.63. Batı yönünde alternatif opaklık saydamlık oranları ve cam türlerinin geri ödeme süreleri.....      | 182 |
| Şekil 4.64. Kuzeybatı yönünde alternatif opaklık saydamlık oranları ve cam türlerinin geri ödeme süreleri..... | 183 |

## SİMGELER DİZİNİ

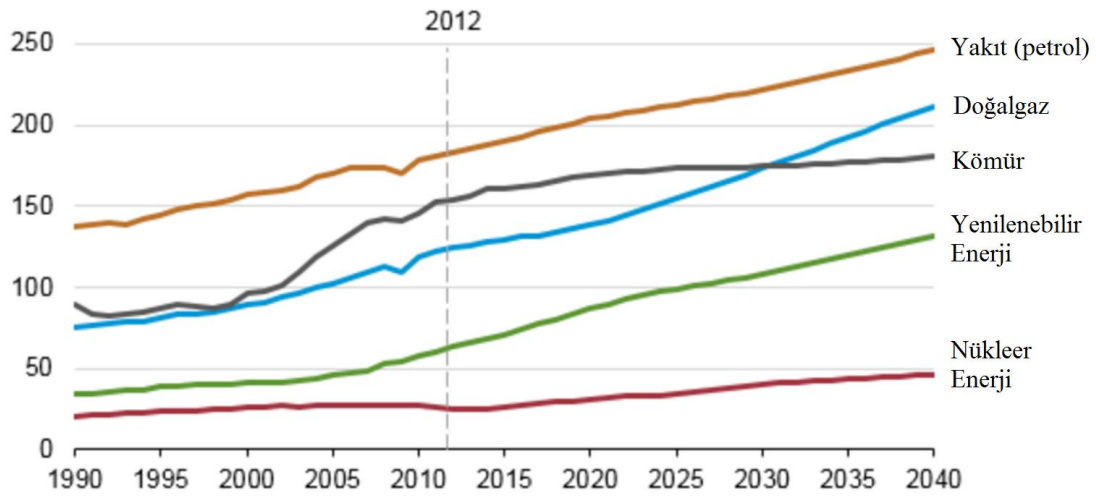
- $Q_{ısıtma}$  : İklimlendirme sisteminde 1 dakikada tüketilen ısı enerjisi
- M : İklimlendirme sisteminde 1 dakikada debimetreden geçen ısı akışkan miktarı
- C : Öz ısı
- $\Delta t$  : Isıtma sistemindeki ısı akışkanın gidiş-dönüş borularındaki sıcaklık farkı
- m : Ölçüm yapılan ay
- dm : Ölçüm yapılan ayın günü
- h : Ölçüm yapılan ayın gününün saati
- Ta : Sıcaklık (°C)
- Td : Çiğ Sıcaklığı (°C)
- % : Bağıl nem (RH)
- p : Atmosfer basıncı (bar)
- ff : Rüzgar hızı (m/s)
- DD : Rüzgar yönü (°)
- R : Belirtme katsayısı
- CV : Belirsizlik katsayısı (Coefficient of Variation)
- RMSE : Belirsizlik katsayısı (Root Mean Square Error)
- $y_{pred,i}$  : Hesaplanan verinin ölçülen veriye karşılık geldiği değer
- $y_{data,i}$  : Ölçülen verinin hesaplanan veriye karşılık geldiği değer
- $y_{data}$  : Ölçülen verilerin ortalama değeri
- n : Değerlendirmeye alınan veri sayısı
- p : Model içinde kullanılan regresyon sayısı
- NBD : Net Bugünkü Değer
- R : Toplam yıllık tasarruf (TL)
- f : Faiz oranı (%),
- YM : Yatırım Maliyetidir (TL)

## KISALTMALAR DİZİNİ

|        |  |
|--------|--|
| EIA    | : Enerji Bilgi Dairesi   |
| EPBD   | : Avrupa Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği                      |
| TS 825 | : Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı                            |
| HVAC   | : Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Sistemi                             |
| BEP-TR | : Türkiye Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği                     |
| ASHREA | : Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendislik Derneği        |
| IPMVP  | : Uluslararası Performans Ölçüm ve Doğrulama Protokolü ve Standartları |
| CRES   | : Yenilenebilir Enerji Kaynakları Merkezi                              |
| M&V    | : Ölçme ve Doğrulama Yönetmeliği                                       |
| EPS    | : Genleştirilmiş Polistren Sert Köpük                                  |
| MBE    | : Ortalama Hata Oranı  |
| RMSE   | : Ortalama Karekök Hata Oranı  |
| SHGC   | : Güneş Işınımı Kazanç Katsayısı, Güneş Enerjisi Geçirgenliği          |
| ST     | : Gün Işığı Geçirgenliği   |
| TUMAS  | : Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv ve Yönetim Sistemi                   |
| EKB    | : Enerji Kimlik Belgesi  |
| TOKİ   | : Toplu Konut İdaresi Başkanlığı                                       |
| ANN    | : Yapay Sinir Ağı (Artificial Neural Network)                          |
| CAV    | : Sabit debili iklimlendirme sistemi (Constant Air Volume)             |
| VAV    | : Değişken debili iklimlendirme sistemi (Variable Air Volume)          |
| AHU    | : Klima santrali (Air Handling Unit)                                   |
| ECM    | : Enerji tüketim önlemleri (Energy Conservation Measures)              |

## 1. GİRİŞ

Geçtiğimiz yarım yüzyılda gerçekleşen enerji krizlerinden ve yıldan yıla giderek artan enerji tüketiminden dolayı [1] (Şekil 1.1) doğal dengenin bozulması ve çevre kirliliğinin önüne geçmek için sürdürülebilir kalkınma stratejilerinin temelleri atılmıştır. Bu dönemde, 1972 Uluslararası Stockholm Konferansı ve Raporu, 1987 Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu Brundlant Raporu ve 1992 Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı Rio Zirvesi yapılmıştır. Yapılan konferanslar ve hazırlanan raporlar sonucunda fosil yakıtların tükenebilirliği anlaşılmış ve çevresel kirliliğin önüne geçilmek istenmiştir. Bu amaçla ‘sürdürülebilirlik’, ‘ekoloji’ ve ‘enerjinin etkinliği’ gibi kavramlar oluşturularak; ‘sürdürülebilir kalkınma’ kavramına yön veren ilkelerin evrensel boyutta olmasına karşın, bunların uygulanmasını sağlayacak politikaların farklı ölçeklerde gerçekleşmesi sağlanmaya çalışılmıştır [2]. Bu politikaların öncelikli başlıkları içinde enerji konusunun mimari kavramla da bütünleşik olarak ele alınması yer almıştır.

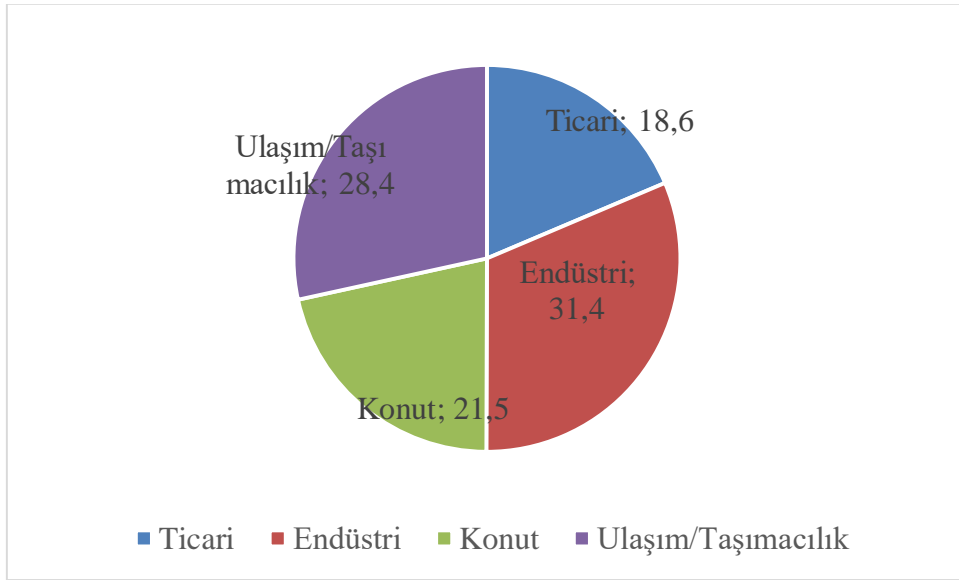


Şekil 1.1. Dünya yıllık enerji tüketim artışı (mtoe/milyon ton eşdeğer petrol)

Kaynak: [1]

Oluşturulan politikalar sayesinde ‘binalarda enerji performans yönetmelikleri’ geliştirilerek enerji etkinliğiyle ilgili standartlar oluşturulmuştur. Söz konusu yönetmelikler ‘binalarda enerji performans sertifikalandırma’ için sınır/referans değerler ve ölçütler belirlemiştir (Avrupa Birliğinde EPBD 2010/31/EU ve ülkemizde TS 825 ile BEP-TR).

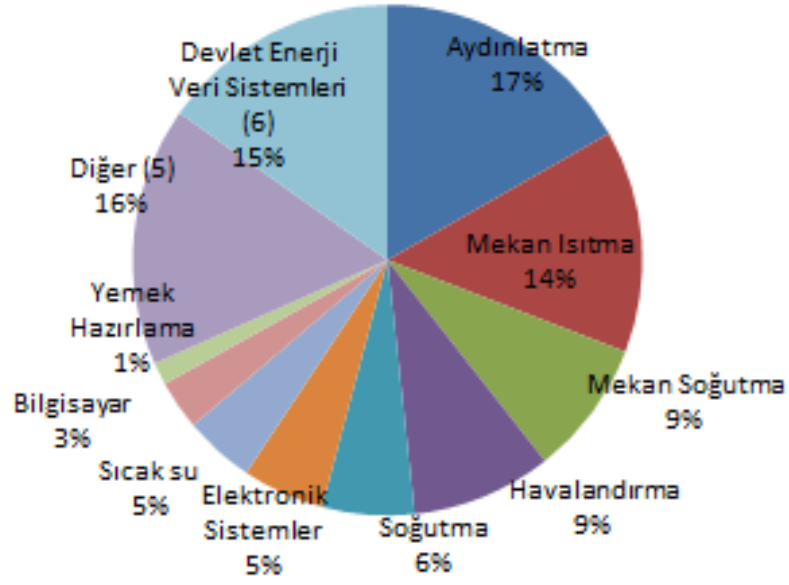
Uluslararası kapsamda değerlendirme yapıldığında sektörel bazda binalarda tüketilen enerji; konut için % 21.5 ve ticari binalar için %18.6 olduğu (Şekil 1.2) [3] ve ofislerdeki enerji tüketim dağılımına bakıldığında ısıtma-soğutma ve aydınlatma enerjisinin %50.7'lik paya sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 1.3) [4]. ‘CO<sub>2</sub> salımı’ ve ‘sürdürülebilir doğal çevre kirliliği’ sorunlarının azaltılması için yenilenebilir enerji kaynakları kullanımını artmasına karşın fosil yakıtların kullanımını %87 gibi yüksek bir orana sahiptir [5]. Ağırlıklı olarak fosil yakıtlara dayalı gerçekleşen enerji tüketiminde konut ve ticari binaların payı %30 oranındadır [6].



Şekil 1.2. Dünya enerji tüketim oranlarının sektörel bazda dağılımı

Kaynak: [3]





Şekil 1.3. Ofis binalarında enerji tüketim alanları ve oranları

Kaynak: [4]

Enerji konjonktüründeki gelişmeler doğrultusunda yapı sektöründe; imalat, işletme ve geri dönüşüm enerjileri ve bunların maliyetleri oldukça önemlidir. Bu bağlamda, yapılarda enerji giderlerinin azaltılması ve alternatif enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik olarak ‘sürdürülebilir mimarlık’ ve ‘sürdürülebilir mimari tasarım’ kavramları ortaya çıkmıştır.

Tönük (2001) ‘sürdürülebilir mimari tasarım ilkeleri’ni;

- Yapı içi,
- Yapı kabuğu ve
- Yapı dışı (fiziksel çevre)

olarak üç farklı ana başlık altında toplamıştır [7]. Sürdürülebilir mimari tasarımda yapı kabuğu, iç ve dış ortamları birbirinden ayırdığından dolayı kullanıcı konforu için; hava, ısı, nem ve ışık gibi fiziksel çevre kontrolünü desteklerken [8] enerji tüketimini ve enerji etkinliğini doğrudan etkilemektedir.

### 1.1. Sorun / problemin tanımı

Ülkemiz enerji kaynakları açısından dışa bağımlı olduğundan ‘enerji ekonomisi’ ve dolayısıyla enerji etkinliği ile enerji verimliliği ön plana çıkmaktadır. Enerji ekonomisi ve enerji etkinliği için alınan önlemler;

- Mevcut binalar için ‘iyileştirme projeleri’ (renovasyon) ve
- Yeni yapılacak binalar için sürdürülebilir ve enerji etkin mimari tasarım kriterleri olarak gruplanır. Her iki unsurda da yapım, işletme, bakım-onarım dolayısıyla da ilk yatırım maliyetlerini göz önünde bulundurur.

İyileştirme projeleri yapı kabuğunda ısı yalıtımı uygulanması, doğrama değişimi ve/veya bina mekanik sistemleri (ısıtma-soğutma ve havalandırma [HVAC] ile aydınlatma ekipmanları) değişimi olarak değerlendirilir. Sürdürülebilir ve enerji etkin mimari tasarım kriterleri ise “aktif” ve “pasif” tasarım kriterleri olarak ayrılmaktadır [9].

Aktif ve pasif tasarım kriterleri de doğrudan yapı kabuğuyla ilgili uygulamalar olduğu için yapı bloğunun tamamına “bütünsel yaklaşım” sağlarlar [10]. Böylelikle yapı kabuğunu oluşturan yapı elemanları detaylı bir şekilde değerlendirilir. Pasif tasarım kriterleri Lee K. H. ve diğerleri tarafından;

- Binanın yeri,
- Yapının komşu yapılara mesafesi,
- Yapı yönü,
- Yapı formu,
- Yapı kabuğu elemanlarının termofiziksel özellikleri ve
- Güneş kontrol ve doğal havalandırma sistemleri

olarak detaylandırılmıştır [11, 12]. Burada bina formu ve yön seçimi tasarım esnasında düşünülmesi gereken en önemli iki öğedir [13]. Bununla birlikte yapı kabuğu (ve binanın zemin düzlemindeki en-boy oranı) dış çevreyle ısı transferi yapan yüzey alanını belirlediği için enerji tüketimini etkilemektedir [14]. Günümüzde mimari cephenin estetik kaygılarından dolayı opaklık saydamlık oranı artmaktadır [15]. Dolayısıyla ısı iletkenlikleri yüksek olan pencerelerde yönlenme ve opaklık saydamlık oranı da önem kazanmaktadır.

Aktif tasarım kriterleri yapı çevresindeki yenilenebilir enerjiyi dönüştürerek enerji üreten sistemlerdir [7]. Bu sistemler ise;

- Güneş enerjisi sistemleri [16, 17],
- Rüzgar enerjisi sistemleri [18],
- Aydınlatma enerjisi sistemleri [19] ve
- Havalandırma sistemleri [19]

olarak sınıflandırılabilir. Sürdürülebilirlik, enerji etkinliği ve enerji ekonomisi açısından bakıldığında enerji tüketiminde büyük paya sahip olan pasif tasarım kriterleri (genellikle enerji üretimi yapan aktif tasarım kriterleri tarafından desteklediği için) daha önemlidir.

Türkiye yapı stoğunda ofis ve ticari bina blokları %3.5-5 orana sahip olmalarına karşın enerji tüketimler yüksektir [20]. Özellikle ihaleyle oluşturulan imalat sürecinde, üstlenici firmanın ticari kaygılarından dolayı yapılan sözleşmeye uymaması; kamu binalarını, işletme ve bakım-onarım maliyetleri açısından olumsuz etkilenmektedir [21]. Söz konusu olumsuzluklar enerji verimliliğini, enerji ekonomisini ve bina kullanıcısının ısı ve ışık konforunu, dolayısıyla da kullanıcının çalışma performansını etkilemektedir. Bu olumsuz etkileri ortadan kaldırmak ve optimum enerji tüketimi sağlamak için binalarda enerji performansı yönetmeliğinde (BEP-TR);

- Yönlenme,
- Opaklık saydamlık oranı ve
- Cam türü

ile ilgili “mimari tasarım karar destek mekanizması”nın bulunmaması bir sorundur.

## 1.2. Amaç

Yeni yapılacak ofis-büro binalarının enerji etkin mimari tasarımlarına yönelik ısıtma-soğutma enerji tüketimi ve yapı kabuğu odaklı;

- Yönlenme,
- Opaklık-saydamlık oranı ve
- Cam türü

parametrelerinin enerji tüketimine etkileri analiz edilecektir. Enerji tüketim analizleri için enerji simülasyon programları kullanılarak uluslararası standart ve yönetmeliklerin belirlediği çerçevede ‘enerji tüketim doğrulaması’ adımları izlenmesi ve gerçekçi model elde edilmesiyle, gerçek enerji verilerine yakın değerler hesaplanarak optimum enerji performansını sağlayan alternatiflerin belirlenmesi hedeflenmektedir. Söz konusu alternatifler doğrultusunda da Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği’nde (BEP-TR) yer alabilecek “mimari karar destek mekanizması” oluşturulması amaçlanmaktadır.

## 1.3. Önem

Aktif ve pasif tasarım kriterleri binaların enerji tüketimini doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir. Mevcut ve yeni yapılacak her bina aktif ve pasif kriterlerden dolayı birbirinden ayrılmakta ve dolayısıyla farklı bir çalışma alanı haline gelmektedir. Bu yaklaşımla gerçekleştirilen bu çalışmada; yeni yapılacak ofis-büro binalarının enerji etkin

mimari tasarımında kullanılmak üzere; yönlenme, opaklık saydamlık oranı ve cam türleriyle ilgili tablolar ve çizelgeler oluşturulmuştur. Yapılan bu çalışmada Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Akademik ve İdari Personel Bloğu;

- İklim özellikleri Türkiye’yi %32.2 oranla temsil eden Eskişehir ilinde [22] olması,
- Mimari tipoloji ve işletme yönetimi olarak kamu binalarını temsil etmesi,
- Yönlenmenin enerji tüketimine etkisinin analiz edilebilmesi için ofislerin aynı yöne bakması,
- İncelenecek ofislerin ısıtma sistemine tek bir hat ile bağlanması (ısıtma enerjisi açısından yapı bütünlüğünün sağlanması)
- İç mekana ait komşu yüzeylerin ısı geçirimsiz olduğu (adiabatic) kabul edildiğinde diğer iç mekanlardan ayrı değerlendirilerek bloktan ayrı tutulabilmesi,
- Kullanıcıların ısı konfor memnuniyetsizliklerinin olması,
- Ölçüm ekipmanlarına müdahale edilmediği için ölçüm güvenilirliğinin olması,
- Ölçüm ekipmanları hafızasındaki verilerin kaydedilerek ekipmanların tekrar ölçüme hazır hale getirilme sıklığının esnek olması ve
- Fiziksel erişilebilirliğin kolay olması,

özelliklerini taşıdığı için örnek bina olarak seçilmiştir.

Yönlenme, opaklıksaydamlık oranı ve cam türü parametrelerinin **tek yöne pencere açılımı olan mevcut bir binada** gerçekçi model elde edilerek; enerji tüketimine etkisi ile optimum ısıtma-soğutma enerji tüketimlerini sağlayan alternatiflerin belirlendiği bir çalışmaya alanyazında (literatür taramasında) rastlanmamıştır. Söz konusu parametrelerin;

- Optimum ısıtma-soğutma enerji tüketimini sağlayan alternatiflerinin ve
- Bu alternatiflerin geri ödeme sürelerinin belirlenmesinin

bilim dünyası, akademik çalışma ve uygulama alanlarına katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

#### 1.4. Sınırlılıklar

Seçilen örnek binanın Uluslararası Ölçüm, Doğrulama ve Enerji İhtiyacı Standartları ve Protokolleri ışığında (ASHRAE 2002-2005, CRES 2000, IPMVP 2001 ve M&V 2008) ofis binaları için gerekli olan enerji tüketim alanları belirlenmiş ve bu değerler ölçülmüştür [23, 24, 25, 26, 27]. Eskişehir (karasal) iklimsel koşullarında ısıtma

yükünün yüksek olması nedeni ile özellikle ısıtma-soğutma enerjileri üzerinde odaklanılmıştır.

Uluslararası Performans Ölçüm ve Onaylama Protokolü'nün (IPMVP) Temel Kavram ve Yöntemi içeriğinin 3.4.4. D maddesine ile Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı Ölçme ve Doğrulama Yönetmeliği'nin D maddesine (Measurement and Verification / M&V) bağlı kalınarak [21, 26, 27];

- Örnek binada kullanılan;
  - Aydınlatma sistemleri,
  - Bilgisayar sistemleri,
  - Enerji tüketen tüm ekipmanları ve
  - Isıtma, soğutma ve Havalandırma (HVAC) ekipmanlarının gerçek performans bilgileri en az bir yıllık süreçte (8760 saat, saatlik ortalama ile) toplanmış,
- Hesaplama metodolojisi üzerine uluslararası güvenilirliği ispatlanan bir binalarda enerji simülasyon programı seçilmiş,
- Meteorolojik verilerin saatlik, aylık ve yıllık değerleri temin edilmiş,
- Söz konusu standartlar kapsamında belirlenen sınır değerler içinde kalacak şekilde, hem iç sıcaklık hem de tüketilen ısıtma-soğutma enerjilerinin hesaplanan ve ölçülen değerlerinin eşitlenmesiyle '**enerji tüketim doğrulaması süreci**'nden geçilerek '**gerçekçi model**' (kalibre model/) elde edilmiş [21, 26, 27],
- Gerçekçi modelde 8 alternatif opaklık saydamlık oranına göre yapı kabuğu yeniden düzenlenmiş ve 8 alternatif yöne çevrilmiş,
- Elde edilen 64 alternatif modelin ısıtma, soğutma ve toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri hesaplanarak yönlere ve opaklık saydamlık oranlarının '**referans enerji tüketimleri**' kabul edilmiş,
- 64 referans modele 5 alternatif cam türünün güneş enerjisi geçirgenlik (SHGC), gün ışığı geçirgenlik (ST) ve ısı geçirgenlik (U) katsayıları tanımlanarak '**alternatif ısıtma, soğutma ve toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri**' hesaplanmış,
- Elde edilen alternatif enerji tüketimleri referans enerji tüketimleriyle karşılaştırılarak analiz edildiğinde yönlere ve saydamlık oranlarına göre optimum enerji tüketimini sağlayan cam türleri belirlenmiş,

- Bu bağlamda da BEP-TR’de yer alabilecek şekilde enerji etkin odaklı ‘**mimari tasarım karar destek mekanizması**’ oluşturulmuş,
- Belirlenen cam türlerinin yatırım ve enerji tasarruf maliyetleri ortaya konularak geri ödeme süreleri belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan; enerji simülasyon ve iklim verisi dönüştürme programları, dataloggerlar, ısı ölçüm ve veri kayıt sistemi Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi desteğiyle alınmıştır (Proje No: 1210F158). Bütçe, fiziksel imkansızlıklar ve tesisat sorunlarından dolayı elektrik enerji ölçüm ekipmanları (analizör) alınamamış ve çalışma dışında tutulmuştur.

Fiziksel çevrenin iklimsel verileri örnek binadan 500m uzaklıkta bulunan Eskişehir Meteoroloji Genel Müdürlüğü’ne bağlı Metar Meteoroloji istasyonundan, Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv ve Yönetim Sistemi (TUMAS) aracılığıyla temin edilmiştir [28]. İç mekanla ilgili olarak ısıtma sistemindeki ölçümlerde mekanik sorunlardan dolayı bazı zaman aralıklarında gerçek veriler ölçülememiştir. Söz konusu zaman aralıkları çalışma dışında tutulmuştur.

## 1.5. Tanımlar

Çalışmada kullanılan temel kavramlar bu bölümde derlenmiş ve açıklanmıştır.

**Bina bağıl yoğunluğu (bina kompaktlık oranı)**; şekil faktörü olarak da adlandırılan bu tanım bina dış yüzey alanının bina hacmine oranıdır [29, 30].

### **Bina tesisatları**

HVAC (ısıtma-soğutma ve havalandırma), aydınlatma, elektrik ve sıhhi tesisatı olarak kullanıcıya hizmet veren sistemlerdir.

### **Binalarda enerji performansı**

Bir binanın; sıcak su, aydınlatma, ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin ihtiyacı olan enerji miktarını hesaplamak veya ölçmektir [31]. Bu bağlamda (Ulusal ve Uluslararası) Binalarda Enerji Yönetmelikleri enerji tüketim değerlerine göre **enerji sınıfları** oluşturur. Avrupa Enerji komisyonunca yayımlanan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (Energy Performance of Buildings Directive/EPBD) ve ülkemizdeki Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği’ne (BEP-TR) göre; binaya uygulanan yalıtım, içinde bulunulan coğrafi şartlar, güneş etkisi, komşu binaların etkisi ve kullanıcı etkileri gibi faktörlerde bina enerji performansını da etkilemektedir [31, 32].

### **Binalarda enerji simülasyon programı**

“Enerji modeli” olarak da bilinen binanın enerji tüketimini tahmin edebilen ve bina yaşam döngüsü içinde binanın enerji performansı ve ısı konforu için gerekli hesaplamaları yapan çok yönlü ve kullanışlı bir yazılımdır. Programda oluşturulan ve belirli verilerin tanımlandığı sayısal veri bütünlüğüne de **Enerji Simülasyon Modeli** denilmektedir [33, 34].

### **Enerji etkinliği**

Enerji tüketimini azaltmayı hedefleyen enerji yönetimi ve sınırlamalardır. Aynı veya daha az enerji miktarı ile daha fazla cihaz çalıştırma veya daha fazla hizmet alma/sunma eylemidir [35]. Bu bağlamda enerji tasarruf önlemleri ve tasarımları kavramları ortaya çıkmıştır. Bunun sonucunda da “binalarda enerji etkinliği” ise;

- **Mevcut binalarda enerji etkinliği;** enerji tüketimini azaltmak için ısı yalıtımı ve tesisat değişiklikleriyle yapılan iyileştirme projeleri ve
- **Yeni yapılacak binalarda enerji etkinliği;** aktif ve pasif kriterleri dikkate alan enerji etkin ve/veya sürdürülebilir mimari tasarımı

olmak üzere sınıflandırılabilir.

### **Enerji tüketim doğrulaması (kalibrasyon)**

Bir enerji simülasyon modelinde ilgili modele ait **enerji izlemesi (energy audit)** sonucu ölçülen çeşitli verilerin (elektrik, iklimlendirme, aydınlatma enerjileri ile ve sıcaklık, nem, havalandırma vb ...) hesaplanan verilere (belirli sınırlar dahilinde sayısal sonuç olarak) yaklaşmasıdır. Bu şartları sağlayan enerji simülasyon modeline de **Gerçekçi model (Kalibre model)** adı verilir [26, 27].

### **Geri ödeme süresi**

Yapılan bir yatırımın nakit getirilerinin yatırım tutarını karşılama süresidir [36].

### **Güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC)**

Güneş ışınımının camdan, kapıdan veya çatı penceresinden direkt olarak iletilen veya emilen ve binanın içine doğru yeniden verilen güneş enerjisinin yüzdesi olarak tanımlanır. 0-1 arasında bir sayı ile ifade edilir [37].

### **Isı geçirgenlik direnci (R)**

1m kalınlıkta olan bir malzemenin paralel iki yüzeyinin sıcaklıkları arasındaki fark  $1K=1^{\circ}C$  olduğunda 1 saatte  $1 m^2$  yüzeyden dik olarak geçen ısı miktarının aritmetik tersidir. Birimi  $m^2K/W$  olarak tanımlanır [38, 39, 40].

### **Isı ölçüm ve veri kayıt sistemi** (kalorimetre)

Isıtma sistemine yerleştirilerek (belirlenen zaman periyodunda) ısıyı ölçen ve kaydeden sistemdir.

**Low-E kaplamalı cam;** kullanıcının ısı/ışık konforunu ve çalışma performansını arttırmak amacıyla, cam yüzeylerine; güneş ışınımı emisyonu, ısı taşınımı ve iletiminde iyileştirme sağlamak amacıyla uygulanan kaplamalı camdır [41]. Farklı low-e kaplamaları ile farklı **cam türleri** elde edilmektedir.

### **Sensör (data logger)**

İçinde bulunduğu ortama ait belirli verileri istenilen zaman aralıklarında kayıt yapmaya ayarlanabilen elektronik cihazdır [42].

### **Sürdürülebilirlik**

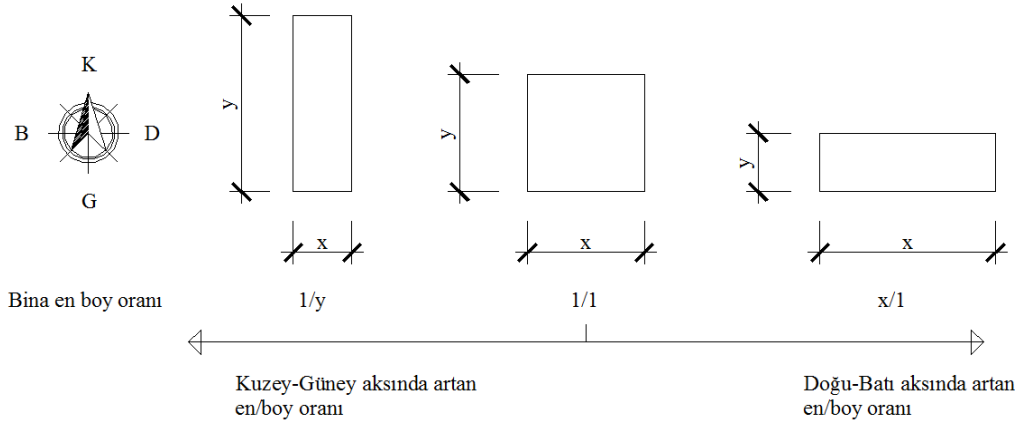
Bir toplumun, bir ekosistem veya benzer diğer etkileşimli sistemlerin temel kaynaklarını tüketmeden ve çevreyi olumsuz etkilemeden devamlı işleme yeteneğidir [43]. Sürdürülebilirlik; gelecek nesillerin refahını ve sağlığını tehlikeye atmadan mevcut çevresel, ekonomik ve sosyal ihtiyaçları bütünleştirecek ve karşılayacak şekilde yaşamak ve çalışmakla ilgilidir [44].

**Opaklık saydamlık oranı;** yapı kabuğunda bulunan pencere alanının duvar alanına olan oranıdır [29, 45].

**Yapı kabuğu;** iç mekanı dış mekandan ayırırken; ısı performans, Nem korunumu, Yangın, Akustik, Güneş ışığı ve görsel çevre ilişkisi, Sistem bakım kolaylığı, Malzeme dayanıklılığı ve deprem konularında da kullanıcı konforunu ve güvenliğini sağlayan, duvar, çatı, döşeme, kapı ve pencere gibi yapı elemanları bütünü olarak tanımlanmıştır [29, 46, 47, 48, 49].

Plan düzlemi göz önünde bulundurulduğunda, bir binanın x eksenindeki uzunluğunun, y eksenindeki uzunluğuna oranı **bina en/boy oranı** olarak tanımlanır [30, 50, 51, 52] (Şekil 1.4).





**Şekil 1.4.** Eksen doğrultusunda bina boyutları değişimlerine göre bina en/boy oranının değişimi

**Kaynak:** [52], s. 338

## 2. ALANYAZIN (LİTERATÜR TARAMASI)

Son yıllarda tüketicilerin neden olduğu artan enerji ihtiyacı, yenilenemeyen enerji kaynaklarından karşılandığından dolayı çevre kirliliğine neden olmaktadır. Çevre kirliliği ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının tükenme problemlerini çözmek için tanımlanan enerji etkinliği kavramı, her alanda ekolojik ve finansal açıdan daha da önem kazanmıştır. Bu nedenle toplam enerjinin %40'ının binalarda tüketildiği düşünüldüğünde binalarda enerji performansını doğrudan etkileyen yapı kabuğu ve yapı kabuğunu oluşturan yapı elemanları daha da önem kazanmaktadır.

Alanyazın derlemesi yapılırken; ofis binası, yapı kabuğu, binalarda enerji simülasyonu, binalarda enerji simülasyon modeli, iklim değişiklikleri, coğrafi konum, enerji tüketim doğrulaması, gün ışığı ve aydınlatma, datalogger, enerji tüketim doğrulaması, yönlenme, opaklık saydamlık oranı ve cam türü anahtar kelimeleri çerçevesinde kalınarak binalarda enerji performansı ile ilgili pasif tasarım kriterleri filtre olarak kullanılmış ve alanyazın taramasının sınırlarını belirlemiştir.

Yapılan bu çalışmada enerji etkinliği ve enerji etkinliğini doğrudan etkileyen pasif tasarım kriterleriyle ilgili;

- Mevcut binalarda iyileştirme,
- Yapı kabuğu;
  - Duvar,
  - Cam türleri,
- Opaklık saydamlık oranı,
- Yönlenme,
- Günışığı ve aydınlatma,
- Farklı coğrafi konum ve iklim değişiklikleri,
- Enerji etkinliğiyle ilgili diğer araştırmalar

başlıklarında alanyazın (literatür taraması) yapılmıştır. Seçilen çalışmalar özellikle; yöntem, sonuçlar ve çalışma alanları değerlendirilerek özetlenmiştir.

### 2.1. Mevcut Binalarda İyileştirmeye İlgili Alanyazınlar

Enerji etkinliğiyle ilgili önlem alınmayan mevcut yapı stoğu, binalarda enerji tüketim oranında yüksek bir paya sahip olduğu için enerji tasarrufu sağlayacak iyileştirme projeleri (renovasyon) oldukça önemlidir. Bu nedenle 19 Mayıs 2010'da yayımlanan 2010/31/EU Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (EPBD, 4 Ocak 2003'te

yayımlanan 2002/91/EC'nin tekrar gözden geçirilmiş hali) AB bünyesindeki yapıların enerji performansında yapılacak olan iyileştirmelerin teşvik edilmesi, optimum maliyet ve enerji etkinliği ölçülerinin ele alınması konularını da gündeme getirmiştir.

Ülkemizde de 8 Mayıs 2000 tarihinde yayımlanan "Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği'nin revize edilmesi ve Avrupa Birliği mevzuat uyumu çalışmalarını çerçevesinde EPBD yönetmeliğine uyumlu hale getirilmeye çalışılmıştır. Bu çerçevede, enerjinin etkin kullanılmasının sağlanması ve etkin bir enerji verimliliği programının uygulanması, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi, enerji etkinliği konusunda bir bilinç oluşturulması ile uluslararası yükümlülüklerin yerine getirilmesi için gerekli yasal düzenlemelerin yapılması zorunluluk arz etmektedir. Bunun sonucunda "Enerji Verimliliği Kanun Tasarısı" hazırlanmıştır [53]. Ülkemizdeki Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (BEP-TR) çerçevesinde de Mayıs 2017'ye kadar Enerji Kimlik Belgesi (EKB) ve dolayısıyla da ısı yalıtım zorunlu hale getirilmiştir [31]. Binalarda enerji etkinliği ve enerji performansına odaklanan iyileştirme projeleriyle ilgili olarak yapılan çalışmalar aşağıda yer almaktadır.

Güçyeter B. (İYTE doktora tezi) İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü kampüsündeki Mediko binası için EDSL-Tas programı kullanarak (binalarda enerji simülasyon programı) uluslararası yönetmelikler ve protokoller çerçevesinde ölçülen ve hesaplanan enerji ve sıcaklık verilerin eşitlenmesi ve doğrulanması yöntemiyle 'gerçekçi model' elde ederek yapı kabuğunda iyileştirme alternatifleri sunmuştur. Söz konusu alternatifler; duvarlar ve zeminde yalıtım, pencere ve camlarda değişim önerileriyle, küçük, orta ve ileri derecede müdahale olarak sınıflandırılmış ve enerji tüketim hesaplamaları yeniden yapılmıştır. Yapılacak iyileştirme alternatiflerinin ısıtma ve toplam enerji tüketimindeki tasarruf oranları sırasıyla;

- Küçük derece müdahalede; %15-%11,
- Orta derece müdahalede; %16-%11,
- İleri derece müdahalede; %28-%22,

Soğutma ve toplam enerji tüketimindeki tasarruf oranlarıysa sırasıyla;

- Küçük ve orta derece müdahalelerde; %24-%20,
- İleri derece müdahalede; %22-%19

olarak hesaplanmıştır. Yapı kabuğundaki iyileştirme alternatiflerinin geri ödeme süreleri ise;

- Beton duvarlarda yalıtım uygulaması 7.75 yıl,

- Beton duvarlarda yalıtım, hava boşluğu ve ahşap kaplama uygulaması 9.81 yıl,
- Tuğla duvarda yalıtım uygulaması 9.05 yıl,
- Tuğla duvarda yalıtım, hava boşluğu ve ahşap kaplama uygulaması 9.34 yıl,
- Pencere doğrama değişimi 13.04 yıl,
- Zemine yalıtım uygulaması 12.25 yıl

olarak belirlenirken **kaplamasız camların low-e kaplamalı camlarla değişiminde geri ödeme yapılamadığı** belirlenmiştir [21].

Penga, C. ve diğerleri iyileştirme projesi olarak duvar ve camlarda yapılan alternatif değişikliklerin DeST programı kullanarak enerji etkinliğine etkisini araştırmıştır. Southeast Üniversitesinde (Nanjing/Çin) 16.873m<sup>2</sup> alana sahip, 3 katı bodrum olan 15 katlı RRSAB binası örnek bina seçilerek enerji modellemesi yapılmıştır. Modellemede iklim verileri (yazları sıcak kışları soğuk) ile duvar ve pencere ısı geçirgenlik katsayıları sırasıyla; 1.081 W/m<sup>2</sup>K ve 5.7 W/m<sup>2</sup>K olarak tanımlanmıştır (gerçekçi model elde edildiği belirtilmemiştir). Tüm binanın sıcaklık dağılımını temsil ettiği kabul edilen 1. katta kuzeye bakan bir orta oda ve 15. katta güneybatıya bakan bir köşe odada, ısıtma ve soğutma iç sıcaklık sınır değerleri 26<sup>0</sup>C-20<sup>0</sup>C tanımlanarak 8760 saatlik enerji tüketimleri hesaplanmıştır. ‘Çin Kamu Binalarının Enerji Etkin Tasarım Standartları’ndaki sınır değerlere bağlı kalınarak, yapı kabuğundaki duvar ve pencere için ısı geçirgenlik katsayıları sırasıyla 0,713 W/m<sup>2</sup>K ve 2.1 W/m<sup>2</sup>K’e (gölgeleme faktörü 0.49) getirildiğinde; ısıtma ve soğutma enerjisinde sırasıyla %4 ve %5.5 tasarruf edildiği hesaplanmıştır [54].

Huang J. ve diğerleri mevcut bir binanın farklı yönlere göre opaklık saydamlık oranlarının, ekonomik ısı yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme sürelerini araştırmışlardır. Çalışmada bina şekil faktörünü ve yaşam döngü tasarrufunu da kapsayan formüllere dayalı statik hesaplama modeli ile P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub> ekonomik değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon, güneş ısı kazancı ve soğutma enerjisi hesabı yapıldığı belirtilmemiştir. Shenyang/Çin’de şiddetli soğuk iklim bölgesinde bulunan 3.235 m<sup>2</sup>, 0.24 şekil faktörüne sahip örnek binada batı, güney, kuzey ve doğu yönlerine opaklık saydamlık oranları sırasıyla %33, %30, %29 ve % 19 dur. Alternatif pencere kuruluşları;

- I. 5mm+10mm Argon+5mm 90 serisi (U=2.6 W/m<sup>2</sup>K),
- II. 5mm+10mm Argon+5mm 60 serisi (U=2.3 W/m<sup>2</sup>K),
- III. 5mm+12mm Argon+5mm+12mm Argon + 5mm 65 serisi (U=2 W/m<sup>2</sup>K)

IV. 5mm+12mm Argon+5mm+12mm Argon + 5mm 65 serisi low-e kaplamalı  
( $U=1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

olarak tanımlanmıştır. Ekonomik ısı yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme süreleri sırasıyla;

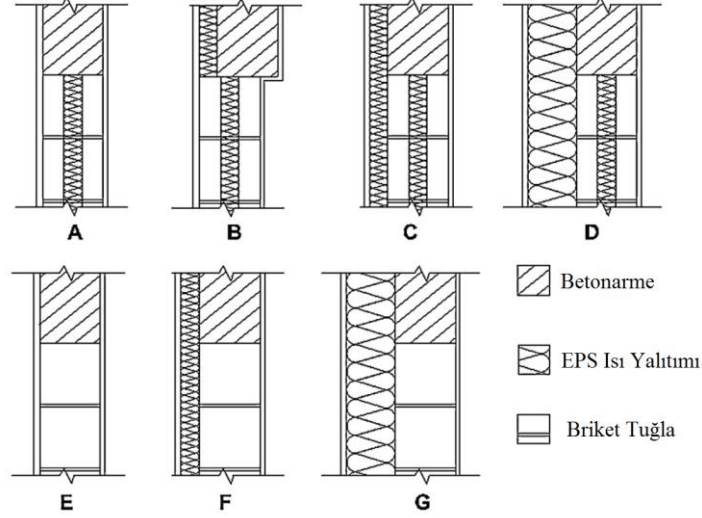
- Doğu yönünde;
  - I. Pencere alternatifi için 23.6mm ve 4.27 yıl,
  - II. Pencere alternatifi için 15.5mm ve 4.47 yıl,
  - III. Pencere alternatifi için 9.9mm ve 4.93 yıl,
  - IV. Pencere alternatifi için 3.5mm ve 6.07 yıl,
- Batı yönünde;
  - I. Pencere alternatifi için 30.4mm ve 4.44 yıl,
  - II. Pencere alternatifi için 21.2mm ve 4.63 yıl,
  - III. Pencere alternatifi için 14.7mm ve 5.11 yıl,
  - IV. Pencere alternatifi için 7.3mm ve 6.28 yıl,
- Güney yönünde;
  - I. Pencere alternatifi için 28.1mm ve 5.03 yıl,
  - II. Pencere alternatifi için 22mm ve 5.38 yıl,
  - III. Pencere alternatifi için 14.1mm ve 6.09 yıl,
  - IV. Pencere alternatifi için 7.2mm ve 7.75 yıl,
- Kuzey yönünde;
  - I. Pencere alternatifi için 26.8mm ve 5.68 yıl,
  - II. Pencere alternatifi için 22mm ve 6.07 yıl,
  - III. Pencere alternatifi için 18mm ve 6.82 yıl,
  - IV. Pencere alternatifi için 12.8mm ve 8.53 yıl,

olarak hesaplanmıştır [55].

Friess W. A. ve diğerleri Dubai'deki dubleks konutlar için duvar kuruluş alternatiflerinin enerji tüketimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kat yüksekliği 3.5m, opaklık saydamlık oranı 0.21 ve 231m<sup>2</sup>'lik betonarme bir dubleks konutun aylık faturalarını kullanarak (RMSE ve MBE değerleri verilmeden) gerçekçi model elde etmişlerdir. Gerçekçi modelde 6 farklı duvar kuruluşu alternatifi (Şekil 2.1) tanımlanarak tekrar yapılan hesaplamalara göre mevcut duvarla (A) karşılaştırıldığında yıllık enerji tüketimlerinde;

- B, C, D, F ve G alternatiflerinde sırasıyla; %23.3, %24.5, %29.8, %22.9 ve %29.4 oranında enerji tasarrufu ve

- E alternatifinde % 10.6 enerji artışı olduğu belirlenmiştir [56].



Şekil 2.1. Duvar kuruluş alternatifleri

Kaynak: [56], s.29

## 2.2. Yapı Kabuğuyla İlgili Alanyazınlar

Farklı yapı elemanları ve yapı malzemelerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulan yapı kabuğu; çatı, duvarlar, pencereler ve zemine temas eden duvar ve döşemelerden oluşmaktadır. Çalışma sınırlarıyla ilgili olarak duvar ve pencere dolasıyla cam türleriyle ilgili yapılan çalışmalar da araştırılmıştır.

### 2.2.1. Duvarlarla ilgili alanyazınlar

Ünver R. ve diğerleri bina genelini göz ardı ederek, derinliği sabit üç farklı ofis odası için ( $R_1=3 \times 5m$ ,  $R_2=5 \times 5m$  ve  $R_3=10 \times 5m$ ); görsel, ısı ve akustik konfor ile enerji tüketimini dikkate alan optimum yapı kabuğu kuruluşu tablosu oluşturmuşlardır. Yapı kabuğunda;

- Pencereler;
  - Tek doğramada üçlü cam ( $W_1$ ),
  - İki ayrı doğramada tekli cam ( $W_2$ ) ve
  - Tek doğramada çift cam ( $W_3$ )
- Duvarlar;

- 5cm dıştan ısı yalıtımlı hafif beton blok (O<sub>1</sub>),
- 4cm ısı dıştan yalıtımlı tuğla (O<sub>2</sub>),
- 5cm dıştan ısı yalıtımlı prefabrik beton blok (O<sub>3</sub>) ve
- 4cm içten ısı yalıtımlı beton sandviç duvar (O<sub>4</sub>),

- Opaklık saydamlık oranlarıysa %20 ve %50

olarak tanımlanmıştır. Ayrıca İstanbul iklimi için, iç sıcaklık değeri 20<sup>0</sup>C, bağıl nem %50RH, iç ortam sıcaklığıyla iç duvar yüzey sıcaklık farkı  $\pm 3^0$ C kabul edilmiştir. Doğu ve güney yönleri için statik hesaplama modeliyle aylık olarak hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sonuçlarına göre ısı, ısı-akustik, ısı-akustik-aydınlatma sonuçları ayrı ayrı verilmiştir. Sadece ısı değerlendirmenin yapıldığı optimum yapı kabuğu şartlarını sağlayan Çizelge 2.1'e bakıldığında;

- Güney yönündeki tüm alternatiflerin uygun olduğu,
- Doğu yönünde;
  - %20 opaklık saydamlık oranında W<sub>3</sub> pencere tipiyle O<sub>4</sub> duvar tipinin aynı anda uygulanması alternatifinin dışında diğer alternatiflerin uygun olduğu,
  - %50 opaklık saydamlık oranındaysa;
    - W<sub>1</sub> pencere türünün O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> duvar tiplerinde ve
    - W<sub>2</sub> pencere türünün O<sub>1</sub> ve O<sub>2</sub> duvar tiplerinde aynı anda uygulanması alternatiflerinin dışında diğer alternatiflerin uygun olduğu
    - W<sub>3</sub> pencere türünün tüm duvar tiplerinde uygun olmadığı

belirlenmiştir [57].

**Çizelge 2.1.** Optimum yapı kabuğu şartlarını sağlayan; yön, opaklık saydamlık oranı, duvar ve doğrama alternatifleri (İstanbul iklimi için)

|                  |      |    | Doğu |    |    |    | Güney |    |    |    |
|------------------|------|----|------|----|----|----|-------|----|----|----|
| RT               | TR   | W  | O1   | O2 | O3 | O4 | O1    | O2 | O3 | O4 |
| R1,<br>R2,<br>R3 | 0.20 | W1 |      |    |    |    |       |    |    |    |
|                  |      | W2 |      |    |    |    |       |    |    |    |
|                  |      | W3 |      |    |    |    |       |    |    |    |
|                  | 0.50 | W1 |      |    |    |    |       |    |    |    |
|                  |      | W2 |      |    |    |    |       |    |    |    |
|                  |      | W3 |      |    |    |    |       |    |    |    |

**Kaynak:** [57], s. 150 (R oda tiplerini, O duvar türlerini ve W pencere tiplerini temsil etmektedir)

El-Deeb binalarda enerji simülasyon programında (Design Builder) 4x4m boyutlarındaki bir oda için 23°C-21°C ısıtma ve soğutma sınır değerleri tanımlayarak dört farklı iklim bölgesi için (Almanya’da Berlin ve Mısır’da İskenderiye, Kahire ve Kharga şehirleri) yapı kabuğunda 10cm’lik iki panel arasına 1-10cm’lik ısı yalıtım levhası ve %0-%100 opaklık saydamlık oranı (cephenin tamamı cam) alternatifleri için ısıtma-soğutma ve aydınlatma enerji hesaplamaları yapmıştır. Çalışmada ölçüm yapılmamış ve gerçekçi model elde edilmemiştir. Yalıtımsız duvar ve opaklık saydamlık oranı %0 olan alternatifin enerji tüketimi referans alınarak elde edilen simülasyon sonuçlarına göre;

- Enerji tüketiminin en az olduğu opaklık saydamlık oranları;
  - İskenderiye ve Kharga’da %8,
  - Kahire ve Berlin’de %10 olduğu,
- İskenderiye, Kahire, Kharga ve Berlin şehirleri için enerji tasarrufu sırasıyla;
  - Opaklık saydamlık oranı %10 olduğunda; %19, %15, %12 ve %12,
  - Opaklık saydamlık oranı %100 olduğunda; %129, %120, %112 ve %59 olduğu,
- Tüm şehirlerde Doğu ve batı yönlerine ait enerji tüketimlerinin birbirinden %8-%10 aralığında değiştiği,
- Kuzey yönünde opaklık saydamlık oranı %20 olduğunda enerji tasarrufu sırasıyla; %27, %24, %19 ve %13 olduğu,
- İskenderiye’de opaklık saydamlık oranı %100 olduğunda enerji tüketimi; kuzey, doğu, güney ve batı yönlerinde sırasıyla %22, %90, %129 ve %99 oranında arttığı,

hesaplanmıştır. Ayrıca;

- İskenderiye ılıman iklime sahip olduğu için ısı yalıtımı uygulamasının enerji tüketimini arttırdığı,
- Kahire’de opaklık saydamlık oranı %0-%10 aralığındayken 10cm’lik ısı yalıtımı yapılması durumunda enerji tasarrufunun %7’yi aşmadığı/geçmediği,
- Kharga’da;
  - %30’a kadar olan opaklık saydamlık oranlarında 4cm ve üzerindeki ısı yalıtım kalınlığı alternatiflerinde enerji tasarruf oranının %10’un üzerinde çıktığı,



- %40 ve üzerindeki opaklık saydamlık oranlarında ısı yalıtımının ve yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisinin (% değer ve birim belirtilmeden) azaldığı
- Berlin’de;
  - Enerji tasarrufunun %30’a kadar çıktığı ve
  - Opaklık saydamlık oranının; Kuzeyde %80, doğu ve güneyde %60 ve batıda %70’in üzerine çıktığı durumlarda ısı yalıtımının enerji tasarrufuna etkisi olmadığı

belirlenmiştir [58].

### 2.2.2. Cam türleriyle ilgili alanyazınlar

Yaşar Y. ve Kalfa S. M. Trabzon’daki TOKİ konutları F ve C bloklarındaki iki ayrı bağımsız birimde 1996-2006 yıllarındaki Trabzon iklim verileri ortalamalarını kullanarak, gerçekçi model elde edilmeden Design Builder programıyla sekiz ayrı cam türünün ısıtma ve soğutma enerji tüketimlerini hesaplama modeliyle karşılaştırmışlardır. Yapılan analizlerde;

- Low-e kaplamalı çift camın kaplamasız çift cama göre F ve C bloklarında sırasıyla %40.29 ve %41.85 enerji tasarrufu sağladığı,
- Pyrolytic kaplamalı çift camın;
  - Isıtma döneminde F ve C bloklarında sırasıyla 599kWh ve 948kWh enerji tasarrufu sağladığını,
  - Kaplamasız çift cama göre (%oran veya değer verilmeden) soğutma enerji performansının düşük olduğu,
- Akıllı cam olarak tanımlanan emici, yansıtıcı mavi ve yeşil low-e kaplamalı çift camın low-e kaplamalı çift cama göre sırasıyla;
  - Soğutma enerjisinde %18.68 ve %18.85 tasarruf sağladığı,
  - Isıtma enerjisinde %14.49 ve %15.12 daha fazla enerji tükettiği
  - Toplam maliyette (ilk yatırım ve işletme maliyeti) %3.99 ve %3.44 daha ucuz olduğu,
- Yansıtıcı mavi camın F ve C bloklarında toplam maliyette kaplamasız cama göre sırasıyla %43.87 ve %44.19 daha ucuz olduğu

hesaplanarak belirlenmiştir [59].

Nilsson A. M. ve Roos A. üç farklı iklim bölgesinde (Stockholm, Brüksel ve Roma) on iki farklı çift cam alternatifinin (aydınlatma enerjisini göz ardı ederek) ısıtma-soğutma enerji tüketimine etkisini incelenmişlerdir. Alternatif camların ısı geçirgenliği, güneş ışığı ve güneş ışınımı geçirgenlik katsayıları Windows 5 simülasyon programıyla hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerde pencere enerji simülasyon programına (WinSel) tanımlanarak kuzey ve güney yönleri için ısıtma-soğutma enerji tüketimleri hesaplanmıştır. Son hesaplamalara göre;

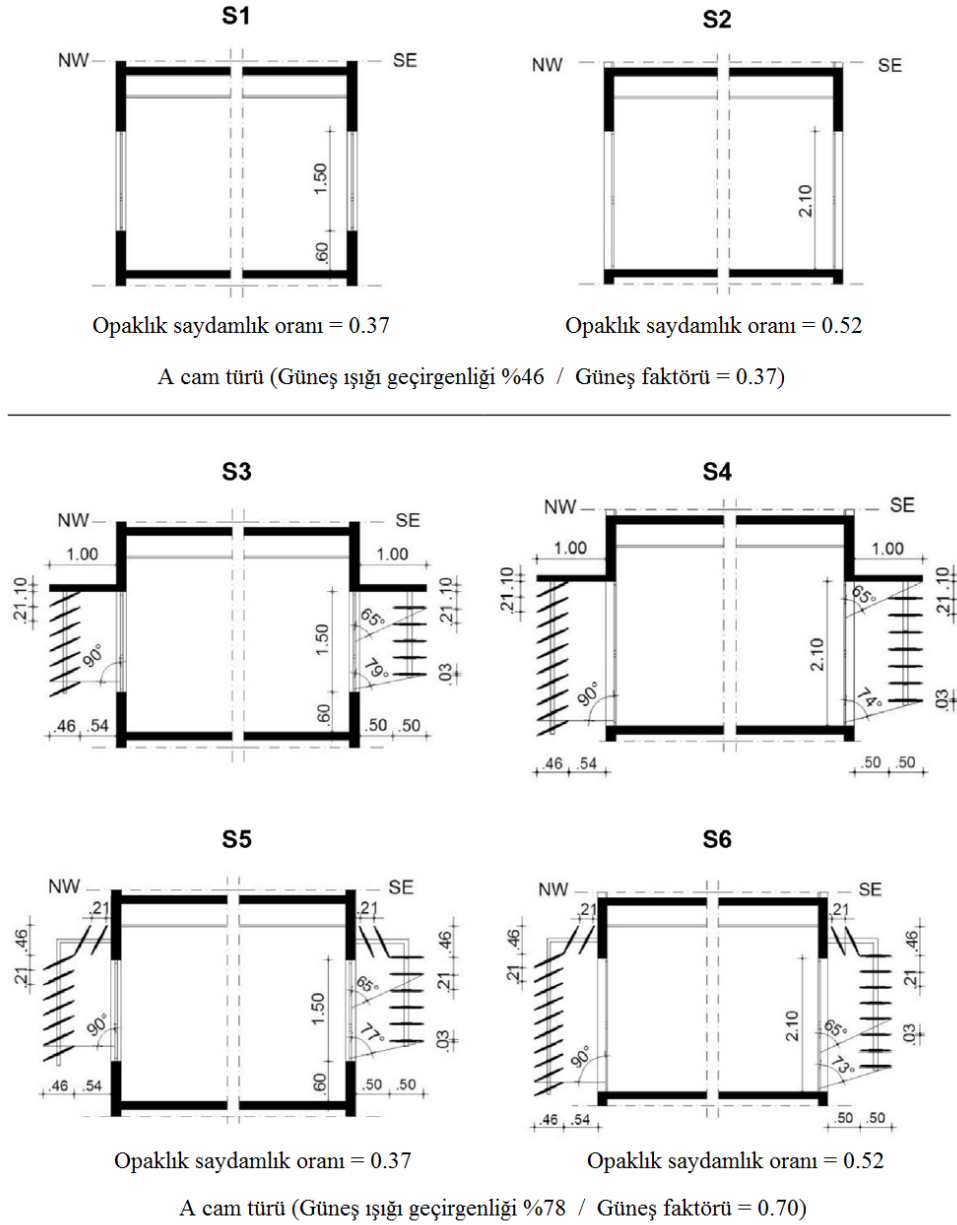
- Stockholm’de kuzey yönde yüksek yoğunluklu low-e kaplamalı cam kullanıldığında güneye göre %44 daha düşük soğutma enerjisi gerektiği ve
- Güney cephelerinde farklı pencere alternatiflerinin ısıtma enerjisi farkının 225kWh/m<sup>2</sup>yıl kadar olabildiği

belirlenmiştir [60].

Fontenelle M. R., Bastos L. E. G. CELECTRE programında ELECTRE III yöntemiyle cam türü, opaklık saydamlık oranı ve gölgeleme elemanlarından oluşan altı farklı alternatifin (Şekil 2.2); yatay görünüm (landscape view), çalışma yüzeyindeki güneş ışığı seviyesi ve enerji etkinliği üzerine farklı kriterlerin birbirini etkilemesiyle en iyi alternatifi ortaya koyan “karar verme yaklaşımı”nı (multicriteria approach) ortaya koymuşlardır. Yatay görünüm ve güneş ışığıyla ilgili ölçümler yapılarak ve programın veri tabanındaki iklim verisi ‘test referans yılı/TRY’ kullanılarak DAYSIM programında gerçekçi model elde edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda da 1., 7. ve 13. katlarda optimum alternatifler sıralanmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre enerji etkin alternatifler (birinciden altıncıya doğru);

- 1. katta: S6, S4, S3, S5, S1 ve S2,
- 7. katta: S6-S4, S5, S3, S2 ve S1 (S6-S4 aynı anda 1. sırada) ve
- 13. katta: S6-S4, S3, S5, S2 ve S1 (S6-S4 aynı anda 1. sırada)

sıralanmıştır [61].



**Şekil 2.2.** Cam türü, gölgeleme elemanları ve opaklık saydamlık oran alternatifleri

**Kaynak:** [61], s. 99

Mahdy M. M. ve Nikolopoulou M. Mısır Konut Enerji Yönetmeliği (EREC) çerçevesinde; saydamlık oranı, cam türü, camın ısıl özellikleri ve gölgeleme elemanları parametreleri arasında uzun vadeli maliyet etkinliğini arttırmaya (ilk yatırım ve işletme maliyetlerini azaltmaya) yönelik optimum kombinasyonu ortaya koymuşlardır. Mısır'daki sekiz iklim bölgesini temsil edebilen üç farklı şehir (Kahire, İskenderiye ve

Aswan) analiz edilmiştir. Design Builder programında 6 katlı bir apartman modelinde aşağıdaki veriler kullanılmıştır.

- Isıtma-soğutma iç sıcaklık sınır değerleri 20<sup>0</sup>C-29<sup>0</sup>C,
- Duvarlarda;
  - 29cm kalınlığında çift cidarlı duvar,
  - 29cm kalınlığında içten 5cm EPS ısı yalıtımı uygulanmış duvar,
- Pencereelerde;
  - Kaplamasız tek cam (SHGC=0.71, LT=0.65)
  - Kaplamalı tek cam (SHGC=0.18, LT=0.06)
  - Kaplamasız çift cam (SHGC=0.66, LT=0.59)
  - Kaplamalı çift cam (SHGC=0.13, LT=0.05) tanımlandı,
- EREC yönetmeliğinde konutlar için önerilen kullanım süreleri ve iklimlendirme sistemi (split klima / HVAC) tanımlanmıştır.
- İklim verisi dosyasında (Weather data files/WDF formatıyla);
  - Hem 2002 yılı verileri,
  - Hem de Amerika Enerji Biriminden (Department of Energy / DOE) gelecek yıllara ait iklim verisi oluşturmak için CCWorldWeatherGen programı (Climate Change World Weather File Generator) vasıtasıyla 2020, 2050 ve 2080 yıllarına ait iklim verileri oluşturulmuştur.
- Finansal veriler;
  - Doğrama, cam ve gölgeleme elemanları maliyetleri ile
  - Elektrik enerjisi birim maliyetleri olarak tanımlanmıştır.
- Opaklık saydamlık oranı olarak dört ana yönde;
  - %0-%10,
  - %10-%20,
  - %20-%30,
  - %30'dan büyük olarak tanımlanmıştır.
- Gölgeleme parametreleri ve hesaplama yaklaşımı olarak;
  - Alternatif opaklık saydamlık oranlarında EREC yönetmeliğinin belirlediği sınırları aşmayan güneş ısısı kazanım katsayıları (Solar Heat Gain Coefficient / SHGC),
  - Pencereilerin gölgede kalan alanları belirlenmiştir.

- Gölgeleme oranı (Shaded Glass Ratio / SGR) ve Önem faktörünün (Prominence Factor / PF) belirlenmesi: bunlara bağlı olarak “gölgeleme elemanı derinliği” (W) tanımlanması yapılmıştır.

Design Builder programına söz konusu veriler tanımlandıktan sonra aylık olarak hesaplamalar yapılmıştır (gerçekçi model elde edilmemiştir). Simülasyon sonuçlarına göre;

- Kaplamasız tek camın ve kaplamalı çift camın tüm iklim bölgelerinde ve tüm opaklık saydamlık oranlarında gölgeleme elemanlarına gerek duymadığı,
- Kaplamasız tek ve çift camın tüm iklim bölgelerinde ve tüm opaklık saydamlık oranlarında aynı gölgeleme genişliğine gereksinim duyduğu,
- Enerji etkinliği açısından opaklık saydamlık oranının;
  - Kahire ve Aswan’da;
    - Hiçbir yönde %30’un üzerine çıkmamasının gerektiği,
    - Sadece doğu ve batı yönlerinde %20-%30 aralığının uygun olduğu,
  - İskenderiye’deyse sadece güney yönlerinde %30’un üzerine çıkılabileceği
- Enerji ve ısı konfor olarak;
  - Cam türlerine dayalı opaklık saydamlık oranlarında;
    - Tüm cam türlerinde %10 opaklık saydamlık oranının optimum enerji tasarrufu, ilk yatırım ve işletme maliyeti sağladığı,
    - Enerji tasarrufu açısından kaplamalı tek camın %10-%20 saydamlık oranı %10’dan küçük saydamlık oranına göre %0.7 oranında fazla olduğu,
  - Cam türlerinde enerji tasarrufu, işletme ve ilk yatırım maliyetleri değerlendirildiğinde;
    - %10’dan küçük opaklık saydamlık oranlarında (% değer ve birim belirtilmeden) performansı sıralamasının; kaplamalı çift cam, kaplamalı tek cam, kaplamasız çift cam ve kaplamasız tek cam olduğu,
    - %10-%20 ile %20-%30 opaklık saydamlık oranlarında (% değer ve birim belirtilmeden) performansı sıralamasının; kaplamalı çift cam, kaplamalı tek cam olduğu,

- %30'dan büyük opaklık saydamlık oranlarında (% değer ve birim belirtilmeden) EREC standartlarının dışına çıktığı için sonuçların değerlendirilmediği,
- Kaplamalı tek ve çift camın kaplamasız tek ve çift cama göre (% değer ve birim belirtilmeden) daha iyi sonuçlar verdiği,
- Finansal olarak değerlendirildiğindeyse tüm iklim bölgelerinde ve saydamlık oranlarında;
  - Gölgeleme elemanlarına gereksinim duyulduğu,
  - Kaplamalı (%8 stainless steel cover) tek ve çift camın kaplamasız tek ve çift cama göre uzun vadede (% değer ve birim belirtilmeden) daha iyi sonuçlar verdiği

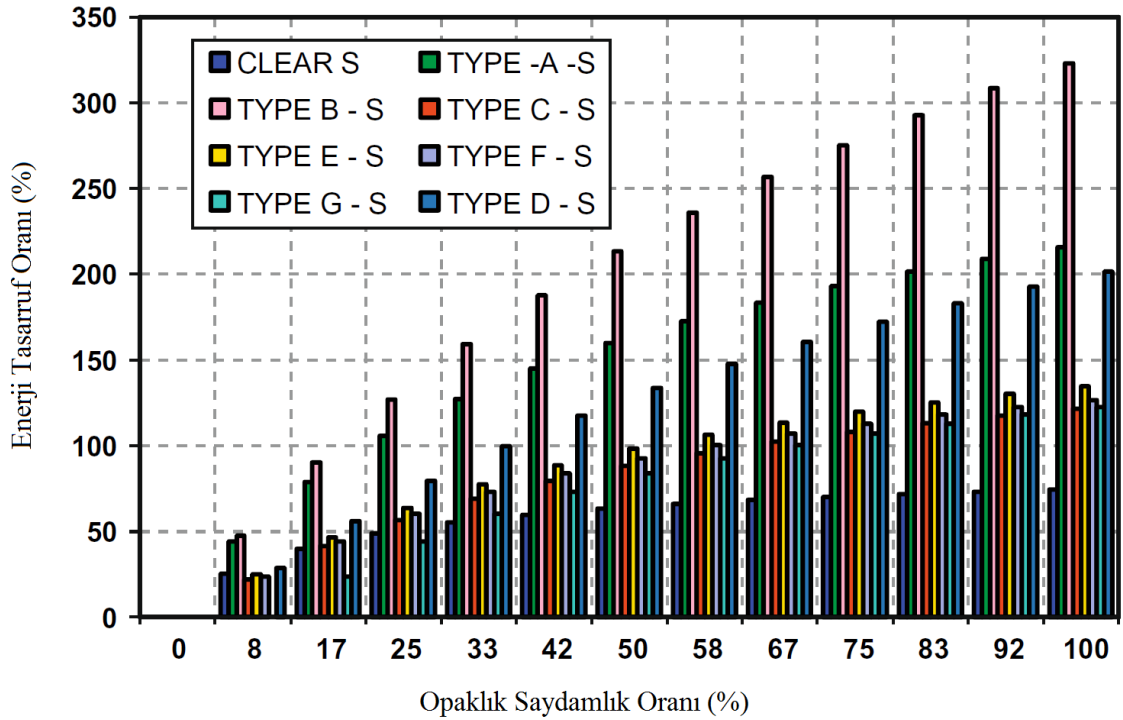
belirlenmiştir [62].

Hassouneh K. ve diğerleri Amman/Ürdün şehrindeki apartmanlarda enerji etkinliği için yedi cam türü, on iki opaklık saydamlık oranı ile dört ana yön alternatiflerini ve bu alternatiflerin geri ödeme sürelerini incelemişlerdir. SDS (Self Developed Simulation) programını kullanarak kat yüksekliği 3m, zemin alanı 525m<sup>2</sup>, toplam alanı 3.163 m<sup>2</sup> olan bir binanın 4x4m boyutlarındaki bir odası için çalışma yapılmıştır. Tek camlı doğramalar için ısı geçirgenlik katsayısı U=6.7 W/m<sup>2</sup> K, dış sıcaklık sıcaklık 12<sup>0</sup>C, rüzgar hızı (yön belirtilmeksizin) 2.7km/s olarak tanımlanırken, ısıtma dönemi Kasım-Nisan ayları arasında 6 ay olarak kabul edilmiştir. Çalışmadaki cam türleri (U ve SHGC katsayıları belirtilmeden);

- A tipi cam; kaplamasız çift cam,
- B tipi cam; iç camında low-e kaplamalı (Pilkington) çift cam,
- C tipi cam; dış camında güneş kontrolü sağlayan (Glastroesch) çift cam,
- D tipi cam; dış camında güneş kontrolü sağlayan (Pilkington) çift cam,
- E, F ve G tipi camlar ise sırasıyla; mavi, bronz ve gri renk kaplamalı camlar olarak tanımlanmıştır. 12m<sup>2</sup>'lik yapı kabuğu için enerji doğrulaması yapılmadan elde edilen hesaplamalara göre;
- Güney yönünde A tipi camın %100 opaklık saydamlık oranında (tüm cephe cam olduğunda) %250 enerji tasarrufu yaptığı (kaplamasız tek cama göre 3 sefer daha fazla enerji tasarrufu yaptığı)
- B türü camın güney yönünde kaplamasız tek cama göre 5 sefer daha fazla enerji tasarruf yaptığı,

- Sadece B türü camın (% değer ve birim belirtilmeden) kuzey yönünde enerji tasarruf yaptığı,
- C türü camın kuzey yönünde %100 opaklık saydamlık oranında (cephenin tamamı cam olduğunda) enerji kaybının %20 olduğu,
- C türü camın güney yönünde kullanılması durumunda opaklık saydamlık oranı arttıkça (% değer ve birim belirtilmeden) enerji tasarruf oranının arttığı,
- D türü camın tüm yönlerde kaplamasız tek cama göre (% değer ve birim belirtilmeden) enerji tasarrufunun daha iyi olduğu,
- Kuzey yönünde D türü camın B türü camdan sonra ikinci en iyi alternatif olduğu,
- E, F ve G cam türlerinin;
  - Tüm yönlerde (% değer ve birim belirtilmeden) birbirine yakın değerlerde olduğu,
  - Güney yönünde enerji tasarrufunun %160 olduğu,
  - Kuzey yönünde enerji kaybının %20 olduğu

belirlenmiştir [63].



Şekil 2.3. Güney yönünde opaklık saydamlık ve enerji tasarruf oranlarına göre cam türleri

Kaynak: [63], s. 1588

### 2.3. Opaklık Saydamlık Oranıyla İlgili Alanyazınlar

Yang Q. ve diğerleri yazları sıcak kışları soğuk iklim bölgesindeki 3 farklı şehirde (Chongqing, Şanghay ve Wuhan), 3 farklı HVAC, 2 farklı cam türü (low-e kaplamalı ve kaplamasız çift cam), 4 ana yön ve 9 opaklık saydamlık oranının ısıtma-soğutma ve toplam enerji tüketimine etkilerini incelenmişlerdir. Çalışmada özellikle yatak odalarının enerji tüketimleri değerlendirilmiştir. Kullanım alanı 2.648 m<sup>2</sup>, bina şekil faktörü 0.27, kat yüksekliği 3m, katta 4 bağımsız birimi olan 6 katlı bir apartman projesi DeST programında modellenmiştir. Enerji tüketim eşitlemesi yapılmayan söz konusu ilk modelin opaklık saydamlık oranları; güneyde %50, kuzeyde %45, doğu-batıda %30 olarak tanımlanmıştır. Camların güneş ışınım ısı geçirgenlik katsayısı formüllerle hesaplanmış ve birden fazla yılın ortalaması alınarak günlük meteorolojik veriler oluşturulmuştur. Simülasyon sonuçlarına göre;

- Opaklık saydamlık oranı büyüdükçe (%değer ve birim belirtilmeden);
  - Chongqing şehrinde ısıtma-soğutma ve toplam enerji ihtiyacının doğrusal olarak arttığı,
  - Şanghay ve Wuhan şehirlerinde ısıtma enerji ihtiyacı stabil kaldığı ve soğutma ve toplam enerji ihtiyacının doğrusal olarak arttığı,
- Yatak odalarında low-e kaplamalı cam kullanıldığında optimum enerji tasarrufunun;
  - Chongqing şehrinde doğuya yöneldiğinde opaklık saydamlık oranının %10-%40 aralığında olduğu,
  - Şanghay ve Wuhan şehirlerindeyse; Kuzeye ve güneye yönelme durumunda %10-%50, Doğu ve batıya yönelme durumunda %10-%30 aralığında olduğu,
- Yatak odalarının doğu ve batıya yönelmesi durumunda (%değer ve birim belirtilmeden) enerji tüketiminin arttığı ve pencerelerde gölgeleme elemanları kullanılması gerektiği

belirlenmiştir [64].

Koohsari A. M. ve diğerleri kat yüksekliği 3.2m, ölçüleri 5x6m olan bir oturma odasında, pencerenin farklı yükseklik ve farklı genişlik alternatiflerinin (Şekil 2.4) ısıtma-soğutma ve aydınlatma enerjisine etkilerini araştırmışlardır. Parametrik yaklaşım ve parametrik metodoloji kullanılarak, ılıman iklime sahip Rasht/Giulan/İran konumu için; ısıl hesaplamalarda EnergyPlus 8.1.0, aydınlatma hesaplamalarında Radiance 2.01 ve

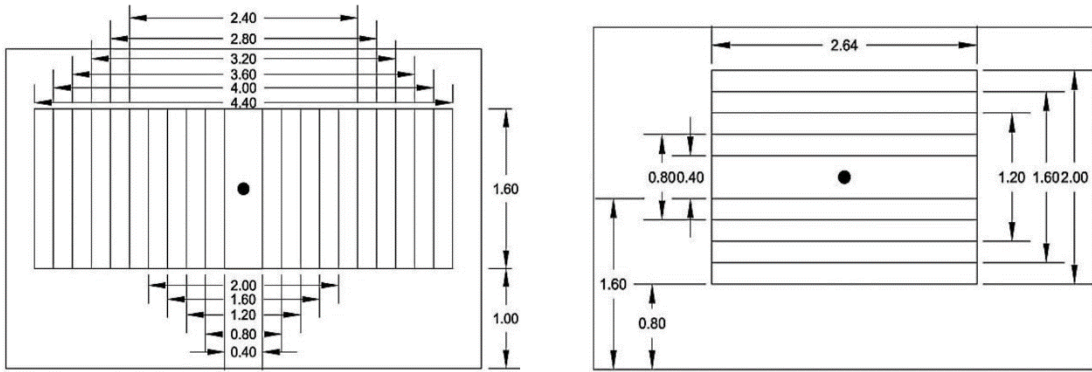


Daysim 1.08v. programları kullanılmıştır. Simülasyon modellerinde; oda ısıtma-soğutma sıcaklık sınır değerleri 25°C-20°C, pencere ısı geçirgenlik katsayısı  $U=2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$  ve aydınlatma gereksinimi olarak 135 lux tanımlanmıştır [62].

Gerçekçi model elde edilmeden yapılan hesaplamalara göre;

- Pencere ölçülerinin 0.40m den 4.40m ye 0.40m'lik artışlarla genişletilmesi durumunda (11 farklı genişlik);
  - Aydınlatma enerjisinin %20 azaldığı,
  - Soğutma enerjisinin %20 arttığı,
  - Isıtma enerjisinin %7 arttığı,
- Pencere ölçülerinin 0.40m den 2m'ye 0.40m'lik artışlarla genişletilmesi durumunda (5 farklı yükseklik);
  - Aydınlatma enerjisinin %40 azaldığı,
  - Soğutma enerjisinin %10 arttığı ve
  - Isıtma enerjisinin %7 arttığı,

belirlenmiştir [65].



**Şekil 2.4.** Pencere alternatif yükseklik ve genişlikleri  
**Kaynak:** [65], s.191

Didwania S. ve diğerleri Yeni Delhi/Hindistan iklim bölgesi için, zemin alanları 900, 1.600 ve 2.500 m<sup>2</sup> olan farklı en boy oranlarına sahip iki katlı ofis binalarında, dört farklı yön ve üç farklı cam türü alternatiflerinin optimum opaklık saydamlık oranlarına etkisini incelemiştir. EnergyPlus programında gerçekçi model elde edilmeden yapılan çalışmada;

- Alternatif opaklık saydamlık oranları %5-%100 aralığında,
- Çalışma saatleri 9:00-21:00 aralığında ve
- Oda ısıtma-soğutma sıcaklık sınır değerleri 20<sup>0</sup>C-24<sup>0</sup>C

olarak tanımlanmıştır. Simülasyon hesaplamaları optimizasyon programı olan GenOpt'de değerlendirilerek, optimum enerji tüketimini sağlayan opaklık saydamlık oranlarının; kuzey, güney, doğu ve batı yönlerinde sırasıyla;

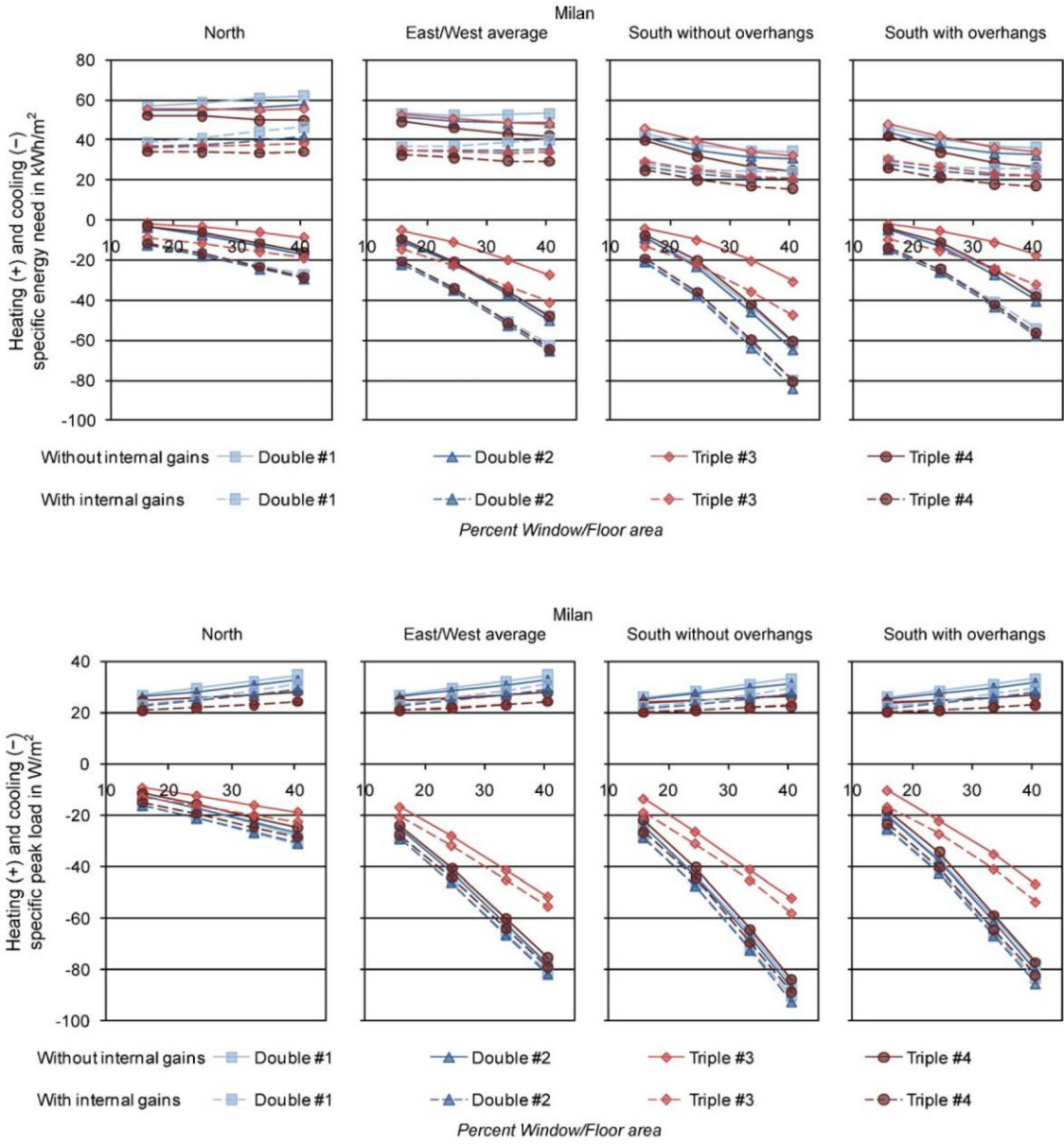
- Low-e kaplamalı çift camda (SHGC=0.25, [Visible Light Transmittance] VLT=0.39 ve U=3.3W/m<sup>2</sup>K); %45-%55, %15-%20, %25-%30 ve %20,
- Tek camda (SHGC=0.81, VLT=0.88 ve U=6.1 W/m<sup>2</sup>K); %20-%30, %5, %10 ve %10,
- Kaplamalı tek camda (SHGC=0.47, VLT=0.55 ve U=5.6W/m<sup>2</sup>K); %30-%40, %10, %15 ve %10

olduğu belirlenmiştir [66].

Gasparellaa A. ve diğerleri dört farklı iklim bölgesi (Paris, Nice, Milan ve Roma) için dört farklı pencere zemin alan oranları (%16, %25, %34 ve %41) ve cam türlerinde;

- İkili cam #1 (U=1.4 W/m<sup>2</sup>K ve ST [Solar Transmittance]=0.61),
- İkili cam #2 (U=1.1 W/m<sup>2</sup>K ve ST=0.61),
- Üçlü cam #3 (U=0.6 W/m<sup>2</sup>K ve ST=0.40),
- Üçlü cam #4 (U=0.7 W/m<sup>2</sup>K ve ST=0.59),

alternatiflerinin ısıtma-soğutma enerji tüketime etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada 10.2x6.1m ölçülerindeki tek yöne pencereli iki katlı konutun TRNSYS programında hazırlanan enerji modelinde, iç mekan ısıtma-soğutma sıcaklık sınır değerleri 26<sup>0</sup>C-20<sup>0</sup>C ve iklim verileri aylık ortalamalar olarak tanımlanmıştır. Enerji doğrulaması yapılmayan simülasyon modeli hesaplamalarına göre Milan şehrine ait ısıtma-soğutma enerji tüketim grafikleri verilerek (Şekil 2.5);



Şekil 2.5. Milan şehri için yönlere ve cam türlerine dayalı ısıtma dönemindeki ısıtma-soğutma enerji tüketimleri

Kaynak: [67], s. 1034

- Paris, Nice ve Roma şehirleri ısıtma-soğutma enerji tüketim hesaplamalarının (% değer ve birim verilmeden) Milan şehrine yakın olduğu,
- Doğu-batı enerji ihtiyacı farkının  $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'den az olduğu,
- Isıtma dönemindeki enerji ihtiyacı için (% değer ve birim verilmeden);
  - Güney yönündeki opaklık saydamlık oranı arttığında ısıtma enerjisi tüketiminin düştüğü,

- Üçlü cam #4 alternatifinin ikili cam #1 ve #2 alternatiflerine yakın olduğunu ve en iyi performansı Üçlü cam #3 alternatifinin gösterdiği,
- En yüksek soğutma enerjisi ihtiyacı; Paris-Milan şehirleri için 20-30 W/m<sup>2</sup>K ve Nice-Roma şehirleri için 15-25 W/m<sup>2</sup>K olduğu,
- Soğutma dönemindeki enerji ihtiyacı için (% değer ve birim verilmeden);
  - Güney yönündeki gölgeme elemanları kullanılması durumunda soğutma enerji tüketiminin doğu ve batı yönündekiyle aynı seviyelerde kaldığı,
  - Üçlü cam #4 alternatifinin güney yönünde gölgeleme elemanı kullanılmadığı alternatiflerde 80-100 W/m<sup>2</sup> olduğu,
  - Enerji performans sıralamasının; Üçlü cam #3, Üçlü cam #4, ikili cam #2 ve ikili cam #1 olduğu,
- Genel değerlendirmedeyse (% değer ve birim verilmeden);
  - Geniş pencere açıklığı kullanımının azami enerji tüketimini çok az arttırdığı,
  - En iyi enerji performansının güney yönlenmesinde olduğu,
  - Isıtma enerji performansı için ısı geçirgenliği düşük, ışık geçirgenliği yüksek cam kullanılması gerektiği,
  - Soğutma enerji performansı için ışık geçirgenliği yüksek cam kullanılması gerektiği ve
  - Gölgeleme elemanı kullanımının ısıtma enerji performansını etkilemediği ve soğutma enerji performansını arttırdığı

belirlenmiştir. Toplam ısıtma-soğutma enerji performansı için yorum yapılmamıştır [67].

Yıldız ve ark. İzmir ilindeki (sıcak nemli iklim) bir eğitim binasında farklı cam türleri, farklı yönler ve farklı opaklık saydamlık oranları alternatiflerinin enerji tüketimine etkisini incelemişlerdir. Kat yüksekliği 4m, zeminde 1.150m<sup>2</sup> alana sahip olan 4 katlı bina EnergyPlus programında üç ana zon (ısı bölgesi) tanımlanarak BESTTEST senaryo 600 uygulanmıştır. Söz konusu dört ana yönde altı opaklık saydamlık oranı (%10, %20, %30, %40, %50 ve %60) ve çift cam ile low-e cam alternatiflerinin ısıtma ve soğutma enerjileri hesaplanmıştır. Opaklık saydamlık oranı %10'dan %60'a çıkması durumunda;

- Isıtma enerjisi açısından;
  - Çift cam kullanılması durumunda; güney, kuzey, batı ve doğu cephelerinde sırasıyla %30, %14, %11.9 ve %11.4 oranında azaldığı,

- Low-e cam kullanılması durumunda; güney, kuzey, batı ve doğu cephelerinde sırasıyla %29, %17, %12.47 ve %11.8 oranında azaldığı,
- Soğutma enerjisi açısından;
  - Çift cam kullanılması durumunda; güney, kuzey, doğu ve batı cephelerinde sırasıyla %28.4, %13.7, %17.5 ve %16.5 oranında arttığı,
  - Low-e cam kullanılması durumunda güney cephesinde; opaklık saydamlık oranı %10 olması durumunda %4, opaklık saydamlık oranı %60 olması durumunda %8.6 azaldığı,
- Isıtma ve soğutma enerjisi toplamı açısından;
  - Çift cam kullanılması durumunda; doğu, güney, kuzey ve batı cephelerinde sırasıyla %6.5, %3.2, %0.6 ve %4.9 oranında arttığı,
  - Low-e cam kullanılması durumunda; güney, batı ve doğu cephelerinde sırasıyla %4.5, %3.2 ve %0.2 oranında azaldığı ve
- Low-e kaplamalı camların özellikle soğutma enerjisini azalttığı

belirlenmiştir [68].

Rathi P. yüksek lisans tezinde Ofis/Ticari Binalar Enerji Tüketim Araştırma Merkezince (CBECS/Commercial Buildings Energy Consumption Survey) tanımlanan küçük, orta ve büyük (1.115m<sup>2</sup>lik alana sahip sırasıyla bir, üç ve on iki katlı) ofislerde ABD'deki (Amerika Birleşik Devletlerinde) yedi farklı iklim bölgesinde, iki farklı bina en boy oranı (1:1 ve 1:3) ve dört farklı (kaplamasız, renkli kaplamalı, low-e kaplamalı ve yansıtıcı kaplamalı) cam alternatifleri için optimum opaklık saydamlık oranları önermiştir. Winsel ve IEVE programlarıyla gerçekçi model elde edilmeden yapılan simülasyon hesaplamalarına göre ASHRAE standardında önerilen ısıtma-soğutma enerji tüketimini sağlayan opaklık saydamlık oranları;

- 1:3 bina en boy oranında;
  - Çok sıcak ve nemli iklimde renkli ve low-e kaplamalı cam için %15-%45 ve kaplamasız cam için %15-%30,
  - Sıcak, kuru iklimde tüm cam alternatifleri için %15-%30,
  - Sıcak, kıyı iklim bölgesinde kaplamasız camlarda %15-%30, diğer camlarda %15-%45,
  - Karma, nemli iklimde kaplamasız camlarda %15-%30, renkli ve low-e kaplamalı camlarda %15-%45

- Serin ve nemli iklimde kaplamasız ve renkli kaplamalı camlar %15-%30 ve low-e kaplamalı camlarda %15-%45
- Serin ve kuru iklimde tüm cam alternatifleri için %15-%30,
- Çok soğuk iklimde tüm cam alternatifleri için %15-%30 olduğu ve
- 1:1 en boy oranında tüm iklim bölgelerinde ASHRAE standardını sağlayan bir opaklık saydamlık değeri olmadığı belirlenmiştir [69].

Pino A. ve diğerleri Santiago (Şili/Güney Amerika) için ofis binalarında; üç farklı gölgeleme alternatifi, dört farklı yön, beş farklı saydamlık oranı (%20, %40, %60, %80 ve %100) ve dört farklı cam türü (kaplamalı ve kaplamasız, tek ve çift cam) alternatiflerinin enerji tüketimine etkisini incelemiştir. EDSLTAS ve Ecotect programlarıyla, 10 katlı ve 16x16m boyutlarıyla hazırlanan modelde duvar 3cm EPS ısı yalıtımlı 15cm betonarme duvar, kullanım saatleri olarak 9.00-17.00, iç sıcaklık 22°C ve iklim verisi programların veri tabanında bulunan IWEC dosyası olarak tanımlanmıştır. Gerçekçi model elde edilmeden 288 farklı simülasyon modeli hesaplamalarına göre;

- Opaklık saydamlık oranlarına göre enerji tüketim aralıklarının;
  - Opaklık saydamlık oranı %20 olduğunda 40 kWh/m<sup>2</sup>yıl,
  - Opaklık saydamlık oranı %50 olduğunda 40-70kWh/m<sup>2</sup>yıl,
  - Opaklık saydamlık oranı %100 olduğunda 50-1550kWh/m<sup>2</sup>yıl olduğu
- Soğutma döneminde gece havalandırması ile soğutma enerjisi tüketiminden %37 tasarruf edildiği ve
- %20 opaklık saydamlık oranı olduğunda günışığının yılın %80'inde yeterli olduğu

belirlenmiştir [70].

Poirazis H. ve diğerleri İsveç'te ofis binaları için opaklık saydamlık oranları (%30, %60 ve %100), yönlenme (kuzey-güney, doğu-batı ve kuzey-güney ile 45°lik açı yönleri), yedi cam türü, gölgeleme elemanları, sıcaklık ayarları (21°C-26°C, 22°C-24.5°C ve 22°C-23°C) ve plan tipleri (açık ofis ve hücre ofis) alternatiflerinin enerji tüketimine etkisini incelemiştir. IDA ICE programında kat alanı 6.177m<sup>2</sup>, kat yüksekliği 3.5m olan altı katlı binanın çalışma saatleri 8:00-17:00, aydınlatma sistemi floresan (12W/m<sup>2</sup>) olarak tanımlanmıştır. HVAC sisteminde ısıtma verimi %100 ve soğutma verimi %70 olarak belirlenirken kullanım fonksiyonu değişen odalara farklı bir HVAC sistemi tanımlanmış

(CAV (Constant Air Volume/sabit hava debili), VAV (Variable Air Volume/değişken hava debili) ve AHU (Air Handling Unit/klima santrali)).

İç mekanların ısı geçirimsiz (adiabatic) olduğu kabul edilen ve enerji doğrulaması yapılmayan %30 opaklık saydamlık oranına sahip ilk simülasyon modelinde; üç farklı yön, üç farklı ısıtma-soğutma iç sıcaklık değeri ve iki farklı plan tipi (açık ofis ve hücre ofis) olmak üzere on sekiz farklı alternatif oluşturulmuştur. Bu “referans” simülasyon modelinden yola çıkılarak;

1. Alternatifte opaklık saydamlık oranının enerji tüketimine etkisini değerlendirmek için referans modeldeki opaklık saydamlık oranı %30’dan %60’a çıkarılmış,
2. Alternatifte referans modeldeki çift cam üçlü cam yapılarak doğramaların ve camın ısı geçirgenlik katsayıları (U) %değer ve birim belirtilmeden düşürülmüş,
3. Alternatifte 2. Alternatiften türetilerek ısı geçirgenlik katsayısı (U) değiştirilmeden ve toplam güneş geçirgenliği (g) (solar transmittance) 0.58’den 0.35’ düşürülerek üçlü cam çift camla değiştirilmiş,
4. Alternatifte 3. Alternatiften türetilerek soğutma enerjisi etkisini değerlendirmek için sadece (g) 0.28’e düşürülmüş,
5. Alternatifte 4. Alternatiften türetilerek toplam güneş geçirgenliğinin ısıtma ve soğutma enerji tüketimine etkisini değerlendirmek için  $g=0.58$ ’e çıkarılmış,
6. Alternatif 3. Alternatiften türetilerek sadece cama içten kaplama tanımlanmış,
7. Alternatif 3. Alternatiften türetilerek sadece cam dışından gölgeleme elemanı

alternatifleri tanımlanmıştır.

Söz konusu alternatiflerin simülasyon hesaplamaları değerlendirildiğinde;

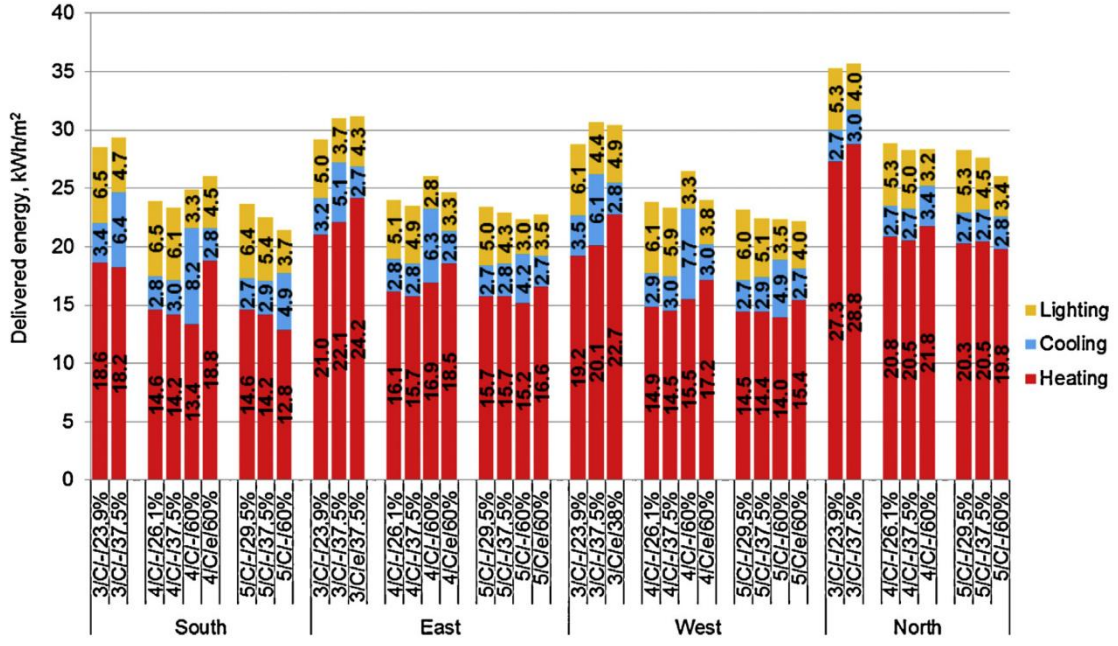
- %60 opaklık saydamlık oranında kaplamasız üçlü cam yerine, çift low-e kaplamalı ve argon gazlı üçlü cam kullanıldığında yıllık toplam enerji tüketiminin  $18.2 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$  düştüğü,
- %60 opaklık saydamlık oranına sahip 5. Alternatifin 3. Alternatifle karşılaştırıldığında yıllık toplam enerji tüketiminin  $12,1 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$  arttığı,
- 3. Alternatifin %30 opaklık saydamlık oranında kuzey-güneye  $45^\circ$  lik açı yapan modellerinde; açık ofis alternatifi hücre ofis alternatifine göre;
  - Isıtma enerjisi tüketiminin  $7 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$  düştüğü,
  - Soğutma enerjisi tüketiminin  $3 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$  arttığı,
  - Toplam enerji tüketiminin  $4 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$  arttığı,

- %60 ve %100 opaklık saydamlık oranlarında çift cam yerine kaplamasız üçlü cam tanımlandığında (2. Alternatif) toplam enerji tüketiminin sırasıyla 18 ve 25 kWh/m<sup>2</sup>yıl düştüğü,
- %60 ve %100 opaklık saydamlık oranlarında açık ofis hücre ofisle karşılaştırıldığında sırasıyla;
  - Isıtma enerji tüketiminin 8 ve 7 kWh/m<sup>2</sup>yıl azaldığı,
  - Soğutmada enerji tüketiminin 4 ve 2 kWh/m<sup>2</sup>yıl arttığı,
  - Toplam enerji tüketiminin 2 ve 4 kWh/m<sup>2</sup>yıl arttığı,
- %30 opaklık saydamlık oranında Yönlenmeye bağlı enerji tüketim farklarının 0,5-1 kWh/m<sup>2</sup>yıl aralığında kaldığı,
- Opaklık saydamlık oranının aydınlatma enerjisini etkilemediği,
- Aydınlatma enerjisinin toplam tüketiminin yaklaşık %10'u kadar olduğunu,
- İç sıcaklık ısıtma-soğutma sınır değerleri 22<sup>0</sup>C ve 24,5<sup>0</sup>C olduğunda %30, %60 ve %100 opaklık saydamlık oranlarına göre enerji tüketimleri sırasıyla;
  - Aydınlatma enerjisi 14,13 ve 13 kWh/m<sup>2</sup>yıl azalması, dolayısıyla toplam tüketim oranının %11, %8 ve %7 azaldığı,
  - Isıtma enerjisi 52, 72 ve 92 kWh/m<sup>2</sup>yıl artması ve dolayısıyla toplam tüketim oranının %42, %46 ve %51 arttığı,
  - Soğutma enerjisi 11, 20 ve 30 kWh/m<sup>2</sup>yıl artması ve dolayısıyla toplam tüketim oranının %9, %13 ve %17 arttığı

belirlenmiştir [71].

Thalfeldta M. ve diğerleri soğuk iklim bölgelerindeki ofis binaları için opaklık saydamlık oranı, güneşten korunumu, ısı yalıtımı ve günışığı parametreleri için optimum enerji tüketimini sağlayan alternatifleri belirlemiştir. IDA ICE programıyla 33.6x16.8m boyutlarında, beş odadan oluşan ofis binasının enerji modelinde; dört yönde opaklık saydamlık oranı %23.9-%60 aralığında, üçlü, dördü ve beşli camların ısı geçirgenlik katsayılarının U=0.54-0.21 kWh/m<sup>2</sup> aralığında ve dört ana yönde gölgeleme elemanları kullanılması ve kullanılmaması alternatifleri değerlendirilmiştir. Ayrıca 19cm ve 7cm'lik iki beton plak arasına 15cm, 20cm, 25cm, 30cm ve 39cm'lik ısı yalıtım uygulamaları, bunların maliyetleri ve geri ödeme süreleri de analiz edilmiştir. Gerçekçi model elde edilmeden yapılan hesaplamalara göre yönlere ve enerji tüketimlerine göre optimum opaklık saydamlık oranlarının (Şekil 2.6);





Şekil 2.6. Yönlere ve enerji tüketimlerine göre 20cm-30cm ısı yalıtım alternatiflerinin enerji tüketimleri (kWh/m<sup>2</sup>)

Kaynak: [72], s. 315

- Üçlü camlar doğu, batı ve kuzeyde %23.9 iken güneyde %37.5,
- Dörtlü camlarda tüm yönlerde %37.5 ve
- Beşli camlarda tüm yönlerde %60

olduğu belirlenmiştir. Ayrıca optimum enerji etkinliğini sağlayan opaklık saydamlık oranlarının;

- Kuzey yönünde üçlü, dörtlü ve beşli camlarda sırasıyla; %23.9, %37.5 ve %60
- Üçlü cam alternatiflerinin tamamında %24.1

olduğu belirlenmiştir.

- Dörtlü cam alternatiflerinde;
  - Opaklık saydamlık oranının %26.1'den %37.5'e çıkması durumunda (%değer ve birim verilmeden) ısıtma ve aydınlatma enerjisinin düştüğü,
  - Soğutma enerjisinin (%değer ve birim verilmeden) güney, doğu ve batıda baskın olduğu,
  - En iyi enerji etkinliğinin
    - Güney yönünde gölgeleme elemanı olmadan %37.5 opaklık saydamlık oranında sağlandığı,

- Doğu ve batı yönlerinde gölgeleme elemanı ile birlikte %60 opaklık saydamlık oranında sağlandığı,
  - Kuzey yönündeki %60 opaklık saydamlık oranında soğutma enerjisinde önemli bir artış olmadan aydınlatma enerjisindeki düşüşten dolayı en düşük birincil enerji kullanımını olduğu,
- Beşli cam alternatiflerindeyse;
  - %60 Opaklık saydamlık oranında (%değer ve birim verilmeden) ısıtma ve aydınlatma birincil enerjinin düştüğü, ve soğutma enerjisinin güney, doğu ve batı yönlerinde önemli derecede arttığı,
  - En iyi enerji etkinliğinin;
    - %60 opaklık saydamlık oranında gölgeleme elemanı olmadan güney yönünde sağlandığı,
    - %60 opaklık saydamlık oranında gölgeleme elemanı kullanılarak doğu ve batı yönünde sağlandığı

belirlenmiştir [72].

#### 2.4. Yönlenme İle İlgili Alanyazınlar

Kheiri, F. farklı ülkelerdeki dört şehirde (Miami/Florida-ABD [tropikal], Las Vegas/Nevada-ABD [kurak iklim], Sheffield/İngiltere [ılıman iklim] ve Saint Petersburg/Rusya [karasal iklim]) HVAC ve aydınlatma enerjisiyle ilgili olarak dört ana yönde optimum opaklık saydamlık oranlarını incelemiştir. Ecotect programıyla 6x6x2.8m ölçülerindeki bir ofis mekanı için pencere ve camlar için ısı geçirgenlik katsayısını  $U=2.41\text{W/m}^2\text{K}$  ve ışık geçirgenlik katsayısını  $VLT=0.61$ , duvarlar için ısı geçirgenlik katsayısını  $U=2.63\text{W/m}^2\text{K}$  olarak belirleyerek 16.8 m<sup>2</sup>, 8.96 m<sup>2</sup>, 4.48 m<sup>2</sup> ve 3.2 m<sup>2</sup> cam alan alternatifleriyle simülasyon modelini oluşturmuşlardır. Enerji tüketim doğrulaması yapılmadan elde edilen simülasyon hesaplamalarına göre;

- Miami’de toplam ısıtma ve soğutma enerji tüketiminin (%değer ve birim belirtilmeden) arttığı ve tüm yönlerde optimum opaklık saydamlık oranının %21.2 olduğu
- Las Vegas’da toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimi doğu ve güneyde tüm opaklık saydamlık oranlarında (%değer ve birim belirtilmeden) düzenli artış gösterdiği, ayrıca batı ve kuzeydeyse %42’nin altında kalan opaklık saydamlık oranlarında düzenli artış gösterdiği,

- Sheffield’da saydamlık oranı arttıkça (kuzey hariç) toplam ısıtma-soğutma enerjisinde (%değer ve birim belirtilmeden) az da olsa düştüğü,
- Saint Petersburg’da tüm yönlerde optimum opaklık saydamlık oranının %21.1 olduğu

belirlenmiştir [73].

Ayyad T. M. sıcak ve nemli iklim bölgesindeki Dubai’de farklı oda tipolojileri, üç farklı opaklık saydamlık oranı (%36, %68 ve %10), üç ana yön (güney, kuzey ve doğu) ve üç farklı ısı geçirgenlik katsayısına sahip pencere ( $U=0.34 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $U=5.9 \text{ W/m}^2\text{K}$  ve  $U=3.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) alternatiflerinin enerji tüketim hesaplamalarına etkisini araştırmıştır. Araştırma projesi kapsamında hazırlanan yüksek lisans tezinde oda tipolojisi olarak; 3.5m yüksekliğindeki orta ve köşe odalar için üç farklı büyüklük (9.2x16.37m [1:1.8], 12.27x12.27m [1:1] ve 16.37x9.2m [1.8:1]) alternatifleri incelenmiştir. Simülasyon modelleri IES-VE programında oluşturularak enerji tüketim doğrulaması yapılmadan elde edilen simülasyon hesaplamalarına göre;

- Güneye yönelen ofislerin doğu ile kuzeye yönelen ofislere göre enerji tüketimlerinin sırasıyla (tablo haline getirmemiz daha mı iyi olur?);
  - En-boy oranı 1:1.8 olan ofislerde opaklık saydamlık oranı;
    - %100 olduğunda %4.5 ve %40.1,
    - %68 olduğunda %3.8 ve %36.5,
    - %36 olduğunda %3 ve %29,
  - En-boy oranı 1:1 olan ofislerde opaklık saydamlık oranı;
    - %100 olduğunda %4.5 ve %38,
    - %68 olduğunda %3.8 ve %33.8,
    - %36 olduğunda %2.9 ve %25.9,
  - En-boy oranı 1.8:1 olan ofislerde opaklık saydamlık oranı;
    - %100 olduğunda %4 ve %35.4,
    - %68 olduğunda %3.7 ve %30.7,
    - %36 olduğunda %2.9 ve %23.6 oranlarında azaldığı,
- Opaklık saydamlık oranları %100 olan ofislerin %68 ve %36 olan ofislere göre enerji tüketimlerinin sırasıyla (tablo haline getirmemiz daha mı iyi olur?);
  - Güneye yönelen ofislerde en-boy oranı;
    - 1.8:1 olan ofislerde; %22.5 ve %46.4,
    - 1:1 olan ofislerde; %21.2 ve %43.9,

- 1:1.8 olan ofislerde; %20.8 ve %38.9
  - Doğuya yönelen ofislerde en-boy oranı ;
    - 1.8:1 olan ofislerde; %22 ve %45.5,
    - 1:1 olan ofislerde; %20.7 ve %42.9,
    - 1:1.8 olan ofislerde; %20.5 ve %38.2
  - Kuzeye yönelen ofislerde en-boy oranı;
    - 1.8:1 olan ofislerde; %17.8 ve %36.5,
    - 1:1 olan ofislerde; %15.9 ve %33,
    - 1:1.8 olan ofislerde; %15.1 ve %27.8 oranında azaldığı,
- Pencere ısı geçirgenlik katsayısı  $U=0.34 \text{ W/m}^2\text{K}$  olan ofislerin  $U=5.9 \text{ W/m}^2\text{K}$  ve  $U=3.4 \text{ W/m}^2\text{K}$  olan ofislere göre enerji tüketimleri sırasıyla;
  - Güney yönünde;
    - En-boy oranı 1.8:1 olan ofislerde opaklık saydamlık oranı;
      - %100 olan ofislerde; %9.7 ve %23,
      - %68 olan ofislerde; %11 ve %23.7,
      - %36 olan ofislerde; %11.1 ve %22.5
    - En-boy oranı 1:1 olan ofislerde opaklık saydamlık oranı;
      - %100 olan ofislerde; %10.5 ve %23.5,
      - %68 olan ofislerde; %11.2 ve %23.6,
      - %36 olan ofislerde; %10.7 ve %21
    - En-boy oranı 1:1.8 olan ofislerde opaklık saydamlık oranı;
      - %100 olan ofislerde; %11.2 ve %23.8,
      - %68 olan ofislerde; %11.3 ve %23,
      - %36 olan ofislerde; %10.2 ve %20 oranında azaldığı
  - Doğu yönünde
    - En-boy oranı 1.8:1 olan ofislerde opaklık saydamlık oranı;
      - %100 olan ofislerde; %9.5 ve %22.6,
      - %68 olan ofislerde; %10.7 ve %23.3,
      - %36 olan ofislerde; %10.8 ve %22
    - En-boy oranı 1:1 olan ofislerde opaklık saydamlık oranı;
      - %100 olan ofislerde; %10.3 ve %23.2,
      - %68 olan ofislerde; %10.9 ve %23.1,

- %36 olan ofislerde; %10.4 ve %20.1
- En-boy oranı 1:1.8 olan ofislerde opaklık saydamlık oranı;
  - %100 olan ofislerde; %10.9 ve %23,
  - %68 olan ofislerde; %11 ve %22.5,
  - %36 olan ofislerde; %9.9 ve %19.4 oranında azaldığı
- Kuzey yönünde
  - En-boy oranı 1.8:1 olan ofislerde opaklık saydamlık oranı;
    - %100 olan ofislerde; %13.3 ve %25.1,
    - %68 olan ofislerde; %13.3 ve %24.3,
    - %36 olan ofislerde; %11.8 ve %20.8
  - En-boy oranı 1:1 olan ofislerde opaklık saydamlık oranı;
    - %100 olan ofislerde; %13.3 ve %24.6,
    - %68 olan ofislerde; %12.9 ve %23.1,
    - %36 olan ofislerde; %10.7 ve %18.6
  - En-boy oranı 1:1.8 olan ofislerde opaklık saydamlık oranı;
    - %100 olan ofislerde; %10.9 ve %23,
    - %68 olan ofislerde; %11 ve %22.5,
    - %36 olan ofislerde; %9.9 ve %17 oranında azaldığı

belirlenmiştir [74].

Kim H. ve diğerleri LEED sertifikası alan 808m<sup>2</sup>'lik tek katlı CESS acil servisi için; 12 HVAC, 127 çatı strüktürü, 88 duvar malzemesi ve 12 yönlenme alternatiflerinin enerji tüketimine etkisini incelemiştir. eQuest programında oluşturulan ve enerji doğrulaması yapılmadan oluşturulan model hesaplamalarına göre enerji tüketimini;

- En çok etkileyen faktörün 1507\$/yıl ile HVAC ve
- En az etkileyen faktörün 11-17\$/yıl ile yönlenme

olduğunu belirlemiştir [75].

Ochoa C. E. ve diğerleri Amsterdam/Hollanda'da ofis binaları için belirlenen görsel konfor ve iklimlendirme şartlarının optimum enerji tüketimini sağlayan opaklık saydamlık oranlarını belirlemiştir. EnergyPlus programında kat yüksekliği 2.7m, oda büyüklüğü 3.5x5.3m olan bir ofis odası modellenerek;

- İki farklı noktada bulunan 0.8m yüksekliğindeki çalışma yüzeyi için aydınlatma değeri 500lux ve

- Kaplamasız çift camlı doğramanın ısı geçirgenlik katsayısı  $U=1.7 \text{ W/m}^2\text{K}$  (gölgeleme elemanı yok)

olarak tanımlanmıştır. Söz konusu modelde (%0-%100 aralığında opaklık saydamlık oranları tanımlanarak) enerji doğrulaması yapılmadan elde edilen hesaplamalarda, optimum enerji tüketimini sağlayan opaklık saydamlık oranlarının;

- Kuzeyde %50-70,
- Güneyde %60,
- Doğu ve batıda %50-60 olduğu ve
- Panjur, gölgeleme elemanları ve gelişmiş cam teknolojileri kullanılarak güneş ışınımı ile parlama sorunlarının önüne geçilebileceği

belirlenmiştir [76].

Ghisi E. ve Tinker J. Brezilya (Florianópolis, Belém, Curitiba, Natal, Rio de Janeiro, Brasília ve Salvador) ve İngiltere (Leeds) şehirleri için dört ana yön için optimum enerji tüketimini sağlayan opaklık saydamlık oranı ve oda en boy oranları belirlemişlerdir. VisualDOE programında; kat yüksekliği 2.8m, 10 katlı bina için beş farklı (2:1, 1.5:1, 1:1, 1:1.5 ve 1:2) oda en boy oranı oluşturulmuştur. Çalışma yüzeyi yerden 0.75m ve 500lux aydınlanma şiddetiyle tanımlanırken Leeds (İngiltere) şehrinde 3 farklı binada 3 günlük ölçümlerle enerji doğrulaması yapılmıştır (-4.9, -4.7 e -4 hata payı [RMSE ve MBE değerleri verilmemiştir]). Oluşturulan alternatif modellerde (alternatif şehirlerde ölçülen 1 yıllık iklim verileri kullanılarak) dört ana yön için enerji tüketim hesaplamaları yapılmış ve yönlere ve oda en boy oranları bağlamında optimum enerji tüketimini sağlayan opaklık saydamlık oranları her şehir için detaylı bir şekilde belirlenmiştir. Yapılan hesaplamaların analizlerine göre (%değer ve birim belirtilmeden);

- Yapı kabuğunda az alana sahip olan derin odaların;
  - Aydınlatma enerjilerinin fazla olmasına rağmen enerji tüketimlerinin de az olduğu,
  - Optimum enerji tüketimini sağlayan pencere alanının daha yüksek olduğu,
- Oda indeksinin (oda hacmine yapı kabuğu alanı oranı) farklı oda ölçülerinde enerji tüketim tahmininde kullanılabileceği ve
- Taban alanı büyük olan odalarda optimum enerji tüketimini sağlayan opaklık saydamlık oranının yüksek olduğu

belirlenmiştir [77].

## 2.5. Güneşli ve Aydınlatmayla İlgili Alanyazınlar

Fasi M. A. ve Budaiwi I. M. Tahran/Suudi Arabistan'daki ofis binalarında 3 farklı cam alternatifinin enerji ve görsel performansa etkisini araştırmışlardır. Design Builder programında 36x22m boyutlarındaki 3.7m yüksekliğinde 11 katlı modele %50 opaklık saydamlık oranı uygulanmıştır. Simülasyon hesaplamaları aynı iklim bölgesinde bulunan mevcut ofislerin güncel aylık enerji tüketimleriyle eşitlenerek gerçekçi model elde edilmiştir. Gerçekçi modeldeki çift cam ( $U=2.8 \text{ W/m}^2\text{K}$  ve  $\text{SHGC}= 0,70$ ) yerine;

- Bronz renk kaplamalı çift cam ( $U=2.6 \text{ W/m}^2\text{K}$  ve  $\text{SHGC}= 0,50$ ) ve
- Low-e kaplamalı çift cam ( $U=1.9 \text{ W/m}^2\text{K}$  ve  $\text{SHGC}= 0,40$ )

alternatifleri ayrı modellerde tanımlanmış ve yeniden hesaplamalar yapılarak renkli ve low-e kaplamalı camlarda sırasıyla;

- Güneşli hesaplamalarda gözardı edildiğinde %9 ve %14,
- Güneşli hesaplamalarda dikkate alındığında;
  - Aydınlatma enerjisi açısından %14.8 ve %16.5
  - Soğutma enerjisi açısından %9.1 ve %14.5

oranlarında enerji tasarrufu yapıldığı belirlenmiştir [78].

Moretti E. ve Belloni E. Perugia/İtalya'da bir ofisin güneybatıya yönelen aynı termofiziksel özelliklere sahip iki komşu odada, low-e kaplama uygulanan camın ısıtma-soğutma ve aydınlatma enerjilerine etkisini analiz etmek için ölçüm ve hesaplamalar yapmışlardır. Mayıs-Haziran 2013 döneminde yapılan ölçümler EnergyPlus programına tanımlanarak enerji tüketim doğrulaması yapılmadan yıllık ısıtma-soğutma ve aydınlatma enerjileri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre low-e kaplamalı ofisin;

- İç sıcaklığının  $2^{\circ}\text{C}$ - $3^{\circ}\text{C}$  daha düşük olduğu ve cam yüzey sıcaklıkları farkının  $10^{\circ}\text{C}$  olduğu,
- Güneşli aydınlanma seviyesinin %59 daha düşük olduğu,
- Isıtma enerji tüketiminin %12.5 arttığı,
- Soğutma enerji tüketiminin %10.3 azaldığı ve
- Toplam ısıtma-soğutma enerji tüketiminin %15 oranında azaldığı

belirlenmiştir [79].

Franzetti C. ve diğerleri Carpentras ve Trappes'daki (Fransa) ofis binalarında güneşli ve aydınlatmanın ısı enerjisi tüketimi üzerine etkisini incelemişlerdir.  $2.800\text{m}^2$ lik 5 katlı bir ofis TRNSYS programında (CA-SIS ve LIGHT bölümleri kullanılarak)

modellenmiştir. Söz konusu modele çalışma saatleri 8:00-19:00 ve çalışma yüzeyi aydınlatma şiddeti olarak 425lux tanımlanmıştır. Yapılan simülasyon analizlerine göre (%değer ve birim verilmeden);

- Aydınlatma elemanları enerjisi 16 W/m<sup>2</sup>'den 9 W/m<sup>2</sup>'ye düşürüldüğünde ısıtma enerjisinin arttığı,
- Işık yayınının (Pencere alanının azalması olarak da değerlendirilerek) azalması ısıtma ve toplam enerji tüketiminin %50 enerji tasarrufu sağlarken aydınlatma enerjisinin %25 arttığı,
- doğal aydınlatma değerlendirilmediğinde soğutmanın ısıtmadan daha önemli olduğu

belirlenmiştir [80].

Barbhuiya S. ve Barbhuiya S. öğrencilerin ve çalışanların ısı konforunun sağlanması, üretkenliği ve performansı için Loughborough Üniversitesindeki (İngiltere) bir eğitim binasında iç mekan sıcaklıkları ve aydınlatma seviyesiyle ilgili ölçümler, hesaplamalar ve analizler yapmışlardır. Radyatörlerinde termostatik vana bulunan, iç mekanları 7:30-19:00 saatlerinde 19°C ye ısıtılan 3 katlı Loughbrough Üniversitesi İnşaat Mühendisliği binasında; HOB0 dataloggerlarla yılın en soğuk günlerinde (7 Kasım 2011-15 Mart 2012) iç ısı ölçümleri yapılmıştır. İklim verileri bina dışında bulunan meteoroloji istasyonundan elde edilmiştir. Ofis ekipmanları olarak dizüstü bilgisayar, masa lambası ve yazıcı tanımlanmıştır. Söz konusu ölçümler ve tanımlamalar IES programında oluşturulan simülasyon modeline tanımlanarak, hesaplanan - ölçülen değerler birbirine yaklaştırılmış fakat gerçekçi model elde edilememiştir. Yapılan ölçümler ve hesaplamalar sonucunda;

- Bina ana giriş kapısı zemin katta olduğundan zemin kattaki ofislerin 19°C ile diğer ofislerden daha soğuk olduğu,
- Çalışma yüzeyi aydınlatma seviyesinin 300lux ile CIBSE standartlarının belirlediği seviyenin altında kaldığı,
- Güneybatıya bakan odalarda çalışma yüzeyi aydınlatma seviyesi 100lux altında kaldığı için aydınlatma enerjisi arttığı
- Simülasyon sonuçları ısı konforun; Zemin katta 17.3°C ikinci katta da 21°C ile yetersiz kaldığı

belirlenmiştir [81].

Motuziene S. ve Juodis E. S. Litvanya'daki ofis binaları için opaklık saydamlık oranlarının enerji etkinliğini araştırmışlardır. Statik hesaplama modeliyle minimum opaklık saydamlık oranının %10-%20 olduğu hesaplandıktan sonra kat yüksekliği 3m ve



zemin alanı 3x5m olan tipik hücre ofislerine ait dikdörtgen bir bina Design Builder programında modellenmiştir. Oluşturulan modele duvar ısı geçirgenlik katsayısı  $U=0.243$  W/m<sup>2</sup>K, kullanım saatleri 8:00-17:00, iç mekan ısıtma-soğutma sıcaklık sınır değerleri olarak 21<sup>0</sup>C-24<sup>0</sup>C ve çalışma yüzeyi aydınlanma seviyesi olarak 500Lux tanımlanmıştır. (Ofis ekipmanları ve sıcak su kullanımının pencere ve camlardan kazanılan/kaybedilen enerjiyi etkilemediği düşünülerek hesaplamalara dahil edilmemiştir). Enerji tüketim doğrulaması yapılmadan ve elde edilen hesaplamalara göre;

- Pencerelerden kazanılan enerjinin güney yönünde kuzeye göre %50-%100 oranında fazla olduğu,
- Opaklık saydamlık oranı %100 olduğunda ısıtma enerjisinin toplam enerji tüketiminde (% değer ve birim belirtilmeden) kuzeyde en çok ve güneyde en az orana sahip olduğu,
- Soğutma enerjisinin toplam enerjinin %9-%47 sini oluşturduğu ve (% değer ve birim belirtilmeden) soğutma enerjisinde kuzeyde en az, güneyde en çok tüketim olduğu,
- Aydınlatma enerjisinin toplam enerjinin %5-%49 unu oluşturduğu ve aydınlatma enerji tüketiminin kuzeydeki %20 opaklık saydamlık oranında en çok, güneydeki %100 opaklık saydamlık olduğunda en az olduğu,
- İklimlendirme destek sistemlerin (pompa ve fanlar) toplam enerjinin %22-%44 ünü oluşturduğu,
- Güney, kuzey ve doğu yönlerinde opaklık saydamlık oranı %20'den %100'e çıkarıldığında;
  - Kaplamasız camda ( $U=1.6$  W/m<sup>2</sup>K, gün ışığı geçirgenliği %75 ve SHGC %73) enerji tüketiminin %300-%350,
  - Çok fonksiyonlu camda ( $U=1.4$  W/m<sup>2</sup>K, gün ışığı geçirgenliği %60 ve SHGC %34) enerji tüketiminin %220-%250 arttığı,
- Kuzey yönlerinde opaklık saydamlık oranı %20'den %40'e çıkarıldığında (cam türleri ve % değer belirtilmemiştir) bazı camlar aydınlatma enerji tüketiminin azaldığı

belirlenmiştir [82].

Kim S. H. ve diğerleri (Güney Kore Hükümetinin 'Binalarda Enerji Tasarrufu İçin Pencere Tasarım Kılavuzu' yönergesini inceleyerek) Seul şehri için iki gölgeleme elemanı, dört cam türü ve dört opaklık saydamlık oranı (%20, %40, %60 ve %80)

alternatifleriyle üç farklı senaryo oluşturmuş ve bu senaryoların dört ana yönelme için enerji tüketimine etkisini incelemişlerdir. Yüksekliği 2.7m olan 6x4.5m boyutlarındaki bir odanın COMFEN programında hazırlanan simülasyon modeli sonuçlarına göre enerji tüketimi için;

- Doğu yönünde yüksek opaklık saydamlık oranlarında; (% değer ve birim belirtilmeden) düşük ısı geçirgenlik ve düşük SHGC katsayılarının elverişli olduğu,
- Güney yönünde SHGC değerlerinin enerji tüketimini etkilemediğini ve
- Gölgeleme elemanlarının kullanılması ve aydınlatma kontrolünün uygulanması durumunda SHGC katsayısının opaklık saydamlık oranından daha önemli olduğu

belirlenmiştir [83].

Leskovar V. Z. Ve Premrov M., 6 farklı duvar kuruluşu, %0 ile %80 aralığındaki 11 farklı opaklık saydamlık oranının 4 ana yön için enerji tüketimine etkisini incelemişlerdir. “Düşük enerjili ahşap konutlar” isimli atölye çalışmasında tasarlanan; bina şekil faktörü 0.38 olan, zemin katta 11.7x8.5m ve I. Katta 11.7x9.8m boyutlara sahip 168.4m<sup>2</sup>’lik bir dubleks konutun statik hesaplama yapan PHPP programıyla modellenmişlerdir. Ahşap çerçeveli konstrüksiyon sistemi yapılan hesaplamalara göre enerji tüketimi için;

- Güney yönünde %80 opaklık saydamlık oranında en az ısıtma tüketimi olduğunu ve ısıtma ihtiyacının %52’sinin güneş ışınlarından kazanıldığı,
- Kuzeye yönünde opaklık saydamlık oranı %80’e çıkarıldığında ısıtma enerjisinin %37 arttığı,
- Doğu ve batı yönlerinin enerji tüketim davranışlarının (%değer ve birim belirtmeden) birbirine benzerlik gösterdiği ve
- 4 ana yönde opaklık saydamlık oranı arttıkça (%değer ve birim belirtmeden) soğutma enerji tüketiminin arttığı

belirlenmiştir [84].

## **2.6. Farklı Coğrafi Konum ve İklim Değişiklikleriyle İlgili Alanyazınlar**

Karimpoura M. ve diğerleri gelecekteki tahmini iklim değişikliklerinde tek ve çift camın enerji tüketimine etkisini incelemişlerdir. Adeliade/Avustralya için CSIRO (Common-wealth Science and Industrial Research Organisation) organizasyonunun 2070 yılı iklim tahminleri kullanılarak TMY (typical meteorological year) formatında iklim veri dosyası oluşturulmuştur. Oluşturulan iklim dosyası AccuRate programına

tanımlanarak tek katlı 205m<sup>2</sup>'lik bir bina modellenmiştir. Yapılan hesaplamalar “yıldız” sembolü derecelendirilmiştir. Derecelendirmede 3-9 yıldız aralığı kullanılmıştır. 10 yıldız; ısıtma ve soğutma enerjisi gereksinimi olmayan olarak kabul edilmiştir. Bu bağlamda yapılan derecelendirmelerin;

- Tahmini olarak dış sıcaklık artışından dolayı soğutma enerjisinin de yükseleceği,
- Tek camlı alternatiflerin en fazla 7 yıldız kadar çıktığı ve
- Çift camlı alternatiflerin en az 7,5 yıldız düştüğü

belirlenmiştir [85].

Zhou S. ve Zhao J. Shenzhen/Çin (yazları sıcak kışları ılık iklim bölgesi) için farklı duvar, çatı, cam ve iklim bölgeleri alternatiflerinin enerji tüketimine etkisini incelemiştir. TRNSYS programında kat yüksekliği 4m, 11 katlı, kullanım alanı 26.400m<sup>2</sup>, en-boy oranı 2.67, tek camlı (SHGC=0.855) alüminyum doğramalı, kuzeyde %25, güneyde %50, doğu ve batı yönlerinde %20lik opaklık saydamlık oranlarına sahip bir ofis binasının enerji simülasyon modeli oluşturulmuştur. 2010 yılına ait ölçülen iç ve dış ortam verilerine göre RMSE değerleri yerine ısıtma-soğutma tüketim endeksleri değerlendirilerek %3.9'luk bir hata payıyla enerji tüketim doğrulaması yapılmıştır. Gerçekçi model elde edildikten sonra;

- Duvarlardaki mevcut 1cm'lik ısı yalıtımı 2.5cm, 4cm, 6cm, 8cm, 10cm ve 12cm'lik ısı yalıtımı,
- Çatıda 2.5cm'lik ısı yalıtımı 4cm, 6cm, 8cm, 10cm, 12cm ve 14cm'lik ısı yalıtımı,
- Doğramalarda tek cam yerine ısı kontrollü (SHGC=0.755, U=2.83W/m<sup>2</sup>K), gölgelemeli-güneş kontrollü (SHGC=0.442, U=2.79W/m<sup>2</sup>K), ve low-e kaplamalı (SHGC=0.599, U=2.57W/m<sup>2</sup>K) camlar,
- Shenzhen yerine de Şanghay (yazları sıcak kışları soğuk), Beijing (soğuk), Shenyang (şiddetli soğuk) ve Harbin (çok şiddetli soğuk) iklim verileri

alternatif olarak değiştirilerek tekrar simülasyon hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara yapılan hassasiyet analizi doğrultusunda;

- Yazları sıcak kışları ılık geçen iklim bölgelerinde; gölgelemeli çift camın enerji tasarruf oranı %2.4 ve EPS ısı yalıtımının enerji tüketimini çok etkilemediği,
- Yazları sıcak kışları soğuk geçen iklim bölgelerinde; dış duvarda 4cm, çatıda 6cm ve gölgelemeli çift camın enerji tasarruf oranı %14.8 enerji tasarrufu sağladığı,
- Soğuk iklim bölgelerinde; dış duvarda 6cm, çatıda 8cm ve low-e kaplamalı çift camın %29.4 enerji tasarrufu sağladığı,

- Çok Soğuk iklim bölgelerinde; dış duvarda 8cm, çatıda 10cm ve low-e kaplamalı çift camın %36.3 enerji tasarrufu sağladığı,
- Çok şiddetli Soğuk iklim bölgelerinde; dış duvarda 10cm, çatıda 12cm ve low-e kaplamalı çift camın %43.4 enerji tasarrufu sağladığı

belirlenmiştir [86].

Berger. T.ve diğerleri Viyana/Avusturya için I. dünya savaşı öncesi, II. Dünya savaşı sonrası ve 2000 yılı sonrası dönemlerini temsilen üçer farklı binanın (toplamda dokuz binanın) gelecekteki iklim değişikliklerine göre göstereceği enerji performanslarını ortaya koymuşlardır. Uzun periyotta yapılan saatlik: sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı ve güneş ışınımına ait verilerin ortalamalarıyla “mevcut iklim verisini” oluşturmuş ve bu verilerle IPCC’nin (Intergovernmental Panel on Climate Change) SRES senaryolarından (Special Report on Emissions Scenarios) A1B seçilerek REMO/UBA aracılığıyla RCM (Regional Climate Models) bölgesel iklim modeli 2050 ve 2060 yılları için tanımlanmıştır. Yapım dönemi, yapı kabuğu ve konstrüksiyon farklılıklarından dolayı değişen enerji performanslarını karşılaştırabilmek için örnek binalarda aşırı ısınan güney ve batıya yönelen iki ayrı ofiste  $W/m^2$  üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. EDSL\_Tas programında oluşturulan simülasyon modellerinde farklı ofislere aynı; HVAC, ofis-aydınlatma elemanları, kullanıcı sayıları, ısıtma-soğutma değerleri tanımlanarak yıllık ısıtma-soğutma enerji tüketimleri hesaplanmıştır. 2050 ile ‘1961-1980’ yılı iklim verileri ile elde edilen enerji tüketimleri karşılaştırıldığında;

- I. Dünya savaşı öncesi yapılan örnek binalarda;
  - Isıtma enerjisinin toplam enerji talebinde baskın olduğu,
  - Isıtma enerjisi talebinin %30 azaldığı, soğutma enerjisi talebinin %92 arttığı,
- II. Dünya savaşı sonrası yapılan örnek binalarda;
  - Isıtma enerjisinin toplam enerji talebinde baskın olduğu,
  - Isıtma enerjisi talebinin %26 azaldığı, soğutma enerjisi talebinin %30 arttığı
- 2000 yılı sonrasında yapılan örnek binalarda;
  - Isıtma enerjisinin toplam enerji talebinde baskın olduğu,
  - Isıtma enerjisi talebinin %11 azaldığı, soğutma enerjisi talebinin %28 arttığı

belirlenmiştir [87].

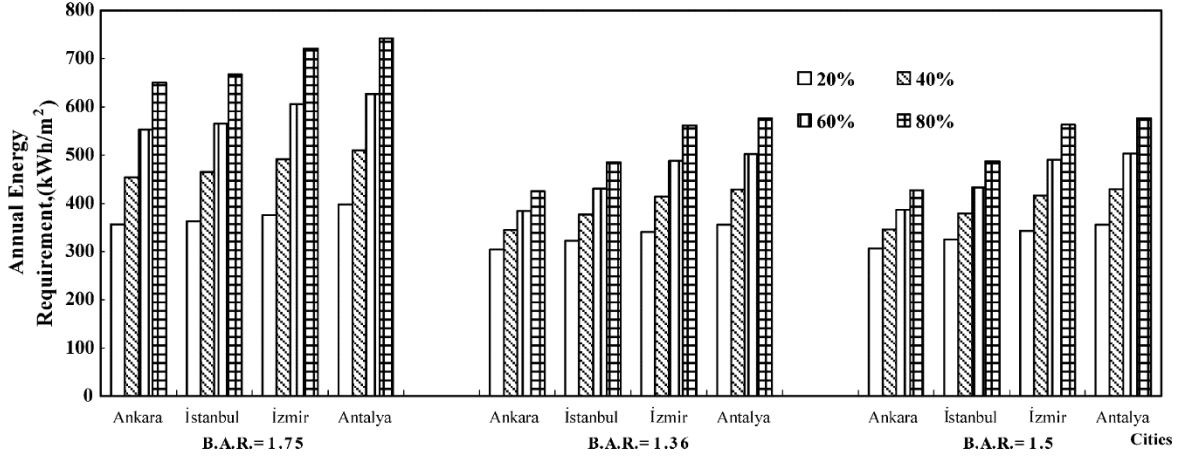
Eskin N. ve Türkmen H. Türkiye’deki dört iklim bölgesinde (İstanbul, Ankara, İzmir ve Antalya) için ofis binalarının farklı en-boy oranları, opaklık saydamlık oranları, ısı yalıtım kalınlıklar ve cam türleri gibi alternatiflerin yıllık ısıtma-soğutma ve toplam enerji tüketimlerine etkilerini incelemişlerdir. İstanbul’da bulunan 12 katlı, kullanım alanı 17.670m<sup>2</sup>, bina en-boy oranı 1.36, olan bir ofis binası örnek bina olarak seçilmiştir. EnergyPlus programında modellenen bu bina için VAV sistemi iç sıcaklık ısıtma-soğutma sınır değerleri 22<sup>0</sup>C-24<sup>0</sup>C, alüminyum çerçeveli ve tek camlı (U=5.82W/m<sup>2</sup>K, SHGC=0.83 ve VT=0.9) ve opaklık saydamlık oranı %40 olarak tanımlanmıştır. Ayrıca havalandırma ve pencereler kapalı ve ortam hava değişim hızı ise 0.2 olarak tanımlanmıştır. Isıtma ve soğutma dönemlerinde yapılan 3 haftalık ölçümlerle iç sıcaklıkların ve enerji tüketim doğrulaması yapılmıştır. Isıtma enerji tüketiminde %3.8 ve soğutma enerji tüketimindeyse %6.6’lık hata payıyla ölçülen değerlere yaklaşılarak (RMSE doğrulaması yapılmamıştır) tahmini enerji tüketimlerinin İstanbul, Ankara, İzmir ve Antalya için sırasıyla; 376W/m<sup>2</sup>K, 344W/m<sup>2</sup>K, 414W/m<sup>2</sup>K ve 428W/m<sup>2</sup>K olduğu hesaplanmıştır. Daha sonrasında bu modellere;

- Duvarlar içten ve dıştan (2.5cm, 5cm ve 7.5cm) ısı yalıtımı,
- Bina en-boy oranları (1.4, 1.5, 1.75, 1.8, 2 ve 2.5),
- Cam türleri (low-e kaplamalı çift ve üçlü cam ile kaplamasız çift cam),
- Opaklık saydamlık oranları (%20, %40, %60 ve %80) ve
- Dış duvar yüzey renkleri (açık ve koyu)

alternatifleri tanımlanmıştır. Elde edilen alternatif modellerin hesaplama sonuçlarına göre;

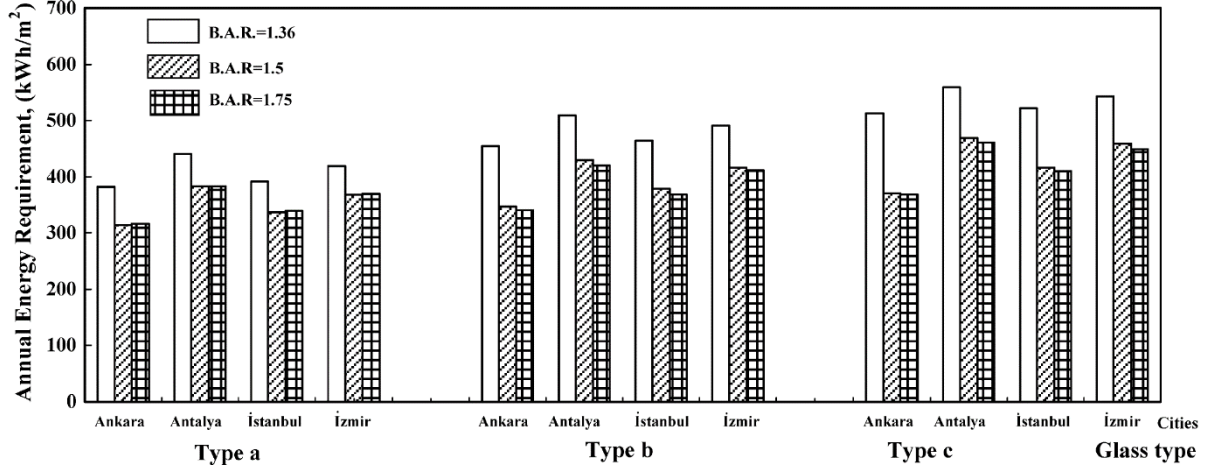
- Bina en-boy 1.75 olduğunda optimum enerji tüketiminin sağlandığı,
- Duvarlara 7.5cm lik içten ısı yalıtımı uygulandığında; İstanbul, İzmir, Antalya ve Ankara’da sırasıyla;
  - Yıllık ısıtma enerji tüketimi tasarrufu %34.4, %26.82, %27.19, % 35.93,
  - Yıllık soğutma enerji tüketimi ise; %19.67, %21.06, %21.35, %19.87 ve
  - Yıllık toplam ısıtma-soğutma enerji tasarrufu; %27, %22.97, %23.28, %29.81 oranında enerji tasarruf yapılacağı,
- Opaklık saydamlık oranı arttıkça (%değer ve birim verilmeden artacağı) yıllık toplam enerji tüketiminin artacağı (Şekil 2.7),
- Low-e kaplamalı ve kaplamasız çift cam kullanımı arasında maksimum enerji gereksinimi; İstanbul, İzmir, Antalya ve Ankara’da sırasıyla; %14.21, %15.94,

%13.5, %15.1 oranında azaldığı (Şekil 2.8) (a=low-e kaplamalı üçlü cam, b=low-e kaplamalı çift cam, c=kaplamasız çift cam), belirlenmiştir [51].



Şekil 2.7. Alternatif Opaklık saydamlık oranı ve bina en-boy oranlarına göre dört farklı iklim bölgesindeki enerji tüketimleri

Kaynak: [51], s. 769



Şekil 2.8. Alternatif cam türlerine göre farklı bina en-boy oranlarının dört farklı iklim bölgesindeki enerji tüketimleri

Kaynak: [51], s. 770

Boyano A. ve diğerleri Estonya (soğuk iklim), Madrid (sıcak iklim) ve Londra (ılıman iklim) için ofis binalarında aydınlatma, opaklık saydamlık oranı, cam türü, yön ve duvar alternatiflerinin enerji tüketimine etkisini incelemiştir. EnergyPlus programıyla 4.620m<sup>2</sup>lik zemin alanına sahip, ahşap doğramalı ve 3 katlı dikdörtgen

tabanlı bir binanın modelinde, iç sıcaklık ısıtma ve soğutma sınır değerleri 21<sup>0</sup>C-25<sup>0</sup>C alınarak elektrik ve yakıt faturaları kullanılarak enerji tüketim doğrulaması yapılmıştır.

Oluşturulan bu modellerde toplam enerji dağılımı;

- Estonya için (soğuk iklim bölgesi) toplam enerji dağılımı; %60 HVAC (%12 soğutma ve %88 ısıtma), %33 aydınlatma ve %6 diğer tüketim dilimi ile 105 kWh/m<sup>2</sup>yıl
- Londra için toplam enerji dağılımı; %40 HVAC (%36 soğutma ve %64 ısıtma), %50 aydınlatma ve %10 diğer tüketim dilimi ile 70 kWh/m<sup>2</sup>yıl,
- Madrid için (sıcak iklim bölgesi) toplam enerji dağılımı; %45 HVAC, %45 aydınlatma ve %9 diğer tüketim dilimi ile 74 kWh/m<sup>2</sup>yıl

olarak hesaplanmıştır. Bu modellere yeni aydınlatma, opaklık saydamlık oranı, cam türü ve yön alternatiflerinin uygulanarak tekrar hesaplama yapıldığında;

- Opaklık saydamlık oranı %30 dan %50 ye çıktığında tüm şehirlerde aydınlatma enerjisinde %0.5-%4.2 arasında
- Çift cam yerine üçlü cam kullanıldığında, Estonya, Londra ve Madrid için sırasıyla;
  - HVAC enerji tüketiminde %12, %13 ve %23 ve
  - Toplam enerji tüketiminde %10, %7 ve %16 tasarruf yapıldığı
- Dikdörtgen binanın uzun cephesi doğu-batı aksından kuzey-güney aksına çevrildiğinde;
  - Aydınlatma enerjisinde değişme olmadığı,
  - HVAC enerjisinin (%değer ve birim belirtilmeden) düştüğü,
  - Londra'da ısıtma enerjisinde %2.13 ve soğutmada %0.5 ve
  - Toplam enerji tüketiminde %3-%6 oranında enerji tasarrufu yapıldığı,
- Duvar alternatifleri olarak ısı geçirgenlik katsayıları;
  - İngiltere'de U=0.30 W/m<sup>2</sup>K'den 0.18 ve 0.12 W/m<sup>2</sup>K'e düşürüldüğünde sırasıyla %0.5 v e%1.8 (HVAC enerji tüketiminde %20),
  - Madrid'te U=0.66 W/m<sup>2</sup>K'den 0.29 W/m<sup>2</sup>K ve 0.15 W/m<sup>2</sup>K'e düşürüldüğünde sırasıyla %8 v e%12 ve
  - Estonya'da U=0.20 W/m<sup>2</sup>K'den 0.14 ve 0.10 W/m<sup>2</sup>K'e düşürüldüğünde sırasıyla %4.3 v e%10.7

enerji tasarrufu yapıldığı belirlenmiştir [88].

Inanici M. N. ve Demirbilek F. N. optimum enerji tüketimi için Türkiye'deki beş farklı iklim bölgesinde (Ankara, Antalya, Diyarbakır, Erzurum ve İzmir); bina en-boy oranı ve güney yönündeki opaklık saydamlık oranlarını incelemişlerdir. Bina alternatif en boy oranları 1:1, 1:1.2, 1:1.4, 1:1.6, 1:1.8 ve 1:2 olacak şekilde SUNCODE-PC programında oluşturulan modellerde; zemin ve çatı katı tek mekan kabul edilerek 3 katlı bir binanın ara katında 100m<sup>2</sup> lik 4 adet bağımsız birim oluşturulmuştur. İç mekan ısıtma-soğutma sınır sıcaklıkları 18<sup>0</sup>C-26<sup>0</sup>C, çift cam ısı geçirgenlik değeri U=2.9W/m<sup>2</sup>K, opaklık saydamlık oranları olarak; zemin katta her yönde %15, orta katta güney yönü %25 ve diğer yönler %15 tanımlanan söz konusu alternatif modellerde optimum enerji tüketimini sağlayan;

- Bina en boy oranlarının;
  - Ankara ve Erzurum için 1:1.2,
  - Antalya, Diyarbakır ve İzmir için 1:2
- Güney yönündeki opaklık saydamlık oranlarının ise
  - Ankara ve Erzurum için %90 ve
  - Antalya, Diyarbakır ve İzmir için %25

olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Ankara ve Erzurum için ısı yalıtım kalınlıklarına göre optimum enerji tüketimini sağlayan opaklık saydamlık oranları sırasıyla;

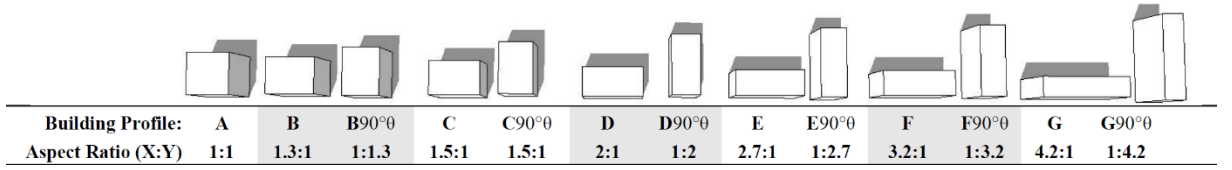
- 0.6cm'de %25,
- 0.7cm'de %30,
- 1.1cm'de %40,
- 1.5cm'de %50,
- 2.1cm'de %50 ve %60,
- 2.9cm'de %50 ve %70,
- 4.1 cm'de %40 ve %70,
- 6 cm'de %30 ve %60

olduğu belirlenmiştir [50].

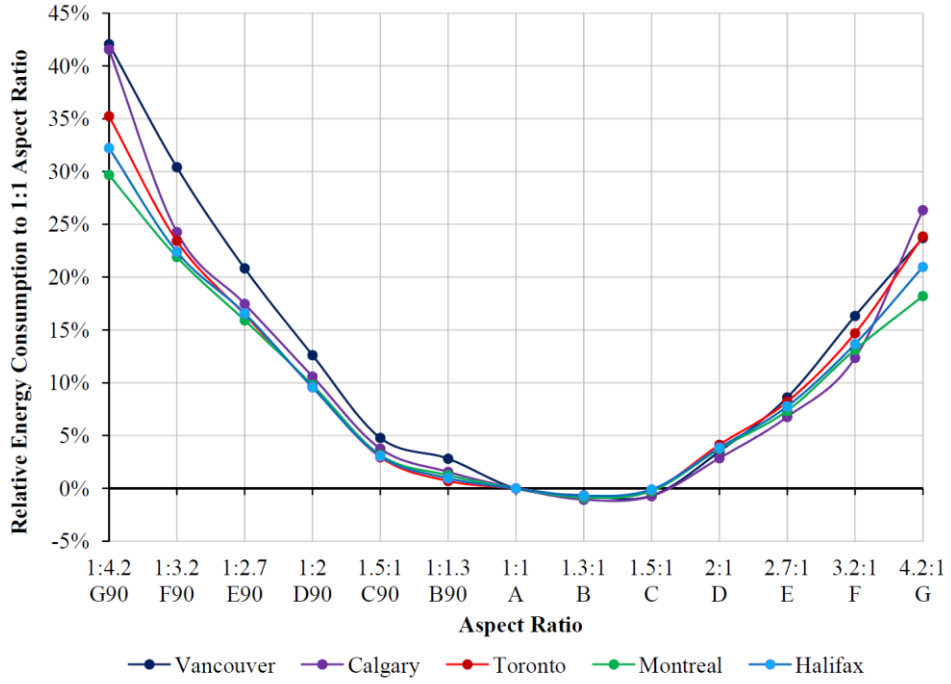
Mckeen P. ve Fung A. S. binanın en boy oran alternatiflerinin (Şekil 2.9) ısıtma-soğutma ve toplam enerji tüketimine etkisini incelemişlerdir. eQuest programında 13 farklı en boy oranına sahip toplam kullanım alanı 6.000m<sup>2</sup>, kat yüksekliği 3m ve 10 katlı modeller oluşturulmuştur. Bu modellere farklı Kanada şehirleri (Montreal, Vancouver, Halifax, Calgary ve Toronto) tanımlanarak yapılan yıllık ısıtma-soğutma enerji tüketim hesaplamalarında;



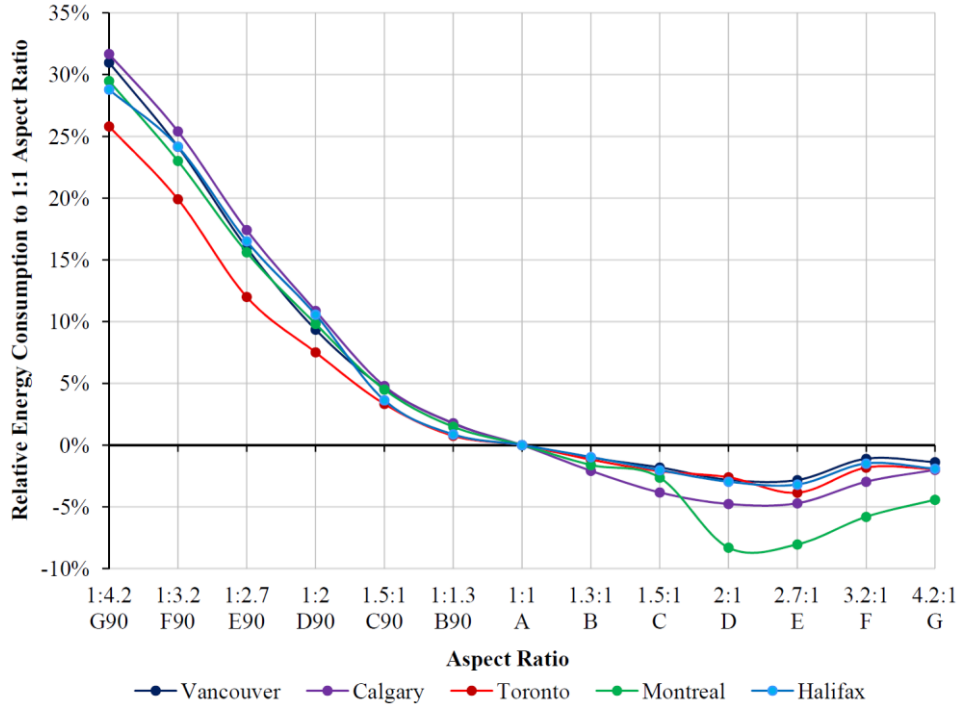
- En boy oranı 1:4.2 olan alternatifin 4.2:1 alternatife göre (tüm şehirlerde) (Şekil 2.9-2.12);
  - Isıtma enerjisinde %29-%42 aralığında azaldığı
  - Soğutma enerjisinde %25 oranında arttığı ve
- 1.3:1 en boy oranının optimum toplam enerji tüketimi sağladığı belirlenmiştir [52].



Şekil 2.9. Simülasyon modeli en boy alternatifleri  
Kaynak: [52], s. 342

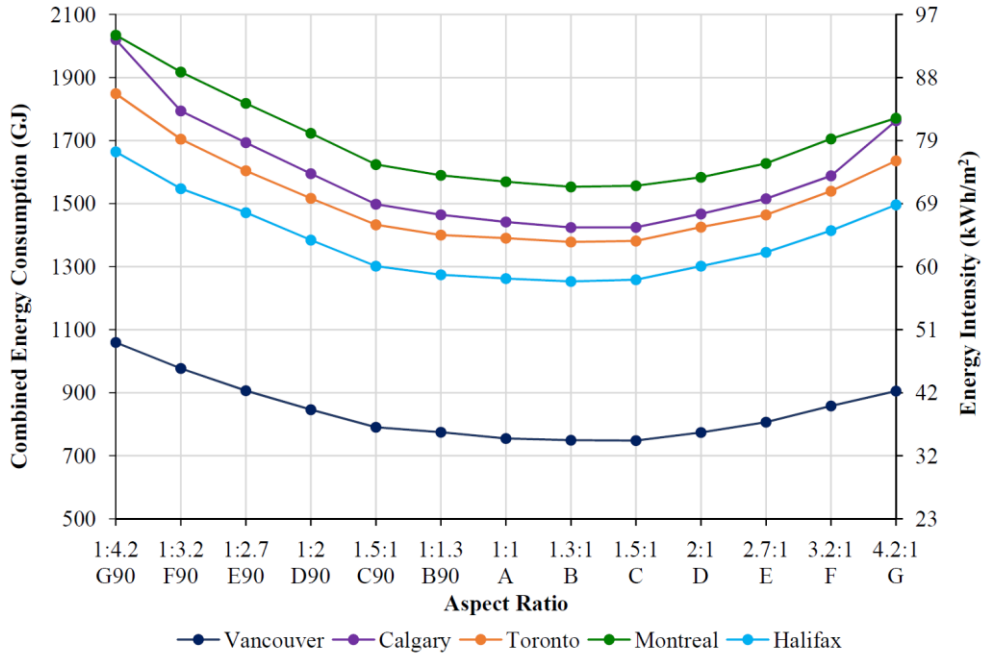


Şekil 2.10. Şehirlere göre ısıtma enerjisi tüketim hesaplamaları  
Kaynak: [52], s. 349



Şekil 2.11. Şehirlere göre soğutma enerjisi tüketim hesaplamaları

Kaynak: [52], s. 350



Şekil 2.12. Şehirlere göre toplam enerji tüketim hesaplamaları

Kaynak: [52], s. 351

## 2.7. Enerji Tüketimi İle İlgili Diğer Alanyazınlar

Lam J. C. ve diğerleri Hong Kong/Çin'de bulunan bulunan dört farklı ofis binasında temmuz ve ağustos aylarında yapılan ölçümlerin karşılaştırmışlardır. A, B, C ve D olarak isimlendirilen Blokların yapı kabuğu ve cam türlerine ait özellikleri sırasıyla;

- Kullanım alanı; 22.000 m<sup>2</sup>, 10.000 m<sup>2</sup>, 29.000 m<sup>2</sup> ve 9.000 m<sup>2</sup>,
- Kat adedi; 18, - (belirtilmemiş), 22 ve 18
- Opaklık saydamlık oranı; %50, %60, %20 ve %50,
- Gölgeleme katsayısı; 0.7, 0.3, 0.9 ve 0.6,
- Cam türleri ise; renkli tek cam, yansıtıcı kaplamalı tek cam, kaplamasız tek cam ve renkli tek cam

olarak belirlenmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda tüm binalar değerlendirildiğinde kullanılan toplam enerji oranlarının;

- %30-%60 HVAC,
- %20-%35 aydınlatma ve
- %15-%25 küçük cihazlar,
- %1-%2 asansör

olduğu hesaplanmıştır. Böylelikle aydınlatma enerjisinin toplam enerji tüketiminde HVAC'den sonra 2. sırada yer aldığı tespit edilmiştir [89].

Neto A. H. ve Fiorelli F. A. S. Brezilya'daki Sao Paulo Üniversitesinde bir yönetim binasının EnergyPlus enerji ve Yapay Sinir Ağları (ANN) modellerinin simülasyon sonuçlarını karşılaştırmışlardır. 1 Ocak-31 Mart periyodunda binadan ve kampüsteki meteoroloji istasyonundan alınan; iç-dış sıcaklık, güneş ışınımı, rüzgar hızı ve rüzgar yönü verileriyle;

- EnergyPlus programında belirtilen tarih aralığının %80'inde %13 kararsızlık (uncertainty) ve
- ANN ile belirtilen tarih aralığının %85'inde %13.5 kararsızlık

sağlandığı belirtilmiştir. Ölçüm verileri enerji tüketim oranları açısından analiz edildiğinde;

- HVAC %45,
- Aydınlatma %30 ve
- Ofis elemanlarının %21

oranında olduğu belirlenmiştir. Oluşturulan her iki modelde de camların sürekli kapalı tutulması ve iç konforun HVAC tarafından sağlanması tanımlanmıştır. Kullanıcıların;

- Sıcak günlerde serinlemek için vantilatör ve mobil klima kullanmasından dolayı enerji tüketimini arttırması ve
- Soğuk günlerde güneş ışınımından dolayı iç mekan sıcaklık artışı önlemek için pencere açmasından dolayı soğutma enerjisi azaltması

sebeplerinden dolayı gerçekçi model elde edilememiştir. Dolayısıyla bu modellerin simülasyon hesaplama güvenilirliğini yitirdiğini ve bu bağlamda da gerçekçi model elde edilmesinin reel/gerçek enerji tüketim tahmini açısından önemine değinmişlerdir [90].

Susorova I. ve diğerleri bina en-boy oranı, opaklık saydamlık oranı ve yönlenme alternatiflerinin enerji tüketimine etkisini ortaya koymuşlardır. Design Builder simülasyonda hazırlanan simülasyon modelinde bütün binayı temsil ettiği kabul edilen orta kat orta oda verileri değerlendirilmiştir. Kat yüksekliği 2.75m ve cephe uzunluğu 6m olan ofis odasında çift camlı alüminyum doğrama ve sadece dış duvar yüzeyinden ısı kaybı (iç duvar ve döşemeler ısı geçirimsiz) olduğu tanımlanmıştır. Söz konusu ofis odasına alternatif olarak;

- Dört farklı oda derinliği (6 [1:1], 9 [1:1.5], 12 [1:2] ve 15m [1:2.5]),
- Altı farklı iklim bölgesi (Houston/sıcak, Los Angeles/ılık, Seattle/ılık-serin, Chiacago/serin, Minniapolis/soğuk ve Duluth/çok soğuk),
- Sekiz farklı yön ve
- Yedi farklı opaklık saydamlık oranı (%20-%80 aralığı),

olacak şekilde tanımlanmıştır. Alternatif simülasyon modellerinde ısıtma, soğutma, destek sistemler (pompa ve fan), sıcak su kullanımına ait yıllık toplam enerji tüketimleri hesaplanarak;

- Sıcak ve ılık iklim bölgelerinde oda boyutlarında oranın;
  - 1:1 olduğunda opaklık saydamlık oranına göre;
    - %20-%40 olduğunda enerji tüketim değerinin 145 kWh/m<sup>2</sup>/yıl'dan 134 kWh/m<sup>2</sup>/yıl'a azaldığı
    - %40-%80 olduğunda enerji tüketim değerinin 134 kWh/m<sup>2</sup>/yıl'dan 141 kWh/m<sup>2</sup>/yıl'a arttığı,
  - 1:1.5 - 1:2 - 1:2.5 olduğunda ve opaklık saydamlık oranı %20-%80 olduğunda enerji tüketim değerinin 171 kWh/m<sup>2</sup>/yıl'dan 148 kWh/m<sup>2</sup>/yıl'a azaldığı

- Soğuk ve çok soğuk iklim bölgelerinde; Tüm oda genişlik derinlik oranlarında; Opaklık saydamlık oranı arttıkça enerji tüketim oranının 229 kWh/m<sup>2</sup>/yıl dan 270 kWh/m<sup>2</sup>/yıl'a doğrusal olarak arttığı,
- Sadece güney yönünde 214 kWh/m<sup>2</sup>/yıl dan 210 kWh/m<sup>2</sup>/yıl'a azaldığı,
- Enerji tüketim artışları;
  - Oda oranı 1:1 olduğunda 17-31 kWh/m<sup>2</sup>/yıl ve
  - Oda oranı 1:1.5 - 1:2 - 1:2.5 olduğunda 4-6 kWh/m<sup>2</sup>/yıl olduğu,
- Sıcak, ılık, soğuk ve çok soğuk iklim bölgelerinde güneye yönelmelerde oda derinliği 6m den 15m ye çıktıkça en düşük enerji tüketiminin 138-150 kWh/m<sup>2</sup>/yıl aralığında olduğu,
- Ilık-serin ve serin iklim bölgelerinde opaklık saydamlık oranı, oda derinliği ve yönün enerji tüketimine etkisi (%değer ve birim bildirilmeden) yok denecek kadar olduğu,
- Optimum toplam enerji tüketiminde;
  - Optimum opaklık saydamlık oranları açısından;
    - Sıcak iklim bölgesinde %30,
    - Ilık ve yarı ılık yarı serin iklim bölgesinde %40 ve
    - Serin, soğuk ve çok soğuk iklim bölgelerinde %80 olduğu,
  - Oda derinlikleri açısından;
    - 6m derinlikteki odaların sıcak, ılık ve yarı ılık yarı serin ve
    - 15m derinlikteki odaların serin, soğuk ve çok soğuk iklim bölgelerinde

sağlandığı belirlenmiştir [91].

Raftery P. ve diğerleri Intel Kampüsündeki/İrlanda 30.000m<sup>2</sup>'lik dört katlı bir ofis binasında dört farklı noktada 15 dakikalık periyotlarla yapılan HVAC enerji tüketimi ve iç sıcaklık ölçümlerini kullanarak (2007 verileri) TORTOISE simülasyon programında gerçekçi model elde etmişlerdir (MBE %-4.16 ve RMSE 7.8). Gerçekçi modelde iç tüketim verileri aynı olan odalar tek bir mekan gibi, farklı iç tüketimlere sahip odalar ayrı ayrı odalar (zonlar) gibi modellenmiştir. Odaların detaylı bir şekilde tanımlanması sonucunda saatlik enerji tüketimi verileri kullanımıyla elde edilen gerçekçi modelin oluşturulacak yeni alternatiflerde gerçeğe daha yakın olumlu ve güvenilir sonuçlar vereceğini belirtmişlerdir [92].

Silva A. S. ve Ghisi E. 35m<sup>2</sup>'lik bir konut binası için olasılık yaklaşımı ve bina performans simülasyonu yardımıyla ısı performans ve enerji tüketimi üzerinde (kullanıcı davranışı ve enerji tüketimini etkileyen fiziki parametrelerin) belirsizlik analiziyle ilgili yaptıkları çalışmada; simülasyon modellerine ait belirsizliğin ve güvenilirliğin niceliksel (sayısal) değerinin, simülasyon modeli sonuçlarına göre ısı ve enerji performanslarına yönelik önerilen kararlardan daha önemli olduğuna değinmişlerdir. Bu bağlamda da söz konusu bu belirsizliğin nicel (sayısal) değerlendirmesinin hassasiyet analizi ile yapılabileceğine ve simülasyon modellerinde enerji doğrulaması yapılarak elde edilen gerçekçi modellemede; mümkün olduğunca çok veri çeşidinin (ısıtma, soğutma, elektrik enerjisi ve modellemeye tanımlanacak diğer verilerin) ölçülmesi gerektiğine değinmişlerdir [93].

Raftery P. ve diğerleri enerji etkinliği için simülasyon programlarının kullanımının önemine dikkat çekerek, binalarda enerji simülasyon programlarında gerçekçi model elde ederken zonlama (benzer odaları tek bir mekan gibi kabul etme) sürecini açıklamış ve gerçek bina verilerine yakın sonuçların alınabileceğine dikkat çekmişlerdir. 121 adet binada yapılan ölçüm ve simülasyon hesaplamalarında enerji tüketimine yaklaşım oranı %0.25-%2.5 aralığında değiştiğini belirlemişlerdir. Bu bağlamda oluşturulacak enerji simülasyon modellerinin ölçülen ve hesaplanan verilerin eşitlenerek kalibre edilmesinin;

- Enerji kazanımlarının tahmini ve sınıflandırılmasında kullanılabileceğini,
- Araştırma bağlamında;
  - Kalibrasyon sürecinde elde edilen bilgilerle simülasyon çalışmalarındaki ilerideki/gelecekteki başka çalışmalarda da kullanılabileceğini,
  - Gelecek tasarım aşamalarındaki oluşturulacak modellerde hata yapılmasını engelleyerek “en iyi uygulama modeli” prosedürlerini geliştireceğini

belirlemişlerdir [94].

Ke M. Y. ve diğerleri Tayvan'da 3 bodrum katına sahip 20 katlı bir ofis binasında kullanıcı ve aydınlatma oranı, cam ve duvar alternatiflerinin enerji tüketimi üzerine etkisini incelemişlerdir. 66.946 m<sup>2</sup>'lik kullanım alanıyla %54.7'si HVAC ile iklimlendirilen örnek binanın aylık elektrik faturalarını kullanarak IPMVP'nin D maddesine ve M&V protokollerine uyularak gerçekçi modeli elde edilmiştir (MBE %0.37

ve RMSE 34.97). Söz konusu alternatifler gerçekçi modele uygulanarak hesaplamalar tekrar yapıldığında ölçülen toplam elektrik enerjisine göre;

- Kullanıcı oranı %50 oranında arttığında ve azaldığında enerji tüketiminin %0.78 azaldığı veya %1.67 arttığı,
- Aydınlatma oranı %50 oranında arttığında ve azaldığında enerji tüketiminin %30.28 azaldığı veya %31.19 arttığı,
- Bina genel enerji tüketiminde; tek camlı, çift camlı ve üç camlı low-e kaplama kullanımında sırasıyla; %0.14, %0.44 ve %0.74 oranında azaldığı,
- Duvar tipi olarak
  - Betonarme perde duvar seçildiğinde % 1.66 oranında arttığı,
  - Çift duvar yapıldığında %0.68 oranında azaldığı

belirlenmiştir [95].

## 2.8. Alanyazın Değerlendirmesi

Binalarda enerji etkinliği ve enerji performansını belirlemede enerji simülasyon programlarının kullanımı oldukça önemlidir. Simülasyon programlarında gerçek/reel değerlere yakın enerji tüketim hesaplamalarına ulaşabilmek için; yeni yapılacak ve mevcut binalar için farklı prosedürler geliştirilmiştir [94]. Bu prosedürlerde;

- Yeni yapılacak binalar için belirli senaryolar kullanılması (çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır) ve
- Mevcut binalarda ölçülen ve hesaplanan verilerin eşitlenerek gerçekçi model (kalibre model) elde edilmesi

gerekmektedir. Enerji etkinliğine yönelik yeni bina tasarımlarında standartlaşma sağlamak için gerçekçi modellere uygulanan farklı alternatiflerin enerji tüketim hesaplamaları analiz edilerek optimum enerji tüketimini sağlayan alternatifler ve bu alternatiflerin enerji tüketimine etkisi belirlenir.

Enerji simülasyon programlarında ‘ısı ve kütle transferi yasaları’ çerçevesinde oluşturulan formüllerle ısıtma-soğutma enerji hesaplama metodolojileri oluşturulur. Binalarda enerji performansı; “Mekan Isıtma ve Soğutma İçin Enerji Kullanımının Hesaplanması Standardı”na göre (EN ISO 13790) binalarda ısıtma-soğutma enerji hesaplama metodolojileri; basit saatlik, aylık/sezonzonluk ve detaylı dinamik yöntemlerdir.

- **Basit saatlik yöntemde** ısıtma ve soğutma sıcaklığında sabit değerler kullanılarak yarı dinamik hesaplama yapılır.

- **Aylık/sezonluk yöntemde** yılın belli bir periyoduna ait hesaplama yapılır. Yıllık olarak bakıldığında doğruya yakın sonuçlar verdiği, fakat belli bir zaman aralığı ayrıntılı incelendiğinde ‘ortalama hata ve belirsizlik katsayısı’ (MBE/RMSE) değerlerinin uluslararası standartlardaki (IPMVP, M&V ve ASHREA gibi) sınır şartları sağlamadığı/eşitlenmediği görülür.
- **Detaylı dinamik yöntemde** bina bütününün elde edilebilen verileri dikkate alınarak hesaplama yapılır. Belirli bir zaman aralığı veya tüm yıl saatlik olarak incelendiğinde MBE ve RMSE değerlerinin uluslararası standartlardaki sınır şartları sağlayabildiği/eşitlenebildiği görülür [96].

Özellikle detaylı dinamik yöntemi kullanan binalarda enerji simülasyonu programlarında oluşturulan modellerde, sistematik ve kapsamlı olarak enerji tüketimini etkileyen faktörleri incelemek mümkündür [97]. Bu incelemeler sonucunda da optimize edilmiş tasarımlardan/alternatiflerden enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji için temel stratejiler belirlenebilir [98]. Bu temel stratejiler hem yeni tasarımlarda hem de mevcut binalar için kullanılabilir. Tasarım aşamasındaki binaların enerji simülasyon modellerinde enerji/ısı performansının değerlendirilmesi için bazı belirsizliklerin göz önüne alınması gerekir [99, 100]. Ancak mevcut bir bina üzerinde çalışma yapılıyorsa hem ölçülen hem de hesaplanan verilerin (enerji tüketimi, aydınlatma, iç sıcaklık ve nem değerleri vb.) MBE-RMSE değerlerinin sınır şartları sağlayarak eşitlenmesi gerekir. Böylelikle “gerçekçi model” (kalibre model) elde edilir [26, 27] ve simülasyon modelinde çalışılan örnek bina kendi ‘**referans bina**’sını oluşturur.

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği’nde (BEP-TR’de) kullanılacak “**Mimari Tasarım Karar Destek Mekanizması**”nı oluşturabilmek amacıyla;

- Yapı kabuğu kuruluşu, yönlenme, cam türü, opaklık saydamlık oranları ve iklim verilerinin enerji tüketimini etkileyen en önemli parametreler olduğu,
- Söz konusu parametreler birbirlerini etkilediği için; her mevcut binada ve/veya her tasarımda ısıtma-soğutma ve aydınlatma enerji gereksinimlerinin farklılaştığı,
- Binalarda enerji etkinliğini ve enerji tüketimini belirleme araçları olarak binalarda enerji simülasyon programlarının hesaplamaları kolaylaştırdığı ve zaman kazandırdığı,
- Söz konusu parametrelerinin detaylandırılarak simülasyon modeline tanımlanmasının ve enerji tüketiminin doğrulanmasının gerçekçi verilere yaklaşmak için önemli olduğu ve



- Enerji tüketim doğrulaması yapılan gerçekçi modele alternatif parametrelerin (yapının en-boy uzunlukları ve hacmini değiştirmeden) tanımlanması ve enerji tüketim hesaplamalarının yeniden yapılmasının yeni alternatiflerin gerçeğe yakın enerji tüketimi için önemli olduğu

görülmektedir. Bu bağlamda alanyazında incelenen çalışmaların özellikle yöntemleri ve çalışma alanlarının değerlendirilmesi sonucu, **tek yöne pencere açılımı olan mevcut bir binada** çalışma yapılmadığı fark edilerek;

- Ülkemizi %32.2 oranda temsil eden iklim kuşağında (Eskişehir) mevcut bir kamu ofis binasının örnek bina olarak seçilmesi,
- Uluslararası Ölçüm, Doğrulama ve Enerji İhtiyacı Standartları ve Protokolleri çerçevesinde iç ve dış ortam ölçümlerinin yapılması,
- Güvenirliği ispatlanmış Binalarda enerji simülasyon programında modellenen örnek binanın ölçülen ve hesaplanan;
  - Isıtma-soğutma enerji tüketimleri ve
  - İç ortam sıcaklıkdeğerlerinin eşitlenerek gerçekçi (kalibre) modelin elde edilmesi,
- Alternatif yönlerin, opaklık saydamlık oranlarının ve cam türlerinin enerji tüketimine etkisinin analiz edilmesi ve
- Optimum enerji tüketimini sağlayan alternatiflerin geri ödeme sürelerinin belirlenmesi

konularına odaklanılmıştır.

### 3. YÖNTEM

Eskişehir ili iklim koşullarında mimari tasarım aşamasındaki ofis binaları için, özellikle ısıtma-soğutma enerji tüketimi ve yapı kabuğu odaklı;

- Yönlenme,
- Opaklık saydamlık oranı ve
- Cam türü

parametrelerini kapsayan ‘Mimari Tasarım Karar Destek Mekanizması’nın oluşturulması amacıyla, alanyazın değerlendirmesinde elde edilen senteze bağlı olarak, tek yöne pencere açılımı olan; Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Akademik ve İdari Personel Bloğunun kuzeydoğuya bakan ofislerinde gerçekleştirilen;

- Çalışmanın **kavramsal modeli** ve **uygulama yöntemi**;
  - Örnek binanın Uluslararası Ölçüm, Doğrulama ve Enerji İhtiyacı Standartları ve Protokolleri (ASHRAE 2002-2005, CRES 2000, IPMVP 2001 ve M&V 2008) çerçevesinde ofis binaları için gerekli olan enerji tüketim alanlarına odaklanılarak ve Özellikle Uluslararası Performans Ölçüm ve Onaylama Protokolü’nün (IPMVP) Temel Kavram ve Yöntemi içeriğinin 3.4.4. D maddesine ile Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı Ölçme ve Doğrulama Yönetmeliği’nin D maddesine (Measurement and Verification/M&V) bağlı kalınarak;
    - Örnek binada en az bir yıllık süreçte (8760 saat, saatlik ortalama);
      - Binayı temsil eden ofislere ait;
        - Aydınlatma sistemleri,
        - Bilgisayar sistemleri,
        - Enerji tüketen tüm ekipmanları ve
        - İç sıcaklık ve nem verilerinin ölçülmesi,
      - Binanın çalışma alanındaki ısıtma-soğutma ve havalandırma (HVAC) enerji tüketiminin ölçülmesi ve
      - Meteorolojik veri ölçülmesi,
    - Hesaplama metodolojisi üzerine uluslararası güvenilirliği ispatlanan binalarda enerji simülasyonu programında;
      - Örnek binanın aslına uygun modellenmesi,

- Söz konusu standartlar kapsamında belirlenen sınır değerler içinde kalacak şekilde, hesaplanan ve ölçülen;
  - İç sıcaklık ve
  - Isıtma-soğutma enerji tüketimiverilerinin eşitlenmesi (gerçekçi/kalibre model elde edilmesi) [21, 23, 24, 25, 26, 27, 97].
- Alternatif senaryoların uygulanması ve optimum enerji tüketimini sağlayan alternatiflerin belirlenmesi;
  - Gerçekçi modelde 8 alternatif opaklık saydamlık oranına göre yapı kabuğunun yeniden düzenlenmesi ve 8 alternatif yöne çevrilmesiyle elde edilen 64 alternatif modelin; ısıtma, soğutma ve toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri hesaplanarak yönlere ve opaklık saydamlık oranlarının ‘referans enerji tüketimleri’ kabul edilmesi,
  - Söz konusu modellere 5 alternatif cam türü özelliklerinin tanımlanması ve elde edilen 320 modelin ‘alternatif ısıtma, soğutma ve toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri’ nin hesaplanması,
  - ‘Referans enerji tüketimleri’ ve cam türlerine dayalı ‘alternatif ısıtma-soğutma enerji tüketimleri’ hesaplarının karşılaştırılarak; yönlere ve opaklık saydamlık oranlarına göre optimum enerji tüketimini sağlayan cam türlerinin ve bu cam türlerine ait geri ödeme sürelerinin belirlenmesi,
  - Yön ve opaklık saydamlık oranlarına göre optimum toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimlerini sağlayan cam türlerinin (belirlenmesi ve) geri ödeme sürelerinin belirlenmesi
  - Bu bağlamda da BEP-TR’de yer alabilecek şekilde enerji etkin odaklı ‘mimari tasarım karar destek mekanizması’ oluşturulmasıolarak geliştirilmiştir.

### 3.1. Çalışmanın Kavramsal Modeli

Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğu için gerçekleştirilen bu çalışmanın kavramsal modeli aşağıda yer almaktadır.

### **3.1.1. IPMVP ve M&V çerçevesinde enerji tüketim doğrulaması ve gerçekçi model elde edilmesi**

IPMVP protokolünün 3.4.4. D maddesinde ve M&V Yönetmeliği'nin D. maddesinde '*Enerji Tüketim Önlemleri*' (Energy Conservation Measures/ECM) ve/veya enerji etkinliği çerçevesinde yeni tasarımlar için binalarda enerji simülasyon programlarının kullanılmasıyla ilgili izlenecek süreç detaylı olarak incelenmiştir. Söz konusu enerji tüketim doğrulaması ve gerçekçi model elde edilmesi süreçleri aşağıda yer almaktadır.

#### **3.1.1.1. Örnek binanın değerlendirilmesi**

Enerji simülasyon programında oluşturulan üç boyutlu modele enerji tüketimini doğrudan ve dolaylı olarak etkileyen fiziksel çevre ve yapma çevreye dayalı veriler tanımlanır. Bunlar;

- Yapı kabuğu katmanları;
  - a. Kalınlık ve malzeme,
  - b. Termofiziksel özellikler,
  - c. Saydam yapı kabuğu elemanları,
- Binanın coğrafi konumu;
  - a. Bölge, konum, yön ve iklim verisi,
  - b. Fiziksel çevre (komşu bina, ağaç...)
- Yapının;
  - a. Isıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri,
  - b. Aydınlatma sistemleri,
  - c. Kullanılan ofis ekipmanları,
- Kullanıcı tanımları;
  - a. Kullanım amacı,
  - b. Kullanım saatleri,
  - c. Haftalık kullanım sıklığı

olarak tanımlanmıştır [26, 27].

### **3.1.1.2. Örnek binanın modele tanımlanacak ölçümlerinin yapılması**

Enerji simülasyon programlarında enerji tüketim hesaplamaları yapılırken gerçeğe daha yakın sonuçlar alabilmek için “Dinamik Hesaplama Modeli” kullanılmaktadır. Dinamik hesaplama modelinde eş zamanlı toplanan veriler kullanılarak özellikle yapı kabuğunun gösterdiği performans ortaya konulur [26, 27, 96].

Örnek binanın enerji tüketimini doğrudan etkileyen iç ve dış ortam verileri ile ısıtma sisteminde tüketilen enerji miktarı ölçülür. İç ve dış ortamdaki ölçülen veriler;

- Dış ortam (İklim) verileri
  - a. Dış sıcaklık,
  - b. Bağıl nem,
  - c. Rüzgar yönü ve hızı,
  - d. Basınç
- İç ortam verileri;
  - a. İç sıcaklık ve
  - b. Bağıl nem

olarak belirlenmiştir [26, 27].

### **3.1.1.3. İç ortam sıcaklık ve enerji tüketimlerinin eşitlenmesi**

Binalarda Enerji performansının değerlendirilmesi için Design Builder Enerji Simülasyon Programı kullanılmıştır. Enerji simülasyon programında örnek bina bire bir aynı olacak şekilde modellenmiş, gözlemlenen ve ölçülen değerler tanımlanmıştır. Ayrıca dinamik hesaplama modeline uygun olması amacıyla TUMAS’ dan alınan Eskişehir iklim verileri (2013 Mayıs - 2014 Mayıs tarih aralığı/periody) İklim Verisi Dönüştürme Programında (Meteonorm) dönüştürülerek iklim veri dosyası da oluşturulmuştur. Enerji simülasyonu programında;

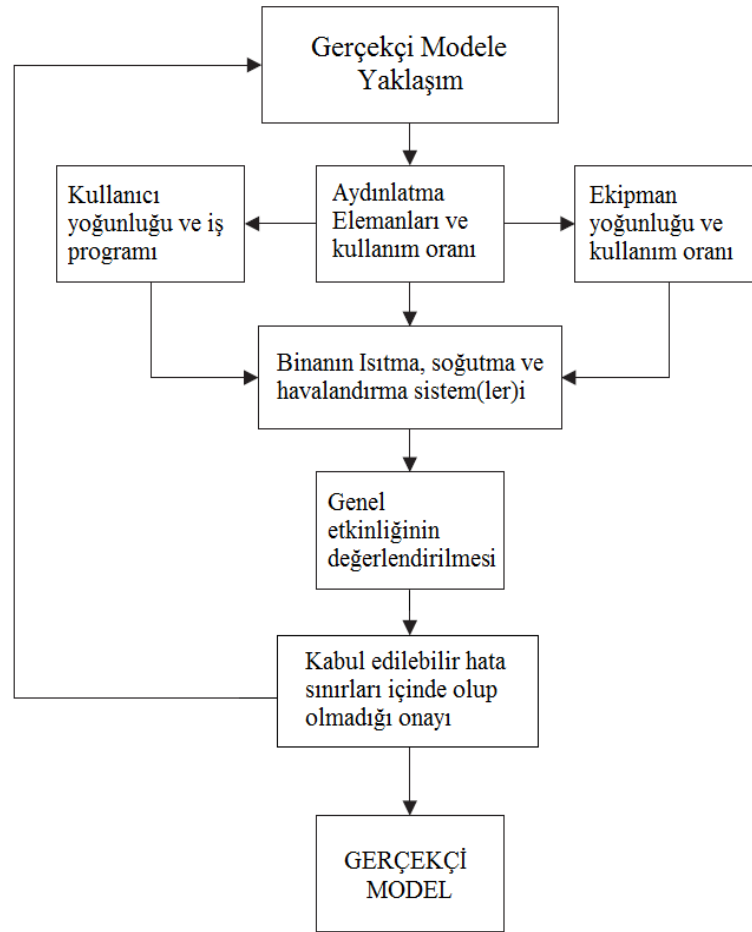
- Ofis kullanıcılarının,
- Ofis ekipmanlarının,
- Aydınlatma elemanlarının,
- Enfiltrasyonun (hava sızmasının),
- İç hava değişim miktarının,
- Isıtma sisteminin,
- Yapı kabuğu elemanlarının,

- Güneş ışınlarının (çıkma ve gölgeleme elemanları da dikkate alınarak) enerji kayıpları/kazançları hesaplanabilmektedir. Bu sınırlar çerçevesinde enerji tüketim eşitlemesi yapılmıştır.

Enerji simülasyon modelinde tanımlanan yukarıdaki veriler doğrultusunda öncelikle iç ortam sıcaklık değerlerinin IPMVP ve M&V çerçevesinde belirlenen sınır değerlerde olması sağlanmıştır. İç sıcaklık sınır şartları 8760 saatlik ölçüm verilerine göre istatistiksel olarak;

- Kararlılık katsayısı (MBE; hassasiyet yüzdesi) ve
- Karekök ortalama hata payı (RMSE)

ile değerlendirilir. ‘**Enerji Tüketim Doğrulama Süreci**’ olarak adlandırılan bu işlemler, hem ölçülen hem de hesaplanan; ‘iç sıcaklıklar’ ve ‘ısıtma enerji tüketim’leri için sağlanarak “**Gerçekçi Model**” elde edilir (Şekil 3.1) [26, 27, 95].



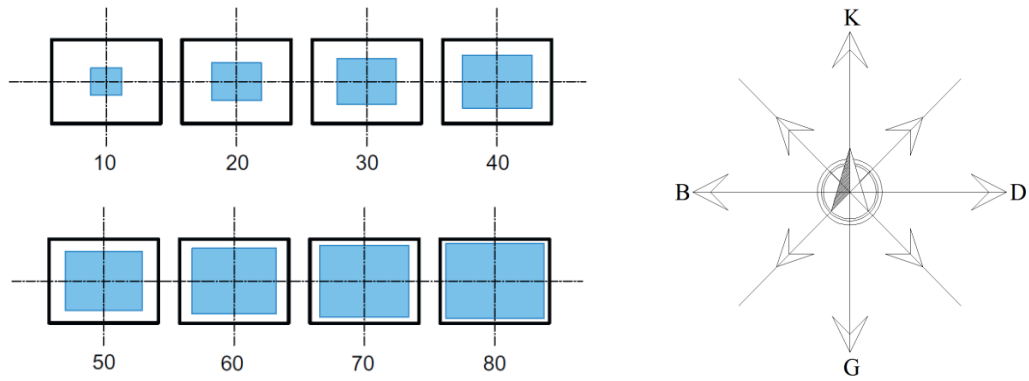
Şekil 3.1. Gerçekçi modelde enerji tüketim doğrulama süreci  
Kaynak: [95], s. 104

### 3.1.2. Eskişehir’deki tasarım aşamasında ofis binaları için mimari tasarım destek mekanizmasının oluşturulması

Gerçekçi modelin elde edilmesiyle çalışmada kullanılan örnek bina kendi ‘referans binasını’ oluşturur. Böylece (hacim ve kat alanları değiştirilmeden) uygulanacak alternatiflerin enerji tüketim hesaplamaları ‘referans enerji tüketimleri’ olarak kabul edilir [21, 26, 27, 94]. Söz konusu bu alternatiflere uygulanacak farklı/yeni alternatiflerin enerji tüketim değişimleri referans enerji tüketimleriyle karşılaştırılarak elde edilir.

#### 3.1.2.1. Alternatif yön ve alternatif opaklık saydamlık oranlarına göre referans ısıtma-soğutma enerji tüketim değerlerinin hesaplanması

Gerçekçi modelde 8 alternatif opaklık saydamlık oranına göre (%10-%80 aralığında) yapı kabuğu yeniden düzenlenerek ve 8 alternatif yöne çevrilerek (Şekil 3.2) 64 gerçekçi modelin; ısıtma, soğutma ve toplam ısıtma-soğutma enerji tüketim hesaplamaları yapılarak ‘referans enerji tüketimleri’ olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.2. Gerçekçi modelde kullanılan alternatif opaklık saydamlık oranları ve yönler

#### 3.1.2.2. Alternatif cam türlerine göre alternatif ısıtma-soğutma enerji tüketim değerlerinin hesaplanması

Söz konusu 64 alternatif gerçekçi modele, çalışmanın uygulanabilir olması amacıyla, ülkemizde üretilen ve uygulanan güneş ve/veya ısı kontrolü sağlayan low-e kaplamalı 5 alternatif cam türü tanımlanarak; cam türlerine dayalı alternatif ısıtma-soğutma enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır.

### **3.1.2.3. Alternatif yönlere ve alternatif opaklık saydamlık oranlarına dayalı optimum enerji tüketimini sağlayan alternatif cam türlerinin ve bu cam türlerinin geri ödeme sürelerinin belirlenmesi**

Alternatif cam türlerinin tanımlandığı modellerin enerji tüketim oranları referans enerji tüketimleriyle karşılaştırılarak optimum enerji tüketimini sağlayan cam türleri belirlenmiş ve BEP-TR’de yer alabilecek şekilde enerji etkin odaklı ‘**mimari tasarım karar destek mekanizması**’ oluşturulmuştur. Son olarak da yönlere ve opaklık saydamlık oranlarına göre optimum enerji tüketimini sağlayan cam türlerinin yatırım ve enerji tasarruf maliyetleri ortaya konularak geri ödeme süreleri belirlenmiştir.

## **3.2. Çalışmanın Uygulama Yöntemi**

Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğu için gerçekleştirilen bu çalışmanın yapısı//kurgusu aşağıda yer almaktadır.

### **3.2.1. Örnek binanın mevcut durumu**

Özellikle Uluslararası Performans Ölçüm ve Onaylama Protokolü’nün (IPMVP) Temel Kavram ve Yöntemi içeriğinin 3.4.4. D maddesine ile Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı Ölçme ve Doğrulama Yönetmeliği’nin D maddesine (Measurement and Verification/M&V) bağlı kalınarak çalışma yapılan binaların genel durumu aşağıda detaylı olarak sunulmuştur [21, 26, 27, 94].

#### **3.2.1.1. Örnek binanın özellikleri**

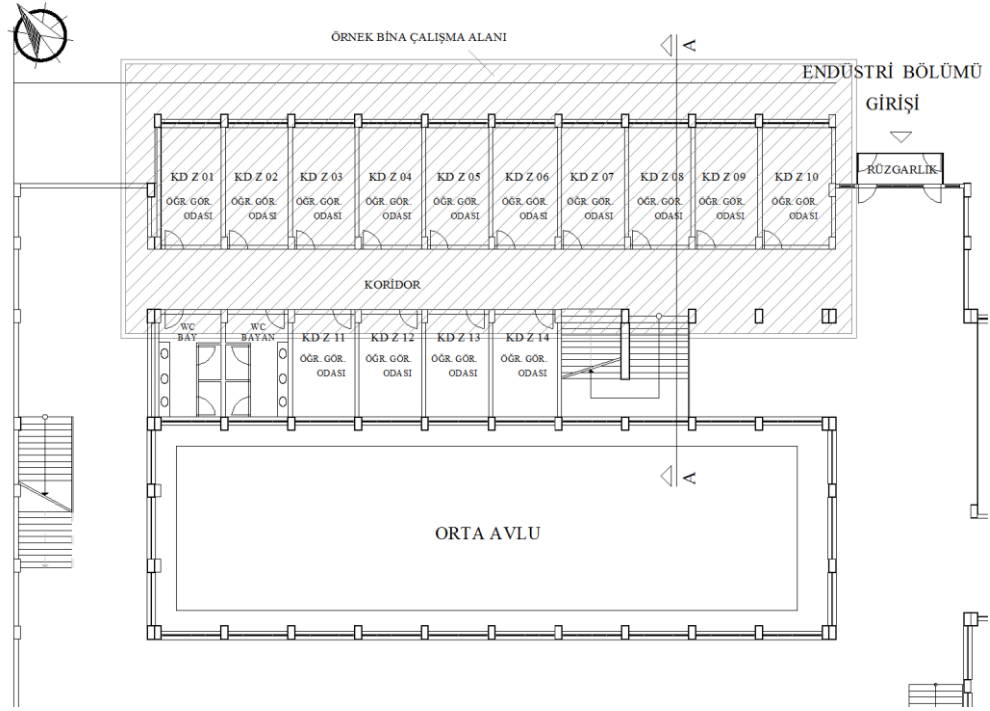
Örnek bina ve çalışma alanı olarak Anadolu Üniversitesi’nin İki Eylül Kampüsü’nde yer alan Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel Bloğu seçilmiştir (Şekil 3.3). 39 K 46 39.81 enlem ve 30 D 32 30.53 boylamında doğu-batı eksenine 38.69°lik açıyla konumlandırılan iki katlı betonarme karkas binanın inşaatı 2000 yılında tamamlanmıştır.





**Şekil 3.3.** *Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğu (örnek bina)*

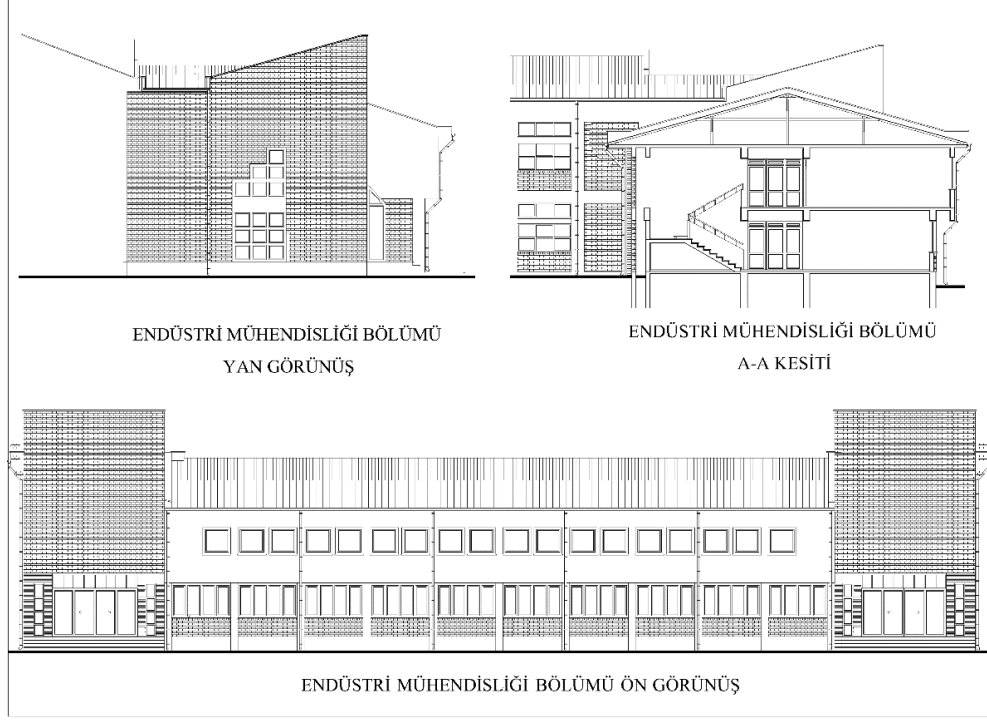
Akademik personel sayısının artmasıyla örnek bina içinde onarım yapılarak sergi ve giriş holünün bulunduğu alana dört adet öğretim elemanı ofisi eklenmiştir (Şekil 3.4). Birinci kattaki ofislerde konsol çıkma olduğu için zemin kattaki ofislere göre ofis derinliği 90 cm daha uzundur (Şekil 3.4-3.6). Çalışma kapsamında örnek binanın sadece zemin ve birinci kattaki dış yüzeye bakan ofisleri incelenmiş, iç avluya bakan ofisler, gölgeleme ve buna bağlı olarak sürekli güneş ışığı alamadığı için çalışmaya alınmamıştır. Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğunun özellikleri Çizelge 3.1 de yer almaktadır.



Şekil 3.4. Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğu zemin kat planı



Şekil 3.5. Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğu birinci kat planı



**Şekil 3.6.** Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğu kesit ve görünüşü

**Çizelge 3.1.** Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğu özellikleri

|  | Zemin Kat | I. kat   | Toplam Bina |
|--|-----------|----------|-------------|
| Genişlik (m)   | 32,3      | 32,3     | 32,3        |
| Yükseklik (m)  | 3,05      | 3,05     | 6,1         |
| Derinlik (m)   | 12,2      | 13,1     | 13,1        |
| Zemin Alanı (m <sup>2</sup> )                              | 394,06    | 423,13   | 817,19      |
| Yapı Kabuğu Toplam Alanı (m <sup>2</sup> )                 | 117,425   | 151,985  | 269,41      |
| Pencere Alanı (m <sup>2</sup> )                            | 44,95     | 30,42    | 75,37       |
| Duvar Alanı (m <sup>2</sup> )                              | 53,57     | 97,17    | 150,74      |
| Toplam Hacim (m <sup>3</sup> )                             | 1.201,88  | 1.290,55 | 2.492,43    |
| Pencere Oranı ( $A_{\text{pencere}}/A_{\text{duvar}}$ )    | 38,28     | 20,02    | 27,98       |
| Kompaktlık Oranı ( $A_{\text{toplam}}/V_{\text{toplam}}$ ) | 0,328     | 0,328    | 0,328       |

### 3.2.1.2. Örnek binanın yapı kabuğu elemanları ve katmanları

Yapı kabuğu, bir binada; dış duvarlar, pencereler, kapılar, çatılar, toprağa temas eden duvar ve döşemeler gibi iç ve dış arasındaki ayrımı yapan bina elemanı olarak tanımlanır [29, 46, 47, 48, 49]. ‘Dr. Eric Burnett’ ve ‘Dr. John Straube’ in dediği gibi yapı kabuğu fiziksel çevre kontrolünü de desteklediği için [8] yapı kabuğunu oluşturan elemanlar ve bu elemanların termofiziksel özellikleri enerji tüketimini doğrudan etkiler.

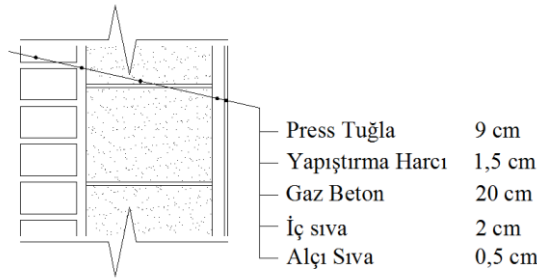
Yapı kabuğunun göstereceği enerji performansını ortaya koymak için yapı kabuğunu oluşturan elemanların ısıl direnci veya diğer adıyla ısı geçirgenlik katsayıları hesaplanır. Her yapı bileşeninin ısıl direnci, yapı kabuğundaki alanı ve geçen süre ile iç-dış sıcaklık farkı yapı bileşeninin ısıl performansını ve enerji tüketim miktarını belirler (formüller ve açıklamalar için TS 825'e bakınız).

### 3.2.1.2.1. Yapı kabuğu dış duvarları

Çalışma yapılan binanın yapı kabuğunda; betonarme konstrüksiyon, pres tuğla kaplamalı gaz beton duvar ve gaz beton duvar olmak üzere üç farklı tipte duvar kuruluşu vardır.

- Zemin kat duvarları

Zemin kat duvarlarını oluşturan yapı malzemeleri, kalınlıkları, ısı iletkenlik katsayıları ve ısı geçirgenlik dirençleri Şekil 3.7 ve Çizelge 3.2 da yer almaktadır.



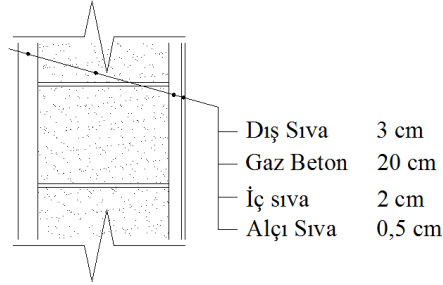
Şekil 3.7. Zemin kat duvarlarını oluşturan yapı malzemeleri

Çizelge 3.2. Zemin kat duvarlarının malzemeleri, kalınlıkları ve ısı geçirgenlik katsayısı

| Zemin Kat Duvarı | d (m) | $\lambda$ (W/mK) | $d/\lambda, 1/\alpha$ (m <sup>2</sup> K/W) | R (m <sup>2</sup> K/W) | U (W/m <sup>2</sup> K) |
|------------------|-------|------------------|--|------------------------|------------------------|
| $1/\alpha_{iç}$  |       |                  | 0,13                                       | 1,143                  | 0,875                  |
| Saten Alçı       | 0,005 | 0,7              | 0,007                                      |                        |                        |
| İç sıva          | 0,02  | 1,6              | 0,013                                      |                        |                        |
| Gaz Beton        | 0,2   | 0,24             | 0,833                                      |                        |                        |
| Yapıştırma Harcı | 0,015 | 1,6              | 0,009                                      |                        |                        |
| Pres Tuğla       | 0,09  | 0,81             | 0,111                                      |                        |                        |
| $1/\alpha_{dış}$ |       |                  | 0,04                                       |                        |                        |

- Birinci Kat Duvarları

Birinci kat duvarlarını oluşturan yapı malzemeleri, kalınlıkları, ısı iletkenlik katsayıları ve ısı geçirgenlik dirençleri Şekil 3.8 ve Çizelge 3.3 de yer almaktadır.



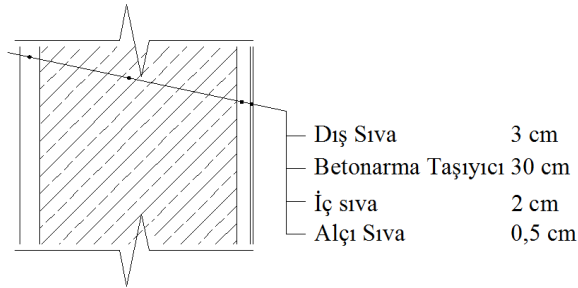
Şekil 3.8. Birinci kat dış duvarlarını oluşturan yapı malzemeleri

Çizelge 3.3. Birinci kat dış duvarlarının malzemeleri, kalınlıkları ve ısı geçirgenlik katsayısı

| I. Kat Duvarı    | d (m) | $\lambda$ (W/mK) | $d/\lambda, 1/\alpha$ (m <sup>2</sup> K/W) | R (m <sup>2</sup> K/W) | U (W/m <sup>2</sup> K) |
|------------------|-------|------------------|--|------------------------|------------------------|
| $1/\alpha_{iç}$  |       |                  | 0,13                                       | 1,042                  | 0,960                  |
| Saten Alçı       | 0,005 | 0,7              | 0,007                                      |                        |                        |
| İç sıva          | 0,02  | 1,6              | 0,013                                      |                        |                        |
| Gaz Beton        | 0,2   | 0,24             | 0,833                                      |                        |                        |
| Dış sıva         | 0,03  | 1,6              | 0,019                                      |                        |                        |
| $1/\alpha_{dış}$ |       |                  | 0,04                                       |                        |                        |

- Betonarme Konstrüksiyon

Yapı kabuğundaki duvarlarda yer alan betonarme konstrüksiyonu oluşturan duvarın yapı malzemeleri, kalınlıkları, ısı iletkenlik katsayıları ve ısı geçirgenlik dirençleri Şekil 3.9 ve Çizelge 3.4 de yer almaktadır.



Şekil 3.9. Betonarme duvarları oluşturan yapı malzemeleri

**Çizelge 3.4.** Betonarme duvarları oluşturan yapı malzemeleri, kalınlıkları ve ısı geçirgenlik katsayısı

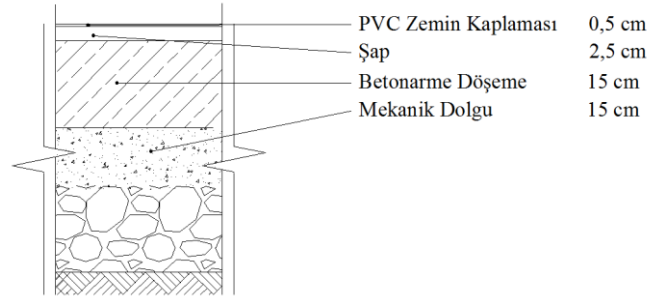
| Betonarme Duvar  | d (m) | $\lambda$ (W/mK) | $d/\lambda, 1/\alpha$ (m <sup>2</sup> K/W) | R (m <sup>2</sup> K/W) | U (W/m <sup>2</sup> K) |
|------------------|-------|------------------|--|------------------------|------------------------|
| $1/\alpha_{iç}$  |       |                  | 0,13                                       | 0,328                  | 3,045                  |
| Saten Alçı       | 0,005 | 0,7              | 0,007                                      |                        |                        |
| İç sıva          | 0,02  | 1,6              | 0,013                                      |                        |                        |
| Betonarme Kolon  | 0,3   | 2,5              | 0,120                                      |                        |                        |
| Dış sıva         | 0,03  | 1,6              | 0,019                                      |                        |                        |
| $1/\alpha_{dış}$ |       |                  | 0,04                                       |                        |                        |

### 3.2.1.2.2. Yapı kabuğu döşemeleri

Çalışma yapılan binanın yapı kabuğunda; zemine oturan döşeme, kat arası döşeme, çıkma altındaki döşeme ve çatı döşemesi olacak şekilde dört tip döşeme bulunmaktadır.

- Zemine Oturan Döşeme

Zemin oturan döşemeyi oluşturan yapı malzemeleri, kalınlıkları, ısı iletkenlik katsayıları ve ısı geçirgenlik dirençleri Şekil 3.10 ve Çizelge 3.5 de yer almaktadır.



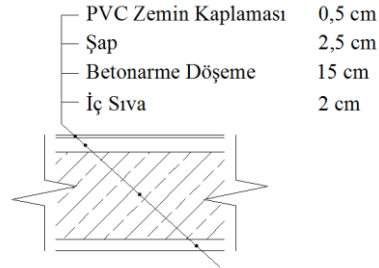
**Şekil 3.10.** Zemine oturan döşemeleri oluşturan yapı malzemeleri

**Çizelge 3.5.** Zemine oturan döşemeyi oluşturan yapı malzemeleri, kalınlıkları ve ısı geçirgenlik katsayısı

| Zemin Oturan Döşeme              | d (m) | $\lambda$ (W/mK) | $d/\lambda, 1/\alpha$ (m <sup>2</sup> K/W) | R (m <sup>2</sup> K/W) | U (W/m <sup>2</sup> K) |
|----------------------------------|-------|------------------|--|------------------------|------------------------|
| $1/\alpha_{iç}$                  |       |                  | 0,17                                       | 0,427                  | 2,340                  |
| PVC kaplama                      | 0,005 | 0,19             | 0,026                                      |                        |                        |
| Şap                              | 0,025 | 0,72             | 0,035                                      |                        |                        |
| Betonarme Döşeme (Hasır çelikli) | 0,15  | 2,5              | 0,060                                      |                        |                        |
| Mekanik Dolgu                    | 0,15  | 1,1              | 0,136                                      |                        |                        |
| $1/\alpha_{dış}$                 |       |                  | 0  |                        |                        |

- Kat arası Döşeme

Kat arası döşemeyi oluşturan yapı malzemeleri, kalınlıkları, ısı iletkenlik katsayıları ve ısı geçirgenlik dirençleri Şekil 3.11 ve Çizelge 3.6 da yer almaktadır.



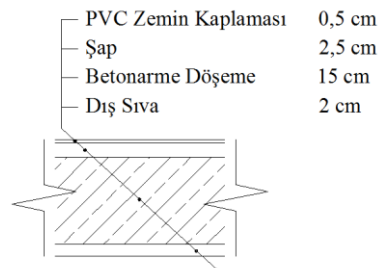
**Şekil 3.11.** Kat arası döşemeleri oluşturan yapı malzemeleri

**Çizelge 3.6.** Kat arası döşemeyi oluşturan yapı malzemeleri, kalınlıkları ve ısı geçirgenlik katsayısı

| I. Kat döşemesi                  | d (m) | $\lambda$ (W/mK) | $d/\lambda$ , $1/\alpha$ (m <sup>2</sup> K/W) | R (m <sup>2</sup> K/W) | U (W/m <sup>2</sup> K) |
|----------------------------------|-------|------------------|---|------------------------|------------------------|
| $1/\alpha_{iç}$                  |       |                  | 0,13  | 0,304                  | 3,294                  |
| PVC kaplama                      | 0,005 | 0,19             | 0,026   |                        |                        |
| Şap                              | 0,025 | 0,72             | 0,035   |                        |                        |
| Betonarme Döşeme (Hasır çelikli) | 0,15  | 2,5              | 0,060   |                        |                        |
| İç Sıva                          | 0,02  | 1,6              | 0,013   |                        |                        |
| $1/\alpha_{dış}$                 |       |                  | 0,04  |                        |                        |

- Konsol döşeme

Konsol döşemeyi oluşturan yapı malzemeleri, kalınlıkları, ısı iletkenlik katsayıları ve ısı geçirgenlik dirençleri Şekil 3.12 ve Çizelge 3.7 de yer almaktadır.



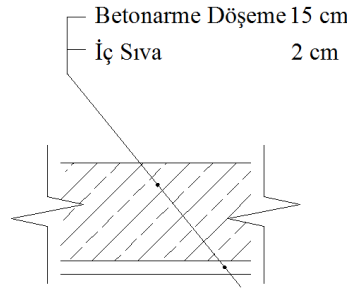
**Şekil 3.12.** Konsol döşemeleri oluşturan yapı malzemeleri

**Çizelge 3.7.** Konsol döşemeyi oluşturan yapı malzemeleri, kalınlıkları ve ısı geçirgenlik katsayısı

| I. Kat konsol döşeme             | d (m) | $\lambda$ (W/mK) | $d/\lambda, 1/\alpha$ (m <sup>2</sup> K/W) | R (m <sup>2</sup> K/W) | U (W/m <sup>2</sup> K) |
|----------------------------------|-------|------------------|--|------------------------|------------------------|
| $1/\alpha$ iç                    |       |                  | 0,13                                       | 0,310                  | 3,228                  |
| PVC kaplama                      | 0,005 | 0,19             | 0,026                                      |                        |                        |
| Şap                              | 0,025 | 0,72             | 0,035                                      |                        |                        |
| Betonarme Döşeme (Hasır çelikli) | 0,15  | 2,5              | 0,060                                      |                        |                        |
| İç Sıva                          | 0,03  | 1,6              | 0,019                                      |                        |                        |
| $1/\alpha$ dış                   |       |                  | 0,04                                       |                        |                        |

- Çatı döşemesi

Çatı döşemesini oluşturan yapı malzemeleri, kalınlıkları, ısı iletkenlik katsayıları ve ısı geçirgenlik dirençleri Şekil 3.13 ve Çizelge 3.8 de yer almaktadır.



**Şekil 3.13.** Çatı döşemesini oluşturan yapı malzemeleri ve kalınlıkları

**Çizelge 3.8.** Çatı döşemesini oluşturan yapı malzemeleri, kalınlıkları ve ısı geçirgenlik katsayısı

| Çatı Döşemesi                    | d (m) | $\lambda$ (W/mK) | $d/\lambda, 1/\alpha$ (m <sup>2</sup> K/W) | R (m <sup>2</sup> K/W) | U (W/m <sup>2</sup> K) |
|----------------------------------|-------|------------------|--|------------------------|------------------------|
| $1/\alpha$ iç                    |       |                  | 0,13                                       | 0,283                  | 3,540                  |
| Ahşap Çatı                       |       |                  | 0  |                        |                        |
| Ahşap Çatı arası hava boşluğu    |       |                  | 0  |                        |                        |
| Betonarme Döşeme (Hasır çelikli) | 0,15  | 2,5              | 0,060                                      |                        |                        |
| İç sıva                          | 0,02  | 1,6              | 0,013                                      |                        |                        |
| $1/\alpha$ dış                   |       |                  | 0,08                                       |                        |                        |

### 3.2.1.2.3. Yapı kabuğu pencereleri

Yapı kabuğunda yer alan pencerelerin malzemeleri, kalınlıkları, ısı iletkenlik katsayıları ve ısı geçirgenlik dirençleri Çizelge 3.9 da yer almaktadır.



**Çizelge 3.9.** Pencereleeri oluşturan yapı malzemeleri, kalınlıkları ve ısı geçirgenlik katsayısı

| Pencere ve Doğrama | d (m) | $\lambda$ (W/mK) | $d/\lambda, 1/\alpha$ (m <sup>2</sup> K/W) | R (m <sup>2</sup> K/W) | U (W/m <sup>2</sup> K) |
|--------------------|-------|------------------|--|------------------------|------------------------|
| $1/\alpha_{iç}$    |       |                  | -  | 0,049                  | 2,800                  |
| Kaplamasız Cam     | 0,004 | 1                | 0,004                                      |                        |                        |
| Hava Boşluğu       | 0,012 | 0,294            | 0,041                                      |                        |                        |
| Kaplamasız Cam     | 0,004 | 1                | 0,004                                      |                        |                        |
| $1/\alpha_{dış}$   |       |                  | -  |                        |                        |

### 3.2.1.3. Örnek binanın ısıtma sistemi

Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsü'ndeki Mühendislik Fakültesi bloklarının ısıtılması kampüste bulunan ısı merkezi tarafından sağlanmaktadır (Şekil 3.14).



**Şekil 3.14.** Mühendislik Fakültesi bloklarına ait ısı merkezi

Isı merkezinde dört adet kazan bulunmaktadır (kazanların özellikleri Çizelge 3.10 da verilmiştir) (Şekil 3.15). Su sirkülasyonu sekiz adet sirkülasyon pompası ile sağlanmaktadır (Şekil 3.16).



**Şekil 3.15.** Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsü'nde yer alan ısı merkezindeki kazanlar

**Çizelge 3.10.** Isı merkezindeki kazanların özellikleri

|                            |                               |
|----------------------------|-------------------------------|
| Yakıt tipi                 | Sıvı-Gaz                      |
| Kazan Tipi                 | Çelik Gövdeli Sıcak su kazanı |
| Model                      | BÇK-2150                      |
| Isı Gücü                   | 2500 kW (2.150.000kcal/h)     |
| Maksimum Isı Yüğü          | 2737kW (2.353.820 kcal/h)     |
| Maksimum İşletme Basıncı   | 6 bar                         |
| Maksimum İşletme Sıcaklığı | 100 °C                        |
| Verim Sınıfı               | ** (%91,8)                    |



**Şekil 3.16.** *Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsü'nde yer alan ısı merkezindeki sirkülasyon pompaları*

Isı merkezi Mühendislik Fakültesi bloklarının kuzeybatısında, servis yolunun yanında yer almakta ve bu ısı merkezinden de her bloğa giden farklı bir tesisat hattı bulunmaktadır. Her bloğun ısıtma hattı toprak altından ilerlemekte ve blokların önünde bulunan tesisat galerilerinden binalara dağılmaktadır. Isıtma tesisatı zemin kata doğrusal bir hat şeklinde uzatılmış ve birinci kat ofislerine kolon boruları uzatılarak radyatörlerde sonlandırılmıştır.

### **3.2.2. Örnek binadan veri toplanması**

IPMVP ve M&V protokollerinin ölçüm standartları çerçevesinde, Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğunda sadece kuzeydoğuya bakan ofislerde tek yöne pencere açılımı olduğu dikkate alınarak;

- Komşu iç mekanların ısı geçirimsiz olduğu,
- Zemin ve I. Katta bulunan en uçtaki ofisler ile ortadaki bir ofisin;
  - Dış yüzey alanı ve taban alanı (KD I 09 ofisi diğer ofislerin iki katı büyüklüğündedir)
  - Güneş ışınımı ve

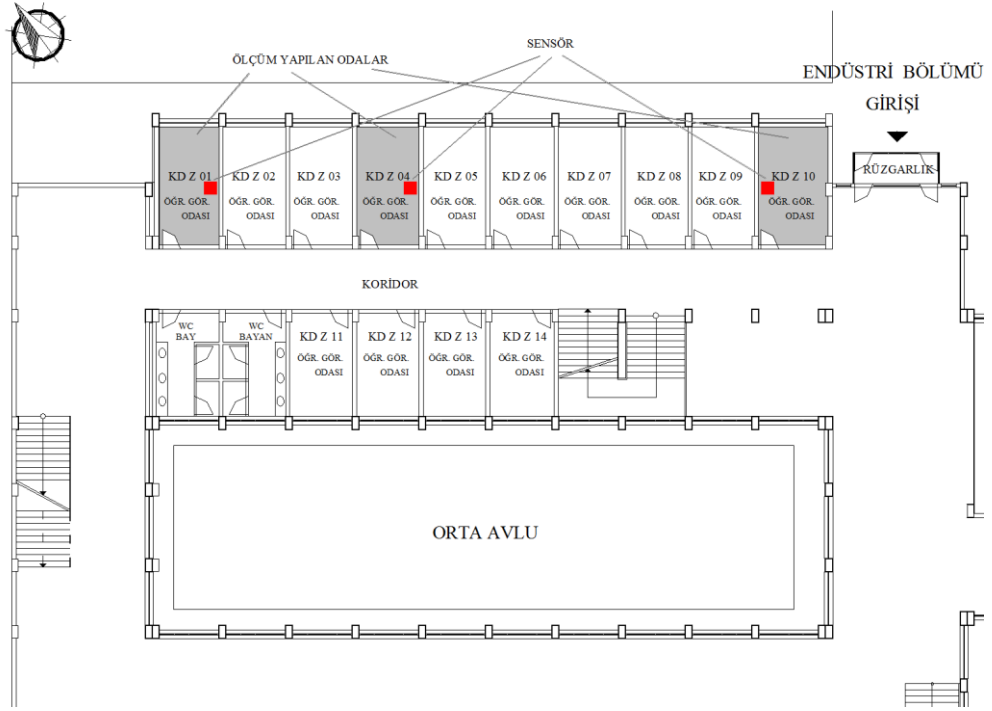
- Gölgeleme faktörü farklılıklarından ve
  - Ara ofis tipolojilerinin aynı olmasından
- dolayı tüm bloğu temsil ettiği kabul edilerek, katta üçer ofis ve toplamdaysa altı ofiste;
- İç mekan hava sıcaklığı ve bağıl nem ile
  - Isıtma sistemindeki ısı akışkanının ısı enerjisi
- ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

### **3.2.2.1. Hava sıcaklığı ve bağıl nem kaydedilmesi**

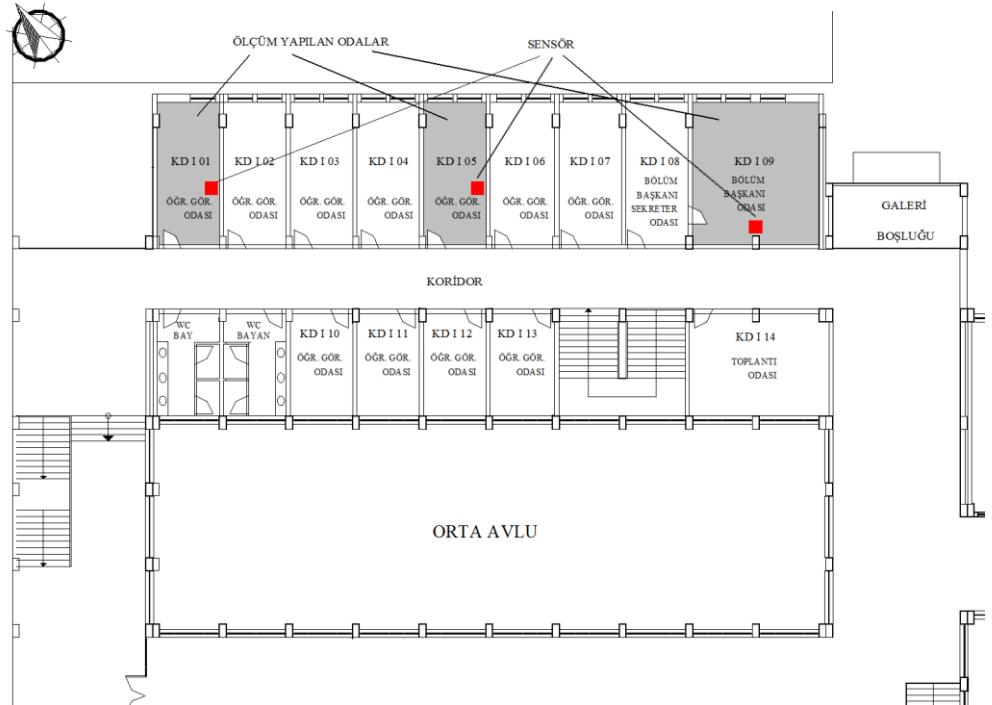
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğunda sensörlerin yerleştirildiği ofisler ve ofisteki konumları Şekil 3.17-18'deki kat planlarında gösterilmektedir. İç mekanda yapılan hava sıcaklığı ve bağıl nem ölçümleri zeminden 1.1m-1.7m yükseklik aralığında gerçekleştirildiği için [101-108] sensörler güneş ışınımına maruz kalmayan iç duvarda 1.5m yüksekliğe konumlandırılmıştır. Ofislerde 20.5.2013-20.5.2014 tarihleri aralığında, (IPMVP'de belirtildiği gibi) 10 dakikalık periyotlarda yapılan ve kaydedilen ölçümler;

- Hava sıcaklığında  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  ve
- Bağıl nemde  $\pm 3$  RH

hassasiyetinde olan TESTO 174H cihazlarıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.19).



Şekil 3.17. Örnek binanın zemin katında sensörlerin yerleştirildiği ofisler



Şekil 3.18. Örnek binanın I. katında sensörlerin yerleştirildiği ofisler



Z01 ofisi ve datalogger konumu



Z04 ofisi ve datalogger konumu



Z10 ofisi ve datalogger konumu



I01 ofisi ve datalogger konumu



I05 ofisi ve datalogger konumu



I09 ofisi ve datalogger konumu

Şekil 3.19. Örnek bina ofislerine yerleştirilen sensörler

### 3.2.2.2. Isıtma enerjisinin ölçülmesi ve kaydedilmesi

Örnek binada belirlenen ofislere, ısı enerjisi ölçüm ve veri kayıt sistemine ilişkin olarak;

- Bir adet debimetre (ısıtma tesisatı dönüş borusuna),
- İki adet sıcaklık sensörü (prob) (ısıtma tesisatının gidiş-dönüş borularına),

ısıtma tesisatına monte edilmiştir (Şekil 3.20). Söz konusu kalorimetre sistemi gidiş-dönüş sıcaklık farkı ile borudan geçen ısı akışkan miktarını ölçerek (dakikalık ve kümülatif [üst üste ekleyerek]) kayıt yapmıştır. Tüketilen ısıtma enerjisini hesaplayabilmek için;

$$Q_{ısıtma} = M \times C \times \Delta t \quad (2-1)$$

Formula kullanılmıştır. Burada;

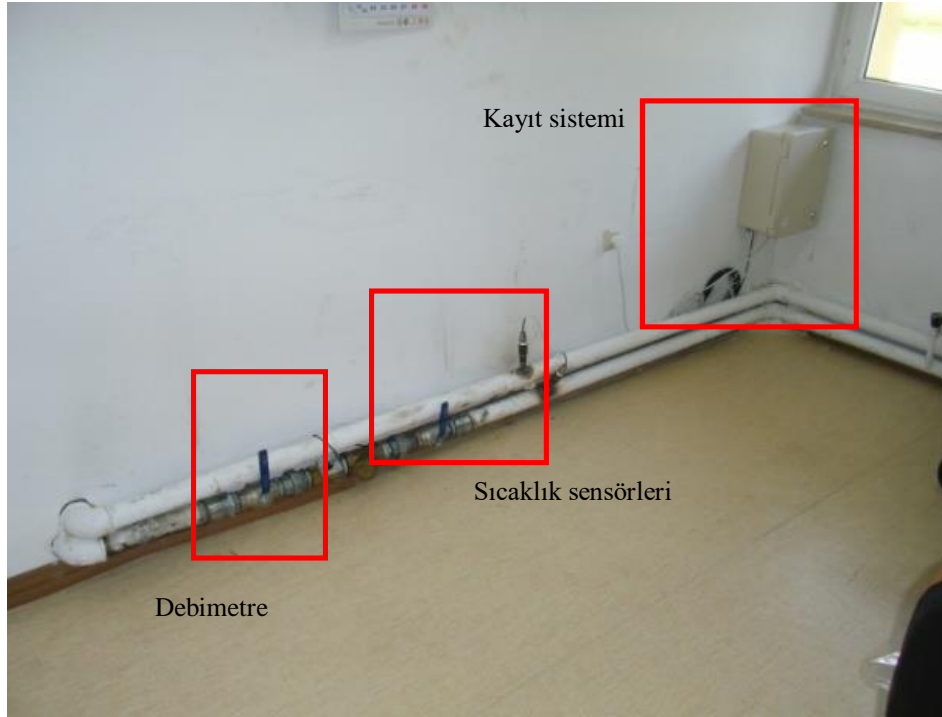
$Q_{ısıtma}$ : İklimlendirme sisteminde 1 dakikada tüketilen ısı enerjisi (kW/dk),

$M$  : İklimlendirme sisteminde 1 dakikada debimetreden geçen ısı akışkan miktarı (L/dk),

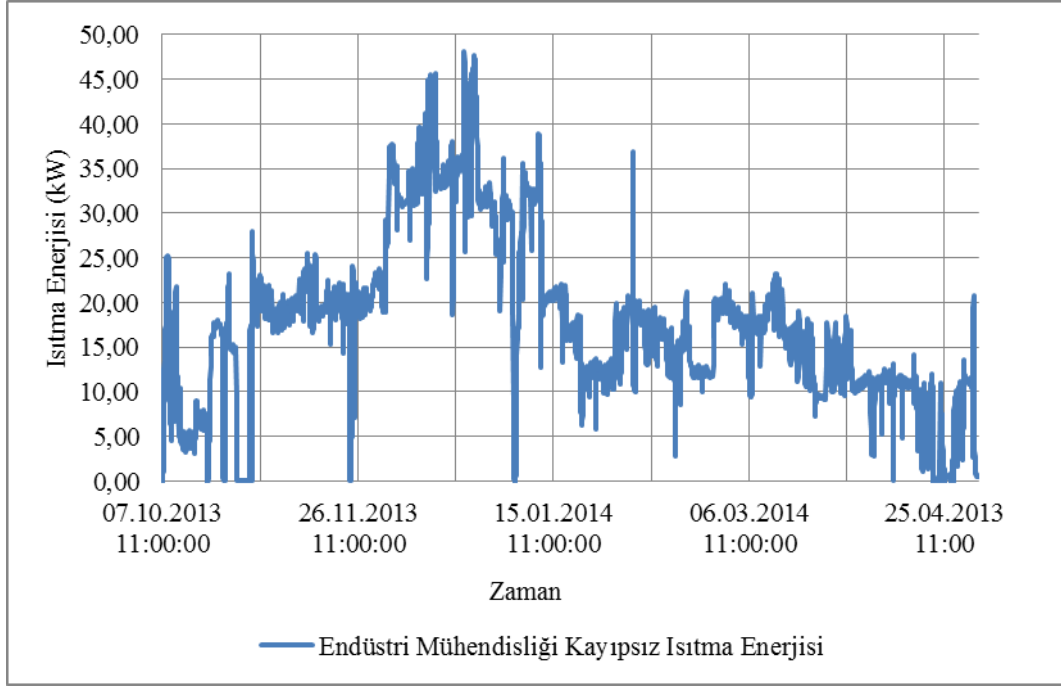
$C$  : Öz ısı (cal/L<sup>0</sup>C) [ $1kcal=0,0011629995kWh$ ] ve

$\Delta t$  : Isıtma sistemindeki ısı akışkanın gidiş-dönüş borularındaki sıcaklık farkıdır (°C).

Örnek binadaki mevcut ısıtma enerjisi değerleri ise Şekil 3.21 ve Çizelge 3.11’de görülmektedir.



Şekil 3.20. Örnek bina ısıtma sistemine uygulanan ısıtma enerjisi ölçüm ve veri kayıt sistemi



**Şekil 3.21.** Örnek binanın kayıpsız (ısı akışkandan ölçülen) ısıtma enerjisi grafiği

**Çizelge 3.11.** Örnek binanın 2013 -2014 yılı ısıtma dönemine ait aylık kayıpsız toplam ısıtma enerjileri (kW)

| EKİM | KASIM | ARALIK | OCAK  | ŞUBAT | MART  | NİSAN | MAYIS |
|------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 5655 | 11235 | 20349  | 11302 | 10539 | 11586 | 5995  | 582   |

### 3.2.2.3. İklim verilerinin temin edilmesi

İklim verileri Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsü içindeki Eskişehir Meteoroloji 3. Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Metar Tipi Meteoroloji İstasyonundan TUMAS sistemi aracılığıyla saatlik veriler olarak (20.5.2013-20.5.2014 tarih aralığı için) temin edilmiştir [28]. Meteoroloji istasyonunda saatlik güneşlenme/gölgeleme ölçümü yapılmadığı için çalışmaya dahil edilmemiştir.

### 3.2.3. Örnek binanın enerji tüketim doğrulaması yapılarak gerçekçi modelinin elde edilmesi

Örnek binanın IPMVP ve M&V protokolleri doğrultusunda gerçekçi modelinin elde edilmesi için izlenen süreç aşağıda açıklanmıştır.



### **3.2.3.1. Binalarda enerji simülasyon programının özellikleri**

Örnek bina ofislerinde enerji performansını hesaplamak için, Design Builder (DB) isimli bina enerji simülasyonu programı kullanılmıştır. DesignBuilder;

- SBEM Manuel DesignBuilder, grafik ara yüzü ve Enerji Kimlik Belgesi (EPC) ve BRUKL Bina Yönetmelikleri Bölüm L2 ile uyum gösteren raporları üretebilme,
- ASHRAE 140-1 (2004) gereğince ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin performans testlerini yapabilme,
- Northumbria Üniversitesi tarafından hazırlanan Pheonics CFD yazılımı ile karşılaştırılan DesignBuilder, CFD Hesaplamalı akışkanlar dinamiği hesaplamalarını yapabilme,

özelliklerine sahiptir [109]. Bu raporlar çerçevesinde dinamik hesaplama modeli prensiplerini kabul eden DesignBuilder, tüketilen anlık enerjiyi hesaplama güvenilirliği ispatlanmış bir enerji simülasyon programıdır.

### **3.2.3.2. Örnek binanın enerji simülasyon programında aslına uygun modellenmesi**

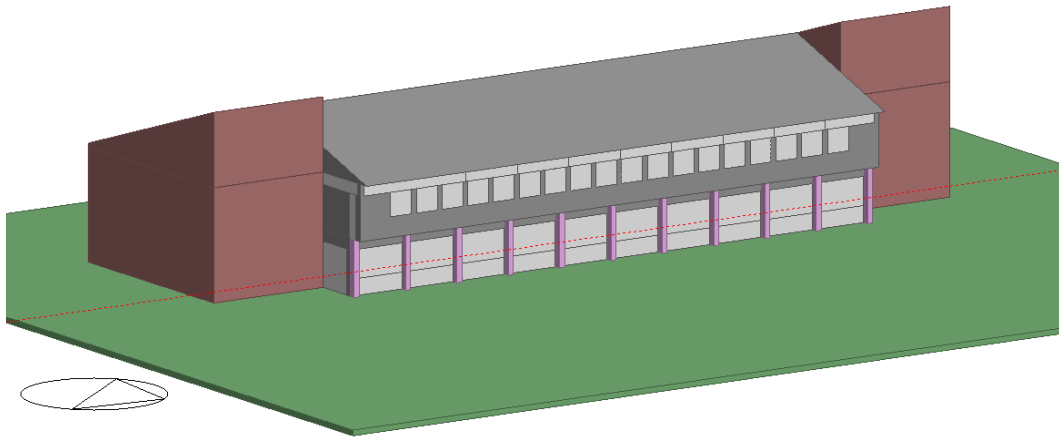
Gerçekçi modeli elde etmek ve enerji tüketim doğrulaması yapabilmek için örnek binanın aslına uygun modellenmesi gerekir [26, 27]. Bu bağlamda örnek binanın ve ofislerinin Design Builder'da hazırlanan enerji simülasyon modeline;

- Coğrafi olarak;
  - Bölgesi,
  - Konumu
  - Yönü ve
  - İklim verileri
- Yapı kabuğu elemanları ve malzemeleri;
  - Duvarlar,
  - Kolonlar,
  - Döşemeler,
  - Pencereler ve kapılar,
  - Zemine oturan döşeme,
  - Çatı ve

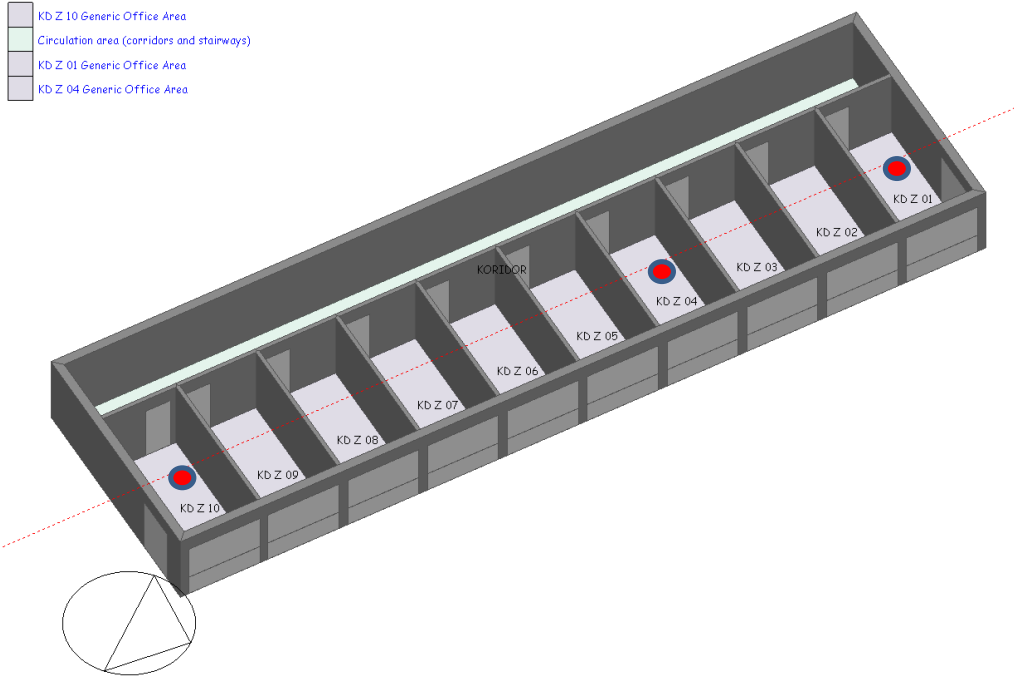
- Isı geçirimsiz alanlar,
- Kullanıma yönelik;
  - Kullanım amacı,
  - Kullanıcı sayısı,
  - Kullanım saatleri,
  - Haftalık kullanım sıklığı (iş günleri),
- Yapı mekanlarına yönelik;
  - Mevcut ofisler ve sirkülasyon alanları,
  - Ofis iç sıcaklıkları ve bağıl nem değerleri,
  - Ofis ekipmanları ve
  - Aydınlatma elemanları,
- Isıtma sistemine yönelik;
  - Kazan tipi,
  - Kazan verimi,
  - Isıtma dönemi ve
  - Isıtma rejimi (aralığı)

değerleri tanımlanmıştır. Söz konusu veriler bölüm “3.2.1.2” deki mevcut yapı kabuğu kuruluşlarına ve Çizelge 3.1 deki mimari özelliklere göre modellenmiştir.

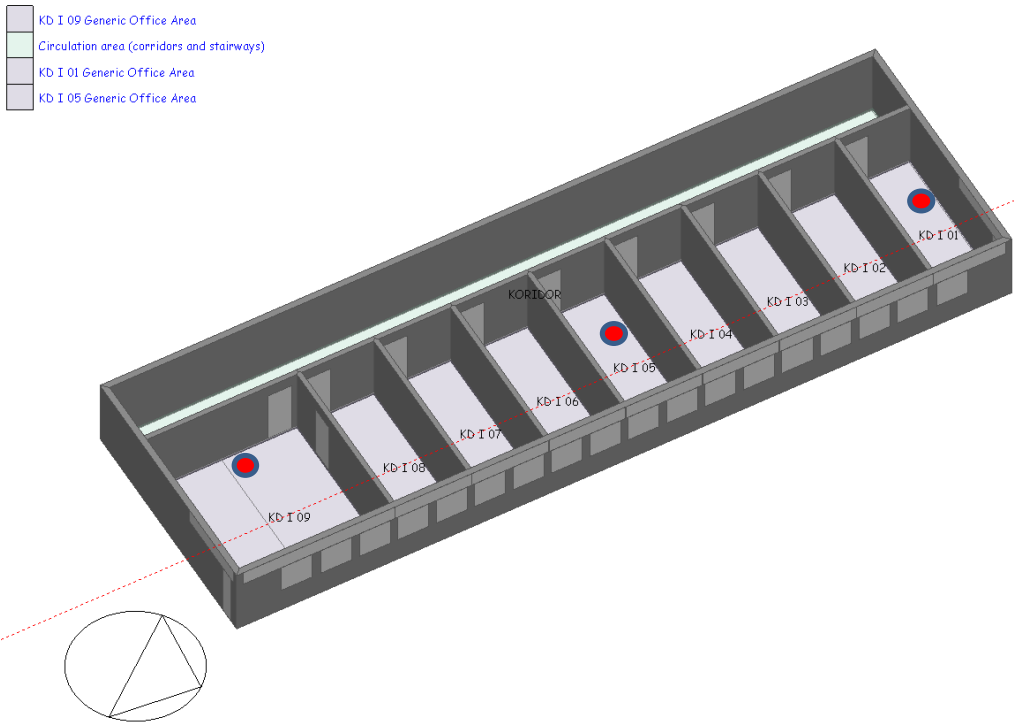
Design Builder’da hazırlanan modelin görüntüleri Şekil 3.22-3.24 de yer almaktadır.



**Şekil 3.22.** Örnek binanın Design Builder simülasyon modeli



**Şekil 3.23.** Örnek bina zemin katının Design Builder simülasyon modeli



**Şekil 3.24.** Örnek bina I. katının Design Builder simülasyon modeli

### 3.2.3.3. İklim verilerinin oluşturulması ve enerji simülasyon modeline tanımlanması

TUMAS'dan elde edilen (ısıtma enerjisi ile iç ortam sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin ölçüldüğü zaman aralığına ait) iklim verileri Çizelge 3.12'de yer almaktadır.

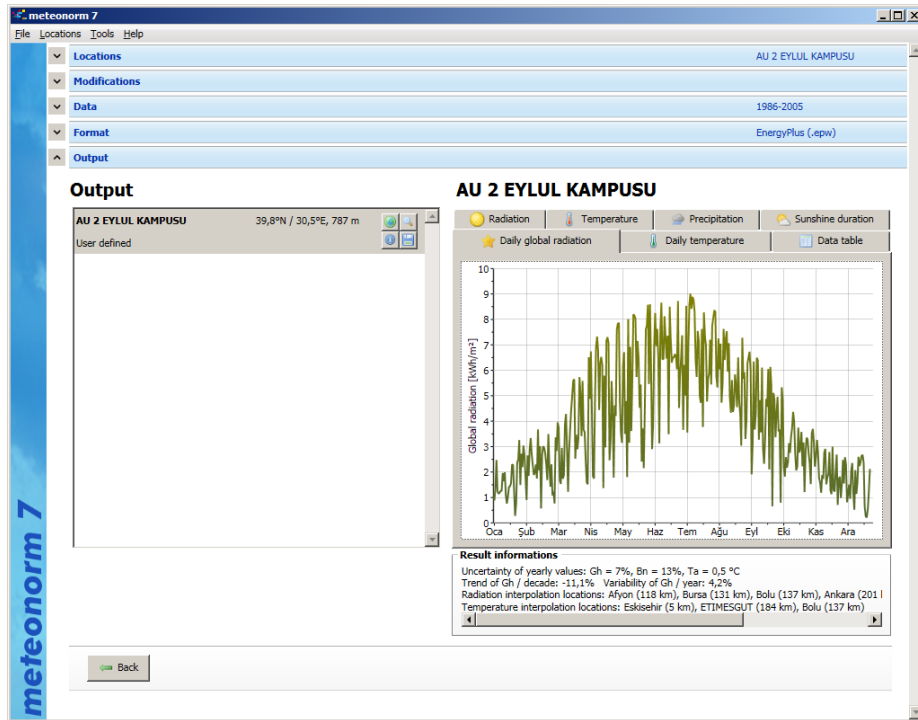
Çizelge 3.12. Eskişehir ili için TUMAS'dan temin edilen iklim verileri

| mn7 import file |     |     |      |      |     |       |     |     |
|-----------------|-----|-----|------|------|-----|-------|-----|-----|
| m               | dm  | h   | Ta   | Td   | %   | p     | ff  | DD  |
| 1               | 1   | 1   | -2   | -2,1 | 99  | 930.1 | 2   | 120 |
| 1               | 1   | 2   | -1   | -1,1 | 99  | 930.1 | 2   | 120 |
| 1               | 1   | 3   | -1   | -1,1 | 99  | 930.1 | 2   | 100 |
| 1               | 1   | 4   | -1   | -1,1 | 99  | 930.1 | 2   | 70  |
| 1               | 1   | 5   | -2   | -2,1 | 99  | 930.1 | 2   | 90  |
| 1               | 1   | 6   | -2   | -2,1 | 99  | 930.1 | 2,5 | 100 |
| 1               | 1   | 7   | -2   | -2,3 | 98  | 931.3 | 3,6 | 80  |
| 1               | 1   | 8   | -1,6 | -1,9 | 98  | 931.5 | 3,6 | 70  |
| 1               | 1   | 9   | -1,6 | -1,9 | 98  | 931.3 | 3   | 80  |
| 1               | 1   | 10  | -1,2 | -1,3 | 99  | 930.9 | 2   | 110 |
| 1               | 1   | 11  | -0,8 | -0,9 | 99  | 930.4 | 3   | 100 |
| 1               | 1   | 12  | -0,5 | -0,6 | 99  | 930.1 | 3,6 | 80  |
| 1               | 1   | 13  | -0,3 | -0,4 | 99  | 930.3 | 3,6 | 90  |
| 1               | 1   | 14  | -0,2 | -0,3 | 99  | 930.4 | 4,1 | 90  |
| 1               | 1   | 15  | -0,6 | -0,7 | 99  | 930.7 | 4,1 | 70  |
| 1               | 1   | 16  | -1   | -1,1 | 99  | 931.0 | 3   | 70  |
| 1               | 1   | 17  | -0,8 | -0,9 | 99  | 931.3 | 3,6 | 70  |
| 1               | 1   | 18  | -0,8 | -0,9 | 99  | 931.3 | 3,6 | 70  |
| 1               | 1   | 19  | -0,8 | -0,9 | 99  | 931.6 | 3,6 | 100 |
| 1               | 1   | 20  | -0,6 | -0,9 | 98  | 931.5 | 2,5 | 80  |
| 1               | 1   | 21  | -0,5 | -0,6 | 99  | 931.5 | 2,5 | 100 |
| 1               | 1   | 22  | -0,4 | -0,5 | 99  | 931.3 | 3,6 | 100 |
| 1               | 1   | 23  | -0,4 | -0,5 | 99  | 931.3 | 3,6 | 110 |
| 1               | 1   | 24  | -0,5 | -0,6 | 99  | 931.3 | 3   | 110 |
| 1               | 2   | 1   | -0,6 | -0,7 | 99  | 931.2 | 3,6 | 110 |
| 1               | 2   | 2   | -0,4 | -0,5 | 99  | 930.6 | 3,6 | 120 |
| 1               | 2   | 3   | -0,2 | -0,3 | 99  | 930.4 | 3,6 | 100 |
| 1               | 2   | 4   | 0    | -0,1 | 99  | 930.4 | 4,1 | 100 |
| 1               | 2   | 5   | -0,1 | -0,2 | 99  | 930.6 | 4,6 | 90  |
| ...             | ... | ... | ...  | ...  | ... | ...   | ... | ... |
| 12              | 31  | 21  | 0,3  | 0,2  | 99  | 930,9 | 2   | 90  |
| 12              | 31  | 22  | -0,1 | -0,2 | 99  | 930,8 | 2   | 80  |
| 12              | 31  | 23  | -0,2 | -0,3 | 99  | 930,1 | 3   | 100 |
| 12              | 31  | 24  | -0,8 | -0,9 | 99  | 930,1 | 2,5 | 90  |

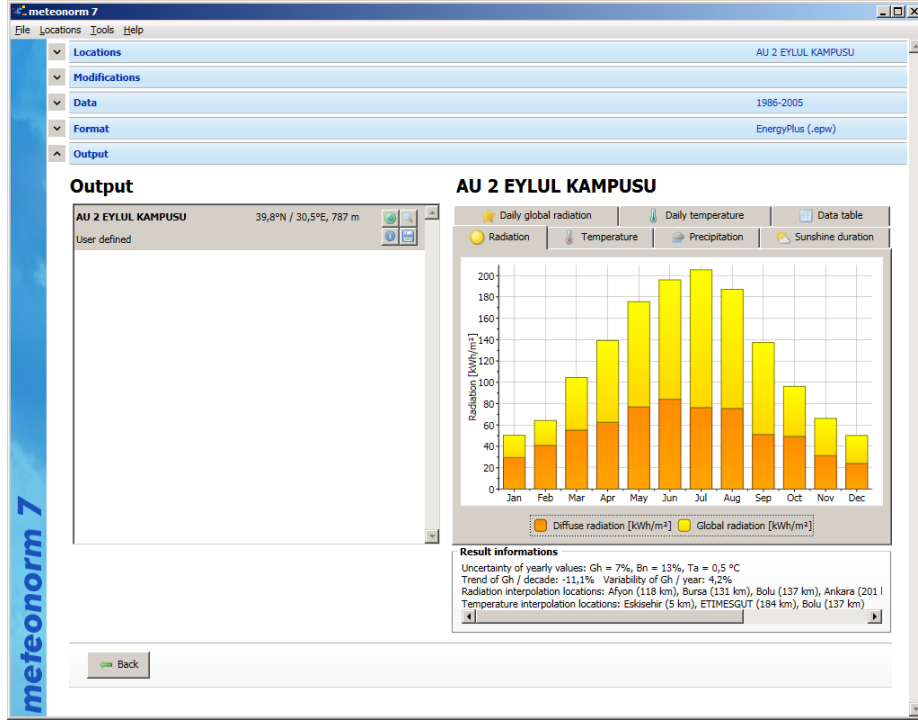
Kaynak: [28]

- İklim dosyasında yer alan verilerde;
- m : Ölçüm yapılan ay  
dm : Ölçüm yapılan ayın günü  
h : Ölçüm yapılan ayın gününün saati  
Ta : Sıcaklık (°C)  
Td : Çiğ Sıcaklığı (°C)  
% : Bağlı Nem (RH)  
p : Atmosfer basıncı (bar)  
ff : Rüzgar hızı (m/s)  
DD : Rüzgar yönüdür (°) [110].

Isıtma ve soğutma enerji tüketiminde yönlenmeyle ilgili olarak güneş ışınımı önemli faktörlerden olduğu için güneş ışınım şiddeti verilerinin de iklim verisi dosyasında yer alması gerekmektedir. TUMAS'dan da bu veriler temin edilemediği için Meteororm (iklim verisi dönüştürme) programında örnek binanın bulunduğu enlem ve boylam için otomatik olarak hesaplatılmıştır (Şekil 3.25-3.26). Elde edilen tüm İklim verileri Meteororm programına Eskişehir ili için tanımlanarak 'ESKISEHIR.epw' (EnergyPlus weather file) iklim dosyası oluşturulmuştur.



Şekil 3.25. Meteororm programında Eskişehir ili için otomatik olarak hesaplanan günlük global güneş ışınım şiddeti grafiği (kWh/m<sup>2</sup>)



Şekil 3.26. *Meteonorm* programında Eskişehir ili için otomatik olarak hesaplanan aylık yayılı ve global güneş ışınım şiddeti grafiği ( $kWh/m^2$ )

### 3.2.3.4. Ölçülen ve hesaplanan verilerin eşitlenmesi

Uluslararası Ölçüm, Doğrulama ve Enerji İhtiyacı Standartları ve Protokolleri kapsamında (ASHRAE 2002-2005, CRES 2000, IPMVP 2001 ve M&V 2008) gerçekçi modelin doğruluğu; 8760 saatlik ölçüm yapılan iç sıcaklık ve enerji tüketimlerinin saatlik ve/veya aylık karşılaştırılmasıyla sağlanır. Bu karşılaştırmada belirtme katsayısı (Coefficient of Determination), belirsizlik katsayısı (Coefficient of Variation / RMSE) ve ortalama hata (MBE) kullanılır [26, 27].

Belirtme katsayısı (R) [%];

$$R^2 = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_{pred,i} - y_{data,i})^2}{\sum_{i=1}^n (y_{data,i} - \bar{y}_{data})^2}\right) \times 100 \quad (4-1)$$

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

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{pred,i} - y_{data,i})^2}{n-p}}}{\bar{y}_{data}} \quad (4-2)$$

Ortalama hata ise (MBE) [%];

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{pred,i} - y_{data,i})}{n-p} \times 100 \quad (4-3)$$

Burada;

$y_{pred,i}$ ...; Hesaplanan verinin ölçülen veriye karşılık geldiği değer,

$y_{data,i}$ ...; Ölçülen verinin hesaplanan veriye karşılık geldiği değer,

$y_{data}$ .....; Ölçülen verilerin ortalama değeri,

$n$ .....; Değerlendirmeye alınan veri sayısı,

$p$ .....; Model içinde kullanılan regresyon sayısıdır [26, 27].

Gerçekçi model elde edilmesinde, simülasyon veri sonuçlarının kabul edilebilir sınır değerleri Çizelge 3.13’de yer almaktadır.

**Çizelge 3.13.** *Uluslararası Ölçüm, Doğrulama ve Enerji İhtiyacı Standartları ve Protokollerinin ‘enerji tüketim doğrulaması’ sınır değerleri*

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

**Kaynak:** [23, 26, 27]

### 3.2.3.4.1. Ölçülen ve hesaplanan iç ortam sıcaklık verilerinin eşitlenmesi

Enerji tüketim doğrulaması için bağlı kalınan protokollerde ve alanyazında incelenen çalışmalarda, bağıl nem verileri eşitlenmediği için bu çalışmada bağıl nem verileri eşitlenmemiştir.

IPMVP ve M&V protokolleri kapsamında, tüm binayı temsil ettiği kabul edilen 6 ofisin, ölçülen ve hesaplanan iç sıcaklık verilerinin eşitlenmesine ait; belirtme katsayısı, belirsizlik katsayısı ve ortalama hata değerleri Çizelge 3.14’de yer almaktadır.

Ara ofisler aynı tipolojide olduğu için ortada yer alan (zemin kattaki Z04 ve I. kattaki I05) ofislerin ölçüm yapılmayan diğer ara ofisleri temsil ettiği kabul edilmiştir. Ölçüm yapılan zemin ve I. kattaki uç (Z01, Z10, I01 ve I10) ve orta (Z04 ve I05) ofislerin (bir yıllık ölçümlerinde) aylara ait saatlik; ölçülen ve hesaplanan, iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri EK-1’de yer almaktadır.

**Çizelge 3.14.** Örnek binayı temsil ettiği kabul edilen ofislerin; ölçülen ve hesaplanan iç ortam sıcaklık sınır değerleri (8760 saatlik)

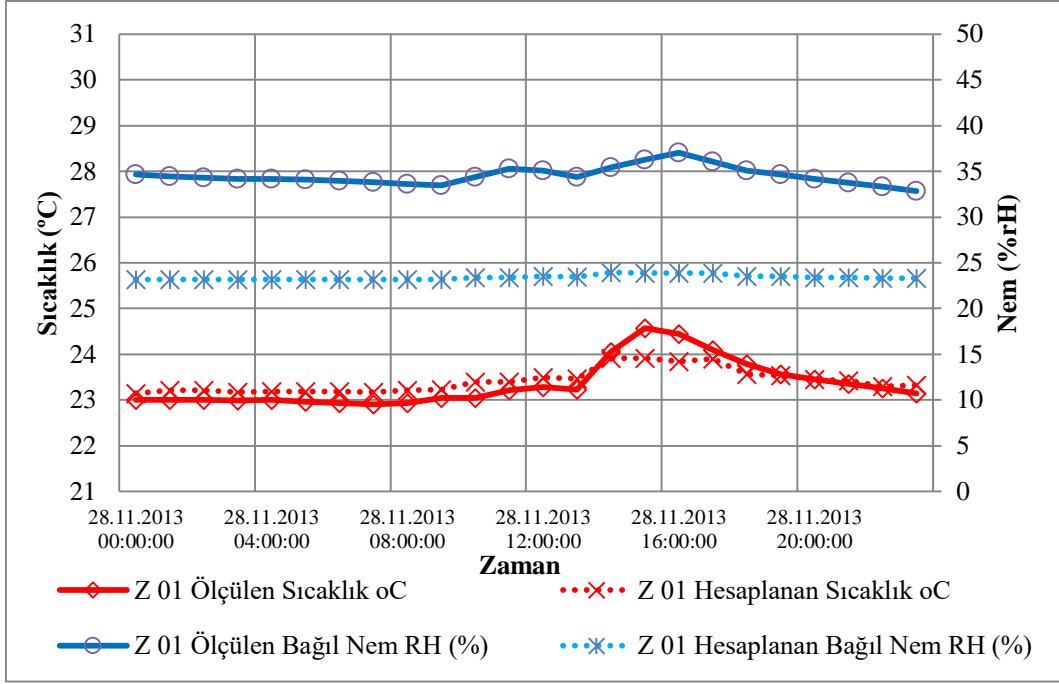
| Ofis ismi | Belirtme Katsayısı<br>(R) (%) | Belirsizlik Katsayısı<br>(RMSE (CV)) (%) | Ortalama Hata<br>(MBE) (%) |
|-----------|-------------------------------|--|----------------------------|
| KD Z 01   | 0.89                          | 16.78                                    | 0.62                       |
| KD Z 04   | 0.91                          | 16.60                                    | 0.53                       |
| KD Z 10   | 0.94                          | 15.43                                    | 0.21                       |
| KD I 01   | 0.96                          | 16.19                                    | 1.09                       |
| KD I 05   | 0.95                          | 15.20                                    | 0.37                       |
| KD I 09   | 0.94                          | 15.48                                    | 0.33                       |

Ölçüm yapılan ofislerin (ısıtma ve soğutma dönemlerindeki günlük ortalama sıcaklık verilerini temsil eden) 28 Kasım ve 22 Ağustos günlerine ait 24 saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri Şekil 3.27-3.38’de gösterilmektedir. Buna göre;

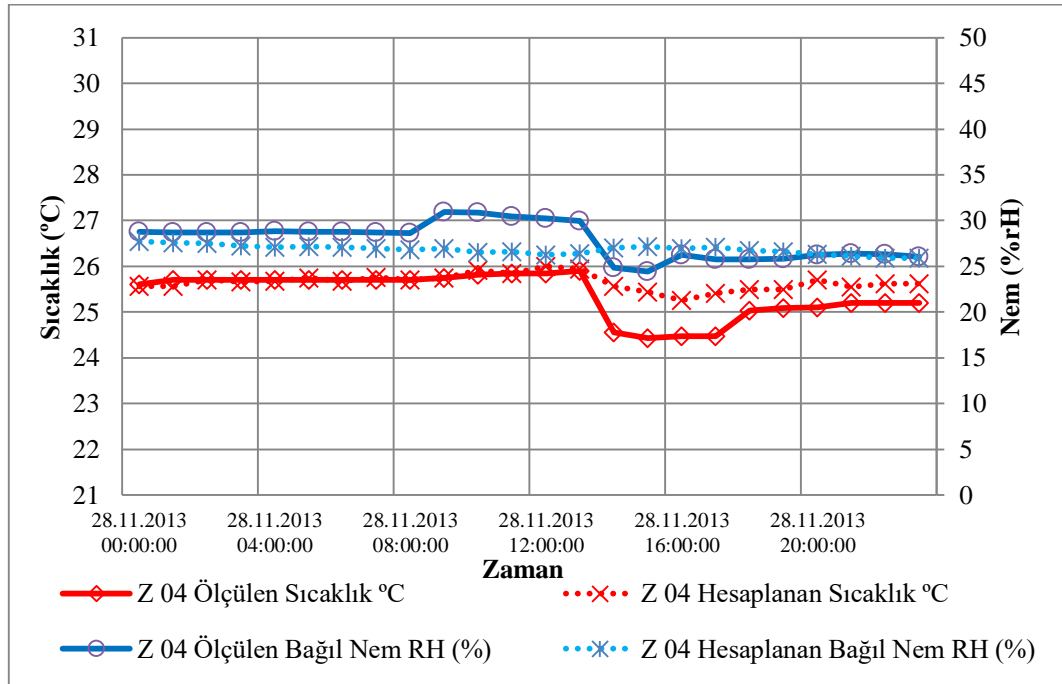
- 28 Kasımda iç sıcaklık grafikleri 24 saatlik değerlendirmede;
  - Z01 ofisinde 0.1-0.6 °C,
  - Z04 ofisinde 0-1°C,
  - Z10 ofisinde 0-0.4 °C,
  - I01 ofisinde 0-0.8 °C,
  - I05 ofisinde 0-0.5 °C,
  - I09 ofisinde 0-0.2 °C (Şekil 3.27-32),
- 22 Ağustosta iç sıcaklık grafikleri 24 saatlik değerlendirmede;
  - Z01 ofisinde 0-1.4 °C,
  - Z04 ofisinde 0-1.1 °C,
  - Z10 ofisinde 0.4-1.4 °C,
  - I01 ofisinde 0.2-1 °C,
  - I05 ofisinde 0-0.9 °C,
  - I09 ofisinde 0-1.3 °C (Şekil 3.33-38),

sapma görülmüştür. Söz konusu sapmalar IPMVP ve M&V’de; RMSE ve MBE için belirlenen sınırlar içinde kalmaktadır.

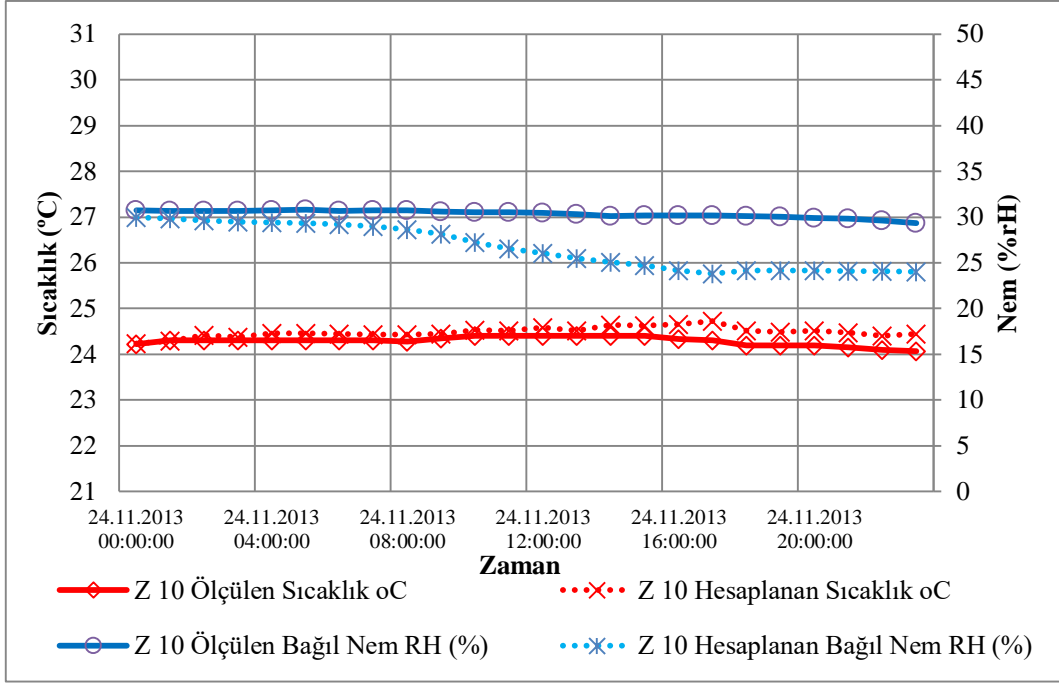




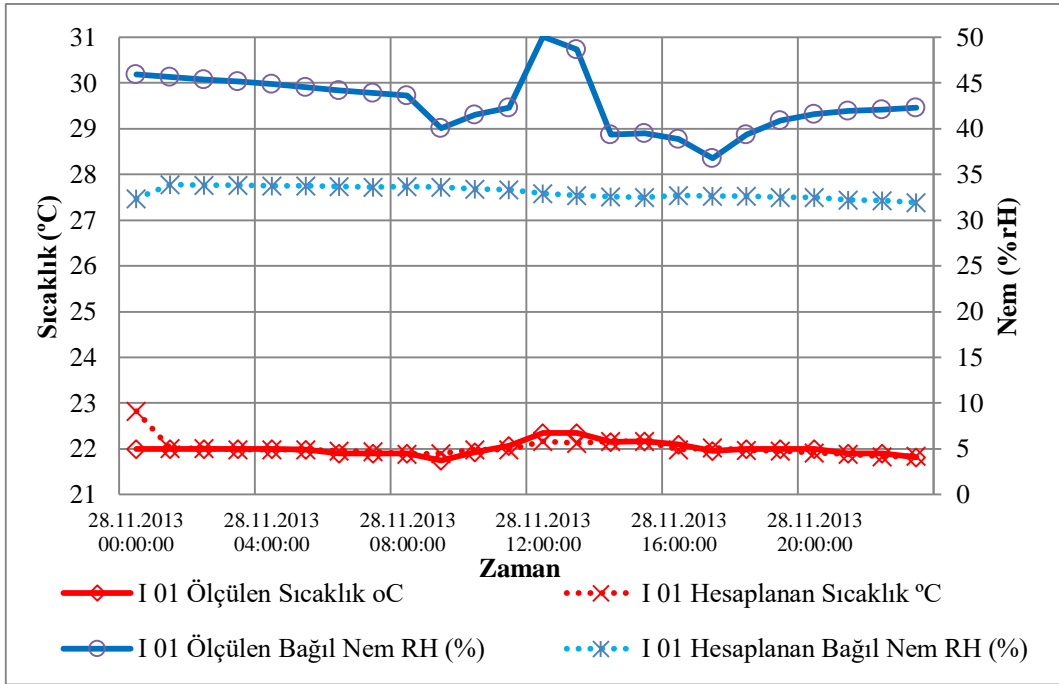
Şekil 3.27. Z01 ofisinin ısıtma döneminde (28 Kasım) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri



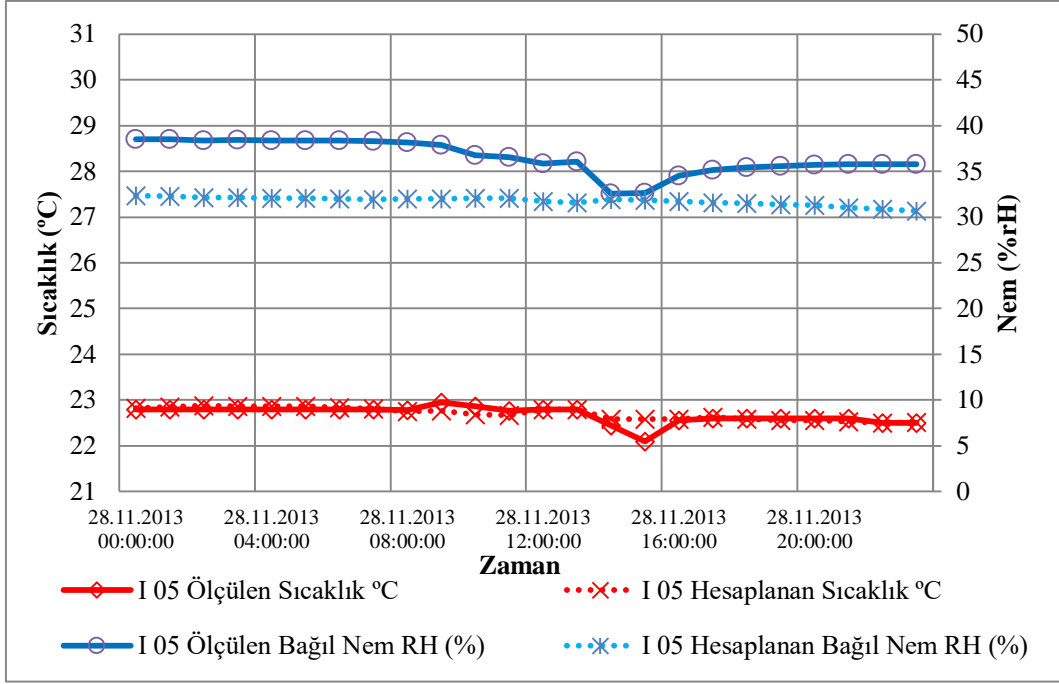
Şekil 3.28. Z04 ofisinin ısıtma döneminde (28 Kasım) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri



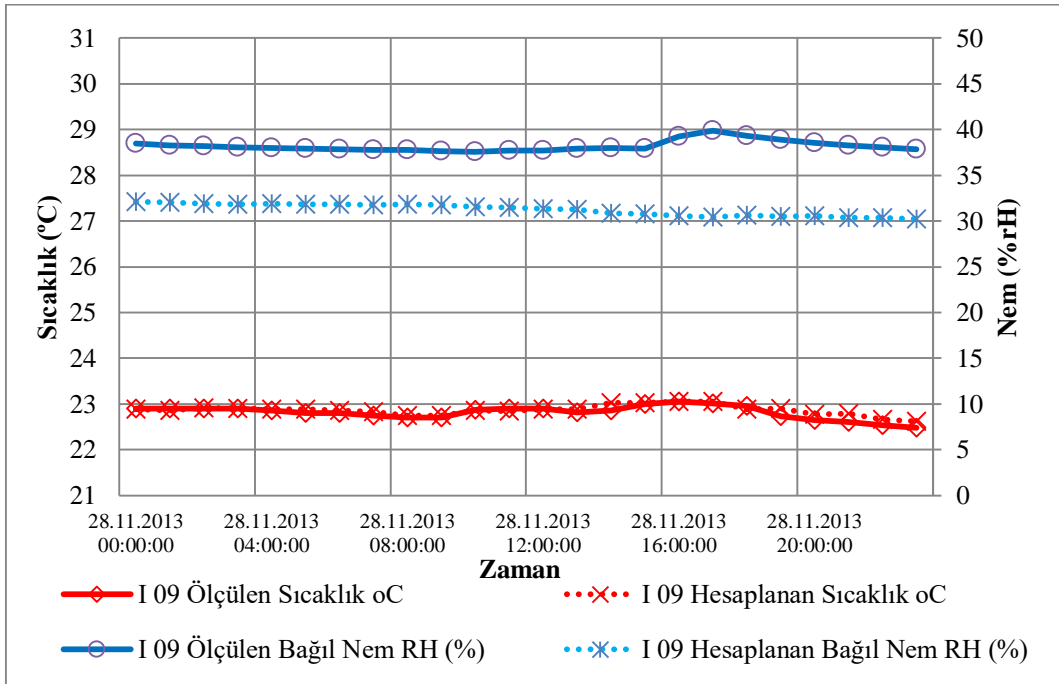
Şekil 3.29. Z10 ofisinin ısıtma döneminde (28 Kasım) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri



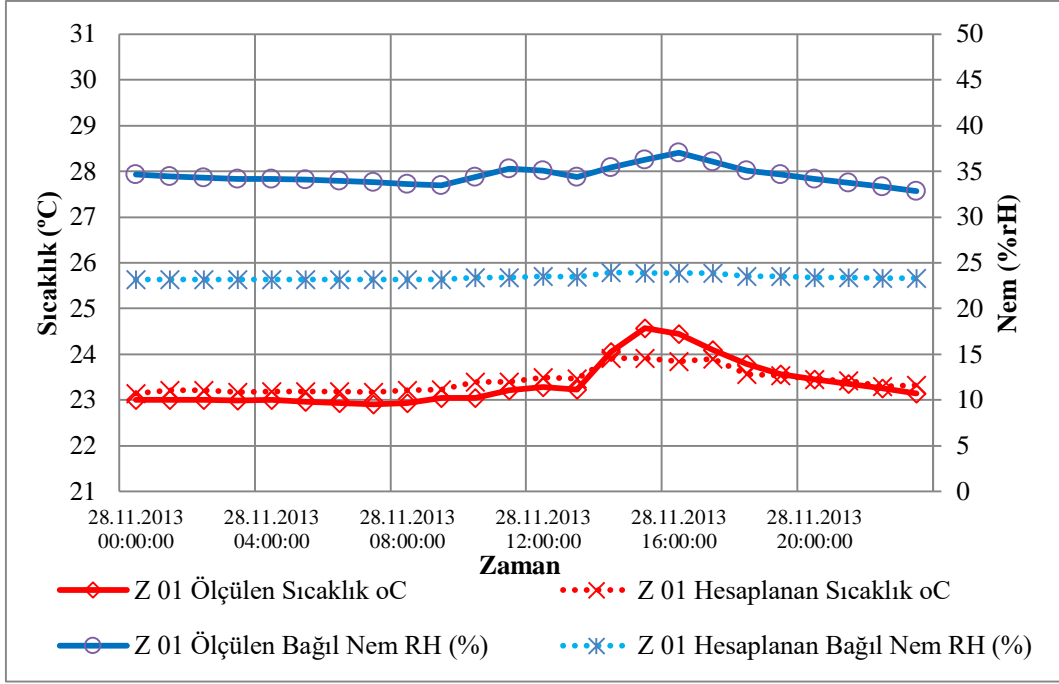
Şekil 3.30. I01 ofisinin ısıtma döneminde (28 Kasım) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri



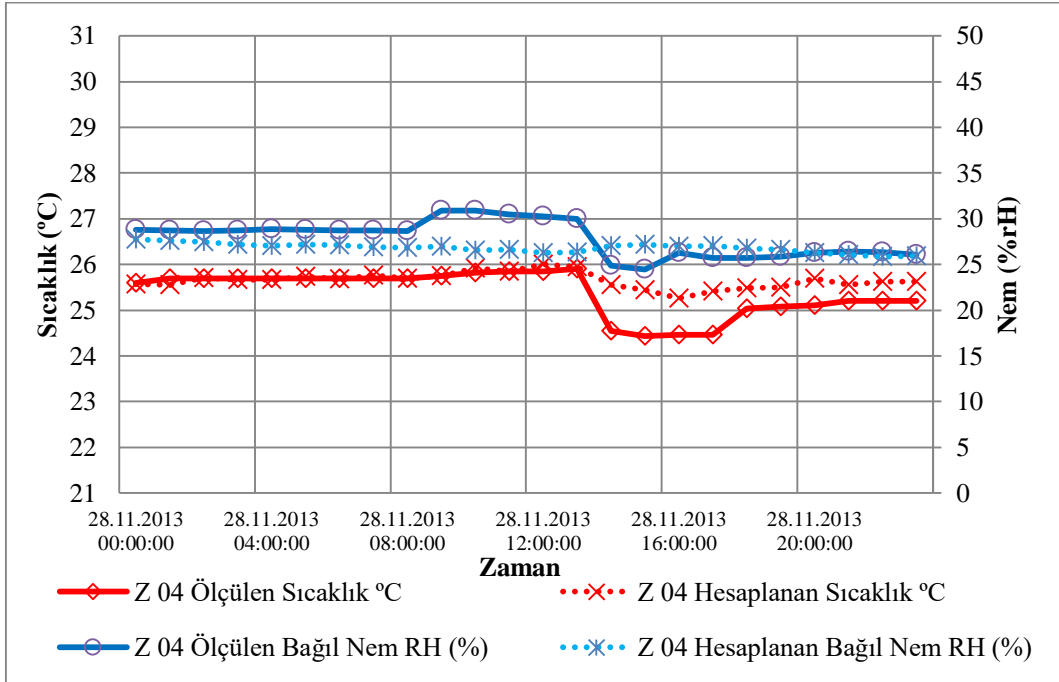
Şekil 3.31. I 05 ofisinin ısıtma döneminde (28 Kasım) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri



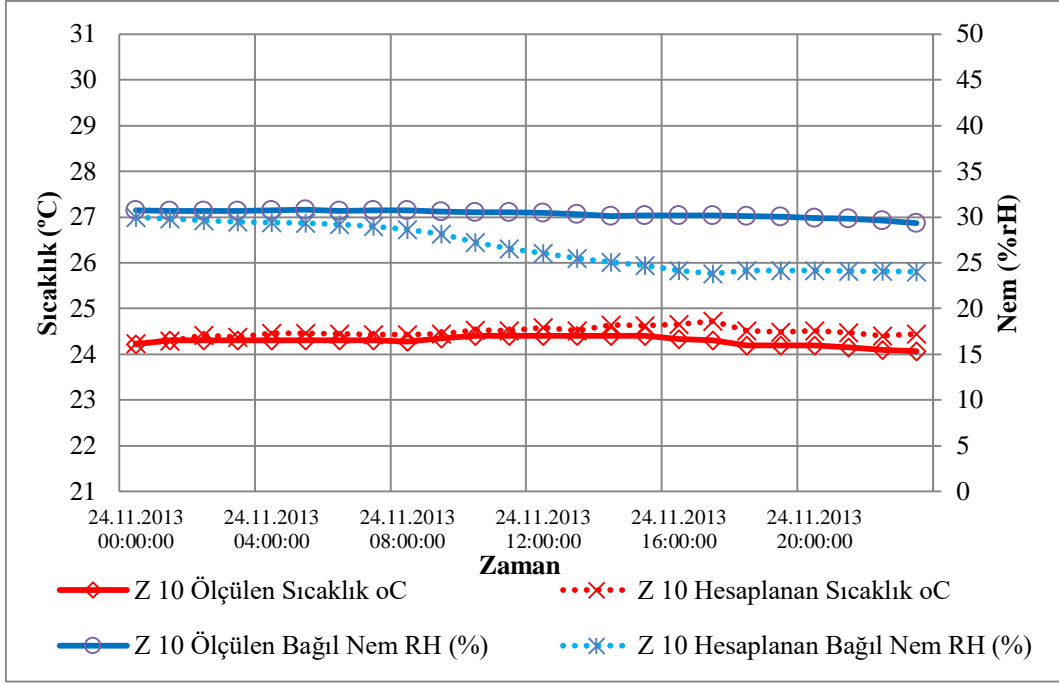
Şekil 3.32. I09 ofisinin soğutma döneminde (22 Ağustos) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri



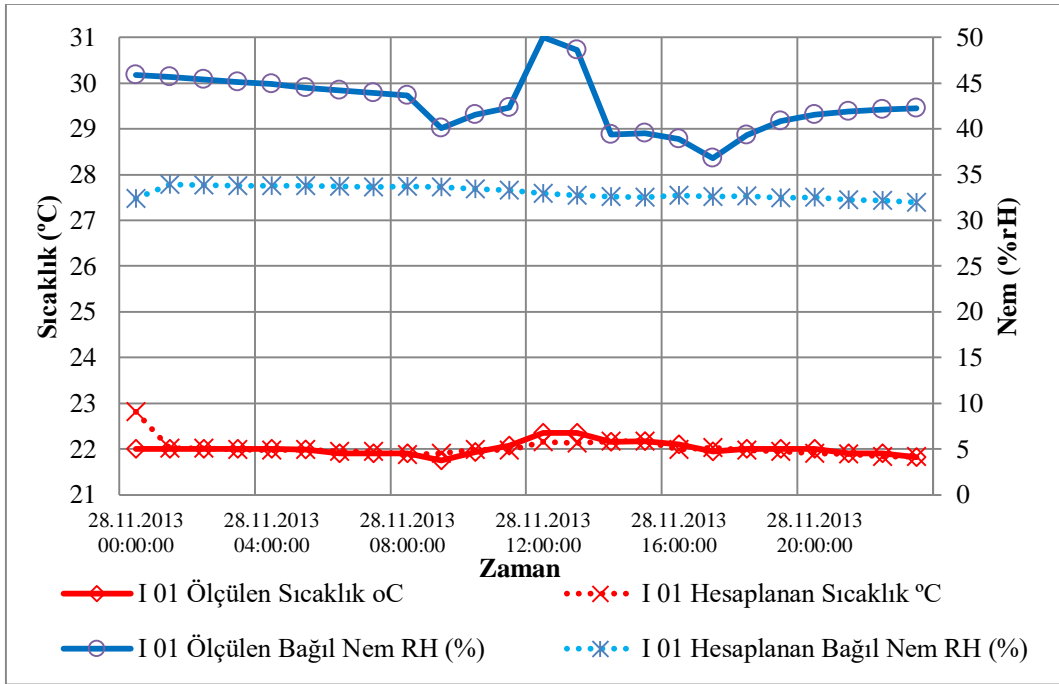
Şekil 3.33. Z01 ofisinin soğutma döneminde (22 Ağustos) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri



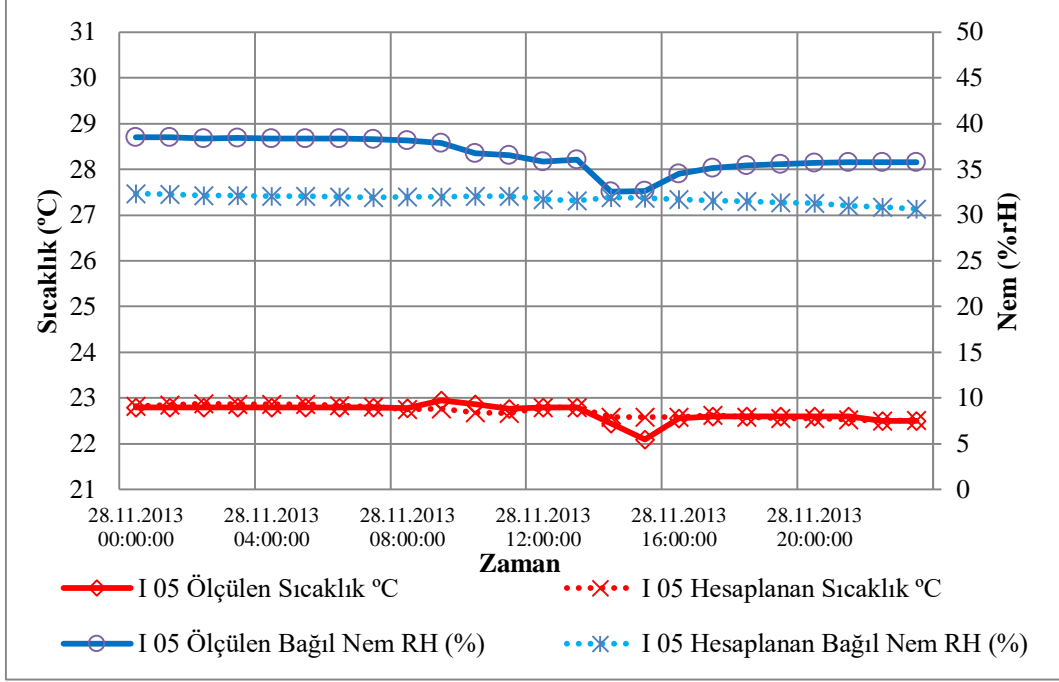
Şekil 3.34. Z04 ofisinin soğutma döneminde (22 Ağustos) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri



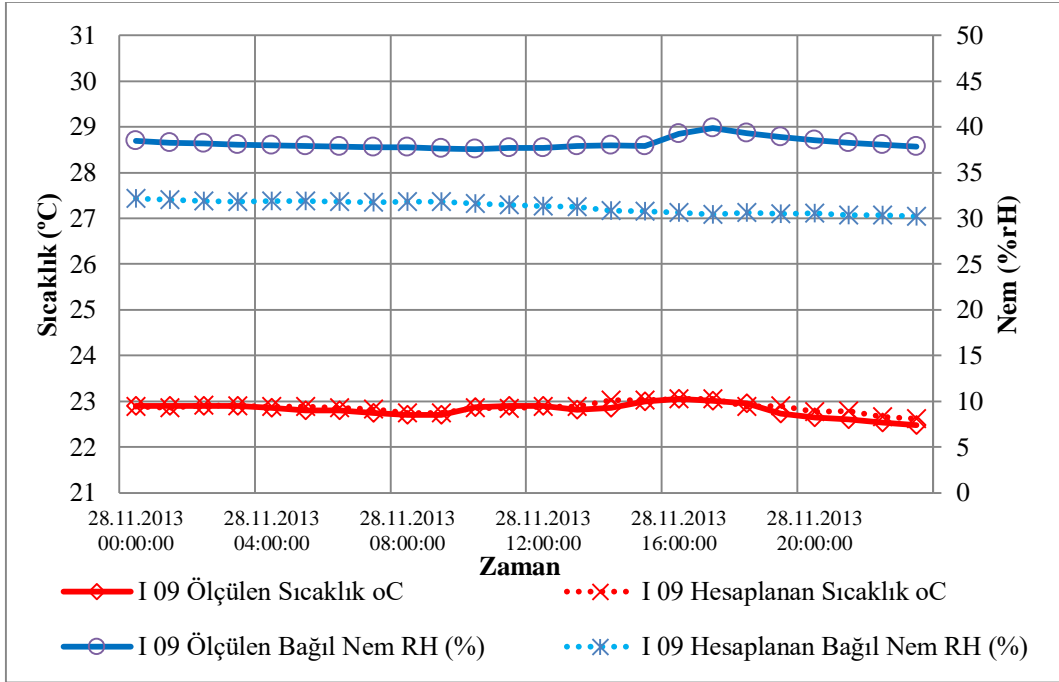
Şekil 3.35. Z10 ofisinin soğutma döneminde (22 Ağustos) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri



Şekil 3.36. I01 ofisinin soğutma döneminde (22 Ağustos) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri



Şekil 3.37. I05 ofisinin soğutma döneminde (22 Ağustos) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri



Şekil 3.38. I09 ofisinin soğutma döneminde (22 Ağustos) saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri

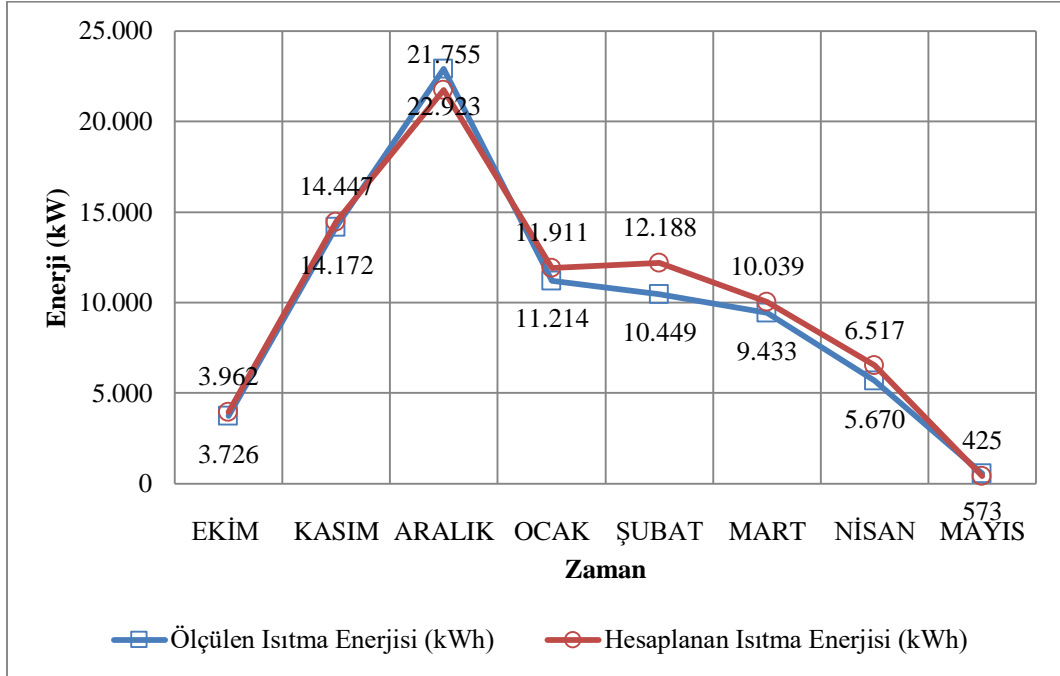
### 3.2.3.4.2. Ölçülen ve hesaplanan ısıtma enerjisi tüketim verilerinin eşitlenmesi

Örnek bina ofislerine ait bloğun ısıtma enerji tüketim verilerinin ısıtma dönemindeki aylık değerleri 148-1.739 kW/ay sapma ile Şekil 3.39’da görülmektedir.

Örnek binanın toplam ısıtma enerjisine ait;

- Belirtme katsayısı (aylık R) (%) 0.854 ve
- Belirsizlik katsayısı (saatlik RMSE) (%) 19.60

olarak hesaplanmıştır. IPMVP ve M&V’de; RMSE ve MBE için sınır şartları sağlayan bu değerler ile örnek binanın iç ortam sıcaklıkları ve ısıtma enerji tüketimi doğrulaması da sağlanarak “gerçekçi model” elde edilmiştir.



Şekil 3.39. Örnek binanın hesaplanan ve ölçülen aylık ısıtma enerjileri (kW/yıl)

### 3.3. Optimum Enerji Tüketimini Sağlayan Alternatiflerin Belirlenmesi İçin Alternatif Senaryoların Uygulanması

Sadece yön, opaklık saydamlık oranları ve cam türleri alternatiflerinin ısıtma-soğutma enerji tüketimine etkisini belirleyebilmek için gerçekçi modelde;

- Bina kütlesiyle ilgili olarak
  - Hacim,
  - Taban alanı ve
- Yapı kabuğu ile ilgili olarak taşıyıcı sistem

ile ilgili değişiklik **yapılmamıştır**. Gerçekçi modelde; alternatif yön, opaklık saydamlık oranı ve cam türlerinin enerji tüketimine etkisini değerlendirmek amacıyla sırasıyla;

- Alternatif senaryoların soğutma enerji tüketimine etkisini belirleyebilmek amacıyla; örnek binanın tamamı için bir adet “chiller” soğutma sistemi ile her ofise birer adet fan-coil ünitesi tanımlanmış ve
- Bu modelde pencere alanları düzenlenerek opaklık saydamlık oranları; %10-%80 aralığında olacak şekilde ‘**8 farklı baz/temel model**’ elde edilmiştir.

Elde edilen 8 baz/temel modele;

A. Bundan sonraki alternatif tanımlamaların enerji performansına etkisini karşılaştırmada kullanılacak olan ‘referans ısıtma-soğutma enerji tüketimleri’ni hesaplamak için dört ana ve dört ara (toplamda 8) farklı yön tanımlamasıyla 64 adet alternatif model elde edilmiş ve

B. 5 adet alternatif cam türüne ait;

- Güneş enerjisi geçirgenlik (SHGC),
- Gün ışığı geçirgenlik (LT) ve
- Isı geçirgenlik (U) katsayılarının

tanımlamaları yapılarak 8 farklı yöne çevrilmesiyle elde edilen 320 farklı modelin ‘alternatif ısıtma, soğutma ve toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri’ hesaplanmıştır.

Elde edilen ‘referans enerji tüketimleri’ ve her cam türüne ait ‘alternatif ısıtma-soğutma enerji tüketimleri’ hesapları karşılaştırılarak; yönlere ve opaklık saydamlık oranlarına göre optimum enerji tüketimini sağlayan cam türleri ve bu cam türlerine ait geri ödeme süreleri belirlenmiştir.

### **3.3.1. Gerçekçi modele uygulanan alternatif yön ve opaklık saydamlık oranlarına göre ısıtma-soğutma enerji tüketimlerinin hesaplanması**

Gerçekçi modele sırasıyla uygulanan A senaryosuyla elde edilen referans ısıtma-soğutma enerji tüketimleri aşağıda yer almaktadır.

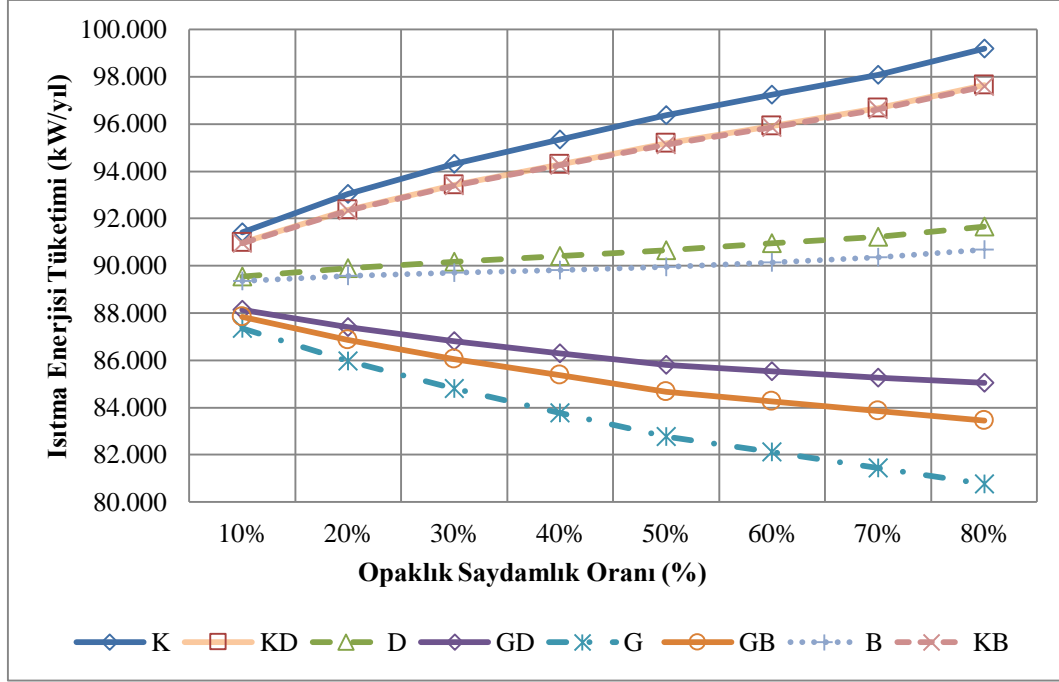
Referans ısıtma enerjisi hesaplamalarının (yıllık);

- Yönlere göre opaklık saydamlık oranları;
  - %10 olduğunda 87.348-91.409 kWh/yıl,
  - %20 olduğunda 85.962-93.045 kWh/yıl,
  - %30 olduğunda 84.798-94.308 kWh/yıl,
  - %40 olduğunda 83.784-95.340 kWh/yıl,



- %50 olduğunda 82.771-96.373 kWh/yıl,
- %60 olduğunda 82.107-97.233 kWh/yıl,
- %70 olduğunda 81.443-98.093 kWh/yıl ve
- %80 olduğunda 80.755-99.202 kWh/yıl

hesaplandığı Şekil 3.40'da görülmektedir.

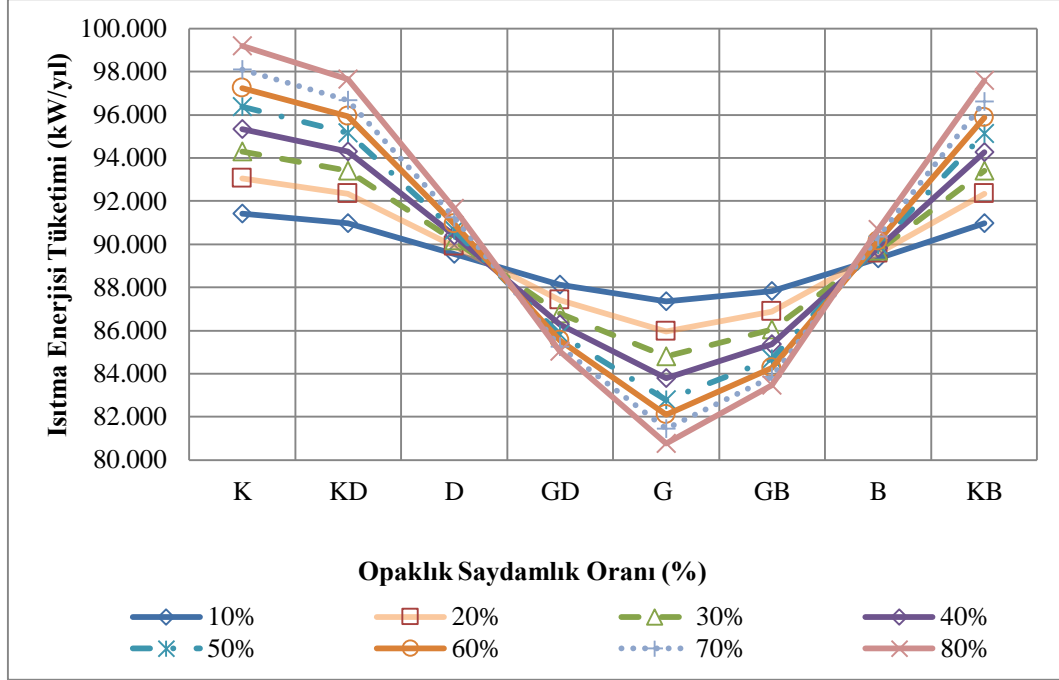


Şekil 3.40. Örnek binanın alternatif opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif yönlerin yıllık ısıtma enerji tüketimi (kW/yıl)

- Opaklık saydamlık oranlarına göre yön;
  - Kuzey olduğunda 91.409-99.202 kWh/yıl,
  - Kuzeydoğu olduğunda 90.978-97.650 kWh/yıl,
  - Kuzeybatı olduğunda 90.961-97.593 kWh/yıl,
  - Doğu olduğunda 89.536-91.662 kWh/yıl,
  - Batı olduğunda 89.354-90.692 kWh/yıl,
  - Güney olduğunda 80.755-87.348 kWh/yıl,
  - Güneydoğu olduğunda 85.045-88.139 kWh/yıl ve
  - Güneybatı olduğunda 83.453-87.827 kWh/yıl

hesaplandığı Şekil 3.41'de görülmektedir. Yıllık ısıtma enerjisi hesaplamalarına göre Kuzeydoğu-kuzeybatı (90.978-97.650 kWh/yıl ile 90.961-97.593 kWh/yıl), ve doğu-batı

(89.536-91.662 kWh/yıl ile 89.354-90.692 kWh/yıl) yönlerine ait ısıtma enerji tüketimlerinin birbirine yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir.

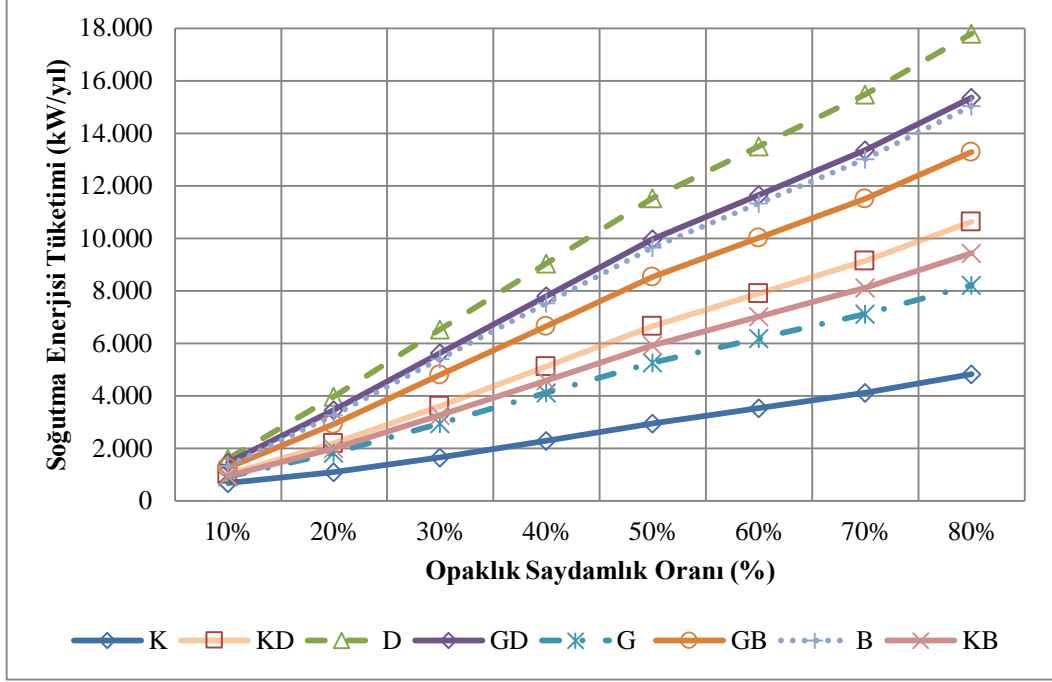


Şekil 3.41. Örnek binanın alternatif yönlere göre alternatif opaklık saydamlık oranlarının göre yıllık ısıtma enerji tüketimi (kW/yıl)

Referans soğutma enerjisi hesaplamalarının (yıllık);

- Yönlere göre opaklık saydamlık oranları;
  - %10 olduğunda 667-1.596 kWh/yıl,
  - %20 olduğunda 1.092-3.958 kWh/yıl,
  - %30 olduğunda 1.642-6.534 kWh/yıl,
  - %40 olduğunda 2.298-9.037 kWh/yıl,
  - %50 olduğunda 2.954-11.540 kWh/yıl,
  - %60 olduğunda 3.532-13.505 kWh/yıl,
  - %70 olduğunda 4.110-15.470 kWh/yıl ve
  - %80 olduğunda 4.816-17.805 kWh/yıl

hesaplandığı Şekil 3.42’de görülmektedir.



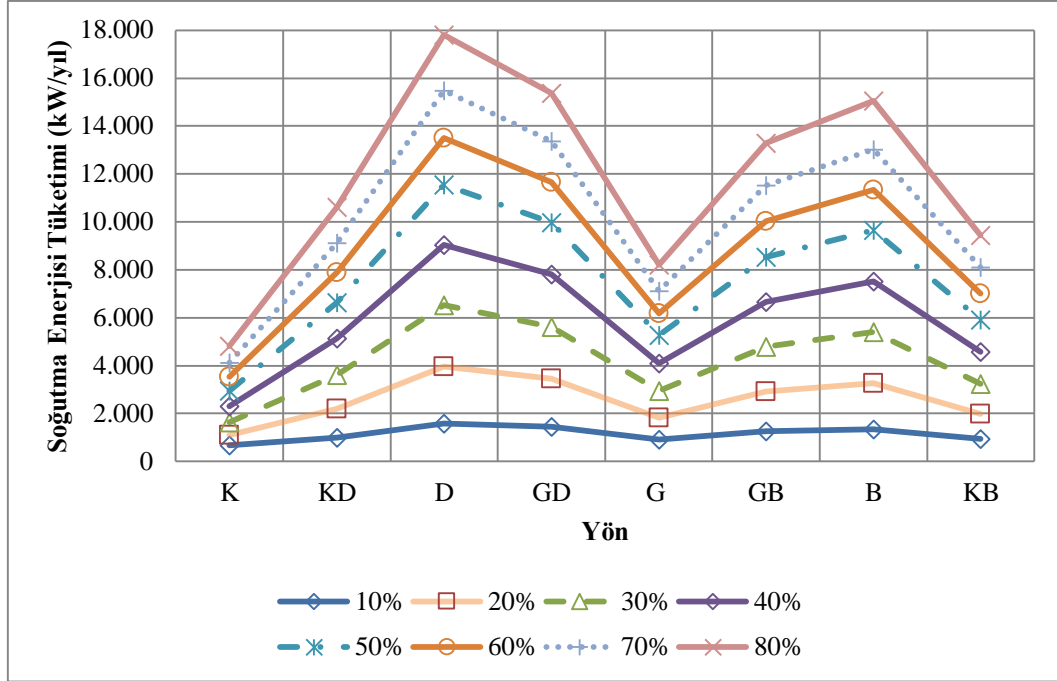
Şekil 3.42. Örnek binanın alternatif opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif yönlerin yıllık soğutma enerjisi tüketimi (kW/yıl)

- Opaklık saydamlık oranlarına göre yönleri;
  - Kuzey olduğunda 667-4.816 kWh/yıl,
  - Kuzeydoğu olduğunda 1.007-10.620 kWh/yıl,
  - Kuzeybatı olduğunda 942-9.432 kWh/yıl,
  - Doğu olduğunda 1.596-17.805 kWh/yıl,
  - Batı olduğunda 1.344-15.041 kWh/yıl,
  - Güney olduğunda 920-8.217 kWh/yıl,
  - Güneydoğu olduğunda 1.449-15.361 kWh/yıl ve
  - Güneybatı olduğunda 1.266-13.278 kWh/yıl

hesaplandığı Şekil 3.43’de görülmektedir. Yıllık soğutma enerjisi hesaplamalarına göre;

- Güneydoğu-batı (1.449-15.361 kWh/yıl ile 1.344-15.041 kWh/yıl) yönlerine ait ısıtma enerji tüketimlerinin birbirine yakın değerlerde ve
- Her alternatif yönde opaklık saydamlık oranı %10 dan % 80’e arttıkça doğru orantılı olarak soğutma enerji tüketiminde artış

olduğu görülmektedir.

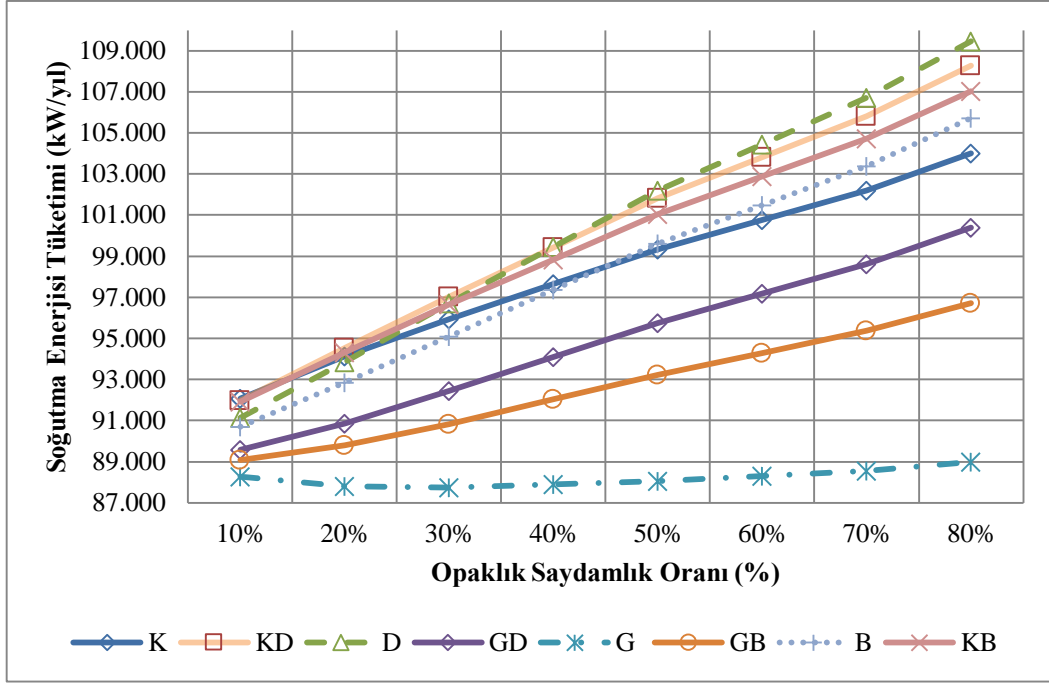


Şekil 3.43. Örnek binanın alternatif yönlere göre alternatif opaklık saydamlık oranlarının yıllık soğutma enerji tüketimi (kW/yıl)

Referans toplam ısıtma-soğutma enerjisi hesaplamalarının (yıllık);

- Yönlere göre opaklık saydamlık oranları;
  - %10 olduğunda 88.267-92.076 kWh/yıl,
  - %20 olduğunda 87.786-94.537 kWh/yıl,
  - %30 olduğunda 87.747-97.013 kWh/yıl,
  - %40 olduğunda 87.892-99.455 kWh/yıl,
  - %50 olduğunda 88.036-102.203 kWh/yıl,
  - %60 olduğunda 88.298-104.455 kWh/yıl,
  - %70 olduğunda 88.561-106.707 kWh/yıl ve
  - %80 olduğunda 88.972-109.466 kWh/yıl

hesaplandığı Şekil 3.44'de görülmektedir.

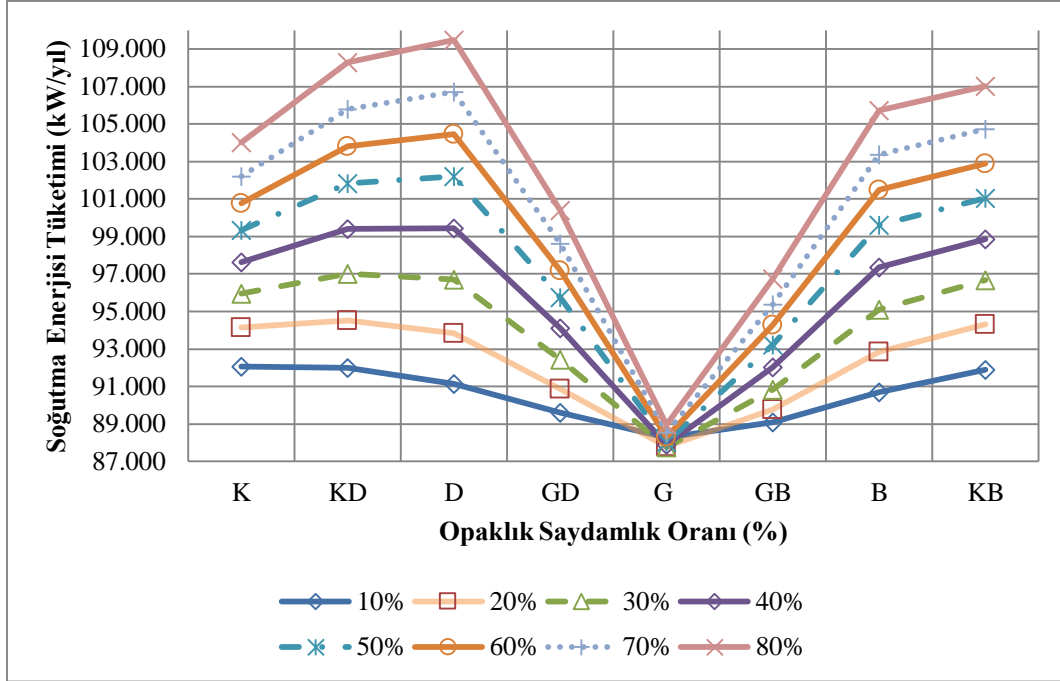


Şekil 3.44. Örnek binanın alternatif opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif yönlerin yıllık toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimi (kW/yıl)

- Opaklık saydamlık oranlarına göre yönleri;
  - Kuzey olduğunda 92.076-104.018 kWh/yıl,
  - Kuzeydoğu olduğunda 91.985-108.270 kWh/yıl,
  - Kuzeybatı olduğunda 91.904-107.026 kWh/yıl,
  - Doğu olduğunda 91.132-109.466 kWh/yıl,
  - Batı olduğunda 90.698-105.733 kWh/yıl,
  - Güney olduğunda 87.747-88.972 kWh/yıl,
  - Güneydoğu olduğunda 89.589-100.407 kWh/yıl ve
  - Güneybatı olduğunda 89.094-96.730 kWh/yıl

hesaplandığı Şekil 3.45'de görülmektedir. Yıllık toplam ısıtma-soğutma enerjisi hesaplamalarına göre opaklık saydamlık oranı %10 dan %80'e yükseldikçe toplam enerji tüketimi;

- Kuzey yönünde diğer yönlere göre azalarak arttığı,
  - Doğu yönünde 109.466 kW/yıl ile en yüksek değere çıktığı ve
  - Güney yönünde 1.225 kW/yıl artışla çok az yükseldiği
- belirlenmiştir.



Şekil 3.45. Örnek binanın alternatif yönlere göre alternatif opaklık saydımlık oranlarının yıllık toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimi (kW/yıl)

### 3.3.2. Alternatif yön ve opaklık saydımlık oranlarına uygulanan alternatif cam türlerinin ısıtma-soğutma enerji tüketim değerlerinin hesaplanması

Alternatif cam türlerinin ısıtma-soğutma enerji tüketimine etkisini belirleyebilmek için 8 farklı baz/temel modele;

- Güneş enerjisi geçirgenliği veya güneş ışınımı kazanç katsayısı (SHGC) ve gün ışığı geçirgenliği (ST) EN 410 standartlarına ve
- Isı geçirgenlik katsayısı değerleri ise EN 673 ve EN 12898 standartlarına,

uygun olarak üretici firma laboratuvar ortamlarında ölçülmüş spektral veriler [43] tanımlanmıştır (Çizelge 3.15). Oluşturulan 320 yeni alternatif modelin (5 farklı cam türünün 64 modele tanımlanması) ısıtma, soğutma ve toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri hesaplanmıştır.

Alternatif yön ve opaklık saydımlık oranlarına uygulanan alternatif cam türlerinin; güneş enerjisi geçirgenlik katsayısı (%), gün ışığı geçirgenlik katsayısı (%) ve ısı geçirgenlik katsayısı (W/m<sup>2</sup>K) çizelge 3.15’de gösterilmektedir [111].


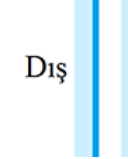
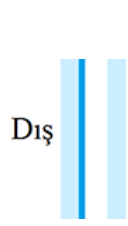
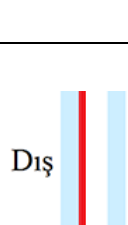


Alternatif cam türlerinde;





- A tipi cam; iç camında ısı kontrolü sağlayan low-e kaplamalı çift cam,
- B tipi cam; dış camında güneş kontrolü sağlayan low-e kaplamalı çift cam,

- C türü cam; dış camında güneş kontrolü, iç camında ısı kontrolü sağlayan low-e kaplamalı üçlü cam,
- D türü cam ise; hem dış hem de iç camında ısı kontrolü sağlayan low-e kaplamalı üçlü cam,
- E türü cam ise; dış camında hem güneş hem de ısı kontrolü sağlayan low-e kaplamalı çift cam ve
- Mevcut cam kaplamasız çift cam

olarak tanımlanmıştır. Yapılan bu tanımlamalardan sonra her cam türüne ait ‘alternatif ısıtma-soğutma enerji tüketimleri’ hesaplanmıştır.

**Çizelge 3.15.** Modelde kullanılan cam türlerinin özellikleri

| Cam Tipi       | Kalınlık | Malzeme    | Cam Özelliği                           | Güneş Enerjisi Geçirgenlik Katsayısı (%) | Gün Işığı Geçirgenlik Katsayısı (%) | Isı Geçirgenlik Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K) |   |
|----------------|----------|------------|--|--|-------------------------------------|--|---|
| A              | 4mm      | Dış Cam    | Düz cam                                | 60                                       | 78                                  | 1,3  |    |
|                | 12mm     | Ara Boşluk | Argon                                  |  |                                     |  |   |
|                | 4mm      | İç cam     | Low-e kaplama (ısı kontrollü)          |  |                                     |  |   |
| B              | 4mm      | Dış Cam    | Low-e kaplama (güneş kontrollü)        | 43                                       | 71                                  | 1,3  |    |
|                | 12mm     | Ara Boşluk | Argon                                  |  |                                     |  |   |
|                | 4mm      | İç cam     | Düz Cam                                |  |                                     |  |   |
| C              | 4mm      | Dış Cam    | Low-e kaplama (güneş kontrollü)        | 32                                       | 63                                  | 0,7  |   |
|                | 12mm     | Ara Boşluk | Argon                                  |  |                                     |  |   |
|                | 4mm      | İç cam     | Düz cam                                |  |                                     |  |   |
|                | 12mm     | Ara Boşluk | Argon                                  |  |                                     |  |   |
|                | 4mm      | İç cam     | Low-e kaplama (ısı kontrollü)          |  |                                     |  |   |
| D              | 4mm      | Dış Cam    | Low-e kaplama (ısı kontrollü)          | 48                                       | 69                                  | 0,7  |  |
|                | 12mm     | Ara Boşluk | Argon                                  |  |                                     |  |   |
|                | 4mm      | İç cam     | Düz cam                                |  |                                     |  |   |
|                | 12mm     | Ara Boşluk | Argon                                  |  |                                     |  |   |
|                | 4mm      | İç cam     | Low-e (ısı kontrollü)                  |  |                                     |  |   |
| E              | 4mm      | Dış Cam    | Low-e kaplama (güneş ve ısı kontrollü) | 33                                       | 49                                  | 1,1  |  |
|                | 12mm     | Ara Boşluk | Argon                                  |  |                                     |  |   |
|                | 4mm      | İç cam     | Düz Cam                                |  |                                     |  |   |
| M (Mevcut Cam) | 4mm      | Dış Cam    | Düz cam                                | 68                                       | 80                                  | 2,9  |  |
|                | 12mm     | Ara Boşluk | Argon                                  |  |                                     |  |   |
|                | 4mm      | İç cam     | Düz cam                                |  |                                     |  |   |

**Kaynak:** [111], (  Isı kontrolü sağlayan low-e kaplama,  Güneş ışınımı kontrolü sağlayan low-e kaplama,  Güneş ışınımı ve ısı kontrolü sağlayan low-e kaplama,  Cam)



#### 4. BULGULAR VE YORUMLAR

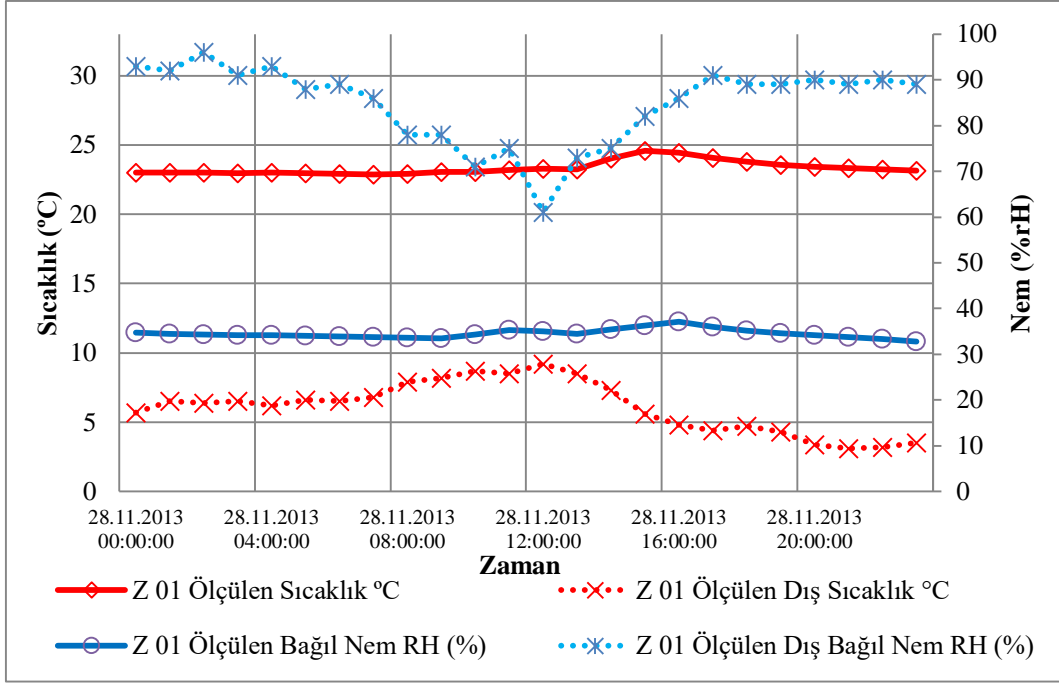
Enerji tüketim eşitlemesi esnasında **ölçülen veri** ve gerçekçi model elde edildikten sonra enerji tüketimini etkileyen; yön, opaklık saydamlık oranı ve cam türlerine ait **hesaplanan veri** değerlendirmeleri aşağıda yer almaktadır.

##### 4.1. Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel Bloğunda Ölçülen İç Ortam Sıcaklıklarının Değerlendirmesi

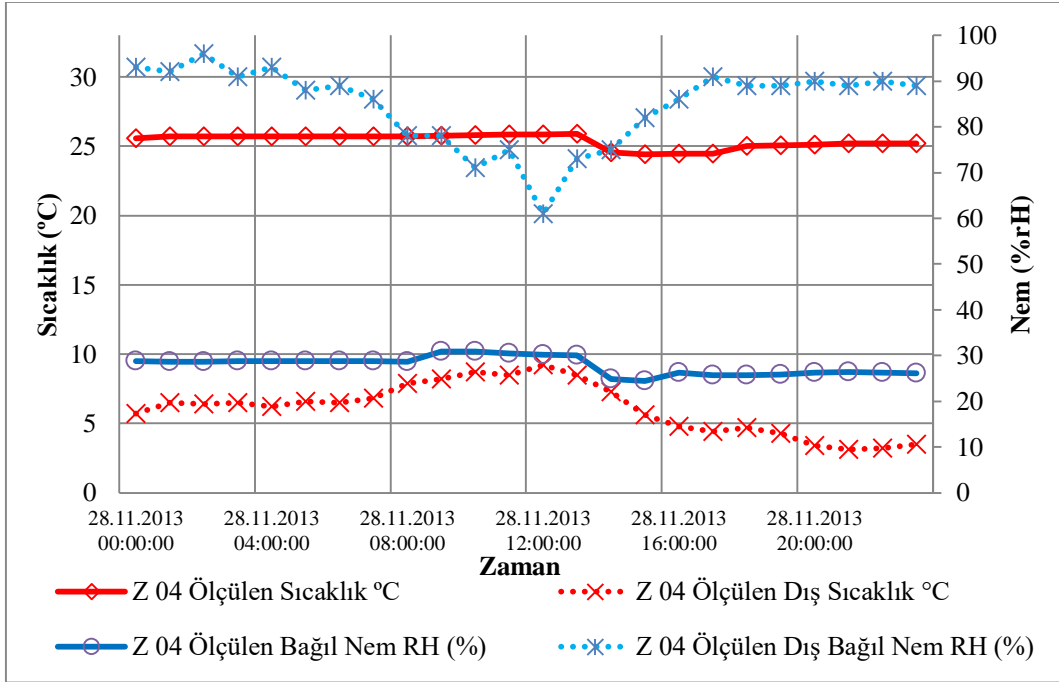
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel Bloğunun ısıtma ve soğutma dönemlerindeki ölçüm yapılan ofislerin iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri aşağıda yer almaktadır.

- Isıtma döneminde;
  - Dış ortamın;
    - Sıcaklığının 3.1-9.2 °C,
    - Bağıl nemin 61-96 RH, aralığında değiştiği,
  - Z01 ofisinin;
    - Sıcaklığının 22.9-24.6 °C,
    - Bağıl nemin 32.9-37.1 RH,
  - Z04 ofisinin;
    - Sıcaklığının 24.4-25.9 °C,
    - Bağıl nemin 24.4-30.9 RH,
  - Z10 ofisinin;
    - Sıcaklığının 24.1-24.4 °C,
    - Bağıl nemin 29.4-30.8 RH,
  - I01 ofisinin;
    - Sıcaklığının 21.8-22.4 °C,
    - Bağıl nemin 36.8-50.1 RH,
  - I05 ofisinin;
    - Sıcaklığının 22.1-23 °C,
    - Bağıl nemin 32.3-38.5 RH,
  - I09 ofisinin;
    - Sıcaklığının 22.5-23.1 °C,
    - Bağıl nemin 37.6-39.9 RH

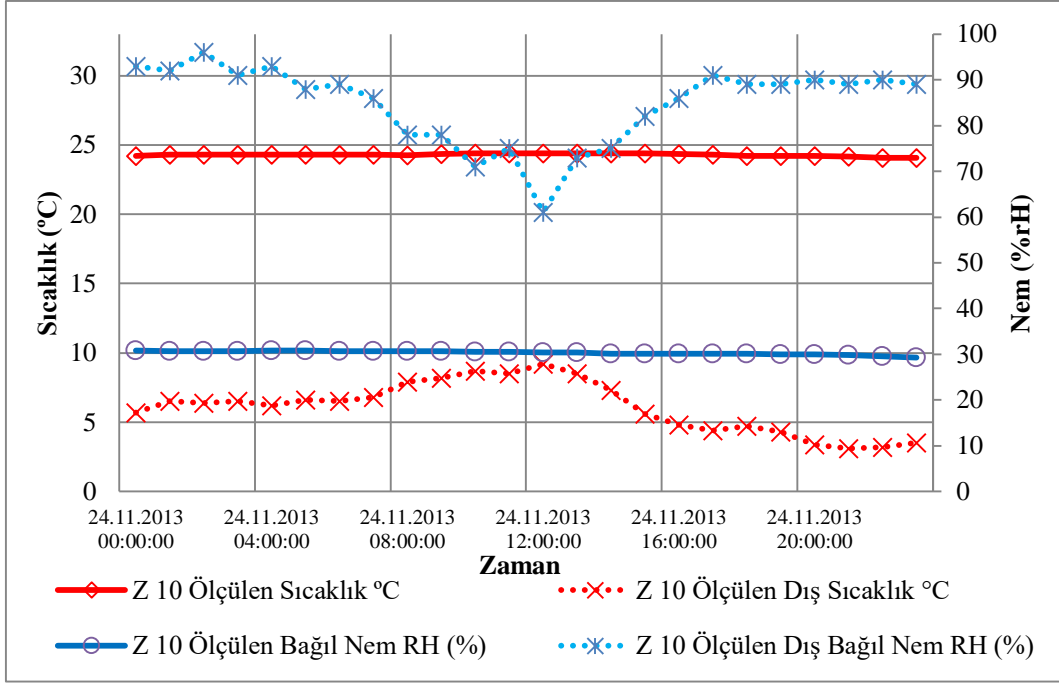
aralığında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 4.1-6).



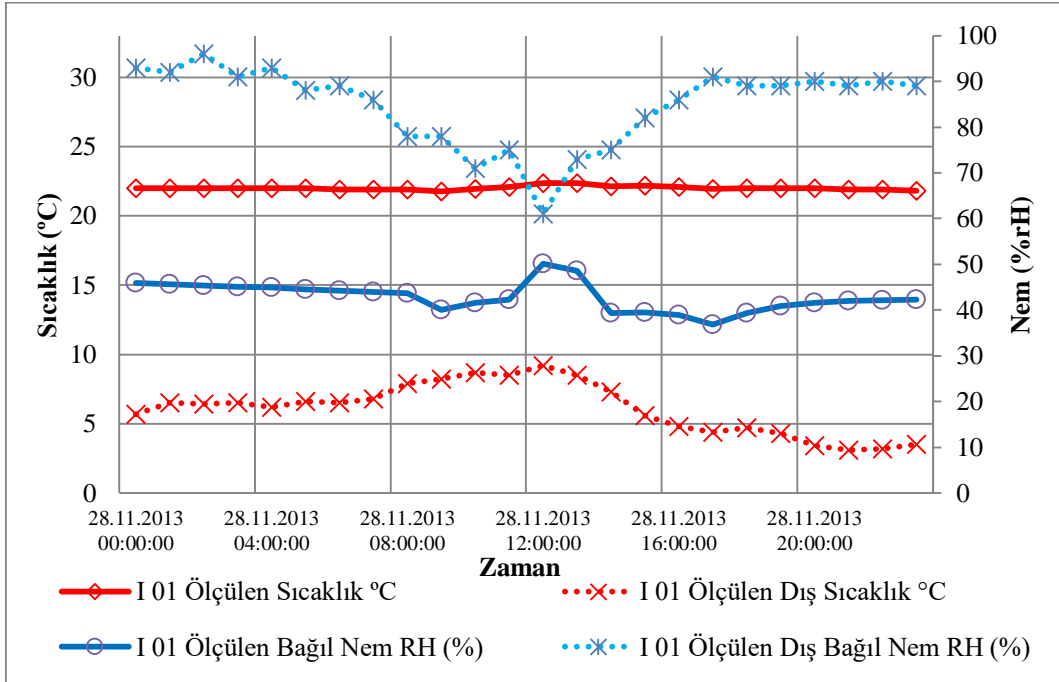
Şekil 4.1. Z01 ofisinin ısıtma dönemindeki (28 Kasım) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri



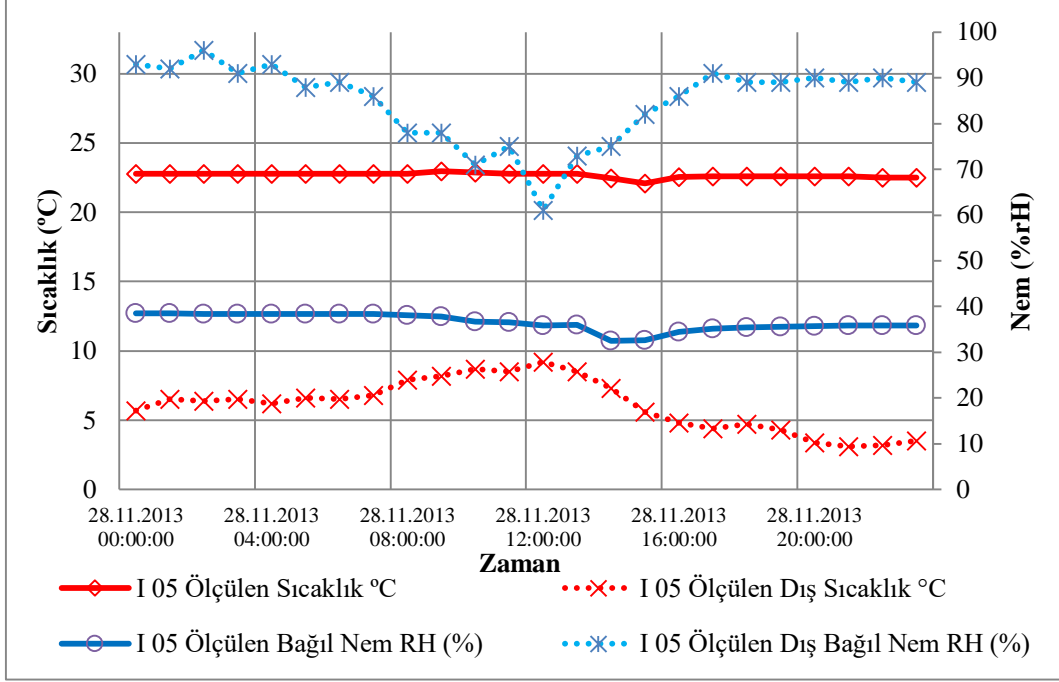
Şekil 4.2. Z04 ofisinin ısıtma dönemindeki (28 Kasım) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri



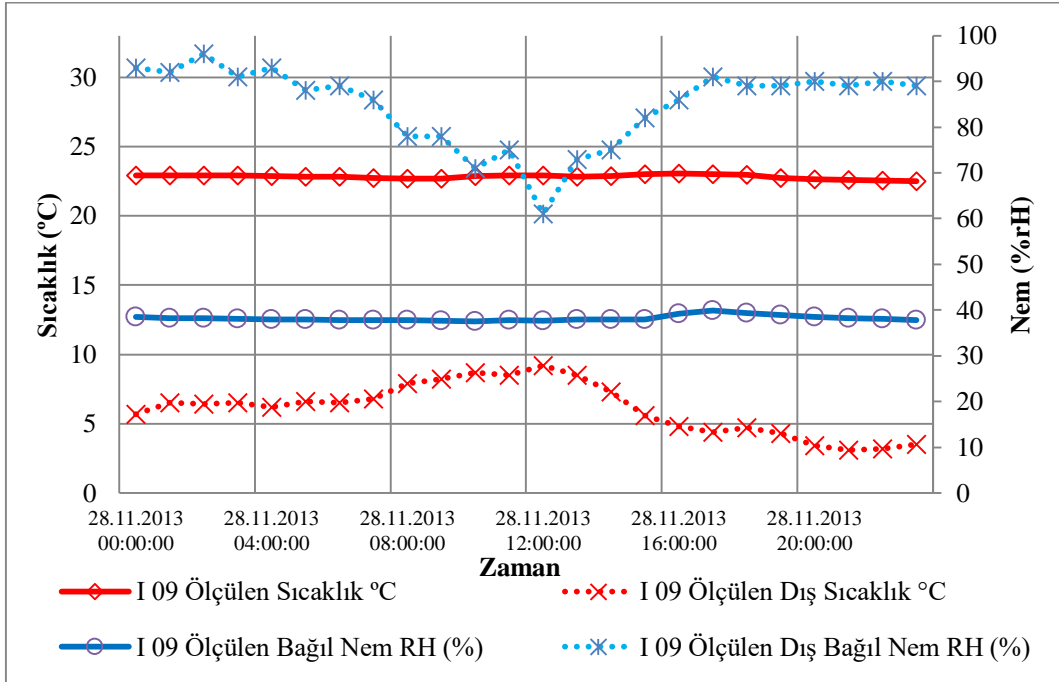
**Şekil 4.3.** Z10 ofisinin ısıtma dönemindeki (28 Kasım) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri



**Şekil 4.4.** I01 ofisinin ısıtma dönemindeki (28 Kasım) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri

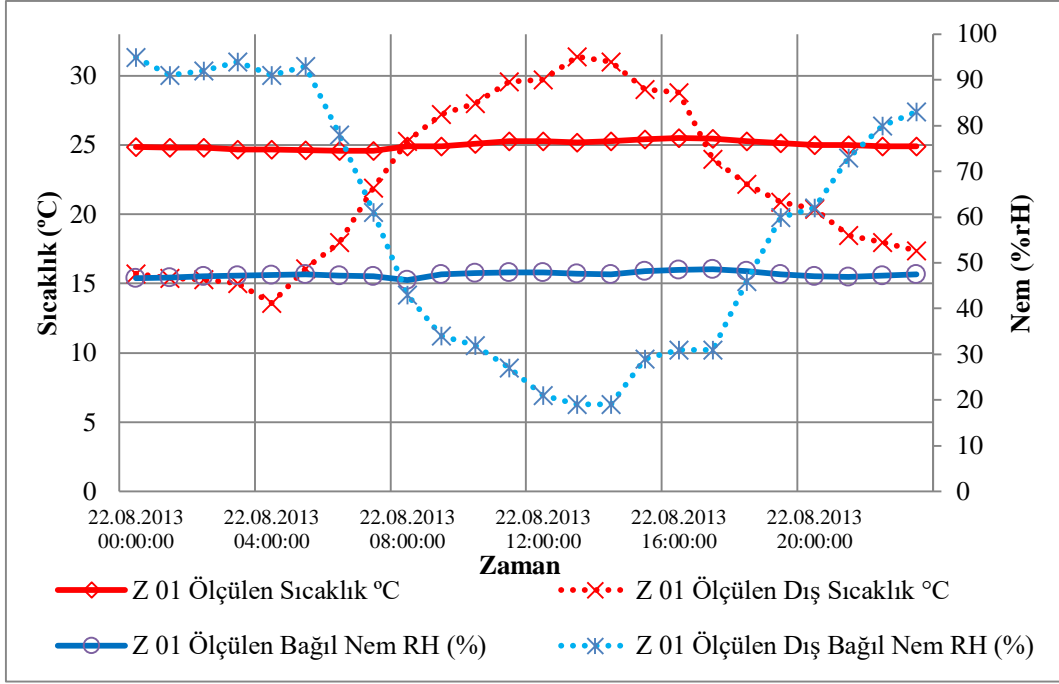


Şekil 4.5. I05 ofisinin ısıtma dönemindeki (28 Kasım) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri

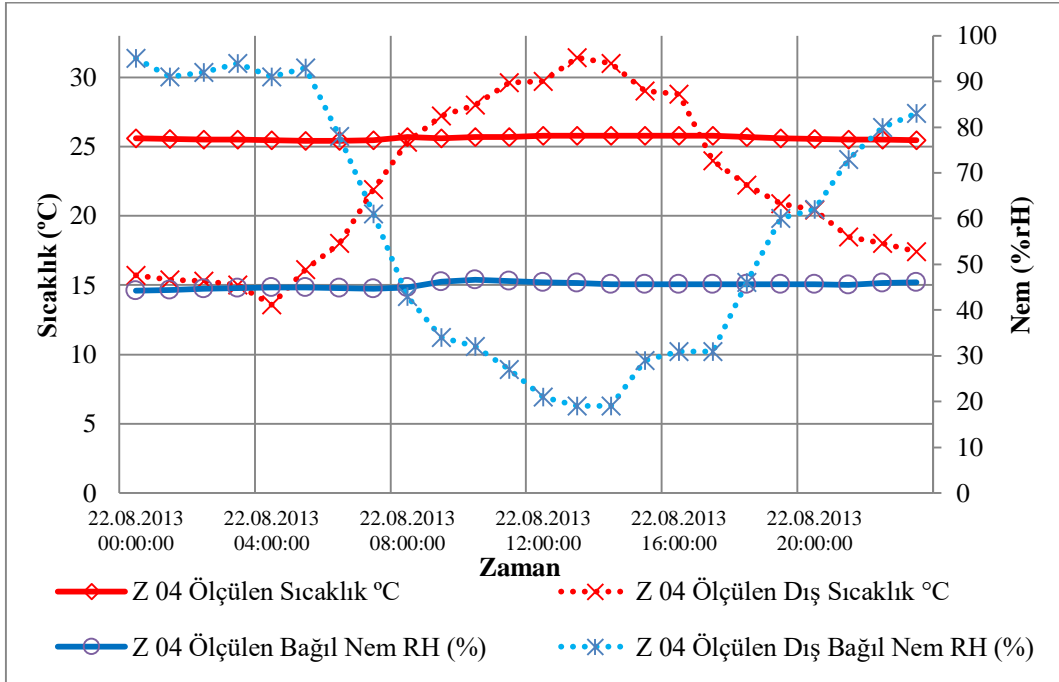


Şekil 4.6. I09 ofisinin ısıtma dönemindeki (28 Kasım) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri

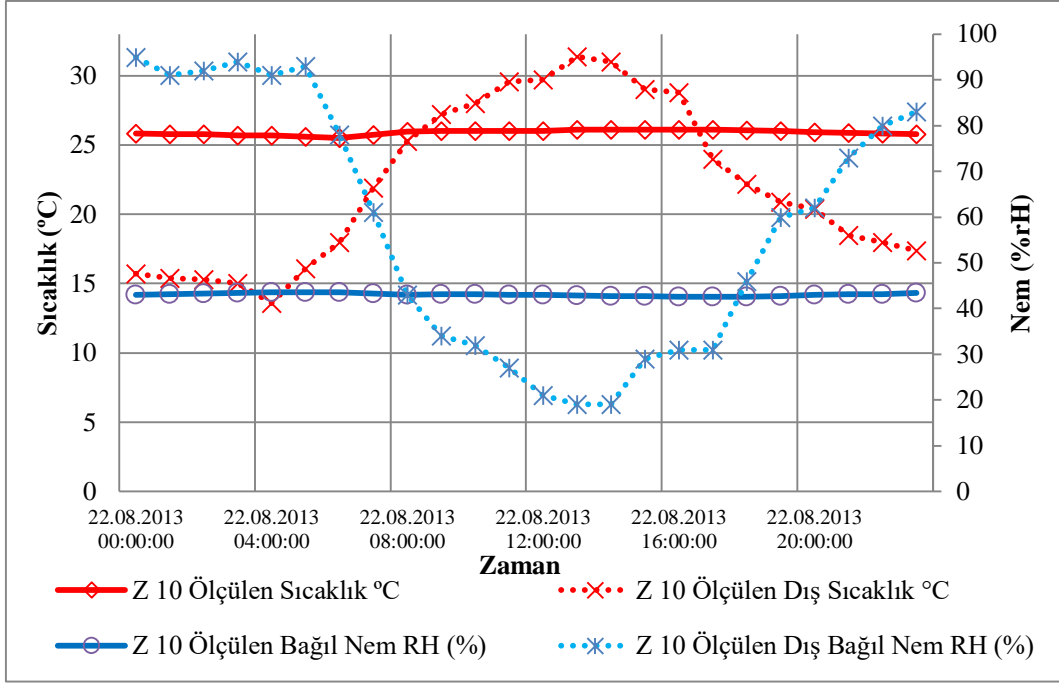
- Soğutma döneminde;
    - Dış ortamın;
      - Sıcaklığının 13.6-31.4 °C,
      - Bağıl nemin 19-95 RH,
    - Z01 ofisinin;
      - Sıcaklığının 24.6-25.5 °C,
      - Bağıl nemin 46.3-48.6 RH,
    - Z04 ofisinin;
      - Sıcaklığının 25.4-25.8 °C,
      - Bağıl nemin 24.4-30.9 RH,
    - Z10 ofisinin;
      - Sıcaklığının 25.5-26.1 °C,
      - Bağıl nemin 42.6-43.6 RH,
    - I01 ofisinin;
      - Sıcaklığının 25.5-26 °C,
      - Bağıl nemin 41.3-42.2 RH,
    - I05 ofisinin;
      - Sıcaklığının 26.3-27 °C,
      - Bağıl nemin 37.5-45.3 RH,
    - I09 ofisinin;
      - Sıcaklığının 26.5-27.2 °C,
      - Bağıl nemin 31.8-40.8 RH
- aralığında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 4.7-12).



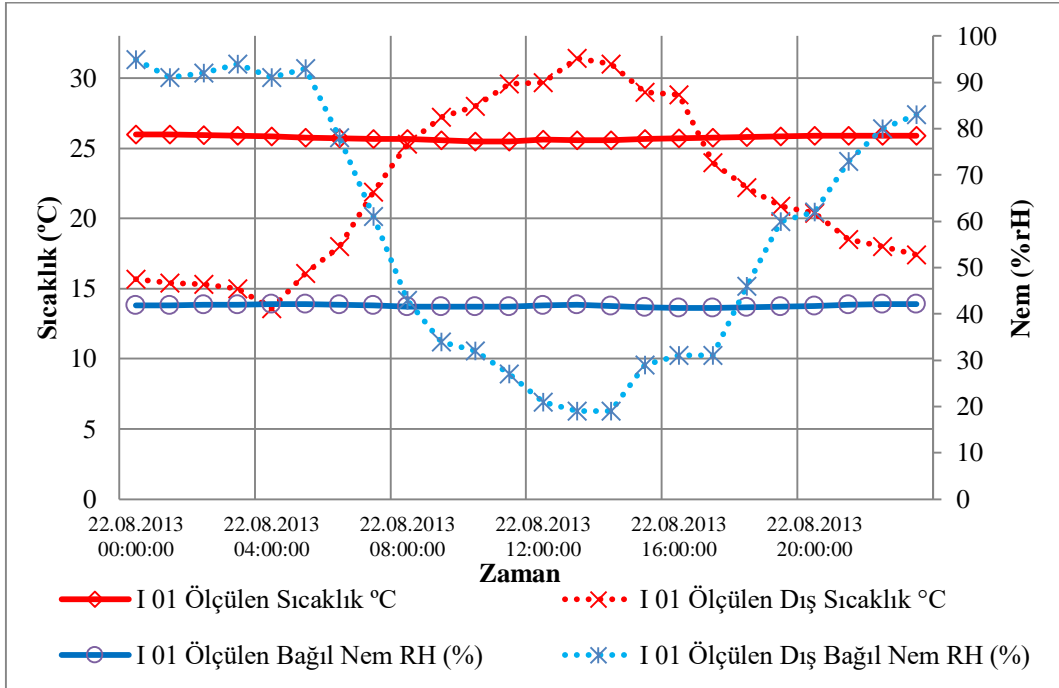
Şekil 4.7. Z01 ofisinin soğutma dönemindeki (22 Ağustos) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri



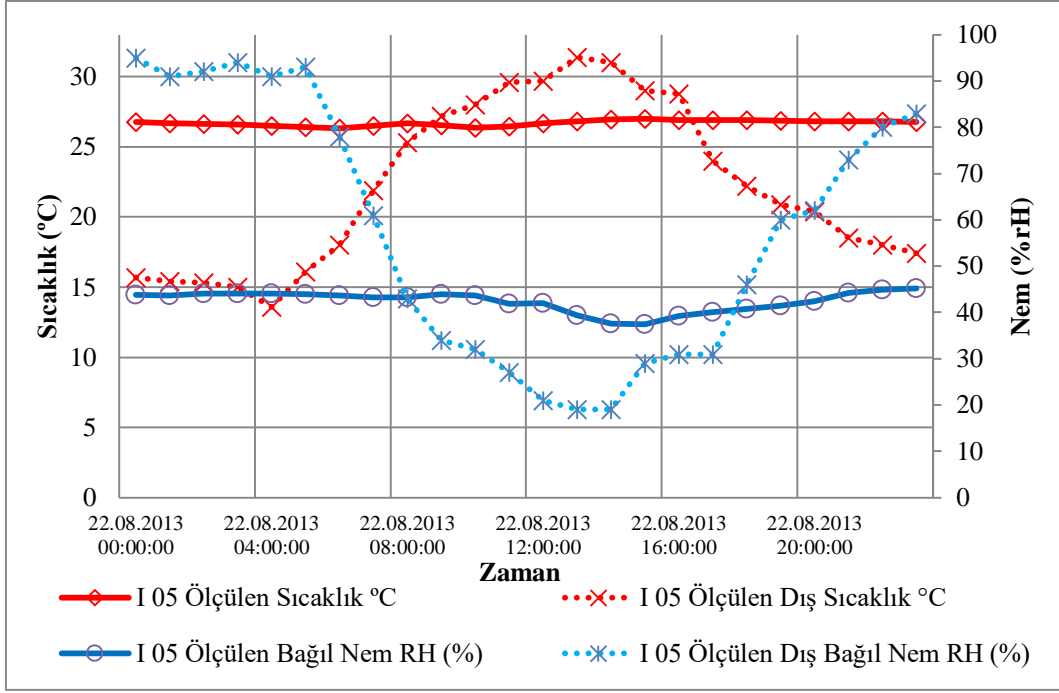
Şekil 4.8. Z04 ofisinin soğutma dönemindeki (22 Ağustos) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri



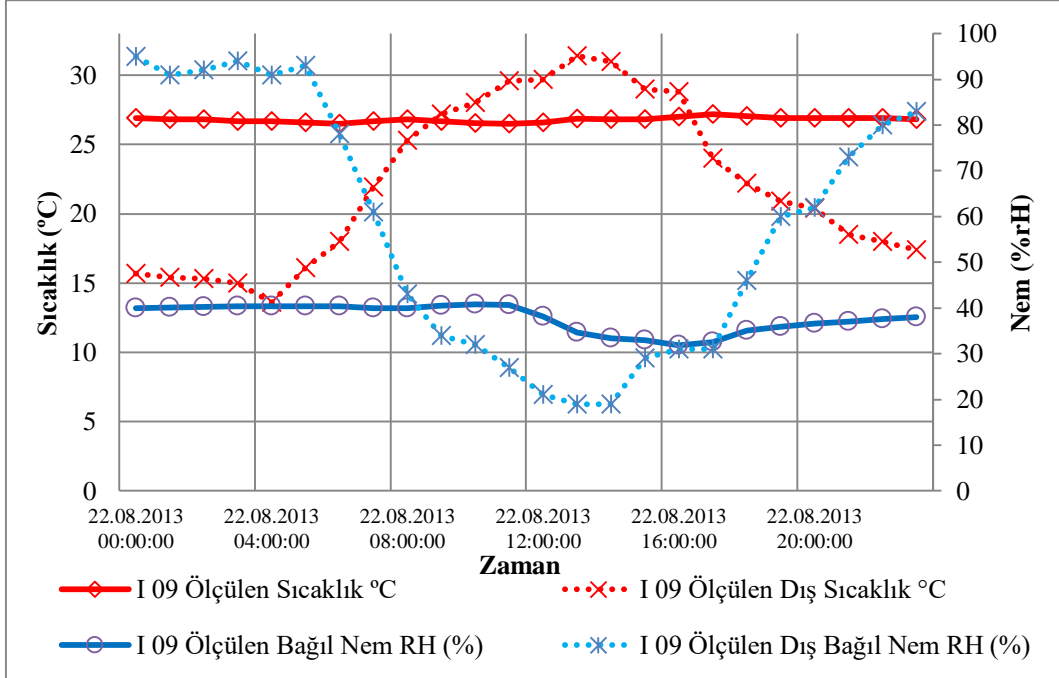
Şekil 4.9. Z10 ofisinin soğutma dönemindeki (22 Ağustos) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri



Şekil 4.10. I01 ofisinin soğutma dönemindeki (22 Ağustos) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri



Şekil 4.11. I05 ofisinin soğutma dönemindeki (22 Ağustos) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri



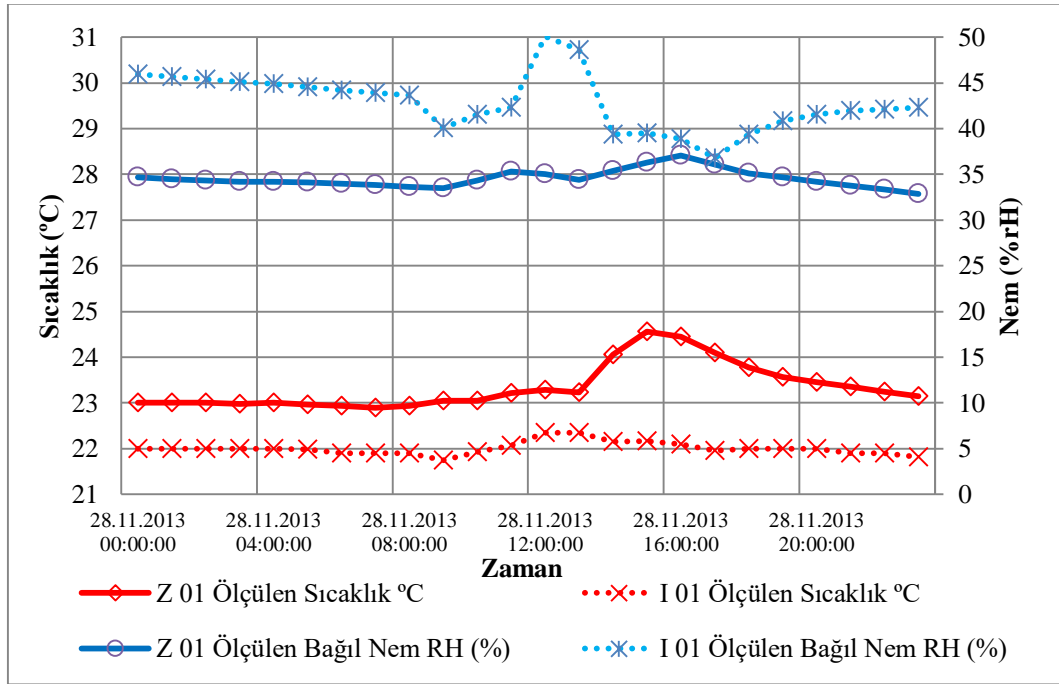
Şekil 4.12. I09 ofisinin soğutma dönemindeki (22 Ağustos) saatlik ofis iç-dış sıcaklık ve bağıl nem değerleri



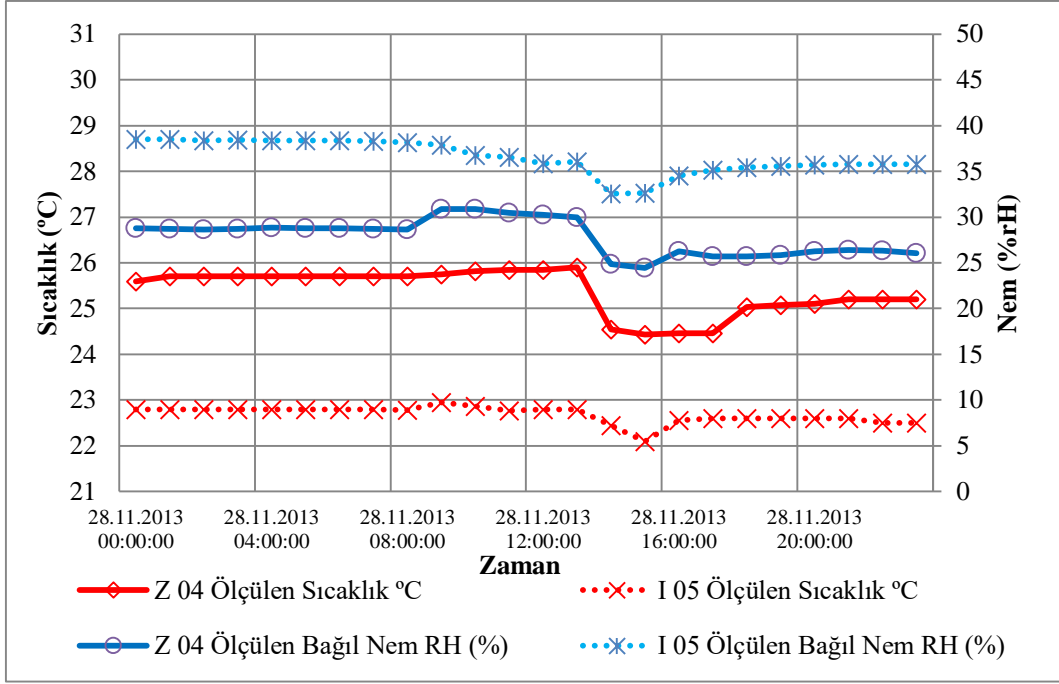
Örnek binanın çatı arasında ısı yalıtımı bulunmadığı için günlük sıcaklık ortalamaları karşılaştırıldığında;

- I01 ofisinin sıcaklık ortalaması Z01 ofisine göre;
  - Soğutma döneminde % 2.9 artış
  - Isıtma döneminde ise % 6.1 azalış
- I05 ofisinin sıcaklık ortalaması Z04 ofisine göre;
  - Soğutma döneminde % 4.1 artış
  - Isıtma döneminde ise % 11.9 azalış
- I09 ofisinin sıcaklık ortalaması Z10 ofisine göre;
  - Soğutma döneminde % 3.1 artış
  - Isıtma döneminde ise % 6.5 azalış

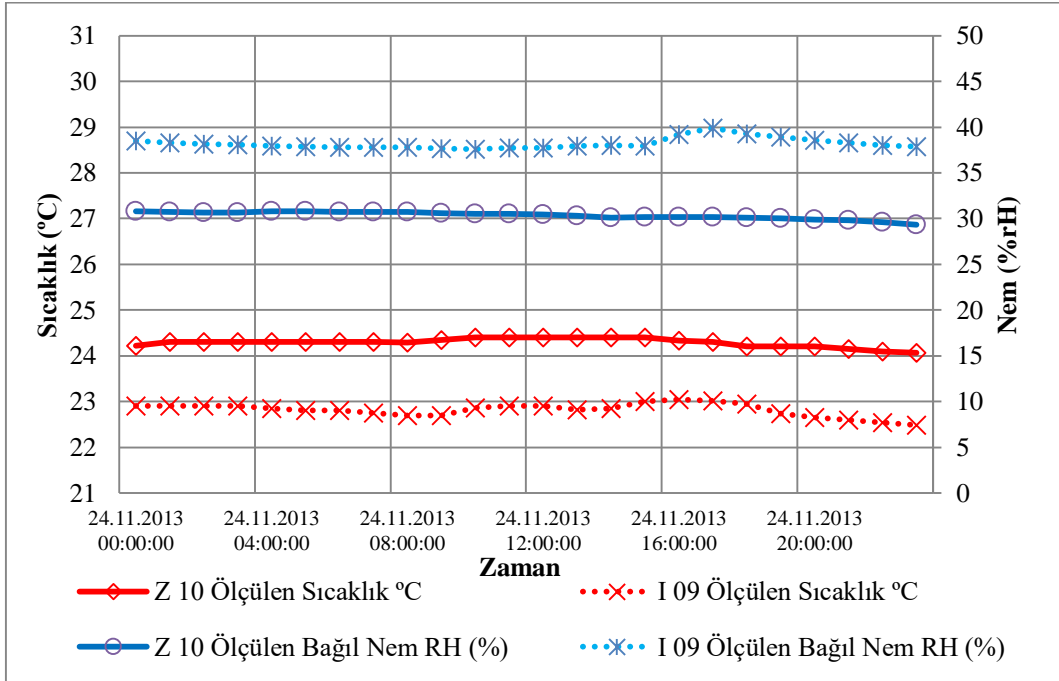
göstermiştir (Şekil 4.13-18).



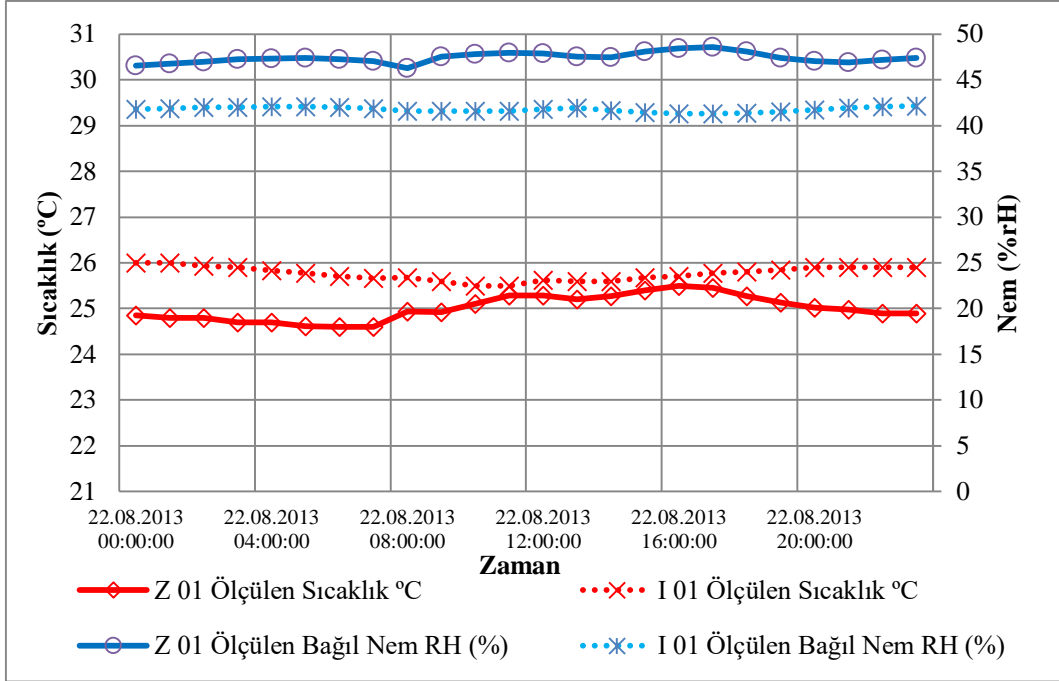
Şekil 4.13. Z01 ve I01 ofislerinin ısıtma dönemindeki (28 Kasım) saatlik iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri



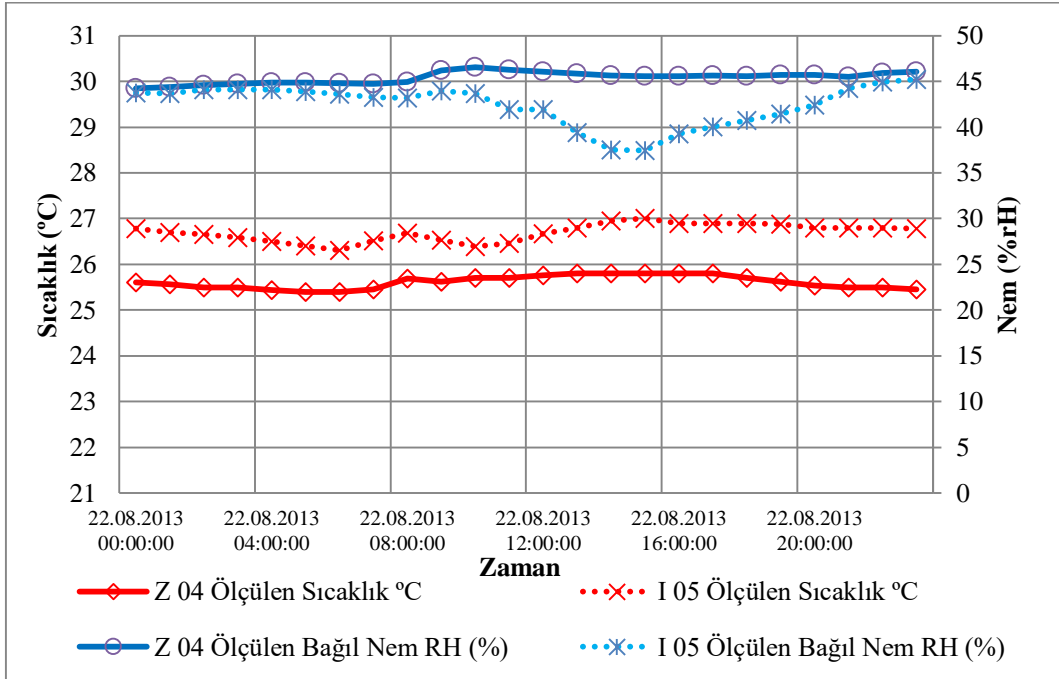
Şekil 4.14. Z04 ve I05 ofislerinin ısıtma dönemindeki (28 Kasım) saatlik iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri



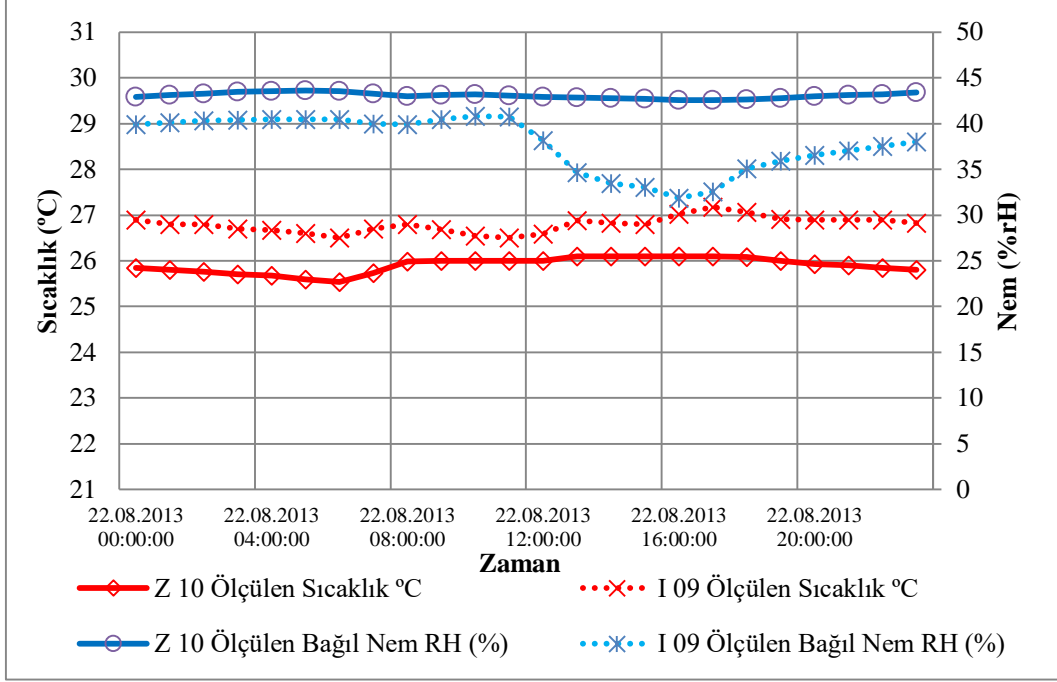
Şekil 4.15. Z10 ve I09 ofislerinin ısıtma dönemindeki (28 Kasım) saatlik iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri



Şekil 4.16. Z01 ve I01 ofislerinin soğutma dönemindeki (22 Ağustos) saatlik iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri



Şekil 4.17. Z04 ve I05 ofislerinin soğutma dönemindeki (22 Ağustos) saatlik iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri



**Şekil 4.18.** Z10 ve I09 ofislerinin soğutma dönemindeki (22 Ağustos) saatlik iç sıcaklık ve bağıl nem değerleri

#### 4.2. Örnek Binanın BEP-TR ve TS 825 Yönetmeliklerine Göre Enerji Tüketim Hesaplamaları ve Ölçülen Verilerle Karşılaştırılmaları

Çalışma sürecinde 7.10.2013-25.4.2014 tarih aralığında ısıtma enerjisi 108,11kWh/yıl olarak ölçülmüştür. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'ne (BEP-TR) göre Enerji Kimlik Belgesi (EKB) ve TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Yönetmeliği'ne göre hesaplanan yıllık ısıtma enerji tüketimi değerleri [28, 112] sırasıyla; 311.40 kWh/yıl ve 155.52kWh/yıl olarak hesaplanmıştır (EK-2 ve EK-3). Bu bağlamda BEP-TR ve TS 825 hesaplamalarının %188 ve %44 fazla olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte örnek binanın Binalarda Enerji Performansına (BEP-TR) göre alınan Enerji Kimlik Belgesinde (EKB) ısıtma enerji sınıfı "E" çıkmasına rağmen 2000 yılından önce inşa edildiği için bina toplam enerji sınıfı "C" çıkmıştır (EK-2).

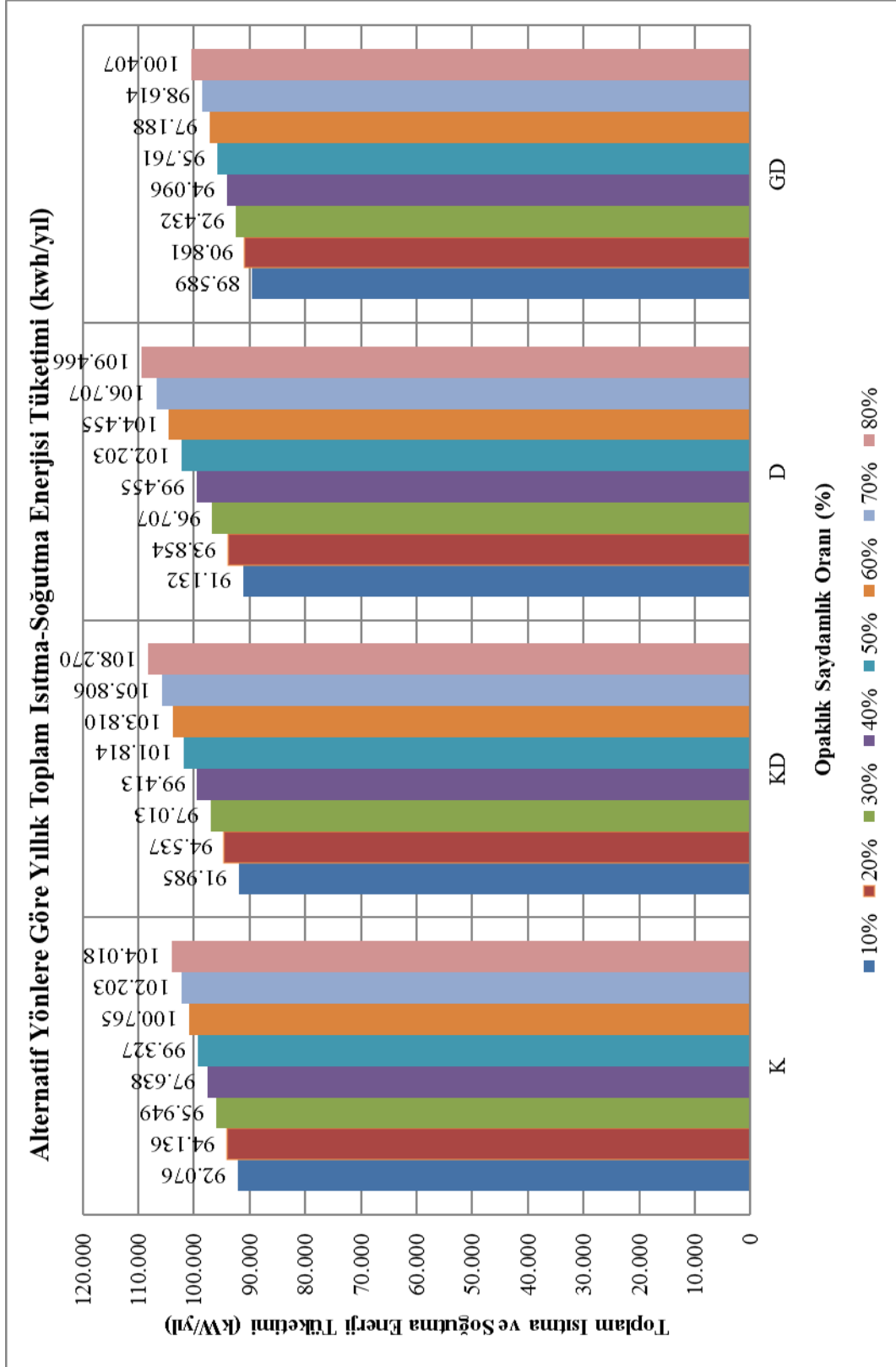
### 4.3. Gerçekçi Modele Uygulanan Alternatif Yön ve Opaklık Saydamlık Oranlarına Göre Hesaplanan Referans Isıtma-Soğutma Enerji Tüketimlerinin Analiz Edilmesi

Gerçekçi modelde yeni alternatif opaklık saydamlık oran tanımlamalarına göre oluşturulan modellerin alternatif yönlerdeki enerji tüketimleri aşağıda yer almaktadır. Elde edilen bu enerji tüketimleri 'referans enerji tüketimleri' olarak adlandırılmıştır. Referans enerji tüketimleri EK-4'de detaylı olarak yer almaktadır.

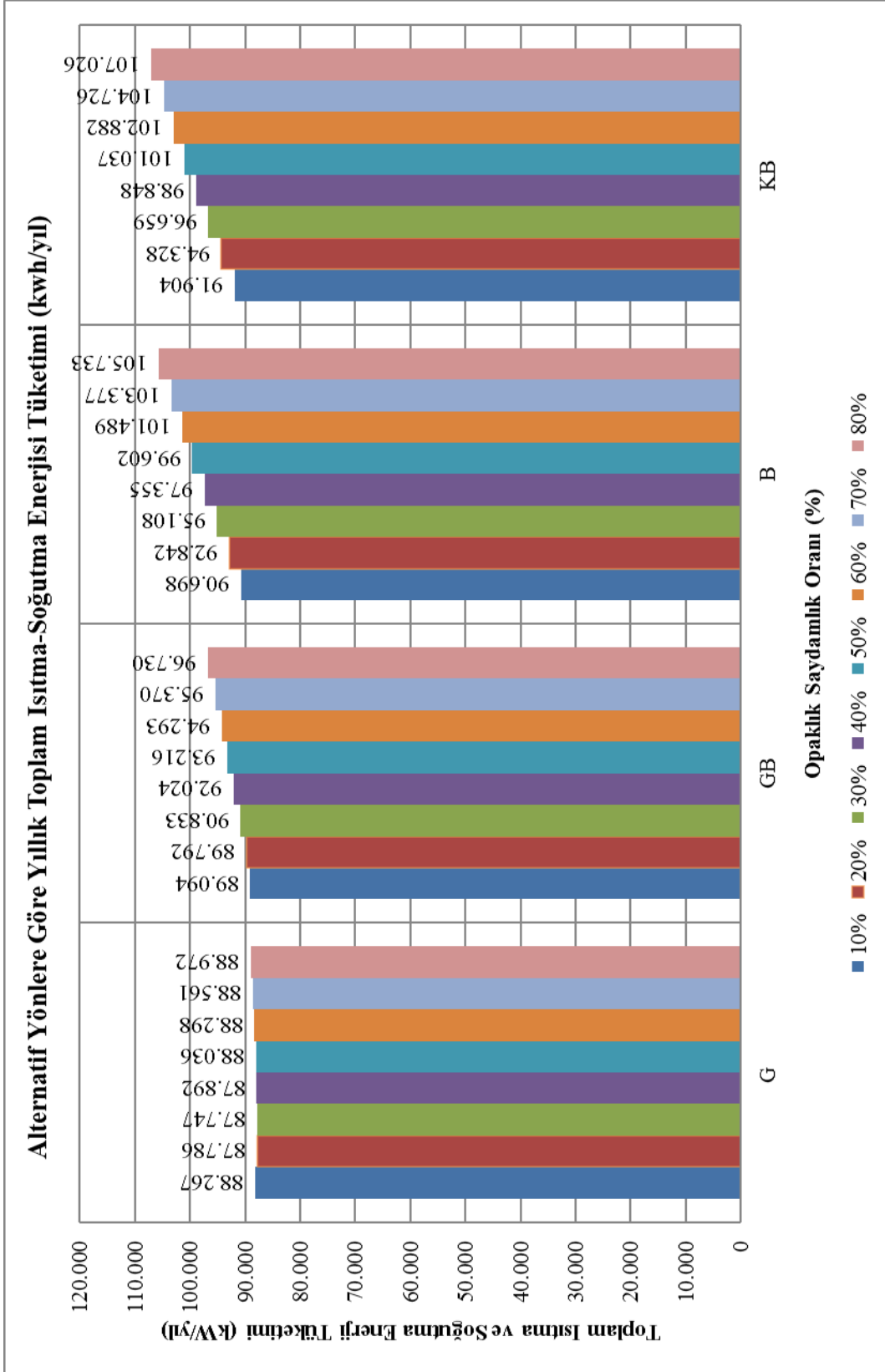
Şekil 4.19-20'de alternatif yön ve opaklık saydamlık oranlarına göre referans ısıtma enerjisi tüketimleri gösterilmiştir.

- Yönlenmeye bağlı olarak saydamlık oranı %10'dan %80'e arttıkça **ısıtma enerjisi** açısından;
  - Kuzey yönünde 91.409-99.202 kW/yıl aralığında hesaplanarak %8.5 arttığı,
  - Kuzeydoğu yönünde 90.978-97.650 kW/yıl aralığında hesaplanarak %7.3 arttığı,
  - Kuzeybatı yönünde 90.961-97.593 kW/yıl aralığında hesaplanarak %7.3 arttığı,
  - Doğu yönünde 89.536-91.662 kW/yıl aralığında hesaplanarak %2.4 arttığı,
  - Batı yönünde 89.354-90.692 kW/yıl aralığında hesaplanarak %1.5 arttığı,
  - Güney yönünde 87.348-80.755 kW/yıl aralığında hesaplanarak %7.5 azaldığı,
  - Güneydoğu yönünde 88.139-85.045 kW/yıl aralığında hesaplanarak %3.5 azaldığı,
  - Güneybatı yönünde 87.827-83.452 kW/yıl aralığında hesaplanarak %5 azaldığı,
  - Kuzeydoğu ve kuzeybatı yönlerinin enerji tüketim değerlerinin %7.33 ve %7.29 artışla birbirine çok yakın olduğu,
  - Yıllık ısıtma enerjisi tüketim değerleri açısından; kuzey, kuzeydoğu ve kuzeybatı, doğu ve batı, güney, güneybatı ve güneydoğu olarak sıralandığı

belirlenmiştir.



**Şekil 4.19.** Örnek binanın kuzey, kuzeydoğu, doğu ve güneydoğu yönlerine göre yıllık ısıtma enerjisi (kWh/yıl) tüketimi



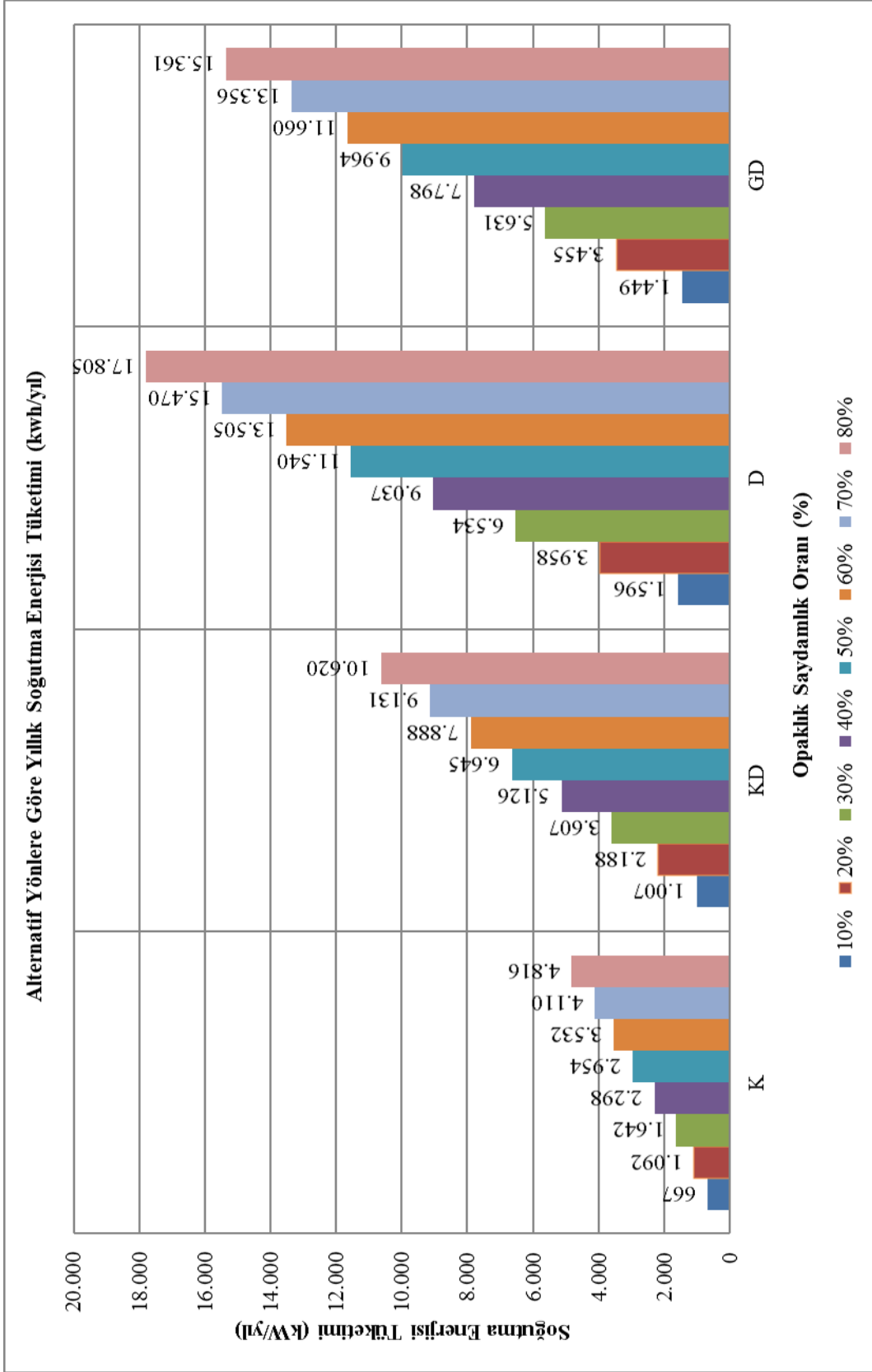
**Şekil 4.20.** Örnek binanın güney, güneybatı, batı ve kuzeybatı yönlerine göre yıllık ısıtma enerjisi (kWh/yıl) tüketimi

Şekil 4.21-22’de alternatif yön ve opaklık saydamlık oranlarına göre referans soğutma enerjisi tüketimleri gösterilmiştir.

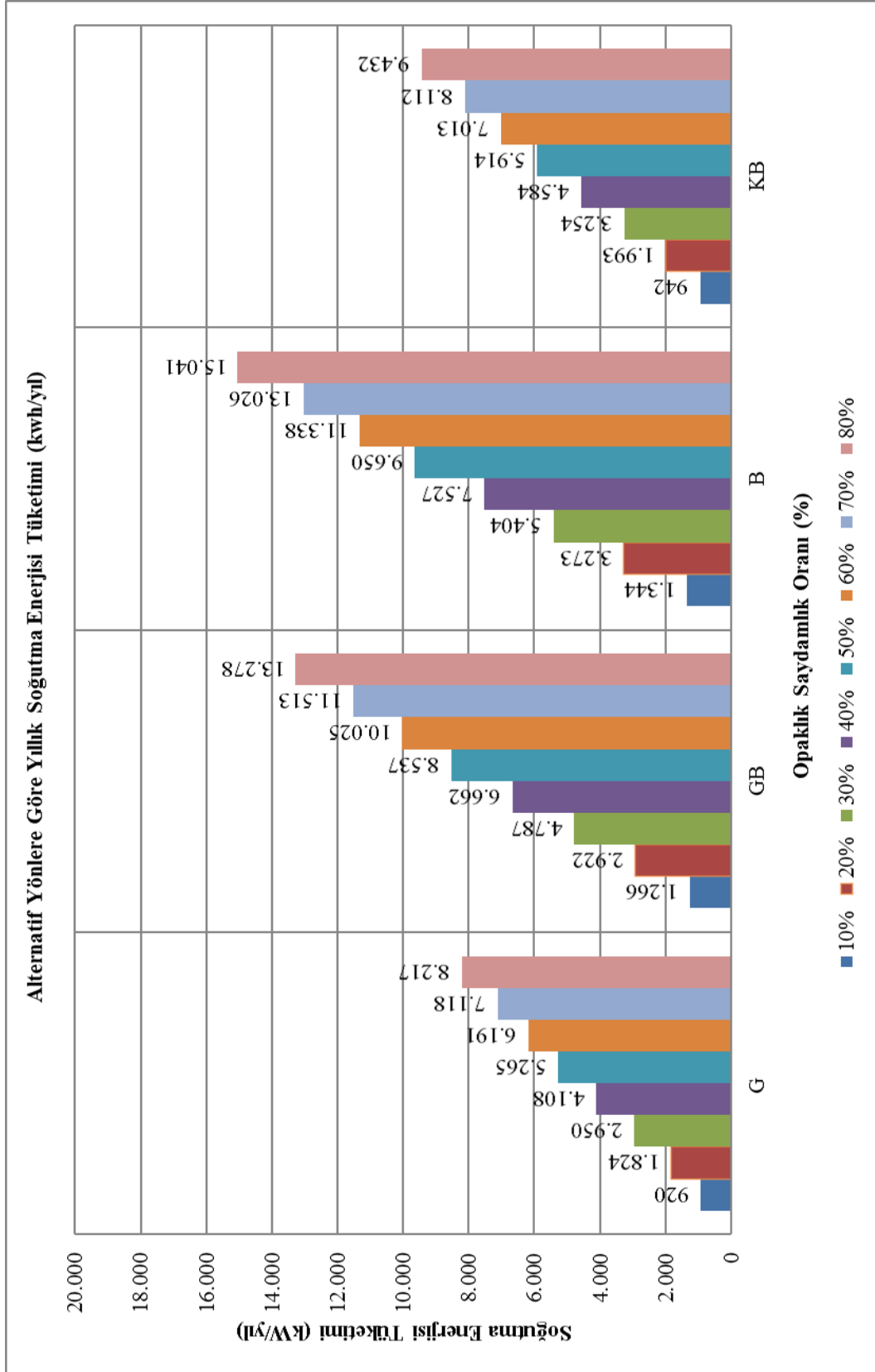
- Yönlenmeye bağlı olarak saydamlık oranı %10’dan %80’e arttıkça **soğutma enerjisi** açısından;
  - Kuzey yönünde 667-4.816 kW/yıl aralığında hesaplanarak %7.2 arttığı,
  - Kuzeydoğu yönünde 1.007-10.620 kW/yıl aralığında hesaplanarak %10.5 arttığı,
  - Kuzeybatı yönünde 942-9.432 kW/yıl aralığında hesaplanarak %10 arttığı,
  - Doğu yönünde 1.596-17.805 kW/yıl aralığında hesaplanarak %11.2 arttığı,
  - Batı yönünde 1.344-15.041 kW/yıl aralığında hesaplanarak %11.2 arttığı,
  - Güney yönünde 920-8.217 kW/yıl aralığında hesaplanarak %8.9 arttığı,
  - Güneydoğu yönünde 1.449-15.361 kW/yıl aralığında hesaplanarak %10.6 arttığı,
  - Güneybatı yönünde 1.266-13.278 kW/yıl aralığında hesaplanarak %10.5 arttığı,
  - Batı ve güneydoğu yönlerinin ısıtma enerji tüketim değerlerinin (1.334-15.014 ile 1.440-15.361 kW/yıl aralığında) birbirine yakın olduğu ve
  - Yıllık soğutma enerjisi tüketim değerleri açısından; doğu, güneydoğu, batı, güneybatı, kuzeydoğu, kuzeybatı, güney ve kuzey olarak sıralandığı

belirlenmiştir.





Şekil 4.21. Örnek binanın kuzey, kuzeydoğu, doğu ve güneydoğu yönlerine göre yıllık soğutma enerji tüketimi



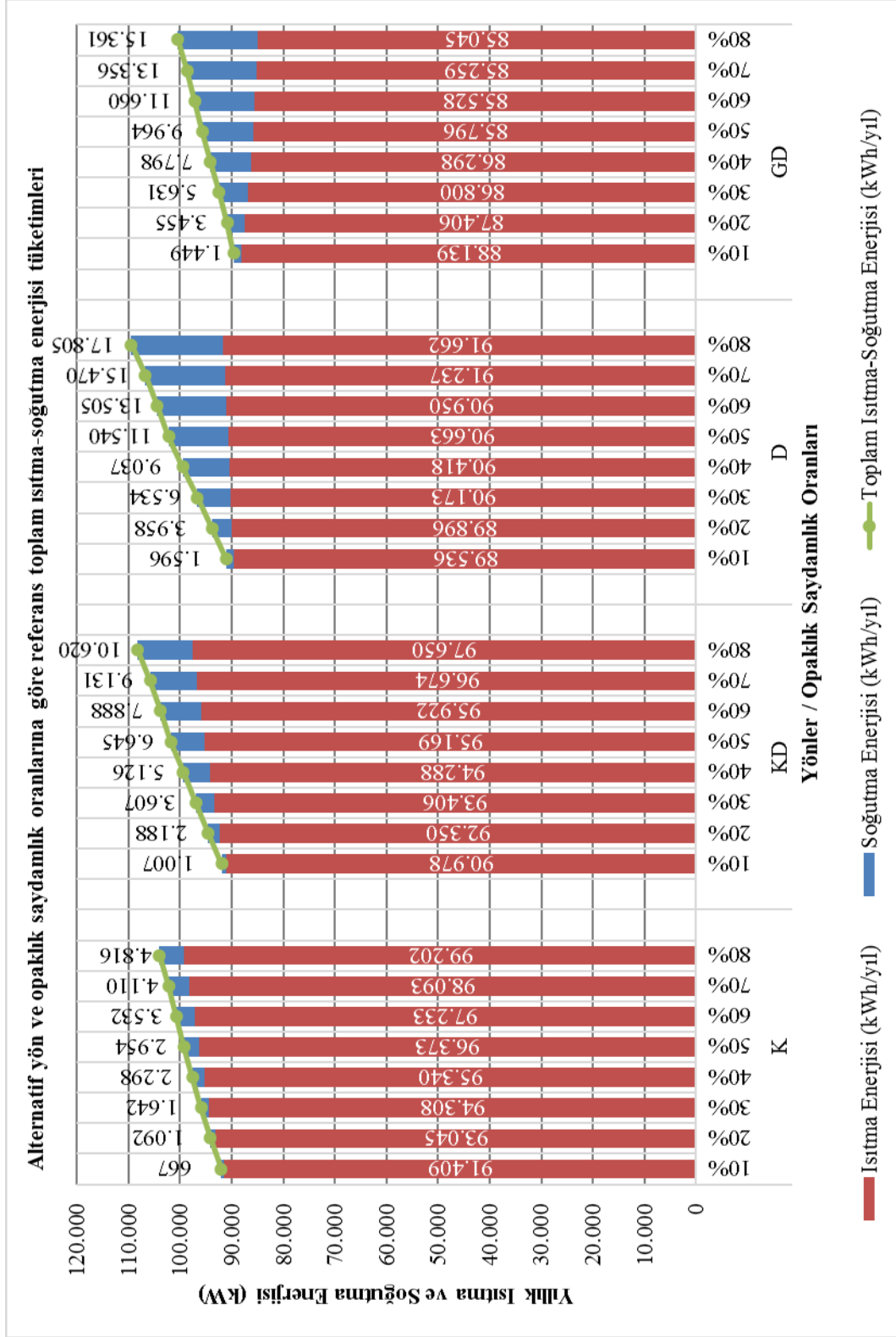
Şekil 4.22. Örnek binanın güney, güneybatı, batı ve kuzeybatı yönlerine göre yıllık soğutma enerji tüketimi

Şekil 4.23-24'de alternatif yön ve opaklık saydamlık oranlarına göre referans toplam ısıtma-soğutma enerjisi tüketimleri gösterilmiştir.

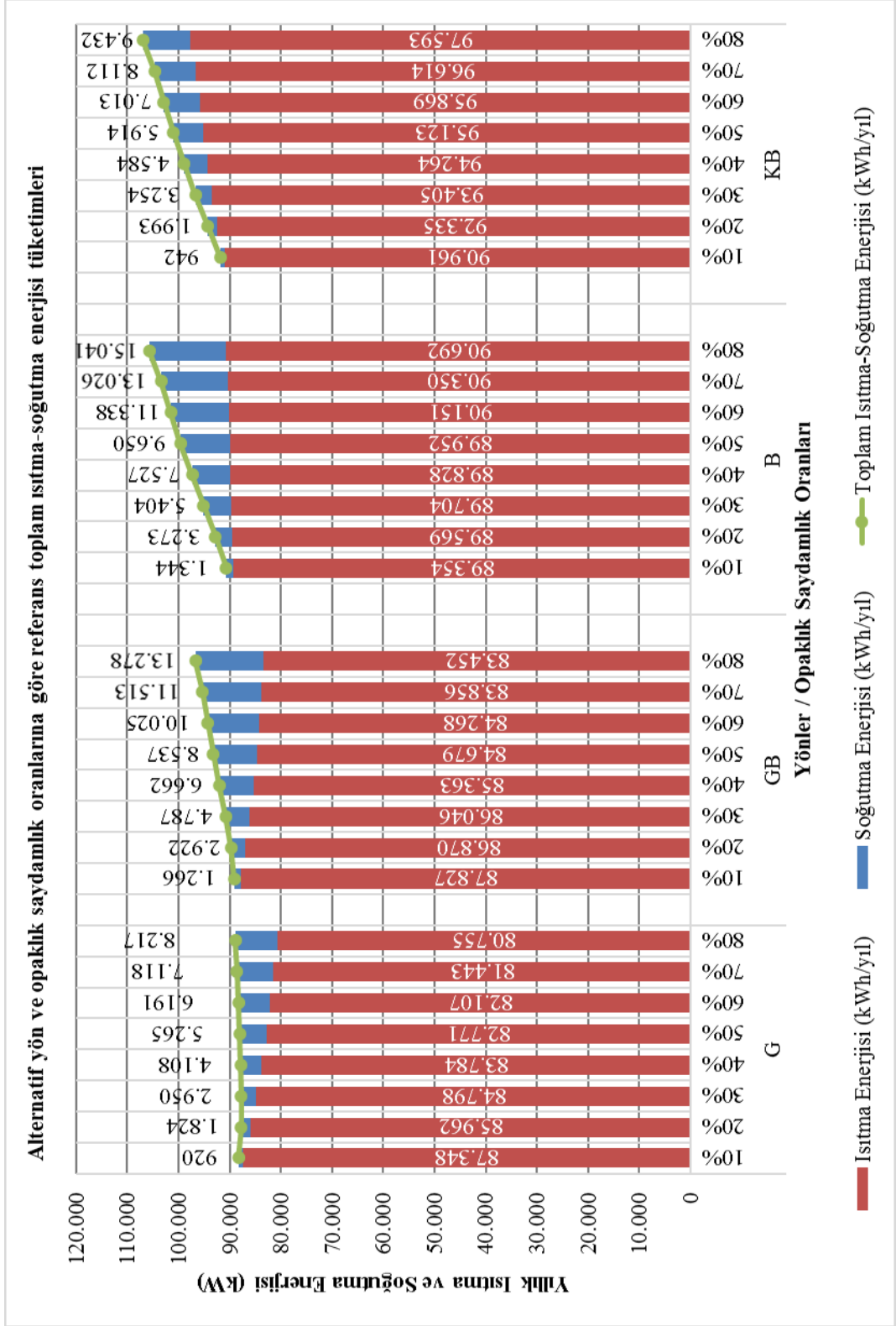
- Yönlenmeye bağlı olarak saydamlık oranı %10'dan %80'e arttıkça **toplam ısıtma ve soğutma enerjisi** tüketimi açısından;
  - Kuzey yönünde 92.076-104.018kW/yıl aralığında hesaplanarak %13 arttığı,
  - Kuzeydoğu yönünde 91.985-108.270kW/yıl aralığında hesaplanarak %17.7 arttığı,
  - Kuzeybatı yönünde 91.904-107.026kW/yıl aralığında hesaplanarak %16.5 arttığı,
  - Doğu yönünde 91.132-109.466kW/yıl aralığında hesaplanarak %20.1 arttığı,
  - Batı yönünde 90.698-105.733 kW/yıl aralığında hesaplanarak %16.6 arttığı,
  - Güney yönünde 87.747-88.972kW/yıl aralığında hesaplanarak %0.8 arttığı,
  - Güneydoğu yönünde 89.589-100.407 kW/yıl aralığında hesaplanarak %12.1 arttığı,
  - Güneybatı yönünde 89.094-96.730kW/yıl aralığında hesaplanarak %8.6 arttığı,
  - Tüm yönlerde enerji tüketiminin arttığı,
  - Enerji tüketim açısından; doğu, kuzeydoğu, kuzeybatı, batı, kuzey, güneydoğu, güneybatı ve güney olarak azalarak sıralandığı ve
  - Toplam enerji tüketiminin %83,73-%99,32'sini ısıtma enerjisinin oluşturduğu

görülmüştür. Ayrıca gerçekçi modelin yönlere ve opaklık saydamlık oranlarına bağlı olarak; Eskişehir'de örnek bina mimari özelliklerinde; tek kullanıcı, aynı yöne bakan, komşu ofislerden oluşan ve birinci kat tavanında 60 cm çatı saçağı ve 90 cm konsol döşemesi olan iki katlı ofis binalarında: toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimi için optimum opaklık saydamlık oranının;

- Güney yönü için % 30 oranında,
- Diğer tüm yönlerde ise, %10 oranında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.23. Örnek binanın kuzey, kuzeydoğu, doğu ve güneydoğu yönlerine göre yıllık toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimi



Şekil 4.24. Örnek binanın güney, güneybatı, batı ve kuzeybatı yönlerine göre yıllık toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimi

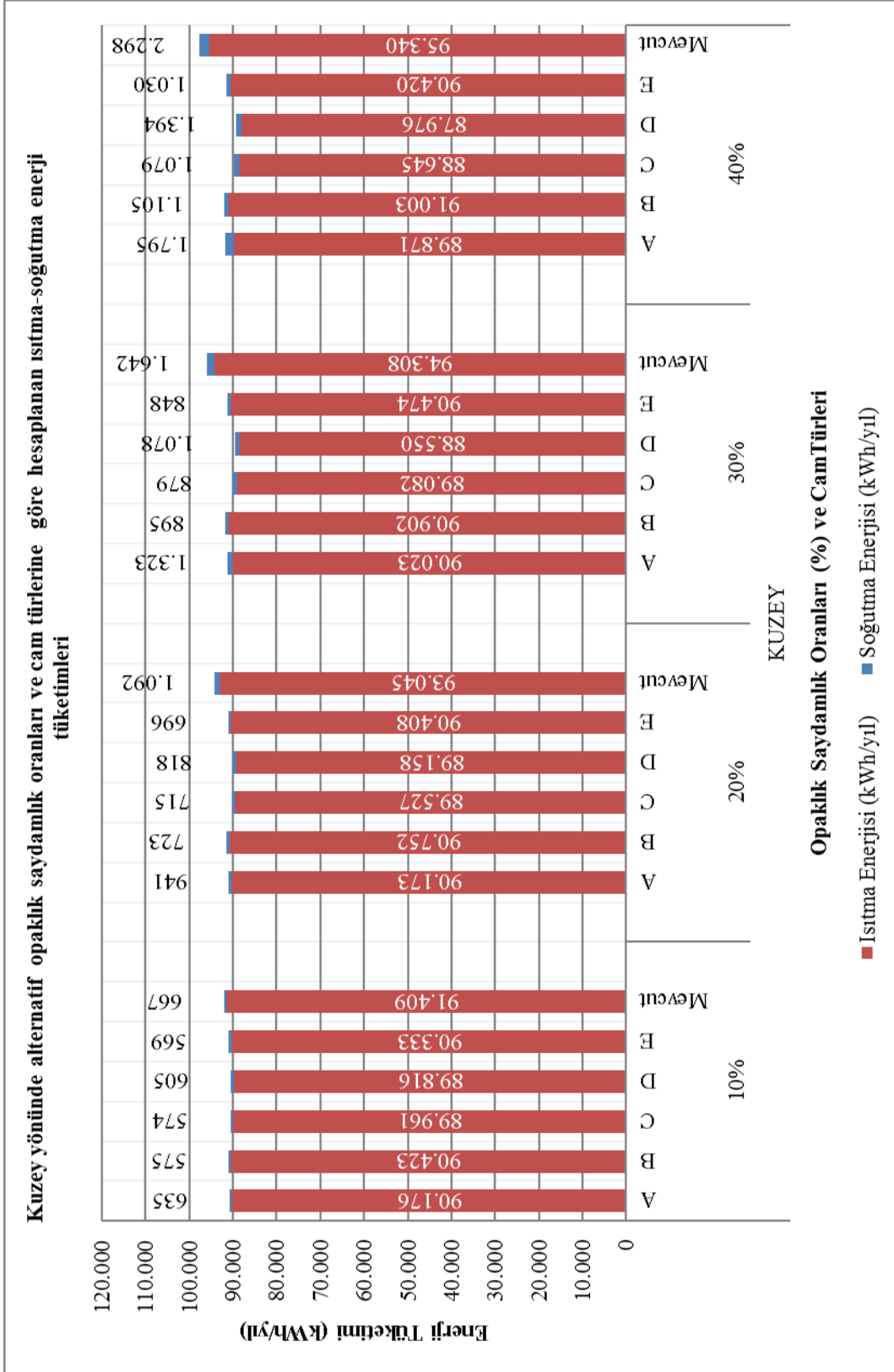
#### 4.4. Alternatif Yönlere ve Opaklık Saydamlık Oranlarına Uygulanan Alternatif Cam Türlerinin Hesaplanan Isıtma-Soğutma Enerji Tüketimlerinin Analiz Edilmesi

Alternatif opaklık saydamlık oranlarına tanımlanan alternatif cam türlerinin alternatif yönlere çevrilmesiyle hesaplanan enerji tüketimleri aşağıda yer almaktadır. Bu enerji tüketimleri detaylı olarak EK-4’de yer almaktadır.

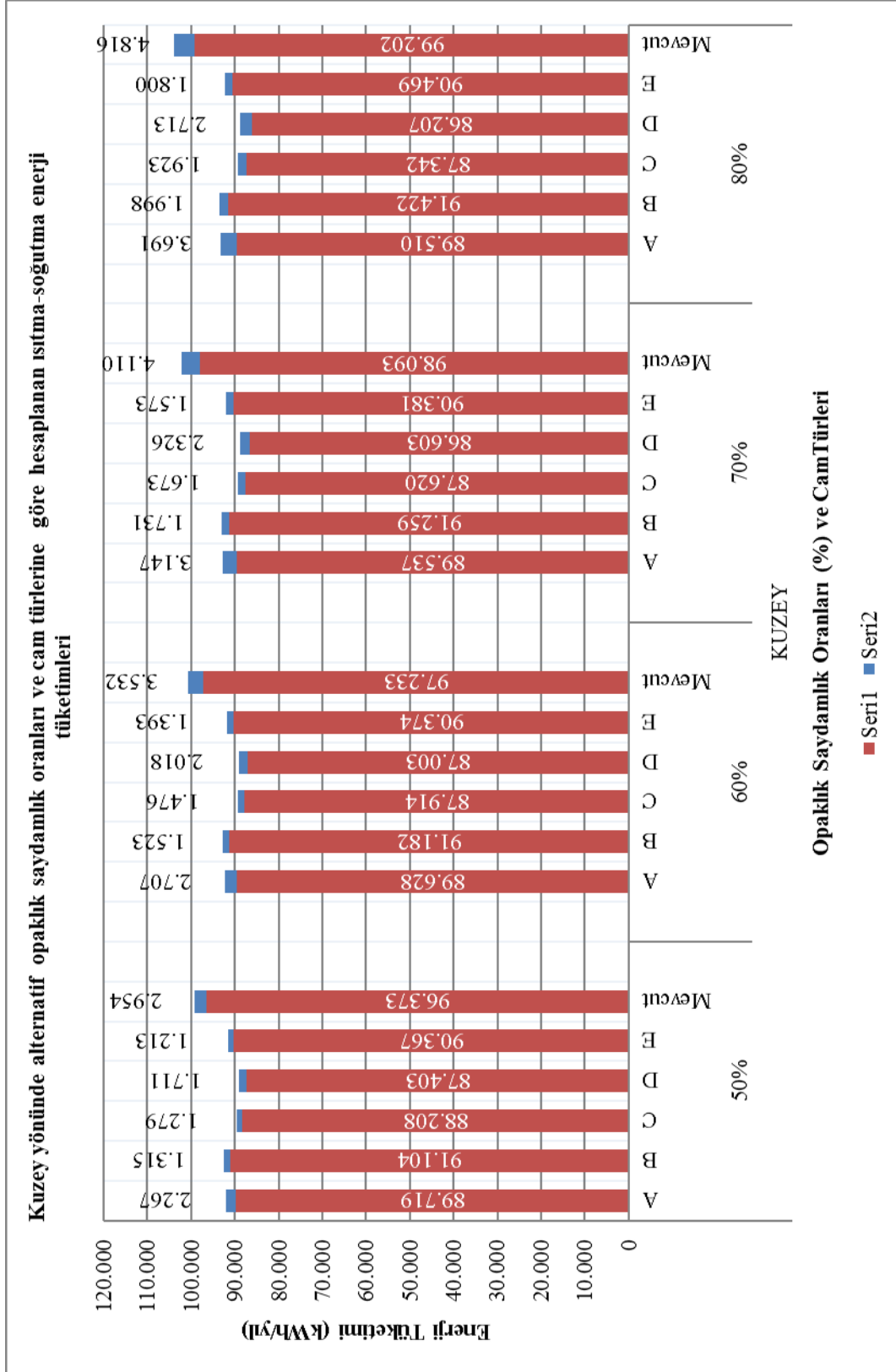
Şekil 4.25-26’da Kuzey yönünde alternatif opaklık saydamlık oranları ve alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri yer almaktadır.

- Kuzey yönünde opaklık saydamlık oranı %10’dan %80’e arttıkça;
  - a. A tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisinde 89.510-90.176 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisinde 635-3.691 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde 90.811-93.202 kW/yıl,
  - b. B tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisinde 90.423-91.422 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisinde 575-1.998 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde 90.998-93.419 kW/yıl,
  - c. C tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisinde 87.342-89.961 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisinde 574-1.923 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde 89.265-90.535 kW/yıl,
  - d. D tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisinde 86.207-89.816 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisinde 605-2.713 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde 88.920-90.420 kW/yıl,
  - e. E tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisinde 90.33-90.474 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisinde 569-1.800 kW/yıl ve
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde 90.901-92.269 kW/yıl

aralıklarında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.25. Örnek binanın kuzey yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri



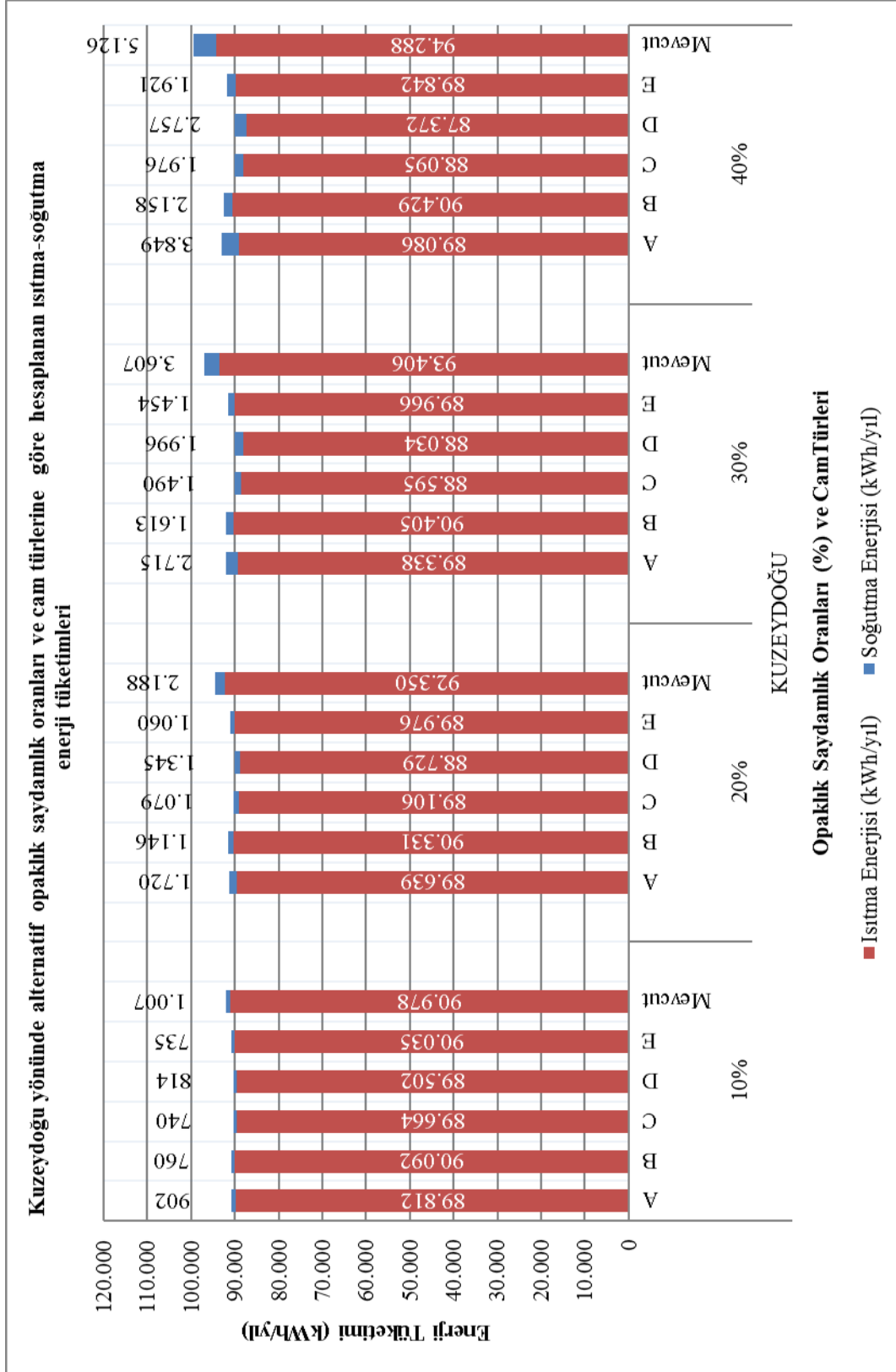
Şekil 4.26. Örnek binanın kuzey yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri



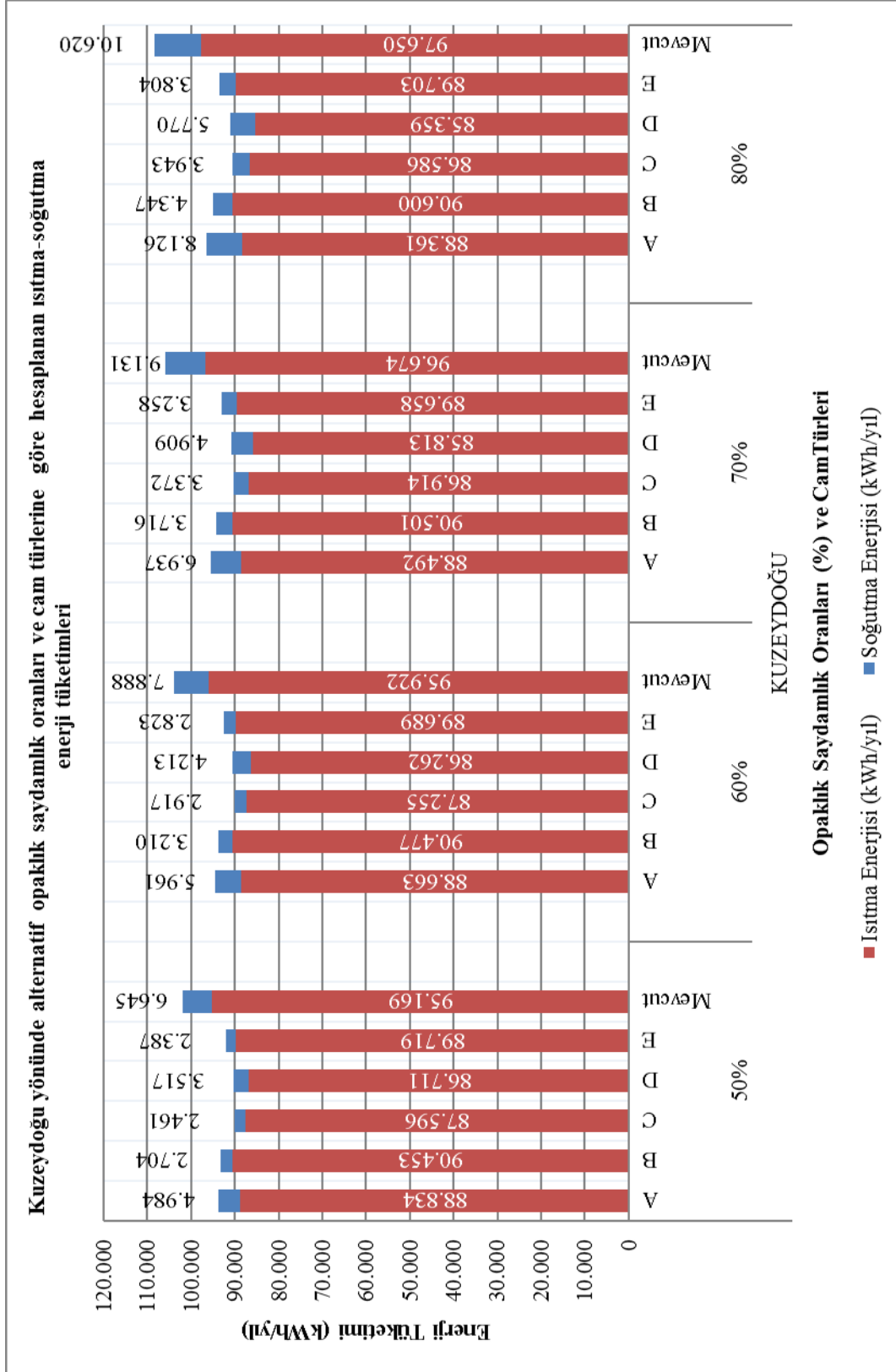
Şekil 4.27-28'de Kuzeydoğu yönünde alternatif opaklık saydamlık oranları ve alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri yer almaktadır.

- Kuzeydoğu yönünde opaklık saydamlık oranı %10'dan %80'e arttıkça;
  - a. A tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 88.361-89.812 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 902-8.126 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 90.714-96.487 kW/yıl,
  - b. B tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 90.092-90.600 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 760-4.347 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 90.853-94.947 kW/yıl,
  - c. C tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 86.586-89.664 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 740-3.943 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 90.057-90.529kW/yıl,
  - d. D tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 85.359-89.502 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 814-5.770 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 90.030-91.129 kW/yıl,
  - e. E tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 89.658-90.035 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 735-3.804 kW/yıl ve
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 90.770-93.506 kW/yıl

aralıklarında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.27. Örnek binanın kuzeydoğu yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri

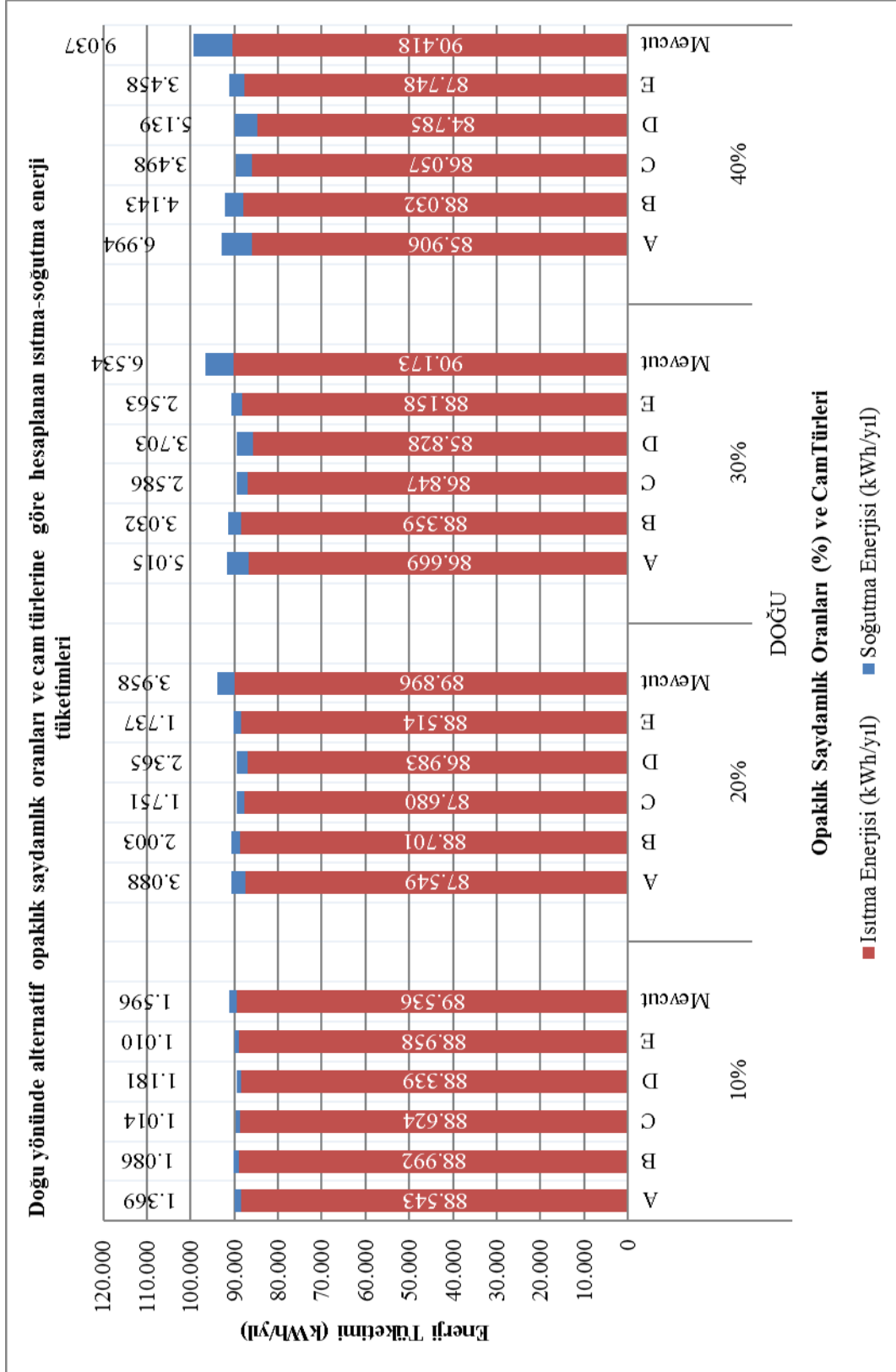


**Şekil 4.28.** Örnek binanın kuzeydoğu yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri

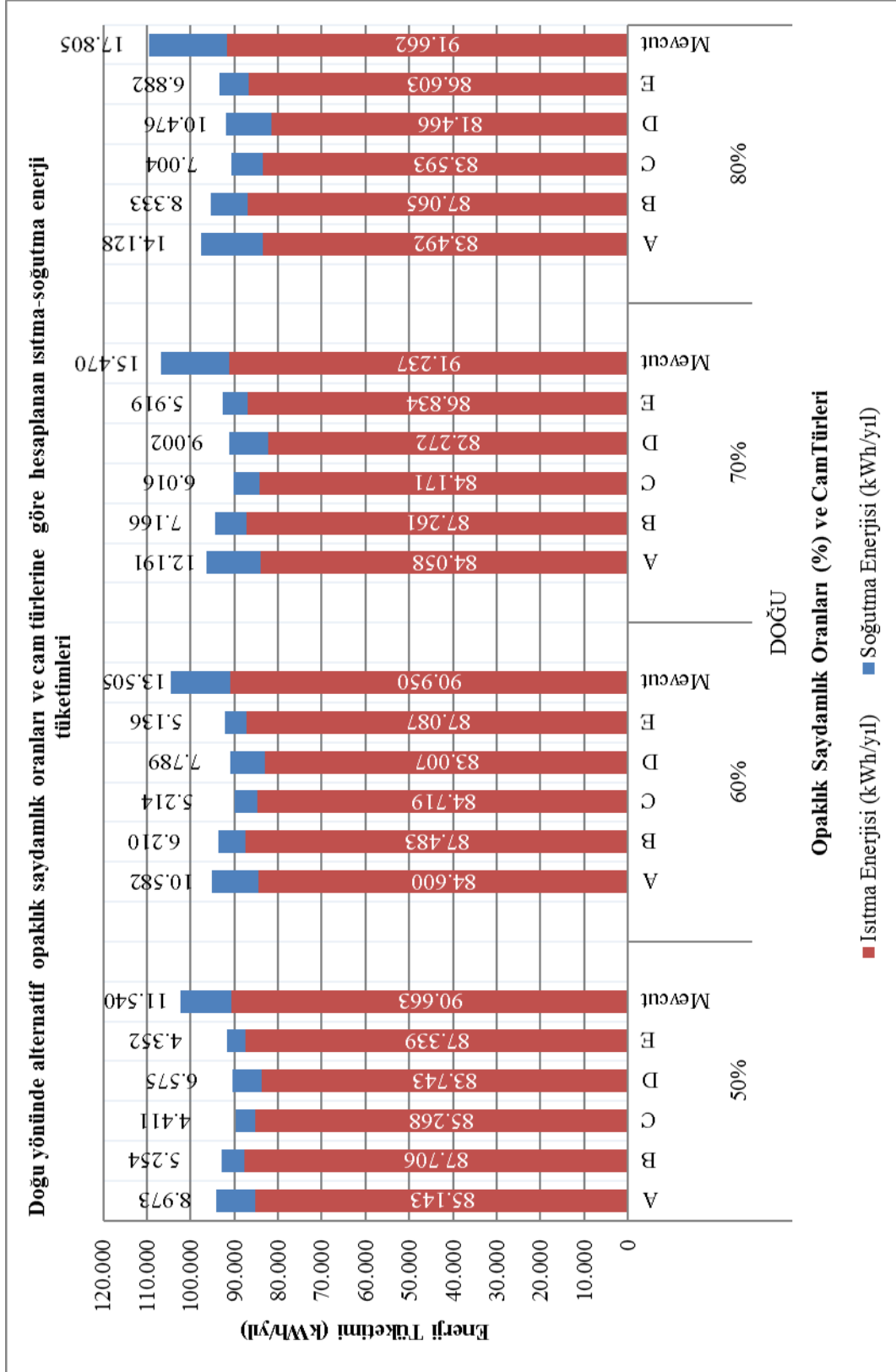
Şekil 4.29-30'da doğu yönünde alternatif opaklık saydamlık oranları ve alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri yer almaktadır.

- Doğu yönünde opaklık saydamlık oranı %10'dan %80'e arttıkça;
  - a. A tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 83.492-88.543 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 1.369-14.128 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 89.912-97.620 kW/yıl,
  - b. B tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 87.065-88.992 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 1.086-8.333 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 90.078-95.398 kW/yıl,
  - c. C tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 83.593-88.624 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 1.014-7.004 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 89.431-90.597 kW/yıl,
  - d. D tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 81.466-88.339 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 1.181-10.476 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 89.348-91.942 kW/yıl,
  - e. E tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 86.603-88.958 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 1.010-6.882 kW/yıl ve
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 89.968-93.485 kW/yıl

aralıklarında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.29. Örnek binanın doğu yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri

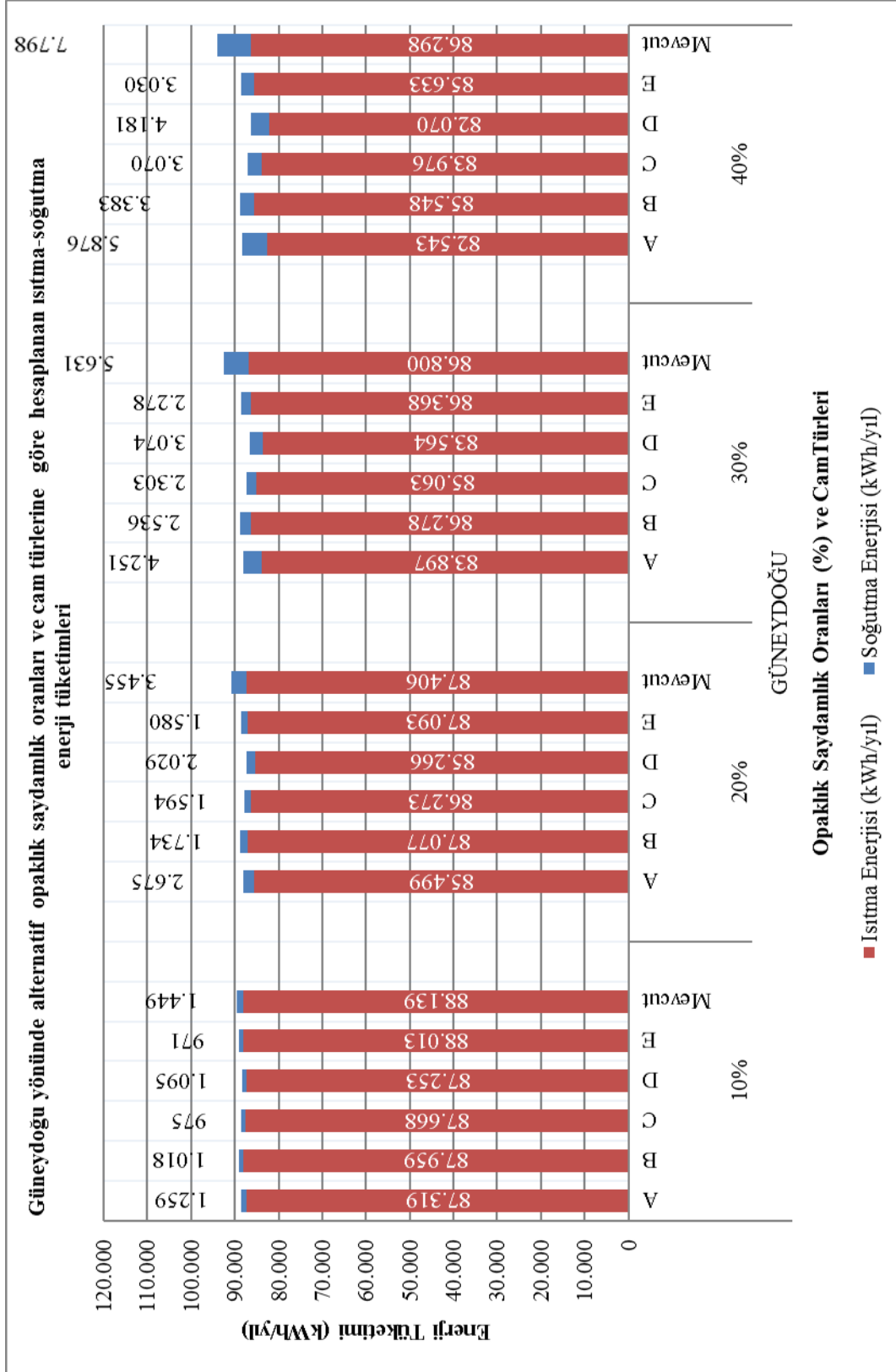


**Şekil 4.30.** Örnek binanın doğu yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri

Şekil 4.31-32’de güneydoğu yönünde alternatif opaklık saydamlık oranları ve alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri yer almaktadır.

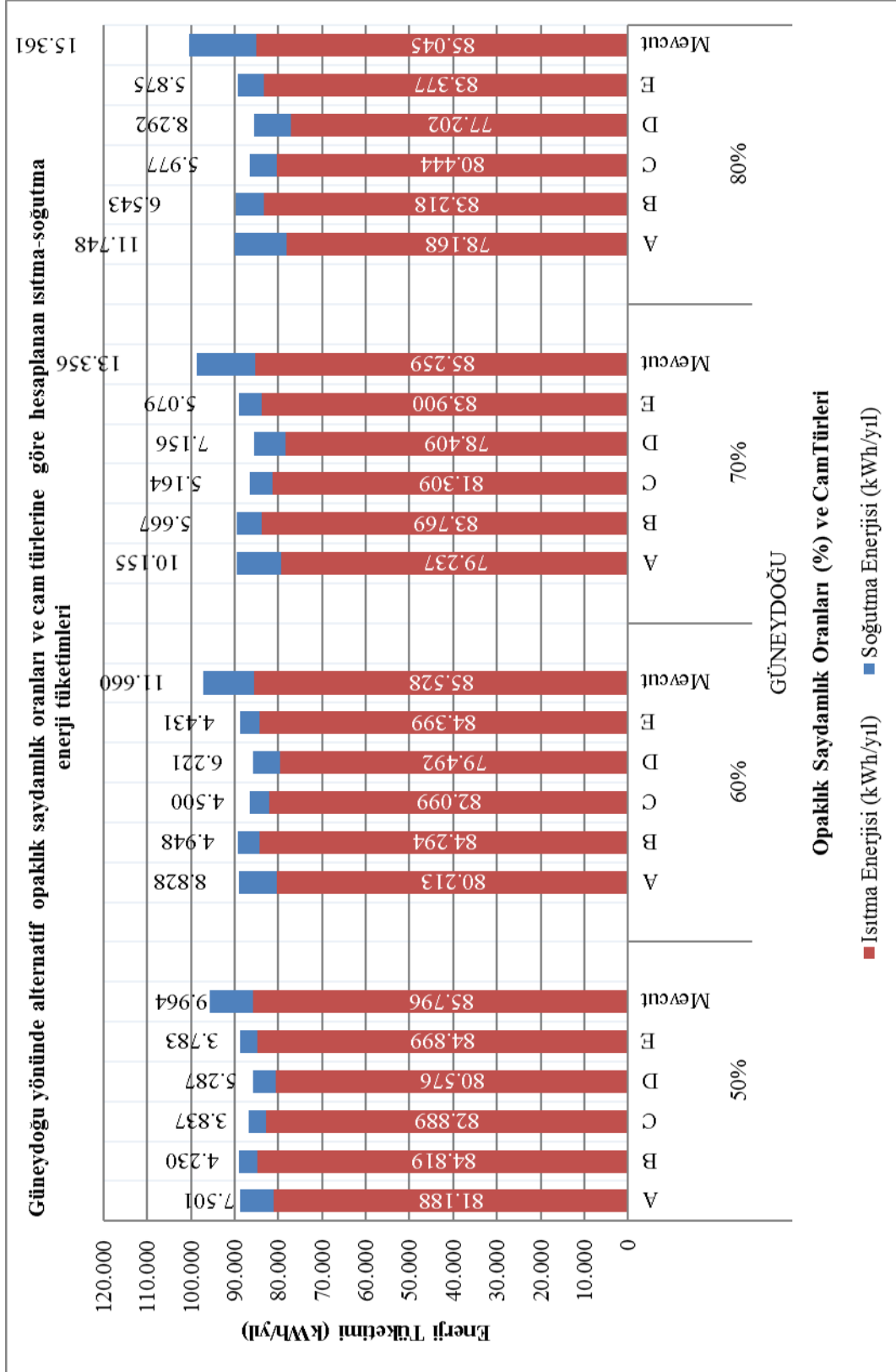
- Güneydoğu yönünde opaklık saydamlık oranı %10’dan %80’e arttıkça;
  - a. A tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 78.168-87.319 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 1.259-11.748 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 88.148-89.916 kW/yıl,
  - b. B tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 83.218-87.959 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 1.018-6.543 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 88.812-89.762 kW/yıl,
  - c. C tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 80.444-87.668 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 975-5.977 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 86.421-88.643 kW/yıl,
  - d. D tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 77.202-87.253 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 1.095-8.292 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 85.494-88.349 kW/yıl,
  - e. E tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 83.377-88.013 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 971-5.875 kW/yıl ve
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 88.646-89.252 kW/yıl

aralıklarında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.31. Örnek binanın güneydoğu yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri



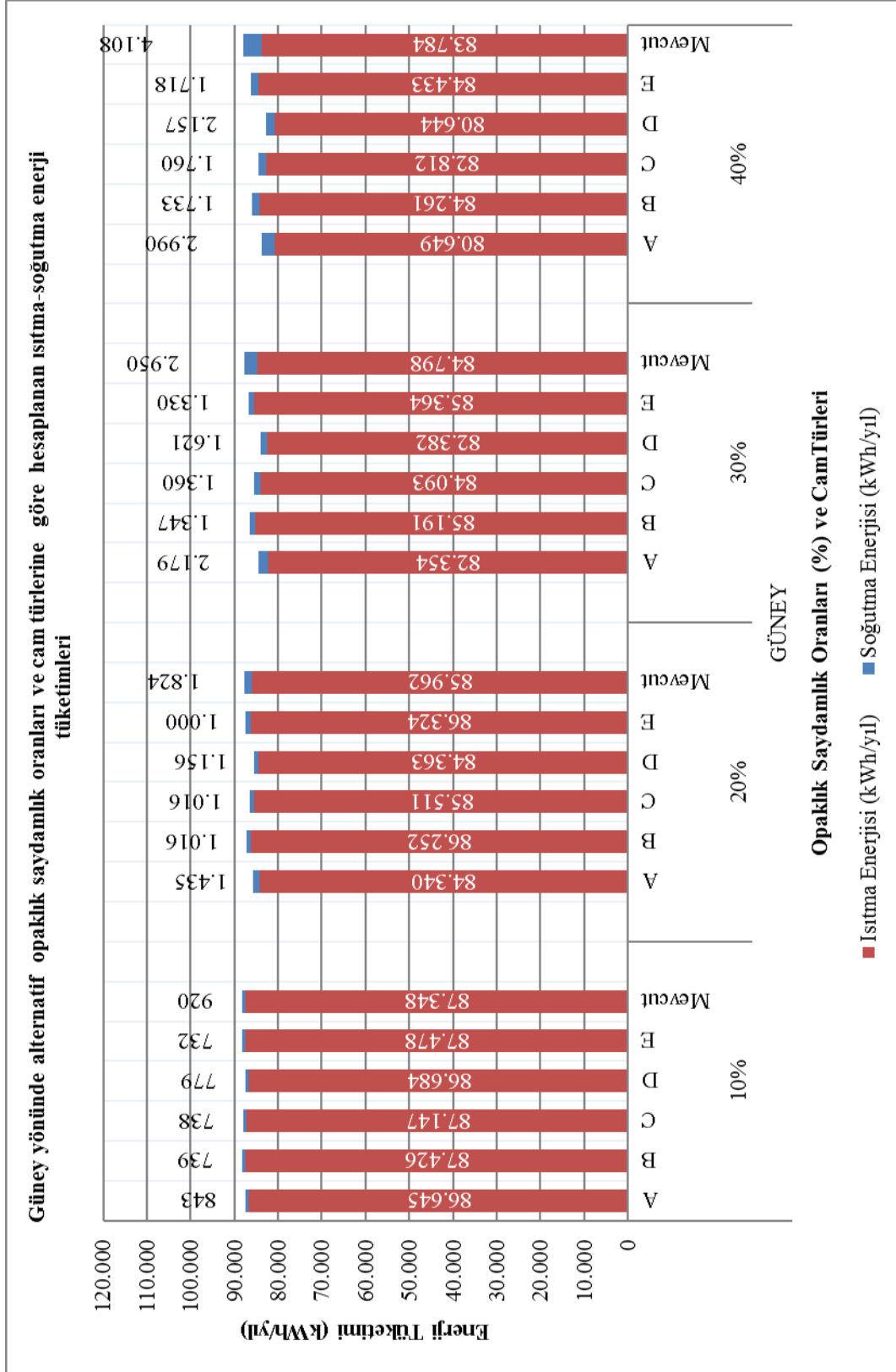


Şekil 4.32. Örnek binanın güneydoğu yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri

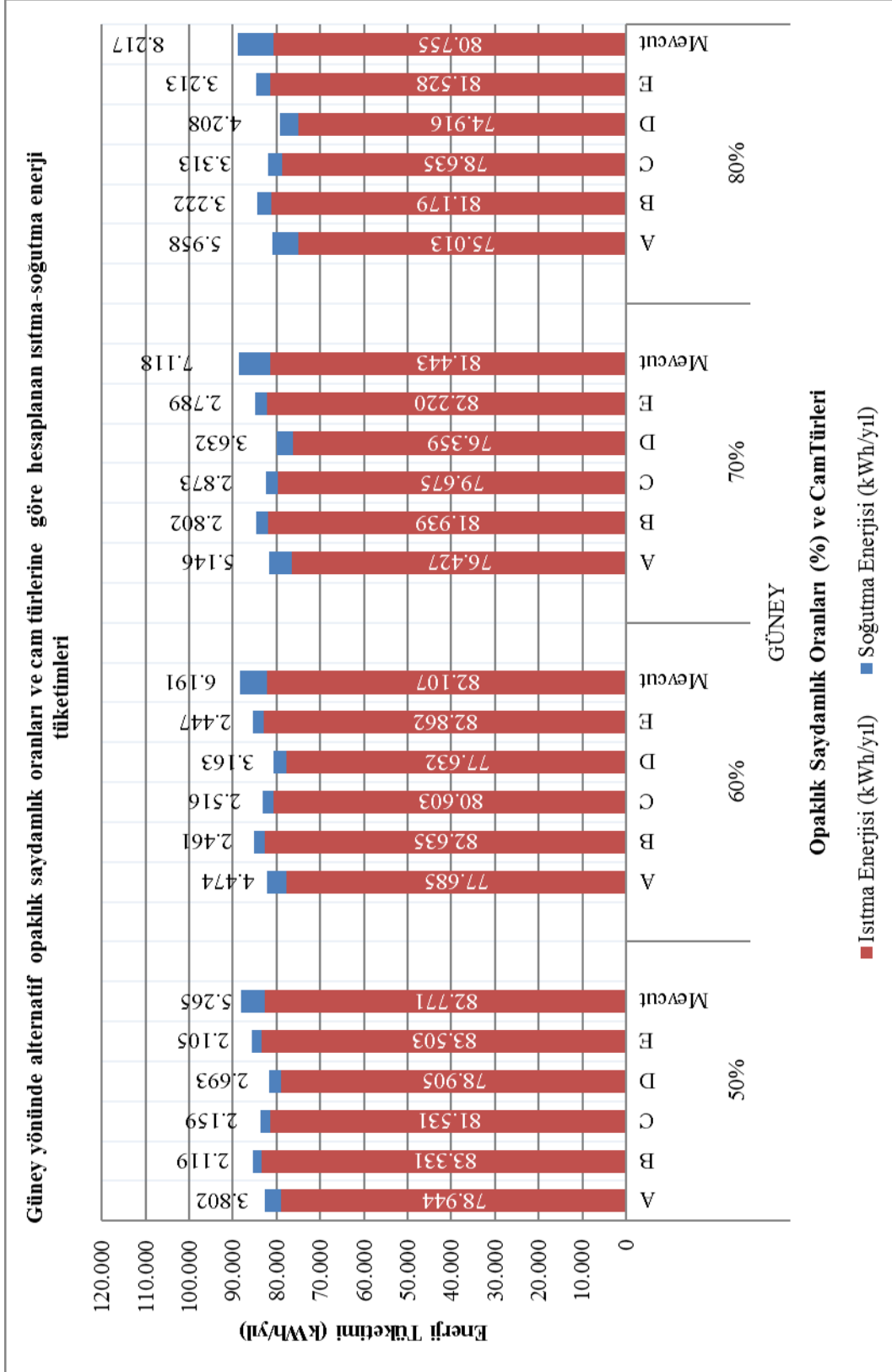
Şekil 4.33-34'de güney yönünde alternatif opaklık saydamlık oranları ve alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri yer almaktadır.

- Güney yönünde opaklık saydamlık oranı %10'dan %80'e arttıkça;
  - a. A tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 75.013-86.645 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 843-5.958 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 80.971-87.488 kW/yıl,
  - b. B tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 81.179-87.426 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 739-3.222 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 84.401-88.165 kW/yıl,
  - c. C tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 78.635-87.147 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 738-3.313 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 81.948-87.885 kW/yıl,
  - d. D tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 74.916-86.684 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 779-4.208 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 79.124-87.464 kW/yıl,
  - e. E tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 81.528-87.478 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 732-3.213 kW/yıl ve
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 84.740-88.210 kW/yıl

aralıklarında olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 4.33.** Örnek binanın güney yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri

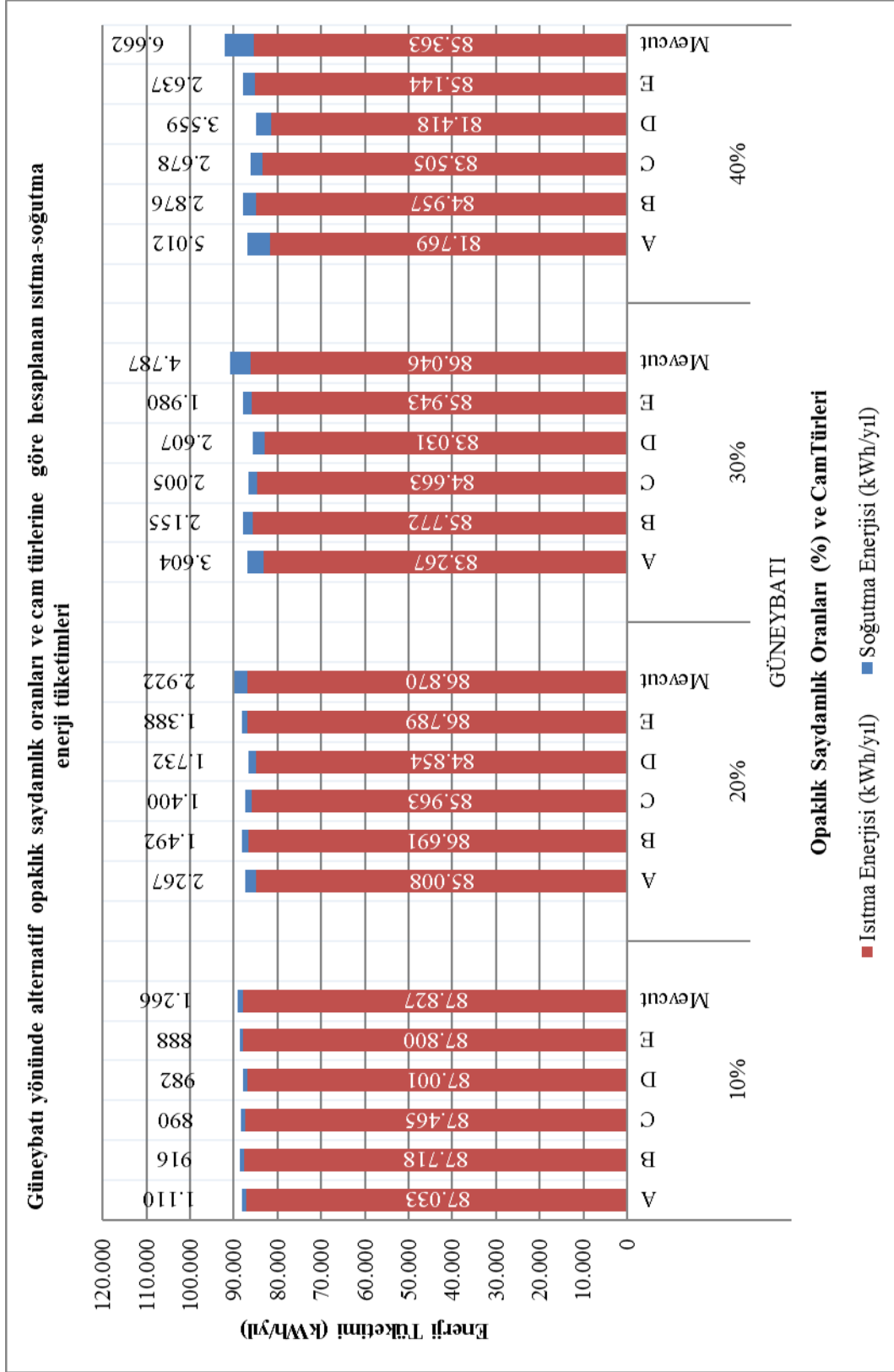


**Şekil 4.34.** Örnek binanın güney yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri

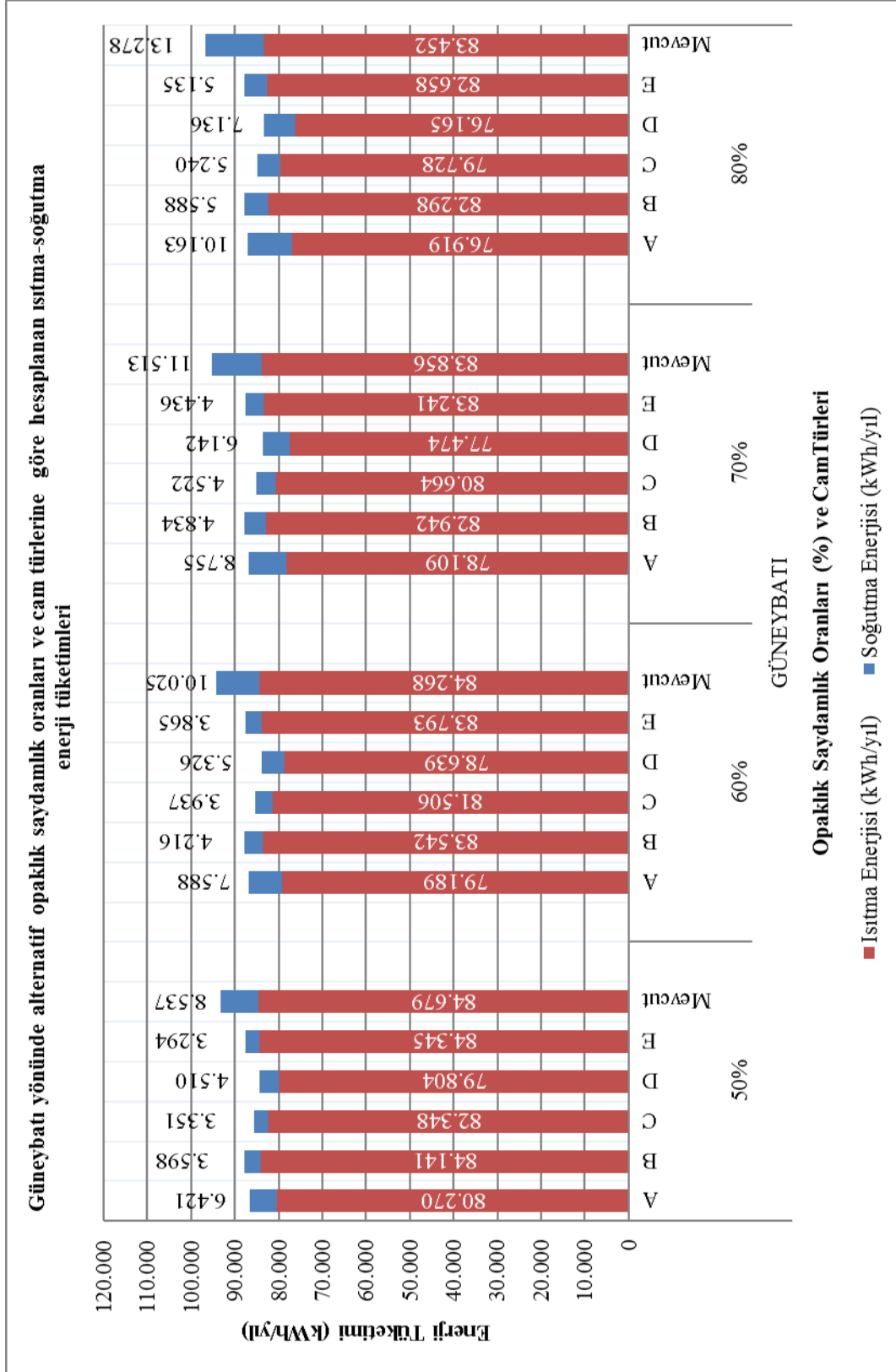
Şekil 4.35-36'da güneybatı yönünde alternatif opaklık saydamlık oranları ve alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri yer almaktadır.

- Güneybatı yönünde opaklık saydamlık oranı %10'dan %80'e arttıkça;
  - a. A tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 76.919-87.033 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 1.110-10.163 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 86.690-88.143 kW/yıl,
  - b. B tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 82.298-87.718 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 916-5.588 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 87.739-88.634 kW/yıl,
  - c. C tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 79.728-87.465 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 890-5.240 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 84.969-88.355 kW/yıl,
  - d. D tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 76.165-87.001 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 982-7.136 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 83.302-87.983 kW/yıl,
  - e. E tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 82.658-87.800 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 888-5.135 kW/yıl ve
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 87.639-88.688 kW/yıl

belirlenmiştir.



Şekil 4.35. Örnek binanın güneybatı yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri



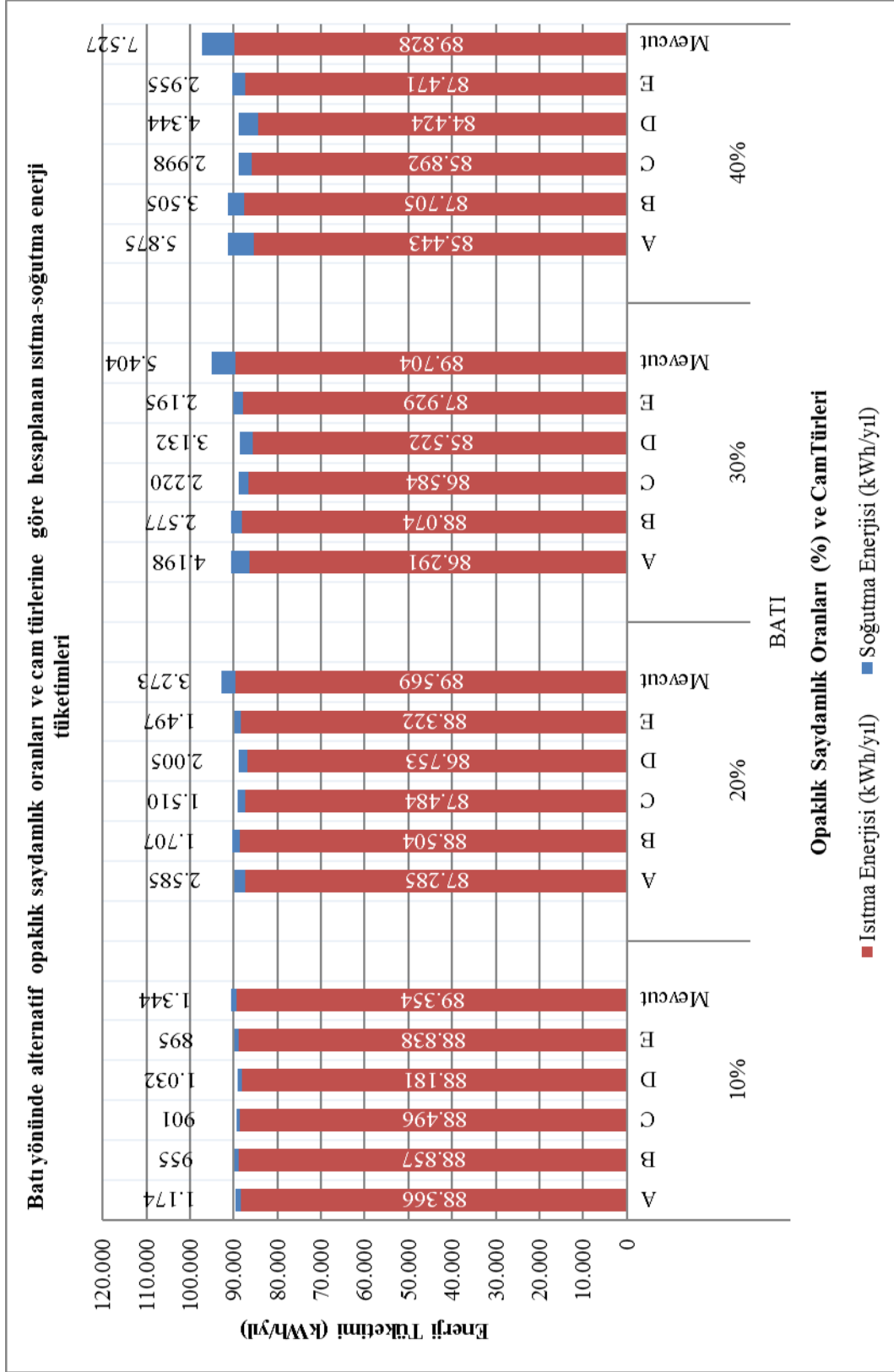
Şekil 4.36. Örnek binanın güneybatı yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri

Şekil 4.37-38'de batı yönünde alternatif opaklık saydamlık oranları ve alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri yer almaktadır.

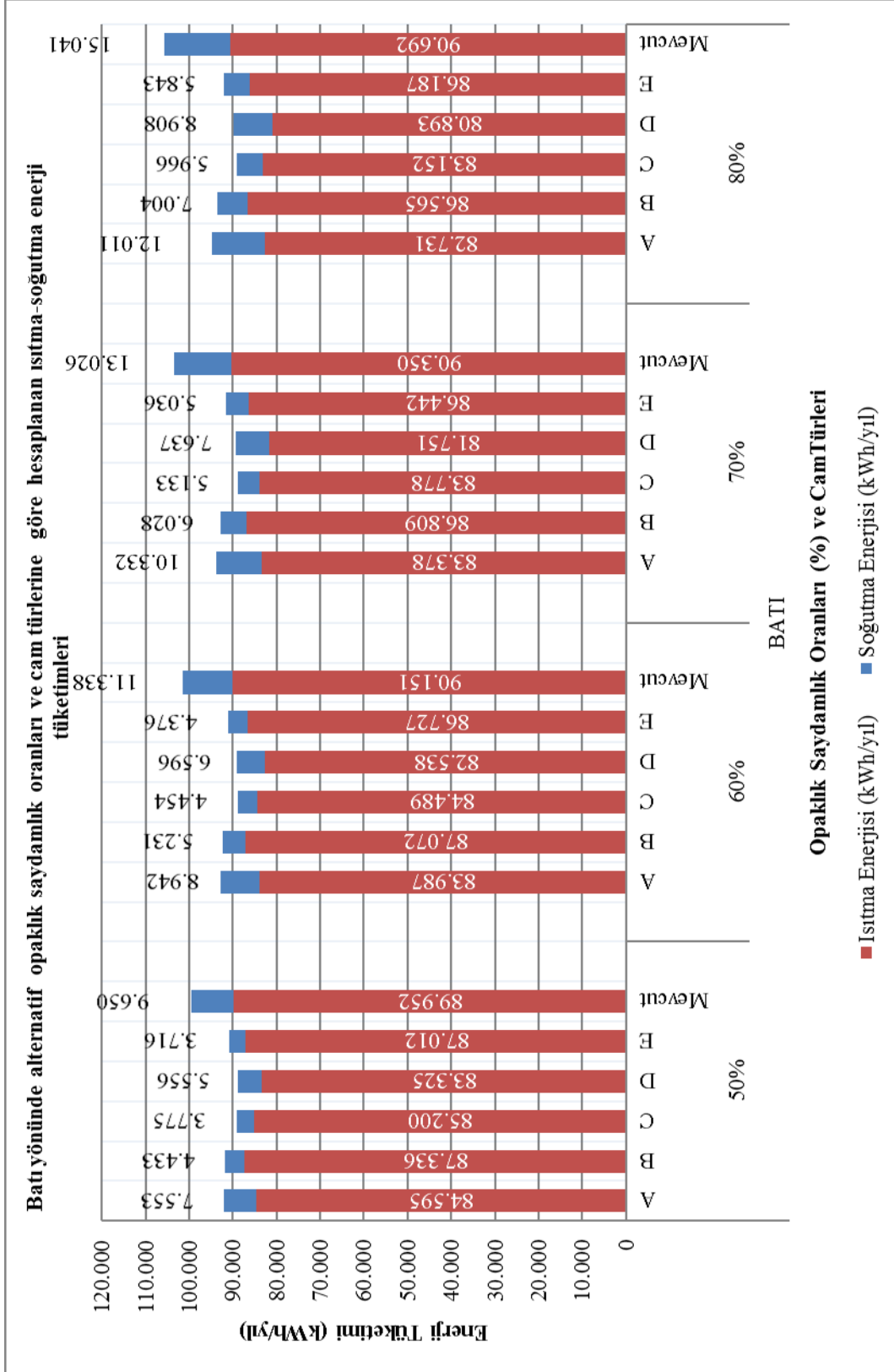
- Batı yönünde opaklık saydamlık oranı %10'dan %80'e arttıkça;
  - a. A tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 82.731-88.366 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 1.174-12.011 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 89.540-94.742 kW/yıl,
  - b. B tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 86.565-88.857 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 955-7.004 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 89.812-93.569 kW/yıl,
  - c. C tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 83.152-88.496 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 901-5.966 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 88.804-89.397 kW/yıl,
  - d. D tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 83.152-88.496 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 1.032-8.908 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 88.654-89.802 kW/yıl,
  - e. E tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 86.187-88.838 kW/yıl
    - ii. Soğutma enerjisi 895-5.843 kW/yıl ve
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 89.733-92.031 kW/yıl

aralıklarında olduğu belirlenmiştir.





Şekil 4.37. Örnek binanın batı yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri

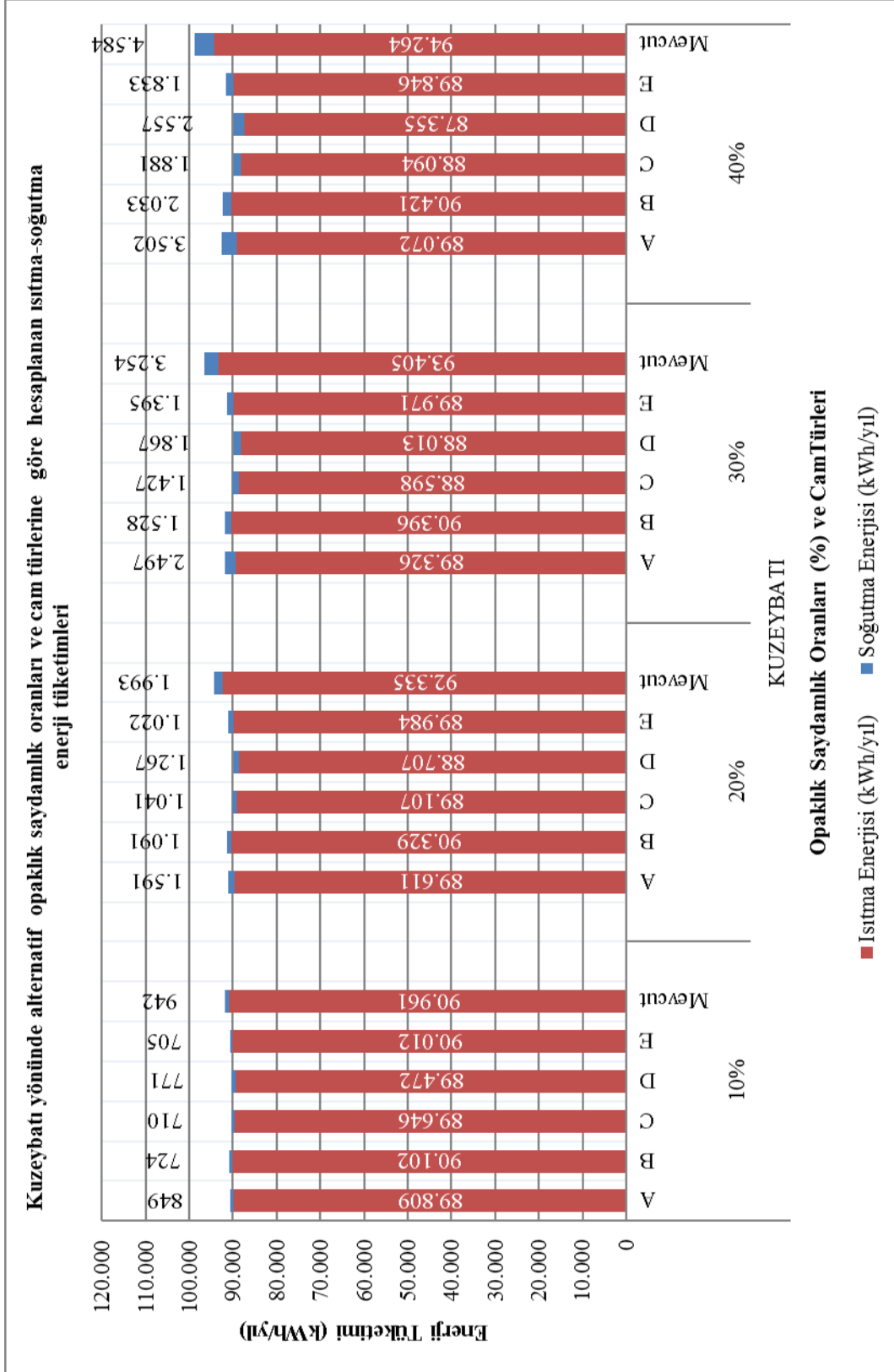


Şekil 4.38. Örnek binanın batı yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri

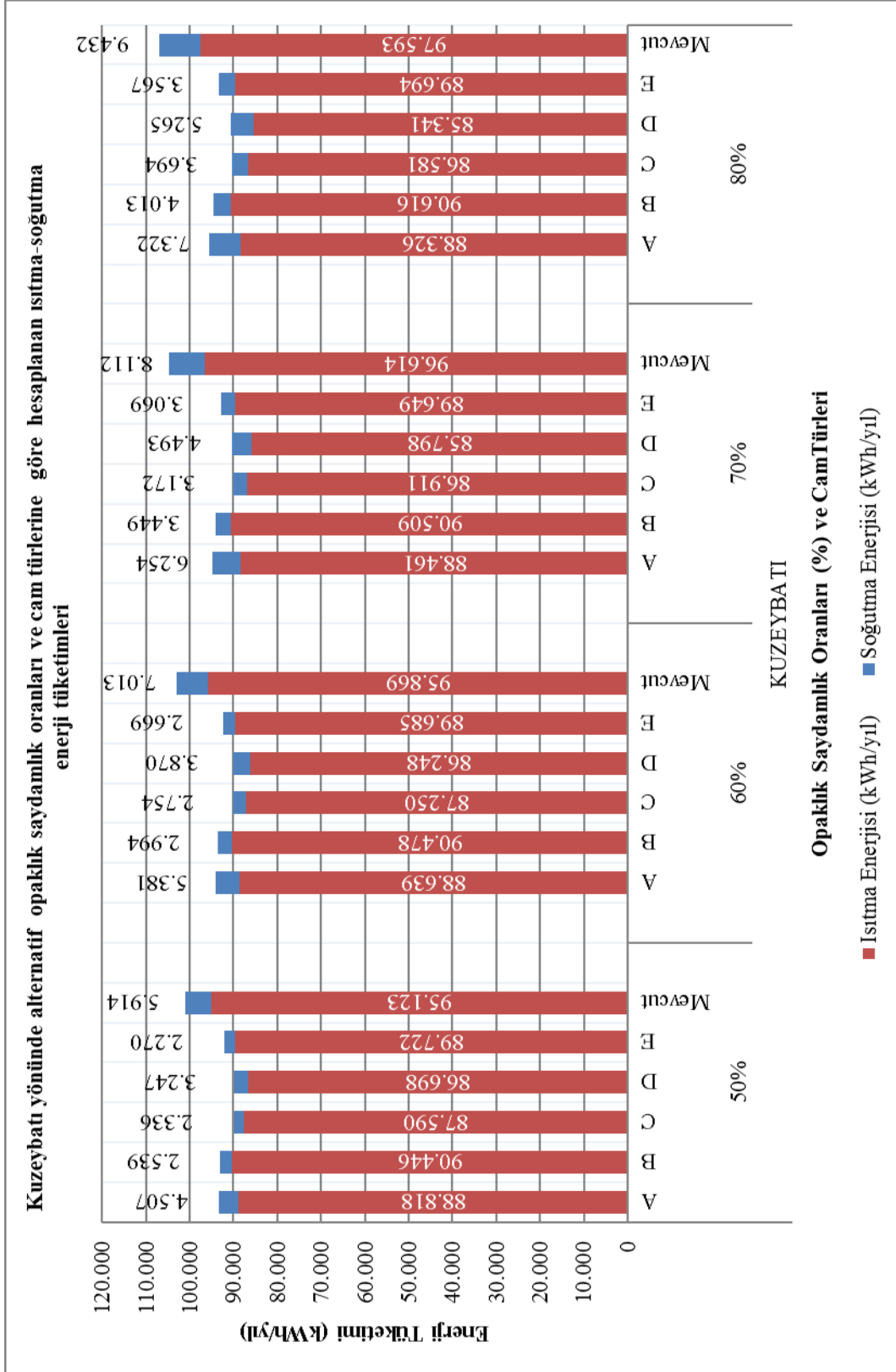
Şekil 4.39-40'da Kuzeybatı yönünde alternatif opaklık saydamlık oranları ve alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri yer almaktadır.

- Kuzeybatı yönünde opaklık saydamlık oranı %10'dan %80'e arttıkça;
  - a. A tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 88.326-89.809 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 849-7.322 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 90.658-95.648 kW/yıl,
  - b. B tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 90.102-90.616 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 724-4.013 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 90.825-94.629 kW/yıl,
  - c. C tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 89.926-90.356 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 710-3.694 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 89.926-90.356 kW/yıl,
  - d. D tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 85.341-89.472 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 771-5.265 kW/yıl,
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 89.880-90.606 kW/yıl,
  - e. E tipi camda;
    - i. Isıtma enerjisi 89.649-90.012 kW/yıl,
    - ii. Soğutma enerjisi 705-3.567 kW/yıl ve
    - iii. Toplam ısıtma-soğutma enerjisi 90.716-93.261 kW/yıl

aralıklarında olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 4.39.** Örnek binanın kuzeybatı yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri



**Şekil 4.40.** Örnek binanın kuzeybatı yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimleri

#### 4.5. İternatif Yönlere ve Opaklık Saydamlık Oranlarına Dayalı Cam Türlerinin Enerji Tasarruf Oranları

4.4. bölümünde hesaplanan enerji tüketimlerinin referans enerji tüketimleriyle karşılaştırıldığında elde edilen enerji tasarruf oranları aşağıda yer almaktadır.

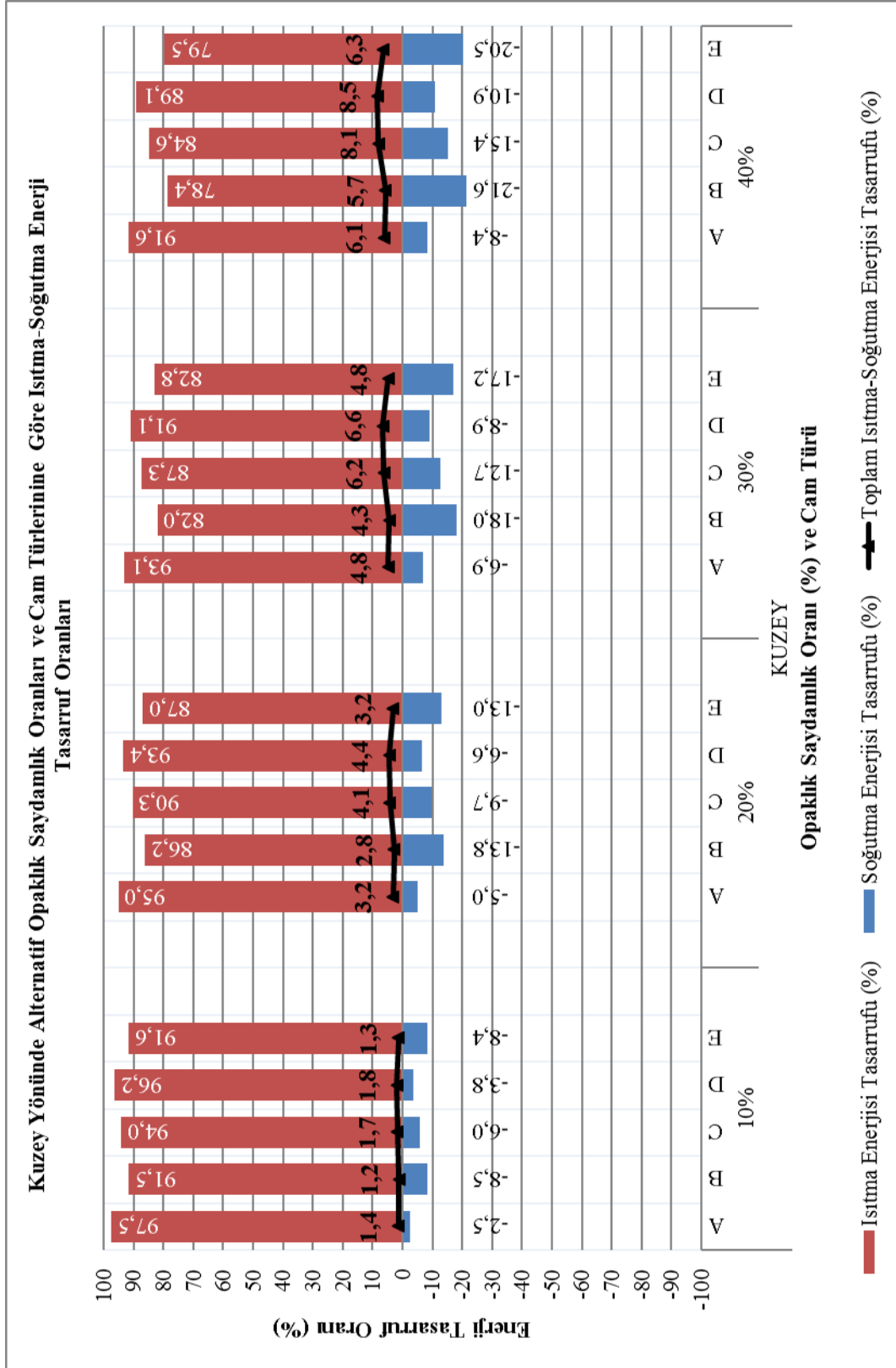
Kuzey yönü için hesaplanan enerji tüketimlerinin referans enerji tüketimleriyle karşılaştırıldığında elde edilen enerji tasarruf oranları ile bu tasarruf oranını oluşturan ısıtma ve soğutma tasarruf oranları Şekil 4.41-42'de görülmektedir. Buna göre kuzey yönünde opaklık saydamlık oranı %10'dan %80'e arttıkça;

- A tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %89.6-%97.5,
  - b. Soğutma enerjisinde %2.5-%10.4,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.4-%10.4,
- B tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %73.4-%91.5,
  - b. Soğutma enerjisinde %8.5-%26.6,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma en enerjisinde %1.2-%10.2,
- C tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %80.4-%94,
  - b. Soğutma enerjisinde %6-%19.6
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.7-%14.2,
- D tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %86.1-%96.2,
  - b. Soğutma enerjisinde %3.8-%13.9,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.8-%14.5,
- E tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %74.3-%91.6,
  - b. Soğutma enerjisinde %8.4-%25.7 ve
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.3-%11.3

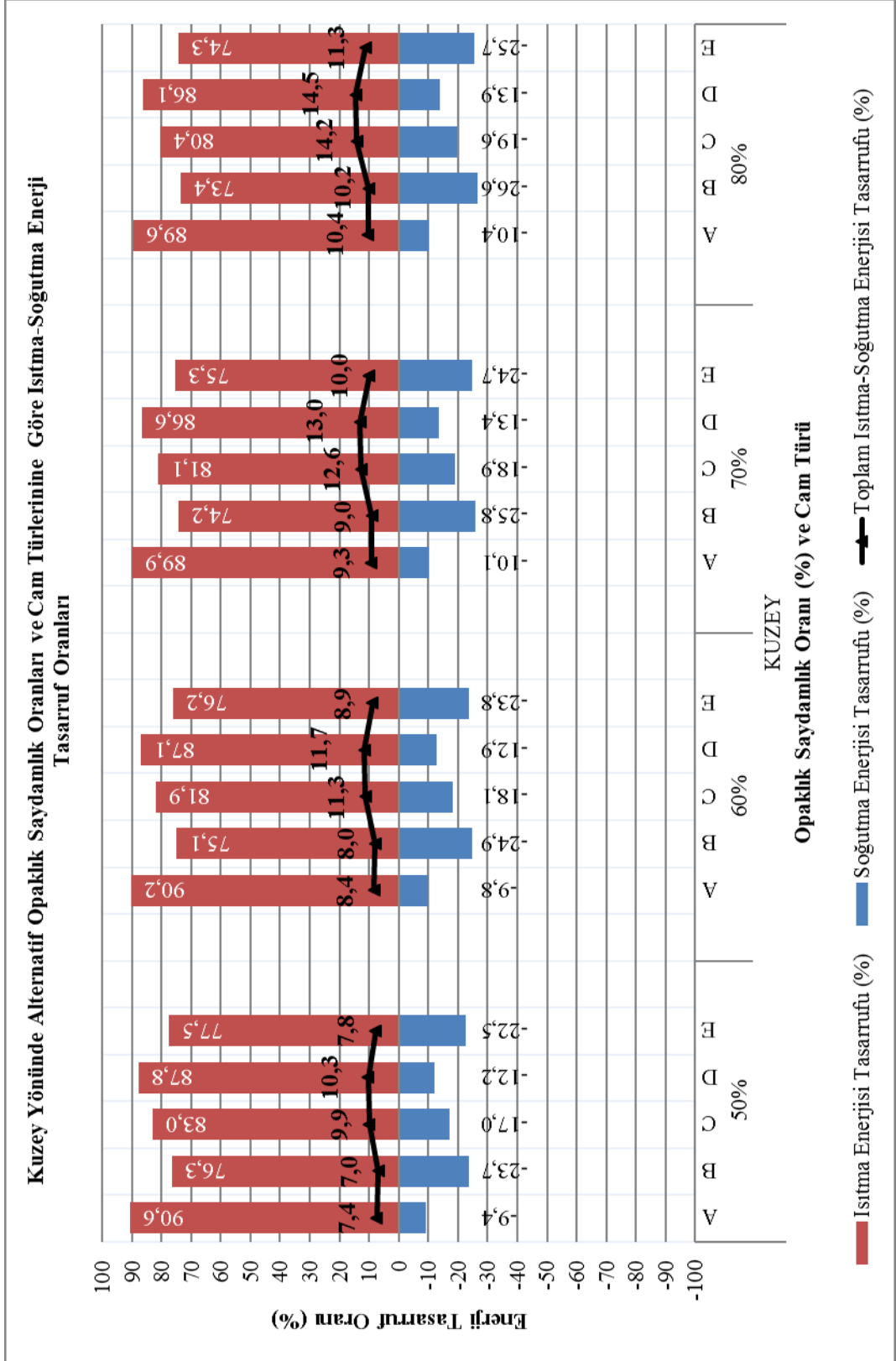
enerji tasarrufu yapıldığı belirlenmiştir. Bu bağlamda kuzey yönünde optimum enerji tüketimi için tüm (%10-%80) opaklık saydamlık oranlarında;

- Isıtma enerjisi tüketiminde D tipi camın,
- Soğutma enerjisi tüketiminde E tipi camın ve
- Toplam ısıtma-soğutma enerjisi tüketiminde D tipi camın

uygun olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.41. Örnek binanın kuzey yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları



Şekil 4.42. Örnek binanın kuzey yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları



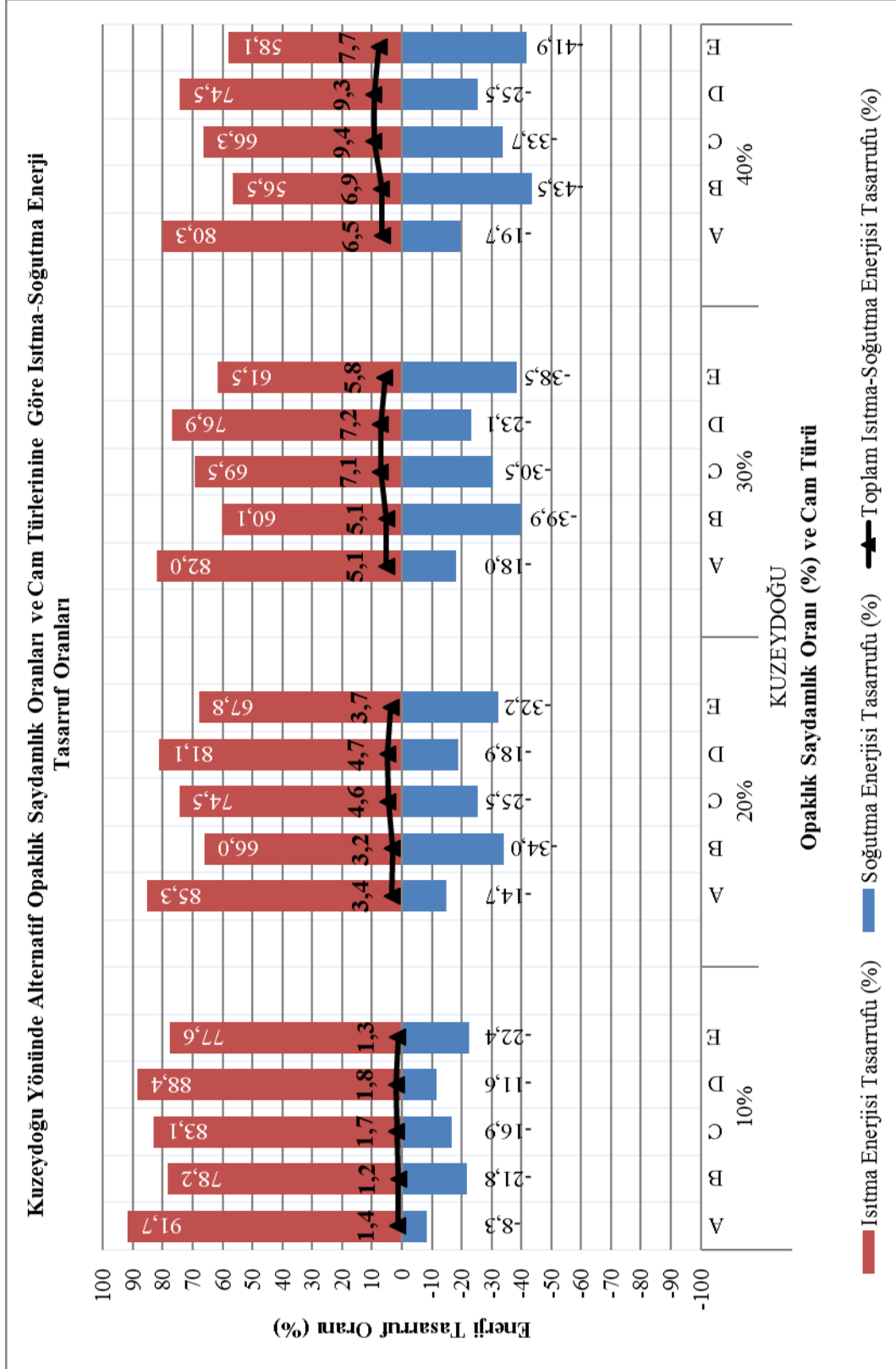
Kuzeydoğu yönü için hesaplanan enerji tüketimlerinin referans enerji tüketimleriyle karşılaştırıldığında elde edilen enerji tasarruf oranları ile bu tasarruf oranını oluşturan ısıtma ve soğutma tasarruf oranları Şekil 4.43-44'de görülmektedir. Buna göre kuzeydoğu yönünde opaklık saydamlık oranı %10'dan %80'e arttıkça;

- A tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %78.8-%91.7,
  - b. Soğutma enerjisinde %8.3-%21.2,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.4-%10.9,
- B tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %52.9-%78.2,
  - b. Soğutma enerjisinde %21.8-%47.1,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma en enerjisinde %1.2-%12.3,
- C tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %62.4-%83.1,
  - b. Soğutma enerjisinde %16.9-%37.6,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.7-%16.4,
- D tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %71.7-%88.4,
  - b. Soğutma enerjisinde %11.6-%28.3,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.8-%15.8,
- E tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %53.8-%77.6,
  - b. Soğutma enerjisinde %22.4-%46.2 ve
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.3-%13.6

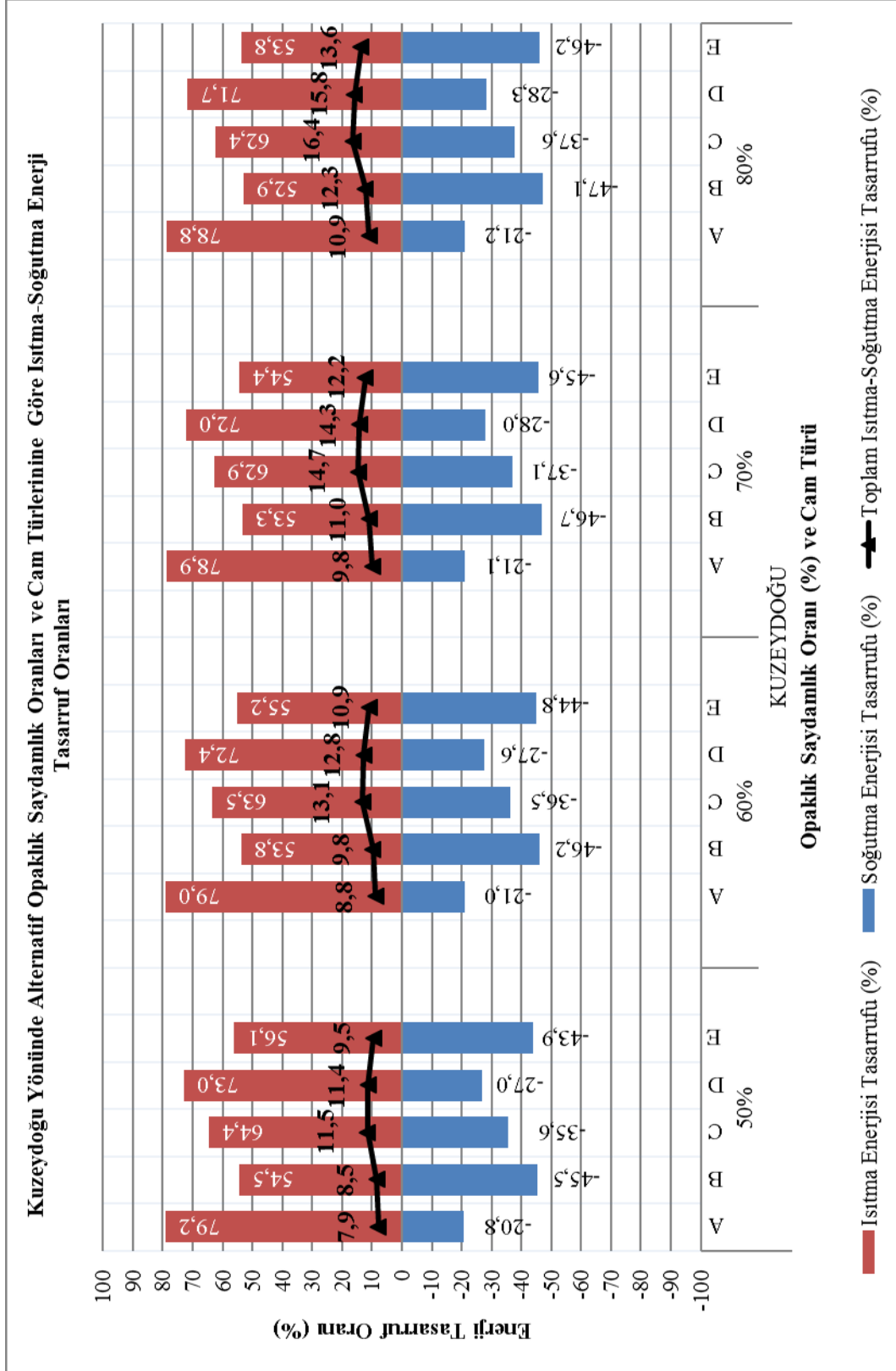
enerji tasarrufu yapıldığı belirlenmiştir. Bu bağlamda kuzeydoğu yönünde optimum enerji tüketimi için;

- Isıtma enerjisi tüketiminde tüm (%10-%80) opaklık saydamlık oranlarında D tipi camın,
- Soğutma enerjisi tüketiminde tüm (%10-%80) opaklık saydamlık oranlarında E tipi camın,
- Toplam ısıtma-soğutma enerjisi tüketiminde
  - %10-%30 opaklık saydamlık oranlarında D tipi camın ve
  - %40-%80 opaklık saydamlık oranlarında C tipi camın

uygun olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.43. Örnek binanın kuzeydoğu yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları



Şekil 4.44. Örnek binanın kuzeydoğu yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları

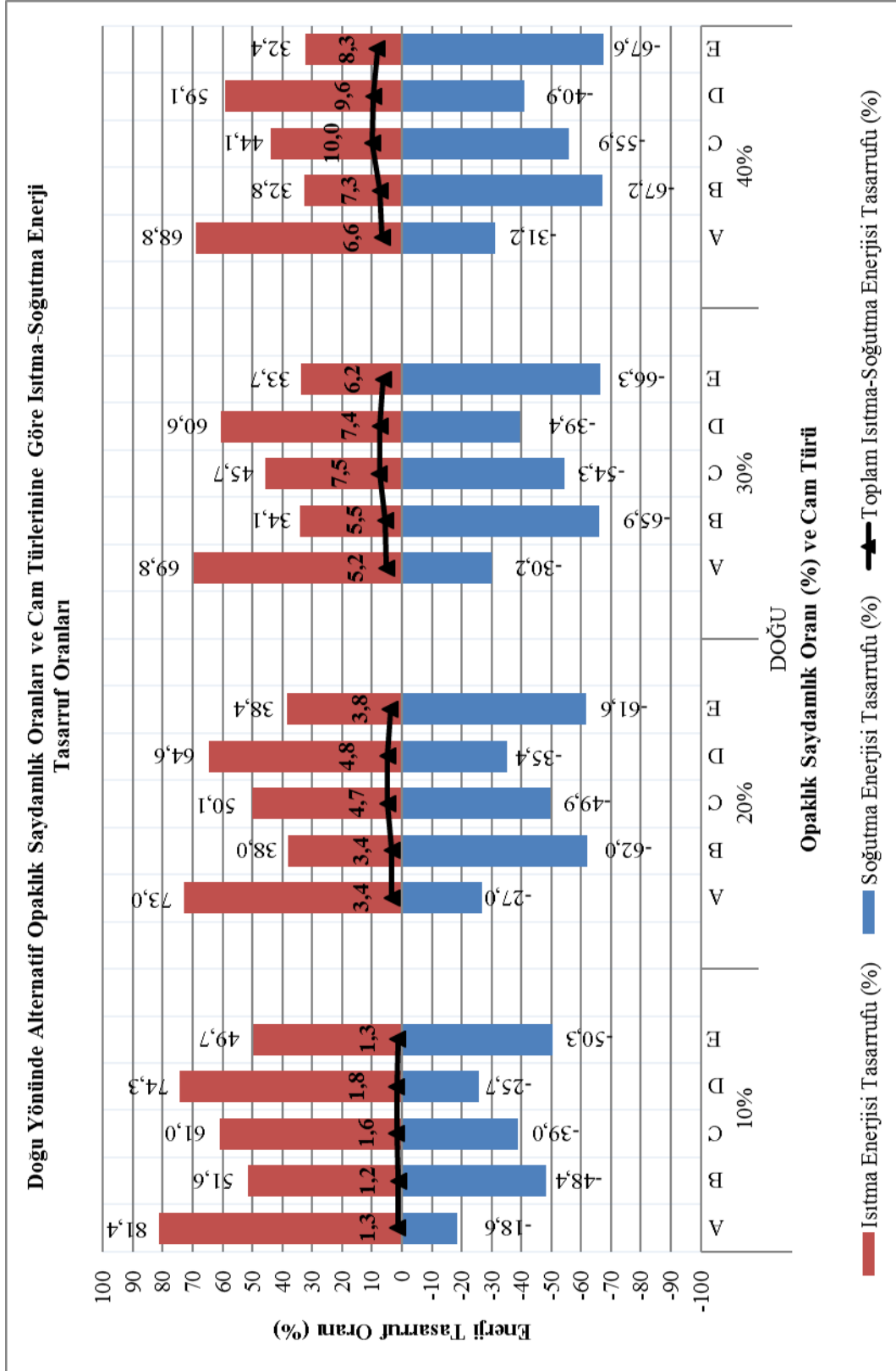
Doğu yönü için hesaplanan enerji tüketimlerinin referans enerji tüketimleriyle karşılaştırıldığında elde edilen enerji tasarruf oranları ile bu tasarruf oranını oluşturan ısıtma ve soğutma tasarruf oranları Şekil 4.45-46'da görülmektedir. Buna göre doğu yönünde opaklık saydamlık oranı %10'dan %80'e arttıkça;

- A tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %68.3-%81.4
  - b. Soğutma enerjisinde %18.6-%31.7,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.3-%10.8,
- B tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %32-%51.6,
  - b. Soğutma enerjisinde %48.4-%68,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma en enerjisinde %1.2-%12.9,
- C tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %42.8-%61
  - b. Soğutma enerjisinde %39-%57.2,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.6-%17.2,
- D tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %58.1-%74.3,
  - b. Soğutma enerjisinde %25.7-%41.9,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.8-%16,
- E tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %31.6-%49.7,
  - b. Soğutma enerjisinde %50.3-%68.4 ve
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.3-%14.6

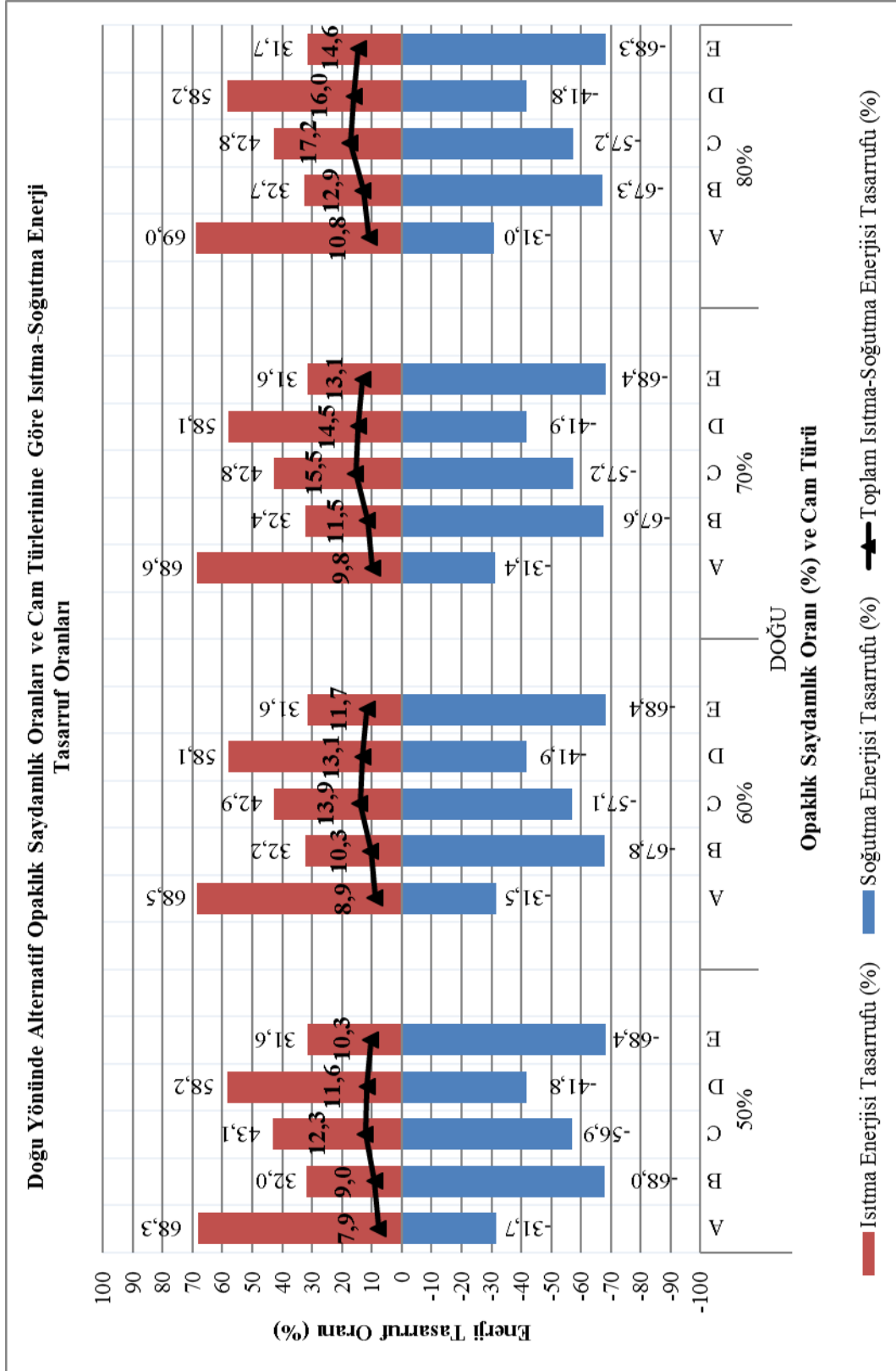
enerji tasarrufu yapıldığı belirlenmiştir. Bu bağlamda doğu yönünde optimum enerji tüketimi için;

- Isıtma enerjisi tüketiminde tüm (%10-%80) opaklık saydamlık oranlarında D tipi camın,
- Soğutma enerjisi tüketiminde tüm (%10-%80) opaklık saydamlık oranlarında E tipi camın,
- Toplam ısıtma-soğutma enerjisi tüketiminde
  - %10-%20 opaklık saydamlık oranlarında D tipi camın ve
  - %30-%80 opaklık saydamlık oranlarında C tipi camın

uygun olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.45. Örnek binanın doğu yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları



Şekil 4.46. Örnek binanın doğu yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları

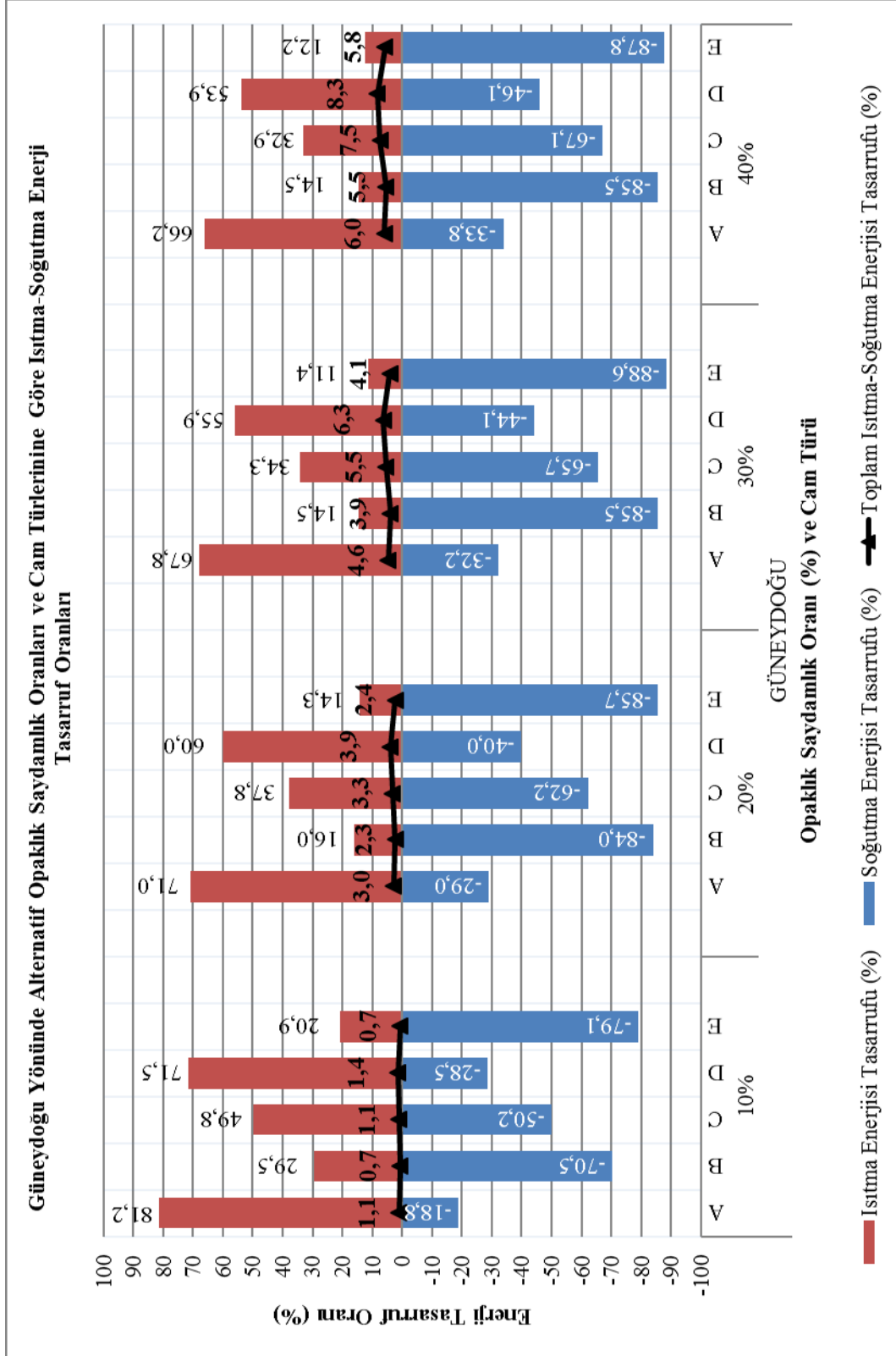
Güneydoğu yönü için hesaplanan enerji tüketimlerinin referans enerji tüketimleriyle karşılaştırıldığında elde edilen enerji tasarruf oranları ile bu tasarruf oranını oluşturan ısıtma ve soğutma tasarruf oranları Şekil 4.47-48'de görülmektedir. Buna göre güneydoğu yönünde opaklık saydamlık oranı %10'dan %80'e arttıkça;

- A tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %65.2-%81.2,
  - b. Soğutma enerjisinde %18.8-%34.8,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.1-%10.4,
- B tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %14.5-%29.5,
  - b. Soğutma enerjisinde %70.5-%85.5,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma en enerjisinde %0.7-%10.6,
- C tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %32.2-%49.8,
  - b. Soğutma enerjisinde %50.2-%67.8,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.1-%13.9,
- D tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %52.5-%71.5,
  - b. Soğutma enerjisinde %28.5-%47.5,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.4-%14.9,
- E tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %11.4-%20.9,
  - b. Soğutma enerjisinde %79.1-%88.6 ve
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %0.7-%11.1

enerji tasarrufu yapıldığı belirlenmiştir. Bu bağlamda güneydoğu yönünde optimum enerji tüketimi için tüm (%10-%80) opaklık saydamlık oranlarında;

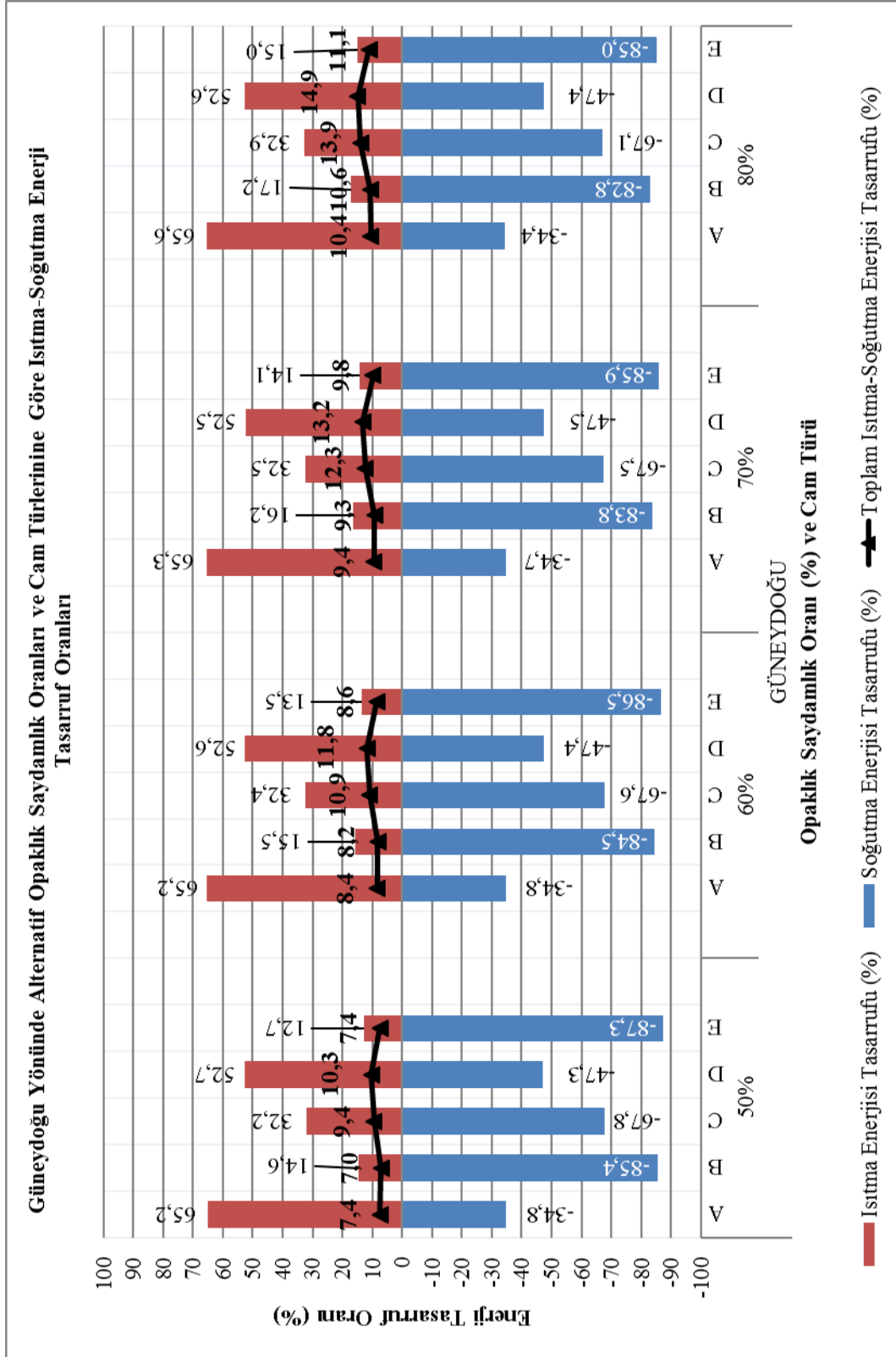
- Isıtma enerjisi tüketiminde D tipi camın,
- Soğutma enerjisi tüketiminde E tipi camın ve
- Toplam ısıtma-soğutma enerjisi tüketiminde D tipi camın

uygun olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.47. Örnek binanın güneydoğu yönünde %10-%40 opaklık saydıamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları





Şekil 4.48. Örnek binanın güneydoğu yönünde %50-%80 opaklık saydıamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları

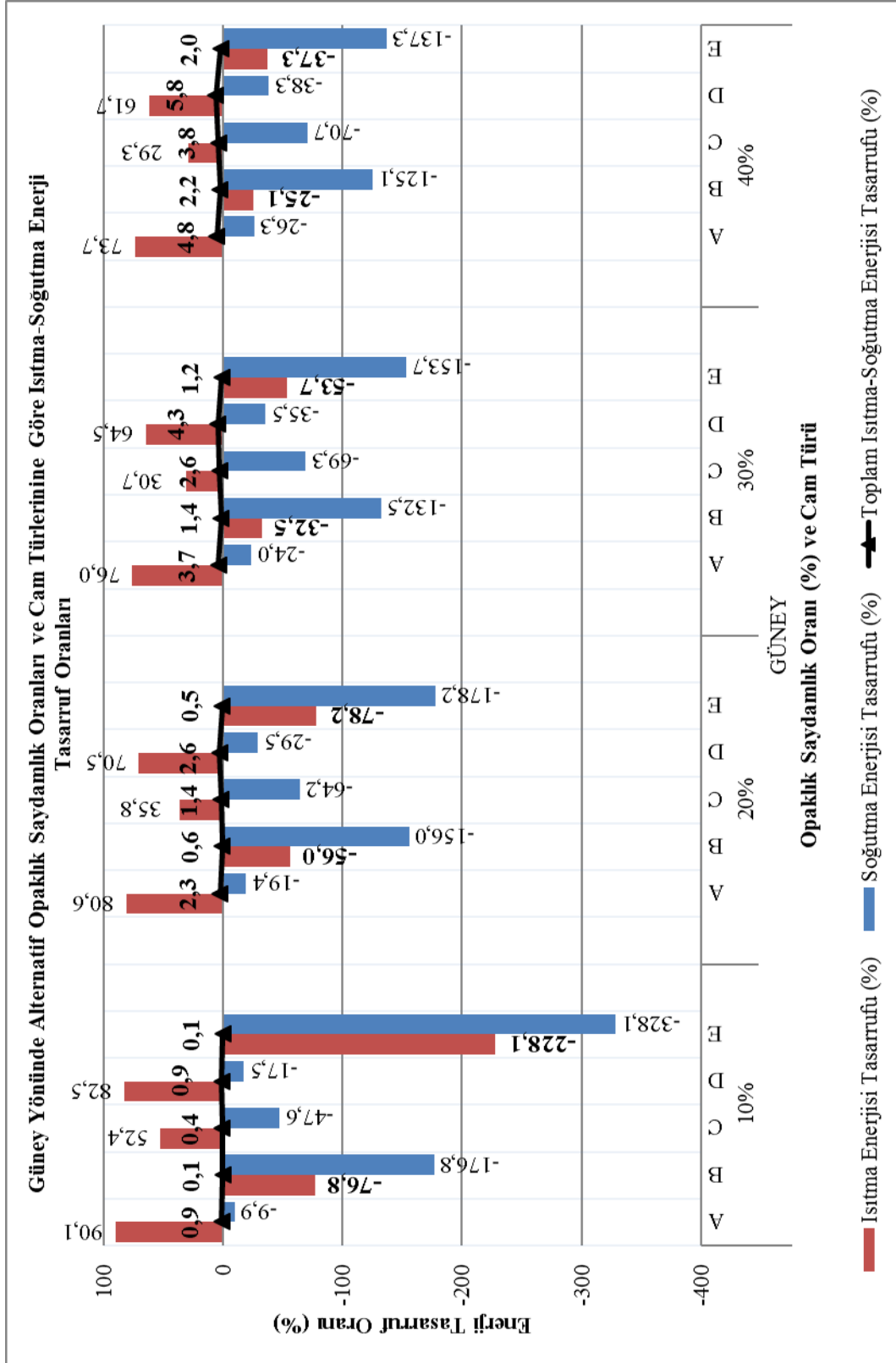
Güney yönü için hesaplanan enerji tüketimlerinin referans enerji tüketimleriyle karşılaştırıldığında elde edilen enerji tasarruf oranları ile bu tasarruf oranını oluşturan ısıtma ve soğutma tasarruf oranları Şekil 4.49-50'de görülmektedir. Buna göre güney yönünde opaklık saydamlık oranı %10'dan %80'e arttıkça;

- A tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %71.8-%90.1,
  - b. Soğutma enerjisinde %9.9-%28.2,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %0.9-%9,
- B tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %9.3-%76.8 **enerji artışı olduğu**,
  - b. Soğutma enerjisinde %109.3-%176.8,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %0.1-%5.1,
- C tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %28.5-%52.4,
  - b. Soğutma enerjisinde %47.6-%71.5,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %0.4-%7.9,
- D tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %59.3-%82.5,
  - b. Soğutma enerjisinde %17.5-%40.7,
  - i. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %0.9-%11.1,
- E tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %18.3-%228.1 **enerji artışı olduğu**,
  - b. Soğutma enerjisinde %118.3-%328.1,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %0.1-%4.8

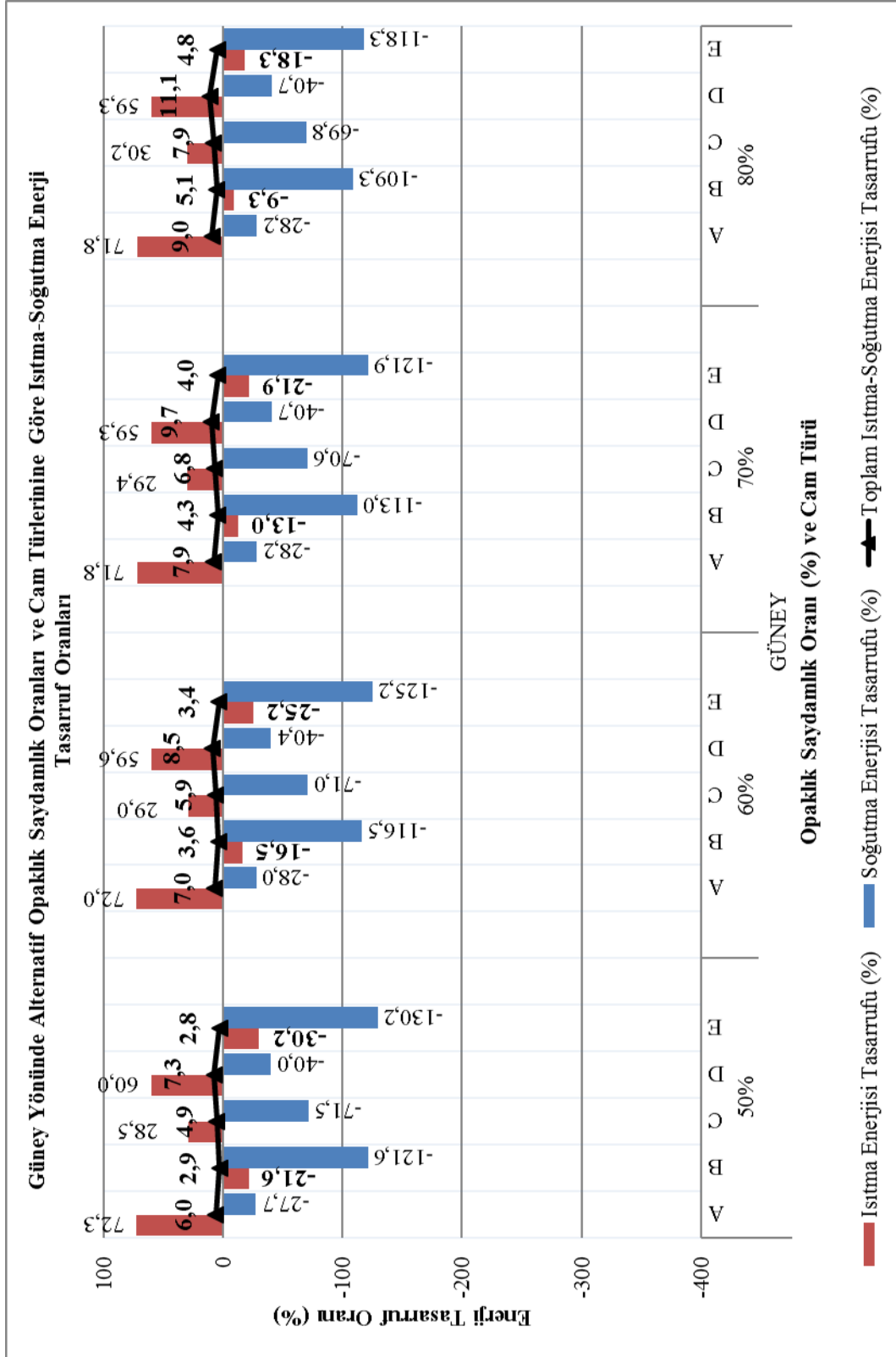
enerji tasarrufu yapıldığı belirlenmiştir. Bu bağlamda batı yönünde optimum enerji tüketimi için;

- Isıtma enerjisi tüketiminde
  - %10-%30 opaklık saydamlık oranlarında A tipi camın,
  - %50-%80 opaklık saydamlık oranlarında D tipi camın
- Soğutma enerjisi tüketiminde tüm (%10-%80) opaklık saydamlık oranlarında E tipi camın ve
- Toplam ısıtma-soğutma enerjisi tüketiminde tüm (%10-%80) opaklık saydamlık oranlarında D tipi camın

uygun olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.49. Örnek binanın güney yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları



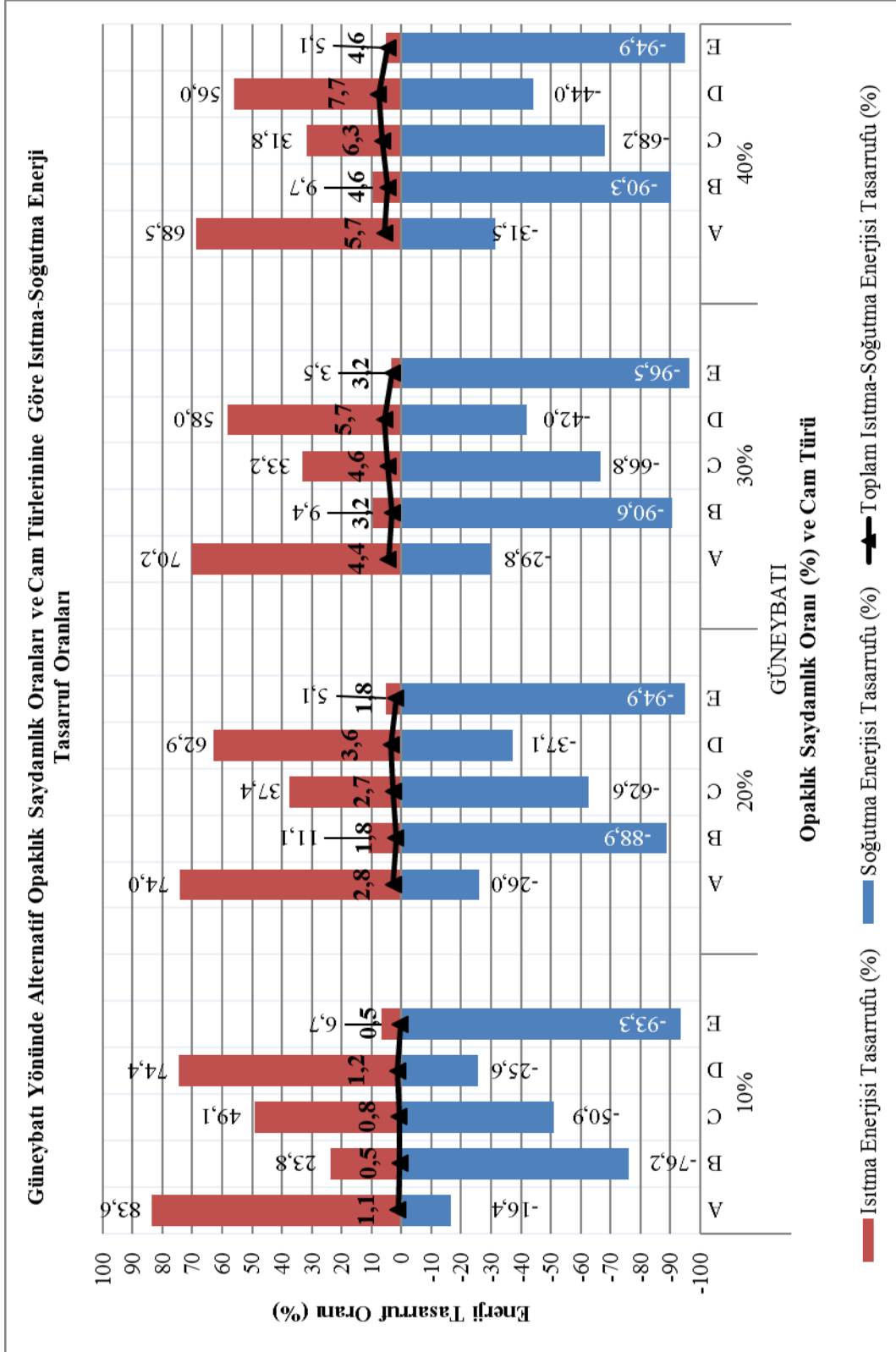
Şekil 4.50. Örnek binanın güney yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları

Güneybatı yönü için hesaplanan enerji tüketimlerinin referans enerji tüketimleriyle karşılaştırıldığında elde edilen enerji tasarruf oranları ile bu tasarruf oranını oluşturan ısıtma ve soğutma tasarruf oranları Şekil 4.51-52'de görülmektedir. Buna göre güneybatı yönünde opaklık saydamlık oranı %10'dan %80'e arttıkça;

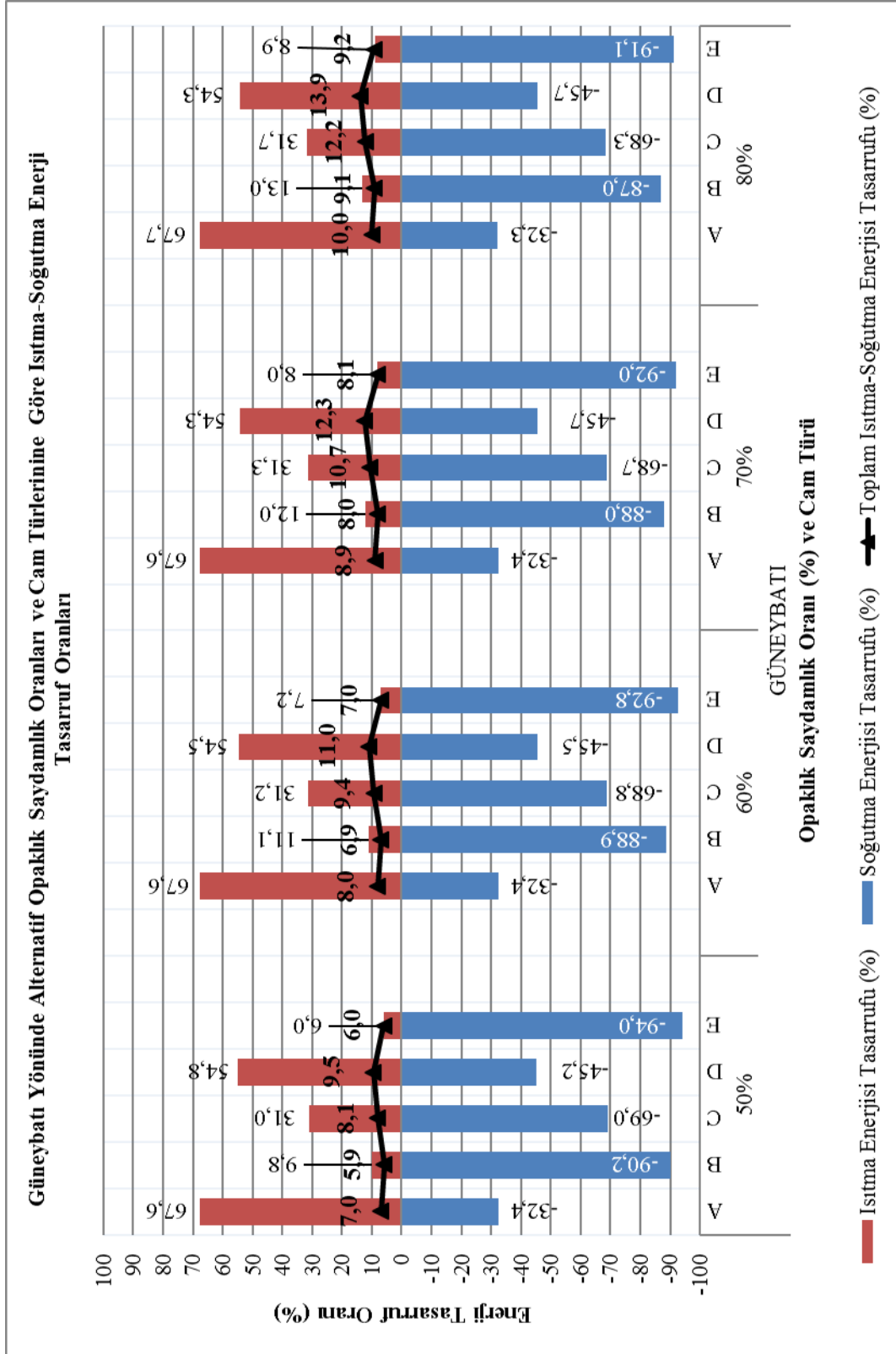
- A tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %67.6-%83.6,
  - b. Soğutma enerjisinde %16.4-%32.4
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.1-%10,
- B tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %9.4-%23.8,
  - b. Soğutma enerjisinde %76.2-%90.6,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma en enerjisinde %0.5-%9.1,
- C tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %31-%49.1,
  - b. Soğutma enerjisinde %50.9-%69,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %0.8-%12.2,
- D tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %54.3-%74.4,
  - b. Soğutma enerjisinde %25.6-%45.7,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.2-%13.9,
- E tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %3.5-%8.9,
  - b. Soğutma enerjisinde %91.1-%96.5 ve
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %0.5-%9.2

enerji tasarrufu yapıldığı belirlenmiştir. Bu bağlamda güneybatı yönünde optimum enerji tüketimi için tüm (%10-%80) opaklık saydamlık oranlarında;

- Isıtma enerjisi tüketiminde D tipi camın,
- Soğutma enerjisi tüketiminde E tipi camın ve
- Toplam ısıtma-soğutma enerjisi tüketiminde D tipi camın uygun olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.51. Örnek binanın güneybatı yönünde %10-%40 opaklık saydımlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları



Şekil 4.52. Örnek binanın güneybatı yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları

Batı yönü için hesaplanan enerji tüketimlerinin referans enerji tüketimleriyle karşılaştırıldığında elde edilen enerji tasarruf oranları ile bu tasarruf oranını oluşturan ısıtma ve soğutma tasarruf oranları Şekil 4.53-54'de görülmektedir. Buna göre batı yönünde opaklık saydamlık oranı %10'dan %80'e arttıkça;

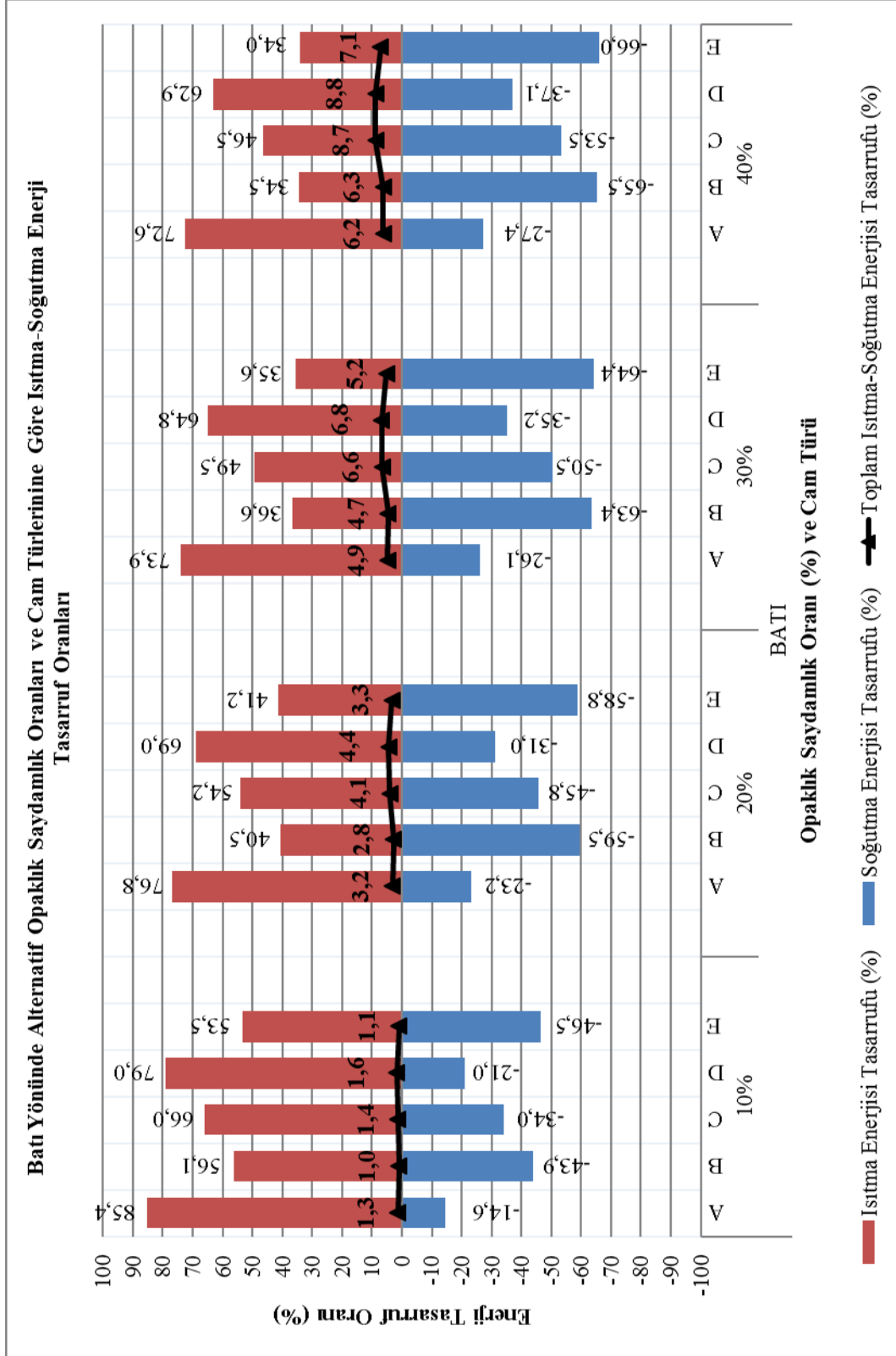
- A tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %71.9-%85.4,
  - b. Soğutma enerjisinde %14.6-%28.1,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.3-%10.4,
- B tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %33.4-%56.1,
  - b. Soğutma enerjisinde %43.9-%66.6,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma en enerjisinde %1-%13,
- C tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %44.7-%66,
  - b. Soğutma enerjisinde %34-%55.3,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.4-%15.7,
- D tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %61.5-%79,
  - b. Soğutma enerjisinde %21-%38.5,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.6-%15.1,
- E tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %32.8-%53.5
  - b. Soğutma enerjisinde %46.5-%67.2 ve
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.1-%13

enerji tasarrufu yapıldığı belirlenmiştir. Bu bağlamda batı yönünde optimum enerji tüketimi için;

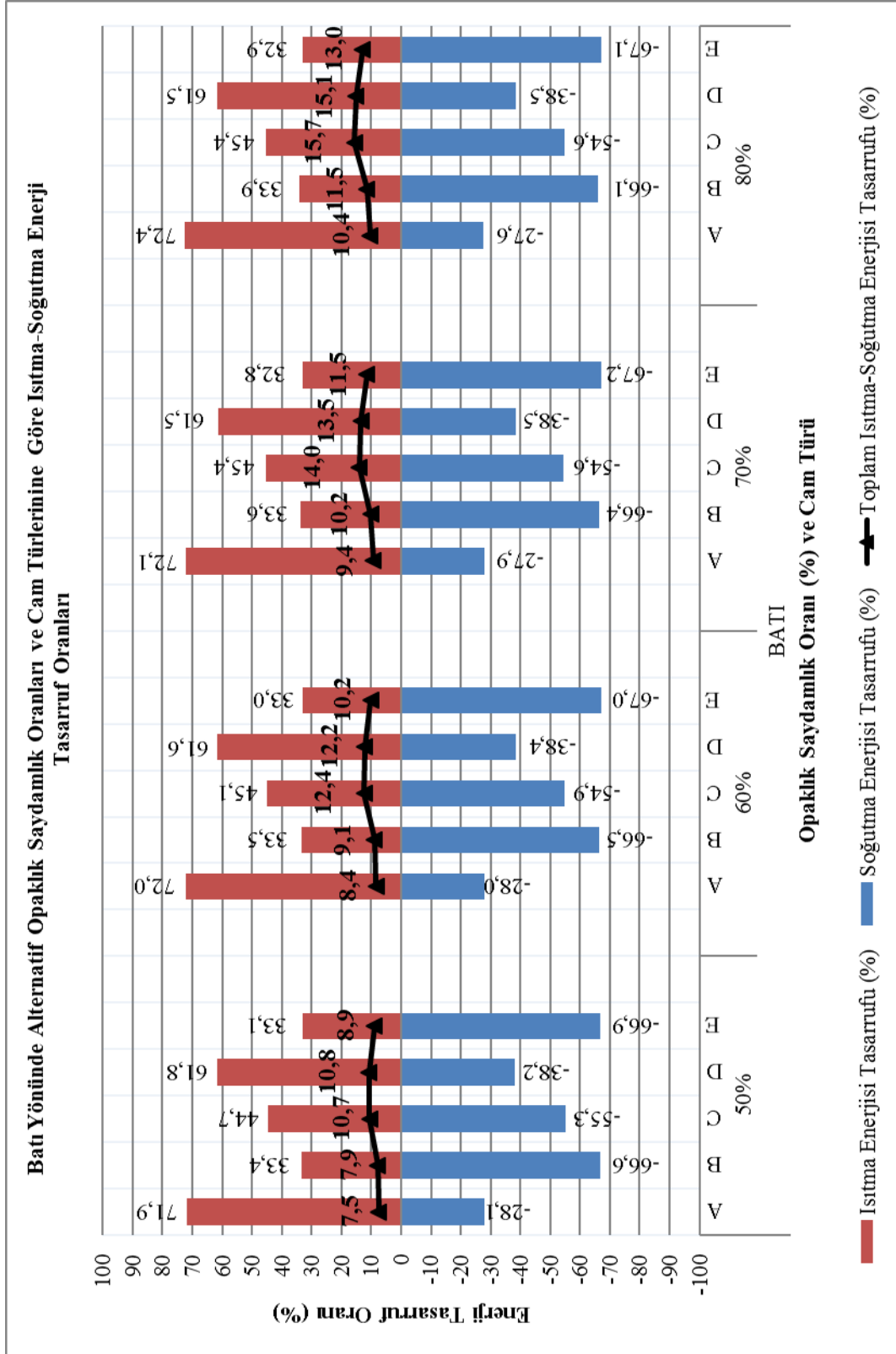
- Isıtma enerjisi tüketiminde tüm (%10-%80) opaklık saydamlık oranlarında D tipi camın,
- Soğutma enerjisi tüketiminde tüm (%10-%80) opaklık saydamlık oranlarında E tipi camın,
- Toplam ısıtma-soğutma enerjisi tüketiminde
  - %10-%50 opaklık saydamlık oranlarında D tipi camın ve
  - %60-%80 opaklık saydamlık oranlarında C tipi camın

uygun olduğu belirlenmiştir.





Şekil 4.53. Örnek binanın batı yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları



Şekil 4.54. Örnek binanın batı yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları

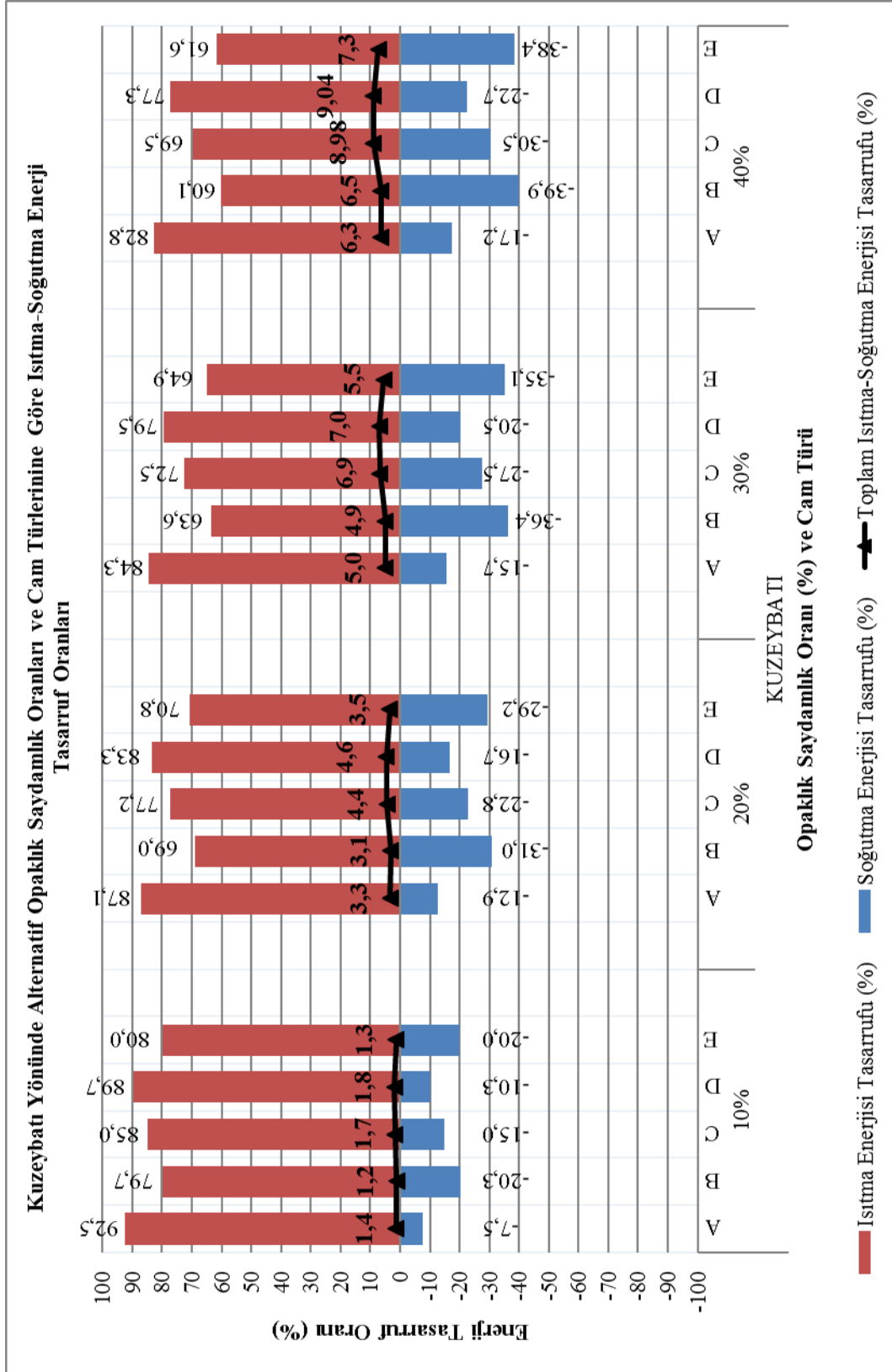
Kuzeybatı yönü için hesaplanan enerji tüketimlerinin referans enerji tüketimleriyle karşılaştırıldığında elde edilen enerji tasarruf oranları ile bu tasarruf oranını oluşturan ısıtma ve soğutma tasarruf oranları Şekil 4.55-56'da görülmektedir. Buna göre kuzeybatı yönünde opaklık saydamlık oranı %10'dan %80'e arttıkça;

- A tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %81.4-%92.5,
  - b. Soğutma enerjisinde %7.5-%18.6,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.4-%10.6,
- B tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %56.3-%79.7
  - b. Soğutma enerjisinde %20.3-%43.7,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma en enerjisinde %1.2-%11.6,
- C tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %65.7-%85,
  - b. Soğutma enerjisinde %15-%34.3,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.7-%15.7,
- D tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %74.6-%89.7,
  - b. Soğutma enerjisinde %10.3-%25.4,
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.8-%15.3,
- E tipi camda;
  - a. Isıtma enerjisinde %57.4-%80,
  - b. Soğutma enerjisinde %20-%42.6 ve
  - c. Toplam ısıtma-soğutma enerjisinde %1.3-%12.9

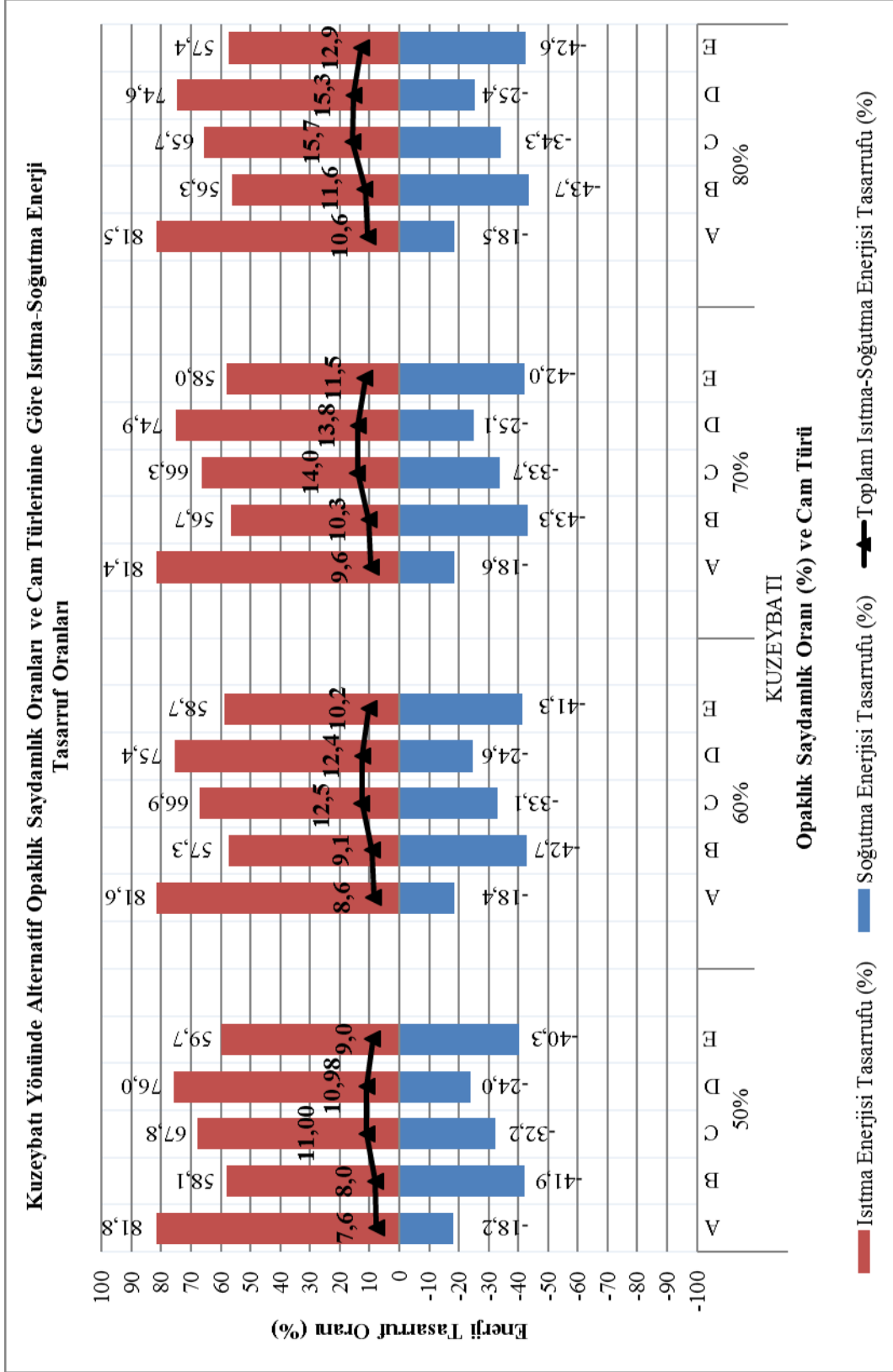
enerji tasarrufu yapıldığı belirlenmiştir. Bu bağlamda kuzeybatı yönünde optimum enerji tüketimi için;

- Isıtma enerjisi tüketiminde tüm (%10-%80) opaklık saydamlık oranlarında D tipi camın,
- Soğutma enerjisi tüketiminde tüm (%10-%80) opaklık saydamlık oranlarında E tipi camın ve
- Toplam ısıtma-soğutma enerjisi tüketiminde
  - %10-%40 opaklık saydamlık oranlarında D tipi camın
  - %50-%80 opaklık saydamlık oranlarında C tipi camın

uygun olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.55. Örnek binanın kuzeybatı yönünde %10-%40 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları



**Şekil 4.56.** Örnek binanın kuzeybatı yönünde %50-%80 opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruf oranları

Isıtma ve soğutma enerji tasarrufları analiz edildiğinde;

- Güney yönünde, dış camında “güneş kontrolü” ile “aynı anda ısı ve güneş kontrolü” sağlayan low-e kaplamalı (B ve E türü) camların;
  - Tüm opaklık saydamlık oranlarında **ısıtma enerjisinde artış olduğu** (sırasıyla %9.3-%76.8 ve %18.3-%228.1),
  - Isıtma enerjisi tasarrufu yapamamasına rağmen toplam ısıtma-soğutma enerjisi tüketim oranlarının azaldığı (sırasıyla %0.1-%5.1 ile %0.1-%4.8),
- “Dış camında ısı kontrolü sağlayan çift cam”, “dış camında güneş kontrolü ve iç camında ısı kontrolü sağlayan üçlü cam” ve “dış ve iç camın her ikisinde de ısı kontrolü sağlayan üçlü cam” (A, C ve D cam türleri) alternatiflerinin;
  - %0.9-%10.9, %0.4-%17.2, %0.9-%16.1 oranlarıyla toplam ısıtma-soğutma enerjisi tasarrufu yaptığı,
  - Toplam enerji tasarrufunda;
    - Isıtma enerjisi tasarruf oranlarının; %65.2-%97.5, %28.5-%94, %96.2-%52.5 aralıklarında olduğu,
    - Soğutma enerjisi tasarruf oranlarının %2.5-%34.8, %6-%71.5, %3.8-%47.5 aralıklarında olduğu

belirlenmiştir.

- Isıtma enerjisi tasarrufunda tüm alternatif yönlerde ve opaklık saydamlık oranlarında %65.3-%97.5 aralığındaki tasarruf oranlarıyla A türü cam,
- Soğutma enerjisi tasarrufunda;
  - Kuzey ve kuzeybatı yönlerinde tüm alternatif opaklık saydamlık oranlarında, kuzeydoğu yönünde %20-%80 opaklık saydamlık oranları aralığında, doğuda ve batıda yönlerinde %20 opaklık saydamlık oranında, %8.5-%62 aralığındaki tasarruf oranlarıyla B türü cam,
  - Diğer tüm alternatif yönlerde ve opaklık saydamlık oranlarında %22.4-%328.11 aralığındaki tasarruf oranlarıyla E türü cam,
- Toplam ısıtma-soğutma enerji tasarrufunda;
  - Kuzeydoğu yönünde;
    - %10-%30 opaklık saydamlık oranlarında; %1.8-%7.2 tasarruf oranlarıyla D türü cam,
    - %40-%80 opaklık saydamlık oranlarında; %9.4-%16.4 tasarruf oranlarıyla C türü cam,

- Doğu yönünde;
  - %10-%20 opaklık saydamlık oranlarında; %1.8-%4.8 tasarruf oranlarıyla D türü cam,
  - %30-%80 opaklık saydamlık oranlarında; %7.5-%17.2 tasarruf oranlarıyla C türü cam,
- Batı yönünde;
  - %10-%50 opaklık saydamlık oranlarında; %1.6-%10.8 tasarruf oranlarıyla D türü cam,
  - %60-%80 opaklık saydamlık oranlarında; %12.4-%15.7 tasarruf oranlarıyla C türü cam,
- Kuzeybatı yönünde;
  - %10-%40 opaklık saydamlık oranlarında; %1.8-%9.04 tasarruf oranlarıyla D türü cam,
  - %50-%80 opaklık saydamlık oranlarında; %11-%15.7 tasarruf oranlarıyla C türü cam,
- Kuzey, güney, güneydoğu ve güneybatı yönlerinde tüm (%10-%80) opaklık saydamlık oranlarında %0.9-%11 tasarruf oranlarıyla D türü cam kullanılmasının uygun olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.41-56).

#### **4.6. Alternatif Yönlere, Opaklık Saydamlık Oranlara ve Cam Türlerine Göre Geri Ödeme Sürelerinin Belirlenmesi**

Geri ödeme süresi, yapılan bir yatırımın nakit getirilerinin yatırım tutarını karşılama süresidir. Geri ödeme süresini bulabilmek için paranın zaman değerini dikkate alan dinamik bir model olan “net bugünkü değer” kullanılır [36].

Net bugünkü değer hesaplanırken;

$$NBD = \frac{R_1}{(1+f)^1} + \frac{R_2}{(1+f)^2} + \dots + \frac{R_n}{(1+f)^n} - YM \quad (4-1)$$

formülü kullanılır [36, 113]. Burada;

R: Toplam Yıllık Tasarruf (TL) [Isıtma ve soğutma enerjisi tasarrufu],

f: Faiz Oranı (%),

YM: Yatırım Maliyetidir (TL) [36].

Buradaki ısıtma ve soğutma enerjisi tasarrufu referans enerji tüketimi hesaplaması ve alternatif cam türleri tanımlandıktan sonraki enerji tüketim hesaplarının arasındaki farktır.

Enerji tasarrufu = Referans enerji tüketim hesabı – Alternatif cam tanımlandığında enerji tüketim hesabı (4-2)

Yapılan bu çalışma yeni inşa edilecek binalarda kullanılacağı için sadece cam türünün fiyat farkı yatırım maliyetini belirleyecek, doğrama ve duvar maliyetleri yatırım maliyetini etkilemeyecektir. Bu bağlamda;

Yatırım Maliyeti = Alternatif Cam Maliyeti - Mevcut Cam Maliyeti (4-3)

olarak hesaplanmıştır.

Cam üreticisi olan firmanın 2015 yılı perakende satış fiyatları ise (KDV hariç);

- A tipi camda 56 TL/m<sup>2</sup>,
- B tipi cam 61 TL/m<sup>2</sup>,
- C tipi cam 90 TL/m<sup>2</sup>,
- D tipi cam 85 TL/m<sup>2</sup>,
- E tipi cam 78 TL/m<sup>2</sup> ve
- Mevcut (kaplamasız) cam 49 TL/m<sup>2</sup>

olarak kabul edilmiştir.

Isıtma ve soğutma enerjisi maliyetleri ise ESGAZ (Eskişehir Doğal Gaz Dağıtım Tic. ve Tah. A.Ş.) ve OEDAŞ (Osmangazi Elektrik Dağıtım A.Ş., Eskişehir) kurumlarının mevcut faturalandırma değerlerine göre;

- Isıtma için **doğalgaz enerjisi maliyeti** (1 m<sup>3</sup> için) 0.100515 TL/kWh (Enerji miktarı 10.64 kWh/m<sup>3</sup> ve Birim maliyetinin 0.906339 TL/ m<sup>3</sup> +% 18 KDV)
- Soğutma için **elektrik enerjisi maliyeti** 0.4092 TL/kWh (birim maliyet 0.3092 kr/kWh ve Fon, dağıtım bedeli, personel giderleri +KDV 0.1 kr/kWh)

olduğu kabulleriyle hesaba dahil edilmiştir [114, 115].

Isıtma-soğutma enerjisi fiyat artışlarında (%8) ve banka faizlerinde (%15) TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) tarafından belirlenen veriler kullanılmıştır. Söz konusu formüller ve veriler doğrultusunda alternatif yön ve opaklık saydamlık oranlarına göre alternatif cam türlerinin geri ödeme süreleri aşağıda yer almaktadır (ısıtma ve soğutma enerjilerinin; tasarruf miktarları ve maliyetleri de EK-5’de yer almaktadır).

Kuzey yönünde toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruflarına göre A, B, C, D ve E alternatif cam türlerinin geri ödeme süreleri sırasıyla; 0.85-1.31, 1.26-2.34, 3.55-7.13, 3.48-6.24 ve 3.08-6.10 yıl aralığındadır (Şekil 4.57).

Kuzeydoğu yönünde toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruflarına göre A, B, C, D ve E alternatif cam türlerinin geri ödeme süreleri sırasıyla; 0.61-1.15, 0.67-1.59, 2.20-5.14, 2.23-4.44 ve 1.56-4.14 yıl aralığındadır (Şekil 4.58).



Doğu yönünde toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruflarına göre A, B, C, D ve E alternatif cam türlerinin geri ödeme süreleri sırasıyla; 0.50-0.87, 0.49-1.21, 1.47-3.42, 1.61-3.41 ve 1.15-2.56 yıl aralığındadır (Şekil 4.59).

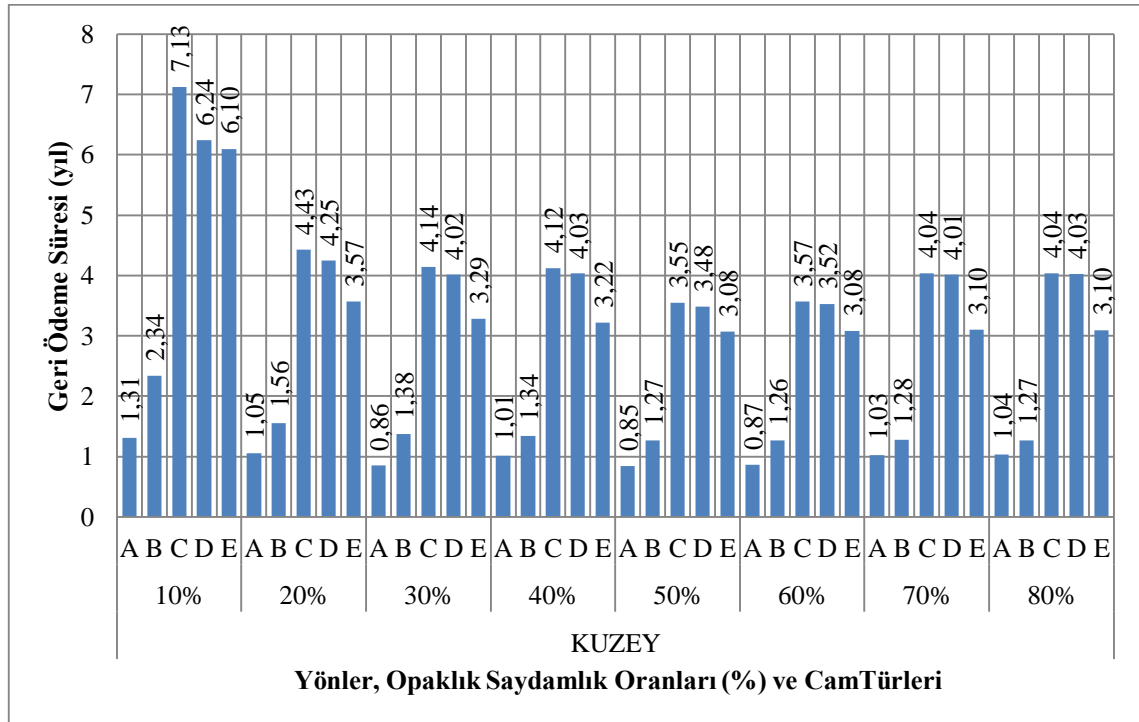
Güneydoğu yönünde toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruflarına göre A, B, C, D ve E alternatif cam türlerinin geri ödeme süreleri sırasıyla; 0.55-1.16, 0.57-1.57, 2.02-4.00, 2.03-4.37 ve 1.39-4.13 yıl aralığındadır (Şekil 4.60).

Güney yönünde toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruflarına göre A, B, C, D ve E alternatif cam türlerinin geri ödeme süreleri sırasıyla; 0.82-1.70, 1.24-5.37, 4.19-20.04, 2.23-5.32 ve 2.93-9.90 yıl aralığındadır (Şekil 4.61).

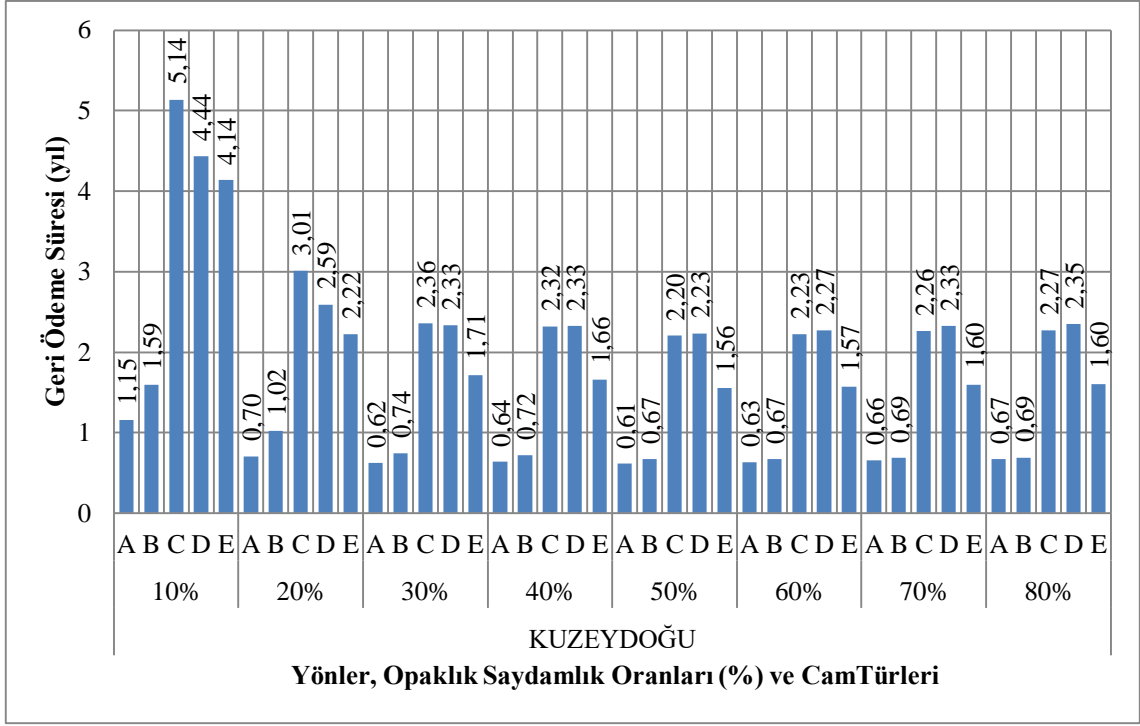
Güneybatı yönünde toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruflarına göre A, B, C, D ve E alternatif cam türlerinin geri ödeme süreleri sırasıyla; 0.62-1.27, 0.68-2.16, 2.29-7.06, 3.36-10.12 ve 1.63-5.40 yıl aralığındadır (Şekil 4.62).

Batı yönünde toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruflarına göre A, B, C, D ve E alternatif cam türlerinin geri ödeme süreleri sırasıyla; 0.58-1.11, 0.58-1.47, 1.73-4.37, 2.08-4.24 ve 1.34-3.40 yıl aralığındadır (Şekil 4.63).

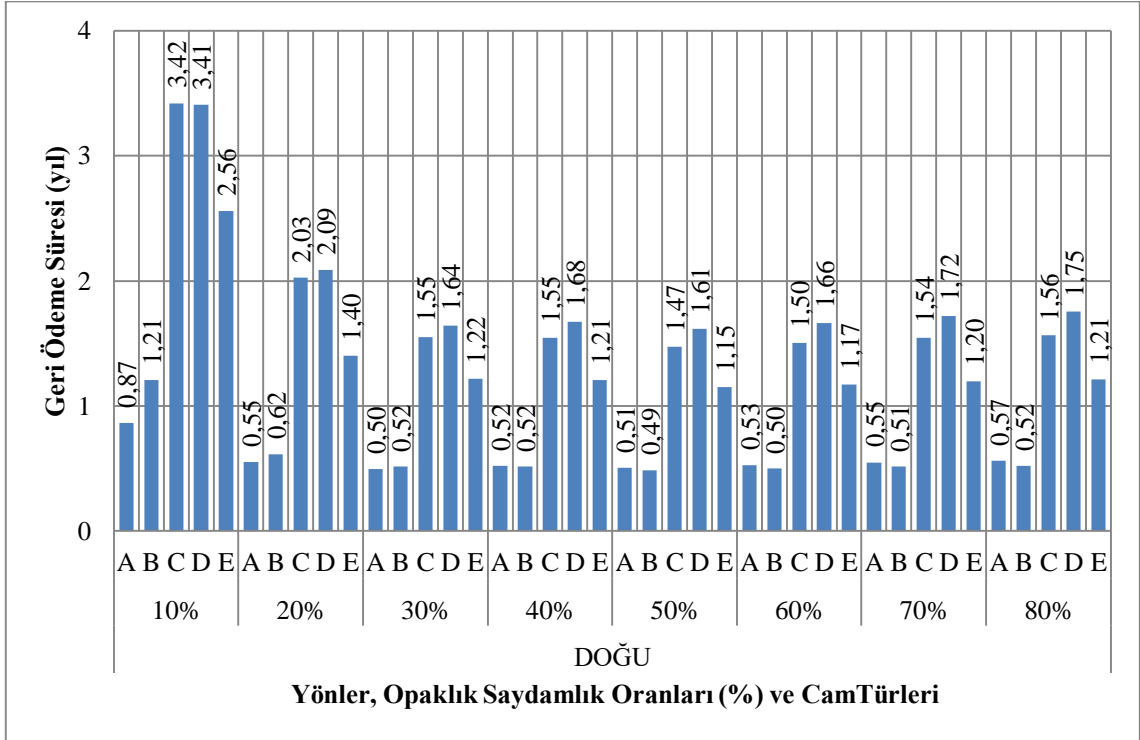
Kuzeybatı yönünde toplam ısıtma-soğutma enerji tasarruflarına göre A, B, C, D ve E alternatif cam türlerinin geri ödeme süreleri sırasıyla; 0,67-1,19, 0,75-1,70, 2,39-5,31, 2,40-5,03 ve 1,73-4,31 yıl aralığındadır (Şekil 4.64).



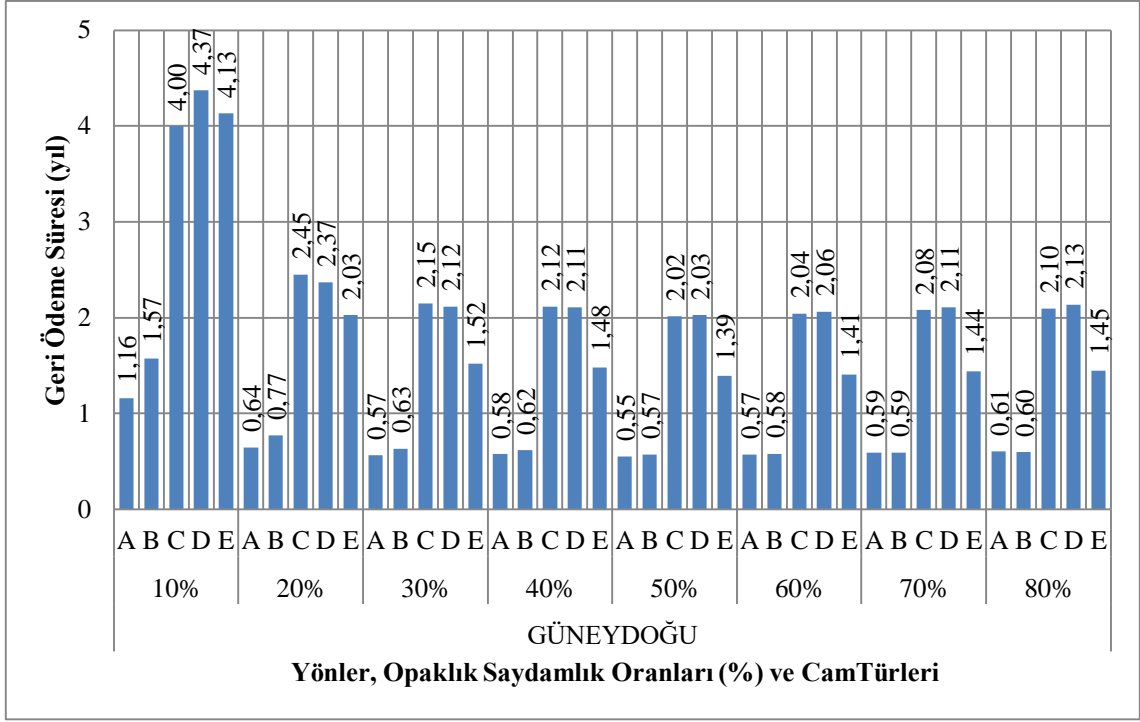
Şekil 4.57. Kuzey yönünde alternatif opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin geri ödeme süreleri



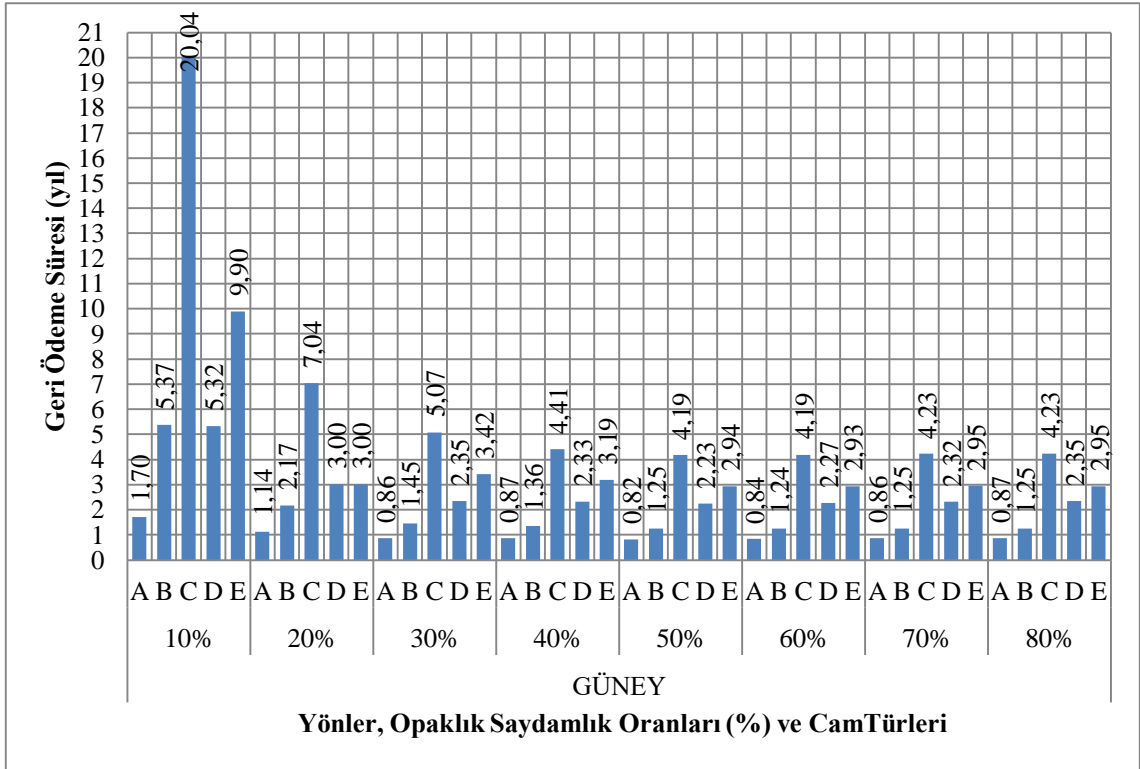
Şekil 4.58. Kuzeydoğu yönünde alternatif opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin geri ödeme süreleri



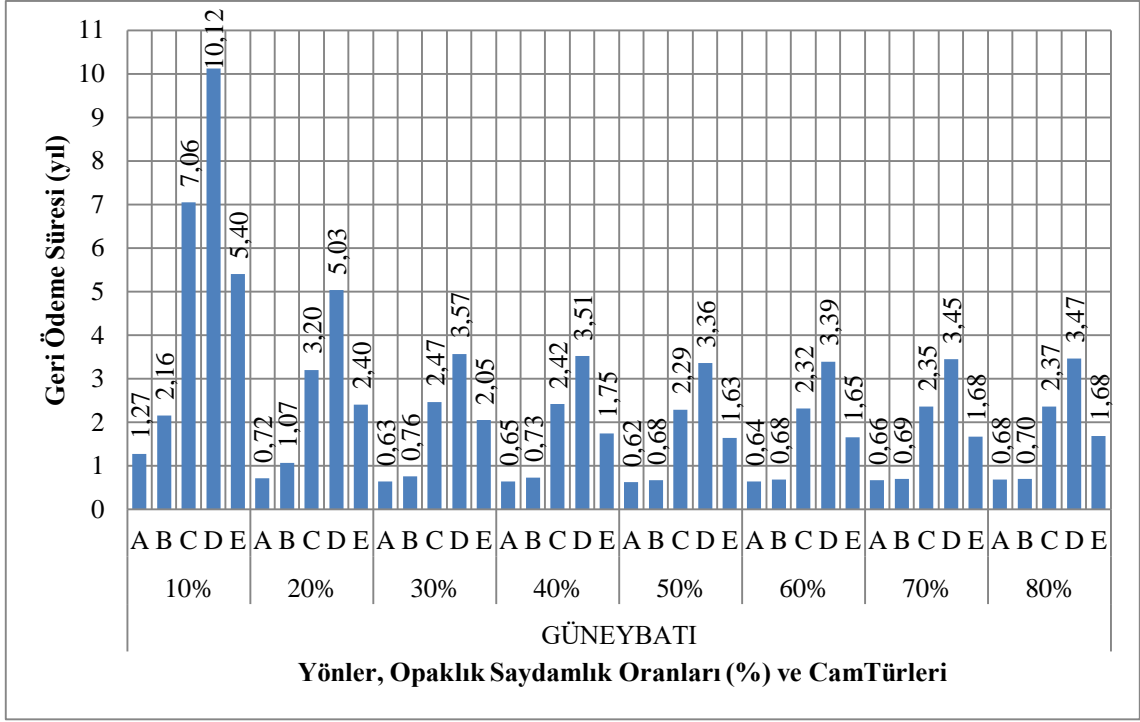
Şekil 4.59. Doğu yönünde alternatif opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin geri ödeme süreleri



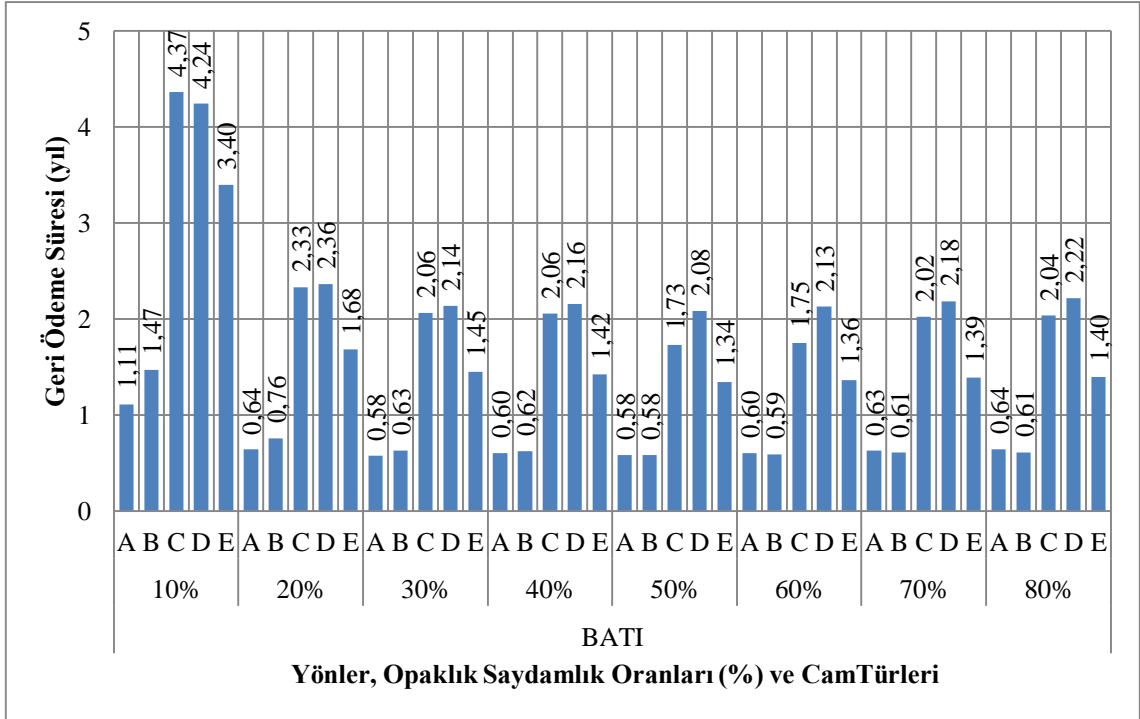
Şekil 4.60. Güneydoğu yönünde alternatif opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin geri ödeme süreleri



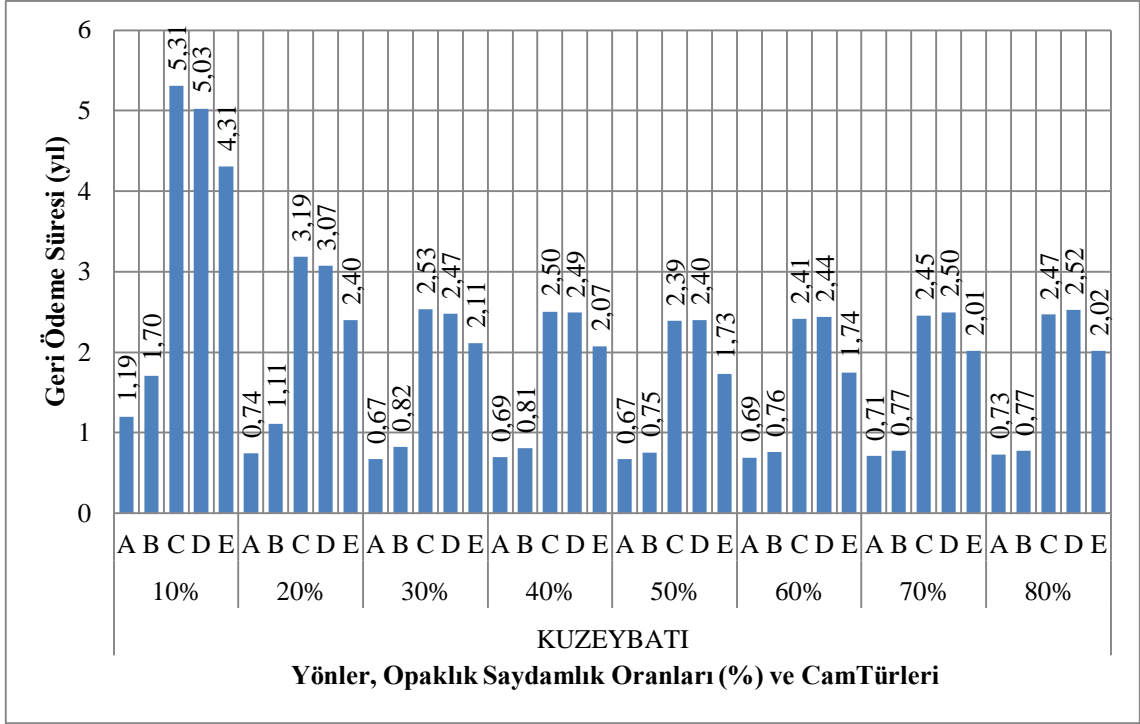
Şekil 4.61. Güney yönünde alternatif opaklık saydamlık oranlarına göre cam türlerinin geri ödeme süreleri



Şekil 4.62. Güneybatı yönünde alternatif opaklık saydımlık oranlarına göre cam türlerinin geri ödeme süreleri



Şekil 4.63. Batı yönünde alternatif opaklık saydımlık oranlarına göre cam türlerinin geri ödeme süreleri



Şekil 4.64. Kuzeybatı yönünde alternatif opaklık saydırlık oranlarına göre cam türlerinin geri ödeme süreleri

## 5. SONUÇ

Pasif tasarım kriterlerine göre yapı kabuğunun yönlenmesi, termofiziksel özellikleri ve opaklık saydamlık oranı enerji tüketimini doğrudan etkilemektedir. Yeni yapılacak ofis binalarının enerji etkin mimari tasarımı çerçevesinde, özellikle ısıtma-soğutma enerji tüketimi ve yapı kabuğu odaklı; yönlenme, opaklık saydamlık oranı ve cam türü parametrelerinin enerji tüketimine etkilerini analiz etmek amacıyla yapılan bu çalışmada;

- Binalarda enerji performansı ile ilgili; ofis binaları yapı kabuğu, enerji simülasyon modeli, enerji tüketim doğrulaması, yönlenme, opaklık saydamlık oranı ve cam türü anahtar kelimelerinin incelendiği alanyazın çalışmaları incelenmiştir.
- Çalışmanın yapılmasında;
  - Kavramsal yapısı ve uygulama yöntemi için; uluslararası ölçüm, doğrulama ve enerji ihtiyacı standartları ve protokolleri ışığında (ASHRAE 2002-2005, CRES 2000, IPMVP 2001 ve M&V 2008), seçilen örnek ofis binanın (Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü İdari ve Akademik Personel Bloğunun) enerji simülasyonu programında modelinin hazırlanması,
  - Çalışmanın uygulanması için;
    - Enerji tüketim doğrulaması (ölçülen-hesaplanan veri eşitlemesi) yapılarak gerçekçi/kalibre model elde edilmesi ve
    - Gerçekçi modele;
      - Yönlenme (4 ana ve 4 ara yön),
      - Opaklık saydamlık oranları (%10-%80) ve
      - Cam türü (low-e kaplamalı çift ve üçlü cam)

adımları izlenmiştir.

Yapılan ölçümler ve hesaplamalar değerlendirildiğinde;

- Eskişehir (karasal) iklim bölgesinde;
  - Isıtma döneminin (7 ay) soğutma dönemine (2 ay) göre daha uzun ve
  - Ölçülen-hesaplanan enerji tüketimleri değerlendirildiğinde %85.9-%99.3'lük oranla ısıtma enerjisinin toplam ısıtma-soğutma enerji tüketiminde “ana etken” olduğu görülmüştür.

- Opaklık saydamlık oranının artmasıyla toplam ısıtma-soğutma enerjisinin doğrusal olarak arttığı gözlenmiştir.
- Eskişehir’de örnek bina mimari karakteristik özelliklerine benzer yeni bina tasarımlarında: optimum toplam ısıtma-soğutma enerji tüketimi için opaklık saydamlık oranlarının;
  - Güney yönünde % 30 ve
  - Diğer tüm yönlerde ise %10
 olmasının uygun olduğu belirlenmiştir.
- Alternatif cam türlerine bağlı olarak **optimum toplam ısıtma-soğutma enerjisi tüketimi** için;
  - Kuzey, güney, güneydoğu ve güneybatı yönlerinde %10-%80 opaklık saydamlık oranları aralığında dış ve iç camın ikisinde ısı kontrolü sağlayan ısı geçirgenlik direnci yüksek low-e kaplamalı üçlü cam (D türü cam),
  - Kuzeydoğu yönünde opaklık saydamlık oranı;
    - %10-%30 aralığında; dış ve iç camın her ikisinde de ısı kontrolü sağlayan ısı geçirgenlik direnci yüksek low-e kaplamalı üçlü cam (D türü cam),
    - %40-%80 aralığında; dış camında güneş kontrolü sağlayan gün ışığı geçirgenlik katsayısı düşük ve iç camında ısı kontrolü sağlayan ısı geçirgenlik direnci yüksek low-e kaplamalı üçlü cam (C türü cam),
  - Kuzeybatı yönünde opaklık saydamlık oranı;
    - %10-%40 aralığında; dış ve iç camın her ikisinde de ısı kontrolü sağlayan ısı geçirgenlik direnci yüksek low-e kaplamalı üçlü cam (D türü cam),
    - %50-%80 aralığında; dış camında güneş kontrolü sağlayan gün ışığı geçirgenlik katsayısı düşük ve iç camında ısı kontrolü sağlayan ısı geçirgenlik direnci yüksek low-e kaplamalı üçlü cam (C türü cam)
  - Doğu yönünde opaklık saydamlık oranı;
    - %10-%20 aralığında; dış ve iç camın her ikisinde de ısı kontrolü sağlayan ısı geçirgenlik direnci yüksek low-e kaplamalı üçlü cam (D türü cam),
    - %30-%80 aralığında; dış camında güneş kontrolü sağlayan gün ışığı geçirgenlik katsayısı düşük ve iç camında ısı kontrolü sağlayan ısı geçirgenlik direnci yüksek low-e kaplamalı üçlü cam (C türü cam),
  - Batı yönünde opaklık saydamlık oranı;

- %10-%50 aralığında; dış ve iç camın her ikisinde de ısı kontrolü sağlayan ısı geçirgenlik direnci yüksek low-e kaplamalı üçlü cam (D türü cam),
  - %60-%80 aralığında; dış camında güneş kontrolü sağlayan gün ışığı geçirgenlik katsayısı düşük ve iç camında ısı kontrolü sağlayan ısı geçirgenlik direnci yüksek low-e kaplamalı üçlü cam (C türü cam),
- kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir.
- Optimum toplam ısıtma-soğutma enerjisi tüketimi sağlayan **cam türlerinin geri ödeme sürelerinin**;
    - Kuzey, güney, güneydoğu ve güneybatı yönlerinde, %10-%80 opaklık saydamlık oranları aralığında sırasıyla (D türü cam için); 3.5-6.2 yıl, 2.2-5.3 yıl, 2-4.4 yıl, 3.4-10.1 yıl,
    - Kuzeydoğu yönünde opaklık saydamlık oranları;
      - %10-%30 aralığında (D türü cam için); 2.3-4.4 yıl,
      - %40-%80 aralığında (C türü cam için); 2.2-2.3 yıl,
    - Kuzeybatı yönünde opaklık saydamlık oranları;
      - %10-%40 aralığında (D türü cam için); 2.5-5 yıl,
      - %50-%80 aralığında (C türü cam için) 2.4-2.5 yıl,
    - Doğu yönünde opaklık saydamlık oranları;
      - %10-%20 aralığında (D türü cam için); 2.1-3.4 yıl,
      - %30-%80 aralığında (C türü cam için); 1.47-1.56 yıl,
    - Batı yönünde opaklık saydamlık oranları;
      - %10-%50 aralığında (D türü cam için); 2.1-4.2 yıl ve
      - %60-%80 aralığında (C türü cam için); 1.75-2.04 yıl
- olduğu belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasındaki tespitler doğrultusunda, Eskişehir’de yapılacak olan ofis binalarının mimari tasarımları ve inşaatlarında, optimum “toplam ısıtma-soğutma enerji tasarrufunu sağlamak için cephenin;

- Yönlerine ve
- Opaklık saydamlık oranlarına

göre kullanılması önerilen cam türleri belirlenerek mimari tasarım karar destek mekanizması oluşturulmuştur (BEP-TR’de de yer alabilecek mimari tasarım karar destek mekanizmasının tanımlandığı Çizelge 5.1’de; cephenin baktığı yön [sütun] ve o yöndeki opaklık saydamlık oranının [satır] kesiştiği kutularda çalışmada değerlendirmeye alınan



alternatif cam türlerinin enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri ile optimum enerji tasarrufu sağlayan cam türleri [renklendirilerek] belirlenmiştir.

Bu bağlamda tez çalışmasının, yapılacak olan ofis binalarının “enerji etkin mimari tasarımları” için;

- “Mimari tasarım karar destek mekanizmasının oluşturulması”nda ve
- “Mevcut yasal düzenlemelerin ve standartların geliştirilmesi”nde

yol gösterici nitelik taşıdığı düşünülmektedir.

Her bina;

- Mimari karakteristik özellikler, bina formu/oranları, komşu bina mesafeleri, kullanım fonksiyonları (pasif tasarım parametreleri) ve
- HVAC (ısıtma-soğutma ve havalandırma) ve aydınlatma gibi ekipmanlar (aktif tasarım parametreleri)

konularında birbirinden farklılaşır. Bu farklılaşma ile birlikte de her binanın farklı enerji türü ve gereksinimi oluşur.

Gelecekte yapılacak benzer çalışmalarda; bu tezin “*Yöntem*” bölümündeki süreç (enerji tüketim doğrulaması) tekrar edilerek, enerji simülasyon programlarıyla gerçekçi modeller elde edilebilir. Bu modellere;

- %90-%100 (tamamı cam olan) alternatif opaklık saydamlık oranları,
- Farklı güneş enerjisi, gün ışığı ve ısı geçirgenlik katsayılarına sahip alternatif cam türleri

tanımlanarak, optimum enerji tüketimini sağlayan seçenekleri tespit etmek ve bu senaryolara ait geri ödeme sürelerini belirlemek mümkündür.

**Çizelge 5.1.** Eskişehir ilindeki ofis binaları için alternatif yönler ve saydımlık oranlarında kaplamasız cama göre alternatif cam türlerinin enerji tasarruf oranları ve geri ödeme süreleri (Optimum enerji tüketimi sağlayan cam türleri; ■ D türü cam, ■ C türü cam)

| Opaklık Saydımlık Oranı | Cam Türü | KUZEY  |                         | KUZEYDOĞU  |                         | DOĞU   |                         |  | GÜNEYDOĞU  |                         |
|-------------------------|----------|--|-------------------------|--|-------------------------|--|-------------------------|--|--|-------------------------|
|                         |          | Toplam Isıtma-Soğutma Enerjisi Tasarrufu (kWh/yıl) | Geri Ödeme Süresi (yıl) | Toplam Isıtma-Soğutma Enerjisi Tasarrufu (kWh/yıl) | Geri Ödeme Süresi (yıl) | Toplam Isıtma-Soğutma Enerjisi Tasarrufu (kWh/yıl) | Geri Ödeme Süresi (yıl) |  | Toplam Isıtma-Soğutma Enerjisi Tasarrufu (kWh/yıl) | Geri Ödeme Süresi (yıl) |
| 10%                     | A        | 1.266  | 1,3                     | 1.271  | 1,2                     | 1.220  | 0,9                     |  | 1.010  | 1,2                     |
|                         | B        | 1.078  | 2,3                     | 1.132  | 1,6                     | 1.054  | 1,2                     |  | 612  | 1,6                     |
|                         | C        | 1.541  | 7,1                     | 1.581  | 5,1                     | 1.494  | 3,4                     |  | 946  | 4,0                     |
|                         | D        | 1.656  | 6,2                     | 1.668  | 4,4                     | 1.612  | 3,4                     |  | 1.240  | 4,4                     |
|                         | E        | 1.175  | 6,1                     | 1.215  | 4,1                     | 1.164  | 2,6                     |  | 604  | 4,1                     |
| 20%                     | A        | 3.022  | 1,1                     | 3.178  | 0,7                     | 3.217  | 0,6                     |  | 2.687  | 0,6                     |
|                         | B        | 2.661  | 1,6                     | 3.060  | 1,0                     | 3.151  | 0,6                     |  | 2.050  | 0,8                     |
|                         | C        | 3.895  | 4,4                     | 4.352  | 3,0                     | 4.423  | 2,0                     |  | 2.995  | 2,4                     |
|                         | D        | 4.161  | 4,2                     | 4.463  | 2,6                     | 4.506  | 2,1                     |  | 3.566  | 2,4                     |
|                         | E        | 3.032  | 3,6                     | 3.501  | 2,2                     | 3.603  | 1,4                     |  | 2.189  | 2,0                     |
| 30%                     | A        | 4.604  | 0,9                     | 4.960  | 0,6                     | 5.023  | 0,5                     |  | 4.283  | 0,6                     |
|                         | B        | 4.153  | 1,4                     | 4.995  | 0,7                     | 5.316  | 0,5                     |  | 3.618  | 0,6                     |
|                         | C        | 5.988  | 4,1                     | 6.928  | 2,4                     | 7.275  | 1,5                     |  | 5.066  | 2,1                     |
|                         | D        | 6.322  | 4,0                     | 6.983  | 2,3                     | 7.176  | 1,6                     |  | 5.793  | 2,1                     |
|                         | E        | 4.628  | 3,3                     | 5.593  | 1,7                     | 5.986  | 1,2                     |  | 3.785  | 1,5                     |
| 40%                     | A        | 5.972  | 1,0                     | 6.478  | 0,6                     | 6.555  | 0,5                     |  | 5.677  | 0,6                     |
|                         | B        | 5.530  | 1,3                     | 6.826  | 0,7                     | 7.279  | 0,5                     |  | 5.165  | 0,6                     |
|                         | C        | 7.914  | 4,1                     | 9.342  | 2,3                     | 9.899  | 1,5                     |  | 7.050  | 2,1                     |
|                         | D        | 8.267  | 4,0                     | 9.285  | 2,3                     | 9.530  | 1,7                     |  | 7.845  | 2,1                     |
|                         | E        | 6.187  | 3,2                     | 7.650  | 1,7                     | 8.249  | 1,2                     |  | 5.432  | 1,5                     |
| 50%                     | A        | 7.341  | 0,8                     | 7.996  | 0,6                     | 8.087  | 0,5                     |  | 7.071  | 0,6                     |
|                         | B        | 6.907  | 1,3                     | 8.657  | 0,7                     | 9.243  | 0,5                     |  | 6.712  | 0,6                     |
|                         | C        | 9.840  | 3,5                     | 11.756   | 2,2                     | 12.524   | 1,5                     |  | 9.034  | 2,0                     |
|                         | D        | 10.213   | 3,5                     | 11.586   | 2,2                     | 11.885   | 1,6                     |  | 9.898  | 2,0                     |
|                         | E        | 7.747  | 3,1                     | 9.707  | 1,6                     | 10.511   | 1,2                     |  | 7.079  | 1,4                     |
| 60%                     | A        | 8.430  | 0,9                     | 9.186  | 0,6                     | 9.273  | 0,5                     |  | 8.147  | 0,6                     |
|                         | B        | 8.060  | 1,3                     | 10.123   | 0,7                     | 10.761   | 0,5                     |  | 7.945  | 0,6                     |
|                         | C        | 11.375   | 3,6                     | 13.638   | 2,2                     | 14.522   | 1,5                     |  | 10.588   | 2,0                     |
|                         | D        | 11.744   | 3,5                     | 13.334   | 2,3                     | 13.659   | 1,7                     |  | 11.474   | 2,1                     |
|                         | E        | 8.998  | 3,1                     | 11.298   | 1,6                     | 12.232   | 1,2                     |  | 8.358  | 1,4                     |
| 70%                     | A        | 9.519  | 1,0                     | 10.376   | 0,7                     | 10.458   | 0,5                     |  | 9.222  | 0,6                     |
|                         | B        | 9.213  | 1,3                     | 11.589   | 0,7                     | 12.280   | 0,5                     |  | 9.178  | 0,6                     |
|                         | C        | 12.910   | 4,0                     | 15.519   | 2,3                     | 16.520   | 1,5                     |  | 12.141   | 2,1                     |
|                         | D        | 13.274   | 4,0                     | 15.083   | 2,3                     | 15.432   | 1,7                     |  | 13.050   | 2,1                     |
|                         | E        | 10.249   | 3,1                     | 12.890   | 1,6                     | 13.953   | 1,2                     |  | 9.636  | 1,4                     |
| 80%                     | A        | 10.816   | 1,0                     | 11.783   | 0,7                     | 11.846   | 0,6                     |  | 10.491   | 0,6                     |
|                         | B        | 10.599   | 1,3                     | 13.323   | 0,7                     | 14.068   | 0,5                     |  | 10.645   | 0,6                     |
|                         | C        | 14.753   | 4,0                     | 17.741   | 2,3                     | 18.869   | 1,6                     |  | 13.985   | 2,1                     |
|                         | D        | 15.098   | 4,0                     | 17.142   | 2,4                     | 17.524   | 1,8                     |  | 14.913   | 2,1                     |
|                         | E        | 11.748   | 3,1                     | 14.764   | 1,6                     | 15.981   | 1,2                     |  | 11.155   | 1,4                     |

**Çizelge 5.1.** (devam) Eskişehir'deki ofis binaları için alternatif yönler ve saydamlık oranlarında kaplı camlara göre alternatif cam türlerinin enerji tasarruf oranları ve geri ödeme süreleri (Optimum enerji tüketimi sağlayan cam türleri; D türü cam, C türü cam)

| Opaklık Saydamlık Oranı | Cam Türü | GÜNEY  |                         | GÜNEYBATI  |                         | BATI   |                         | KUZEYBATI  |                         |
|-------------------------|----------|--|-------------------------|--|-------------------------|--|-------------------------|--|-------------------------|
|                         |          | Toplam İstima-Soğutma Enerjisi Tasarrufu (kWh/yıl) | Geri Ödeme Süresi (yıl) | Toplam İstima-Soğutma Enerjisi Tasarrufu (kWh/yıl) | Geri Ödeme Süresi (yıl) | Toplam İstima-Soğutma Enerjisi Tasarrufu (kWh/yıl) | Geri Ödeme Süresi (yıl) | Toplam İstima-Soğutma Enerjisi Tasarrufu (kWh/yıl) | Geri Ödeme Süresi (yıl) |
| 10%                     | A        | 780  | 1,7                     | 950  | 1,3                     | 1.158  | 1,1                     | 1.246  | 1,2                     |
|                         | B        | 102  | 5,4                     | 460  | 2,2                     | 886  | 1,5                     | 1.078  | 1,7                     |
|                         | C        | 382  | 20,0                    | 739  | 7,1                     | 1.301  | 4,4                     | 1.548  | 5,3                     |
|                         | D        | 804  | 5,3                     | 1.111  | 10,1                    | 1.484  | 4,2                     | 1.662  | 5,0                     |
|                         | E        | 57   | 9,9                     | 406  | 5,4                     | 964  | 3,4                     | 1.188  | 4,3                     |
| 20%                     | A        | 2.011  | 1,1                     | 2.518  | 0,7                     | 2.973  | 0,6                     | 3.127  | 0,7                     |
|                         | B        | 518  | 2,2                     | 1.609  | 1,1                     | 2.631  | 0,8                     | 2.908  | 1,1                     |
|                         | C        | 1.259  | 7,0                     | 2.428  | 3,2                     | 3.848  | 2,3                     | 4.180  | 3,2                     |
|                         | D        | 2.267  | 3,0                     | 3.206  | 5,0                     | 4.084  | 2,4                     | 4.354  | 3,1                     |
|                         | E        | 463  | 3,0                     | 1.616  | 2,4                     | 3.024  | 1,7                     | 3.322  | 2,4                     |
| 30%                     | A        | 3.214  | 0,9                     | 3.961  | 0,6                     | 4.619  | 0,6                     | 4.837  | 0,7                     |
|                         | B        | 1.210  | 1,5                     | 2.905  | 0,8                     | 4.457  | 0,6                     | 4.735  | 0,8                     |
|                         | C        | 2.294  | 5,1                     | 4.165  | 2,5                     | 6.304  | 2,1                     | 6.634  | 2,5                     |
|                         | D        | 3.743  | 2,3                     | 5.194  | 3,6                     | 6.454  | 2,1                     | 6.779  | 2,5                     |
|                         | E        | 1.054  | 3,4                     | 2.909  | 2,1                     | 4.984  | 1,4                     | 5.292  | 2,1                     |
| 40%                     | A        | 4.252  | 0,9                     | 5.243  | 0,6                     | 6.036  | 0,6                     | 6.275  | 0,7                     |
|                         | B        | 1.898  | 1,4                     | 4.191  | 0,7                     | 6.145  | 0,6                     | 6.394  | 0,8                     |
|                         | C        | 3.320  | 4,4                     | 5.841  | 2,4                     | 8.465  | 2,1                     | 8.873  | 2,5                     |
|                         | D        | 5.091  | 2,3                     | 7.048  | 3,5                     | 8.587  | 2,2                     | 8.936  | 2,5                     |
|                         | E        | 1.741  | 3,2                     | 4.243  | 1,7                     | 6.929  | 1,4                     | 7.169  | 2,1                     |
| 50%                     | A        | 5.291  | 0,8                     | 6.526  | 0,6                     | 7.453  | 0,6                     | 7.713  | 0,7                     |
|                         | B        | 2.587  | 1,3                     | 5.477  | 0,7                     | 7.832  | 0,6                     | 8.053  | 0,8                     |
|                         | C        | 4.346  | 4,2                     | 7.518  | 2,3                     | 10.626   | 1,7                     | 11.112   | 2,4                     |
|                         | D        | 6.438  | 2,2                     | 8.901  | 3,4                     | 10.721   | 2,1                     | 11.093   | 2,4                     |
|                         | E        | 2.428  | 2,9                     | 5.577  | 1,6                     | 8.874  | 1,3                     | 9.046  | 1,7                     |
| 60%                     | A        | 6.139  | 0,8                     | 7.516  | 0,6                     | 8.560  | 0,6                     | 8.862  | 0,7                     |
|                         | B        | 3.203  | 1,2                     | 6.535  | 0,7                     | 9.186  | 0,6                     | 9.410  | 0,8                     |
|                         | C        | 5.179  | 4,2                     | 8.850  | 2,3                     | 12.546   | 1,7                     | 12.878   | 2,4                     |
|                         | D        | 7.504  | 2,3                     | 10.328   | 3,4                     | 12.355   | 2,1                     | 12.764   | 2,4                     |
|                         | E        | 2.990  | 2,9                     | 6.635  | 1,6                     | 10.386   | 1,4                     | 10.527   | 1,7                     |
| 70%                     | A        | 6.988  | 0,9                     | 8.505  | 0,7                     | 9.667  | 0,6                     | 10.011   | 0,7                     |
|                         | B        | 3.820  | 1,3                     | 7.594  | 0,7                     | 10.539   | 0,6                     | 10.767   | 0,8                     |
|                         | C        | 6.013  | 4,2                     | 10.183   | 2,4                     | 14.466   | 2,0                     | 14.644   | 2,5                     |
|                         | D        | 8.569  | 2,3                     | 11.754   | 3,4                     | 13.989   | 2,2                     | 14.436   | 2,5                     |
|                         | E        | 3.552  | 3,0                     | 7.693  | 1,7                     | 11.899   | 1,4                     | 12.008   | 2,0                     |
| 80%                     | A        | 8.000  | 0,9                     | 9.648  | 0,7                     | 10.991   | 0,6                     | 11.378   | 0,7                     |
|                         | B        | 4.571  | 1,2                     | 8.843  | 0,7                     | 12.164   | 0,6                     | 12.397   | 0,8                     |
|                         | C        | 7.024  | 4,2                     | 11.761   | 2,4                     | 16.615   | 2,0                     | 16.751   | 2,5                     |
|                         | D        | 9.848  | 2,3                     | 13.428   | 3,5                     | 15.931   | 2,2                     | 16.420   | 2,5                     |
|                         | E        | 4.231  | 2,9                     | 8.937  | 1,7                     | 13.702   | 1,4                     | 13.765   | 2,0                     |

## KAYNAKÇA

- [1] <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=26212>
- [2] Gontier, P., Constitution du Tissu Urbain et Developpement Durable, Ecole d'Architecture de Toulouse, Master Europeen en Architecture et Developpement, Durable, Toulouse, 1999
- [3] <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/TableView.aspx?table=1.1.3> (erişim Şubat 2016)
- [4] <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/TableView.aspx?table=3.1.4> (erişim Şubat 2016)
- [5] Anonim, Küresel Enerji Trendi, <http://euanmearns.com/global-energy-trends-bp-statistical-review-2014/>, erişim Aralık 2015,
- [6] Anonim, Amerika Birleşik devletleri Enerji bilgi dairesi, <http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=447&t=1>, erişim Aralık 2015
- [7] Tönük S., Bina Tasarımında Ekoloji, Yıldız teknik üniversitesi Basım-yayın Merkezi, İstanbul, 2001
- [8] Anonim, Amerika Ulusal Yapı Fiziği Enstitüsü, [http://www.wbdg.org/design/env\\_introduction.php](http://www.wbdg.org/design/env_introduction.php), erişim Aralık 2015
- [9] Yılmaz Z., Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji, VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 387-398, 2005
- [10] Hesnest A. G., Building Integration of Solar Energy Systems, Solar Energy 67, 181-187, 1999
- [11] Lee K. H., Han D. W. ve Lim H. J., Passive Design Principles and Techniques for Folk Houses in Cheju Island and Ullung Island of Korea, Energy and Buildings 23, 207-216, 1996
- [12] Anonim, Uluslararası Pasif Konut Ortaklığı (Almanya), [http://www.passivehouse-international.org/index.php?page\\_id=80](http://www.passivehouse-international.org/index.php?page_id=80), erişim Aralık 2015
- [13] Chiras D. The Solar House: Passive Heating and Cooling; Chelsea Green Publishing: White River Junction, VT, USA, 19–24, 2002
- [14] Danielski I., Fröling, M. ve Joelsson, A., The Impact of the Shape Factor on Final Energy Demand in Residential Buildings in Nordic Climate, Mid Sweden University: Östersund, Sweden, 2012, [https://ases.conference-services.net/resources/252/2859/pdf/SOLAR2012\\_0428\\_full%20paper.pdf](https://ases.conference-services.net/resources/252/2859/pdf/SOLAR2012_0428_full%20paper.pdf), erişim Aralık 2015

- [15] Yu H. J., Lee B. H., Cho Y. H., Kim S. S. ve Kim K. W., A comparison of Energy Consumption on Facade Design Factors in Office Building, in: Korean Institute of Architectural Sustainable Environmental and Building Systems Spring Conference, 2012,
- [16] Voss K., Solar Energy In Building Renovation Results and Experience of International Demonstration Buildings, *Energy and Buildings* 32, 291-302, 2000
- [17] Krauter S., Araujo R. G., Schroer S., Hanitsch R., Salhi M. J., Triebel C. ve Lemoine R., Combined Photovoltaic and Solar Thermal Systems for Facade İntegration and Building Insulation, *Solar Energy* 67, 239-248, 1999
- [18] Antvorskov S., Introduction to İntegration of Renewable Energy in Demand Controlled Hybrid Ventilation Systems for Residential Buildings, *Building and Environment* 43, 1350-1353, 2008
- [19] West S., Improving The Sustainable Development of Building Stock by The İmplementation of Energy Efficient, Climate Control Technologies, *Building and Environment* 36, 281-289, 2001
- [20] Bina Sayımı, T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, 2000
- [21] Güçyeter B., İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mevcut Yapı Kabukları İçin Enerji Etkin İyileştirme Yöntemi, Doktora Tezi, 2010
- [22] Atalay İ., Türkiye Coğrafyası, Ege Üniversitesi Yayınları, 1997
- [23] Amerika Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisliği Bölümü ve Standardı (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers 2002; ASHRAE 2002), Enerji Ölçümü ve Tasarruf Gereksinimi (Measurement of Energy and Demand Savings), 2002
- [24] Amerika Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisliği Bölümü ve Standardı, (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers 2005; ASHRAE 2005), Temel Esaslar (Fundamentals), 2005
- [25] Yenilenebilir Enerji Kaynakları Merkezi, En İyi Uygulama Örnekleri (Energy Audit Guide, Best Practice - Case Studies, CRES C), 2000
- [26] Uluslararası Performans Ölçüm ve Onaylama Protokolü (International Performance Measurement & Verification Protocol, IPMVP), 2001
- [27] Ölçüm ve Doğrulama Standardı (Measurement and Verification, M&V), 2008
- [28] Anonim, Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv ve Yönetim Sistemi (TUMAS), <http://tumas.mgm.gov.tr/wps/portal/>, erişim Aralık 2015
- [29] Deru M. ve Torcellini P., Standard Definitions of Building Geometry for Energy Evaluation, National Renewable Energy Laboratory, Technical Report, NREL/TP-550-38600, 2005

- [30] Geletka V. ve Sedlakova A., Shape of Building and Energy Consumption, Technical Transactions, 2012, [http://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i1/i4/i4/i8/i8/r14488/GeletkaV\\_ShapeBuildings.pdf](http://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i1/i4/i4/i8/i8/r14488/GeletkaV_ShapeBuildings.pdf), erişim Aralık 2015
- [31] Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (BEP-TR), 2008
- [32] Anonim, Avrupa Birliği Binalarda Enerji Prformansı Yönetmeliği, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32010L0031&from=EN>, erişim Aralık 2015
- [33] Maile T., Fischer M. ve Bazjanac V, Building Energy Performance Simulation Tools - a Life-Cycle and Interoperable Perspective, Tobias Maile, Martin Fischer & Vladimir Bazjanac, Stanford University, 2007
- [34] Anonim, [https://en.wikipedia.org/wiki/Building\\_energy\\_simulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Building_energy_simulation), erişim Ekim 2015
- [35] Anonim, <http://www.iea.org/topics/energyefficiency/>, erişim Aralık 2015
- [36] Anonim, N. Aydın, M. Coşkun, H. Bakır ve diğerleri, Finansal Yönetim, 177, 2004, <https://books.google.com.tr/books?id=0MGKO88fqIkC&pg=PA177&lpg=PA177&dq=geri+%C3%B6deme+s%C3%BCresi+nedir&source=bl&ots=LrieKvZ-x5&sig=3gEDsVOTbU72j8yCnj8e5k0oEWk&hl=en&sa=X&ved=0CDkQ6AEwBGoVChMIit6DjPjEyAIVRXk-Ch2-ZQIo#v=onepage&q&f=false>, erişim Aralık 2015
- [37] Anonim, <http://energy.gov/energysaver/energy-performance-ratings-windows-doors-and-skylights>, erişim Aralık 2015
- [38] Anonim, ODE Yalıtım Sözlüğü, <http://www.ode.com.tr/yalitim-sozlugu/>, erişim Aralık 2015
- [39] F. P. Incropera ve D. P. DeWitt. Fundamentals of Heat And Mass Transfer, ISBN 0-471-38650-2, 2002
- [40] R. Vepa, Dynamic Modeling, Simulation and Control of Energy Generation, ISBN 978-1-4471-5400-6, Lecture Notes in Energy, Volume 20, s. 42, 2013
- [41] Anonim, Window Technologies: Low-E Coatings, <http://www.efficientwindows.org/lowe.php>, erişim Aralık 2015
- [42] Anonim, [https://en.wikipedia.org/wiki/Data\\_logger](https://en.wikipedia.org/wiki/Data_logger), erişim Aralık 2015
- [43] National Round Table on the Environment and The Economy, Canada, [https://en.wikipedia.org/wiki/National\\_Round\\_Table\\_on\\_the\\_Environment\\_and\\_the\\_Economy](https://en.wikipedia.org/wiki/National_Round_Table_on_the_Environment_and_the_Economy)

- [44] Peterson, K. L., Dorsey, J. A., March 2000, "Roadmap for integrating Sustainable Design into Site-Level Operations", Prepared for the U.S. Department of Energy, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington 99352, The Brendle Group, inc., Ft. Collins, Colorado, 2000
- [45] Anonim, [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/commercial/179d/building\\_parameters.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/commercial/179d/building_parameters.cfm), erişim Aralık 2015
- [46] Anonim, [http://www.wbdg.org/design/env\\_introduction.php](http://www.wbdg.org/design/env_introduction.php), erişim Aralık 2015
- [47] Sadineni S. B., Madala S. ve Boehm R. B., Passive Building Energy Savings: A Review of Building Envelope Components, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, 2011, s. 3617–3631,
- [48] Okba E. M., Building Envelope Design as a Passive Cooling Technique, Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment Uluslararası Konferansı, Yunanistan, Mayıs 2005,
- [49] Laustsen J., Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings, s. 20, 2008
- [50] Inanici M. N. ve Demirbilek F. N., Thermal Performance Optimization of Building Aspect Ratio and South Window Size in Five Cities Having Diferent Climatic Characteristics of Turkey, Building and Environment 35, s. 41-52, 2000
- [51] Eskin N, Türkmen H., Analysis of Annual Heating and Cooling Energy Requirements for Office Buildings in Different Climates in Turkey, Energy and Buildings 40, 763-773, 2008
- [52] McKeen P. ve Fung A. S., The Effect of Building Aspect Ratio on Energy Efficiency: A Case Study for Multi-Unit Residential Buildings in Canada, Buildings 4, 336-354, 2014
- [53] Koçlar Oral G, Binalarda Isı Yalıtımı Ve Enerji Verimliliği, İTÜ Araştırma Fonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2000,
- [54] Penga,C., Wangd L., Zhangda X. Dest-Based Dynamic Simulation and Energy Efficiency Retrofit Analysis of Commercial Buildings in the Hot Summer/Cold Winter Zone of China: a Case in Nanjing, Energy and Buildings 78, s. 121-131, 2014
- [55] Huang J., Lv H., Gao T., Feng W., Chen Y., Zhou T., Thermal Properties Optimization of Envelope in Energy-Saving Renovation of Existing Public Buildings, Energy and Buildings 75, s. 504-510, 2014

- [56] Friess W. A., Rakhsan K., Hendawi T. A. ve Tajerzadeh S, Wall Insulation Measures for Residential Villas in Dubai: A Case Study in Energy Efficiency, *Energy and Buildings* 44, 26-32, 2012
- [57] Ünver R., Akdag N. Y., Gedik G. Z., Öztürk L. D., Karabiber Z., Prediction of Building Envelope Performance in The Design Stage: an Application for Office Buildings, *Building and Environment* 39, s. 143 – 152, 2004
- [58] El-Deeb K., Combined Effect Of Window-To-Wall Ratio And Wall Composition On Energy Consumption: Where Is The Turning Point?, *Sustainable Architecture for a Renewable Future*, 29. PLEA2013 Konferansı, Kasım 2013
- [59] Yaşar Y. ve Kalfa S. M., The Effects of Window Alternatives on Energy Efficiency and Building Economy in High-Rise Residential Buildings in Moderate to Humid Climates, *Energy Conversion and Management* 64, s. 170–181, 2012
- [60] Nilsson A. M. ve Roos A., Evaluation of Optical and Thermal Properties of Coatings for Energy Efficient Windows, *Thin Solid Films* 517, s. 3173–3177, 2009
- [61] Fontenelle M. R., Bastos L. E. G., The Multicriteria Approach in The Architecture Conception: Defining Windows for an Office Building in Rio de Janeiro, *Building and Environment* 74, S. 96-105, 2014
- [62] Mahdya M. M. ve Nikolopoulou M., Evaluation of Fenestration Specifications in Egypt in Terms of Energy Consumption and Long Term Cost-Effectiveness, *Energy and Buildings* 69, s. 329–343, 2014
- [63] Hassouneh K., Alshboul A. ve Al-Salaymeh A., Influence of Windows on The Energy Balance of Apartment Buildings in Amman, *Energy Conversion and Management* 51, s. 1583-1591, 2010,
- [64] Yang Q., Liu M., Shu C., Mmereki D., Hossain M. U. ve Zhan6 X., Impact Analysis of Window-Wall Ratio on Heating and Cooling Energy Consumption of Residential Buildings in Hot Summer and Cold Winter Zone in China, *Hindawi Publishing Corporation Journal of Engineering Volume 2015*, 2015
- [65] Koohsari A. M., Fayaz R. ve Kari B. M., The Influence of Window Dimensions and Location on Residential Building Energy Consumption by Integrating Thermal and Lighting Analysis in a Mild and Humid Climate, *MAGNT Research Report (ISSN. 1444-8939)*, s 187-194, 2015



- [66] Didwania S., Garg V. ve Mathur J., Optimization of Window Wall Ratio for Different Building Types, <https://www.researchgate.net/publication/259921312>, 2011,
- [67] Gasparellaa A., Pernigottob G., Cappellettic F. Romagnonic P. ve Baggiod P., Analysis and Modelling of Window and Glazing Systems Energy Performance for a Well Insulated Residential Building, *Energy and Buildings* 43, s 1030–1037, 2011
- [68] Yıldız Y, Göksal Özbalta T., Durmuş Arsan Z., Farklı Cam Türleri ve Yönlere Göre Pencere/Duvar Alanı Oranının Bina Enerji Performansına Etkisi: Eğitim Binası, *İzmir, Megaron Dergisi*, Cilt 6, Sayı 1, s. 30-38, 2011
- [69] Rathi P., Optimization of Energy Efficient Windows in Office Buildings for Different Climate Zones of The United States, Yüksek Lisans Tezi, Kent State Üniversitesi, Mayıs 2012,
- [70] Pino A., Bustamante W., Escobara R. ve Pino F. E., Thermal and Lighting Behavior of Office Buildings in Santiago of Chile, *Energy and Buildings* 47, s. 441–449, 2012
- [71] Poirazis H., Blomsterberg A. ve Wall M., Energy Simulations for Glazed Office Buildings in Sweden, *Energy and Buildings* 40, s. 1161–1170, 2008
- [72] Thalfeldta M., Pikas E., Kurnitskia J. ve Voll H., Facade Design Principles for Nearly Zero Energy Buildings in a Cold Climate, *Energy and Building* 67, s. 309-321, 2013
- [73] Kheiri, F. The Relation of Orientation and Dimensional Specifications of Window with Building Energy Consumption in Four Different Climates of Köppen Classification, *Researcher* 5(12), s 107-115, ISSN: 1553-9865, 2013
- [74] Ayyad T. M., The Impact of Building Orientation, Opening to Wall Ratio, Aspect Ratio and Envelope Materials on Buildings Energy Consumption in the Tropics, *Fiziksel Çevre Sürdürülebilir Tasarım Bölümü*, The British Universitesi (Dubai), Yüksek Lisans Tezi, 2011
- [75] Kim H., Stumpf A. ve Kim W., Analysis of an Energy Efficient Building Design Through Data Mining Approach, *Automation in Construction* 20, 37-43, 2011
- [76] Ochoa C. E., Aries M. B. C., Leonen J. V. ve Hensen J. L. M., Considerations on Design Optimization Criteria for Windows Providing Low Energy Consumption and High Visual Comfort, *Applied Energy* 95, 238–245, 2012,

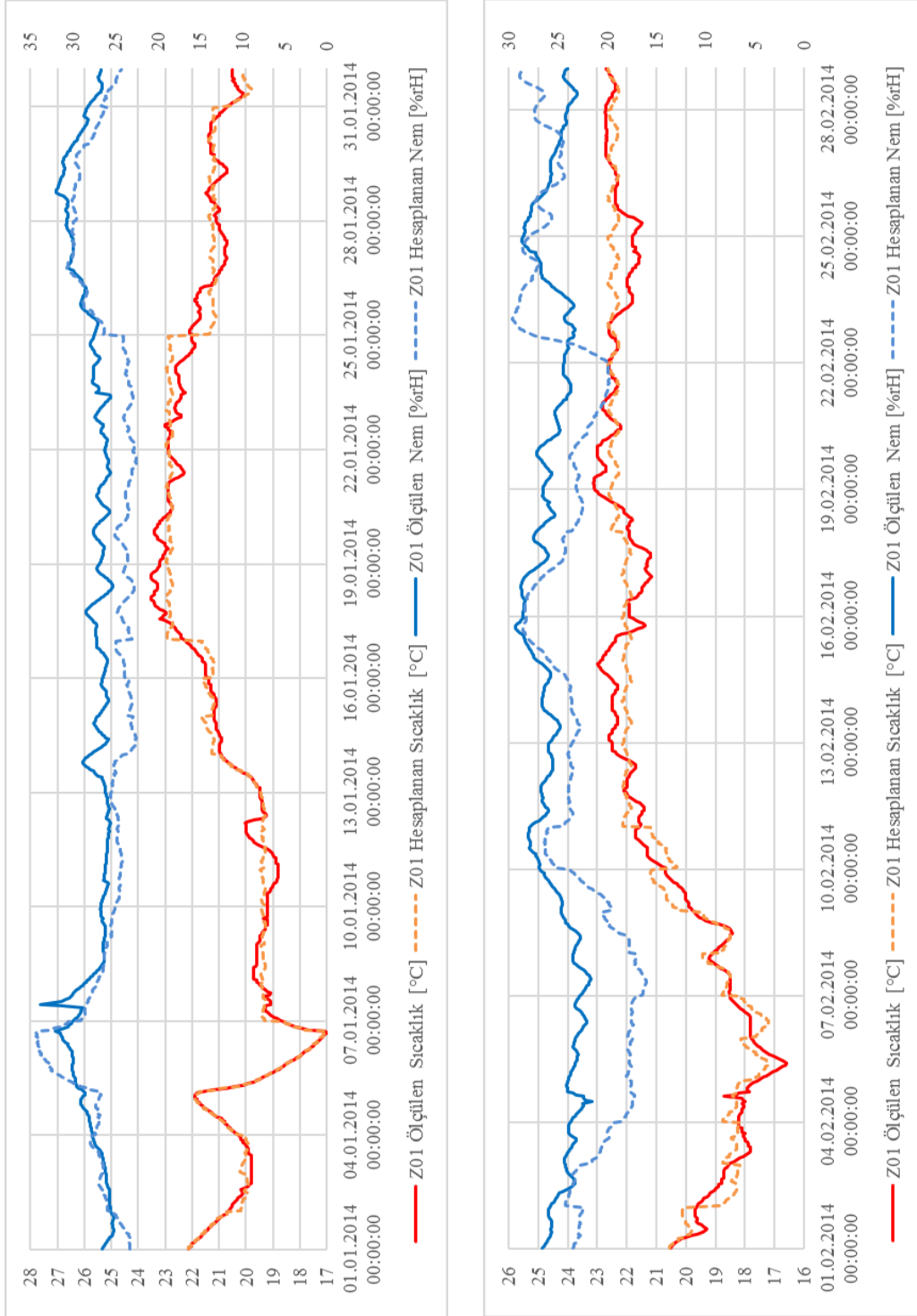
- [77] Ghisi E. ve Tinker J., Optimising Energy Consumption in Offices as a Function of Window Area and Room Size, Seventh International IBPSA Conference Rio de Janeiro/Brazil, 2001
- [78] Fasi M. A. ve Budaiwi I. M., Energy performance of windows in office buildings considering daylight integration and visual comfort in hot climates, *Energy and Buildings* 108, s. 307–316, 2015
- [79] Moretti E. Ve Belloni E., Evaluation of Energy, Thermal, and Daylighting Performance of Solar Control Films for a Case Study in Moderate Climate, *Building and Environment* 94, s. 183-195, 2015
- [80] Franzetti C., Fraisse G. ve Achard G., Influence of The Coupling Between Daylight and Artificial Lighting on Thermal Loads in Office Buildings, *Energy and Buildings* 36, s. 117–126, 2004
- [81] Barbhuiya S. ve Barbhuiya S., Thermal Comfort and Energy Consumption in a UK Educational Building, *Building and Environment* 68, s. 1-11, 2013
- [82] Motuziene S. ve Juodis E. S., Simulation Based Complex Energy Assessment of Office Building Fenestration, *Journal of Civil Engineering and Management* 16/3: 345–351, 2010
- [83] Kim S. H., Kim S. S., Kim K. W. ve Cho Y. H., A Study on The Proposes of Energy Analysis Indicator by The Window Elements of Office Buildings in Korea, *Energy and Buildings* 73, s. 153-165, 2014
- [84] Leskovar V. Z. ve Premrov M., An Approach in Architectural Design of Energy-Efficient Timber Buildings With a Focus on The Optimal Glazing Size in The South-Oriented Facade, *Energy and Buildings* 43, s. 3410-3418, 2011
- [85] Karimpoura M., Belusko M., Xing Kç., Boland J. ve Bruno F., Impact of Climate Change on The Design of Energy Efficient Residential Building Envelopes, *Energy and Buildings* 87 s. 142–154, 2015
- [86] Zhou S. ve Zhao J., Optimum Combinations of Building Envelope Energy-Saving Technologies for Office Buildings in Different Climatic Regions of China, *Energy and Building* 57, s. 103-109, 2013
- [87] Berger. T., Amann C., Formayer H., Korjenic A., Pospischal B., Neururer C. ve Smutny R., Impacts of Climate Change Upon Cooling and Heating Energy Demand of Office Buildings in Vienna, Austria, *Energy and Buildings* 80, s. 517–530, 2014

- [88] Boyano A., Hernandez P. ve Wolf O., Energy Demands and Potential Savings in European Office Buildings: Case Studies Based on EnergyPlus simulations, *Energy and Buildings* 65, s. 19–28, 2013
- [89] Lam J. C., Li D. H. W. ve Cheung S. O., An Analysis of Electricity End-Use in Air-Conditioned Office Buildings in Hong Kong, *Building and Environment* 38, s. 493-498, 2003
- [90] Neto A. H. ve Fiorelli F. A. S., Comparison Between Detailed Model Simulation and Artificial Neural Network for Forecasting Building Energy Consumption, *Energy and Buildings* 40, s. 2169-2176, 2008
- [91] Susorova I., Tabibzadeh M., Rahman A., Clack H. L. ve Elnimeiri M., The Effect of Geometry Factors on Fenestration Energy Performance and Energy Savings in Office Buildings, *Energy and Buildings* 57, s. 6-13, 2013
- [92] Raftery P., Keane M. ve Costa A., Calibrating Whole Building Energy Models: Detailed Case Study Using Hourly Measured data, *Energy and Buildings* 43, s. 3666–3679, 2011
- [93] Silva A. S., Ghisi E., Uncertainty Analysis of User Behaviour and Physical Parameters in Residential Building Performance Simulation, *Energy and Buildings* 76, s. 381-391, 2014
- [94] Raftery P., Keane M. ve O'Donnell, Calibrating Whole Building Energy Models: An Evidence-Based Methodology, *Energy and Buildings* 43, s. 2356–2364, 2011
- [95] Ke M. Y., Yeh C. H. ve Jian J. T., Analysis of Building Energy Consumption Parameters and Energy Savings Measurement and Verification by Applying eQUEST software, *Energy and Buildings* 61, 100-107, 2013
- [96] EN ISO 13790, Binalarda Enerji Performansı; Mekan Isıtma ve Soğutma için Enerji Kullanımının Hesaplanması Standardı (Energy performance of buildings -- Calculation of Energy Use for Space Heating and Cooling), 2008
- [97] Clarke J. A., *Energy Simulation in Building Design*, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, 2001.
- [98] Godfried Augenbroe, Trends in Building Simulation, *Building and Environment*, Volume 37, Issues 8–9, 891–902, 2002
- [99] S. De Wit, Augenbroe G., Analysis of Uncertainty in Building Design Evaluations and its Implications, *Energy and Buildings* 34, 951-958, 2002

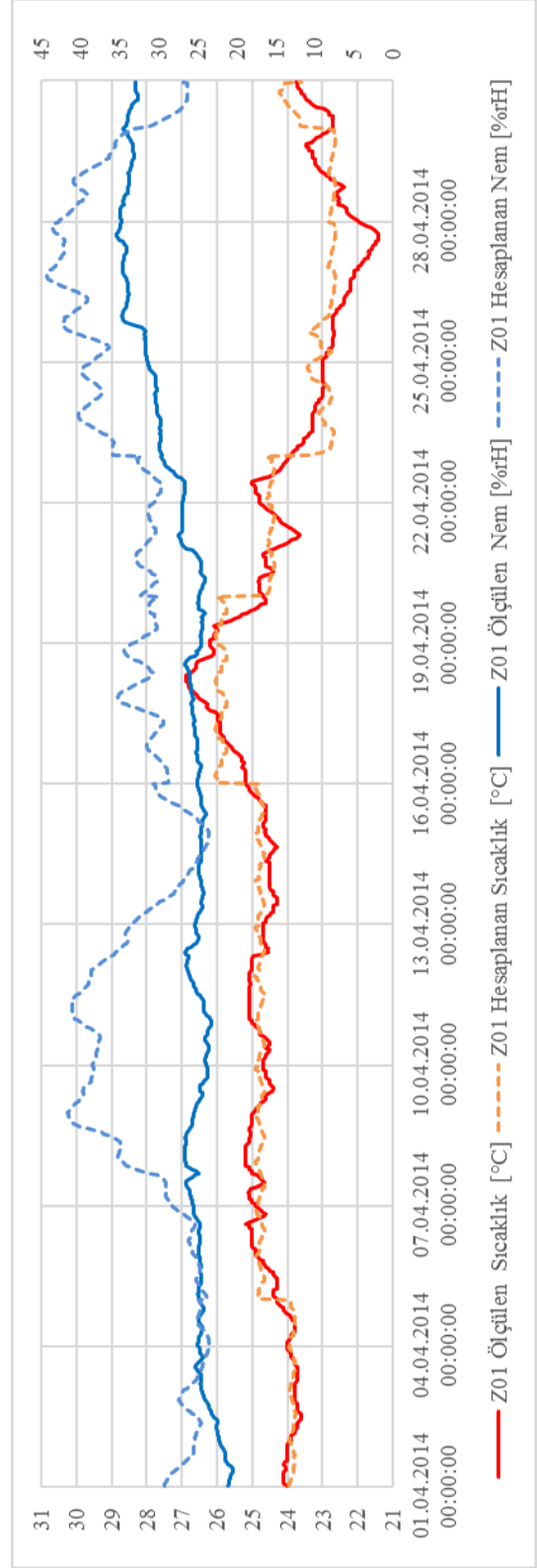
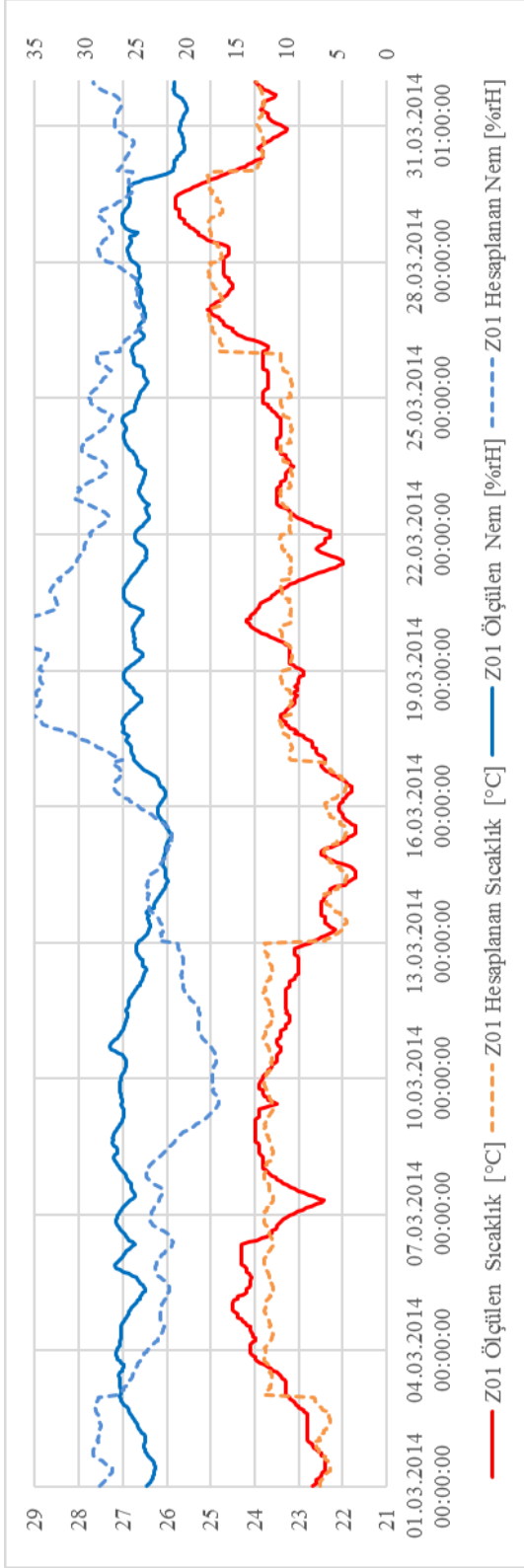
- [100] Fürbringer J. M. ve Roulet C. A., Confidence of Simulation Results: Put a Sensitivity Analysis Module in Your Model: The IEA-ECBCS Annex 23 Experience of Model Evaluation, *Energy and Buildings*, Volume 30, Issue 1, 61-71, 1999
- [101] J. P. Zhao ve P. P. Niu, Study of Natural Ventilation Numerical Simulation on The Effect of Energy Conservation in Typical Building, *Frontiers of Energy and Environmental Engineering*, s 538-542, Aralık 2012,
- [102] A. Alajmi, Energy Audit of an Educational Building in a Hot Summer Climate, *Energy and Buildings* 47, s 122-130, 2012
- [103] H. S. L. C. Hens, Thermal Comfort in Office Buildings: Two Case Studies Commented, *Building and Environment* 44, s 1399-1408, 2009
- [104] E. Z. E. Conceição, M. M. J. R. Lúcio, A.E.B. Ruano, E.M. Crispim, Development of a Temperature Control Model Used in HVAC Systems in School Spaces in Mediterranean Climate, *Building and Environment* 44, S 871-877, 2009
- [105] G. Grigoletti, M. A. Sattler ve A. Morello, Analysis of the thermal behaviour of a low cost, single-family, more sustainable house in Porto Alegre, Brazil, *Energy and Buildings* 40, s 1961-1971, 2008
- [106] E. Ghisi ve R. F. Massignani, Thermal Performance of Bedrooms in a Multi-Storey Residential Building in Southern Brazil, *Building and Environment* 42, s 730-742, 2007
- [107] Sensor Installation Handbook, <https://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=A6V10366334>, Erişim Mayıs 2016,
- [108] Room Sensor and Thermostat, [http://www.kmcccontrols.com/images/agiods\\_files/downloads/AG\\_Sensor\\_Mounting\\_AG150119A.pdf](http://www.kmcccontrols.com/images/agiods_files/downloads/AG_Sensor_Mounting_AG150119A.pdf), Erişim Mayıs 2016,
- [109] Anonim, Design Builder Binalarda Enerji Simülasyonu Programı, <http://www.designbuilder.co.uk/>, erişim Aralık 2015
- [110] Meteorolog Global Meteorological Database, Handbook Part I: Software, V 7.1, Temmuz 2015
- [111] Anonim, <http://www.sisecamduzcam.com/C/182/0/Performans%20Tablolar%C4%B1>, Erişim Aralık 2015
- [112] Binalarda Isı Yalıtım Kuralları ve Standardı (TS 825), 2009

- [113] Anonim, Acar O., Dr. Okan Acar'ın İnternet Sitesi, <http://www.okanacar.com/2013/06/net-bugunku-deger-ve-ic-karllk-oran.html>, Net bugünkü Değer ve İç karlılık Oranı Hesaplaması ile Uygun proje seçimi, erişim Aralık 2015
- [114] Anonim, [www.esgaz.com.tr](http://www.esgaz.com.tr), Eskişehir Şehiriçi Doğal Gaz Dağıtım Tic. ve Tah. A.Ş., erişim Aralık 2015
- [115] Anonim, <http://www.osmangaziedas.com.tr/Eskisehir>, Osmangazi Elektrik Dağıtım A.Ş., erişim Aralık 2015

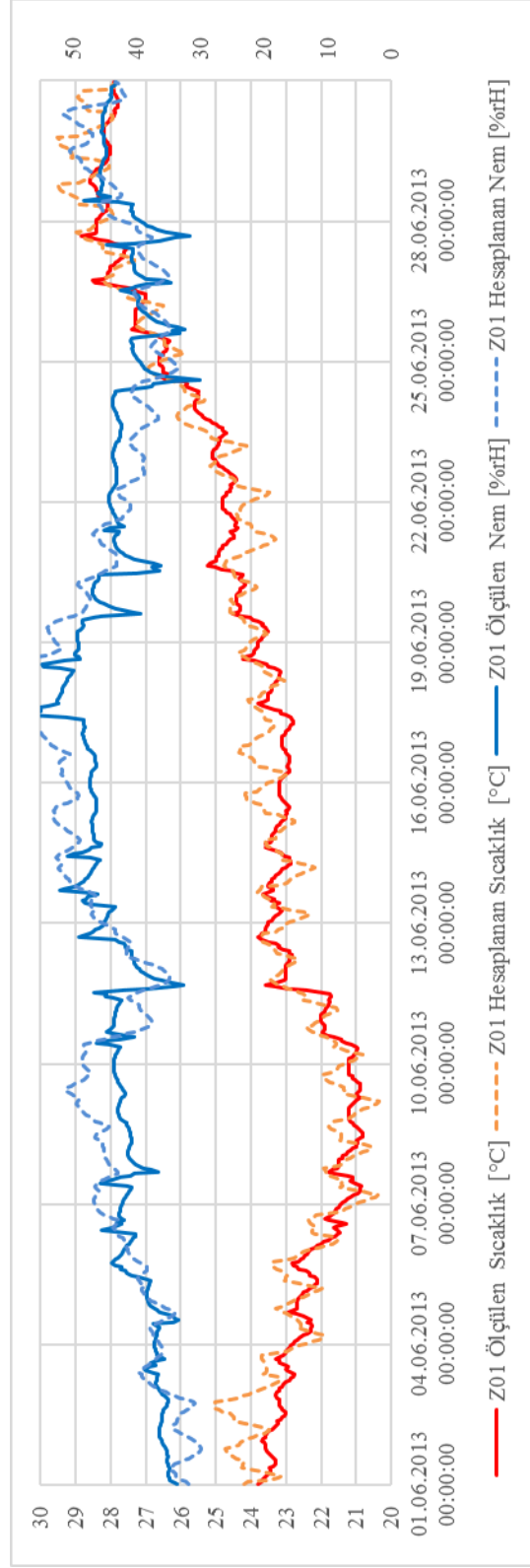
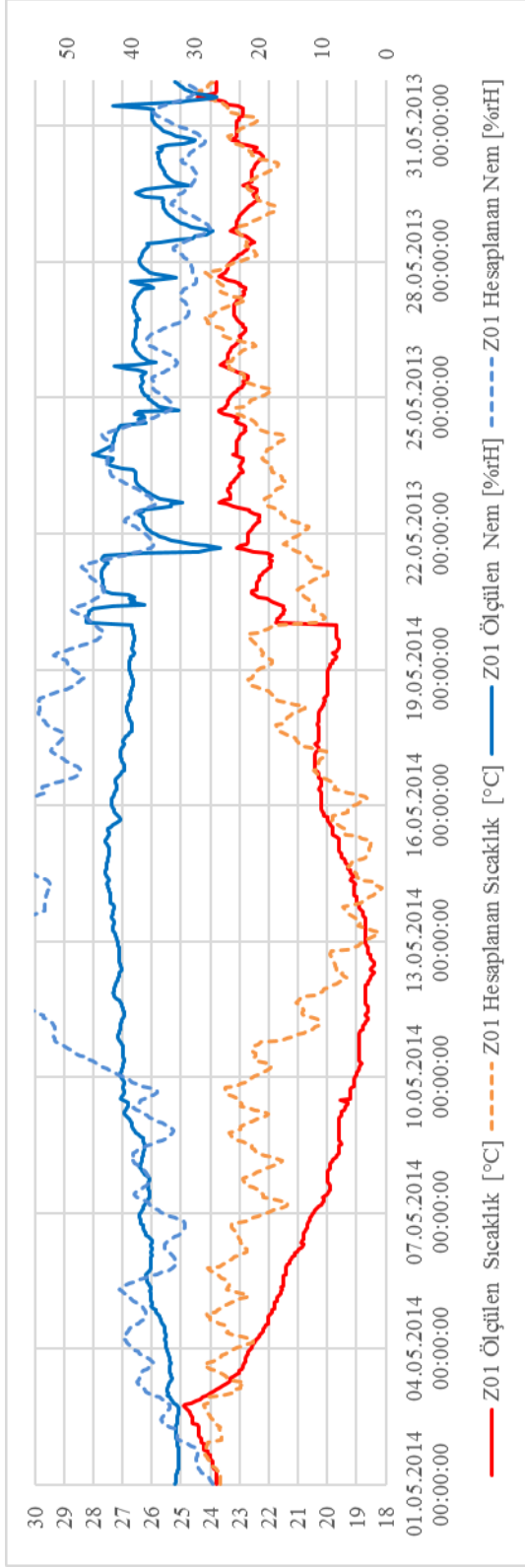
## EK-1 ÖLÇÜLEN VE HESAPLANAN İÇ SICAKLIK VE BAĞIL NEM DEĞERLERİ



Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki Z01 ofisinin Ocak ve Şubat ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık (°C) ve bağıl nem (rH) değerleri

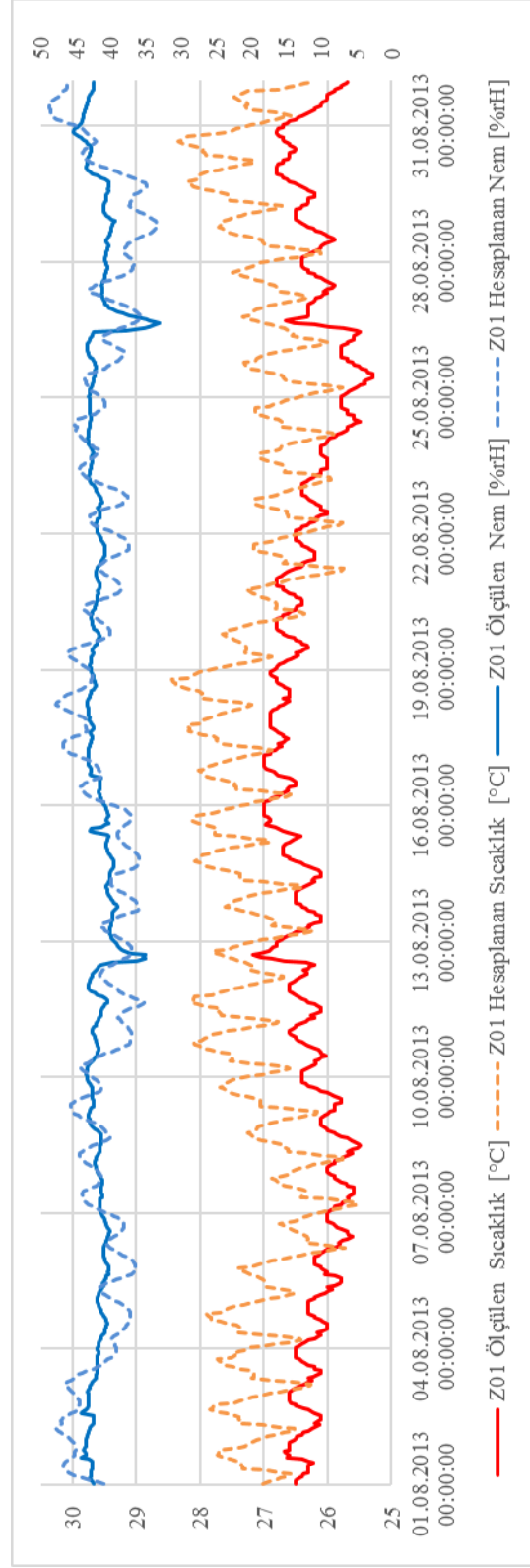
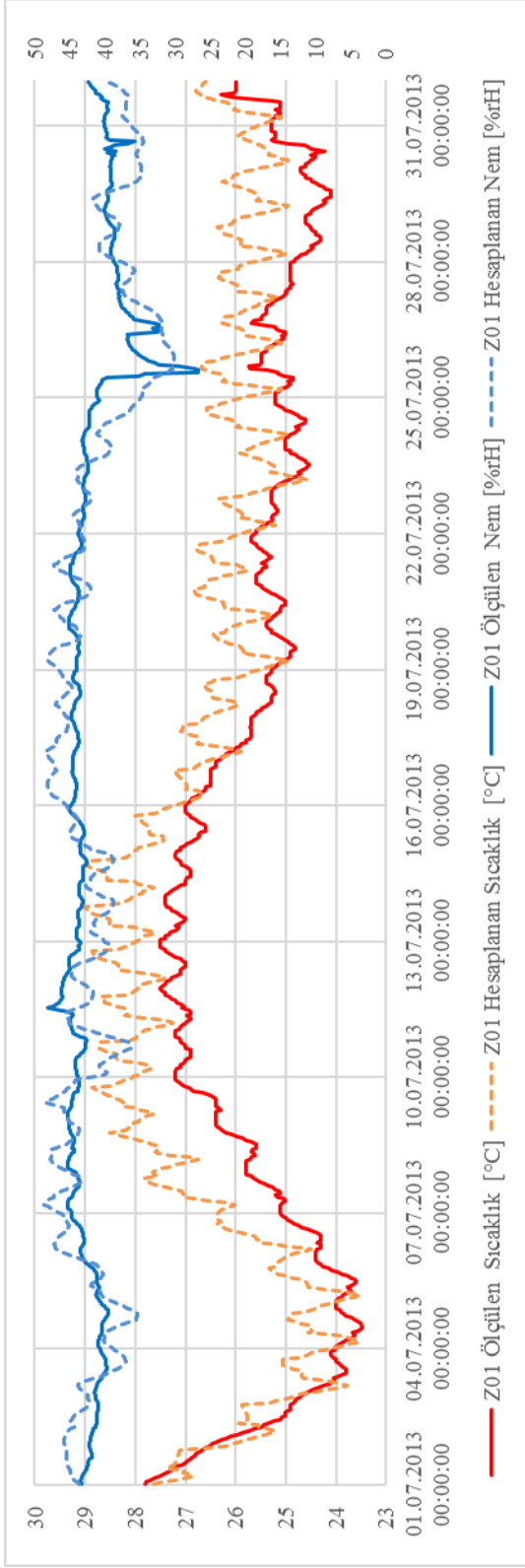


Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki Z01 ofisinin Mart ve Nisan ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri

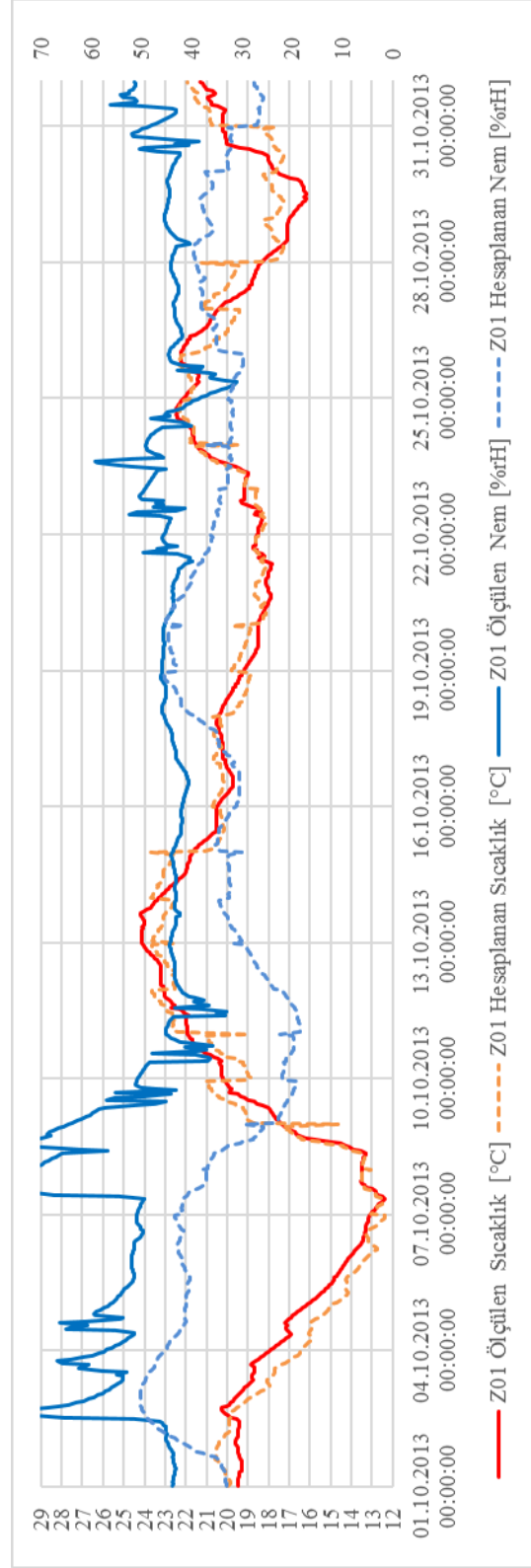
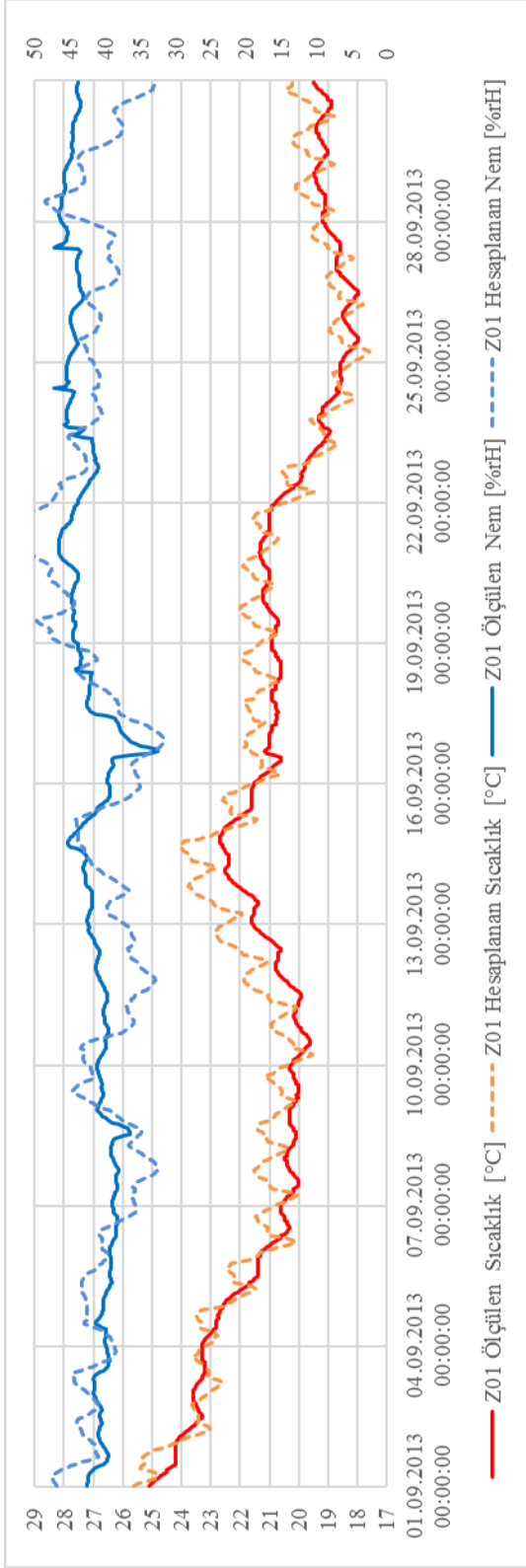


Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki Z01 ofisinin Mayıs ve Haziran ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri

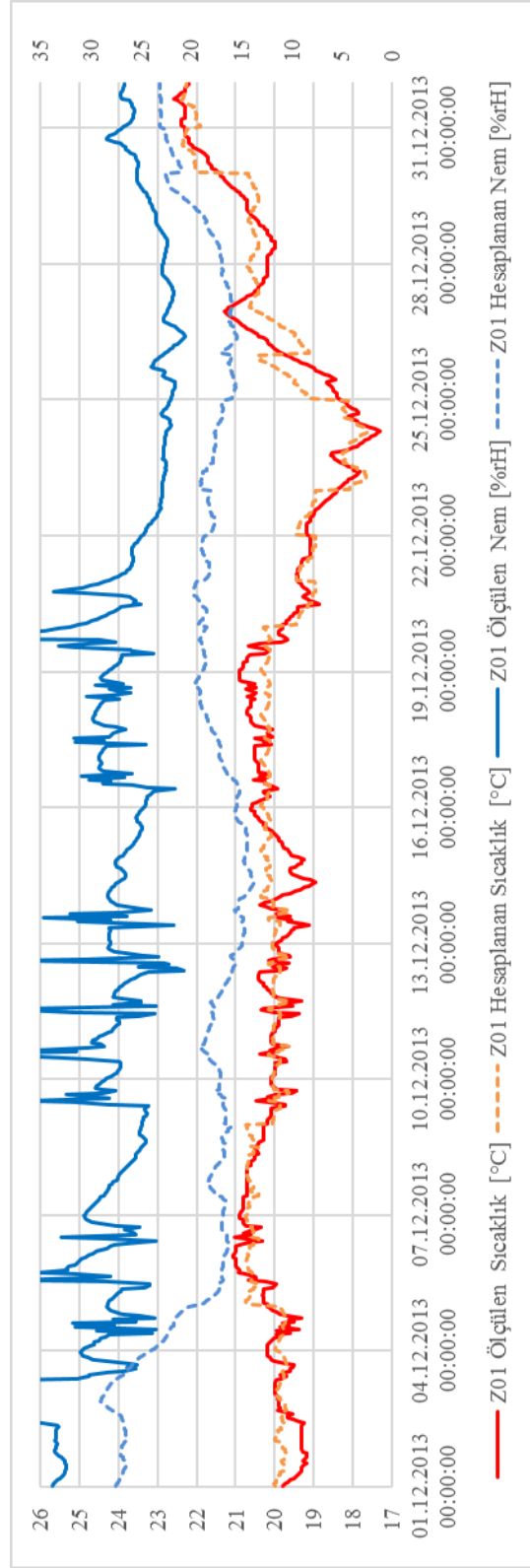
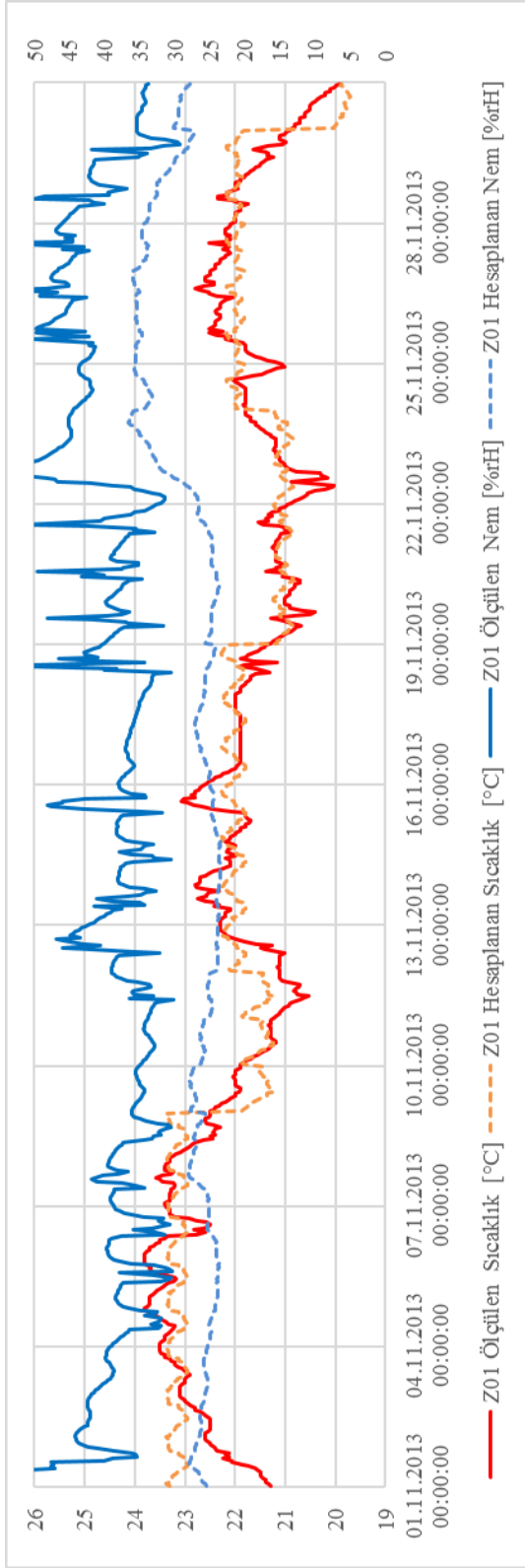




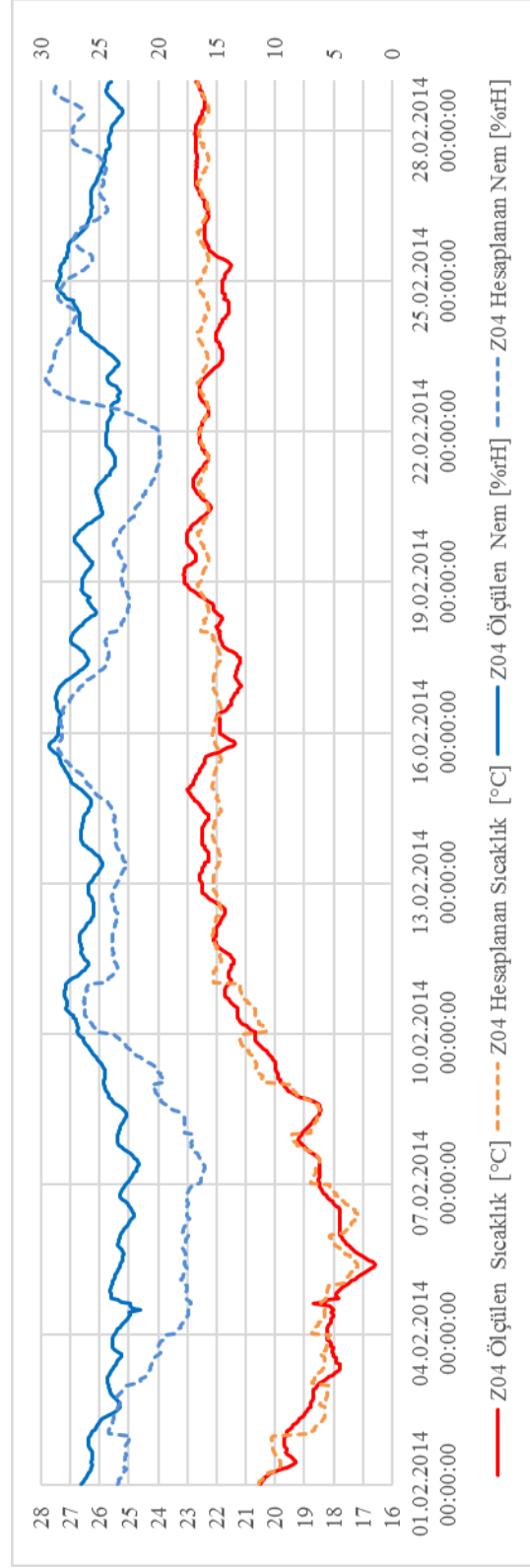
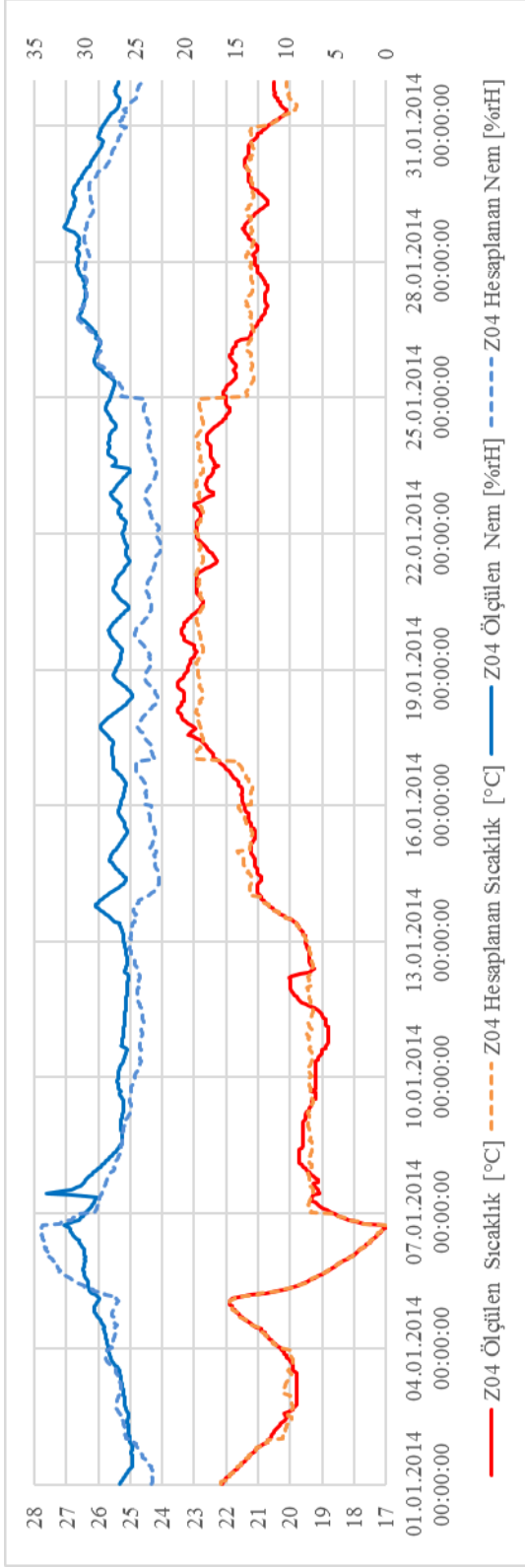
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki Z01 ofisinin Temmuz ve Ağustos ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri



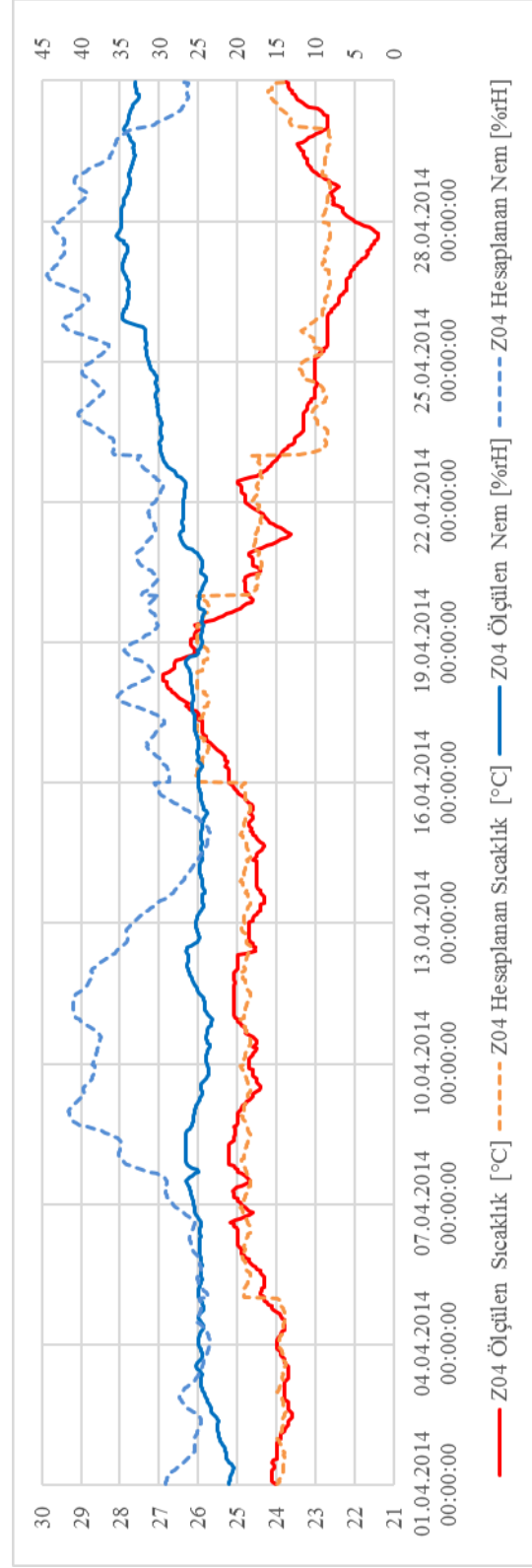
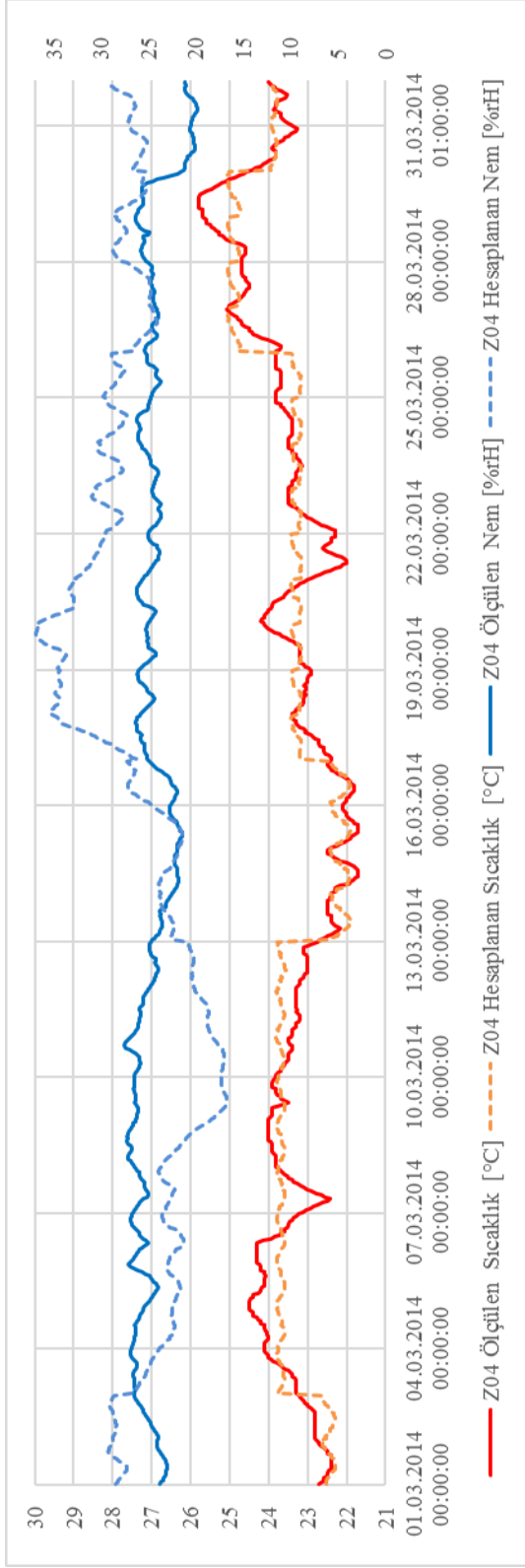
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki Z01 ofisinin Eylül ve Ekim ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri



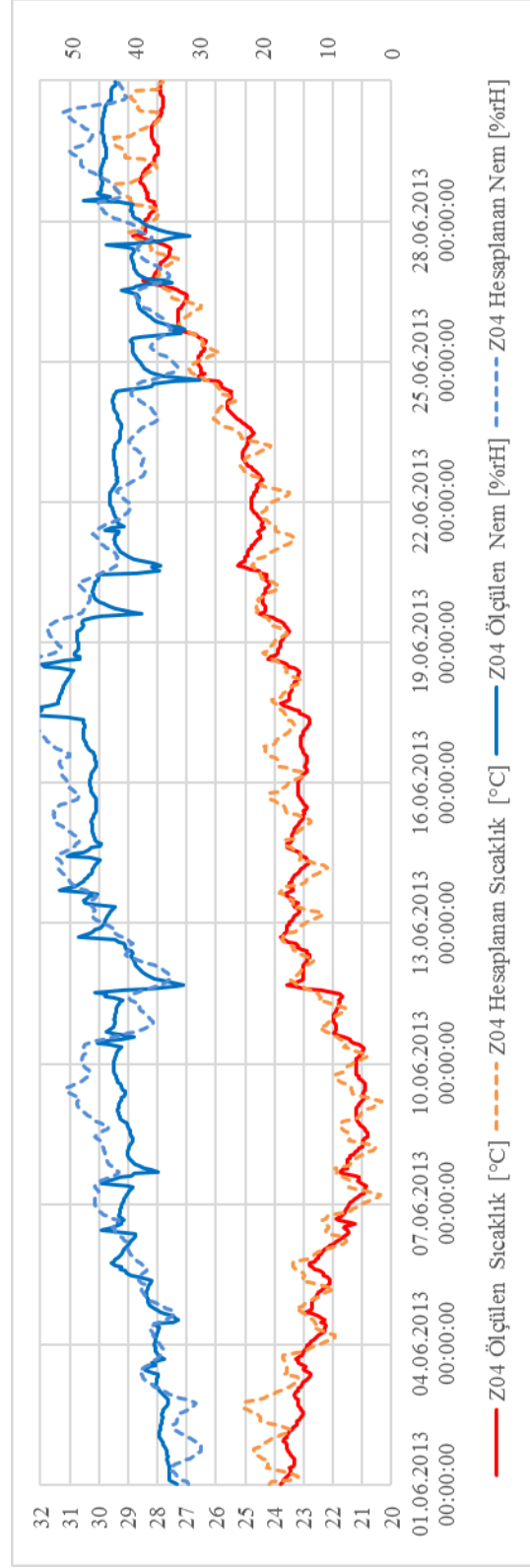
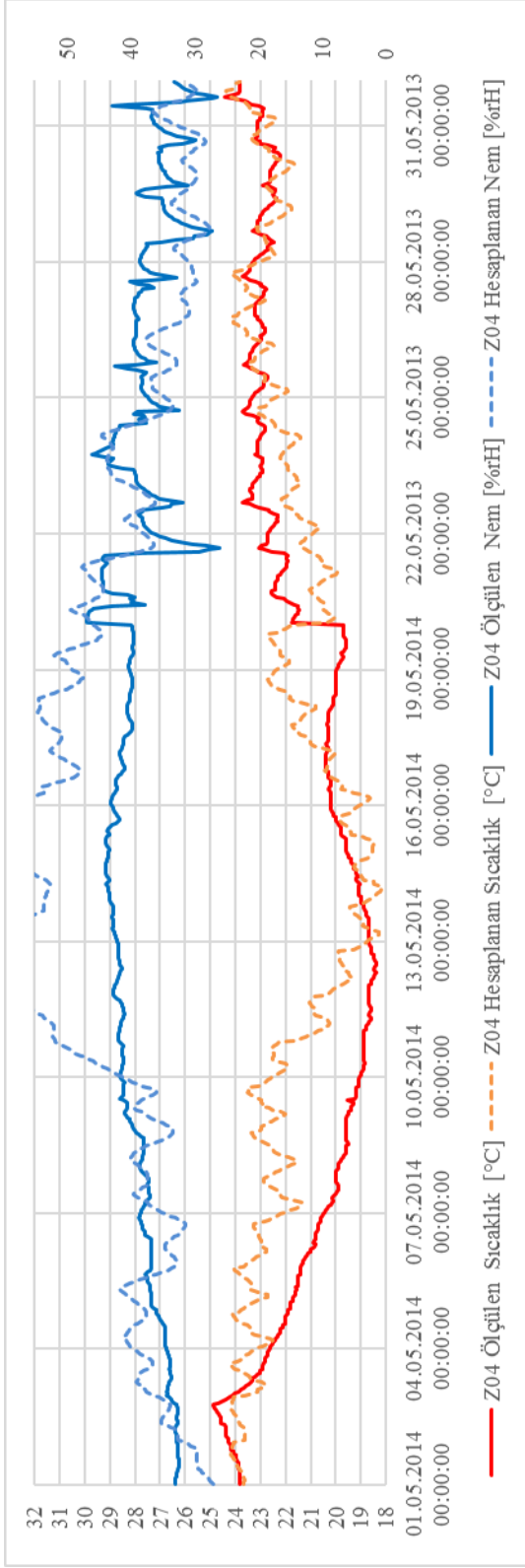
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki Z01 ofisinin Kasım ve Aralık ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri



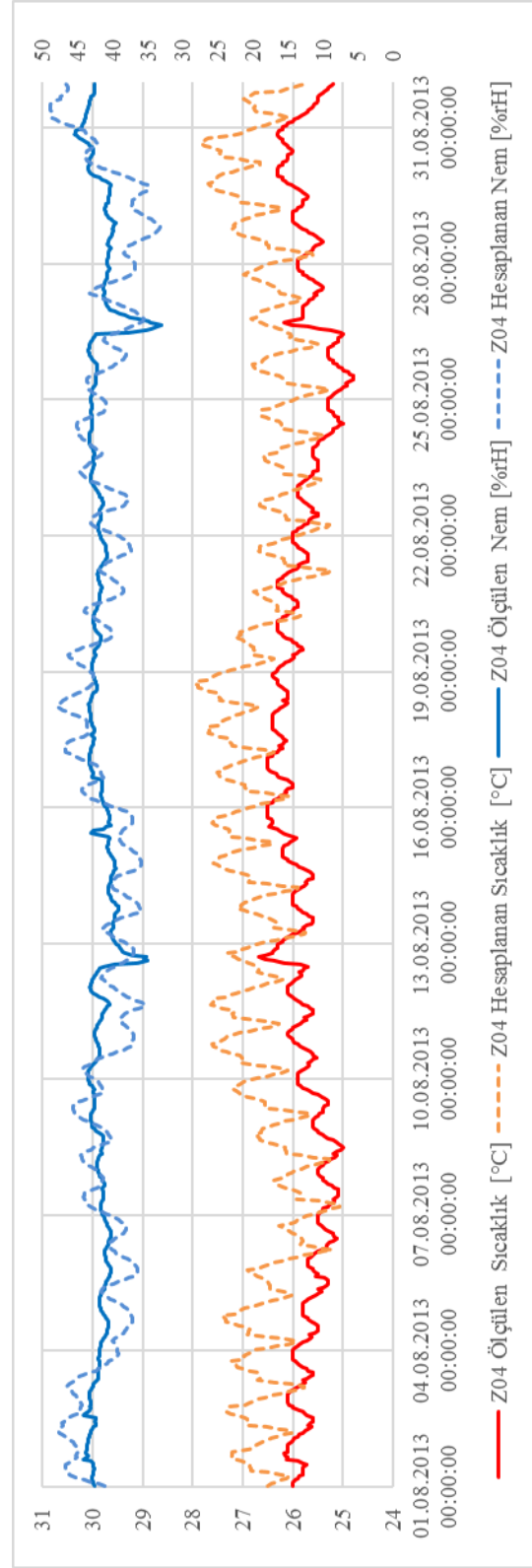
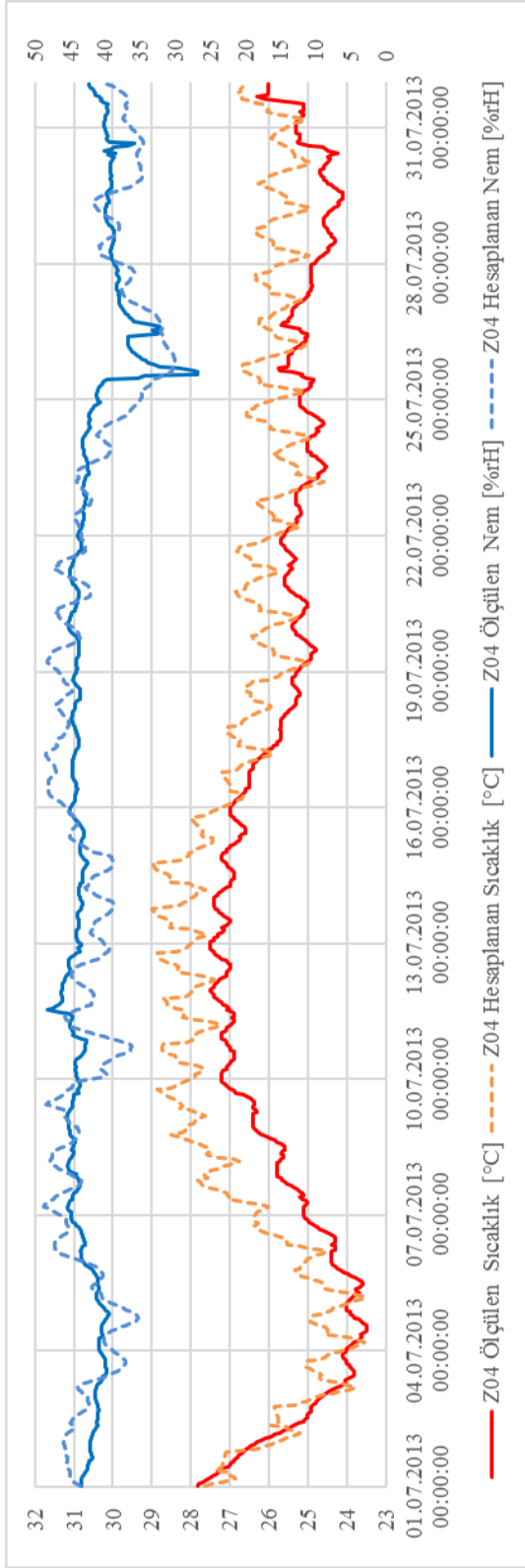
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki Z04 ofisinin Ocak ve Şubat ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri



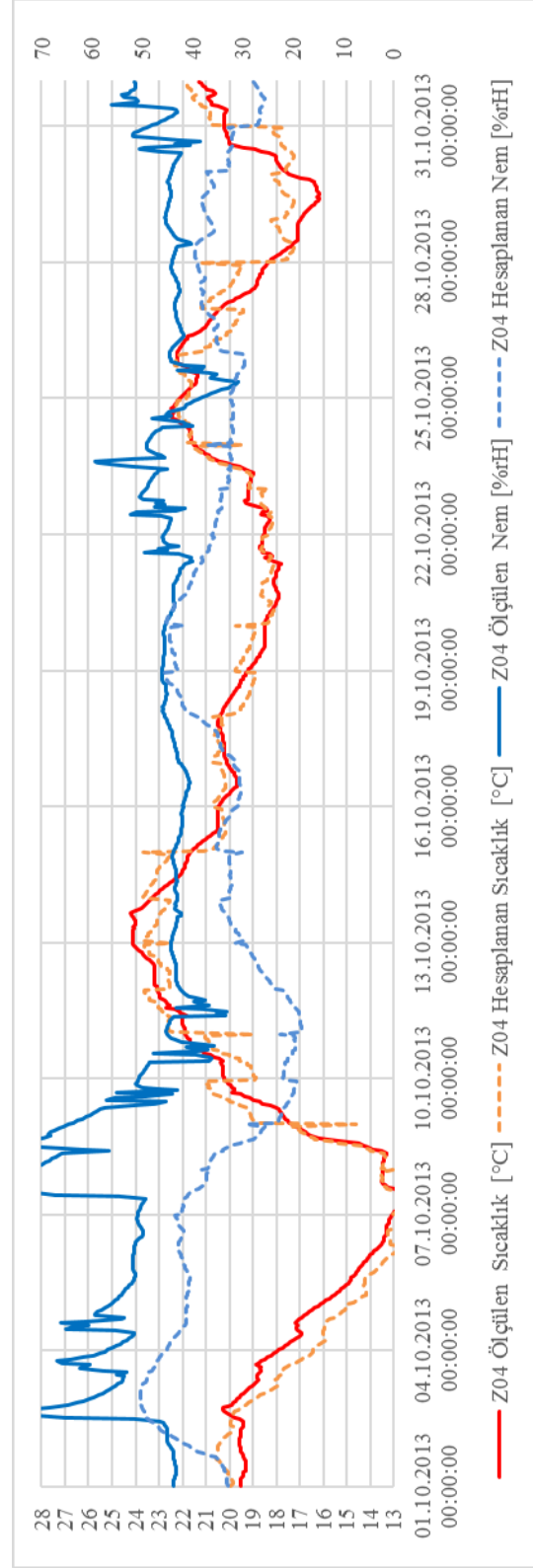
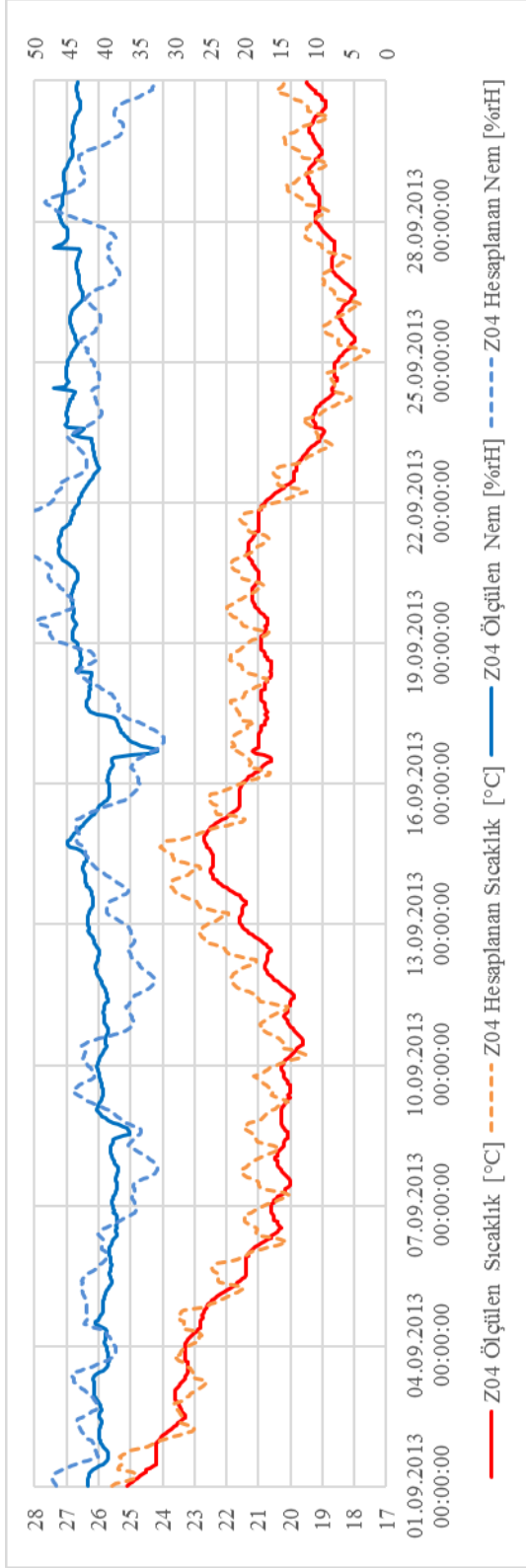
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki Z04 ofisinin Mart ve Nisan ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri



Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki Z04 ofisinin Mayıs ve Haziran ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri

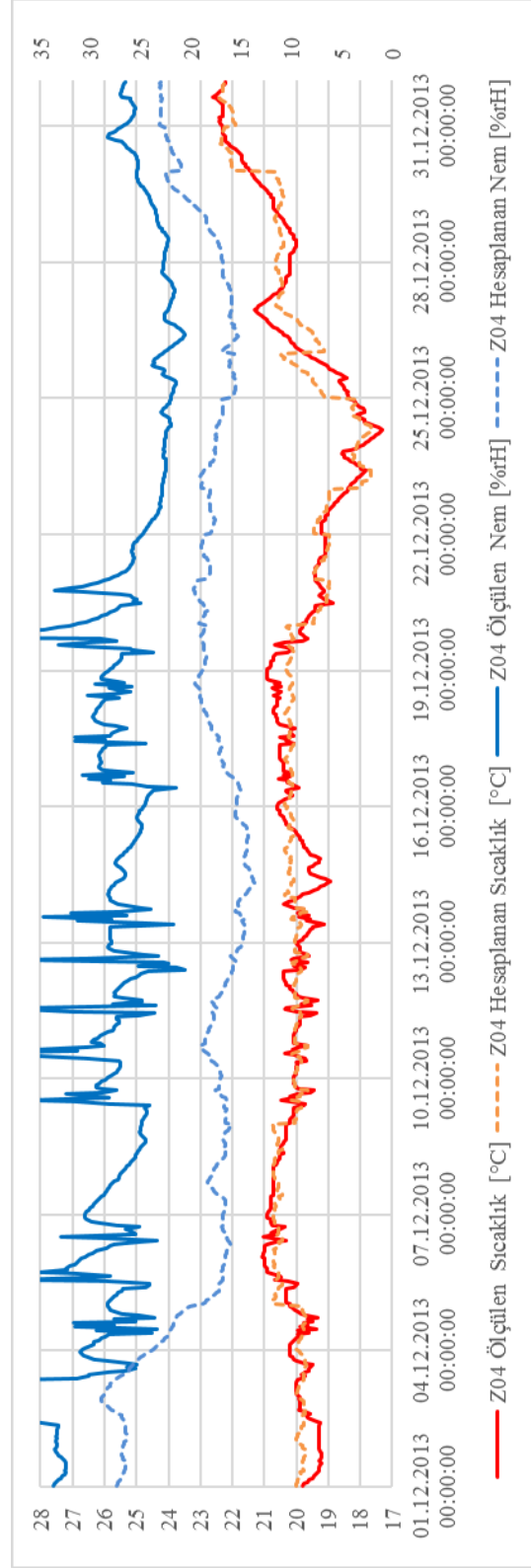
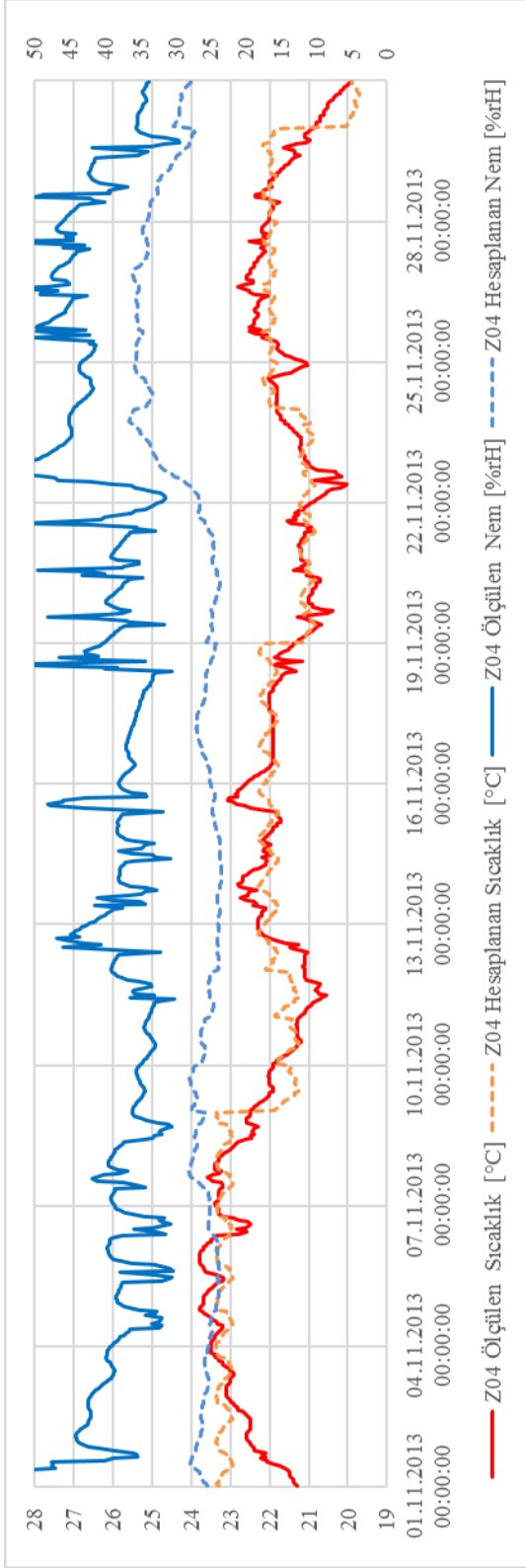


Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki Z04 ofisinin Temmuz ve Ağustos ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri

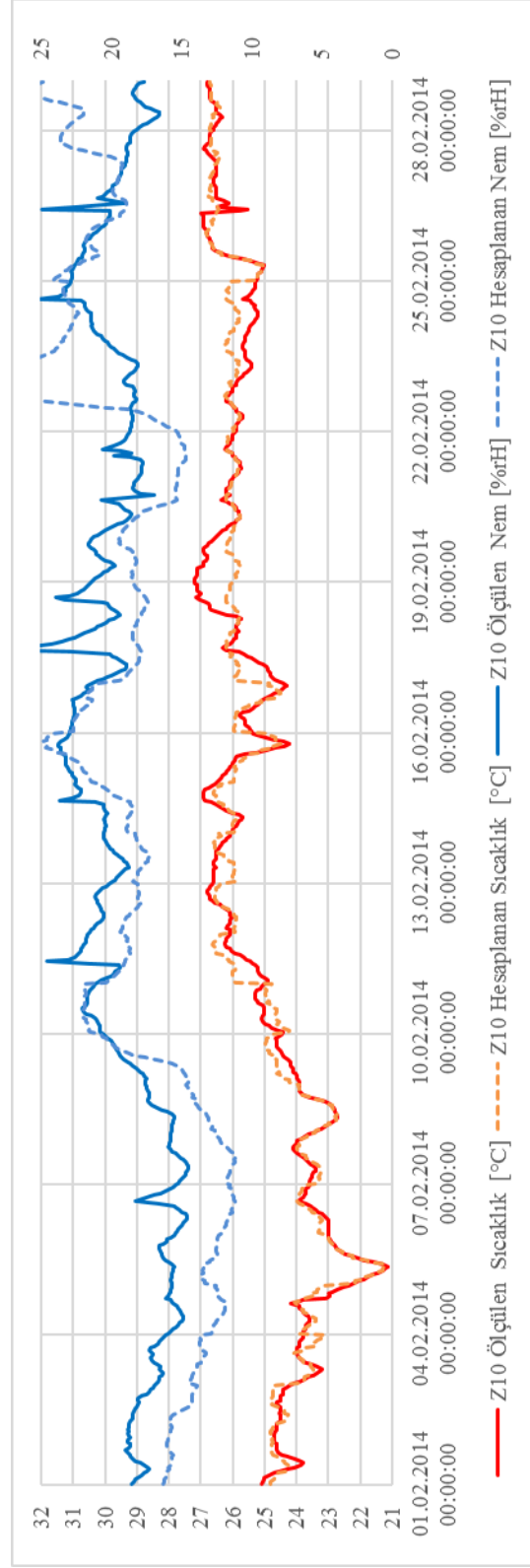
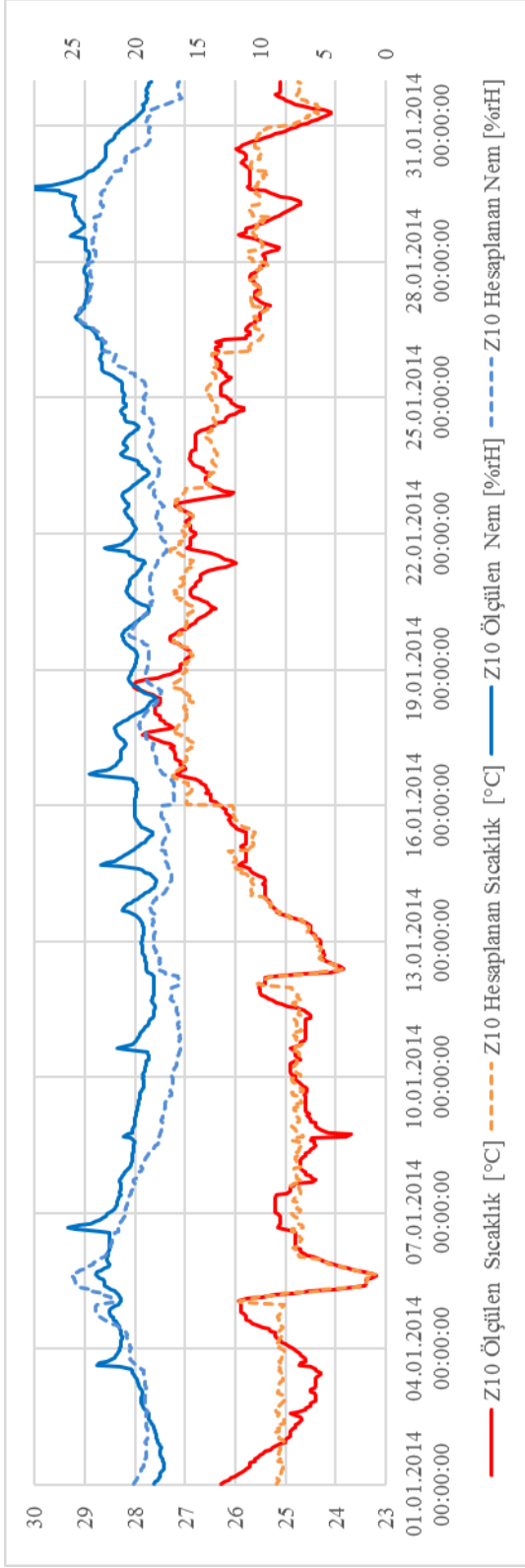


Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki Z04 ofisinin Eylül ve Ekim ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri

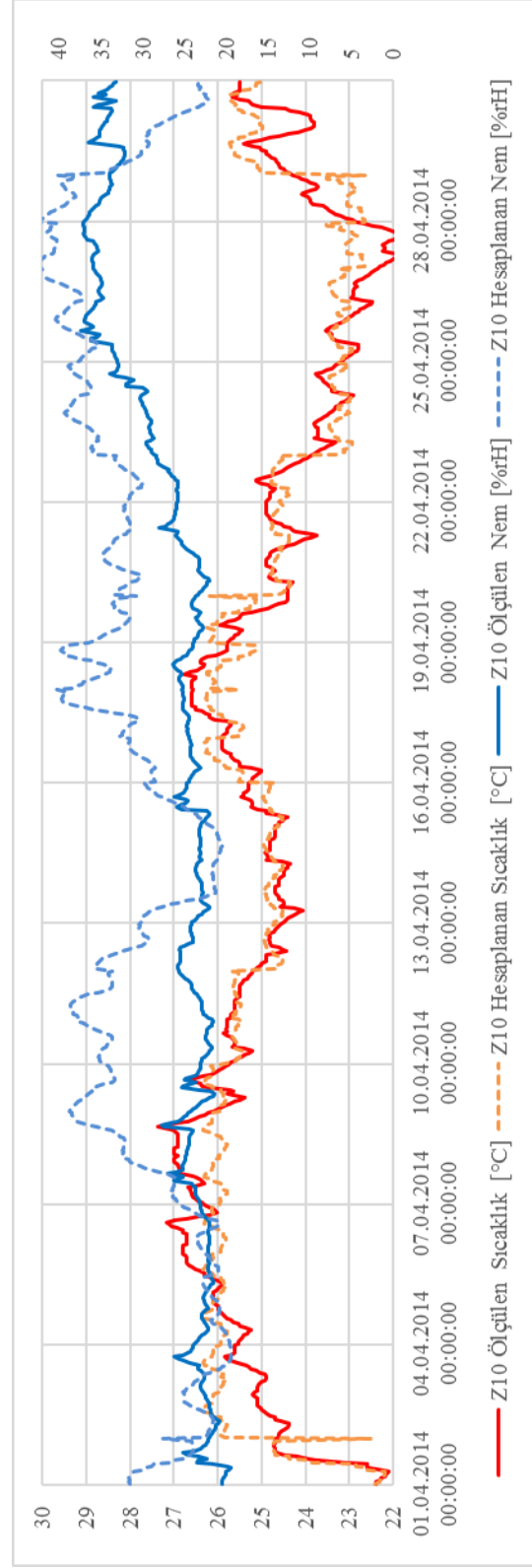
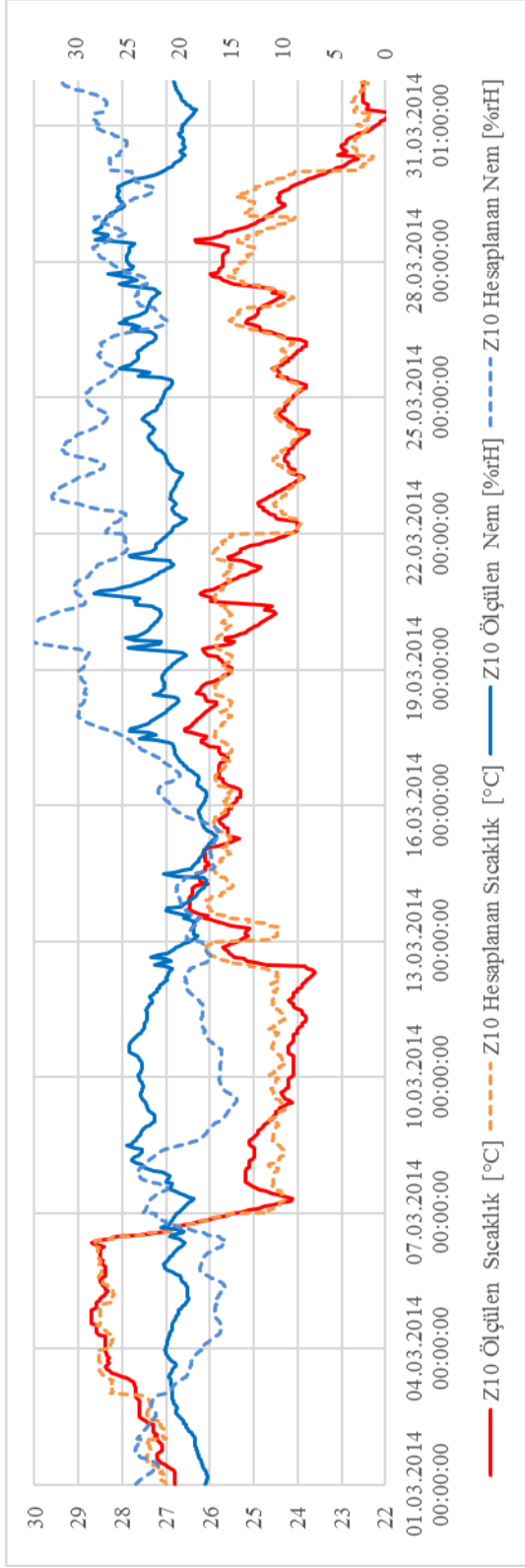




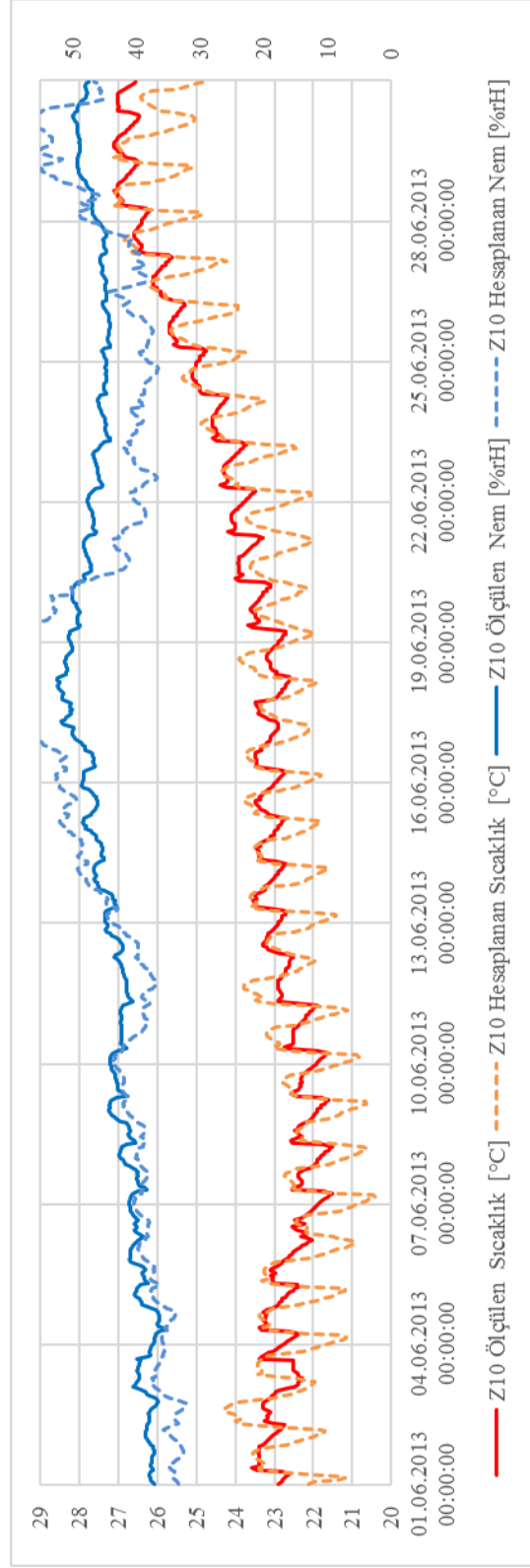
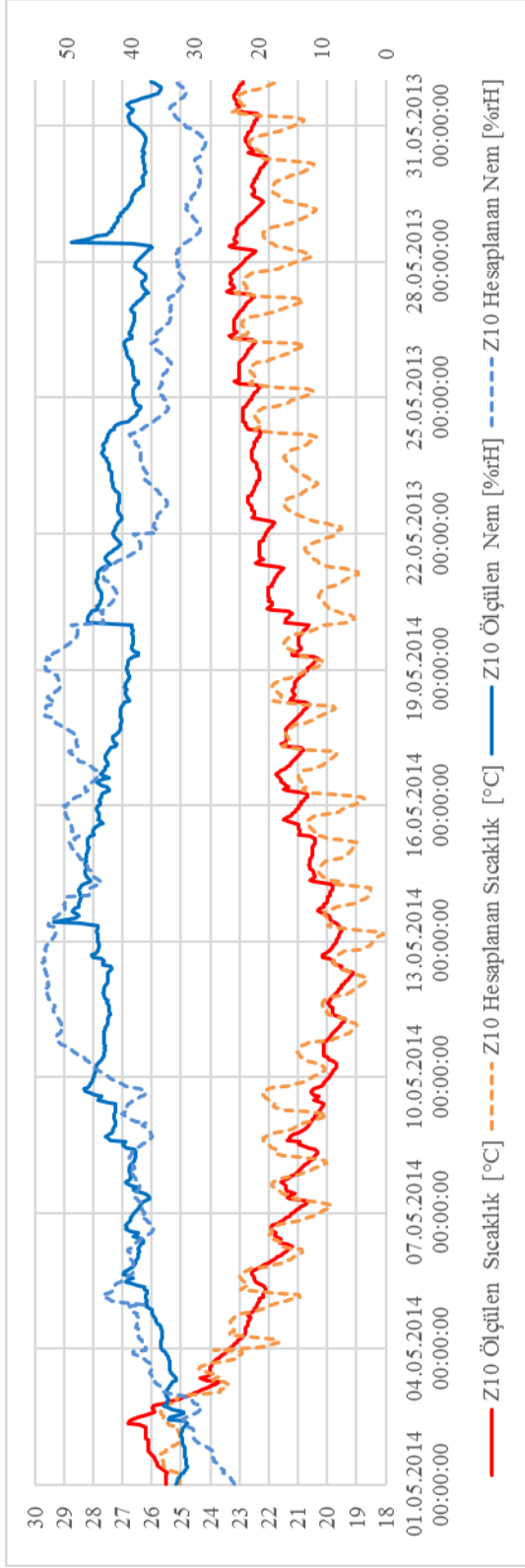
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki Z04 ofisinin Kasım ve Aralık ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri



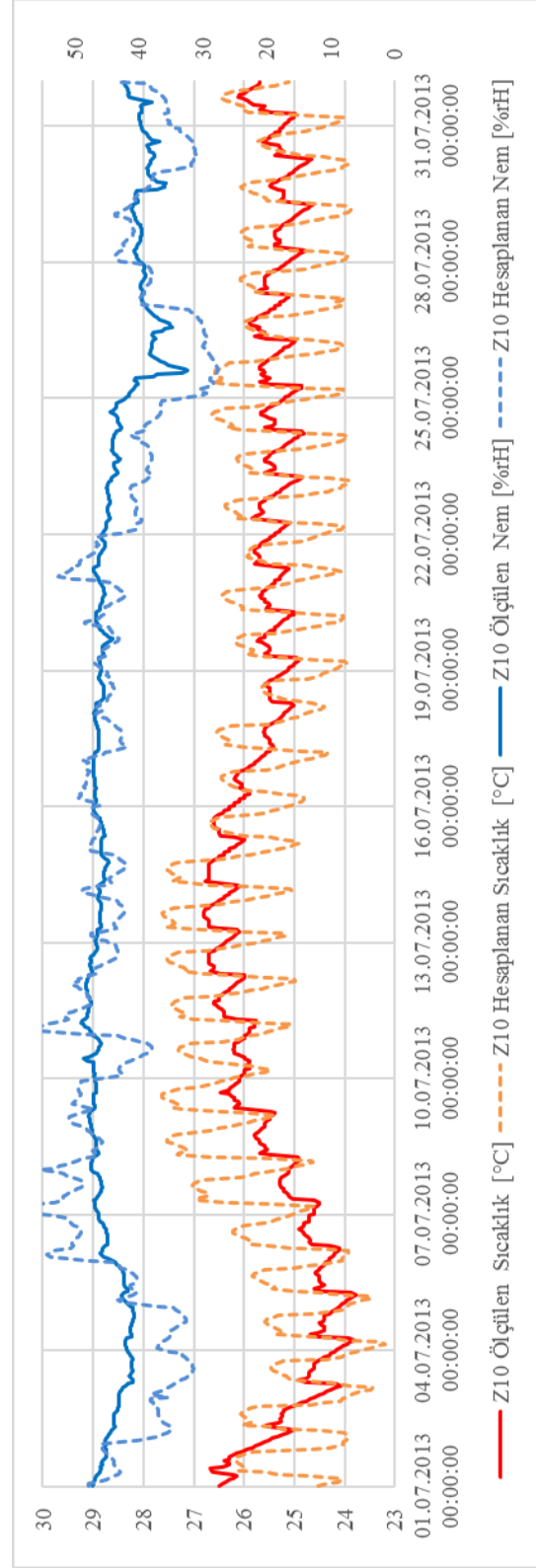
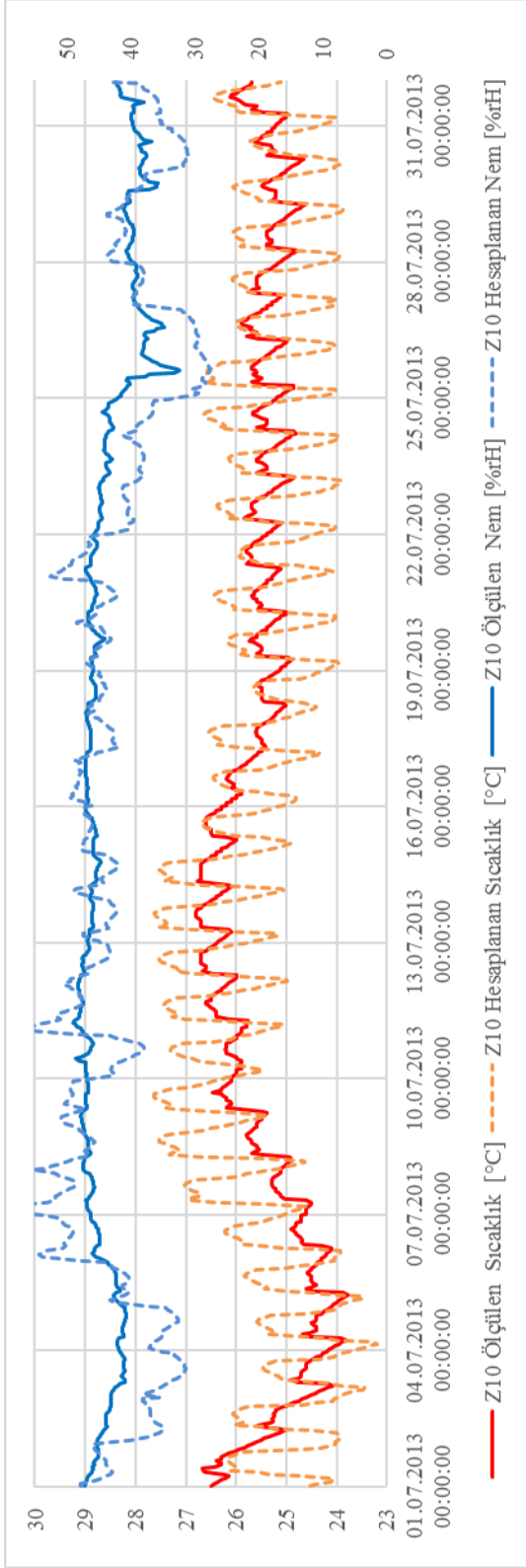
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki Z10 ofisinin Ocak ve Şubat ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri



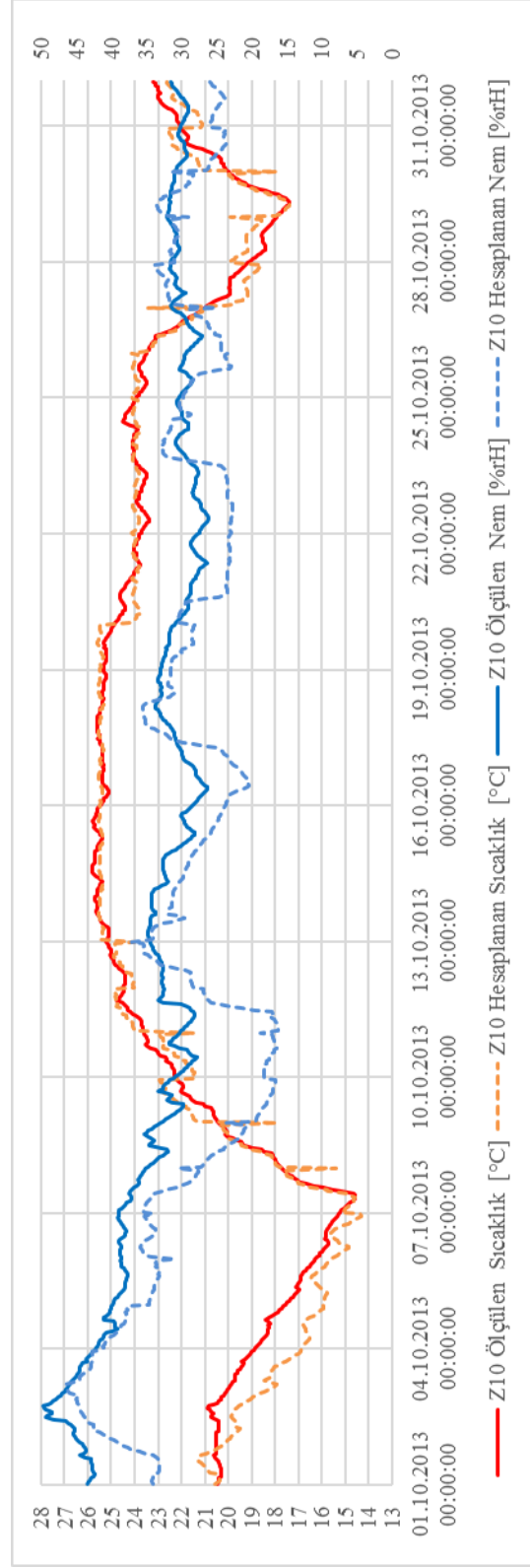
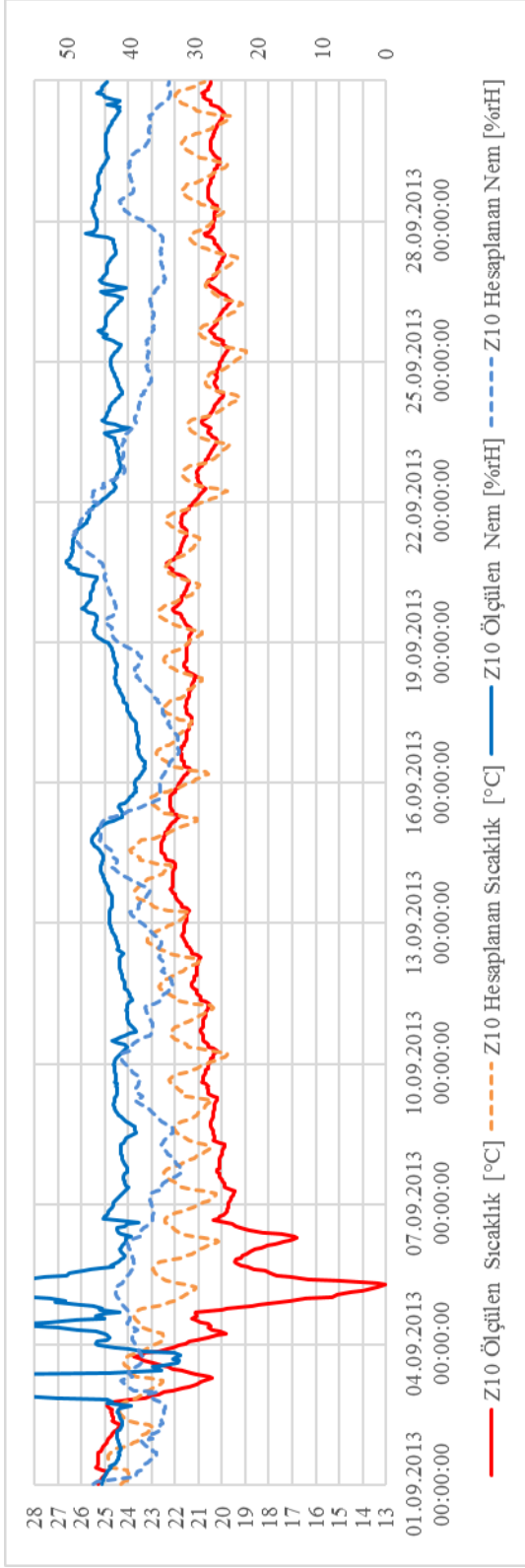
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki Z10 ofisinin Mart ve Nisan ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri



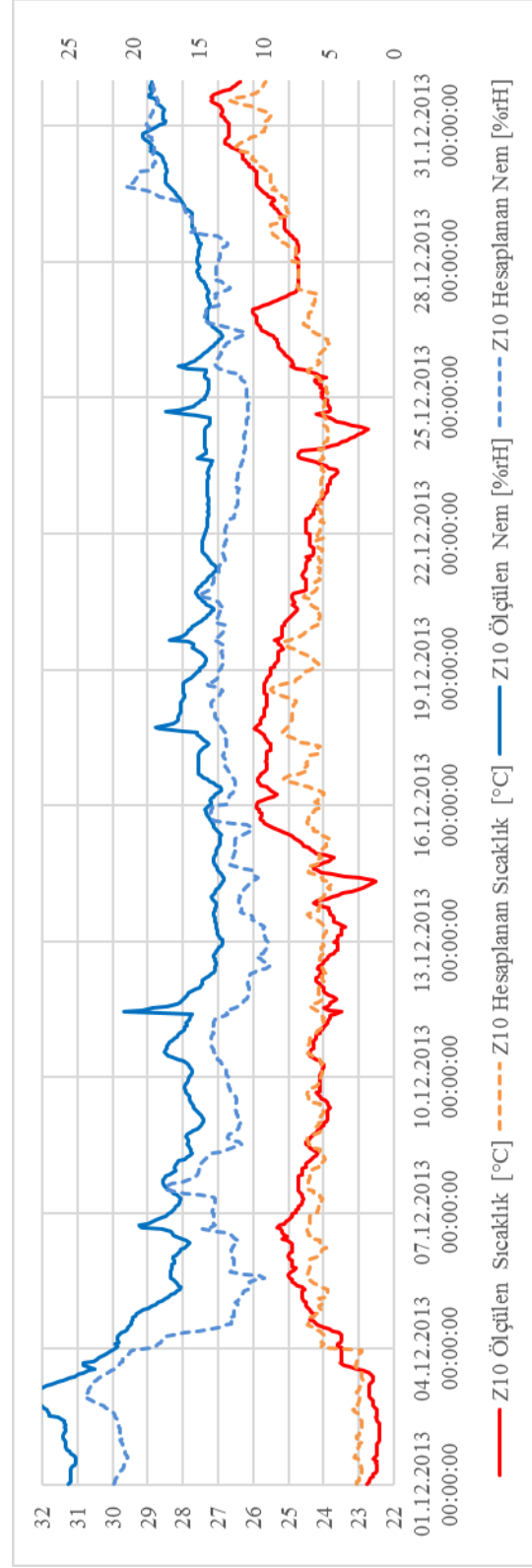
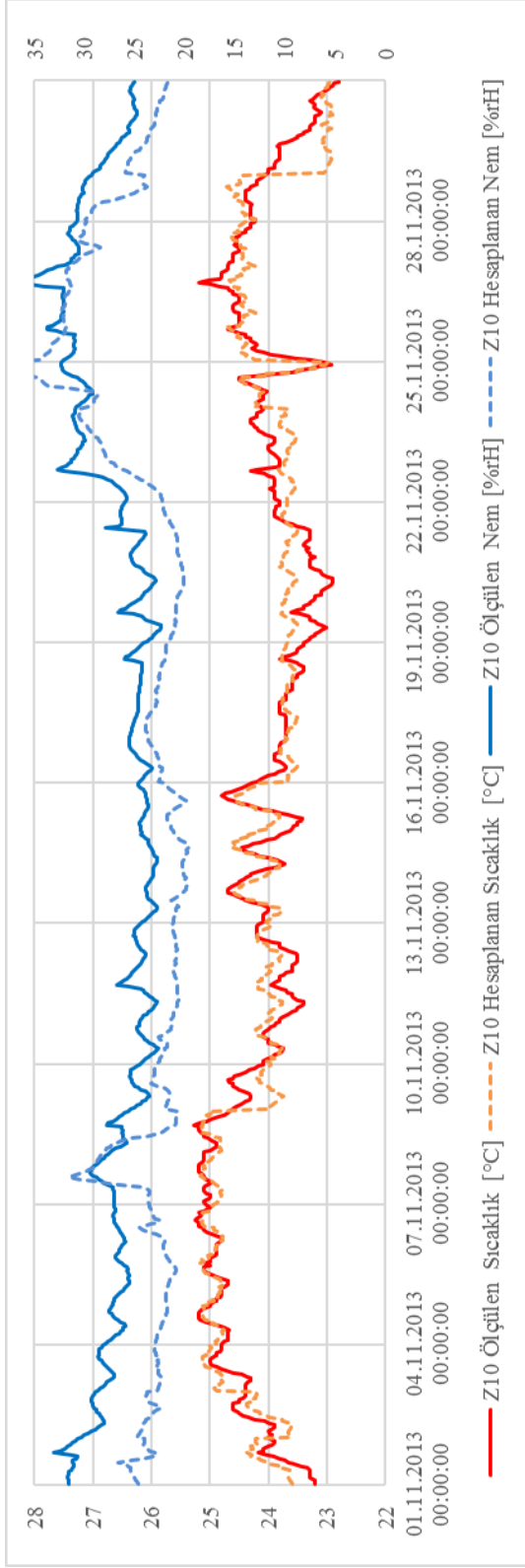
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki Z10 ofisinin Mayıs ve Haziran ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri



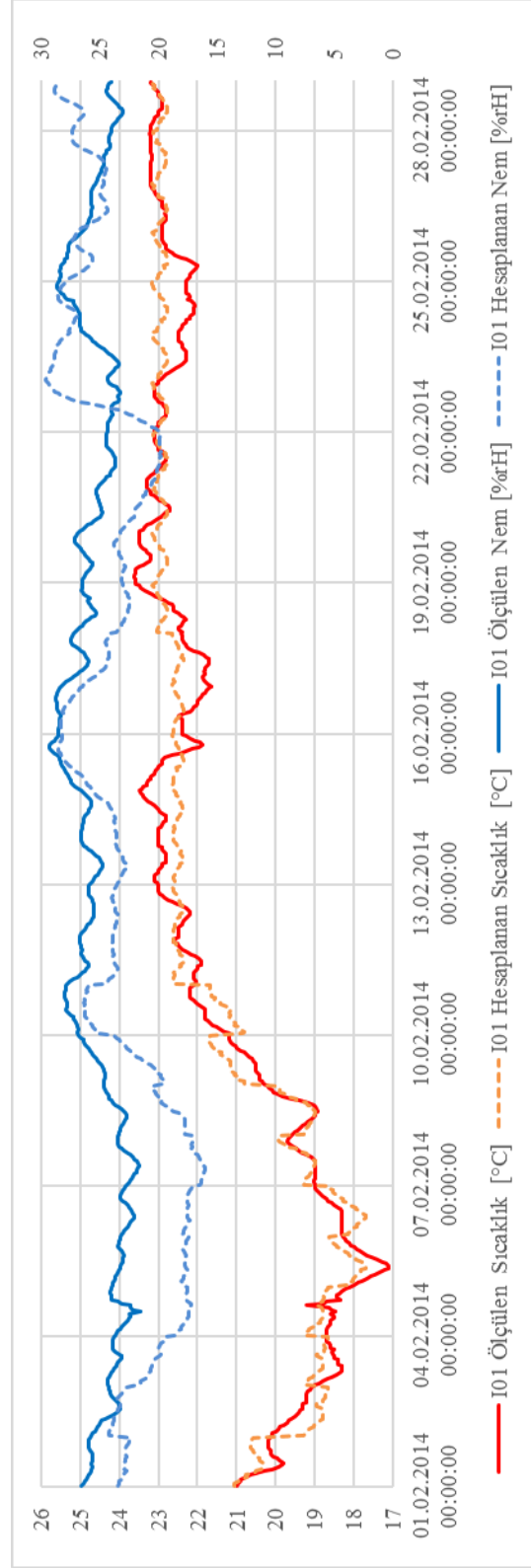
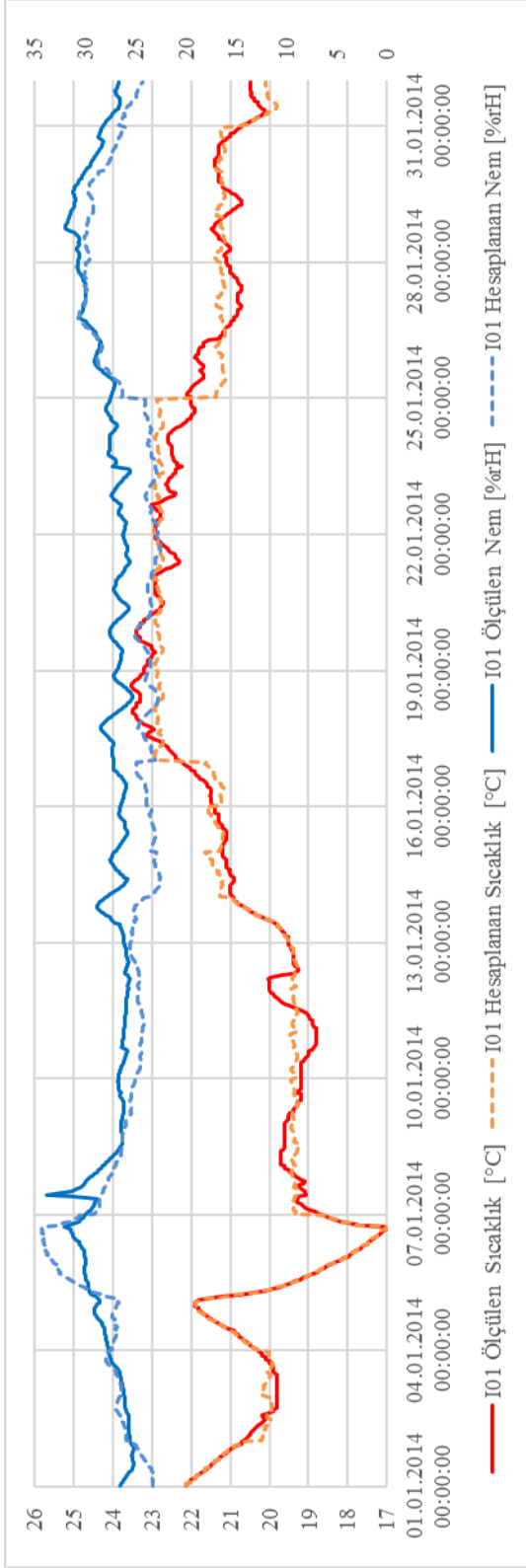
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki Z10 ofisinin Temmuz ve Ağustos ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri



Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki Z10 ofisinin Eylül ve Ekim ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri

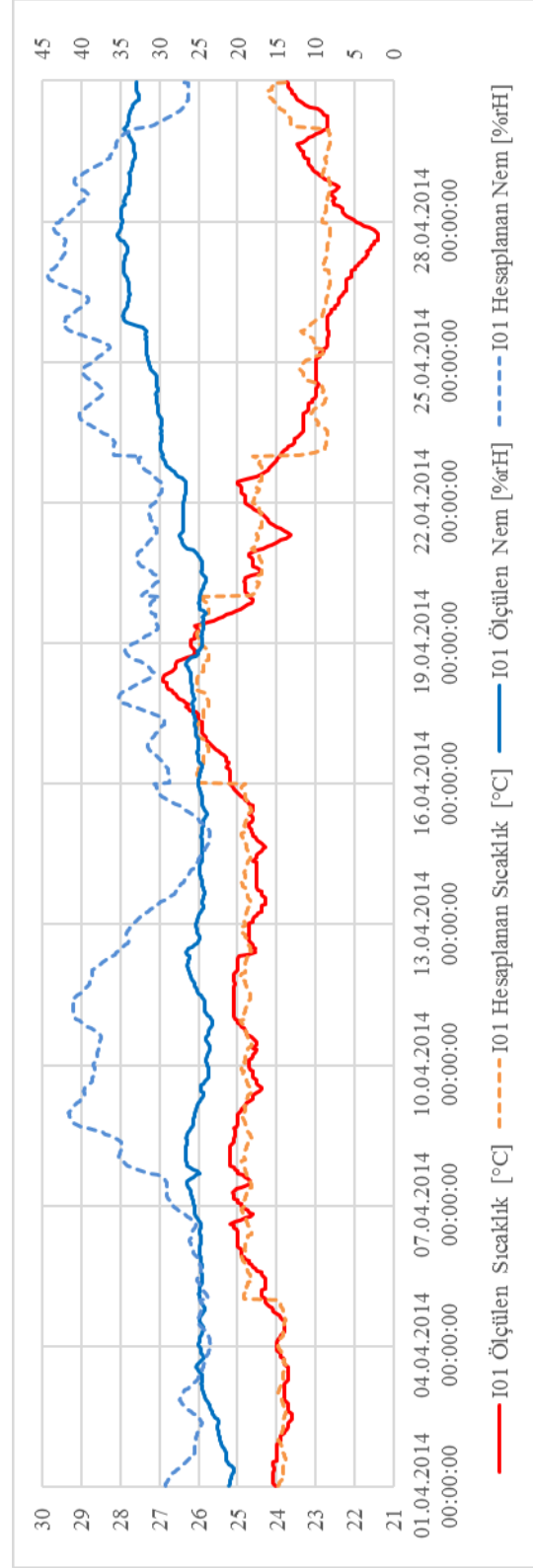
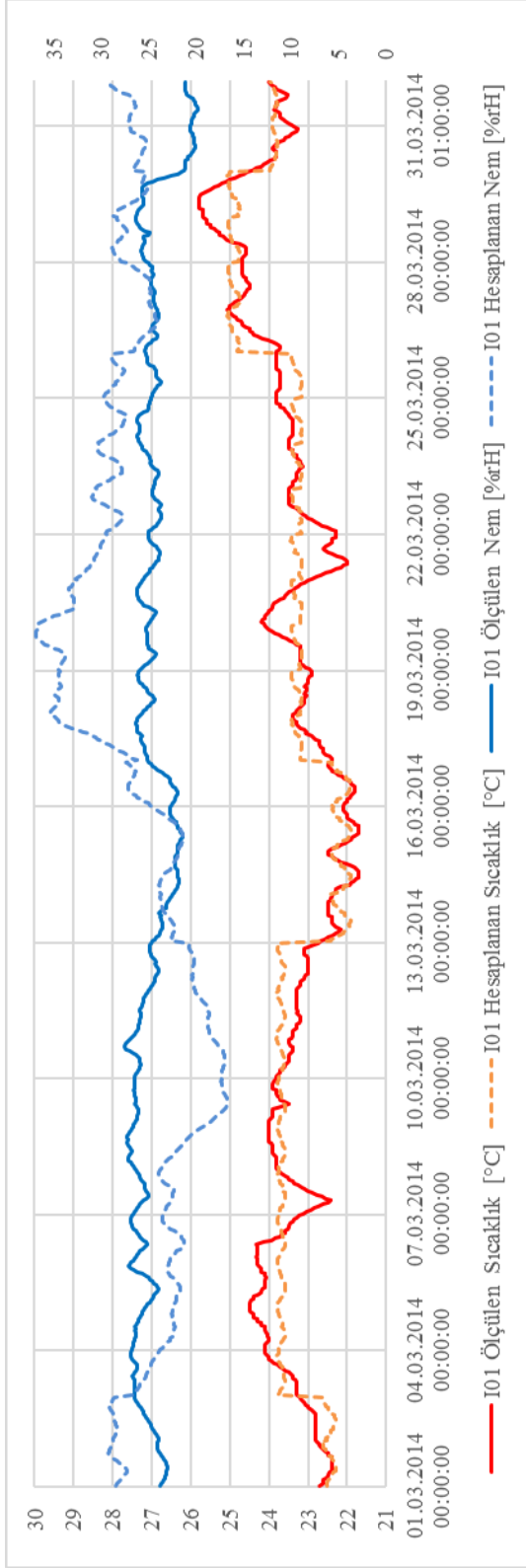


Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki Z10 ofisinin Kasım ve Aralık ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri

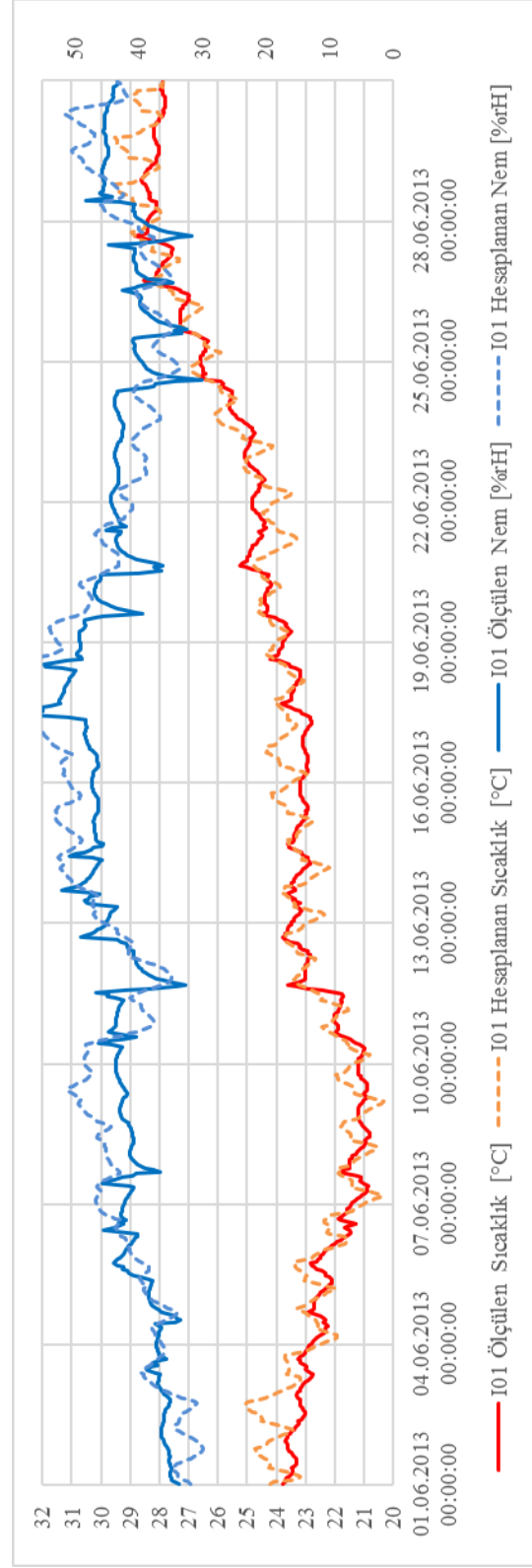
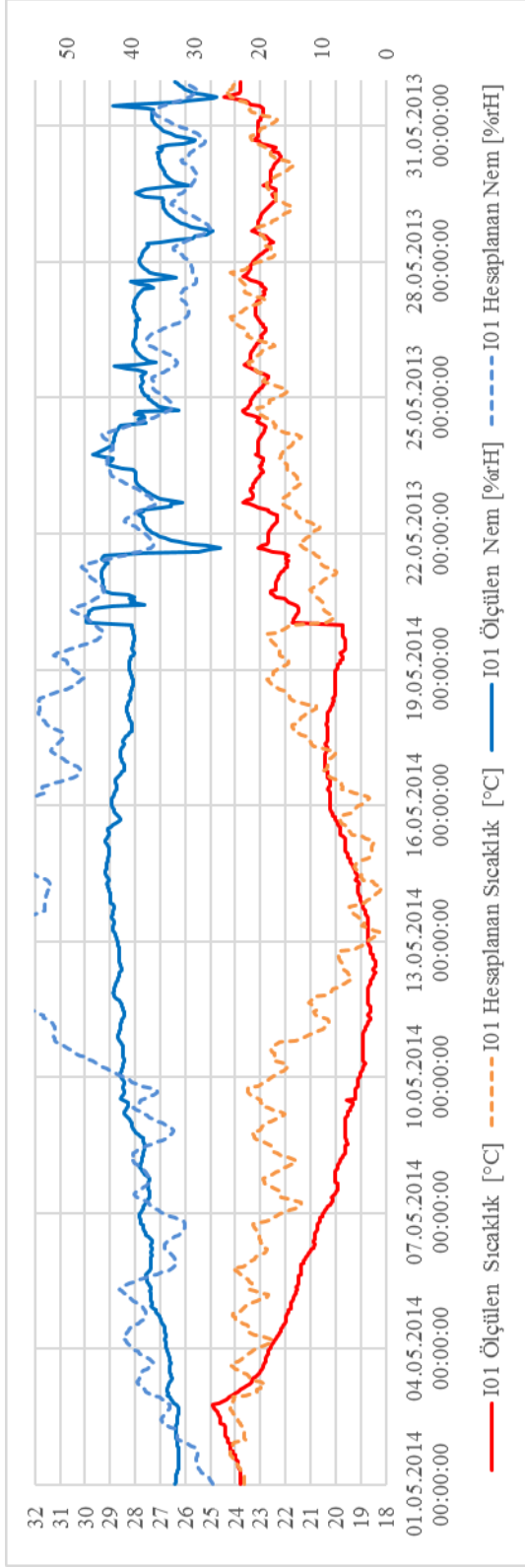


Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki I01 ofisinin Ocak ve Şubat ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri

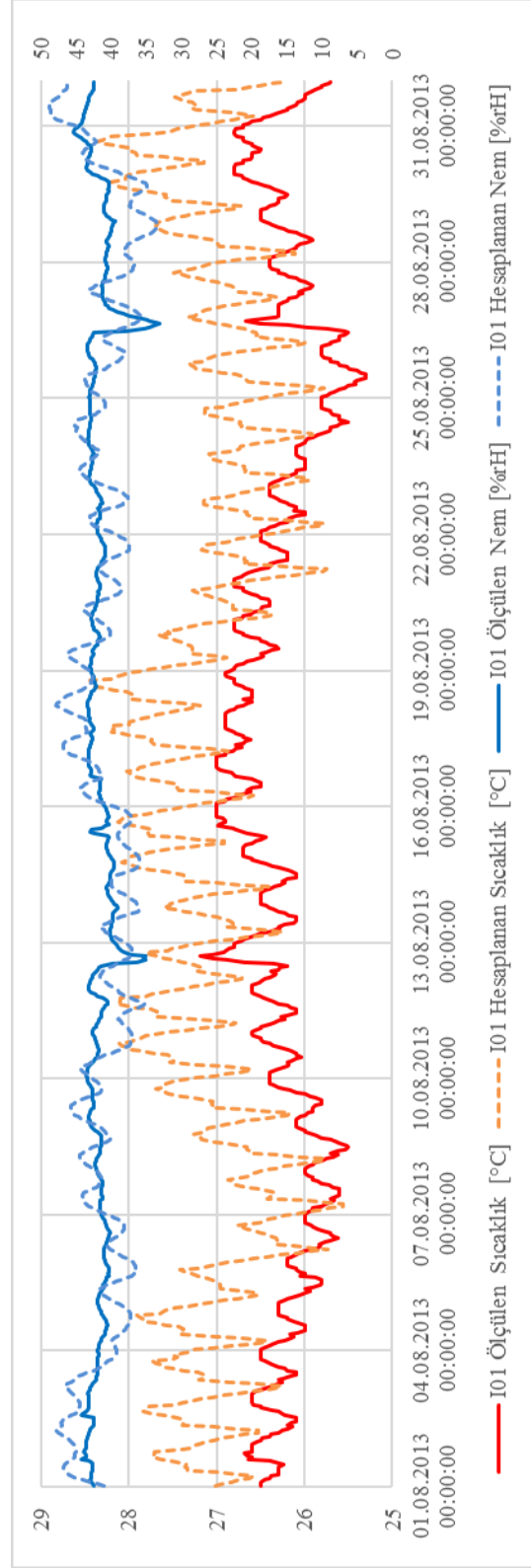
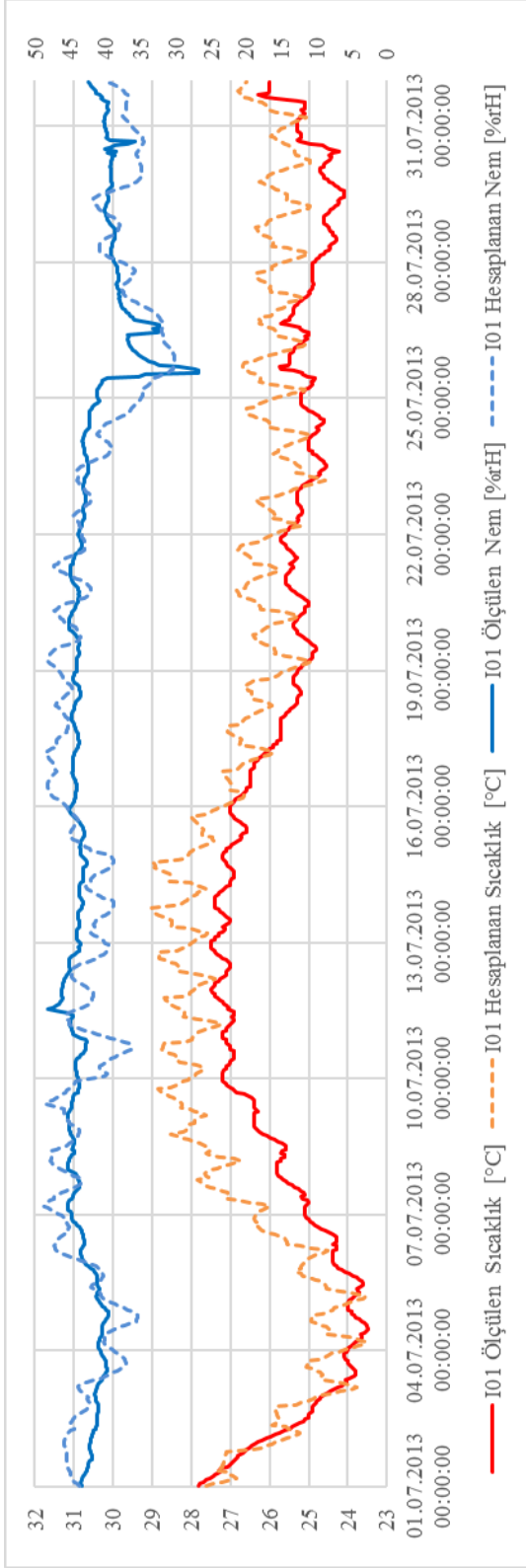




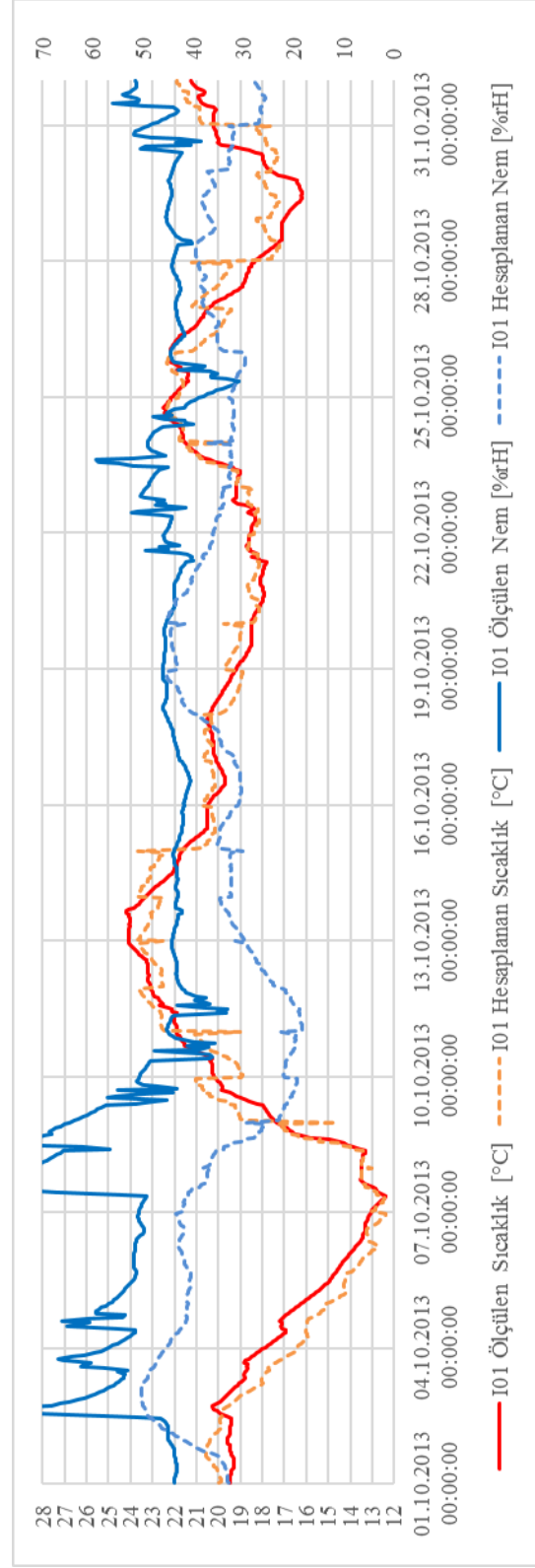
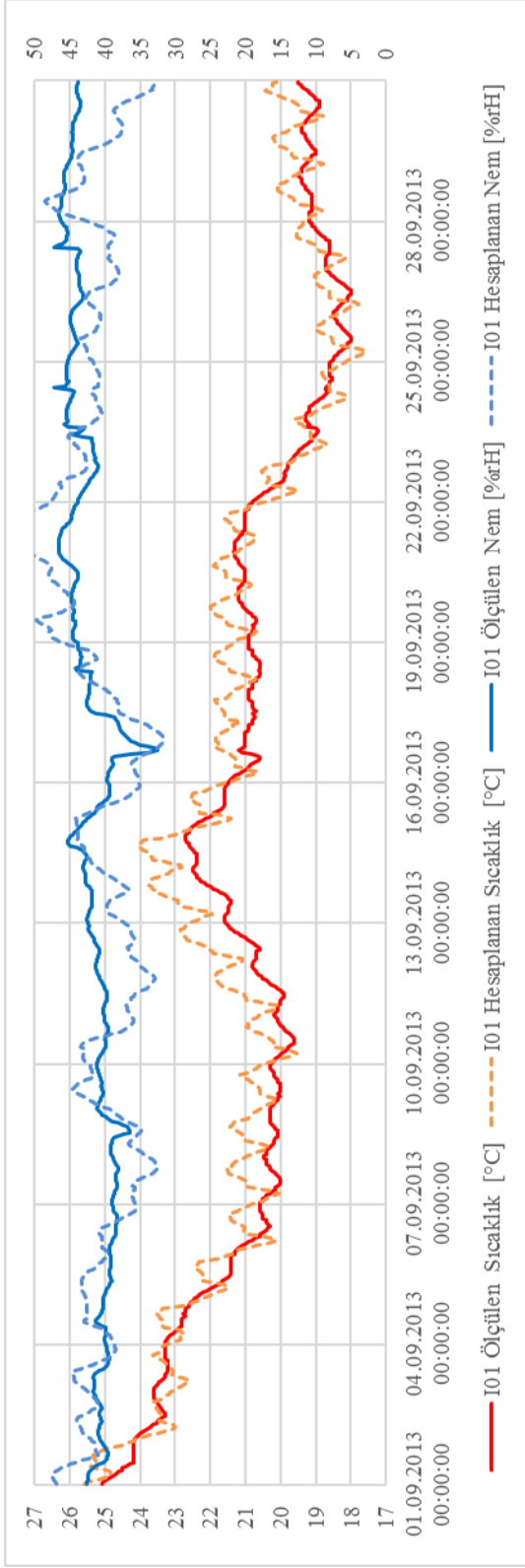
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki I01 ofisinin Mart ve Nisan ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri



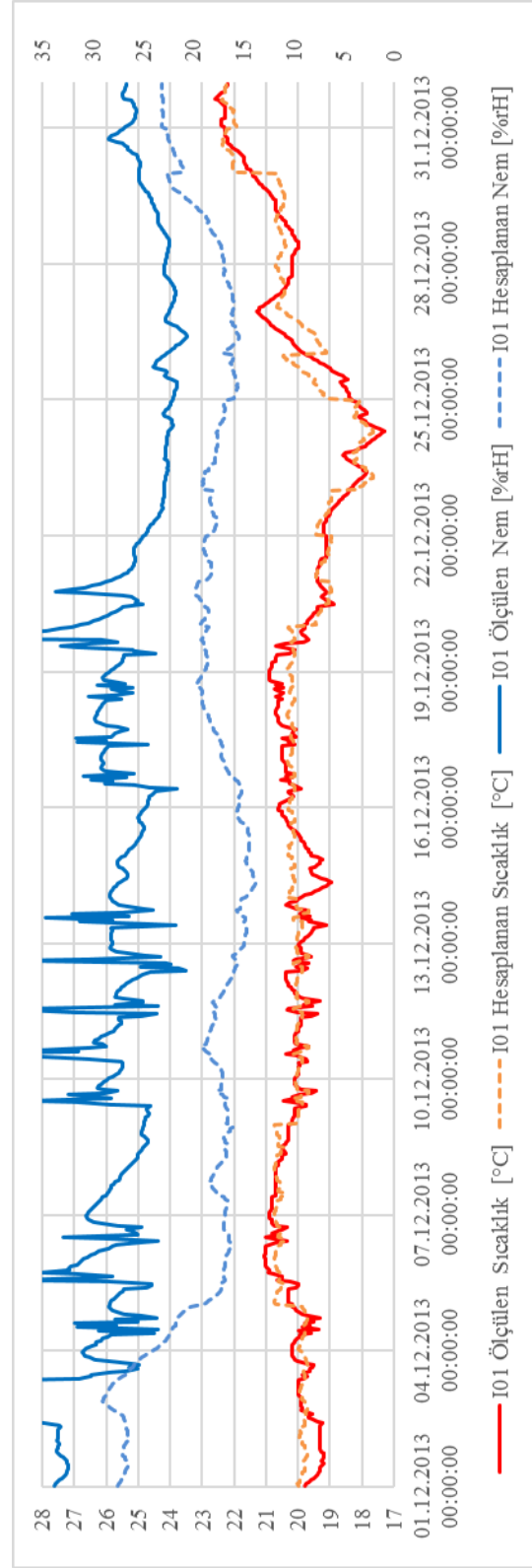
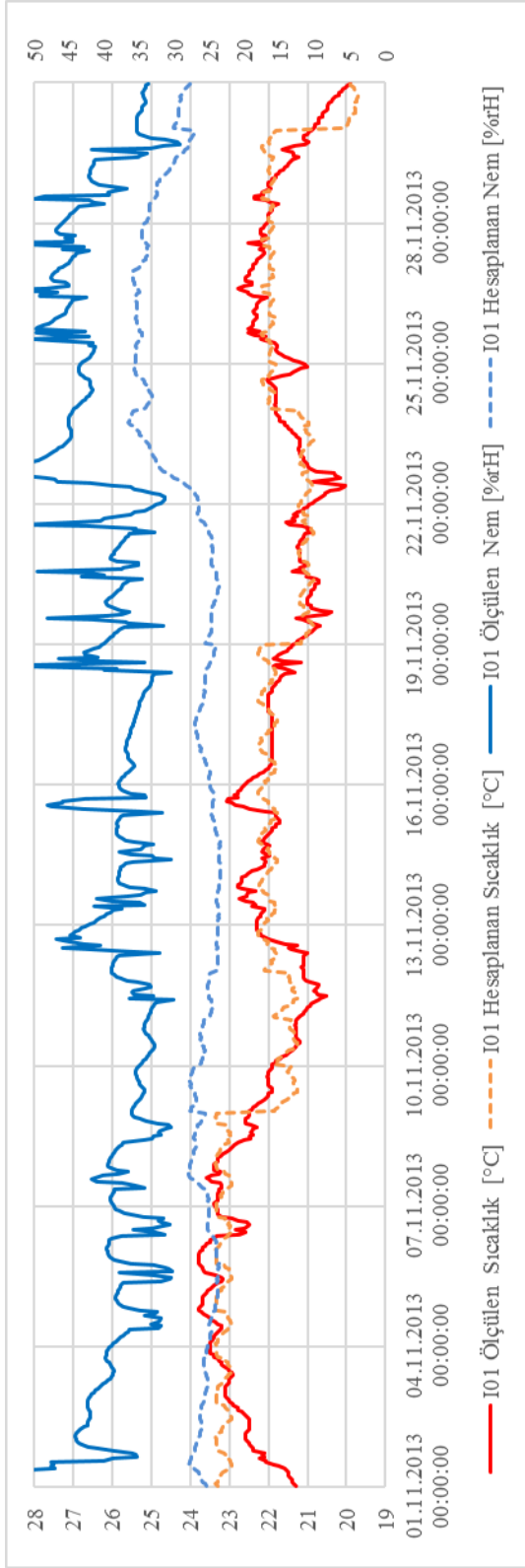
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki I01 ofisinin Mayıs ve Haziran ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri



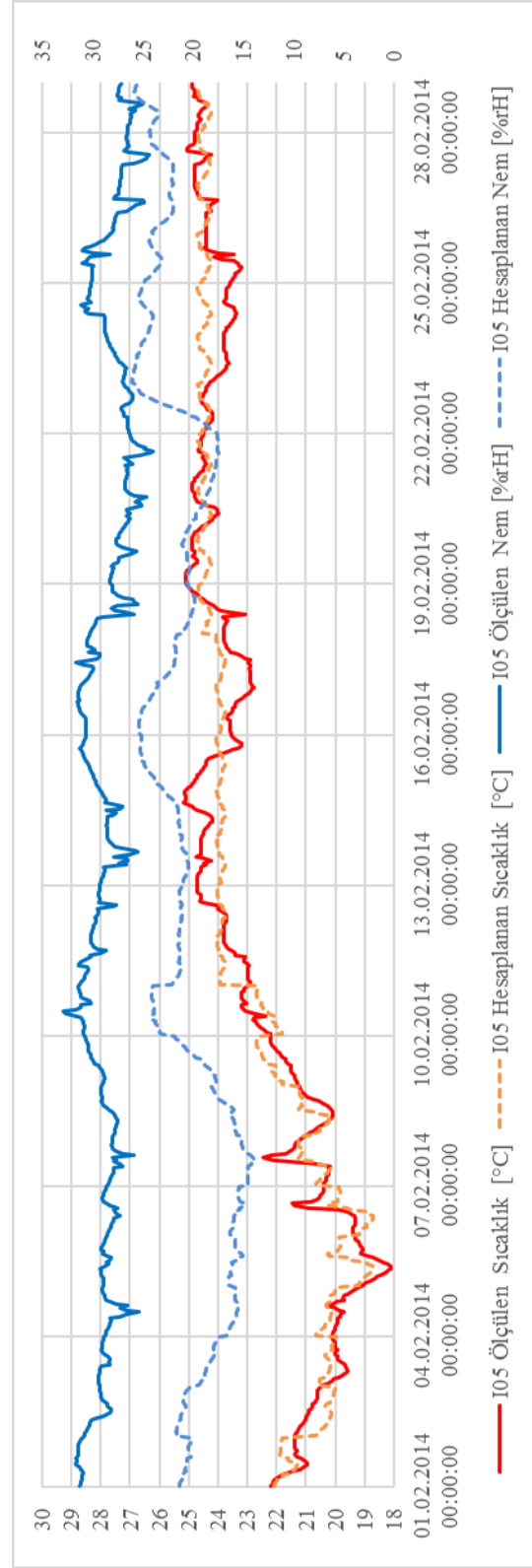
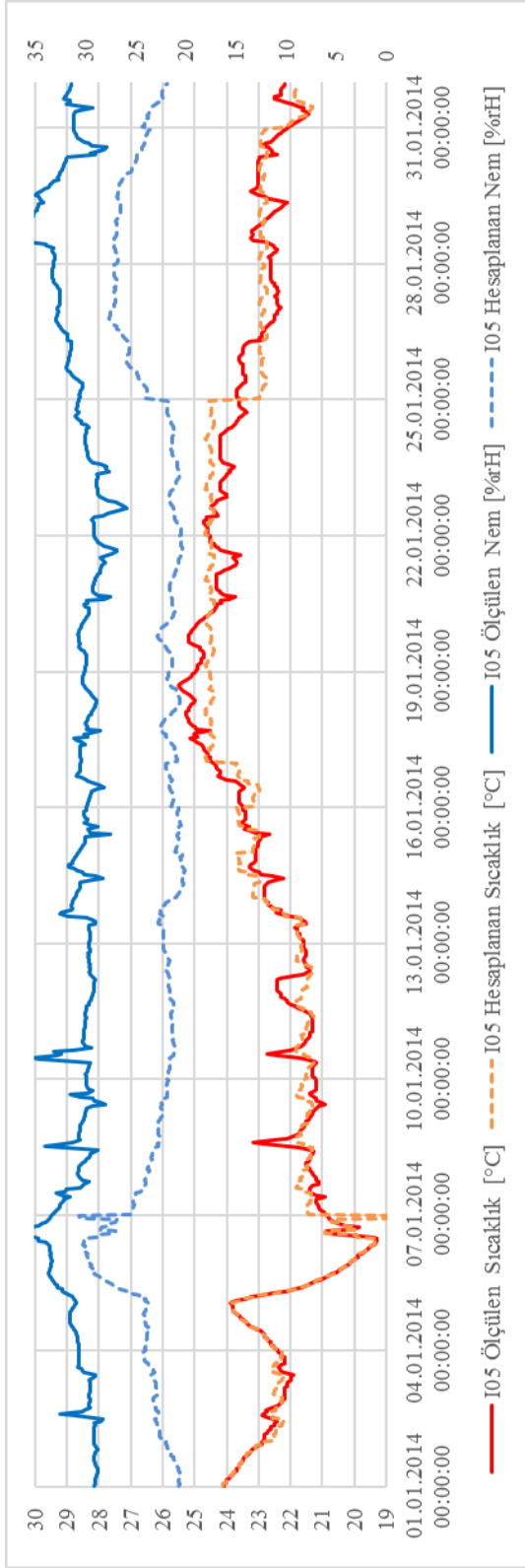
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki I01 ofisinin Temmuz ve Ağustos ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri



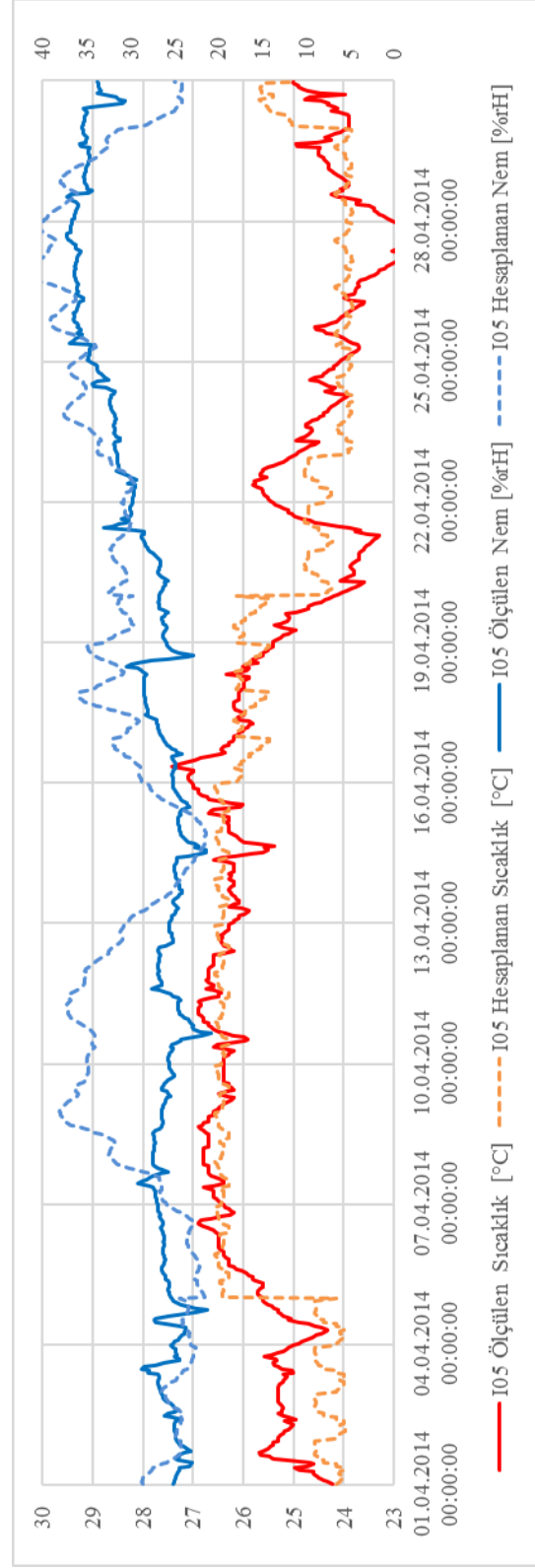
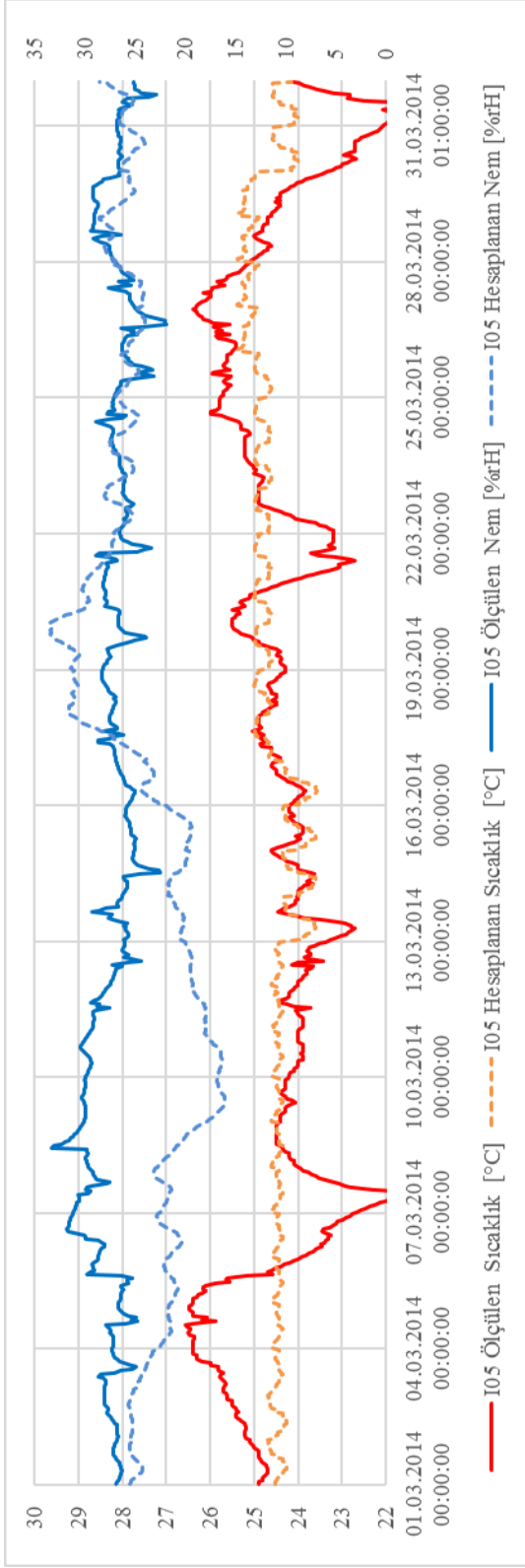
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki I01 ofisinin Eylül ve Ekim ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri



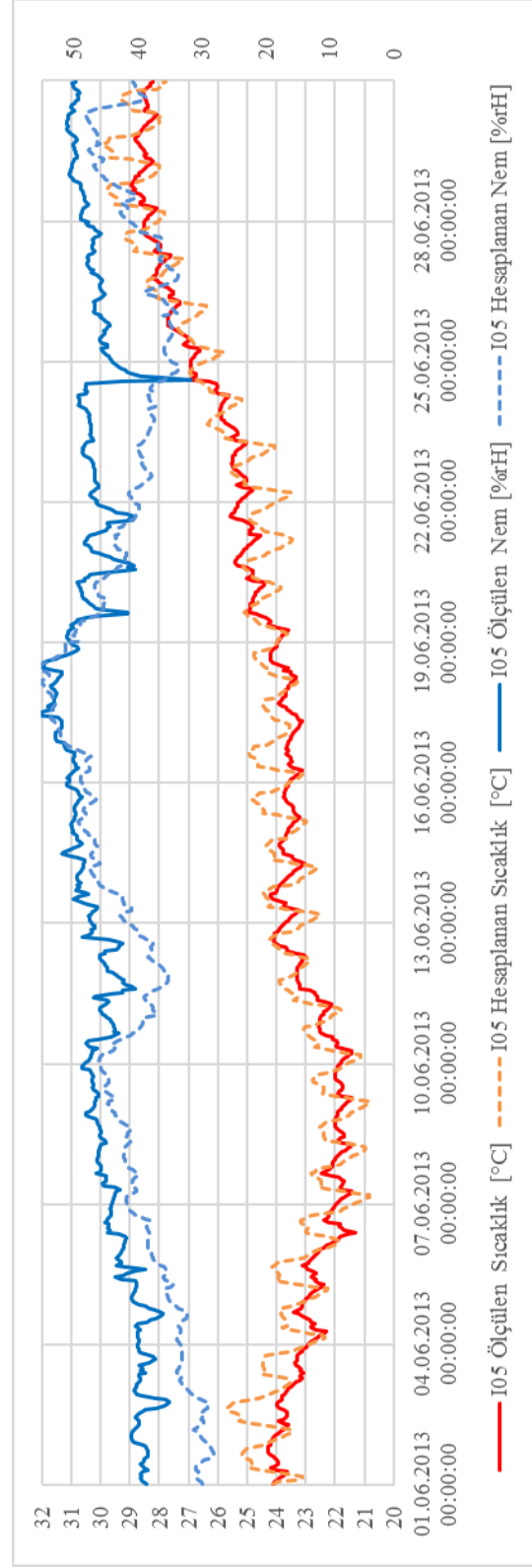
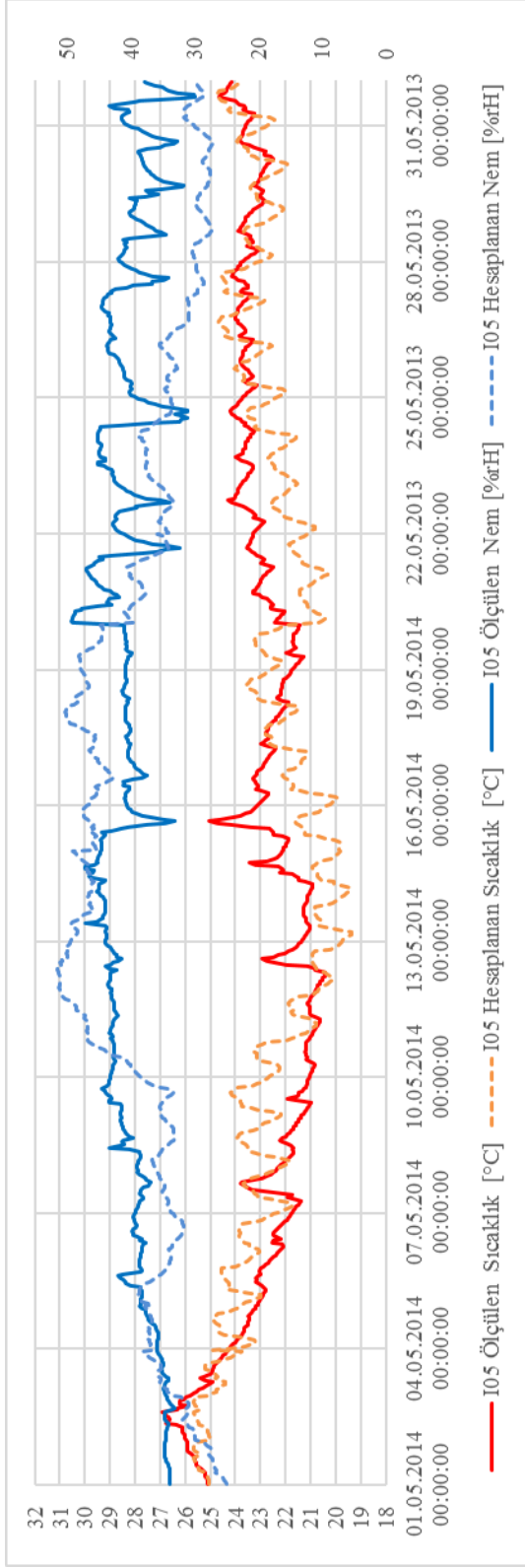
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki I01 ofisinin Kasım ve Aralık ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri



Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki I05 ofisinin Ocak ve Şubat ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri

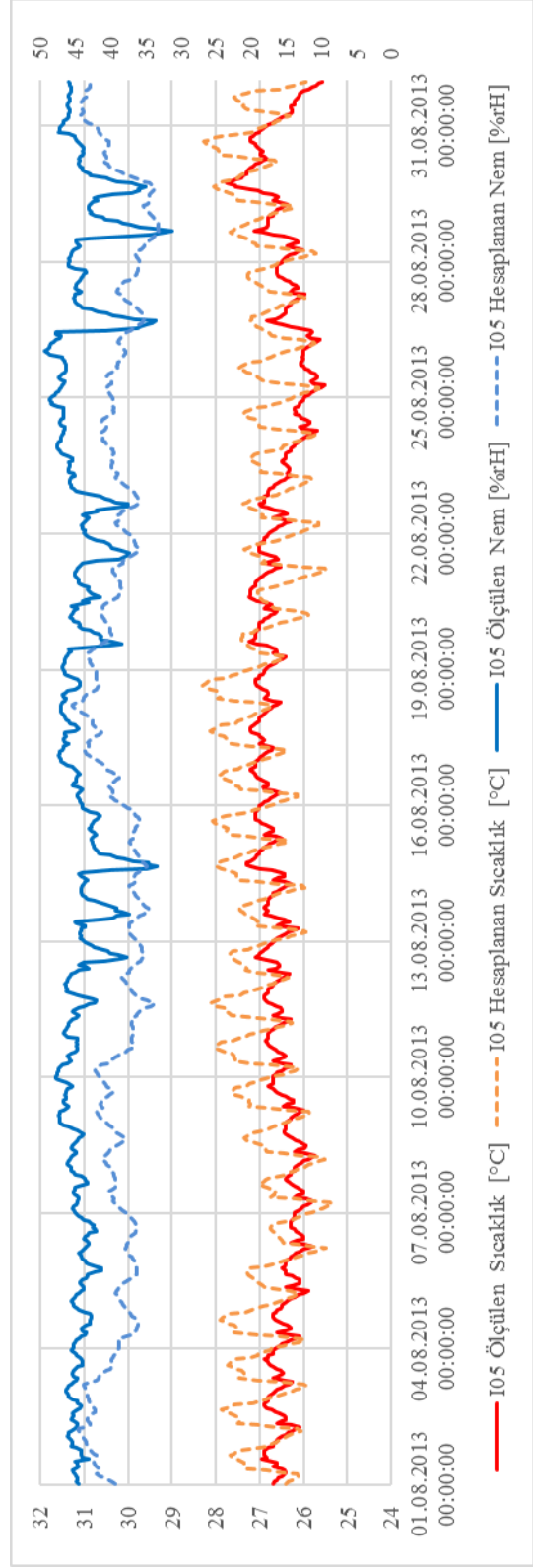
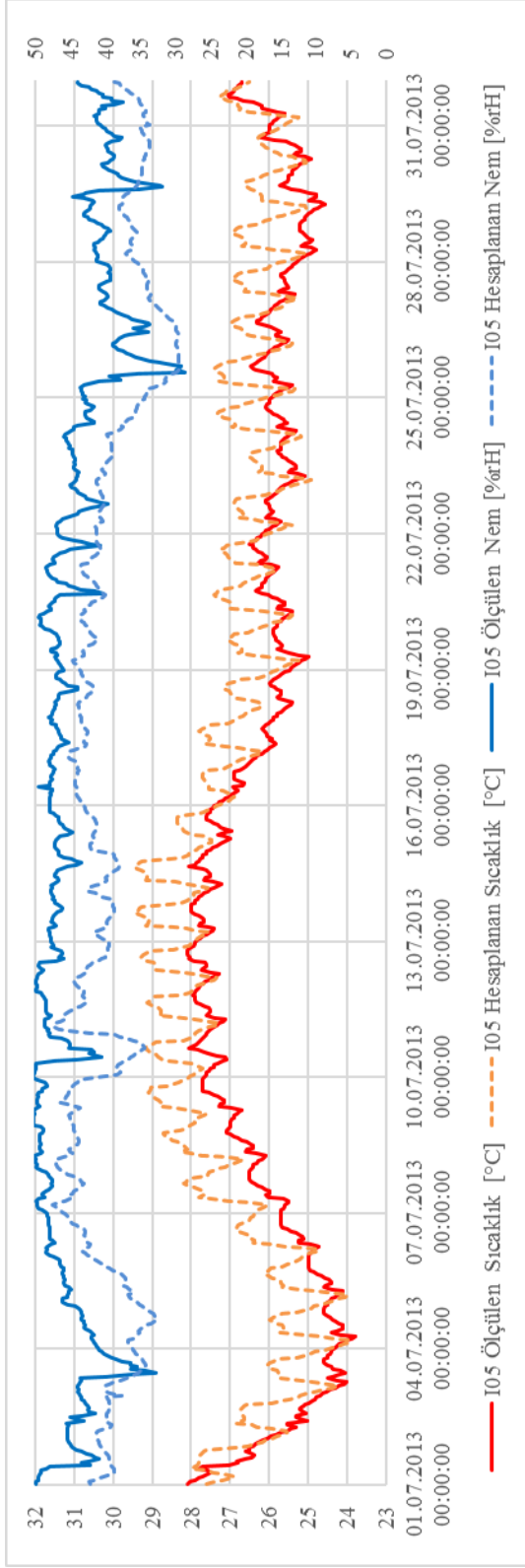


Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki I05 ofisinin Mart ve Nisan ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri

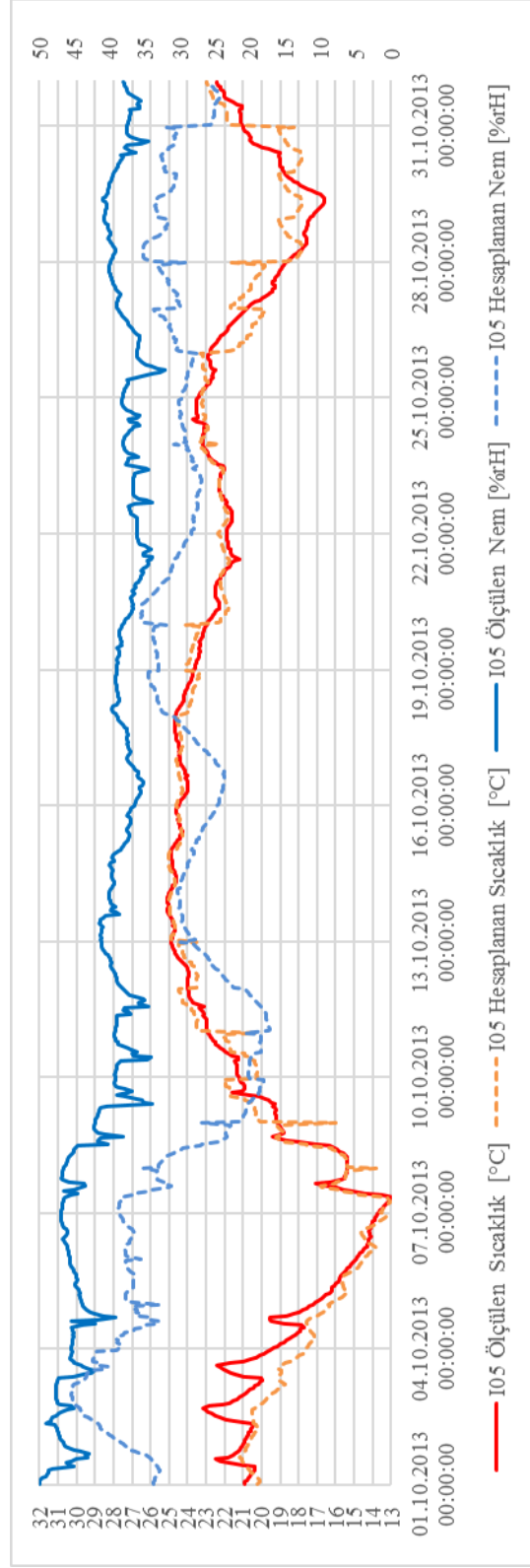
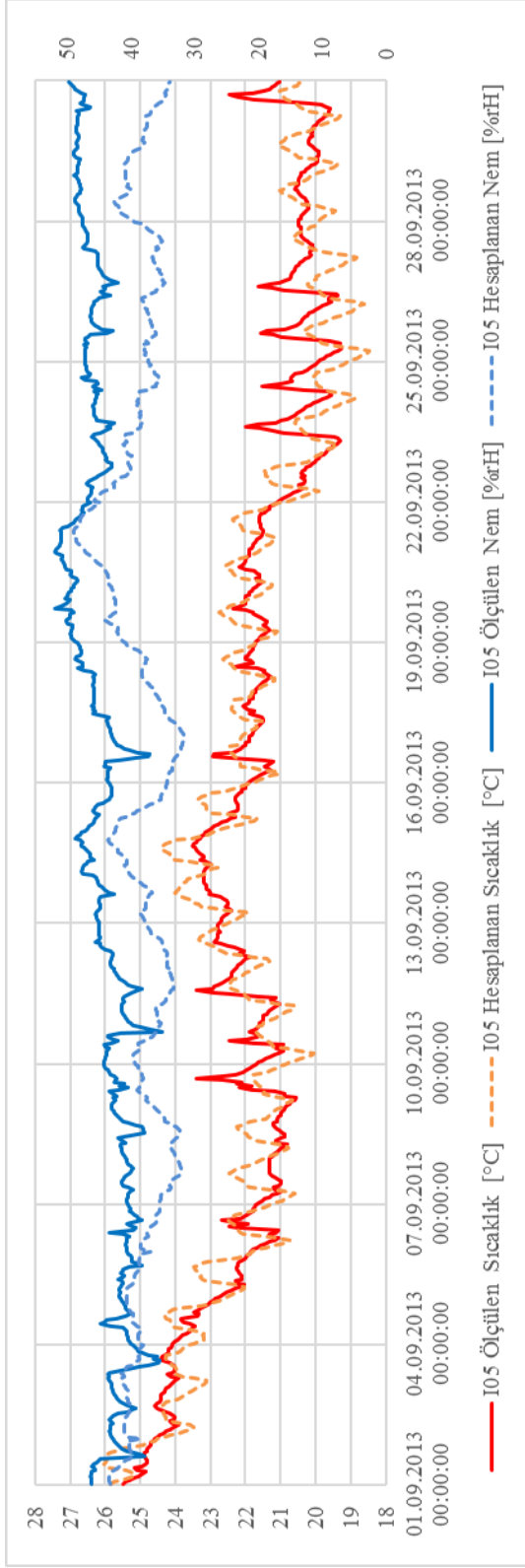


Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki I05 ofisinin Mayıs ve Haziran ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri

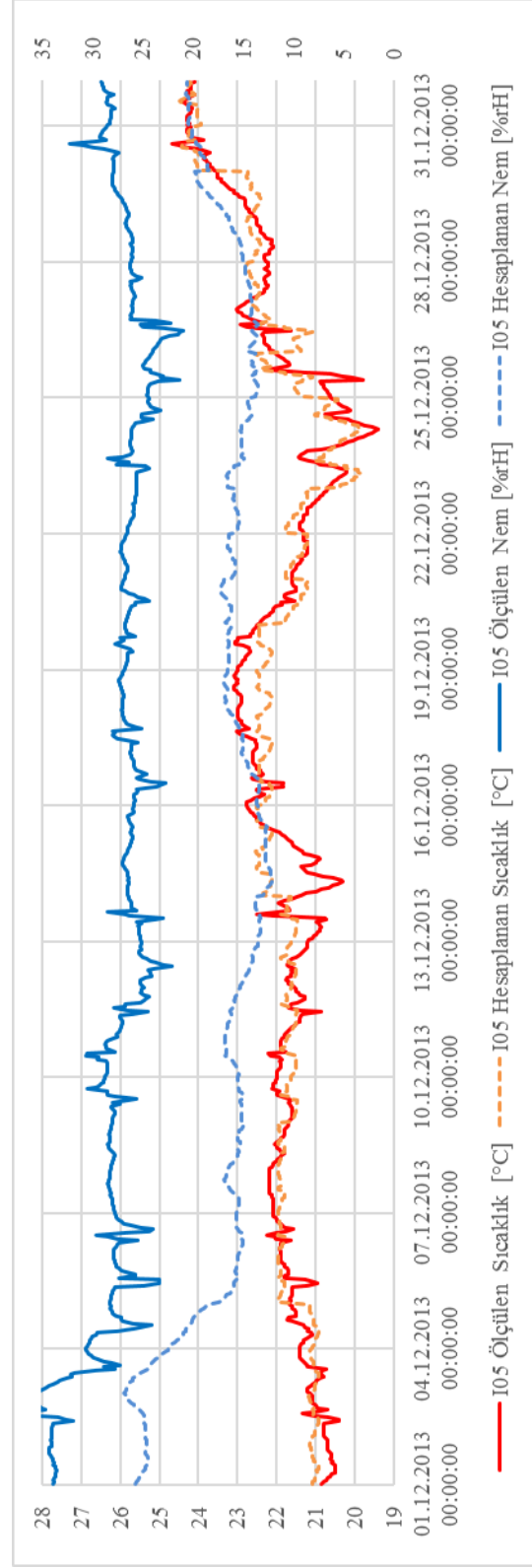
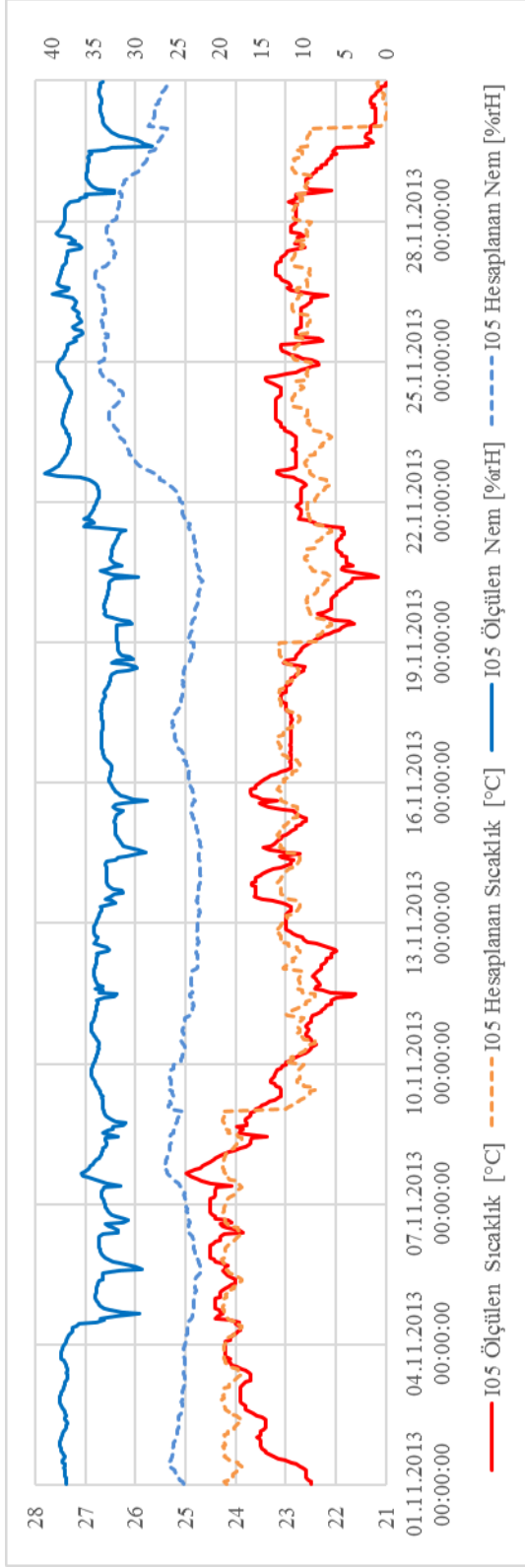




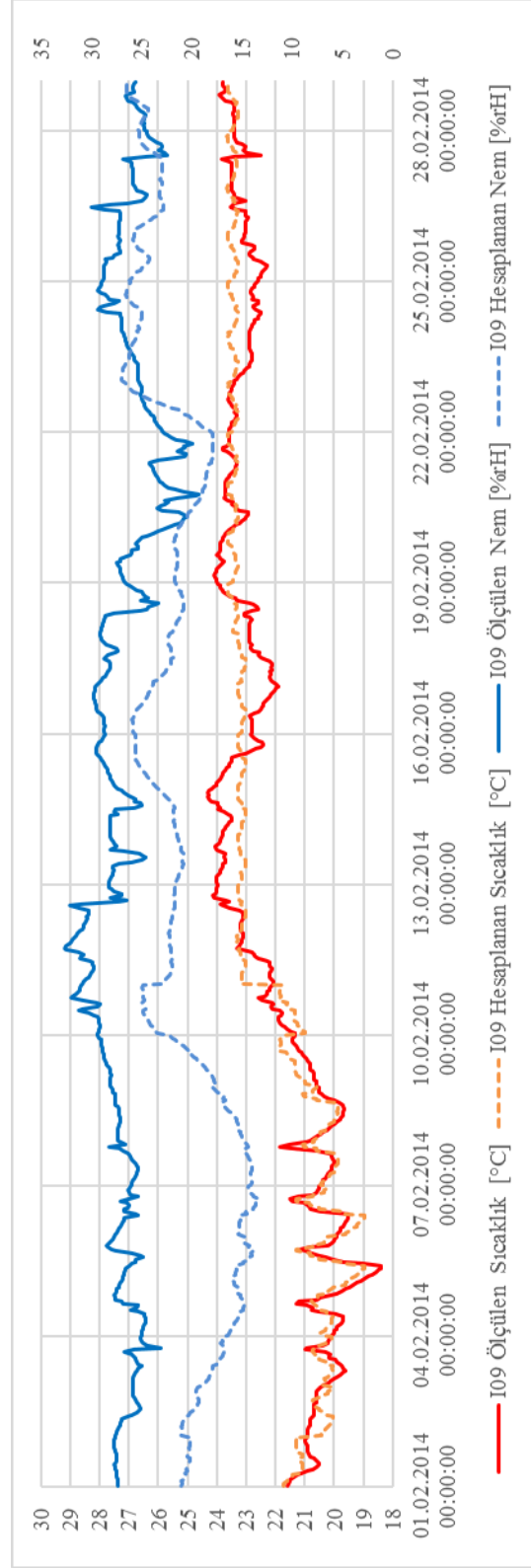
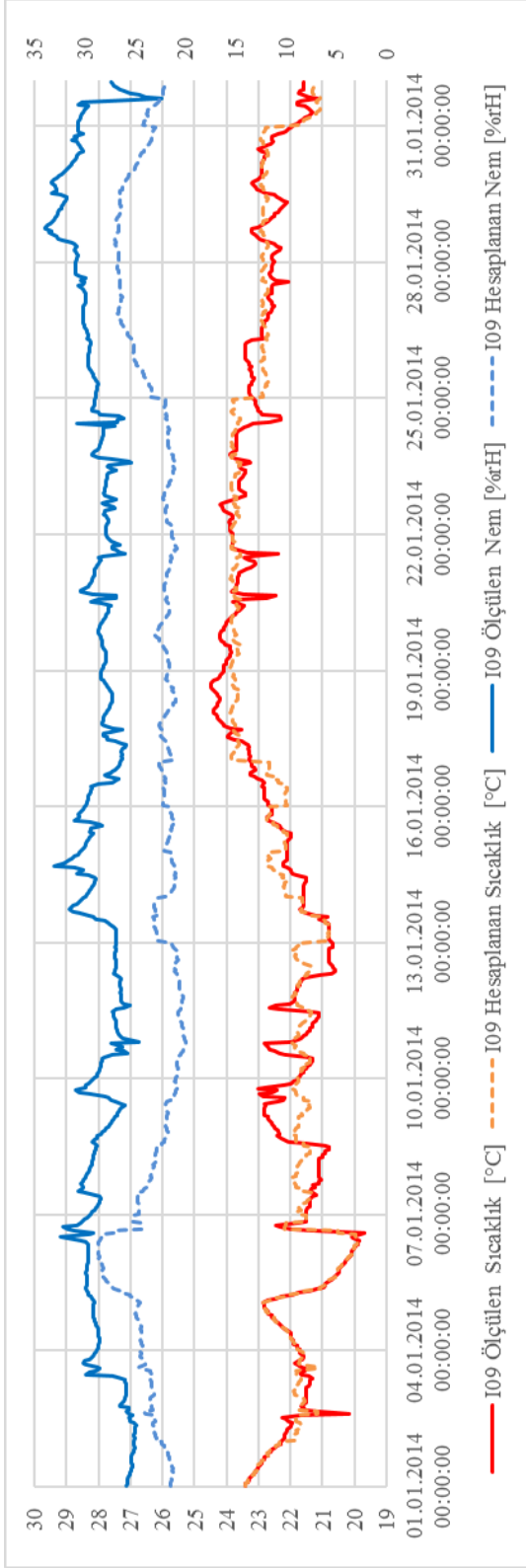
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki I05 ofisinin Temmuz ve Ağustos ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri



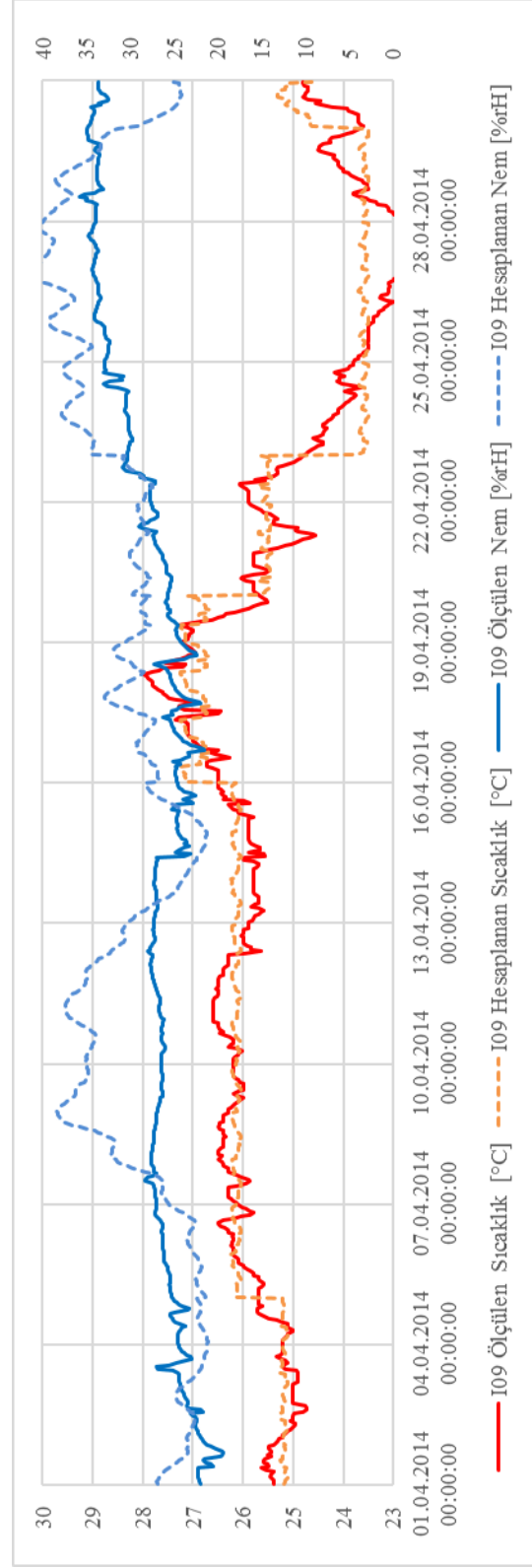
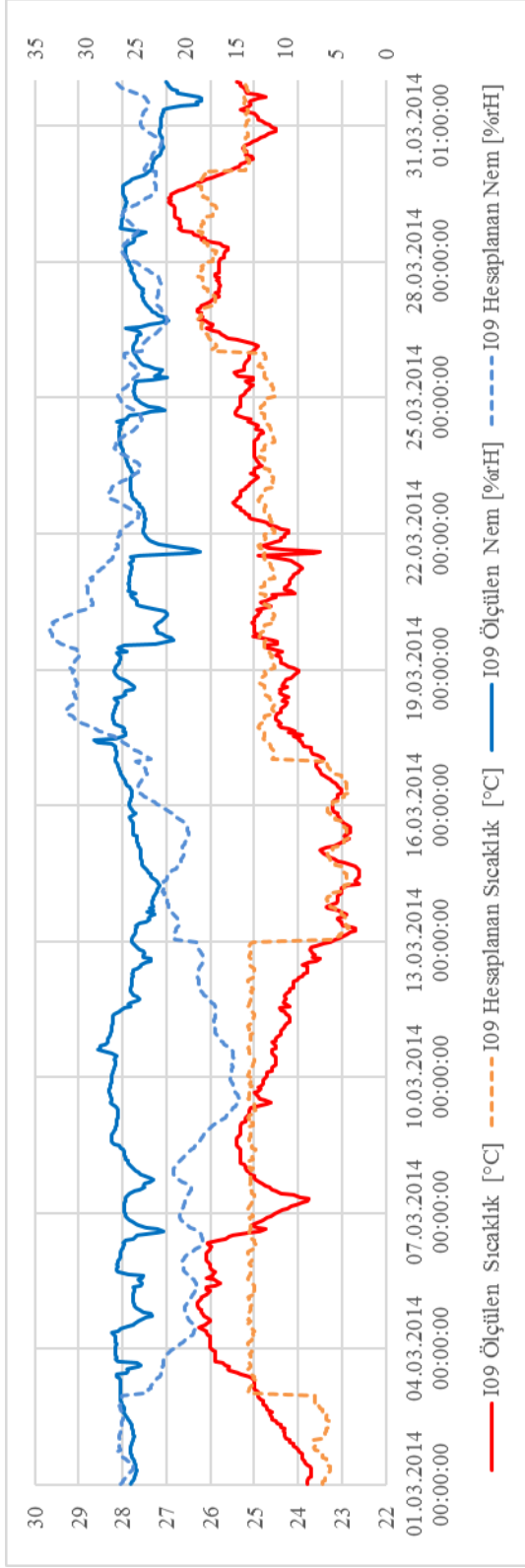
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki I05 ofisinin Eylül ve Ekim ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri



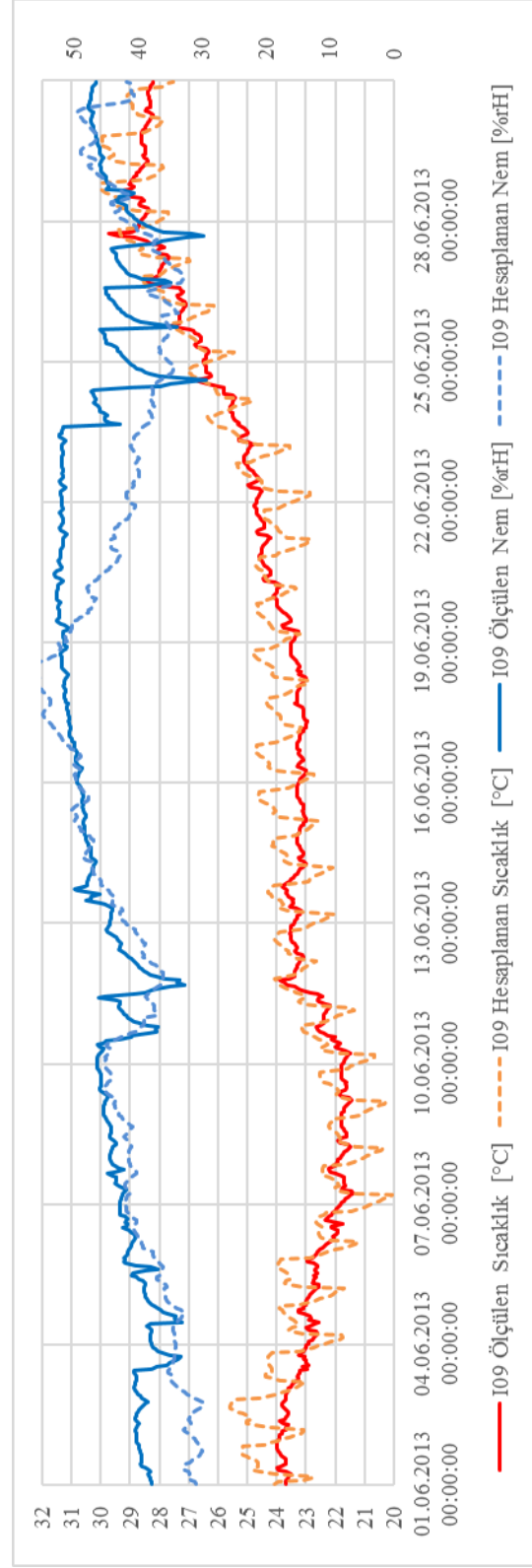
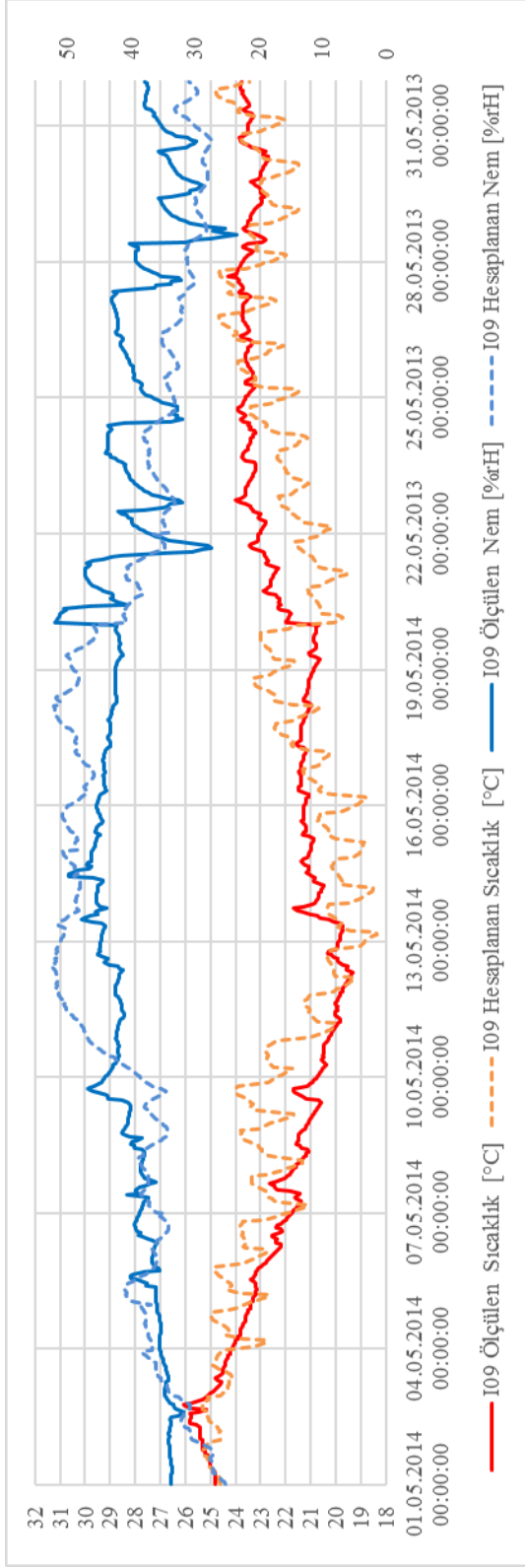
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki I05 ofisinin Kasım ve Aralık ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri



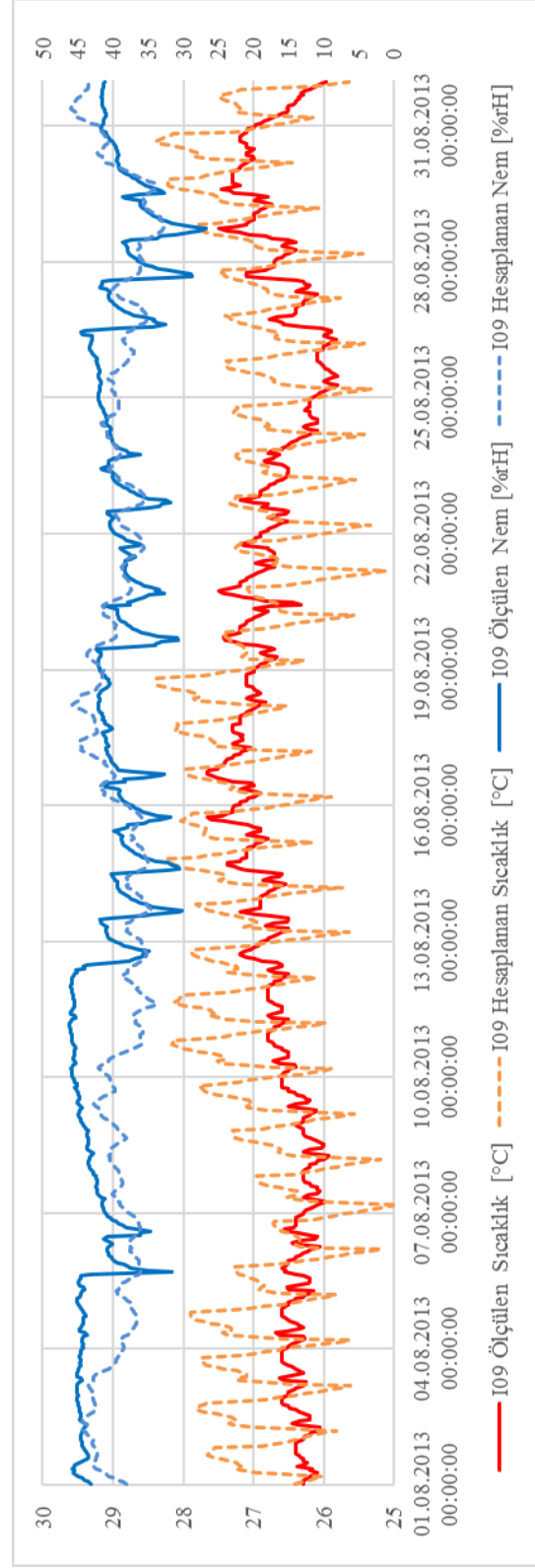
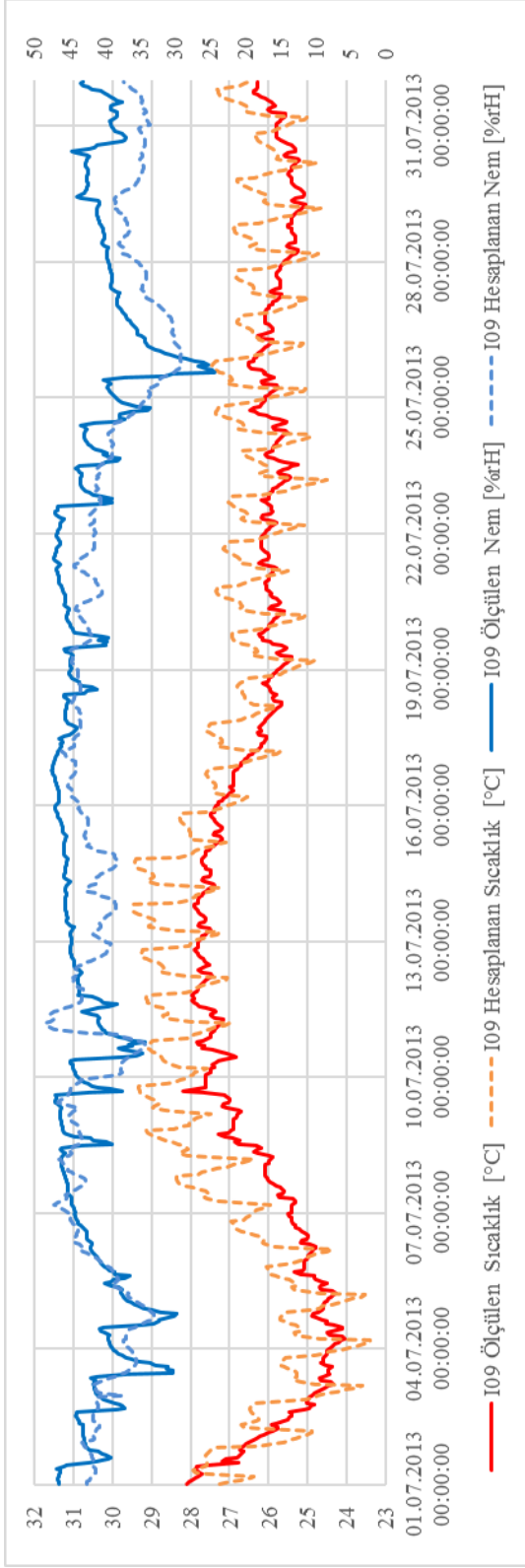
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki I09 ofisinin Ocak ve Şubat ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri



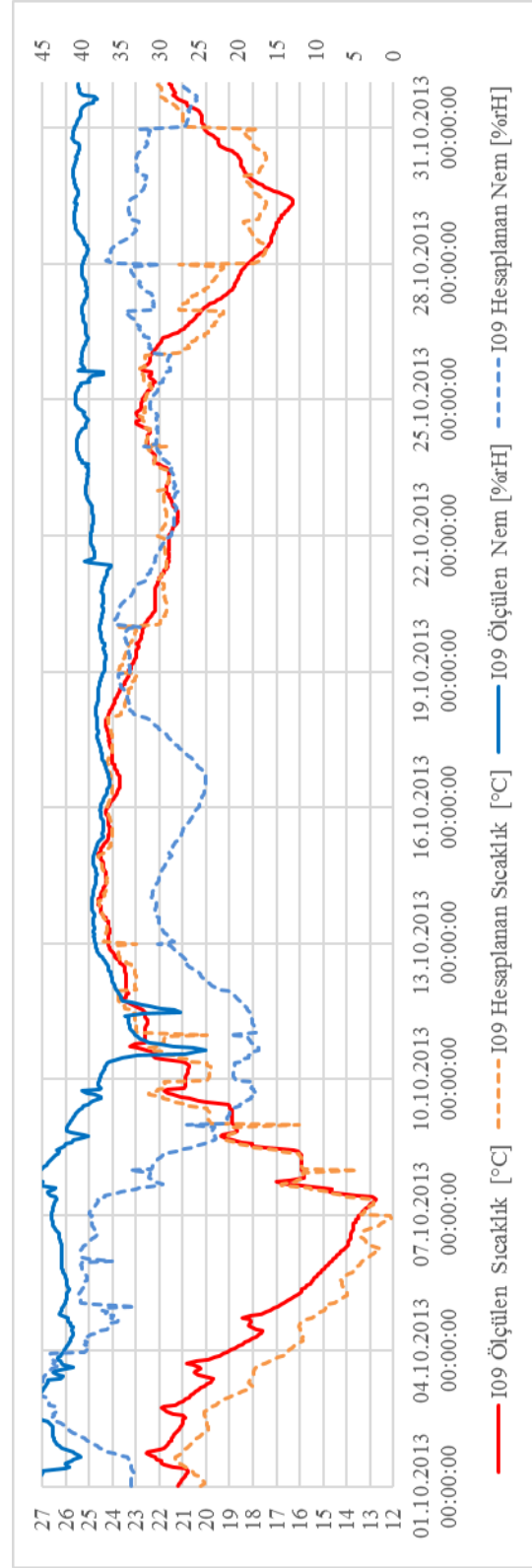
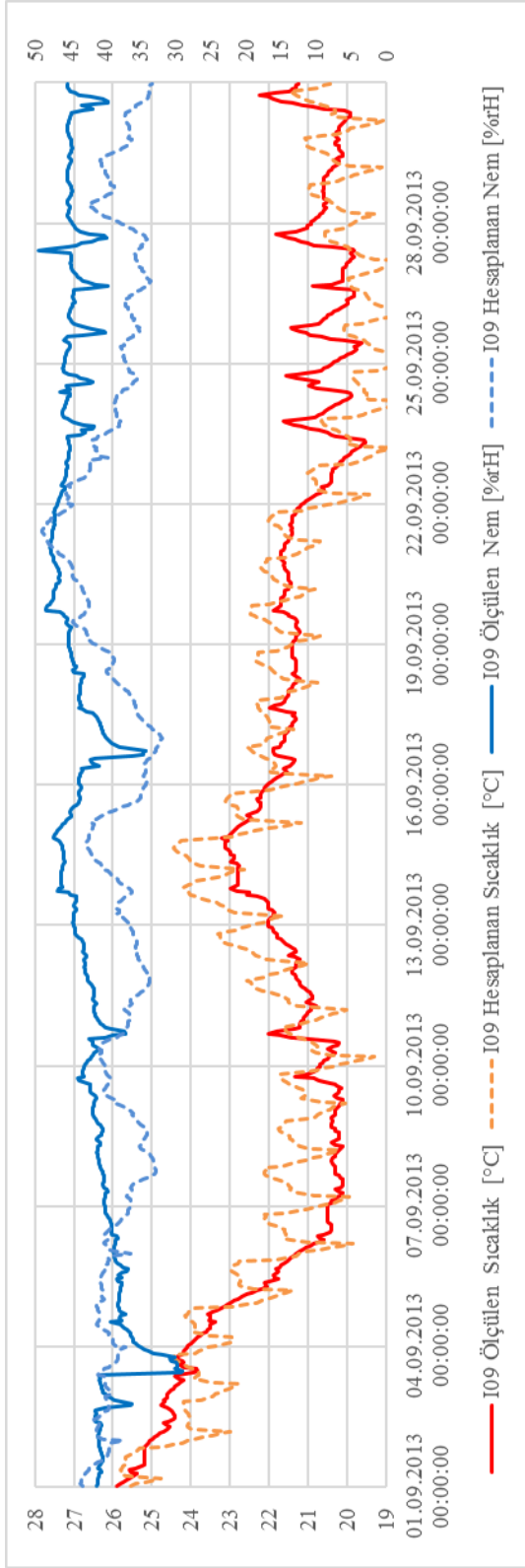
Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki I09 ofisinin Mart ve Nisan ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri



Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki I09 ofisinin Mayıs ve Haziran ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri

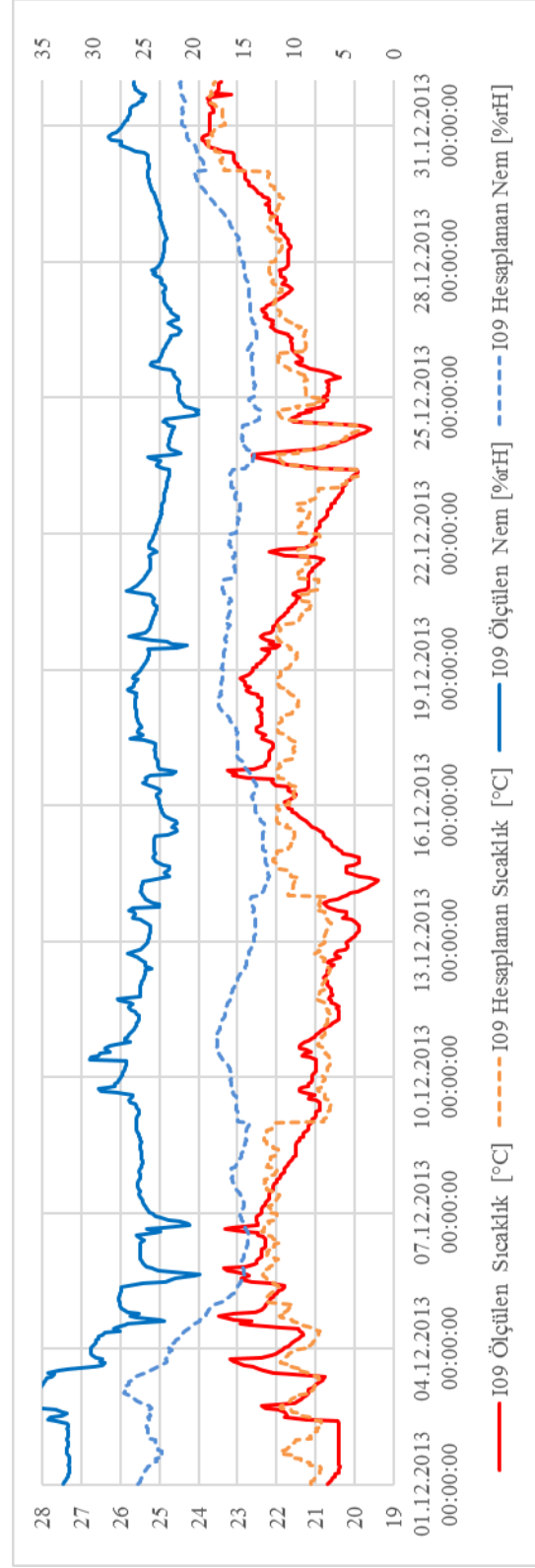
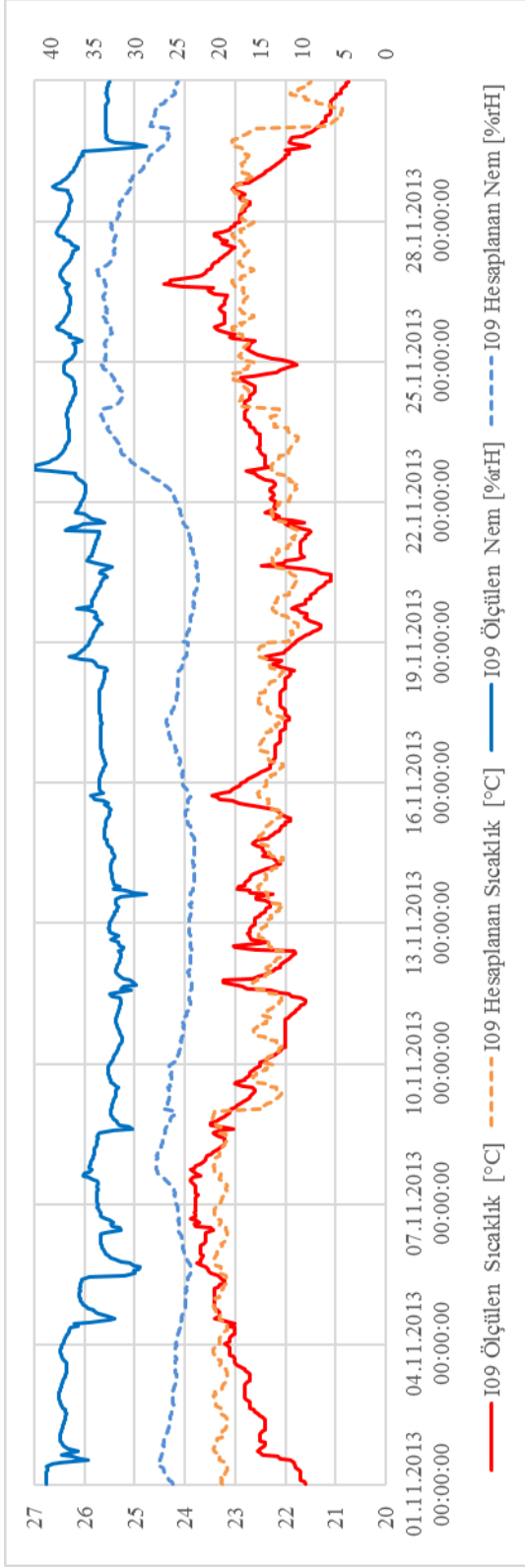


Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki I09 ofisinin Temmuz ve Ağustos ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri



Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki I09 ofisinin Eylül ve Ekim ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri





Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel bloğundaki I09 ofisinin Kasım ve Aralık ayları-saatlik ölçülen ve hesaplanan; iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (rH) değerleri

## EK-2 ÖRNEK BİNANIN ENERJİ KİMLİK BELGESİ VE BEP RAPORLARI



### ENERJİ KİMLİK BELGESİ HESAPLAMA SONUÇ FORMU

**Proje Kodu : 380032**

Proje Adı : Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari  
Kapalı Kullanım Alanı : 943,16  
Ada/Pafta/Parsel : - / - / -  
Adres : Gazipasa Mah. Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampusu  
İl : ESKİŞEHİR  
İlçe : Tepebaşı  
Belediye : Tepebaşı  
Bina Yapılış Tarihi : 01.01.2000  
Bina Yenileme Tarihi :  
Bina Tipi : Eğitim  
Bina Sahibinin Adı : Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari  
Bina Sahibinin Adresi : Anadolu Üniversitesi ESKİŞEHİR

#### **SORUMLU FİRMANIN**

Firma Kodu : F06P1372  
Ünvanı : DI VEGA Enerji Dan.Muh.Ins.Taah.San.ve Tic.Ltd.Sti.  
Adresi : AsikPasa Mah. ruya Sok. No:14/4 Gaziosmanpasa (2014/7452)  
Şehir : ANKARA  
Telefon / Faks : 03124958196 03124958197  
Vergi dairesi : CUMHURİYET  
Vergi numarası : 0680851466

#### **SORUMLU EKB UZMANININ**

Adı Soyadı : Firat UMMETOĞLU  
Uzman sertifika no'su : EGT-0214  
Sertifika verilmiş tarihi : 04.08.2015  
Adresi : ESENYALI MAH. INONU CAD. NO: 577 İÇ KAPI NO: 8 KARABAGLAR / İZMİR  
Telefonu : 5555644814 2324626101

#### **ENERJİ KİMLİK BELGESİ DEĞERLERİ**

| Enerji kullanım alanı               | Kullanılan sistem | Nihai tüketim (kWh/yıl) | Birincil tüketim (kWh/yıl) | m <sup>2</sup> başına tüketim | SINIFI |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------|
| TOPLAM                              |                   | 467.733,13              | 534.253,55                 | 495,92                        | C      |
| Isıtma                              | Isıtma Sistemi    | 293.704,29              | 293.704,29                 | 311,40                        | E      |
| Sıhhi Sıcak Su                      | Sıcak Su Sistemi  | 125.116,77              | 125.116,77                 | 132,66                        | B      |
| Soğutma                             | Soğutma Sistemi   | 17.642,13               | 41.635,43                  | 18,71                         | A      |
| Havalandırma                        |                   | 0,00                    | 0,00                       | 0,00                          |        |
| Aydınlatma                          |                   | 31.269,94               | 73.797,06                  | 33,15                         | B      |
| Sera Gazı Emisyonu                  |                   |                         |                            | 92,84                         | C      |
| Yenilenebilir Enerji Kullanım Oranı | %0,00             |                         |                            |                               |        |

Tarih: 20.04.2015

**ANADOLU ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ  
AKADEMİK VE İDARİ PERSONEL BLOĞU  
BİNA ENERJİ PERFORMANS-BEP RAPORU**

**1. Binanın Derece Gün Bölgesinin Bulunması**

Eskişehir İli TS 825 standardına göre III. bölgede bulunmaktadır. (Örneğin İzmir I. Bölge, İstanbul II. Bölge, Ankara III. Bölge ve Erzurum IV. bölgede bulunmaktadır. Bölge numaraları sıcaktan soğuğa doğru sıralanmıştır. Türkiye derece gün bölge haritası sayfanın devamındadır.) Aşağıda TS 825 standardındaki ilgili tablo mevcuttur.

ICS 91.120.10

TÜRK STANDARDI

TS 825/Mayıs 2008

**Ek D  
İllere göre derece gün bölgeleri**

| <b>3. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ</b> |                  |            |          |
|-----------------------------------|------------------|------------|----------|
| AFYON                             | BURDUR           | KARABÜK    | MALATYA  |
| AKSARAY                           | ÇANKIRI          | KARAMAN    | NEVŞEHİR |
| ANKARA                            | ÇORUM            | KIRIKKALE  | NİĞDE    |
| ARTVİN                            | ELAZIĞ           | KIRKLARELİ | TOKAT    |
| BİLECİK                           | <b>ESKİŞEHİR</b> | KIRŞEHİR   | TUNCELİ  |
| BİNGÖL                            | İGDİR            | KONYA      | UŞAK     |
| BOLU                              | İSPARTA          | KÜTAHYA    |          |

**İli 1. Bölgede olupda kendisi 3.Bölgede olan belediyeler**  
POZANTI (Adana) KORKUTELİ (Antalya)

**İli 2. Bölgede olupda kendisi 3.Bölgede olan belediyeler**  
MERZİFON (Amasya) DURSUNBEY (Balıkesir) ULUS (Bartın)

**İli 4. Bölgede olupda kendisi 3.Bölgede olan belediyeler**  
TOSYA (Kastamonu)

EKB 825 GÜNEŞ MÜHENDİSLİK – İnş. Müh. Fırat ÜMMETOĞLU Cep: 0555 564 4814

Merkez: Akdeniz Mah. Halit Ziya Bulv. Taner İş Merk. No:72 / 707 Pasaport Konak-İZMİR Tel : 0850 333 0713

Ankara Şube: Atatürk Bulvanı Sanlı İş Merkezi No:105/701 Kızılay-ANKARA Tel: 0850 333 0713

İstanbul Şube: Hasanpaşa Mah. No:61/1 Ofis No:17 Kadıköy-İSTANBUL Tel: 0850 333 0713

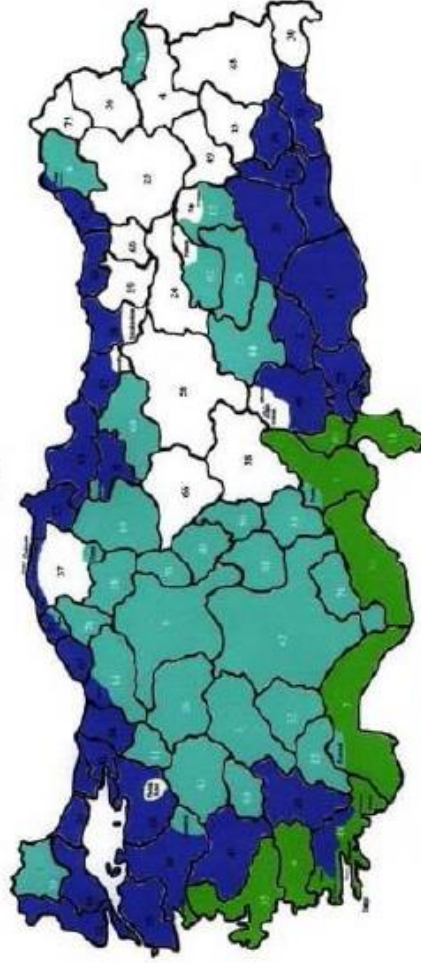
Web: [www.ekbdanismani.com](http://www.ekbdanismani.com)

E-posta: [firat.ummetoğlu@ekbdanismani.com](mailto:firat.ummetoğlu@ekbdanismani.com)

 [facebook.com/ekbdanismani](https://facebook.com/ekbdanismani)

 [twitter.com/ekbdanismani](https://twitter.com/ekbdanismani)

**Ek K**  
**(Bilgi için)**  
**Derece gün bölgelerine göre illerimiz**



|           |            |            |             |             |           |            |
|-----------|------------|------------|-------------|-------------|-----------|------------|
| 01-ADANA  | 10-ERZURUM | 37-ERZELİN | 67-MASTOMUZ | 94-KARAFRAK | 99-AMBLUK | 79-ERZAK   |
| 02-ADANAN | 11-ERZURUM | 38-ERZURUM | 68-MAYIS    | 95-KARAFRAK | 00-LUĞU   | 74-ERZURUM |
| 03-ADANA  | 12-ERZURUM | 39-ERZURUM | 69-MAYIS    | 96-KARAFRAK | 01-LUĞU   | 75-ERZURUM |
| 04-ADANA  | 13-ERZURUM | 40-ERZURUM | 70-MAYIS    | 97-KARAFRAK | 02-LUĞU   | 76-ERZURUM |
| 05-ADANA  | 14-ERZURUM | 41-ERZURUM | 71-MAYIS    | 98-KARAFRAK | 03-LUĞU   | 77-ERZURUM |
| 06-ADANA  | 15-ERZURUM | 42-ERZURUM | 72-MAYIS    | 99-KARAFRAK | 04-LUĞU   | 78-ERZURUM |
| 07-ADANA  | 16-ERZURUM | 43-ERZURUM | 73-MAYIS    | 00-KARAFRAK | 05-LUĞU   | 79-ERZURUM |
| 08-ADANA  | 17-ERZURUM | 44-ERZURUM | 74-MAYIS    | 01-KARAFRAK | 06-LUĞU   | 80-ERZURUM |
| 09-ADANA  | 18-ERZURUM | 45-ERZURUM | 75-MAYIS    | 02-KARAFRAK | 07-LUĞU   | 81-ERZURUM |
| 10-ADANA  | 19-ERZURUM | 46-ERZURUM | 76-MAYIS    | 03-KARAFRAK | 08-LUĞU   |            |
| 11-ADANA  | 20-ERZURUM | 47-ERZURUM | 77-MAYIS    | 04-KARAFRAK | 09-LUĞU   |            |
| 12-ADANA  | 21-ERZURUM | 48-ERZURUM | 78-MAYIS    | 05-KARAFRAK | 10-LUĞU   |            |
| 13-ADANA  | 22-ERZURUM | 49-ERZURUM | 79-MAYIS    | 06-KARAFRAK | 11-LUĞU   |            |
| 14-ADANA  | 23-ERZURUM | 50-ERZURUM | 80-MAYIS    | 07-KARAFRAK | 12-LUĞU   |            |
| 15-ADANA  | 24-ERZURUM | 51-ERZURUM | 81-MAYIS    | 08-KARAFRAK | 13-LUĞU   |            |
| 16-ADANA  | 25-ERZURUM | 52-ERZURUM |             | 09-KARAFRAK | 14-LUĞU   |            |
| 17-ADANA  | 26-ERZURUM | 53-ERZURUM |             | 10-KARAFRAK | 15-LUĞU   |            |
| 18-ADANA  | 27-ERZURUM | 54-ERZURUM |             | 11-KARAFRAK | 16-LUĞU   |            |
| 19-ADANA  | 28-ERZURUM | 55-ERZURUM |             | 12-KARAFRAK | 17-LUĞU   |            |
| 20-ADANA  | 29-ERZURUM | 56-ERZURUM |             | 13-KARAFRAK | 18-LUĞU   |            |
| 21-ADANA  | 30-ERZURUM | 57-ERZURUM |             | 14-KARAFRAK | 19-LUĞU   |            |
| 22-ADANA  | 31-ERZURUM | 58-ERZURUM |             | 15-KARAFRAK | 20-LUĞU   |            |
| 23-ADANA  | 32-ERZURUM | 59-ERZURUM |             | 16-KARAFRAK | 21-LUĞU   |            |
| 24-ADANA  | 33-ERZURUM | 60-ERZURUM |             | 17-KARAFRAK | 22-LUĞU   |            |
| 25-ADANA  | 34-ERZURUM | 61-ERZURUM |             | 18-KARAFRAK | 23-LUĞU   |            |
| 26-ADANA  | 35-ERZURUM | 62-ERZURUM |             | 19-KARAFRAK | 24-LUĞU   |            |
| 27-ADANA  | 36-ERZURUM | 63-ERZURUM |             | 20-KARAFRAK | 25-LUĞU   |            |
| 28-ADANA  | 37-ERZURUM | 64-ERZURUM |             | 21-KARAFRAK | 26-LUĞU   |            |
| 29-ADANA  | 38-ERZURUM | 65-ERZURUM |             | 22-KARAFRAK | 27-LUĞU   |            |
| 30-ADANA  | 39-ERZURUM | 66-ERZURUM |             | 23-KARAFRAK | 28-LUĞU   |            |
| 31-ADANA  | 40-ERZURUM | 67-ERZURUM |             | 24-KARAFRAK | 29-LUĞU   |            |
| 32-ADANA  | 41-ERZURUM | 68-ERZURUM |             | 25-KARAFRAK | 30-LUĞU   |            |
| 33-ADANA  | 42-ERZURUM | 69-ERZURUM |             | 26-KARAFRAK | 31-LUĞU   |            |
| 34-ADANA  | 43-ERZURUM | 70-ERZURUM |             | 27-KARAFRAK | 32-LUĞU   |            |
| 35-ADANA  | 44-ERZURUM | 71-ERZURUM |             | 28-KARAFRAK | 33-LUĞU   |            |
| 36-ADANA  | 45-ERZURUM | 72-ERZURUM |             | 29-KARAFRAK | 34-LUĞU   |            |
| 37-ADANA  | 46-ERZURUM | 73-ERZURUM |             | 30-KARAFRAK | 35-LUĞU   |            |
| 38-ADANA  | 47-ERZURUM | 74-ERZURUM |             | 31-KARAFRAK | 36-LUĞU   |            |
| 39-ADANA  | 48-ERZURUM | 75-ERZURUM |             | 32-KARAFRAK | 37-LUĞU   |            |
| 40-ADANA  | 49-ERZURUM | 76-ERZURUM |             | 33-KARAFRAK | 38-LUĞU   |            |
| 41-ADANA  | 50-ERZURUM | 77-ERZURUM |             | 34-KARAFRAK | 39-LUĞU   |            |
| 42-ADANA  | 51-ERZURUM | 78-ERZURUM |             | 35-KARAFRAK | 40-LUĞU   |            |
| 43-ADANA  | 52-ERZURUM | 79-ERZURUM |             | 36-KARAFRAK | 41-LUĞU   |            |
| 44-ADANA  | 53-ERZURUM | 80-ERZURUM |             | 37-KARAFRAK | 42-LUĞU   |            |
| 45-ADANA  | 54-ERZURUM | 81-ERZURUM |             | 38-KARAFRAK | 43-LUĞU   |            |
| 46-ADANA  | 55-ERZURUM |            |             | 39-KARAFRAK | 44-LUĞU   |            |
| 47-ADANA  | 56-ERZURUM |            |             | 40-KARAFRAK | 45-LUĞU   |            |
| 48-ADANA  | 57-ERZURUM |            |             | 41-KARAFRAK | 46-LUĞU   |            |
| 49-ADANA  | 58-ERZURUM |            |             | 42-KARAFRAK | 47-LUĞU   |            |
| 50-ADANA  | 59-ERZURUM |            |             | 43-KARAFRAK | 48-LUĞU   |            |
| 51-ADANA  | 60-ERZURUM |            |             | 44-KARAFRAK | 49-LUĞU   |            |
| 52-ADANA  | 61-ERZURUM |            |             | 45-KARAFRAK | 50-LUĞU   |            |
| 53-ADANA  | 62-ERZURUM |            |             | 46-KARAFRAK | 51-LUĞU   |            |
| 54-ADANA  | 63-ERZURUM |            |             | 47-KARAFRAK | 52-LUĞU   |            |
| 55-ADANA  | 64-ERZURUM |            |             | 48-KARAFRAK | 53-LUĞU   |            |
| 56-ADANA  | 65-ERZURUM |            |             | 49-KARAFRAK | 54-LUĞU   |            |
| 57-ADANA  | 66-ERZURUM |            |             | 50-KARAFRAK | 55-LUĞU   |            |
| 58-ADANA  | 67-ERZURUM |            |             | 51-KARAFRAK | 56-LUĞU   |            |
| 59-ADANA  | 68-ERZURUM |            |             | 52-KARAFRAK | 57-LUĞU   |            |
| 60-ADANA  | 69-ERZURUM |            |             | 53-KARAFRAK | 58-LUĞU   |            |
| 61-ADANA  | 70-ERZURUM |            |             | 54-KARAFRAK | 59-LUĞU   |            |
| 62-ADANA  | 71-ERZURUM |            |             | 55-KARAFRAK | 60-LUĞU   |            |
| 63-ADANA  | 72-ERZURUM |            |             | 56-KARAFRAK | 61-LUĞU   |            |
| 64-ADANA  | 73-ERZURUM |            |             | 57-KARAFRAK | 62-LUĞU   |            |
| 65-ADANA  | 74-ERZURUM |            |             | 58-KARAFRAK | 63-LUĞU   |            |
| 66-ADANA  | 75-ERZURUM |            |             | 59-KARAFRAK | 64-LUĞU   |            |
| 67-ADANA  | 76-ERZURUM |            |             | 60-KARAFRAK | 65-LUĞU   |            |
| 68-ADANA  | 77-ERZURUM |            |             | 61-KARAFRAK | 66-LUĞU   |            |
| 69-ADANA  | 78-ERZURUM |            |             | 62-KARAFRAK | 67-LUĞU   |            |
| 70-ADANA  | 79-ERZURUM |            |             | 63-KARAFRAK | 68-LUĞU   |            |
| 71-ADANA  | 80-ERZURUM |            |             | 64-KARAFRAK | 69-LUĞU   |            |
| 72-ADANA  | 81-ERZURUM |            |             | 65-KARAFRAK | 70-LUĞU   |            |
| 73-ADANA  |            |            |             | 66-KARAFRAK | 71-LUĞU   |            |
| 74-ADANA  |            |            |             | 67-KARAFRAK | 72-LUĞU   |            |
| 75-ADANA  |            |            |             | 68-KARAFRAK | 73-LUĞU   |            |
| 76-ADANA  |            |            |             | 69-KARAFRAK | 74-LUĞU   |            |
| 77-ADANA  |            |            |             | 70-KARAFRAK | 75-LUĞU   |            |
| 78-ADANA  |            |            |             | 71-KARAFRAK | 76-LUĞU   |            |
| 79-ADANA  |            |            |             | 72-KARAFRAK | 77-LUĞU   |            |
| 80-ADANA  |            |            |             | 73-KARAFRAK | 78-LUĞU   |            |
| 81-ADANA  |            |            |             | 74-KARAFRAK | 79-LUĞU   |            |

EKB 825 GÜNEŞ MÜHENDİSLİK – İnş. Müh. Fırat ÜMMETOĞLU Cep: 0555 564 4814

Merkez: Akdeniz Mah. Halit Ziya Bulv. Taner İş Merk. No:72 / 707 Pasaport Konak-İZMİR Tel : 0850 333 0713

Ankara Şube: Atatürk Bulvanı Sanlı İş Merkezi No:105/701 Kızılay-ANKARA Tel: 0850 333 0713

İstanbul Şube: Hasanpaşa Mah. No:61/1 Ofis No:17 Kadıköy-İSTANBUL Tel: 0850 333 0713

Web: [www.ekbdanismani.com](http://www.ekbdanismani.com)

E-posta: [firat.ummetoglu@ekbdanismani.com](mailto:firat.ummetoglu@ekbdanismani.com)

[facebook.com/ekbdanismani](https://www.facebook.com/ekbdanismani)

[twitter.com/ekbdanismani](https://twitter.com/ekbdanismani)

**2. Bina Kesitlerinin U Değer Hesabı**

III. bölgede geçerli olan azami U değerleri, TS 825 standardındaki aşağıdaki tabloda mevcuttur.

ICS 91.120.10

TÜRK STANDARDI

TS 825/Mayıs 2008

**Ek A****A.3 Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri**

|          | U <sub>D</sub><br>(W/m <sup>2</sup> K) | U <sub>T</sub><br>(W/m <sup>2</sup> K) | U <sub>I</sub><br>(W/m <sup>2</sup> K) | U <sub>P</sub> <sup>*</sup><br>(W/m <sup>2</sup> K) |
|----------|--|--|--|---|
| 1. Bölge | 0,70                                   | 0,45                                   | 0,70                                   | 2,4   |
| 2. Bölge | 0,60                                   | 0,40                                   | 0,60                                   | 2,4   |
| 3. Bölge | 0,50                                   | 0,30                                   | 0,45                                   | 2,4   |
| 4. Bölge | 0,40                                   | 0,25                                   | 0,40                                   | 2,4   |

TS 825 standardına göre ısı geçirenlik katsayıları (U) aşağıdaki gibi hesaplanır.

ICS 91.120.10

TÜRK STANDARDI

TS 825/Mayıs 2008

**2 Hesap metodu****2.1 Temel bilgiler****2.1.1 Isıl geçirgenlik direncinin (R) hesaplanması****2.1.1.1 Tek tabakalı yapı bileşenleri**

Isıl geçirgenlik direnci (R) eşitlik 1'de belirttiği gibi, yapı bileşeninin kalınlık (d) değerinin, ısıl iletkenlik hesap değerine ( $\lambda_h$ ) bölünmesi ile hesaplanır. " $\lambda_h$ " değerleri Ek E'de liste halinde verilmiştir.

$$R = \frac{d}{\lambda_h} \quad (1)$$

Burada;

- R : Isıl geçirgenlik direnci (m<sup>2</sup> KW)  
d : Yapı bileşeninin kalınlığı (m)  
 $\lambda_h$  : Isıl iletkenlik hesap değeri (W/m.K)  
dir.

EKB 825 GÜNEŞ MÜHENDİSLİK – İnş. Müh. Firat ÜMMETOĞLU Cep: 0555 564 4814

Merkez: Akdeniz Mah. Halit Ziya Bulv. Taner İş Merk. No:72 / 707 Pasaport Konak-İZMİR Tel : 0850 333 0713

Ankara Şube: Atatürk Bulvarı Sanlı İş Merkezi No:105/701 Kızılay-ANKARA Tel: 0850 333 0713

İstanbul Şube: Hasanpaşa Mah. No:61/1 Ofis No:17 Kadıköy –İSTANBUL Tel: 0850 333 0713

Web: [www.ekbdanismani.com](http://www.ekbdanismani.com)

E-posta: [firat.ummetoglu@ekbdanismani.com](mailto:firat.ummetoglu@ekbdanismani.com)

 [facebook.com/ekbdanismani](https://facebook.com/ekbdanismani)

 [twitter.com/ekbdanismani](https://twitter.com/ekbdanismani)

### 2.1.1.2 Çok tabakalı yapı bileşenleri

Çok tabakalı yapı bileşenlerinde ısı geçirenlik direnci (R), tek tek yapı elemanı kalınlıkları (d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>, ... d<sub>n</sub>) ve bu yapı elemanlarının, ısı iletkenlik hesap değeri (λ<sub>n1</sub>, λ<sub>n2</sub>, ... λ<sub>nn</sub>) kullanılarak eşitlik 2 ile hesaplanır.

$$R = \frac{d_1}{\lambda_{n1}} + \frac{d_2}{\lambda_{n2}} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_{nn}} \quad (2)$$

### 2.1.2 Toplam ısı geçirenlik direncinin (1/U) hesaplanması

Bir yapı bileşeninin toplam ısı geçirenlik direnci (1/U), yapı bileşenlerinin ısı geçirenlik direncilerine (R<sub>i</sub>), yüzeyel ısı iletim direnç değeri (R<sub>s</sub>, R<sub>e</sub>) eklenerek eşitlik 3'e göre hesaplanır.

$$\frac{1}{U} = R_i + R + R_e \quad (3)$$

Burada;

1/U : Yapı bileşeninin toplam ısı geçirenlik direnci (m<sup>2</sup>.KW),

R<sub>i</sub> : İç yüzeyin yüzeyel ısı iletim direnci (m<sup>2</sup>.KW),

R<sub>e</sub> : Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletim direnci (m<sup>2</sup>.KW)

dir.

### 2.1.3 Toplam ısı geçirenlik katsayısının (U) hesaplanması

#### 2.1.3.1 Tek tabakalı ve çok tabakalı yapı bileşenleri

Bir yapı bileşeninin toplam ısı geçirenlik katsayısı (U), eşitlik 3'teki denklemin aritmetik tersi alınarak eşitlik 4'e göre hesaplanır.

$$U = \frac{1}{R_i + R + R_e} \quad (4)$$

Burada;

U : Yapı bileşeninin toplam ısı geçirenlik katsayısı (W/m<sup>2</sup>.K)'dir.

### 2.1.4 Yüzeyel ısı iletim direnci (taşınım)

Yapı elemanlarının iç ve dış yüzeylerindeki yüzeyel ısı iletim direnç değeri için, Çizelge 1'de verilen R<sub>i</sub> ve R<sub>e</sub> değerleri kullanılmalıdır.

### 3. Mevcut Bina Yapı Kabuğu Kesitlerinin U Değer Tespiti

Binamızın yapı kabuğu mevcut betonarme konstrüksiyon, pres tuğla kaplamalı gaz beton duvar ve gaz beton duvar olmak üzere üç farklı kesitten oluşmaktadır Kesitlerin U değerleri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Bep-tr programında hesaplanmış ve görselleri sayfa devamına eklenmiştir.

#### • Mevcut Betonarme Konstrüksiyon Kesit U Değer Detayı

| Opak Bileşenler   | Bileşen Bilgileri | Bileşen Malzemeleri |
|---|-------------------|---------------------|
| Bu Bileşen Güncellenemez - Kullanıldığı Projeler Bulunmakta |                   |                     |
| Bileşen Kodu  | 001               |                     |
| Bileşen Adı   | anadolu kiris     |                     |
| Yüzey Tipi  | Duvar             |                     |
| U Değeri  | 3,05              |                     |

| Opak Bileşenler | Bileşen Bilgileri        | Bileşen Malzemeleri                     |                |               |                 |   |
|-----------------|--------------------------|---|----------------|---------------|-----------------|---|
| <b>No</b>       | <b>Seç</b>               | <b>Malzeme</b>                          | <b>Epsilon</b> | <b>Lambda</b> | <b>Kalınlık</b> | <b>Lejant: (Örnek duvar)</b><br> |
| 773123          | <input type="checkbox"/> | +04.02 - Çimento harcı                  | 0,96           | 1,6           | 0,03            |   |
| 773124          | <input type="checkbox"/> | +05.01.01 - Donatılı beton              | 0,94           | 2,5           | 0,3             |   |
| 773125          | <input type="checkbox"/> | +04.02 - Çimento harcı                  | 0,96           | 1,6           | 0,02            |   |
| 773126          | <input type="checkbox"/> | +04.03 - Alçı harcı, kireçli alçı harcı | 0,9            | 0,7           | 0,005           |   |

EKB 825 GÜNEŞ MÜHENDİSLİK – İnş. Müh. Firat ÜMMETOĞLU Cep: 0555 564 4814

Merkez: Akdeniz Mah. Halit Ziya Bulv. Taner İş Merk. No:72 / 707 Pasaport Konak-İZMİR Tel : 0850 333 0713

Ankara Şube: Atatürk Bulvarı Sanlı İş Merkezi No:105/701 Kızılay-ANKARA Tel: 0850 333 0713

İstanbul Şube: Hasanpaşa Mah. No:61/1 Ofis No:17 Kadıköy –İSTANBUL Tel: 0850 333 0713

Web: [www.ekbdanismani.com](http://www.ekbdanismani.com)

E-posta: [frat.ummetoğlu@ekbdanismani.com](mailto:frat.ummetoğlu@ekbdanismani.com)

 [facebook.com/ekbdanismani](https://facebook.com/ekbdanismani)

 [twitter.com/ekbdanismani](https://twitter.com/ekbdanismani)





## • Mevcut Gaz Beton Duvar Kesit U Değer Detayı

Opak Bileşenler Bileşen Bilgileri Bileşen Malzemeleri

Bu Bileşen Güncellenemez - Kullanıldığı Projeler Bulunmakta

Bileşen Kodu: 003  
Bileşen Adı: anadolu gaz duvar  
Yüzey Tipi: Duvar  
U Değeri: 0,96

Opak Bileşenler Bileşen Bilgileri Bileşen Malzemeleri

| No     | Sec                      | Malzeme   | Epsilon | Lambda | Kalınlık |
|--------|--------------------------|---|---------|--------|----------|
| 773132 | <input type="checkbox"/> | +04.02 - Çimento harcı  | 0,96    | 1,5    | 0,03     |
| 773133 | <input type="checkbox"/> | +05.05.09 - Buherle sertleştirilmiş gaz betonlar (TS EN 771-4'e uygun yapı elemanı dahil) | 0,63    | 0,24   | 0,2      |
| 773134 | <input type="checkbox"/> | +04.02 - Çimento harcı  | 0,96    | 1,5    | 0,02     |
| 773135 | <input type="checkbox"/> | +04.03 - Alçı harcı, kireçli alçı harcı   | 0,9     | 0,7    | 0,005    |

**Lejant: (Örnek duvar)**

- Sıva
- Hafif duvar elemanı
- Isı yalıtım katmanı
- Bina dışı bölge
- Bina içi bölge

EN ÜST SATIRDAKİ MALZEME

---

EN ALT SATIRDAKİ MALZEME

Yapı kabuğu kesitlerinin U değerleri aşağıdaki tabloda, sınır değerleriyle birlikte verilmiştir. Üç kesitte TS 825 III. bölge sınır değeri olan  $0,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ 'yı sağlayamamıştır. Bu durum, duvar detaylarında ısı köprüsü oluşması ihtimaline yol açmaktadır. Isı köprüsü hesabı Bep-tr programında yapılacaktır.

| S.NO | DUVAR KESİTLERİ                | U DEĞERİ |       |
|------|--------------------------------|----------|-------|
|      |                                | MEVCUT   | SINIR |
| 1    | BETONARME KONSTRÜKSİYON        | 3,05     | 0,5   |
| 2    | PRES TUĞLA KAPLAMALI GAZ BETON | 0,87     | 0,5   |
| 3    | GAZ BETON                      | 0,96     | 0,5   |

EKB 825 GÜNEŞ MÜHENDİSLİK – İnş. Müh. Fırat ÜMMETOĞLU Cep: 0555 564 4814

Merkez: Akdeniz Mah. Halit Ziya Bulv. Taner İş Merk. No:72 / 707 Pasaport Konak-İZMİR Tel : 0850 333 0713

Ankara Şube: Atatürk Bulvarı Sanli İş Merkezi No:105/701 Kızılay-ANKARA Tel: 0850 333 0713

İstanbul Şube: Hasanpaşa Mah. No:61/1 Ofis No:17 Kadıköy-İSTANBUL Tel: 0850 333 0713

Web: [www.ekbdanismani.com](http://www.ekbdanismani.com)

E-posta: [frat.ummetoglu@ekbdanismani.com](mailto:frat.ummetoglu@ekbdanismani.com)



[facebook.com/ekbdanismani](https://facebook.com/ekbdanismani)



[twitter.com/ekbdanismani](https://twitter.com/ekbdanismani)

**A.3 Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri**

|          | $U_0$<br>(W/m <sup>2</sup> K) | $U_T$<br>(W/m <sup>2</sup> K) | $U_i$<br>(W/m <sup>2</sup> K) | $U_{i^*}$<br>(W/m <sup>2</sup> K) |
|----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Bölge | 0,70                          | 0,45                          | 0,70                          | 2,4                               |
| 2. Bölge | 0,60                          | 0,40                          | 0,60                          | 2,4                               |
| 3. Bölge | 0,50                          | 0,30                          | 0,45                          | 2,4                               |
| 4. Bölge | 0,40                          | 0,25                          | 0,40                          | 2,4                               |

**4. Mevcut Bina Döşeme Kesitlerinin U Değer Tespiti**

Binamızın döşeme detayları zemine oturan döşeme, katlararası döşeme, çıkma altındaki döşeme ve çatı döşemesi olmak üzere dört farklı kesitten oluşmaktadır Kesitlerin U değerleri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Bep-tr programında hesaplanmış ve görselleri sayfa devamına eklenmiştir.

• **Mevcut Zemine Oturan Döşeme Kesit U Değer Detayı**

Opak Bileşenler    Bileşen Bilgileri    Bileşen Malzemeleri

Bu Bileşen Güncellenemez - Kullanıldığı Projeler Bulunmakta

Bileşen Kodu: 004  
 Bileşen Adı: anadolu toprak temaslı t  
 Yüzey Tipi: Döşeme  
 U Değeri: 2,34

Opak Bileşenler    Bileşen Bilgileri    Bileşen Malzemeleri

| No     | Seç                      | Malzeme  | Epsilon | Lambda | Kalınlık |
|--------|--------------------------|--|---------|--------|----------|
| 223136 | <input type="checkbox"/> | +06.01.02.06 - İnce derali veya özel yapıştırıcı kullanılarak yerleştirilen levheler | 0,63    | 0,19   | 0,005    |
| 223127 | <input type="checkbox"/> | +07.05.01.01.11 - 1 sıra boşluklu; genişlik 115 mm,                                  | 0       | 0,72   | 0,025    |
| 223138 | <input type="checkbox"/> | +05.01.01 - Donatılı beton   | 0,94    | 2,5    | 0,15     |
| 223128 | <input type="checkbox"/> | +07.02.09 - Kireç kum taşı duvarlar (TS 828 EN 771-1)                                | 0       | 1,1    | 0,15     |

**Lejant: (Çelik duvar)**

- Sıva
- Half duvar alanını
- İki yönlü katman
- Bir yönlü bölge
- Bir yönlü bölge

EN ÜST SATIRDAKİ MALZEME

EN ALT SATIRDAKİ MALZEME

EKB 825 GÜNEŞ MÜHENDİSLİK – İnş. Müh. Firat ÜMMETOĞLU Cep: 0555 564 4814

Merkez: Akdeniz Mah. Halit Ziya Bulv. Taner İş Merk. No:72 / 707 Pasaport Konak-İZMİR Tel : 0850 333 0713

Ankara Şube: Atatürk Bulvanı Sanlı İş Merkezi No:105/701 Kızılay-ANKARA Tel: 0850 333 0713

İstanbul Şube: Hasanpaşa Mah. No:61/1 Ofis No:17 Kadıköy-İSTANBUL Tel: 0850 333 0713

Web: [www.ekbdanismani.com](http://www.ekbdanismani.com)

E-posta: [firat.ummetoglu@ekbdanismani.com](mailto:firat.ummetoglu@ekbdanismani.com)

[facebook.com/ekbdanismani](https://www.facebook.com/ekbdanismani)

[twitter.com/ekbdanismani](https://twitter.com/ekbdanismani)

• **Mevcut Katlararası Döşeme Kesit U Değer Detayı**

**Opak Bileşenler** **Bileşen Bilgileri** **Bileşen Malzemeleri**

Bu Bileşen Güncellenemez - Kullanıldığı Projeler Bulunmakta

Bileşen Kodu   
Bileşen Adı   
Yüzey Tipi   
U Değeri

**Opak Bileşenler** **Bileşen Bilgileri** **Bileşen Malzemeleri**

| No     | Seç                      | Malzeme  | Epsilon | Lambda | Kalınlık |
|--------|--------------------------|--|---------|--------|----------|
| 773140 | <input type="checkbox"/> | +05.01.02.06 - İnce derzli veya özel yapıştırıcı kullanılarak yerleştirilen levhalar | 0,63    | 0,19   | 0,005    |
| 773141 | <input type="checkbox"/> | +07.05.01.01.11 - 1 sıra boşluklu; genişlik 115 mm,                                  | 0       | 0,72   | 0,025    |
| 773142 | <input type="checkbox"/> | +05.01.01 - Donatılı beton   | 0,94    | 2,5    | 0,15     |
| 773143 | <input type="checkbox"/> | +04.02 - Çimento harcı   | 0,96    | 1,6    | 0,02     |

**Lejant: (Örnek deger)**

|   |                     |
|---|---------------------|
|    | Sıva                |
|    | Hafif duvar elemanı |
|   | Isı yalıtım katmanı |
|  | Bina dışı bölge     |
|  | Bina içi bölge      |

**EN ÜST SATIRDAKİ MALZEME**

**EN ALT SATIRDAKİ MALZEME**

EKB 825 GÜNEŞ MÜHENDİSLİK – İnş. Müh. Fırat ÜMMETOĞLU Cep: 0555 564 4814

Merkez: Akdeniz Mah. Halit Ziya Bulv. Taner İş Merk. No:72 / 707 Pasaport Konak-İZMİR Tel : 0850 333 0713

Ankara Şube: Atatürk Bulvarı Sanlı İş Merkezi No:105/701 Kızılay-ANKARA Tel: 0850 333 0713

İstanbul Şube: Hasanpaşa Mah. No:51/1 Ofis No:17 Kadıköy-İSTANBUL Tel: 0850 333 0713

Web: [www.ekbdanismani.com](http://www.ekbdanismani.com)

E-posta: [firat.ummetoglu@ekbdanismani.com](mailto:firat.ummetoglu@ekbdanismani.com)

 [facebook.com/ekbdanismani](https://facebook.com/ekbdanismani)

 [twitter.com/ekbdanismani](https://twitter.com/ekbdanismani)

• **Mevcut Çıkma Altındaki Döşeme Kesit U Değer Detayı**

**Opak Bileşenler** **Bileşen Bilgileri** **Bileşen Malzemeleri**

Bu Bileşen Güncellenemez - Kullanıldığı Projeler Bulunmakta

Bileşen Kodu:

Bileşen Adı:

Yüzey Tipi:

**U Değeri**

**Opak Bileşenler** **Bileşen Bilgileri** **Bileşen Malzemeleri**

| No                     | Seç                      | Malzeme  | Epsilon | Lambda | Kalınlık |
|------------------------|--------------------------|--|---------|--------|----------|
| <a href="#">773144</a> | <input type="checkbox"/> | +06.01.02.06 - İnce derzli veya özel yapıştırıcı kullanılarak yerleştirilen levhalar | 0,63    | 0,19   | 0,005    |
| <a href="#">773145</a> | <input type="checkbox"/> | +07.05.01.01.11 - 1 sıra yükseklik; genişlik 115 mm,                                 | 0       | 0,72   | 0,025    |
| <a href="#">773146</a> | <input type="checkbox"/> | +05.01.01 - Donatılı beton   | 0,94    | 2,5    | 0,15     |
| <a href="#">773147</a> | <input type="checkbox"/> | +04.02 - Çimento harcı   | 0,96    | 1,6    | 0,03     |

**Lejant: (Örnek duvar)**

- Sıva
- Hafif duvar elemanı
- Isı yalıtım katmanı
- Bina dışı bölge
- Bina içi bölge

**EN ÜST SATIRDAKİ MALZEME**

---

**EN ALT SATIRDAKİ MALZEME**

EKB 825 GÜNEŞ MÜHENDİSLİK – İnş. Müh. Fırat ÜMMETOĞLU Cep: 0555 564 4814

Merkez: Akdeniz Mah. Halit Ziya Bulv. Taner İş Merk. No:72 / 707 Pasaport. Konak-İZMİR Tel : 0850 333 0713

Ankara Şube: Atatürk Bulvarı Sanli İş Merkezi No:105/701 Kızılay-ANKARA Tel: 0850 333 0713

İstanbul Şube: Hasanpaşa Mah. No:61/1 Ofis No:17 Kadıköy-İSTANBUL Tel: 0850 333 0713

Web: [www.ekbdanismani.com](http://www.ekbdanismani.com)

E-posta: [firat.ummetoğlu@ekbdanismani.com](mailto:firat.ummetoğlu@ekbdanismani.com)

 [facebook.com/ekbdanismani](https://facebook.com/ekbdanismani)

 [twitter.com/ekbdanismani](https://twitter.com/ekbdanismani)

• **Mevcut Çatı Döşeme Kesit U Değer Detayı**

**Opak Bileşenler** **Bileşen Bilgileri** **Bileşen Malzemeleri**

Bu Bileşen Güncellenemez - Kullanıldığı Projeler Bulunmakta

Bileşen Kodu:   
 Bileşen Adı:   
 Yüzey Tipi:   
 U Değeri:

**Opak Bileşenler** **Bileşen Bilgileri** **Bileşen Malzemeleri**

| No     | Seç                      | Malzeme                    | Epsilon | Lambda | Kalınlık |
|--------|--------------------------|----------------------------|---------|--------|----------|
| 773148 | <input type="checkbox"/> | +05.01.01 - Donatılı beton | 0,94    | 2,5    | 0,15     |
| 773149 | <input type="checkbox"/> | +04.02 - Çimento harcı     | 0,96    | 1,6    | 0,02     |

**Lejant: (Örnek duvar)**

Sıva

Hafif duvar elemanı

Isı yalıtım katmanı

Bina dışı bölge

Bina içi bölge

EN ÜST SATIRDAKİ MALZEME

EN ALT SATIRDAKİ MALZEME

Döşeme kesitlerinin U değerleri aşağıdaki tabloda, sınır değerleriyle birlikte verilmiştir. **Dört kesitte TS 825 III. bölge sınır değeri olan 0,45 W /m<sup>2</sup> K ve 0,3 W /m<sup>2</sup> K 'yı sağlayamamıştır. Bu durum, döşeme detaylarında ısı köprüsü oluşması ihtimaline yol açmaktadır.** Isı köprüsü hesabı Bep-tr programında yapılacaktır.

| S.NO | DÖŞEME KESİTLERİ     | U DEĞERİ |       |
|------|----------------------|----------|-------|
|      |                      | MEVCUT   | SINIR |
| 1    | ZEMİNE OTURAN DÖŞEME | 2,34     | 0,45  |
| 2    | KATLARARASI DÖŞEME   | 3,29     | 0,3   |
| 3    | ÇIKMA ALTI DÖŞEME    | 3,23     | 0,3   |
| 4    | ÇATI DÖŞEME          | 4,12     | 0,3   |

EKB 825 GÜNEŞ MÜHENDİSLİK – İnş. Müh. Fırat ÜMMETOĞLU Cep: 0555 564 4814

Merkez: Akdeniz Mah. Halit Ziya Bulv. Taner İş Merk. No:72 / 707 Pasaport Konak-İZMİR Tel : 0850 333 0713

Ankara Şube: Atatürk Bulvarı Sanli İş Merkezi No:105/701 Kızılay-ANKARA Tel: 0850 333 0713

İstanbul Şube: Hasanpaşa Mah. No:61/1 Ofis No:17 Kadıköy –İSTANBUL Tel: 0850 333 0713

Web: [www.ekbdanismani.com](http://www.ekbdanismani.com)


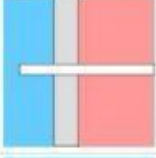
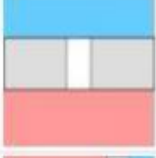
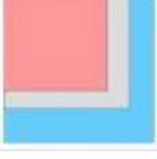
E-posta: [firat.ummetoğlu@ekbdanismani.com](mailto:firat.ummetoğlu@ekbdanismani.com)

[facebook.com/ekbdanismani](https://www.facebook.com/ekbdanismani)

[twitter.com/ekbdanismani](https://twitter.com/ekbdanismani)



Binanın ısı köprüsü detayları girilmiştir.

| No                      | Isı Köprüsü |   |
|-------------------------|-------------|---|
| <a href="#">3102214</a> | R4          |    |
| <a href="#">3102233</a> | B4          |    |
| <a href="#">3102236</a> | P4          |   |
| <a href="#">3102238</a> | C8          |  |

EKB 825 GÜNEŞ MÜHENDİSLİK – İnş. Müh. Fırat ÜMMETOĞLU Cep: 0555 564 4814

Merkez: Akdeniz Mah. Halit Ziya Bulv. Taner İş Merk. No:72 / 707 Pasaport Konak-İZMİR Tel : 0850 333 0713

Ankara Şube: Atatürk Bulvarı Sanlı İş Merkezi No:105/701 Kızılay-ANKARA Tel: 0850 333 0713

İstanbul Şube: Hasanpaşa Mah. No:61/1 Ofis No:17 Kadıköy –İSTANBUL Tel: 0850 333 0713

Web: [www.ekbdanismani.com](http://www.ekbdanismani.com)

E-posta: [frat.ummetoglu@ekbdanismani.com](mailto:frat.ummetoglu@ekbdanismani.com)

 [facebook.com/ekbdanismani](https://facebook.com/ekbdanismani)

 [twitter.com/ekbdanismani](https://twitter.com/ekbdanismani)

Binanın konstrüksiyon tipi, giriş alın yüksekliği ve subasman yükseklikleri girilmiştir.

| Genel Bilgiler   | Veri Giriş Şekli  | Kat Formu ve Ölçüler               |
|--|---|------------------------------------|
| <b>Sızdırmazlık Bilgileri</b>  |   |                                    |
| Bina Konstrüksiyon Tipi  | Beton veya Perde Duvar Bina   |                                    |
|  | <input checked="" type="checkbox"/> Bitişik Bina                              |                                    |
|  | <input checked="" type="checkbox"/> Kompleks - (Dikdörtgen Olmayan Kat Planı) |                                    |
| Hava Sızdırma Değeri   | <input checked="" type="checkbox"/> Sıva Yapılmış Duvar                       |                                    |
|  | <input checked="" type="radio"/> Sızdırmaz Bant Olan - Pencere ve Kapılar     |                                    |
|  | <input type="radio"/> Sızdırmaz Bant Olmayan - Pencere ve Kapılar             |                                    |
| <input type="button" value="Infiltrasyon Verilerini Kaydet"/>        |   |                                    |
| <b>Kiriş Bilgileri</b>   |   |                                    |
| Kiriş Alın Yüksekliği (m)  | 0,45  |                                    |
| Kiriş Bilegeni   | anadolu kiriş   | <input type="button" value="Ara"/> |
| <input type="button" value="Kiriş Verilerini Kaydet"/>               |   |                                    |
| <b>Yükseltilmiş Döşeme Bilgileri</b>                                 |   |                                    |
| Yükseltilmiş Döşeme Var mı?  | <input checked="" type="checkbox"/>   |                                    |
| Subasman Yüksekliği (m)  | 0,68  |                                    |
| <input type="button" value="Yükseltilmiş Döşeme Verilerini Kaydet"/> |   |                                    |

EKB 825 GÜNEŞ MÜHENDİSLİK – İnş. Müh. Firat ÜMMETOĞLU Cep: 0555 564 4814

Merkez: Akdeniz Mah. Halit Ziya Bulv. Taner İş Merk. No:72 / 707 Pasaport Konak-İZMİR Tel : 0850 333 0713

Ankara Şube: Atatürk Bulvanı Sanlı İş Merkezi No:105/701 Kızılay-ANKARA Tel: 0850 333 0713

İstanbul Şube: Hasanpaşa Mah. No:61/1 Ofis No:17 Kadıköy-İSTANBUL Tel: 0850 333 0713

Web: [www.ekbdanismani.com](http://www.ekbdanismani.com)

E-posta: [frat.ummetoglu@ekbdanismani.com](mailto:frat.ummetoglu@ekbdanismani.com)

 [facebook.com/ekbdanismani](https://facebook.com/ekbdanismani)

 [twitter.com/ekbdanismani](https://twitter.com/ekbdanismani)



Binanın enerji performansı hesaplamasında koridorlar hesaplama dışında bırakılmıştır. Çalışmanız kapsamında elde edilen sonuçlar, koridorlar dışarıda bırakılarak yapılmıştır. Doğru bir karşılaştırma olması için, aynı işlem Bep-tr hesaplamasında yapılmıştır.

**Projeye Dön** **Proje Adı - Kodu:** Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel Bloğu-Eskişehir-Tepebaşı - GJNES039 **Tipoloji:** Eğitim **İl - İlçe:** ESKİŞEHİR Tepebaşı

**Kat Formu ve Ölçüler** **Karşı Engeller** **Zonlar**

Dış Temaslı Kolon Adedi:

Kat Yüksekliği (m):

| Yüze | Uzunluk (m)                        |
|------|------------------------------------|
| A    | <input type="text" value="32,3"/>  |
| B    | <input type="text" value="14,15"/> |
| C    | <input type="text" value="32,3"/>  |
| D    | <input type="text" value="14,15"/> |

Ölçüler:

EKB 825 GÜNEŞ MÜHENDİSLİK – İnş. Müh. Fırat ÜMMETOĞLU Cep: 0555 564 4814

Merkez: Akdeniz Mah. Halit Ziya Bulv. Taner İş Merk. No:72 / 707 Pasaport Konak-İZMİR Tel : 0850 333 0713

Ankara Şube: Atatürk Bulvarı Sanlı İş Merkezi No:105/701 Kızılay-ANKARA Tel: 0850 333 0713

İstanbul Şube: Hasanpaşa Mah. No:51/1 Ofis No:17 Kadıköy-İSTANBUL Tel: 0850 333 0713

Web: [www.ekbdanismani.com](http://www.ekbdanismani.com)

E-posta: [firat.ummetoglu@ekbdanismani.com](mailto:firat.ummetoglu@ekbdanismani.com)

[facebook.com/ekbdanismani](https://www.facebook.com/ekbdanismani)

[twitter.com/ekbdanismani](https://twitter.com/ekbdanismani)

Binanın pencere ve kapı yerleşimleri sistemde yapılmıştır.

**Proje Adı - Kodu:** Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel Bloğu Ekişleştirilme Topkapı - GÜNEŞ009  
**Tipoloji:** Eğitim  
**İl - İlçe:** ESKİŞEHİR - Topkapı

#### Oda Penceresi

a Yüzeyi (B)

(A)

b Yüzeyi (0) (E)

c Yüzeyi (10) (C)

d Yüzeyi (0) (D)

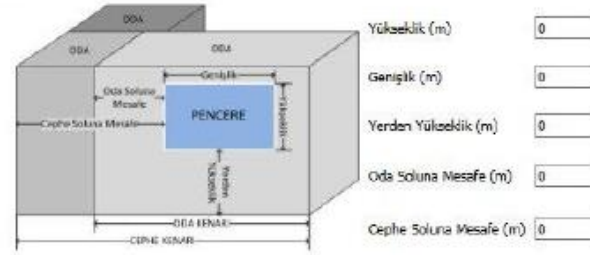
Kat Formu:



Oda Formu:



Ölçüler



Saydam Bileşen

A/B

Temas Ettiği Eleman [Seçiniz]

• Bu alana bilgi girmelisiniz!

**Proje Adı - Kodu:** Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Akademik ve İdari Personel Bloğu Ekişleştirilme Topkapı - GÜNEŞ009  
**Tipoloji:** Eğitim  
**İl - İlçe:** ESKİŞEHİR - Topkapı

#### Oda Kapıları

a Yüzeyi (0)

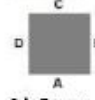
(A)

b Yüzeyi (1) (B)

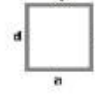
c Yüzeyi (0) (C)

d Yüzeyi (1) (D)

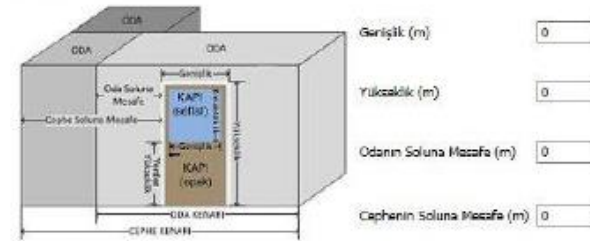
Kat Formu:



Oda Formu:



Kapı Bilgileri



Kapı Malzemesi

[Seçiniz]

Temas Ettiği Eleman

[Seçiniz]

• Bu alana bilgi girmelisiniz!

Saydam bileşen var mı?

EKB 825 GÜNEŞ MÜHENDİSLİK – İnş. Müh. Fırat ÜMMETOĞLU Cep: 0555 564 4814

Merkez: Akdeniz Mah. Halit Ziya Bulv. Taner İş Merk. No:72 / 707 Pasaport Konak-İZMİR Tel : 0850 333 0713

Ankara Şube: Atatürk Bulvarı Sanlı İş Merkezi No:105/701 Kızılay-ANKARA Tel: 0850 333 0713

İstanbul Şube: Hasanpaşa Mah. No:51/1 Ofis No:17 Kadıköy-İSTANBUL Tel: 0850 333 0713

Web: [www.ekbdanismani.com](http://www.ekbdanismani.com)

E-posta: [firat.ummetoglu@ekbdanismani.com](mailto:firat.ummetoglu@ekbdanismani.com)

[facebook.com/ekbdanismani](https://www.facebook.com/ekbdanismani)

[twitter.com/ekbdanismani](https://www.twitter.com/ekbdanismani)

## 6. Bina Enerji Kimlik Belgesi-EKB Sonuçları

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın Bep-tr programında Enerji Kimlik Belgesi-EKB hesabı yapılmış ve alttaki sonuçlara ulaşılmıştır. Sertifikanın aslı raporun ekinde mevcuttur. Sonuçları değerlendirdiğimizde belli konu başlıkları öne çıkmaktadır.

### ENERJİ KİMLİK BELGESİ DEĞERLERİ

| Enerji kullanım alanı               | Kullanılan sistem | Nihai tüketim (kWh/yıl) | Birincil tüketim (kWh/yıl) | m <sup>2</sup> başına tüketim | SINIFI |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------|
| TOPLAM                              |                   | 493.503,05              | 561.837,08                 | 523,24                        | C      |
| Isıtma                              | Isıtma Sistemi    | 317.990,30              | 317.990,30                 | 337,15                        | E      |
| Sihhi Sıcak Su                      | Sıcak Su Sistemi  | 125.267,15              | 125.267,15                 | 132,82                        | B      |
| Soğutma                             | Soğutma Sistemi   | 18.975,67               | 44.782,58                  | 20,12                         | A      |
| Havalandırma                        |                   | 0,00                    | 0,00                       | 0,00                          |        |
| Aydınlatma                          |                   | 31.269,94               | 73.797,06                  | 33,15                         | B      |
| Sera Gazı Emisyonu                  |                   |                         |                            | 184,22                        | C      |
| Yenilenebilir Enerji Kullanım Oranı | %0,00             |                         |                            |                               |        |

- Isıtma satırındaki sınıfımız "E" çıkmıştır. C sınıfının altındaki bütün sınıflarda ısı köprüsü olduğu anlaşılmaktadır.
- Binanın m<sup>2</sup> başına tüketimi 523,24 kw olmuş, enerji tüketiminin %64'ü (337,15 kw) ısıtmada kullanılmaktadır. Eskişehir ilinin iklim bölgesi (III. bölge) soğuktur. Bu yüzden ısıtma yükü, genel tüketimin en büyük kalemi olmuştur.
- Bina enerji sınıfı toplamda "C", sıcak suda "B", soğutmada "A" ve aydınlatmada "B" sınıfı alıp standartları sağlamıştır. Fakat ısıtmada "E" sınıfı olarak, sınır değerlerini sağlayamamıştır. Bunun birkaç nedeni vardır. Mevcut pencerelerin U değeri 2,4 W /m<sup>2</sup> K olması gerekirken, 2,8 W /m<sup>2</sup> K değerindedir. Duvar ve döşemelerin U değerleri gene standardı sağlamamaktadır. Bu iki neden ısıtma kaleminin enerji sınıfını düşürmüştür.
- Peki bütün kesitler sınır U değerlerini sağlamamasına rağmen, neden toplamda "C" sınıfı almıştır? Bunun da birkaç nedeni vardır. Binamızın toplam inşaat alanının (2000 m<sup>2</sup> altında) büyük olmaması olumlu etkendir. Binamızın ısıtması ve sıcak suyu merkezi sistemle sağlanmaktadır. Bu durum en büyük olumlu etkendir. Ayrıca bina yapılış yılının 2000 sonrası olması, yıpranma payını azaltan olumlu bir etkendir.

EKB 825 GÜNEŞ MÜHENDİSLİK – İnş. Müh. Fırat ÜMMETOĞLU Cep: 0555 564 4814

Merkez: Akdeniz Mah. Halit Ziya Bulv. Taner İş Merk. No:72 / 707 Pasaport Konak-İZMİR Tel : 0850 333 0713

Ankara Şube: Atatürk Bulvarı Sanli İş Merkezi No:105/701 Kızılay-ANKARA Tel: 0850 333 0713

İstanbul Şube: Hasanpaşa Mah. No:61/1 Ofis No:17 Kadıköy –İSTANBUL Tel: 0850 333 0713

Web: [www.ekbdanismani.com](http://www.ekbdanismani.com)

E-posta: [firat.ummetoglu@ekbdanismani.com](mailto:firat.ummetoglu@ekbdanismani.com)

 [facebook.com/ekbdanismani](https://facebook.com/ekbdanismani)

 [twitter.com/ekbdanismani](https://twitter.com/ekbdanismani)

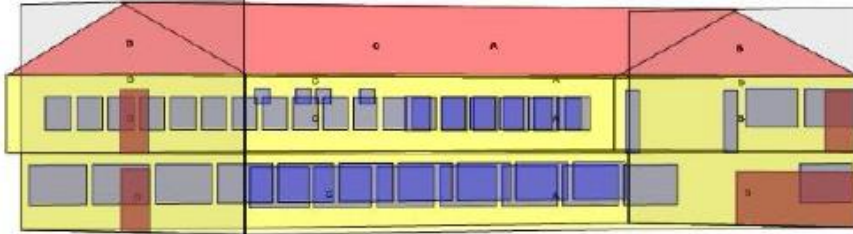
### 7. Bina Konumuna Göre Enerji Kimlik Belgesi-EKB Sonuçları

Binamız mevcut halinde **doğu-batı aksına 38,69°**lik açıyla konumlanmış ve buna göre bina görüntüsü ve EKB hesabı aşağıdadır.

**Genel Bilgiler**    **Veri Giriş Şekli**    **Kat Formu ve Ölçüler**

A Yüzeyinin Güney İle Yaptığı Aç

Kırma Çatı Var mı?



#### ENERJİ KİMLİK BELGESİ DEĞERLERİ

| Enerji kullanım alanı               | Kullanılan sistem | Nihai tüketim (kWh/yıl) | Birincil tüketim (kWh/yıl) | m <sup>2</sup> başına tüketim | SINIFI   |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------|
| <b>TOPLAM</b>                       |                   | <b>493.503,05</b>       | <b>561.837,08</b>          | <b>523,24</b>                 | <b>C</b> |
| Isıtma                              | Isıtma Sistemi    | 317.990,30              | 317.990,30                 | 337,15                        | E        |
| Sıhhi Sıcak Su                      | Sıcak Su Sistemi  | 125.267,15              | 125.267,15                 | 132,82                        | B        |
| Soğutma                             | Soğutma Sistemi   | 18.975,67               | 44.782,58                  | 20,12                         | A        |
| Havalandırma                        |                   | 0,00                    | 0,00                       | 0,00                          |          |
| Aydınlatma                          |                   | 31.269,94               | 73.797,06                  | 33,15                         | B        |
| Sera Gazı Emisyonu                  |                   |                         |                            | 184,22                        | C        |
| Yenilenebilir Enerji Kullanım Oranı | %0,00             |                         |                            |                               |          |

EKB 825 GÜNEŞ MÜHENDİSLİK – İnş. Müh. Fırat ÜMME TOĞLU Cep: 0555 564 4814

Merkez: Akdeniz Mah. Halit Ziya Bulv. Taner İş Merk. No:72 / 707 Pasaport Konak-İZMİR Tel : 0850 333 0713

Ankara Şube: Atatürk Bulvarı Sanlı İş Merkezi No:105/701 Kızılay-ANKARA Tel: 0850 333 0713

İstanbul Şube: Hasanpaşa Mah. No:61/1 Ofis No:17 Kadıköy-İSTANBUL Tel: 0850 333 0713

Web: [www.ekbdanismani.com](http://www.ekbdanismani.com)

E-posta: [firat.ummetoglu@ekbdanismani.com](mailto:firat.ummetoglu@ekbdanismani.com)

[facebook.com/ekbdanismani](https://www.facebook.com/ekbdanismani)

[twitter.com/ekbdanismani](https://twitter.com/ekbdanismani)

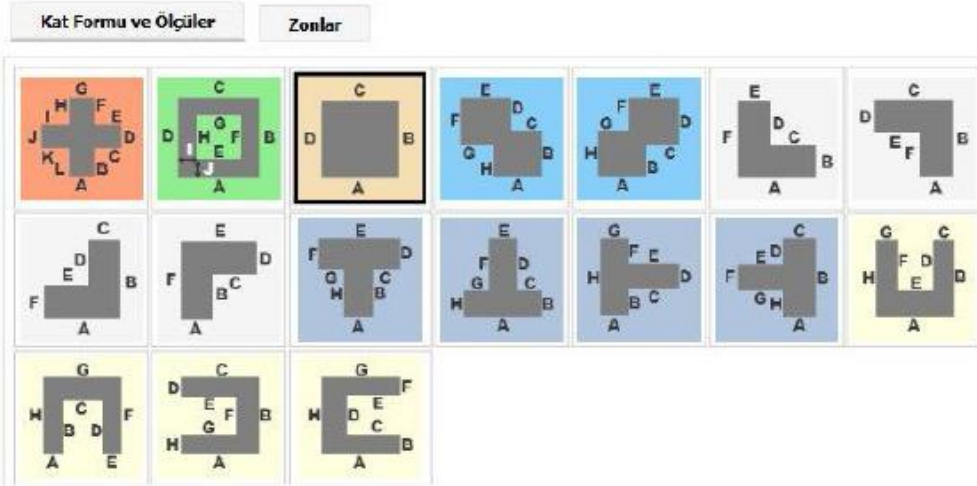


**ANADOLU ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ  
AKADEMİK VE İDARİ PERSONEL BLOĞU  
BİNA ENERJİ PERFORMANS-BEP EK RAPORU**

**1. Bep-tr Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

Tüketim değerleri belirlenen binamızın, ölçüm değerleri veya simülasyon program değerlerinin Bep-tr sonuçlarıyla farklı çıkmasının nedenleri aşağıdaki maddeler olabilir.

- Ülkemizin Çevre ve Şehircilik Bakanlığı düzeyinde temsiliyeti olan ulusal Bep-tr programının üçüncü boyutu sınırlıdır. Bütün hesaplamalar sadece yedi adet mimari tiptle hesaplanmaktadır. Bu durum mimari proje bilgilerini programa tam anlamıyla aktarmanın önüne geçmekte ve sonuçları etkilemektedir.



- Bep-tr programı dört iklim bölgesi üzerinden çalışmaktadır. Bu bölgeler TS 825 standardından alınmıştır. Bu durum, yeni nesil simülasyon programlarında koordinatlar (enlem,boylam) üzerinden yürümektedir. Standartlarımızdaki verilerin güncellenmesi gerekmektedir.

EKB 825 GÜNEŞ MÜHENDİSLİK – İnş. Müh. Fırat ÜMMETOĞLU Cep: 0555 564 4814

Merkez: Akdeniz Mah. Halit Ziya Bulv. Taner İş Merk. No:72 / 707 Pasaport Konak-İZMİR Tel : 0850 333 0713

Ankara Şube: Atatürk Bulvarı Sanli İş Merkezi No:105/701 Kızılay-ANKARA Tel: 0850 333 0713

İstanbul Şube: Hasanpaşa Mah. No:61/1 Ofis No:17 Kadıköy-İSTANBUL Tel: 0850 333 0713

Web: [www.ekbdanismani.com](http://www.ekbdanismani.com)

E-posta: [firat.ummetoğlu@ekbdanismani.com](mailto:firat.ummetoğlu@ekbdanismani.com)

[facebook.com/ekbdanismani](https://www.facebook.com/ekbdanismani)

[twitter.com/ekbdanismani](https://twitter.com/ekbdanismani)

- TSE 825, ASHRAE, DIN ve EN standartlarından alıntılar yapılmıştır, fakat bu alıntıların detayları ve nerede kullanıldıkları daha özet bir metodolojiyle anlatılmalıdır.
- Oda (zone) tiplerinde çalışma saati ve kullanıcı sayılarına dair kabuller mevcuttur. Bu kabullerin dışına çıkılmamaktadır. Uzman istediği gibi zonlama özelliklerini belirleyememektedir.

| Kat Formu ve Ölçüler           |       | Zonlar |  |
|--------------------------------|-------|--------|--|
| Zon Tipi                       | Daire |        |  |
| Adı                            | 7.    |        |  |
| Alan (m <sup>2</sup> )         | 560   |        |  |
| Dışa Temas Eden İç Duvar Adedi | 0     |        |  |

| No                      | Adı | Tipi  | Alan | İklimlendirilme                     |
|-------------------------|-----|-------|------|-------------------------------------|
| <a href="#">4409982</a> | 7.  | Daire | 560  | <input checked="" type="checkbox"/> |

EKB 825 GÜNEŞ MÜHENDİSLİK – İnş. Müh. Fırat ÜMMETOĞLU Cep: 0555 564 4814

Merkez: Akdeniz Mah. Halit Ziya Bulv. Taner İş Merk. No:72 / 707 Pasaport Konak-İZMİR Tel : 0850 333 0713

Ankara Şube: Atatürk Bulvarı Sanlı İş Merkezi No:105/701 Kızılay-ANKARA Tel: 0850 333 0713

İstanbul Şube: Hasanpaşa Mah. No:61/1 Ofis No:17 Kadıköy-İSTANBUL Tel: 0850 333 0713

Web: [www.ekbdanismani.com](http://www.ekbdanismani.com)

E-posta: [firat.ummetoglu@ekbdanismani.com](mailto:firat.ummetoglu@ekbdanismani.com)

 [facebook.com/ekbdanismani](https://facebook.com/ekbdanismani)

 [twitter.com/ekbdanismani](https://twitter.com/ekbdanismani)

## EK-3 TS 825 BİNALARDA ISI YALITIM KURALLARI YÖNETMELİĞİ'NE GÖRE YILLIK ISITMA ENERJİ TÜKETİMİ DEĞERLERİ

Çizelge 10: Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı



| Aylar                              | Isı Kaybı       |                |               | Isı Kazançları |                         |        |      |                         |                          |
|------------------------------------|-----------------|----------------|---------------|----------------|-------------------------|--------|------|-------------------------|--------------------------|
|                                    | Özgül Isı Kaybı | Sıcaklık Farkı | Isı Kayıpları | İç Isı Kazancı | Güneş Enerjisi İhtiyacı | Toplam | KKO  | Kazanç Kullanım Faktörü | Isıtma Enerjisi İhtiyacı |
| Ocak                               | 1.890,007       | 20,3           | 38.367,14     | 3.987,200      | 706                     | 4.693  | 0,12 | 1,00                    | 87.283.370,88            |
| Şubat                              |                 | 19,9           | 37.611,14     |                | 1004                    | 4.991  | 0,13 | 1,00                    | 84.551.402,88            |
| Mart                               |                 | 15,9           | 30.051,11     |                | 1411                    | 5.398  | 0,18 | 1,00                    | 63.900.861,12            |
| Nisan                              |                 | 9,9            | 18.711,07     |                | 1791                    | 5.778  | 0,31 | 0,96                    | 34.121.580,48            |
| Mayıs                              |                 | 5,6            | 10.584,04     |                | 2143                    | 6.130  | 0,58 | 0,82                    | 14.404.884,48            |
| Haziran                            |                 | 1,5            | 2.835,01      |                | 2252                    | 6.239  | 2,20 | 0,37                    | 1.364.895,36             |
| Temmuz                             |                 | Fie Yüksek     | 0,00          |                | 2198                    | 6.185  | 0,00 | 0,00                    | 0,00                     |
| Ağustos                            |                 | Fie Yüksek     | 0,00          |                | 1981                    | 5.968  | 0,00 | 0,00                    | 0,00                     |
| Eylül                              |                 | 2,8            | 5.292,02      |                | 1547                    | 5.534  | 1,05 | 0,61                    | 4.966.997,76             |
| Ekim                               |                 | 8,4            | 15.876,06     |                | 1085                    | 5.072  | 0,32 | 0,96                    | 28.529.988,48            |
| Kasım                              |                 | 14,4           | 27.216,10     |                | 733                     | 4.720  | 0,17 | 1,00                    | 58.309.891,20            |
| Aralık                             |                 | 18,7           | 35.343,13     |                | 597                     | 4.584  | 0,13 | 1,00                    | 79.727.664,96            |
| <b>Qyıl (kj) = 457.161.537,600</b> |                 |                |               |                |                         |        |      |                         |                          |

$$Q_{ay} = [H (\theta - \theta_e) - \eta (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t \text{ (J)} \quad (1 \text{ kJ} = 0,278 \times 10^{-3} \text{ kWh})$$

$$\text{Toplam ısı kaybı } Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 457.161.537,600 \text{ (kj)} = 127090,907 \text{ kWh}$$

$$\text{Konutlar için iç ısı kazancı } \phi_{i,ay} \leq 5 \cdot A_n \text{ (W)}$$

$$\text{Güneş enerjisi kazancı } \phi_{g,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times l_{i,ay} \times A_i$$

$$\text{Kazanç kayıp oranı } KKO_{ay} = (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay}) / H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})$$

$$A_{\text{toplam}} = 1086,6 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{brüt}} = 2492 \text{ m}^3$$

$$A_n = 0,32 \cdot V_{\text{brüt}} = 797,440$$

$$\text{Kazanç kullanım faktörü } \eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})}$$

Yıllık birim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı:

$$Q = 51,000 \text{ kWh/m}^3$$

Atop / Vbrüt oranına ve derece gün bölgesine göre olması gereken en büyük ısı kaybı bulunur.

$$Q' (\text{TSE}) = 17,515$$

50,9996 >= 17,515 olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değerde/üzerinde olduğu görülmektedir. O halde bu proje bu standardda verilen hesap metoduna göre uygun değildir!

**Yıllık Enerji Tüketimi  
155,52 kWh/m<sup>2</sup>**



**ISI İHTİYACI KİMLİK BELGESİ**

Pafta / Ada / Parsel

Bina Tanımı ÖĞRETİM BİNALARI

Cadde bina numarası

Kullanılacak Yakıt Türü DOĞAL GAZ

Proje Tarihi

İl / İlçe ESKİŞEHİR

Belediye TEPEBAŞI

Belediye TEPEBAŞI

Proje Sahibi HAKAN ÜNALAN  
ANADOLU

|                |        | Müsaade edilen maksimum<br>Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı | Hesaplanan<br>Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı |
|----------------|--------|--|---|
| Atop ( m2)     | 1086,6 | $Q' = 17,515 \text{ kWh/m}^2$                              | $Q = 51,000 \text{ kWh/m}^2$                  |
| V brüt ( m3 )  | 2492   | HACİM AĞIRLIKLI HESAP YÖNTEMİ                              |   |
| Atop / V (m-1) | 0,436  |  |   |
| An ( m2 )      | 797,44 |  |   |

**Birim hacim veya birim alan başına tüketilecek yakıt miktarı ( kg,m3)**Qyıl (Toplam ısı kaybı) =  $0,278 \times 10^{-3} \times 457161537,600$  (kg) = 127090,907 kWhQyıl / ( Yakıtın kaloriferik değeri \* Sistemin verimi) =  $127090,907 / (0,900 \times 9,590) = 14724,9342$  (m3 yakıt)

**Önemli Not:** Buradaki hesaplama sonucu elde edilen yakıt miktarı , binanın TS 825'deki kabullerine göre yalıtılması sonucu elde edilmektedir.Yerleşim birimlerindeki iklimsel koşullara göre değişiklik gösterebilecek olan bu değer her zaman gerçek tüketimi vermeyebilir.

Atop : Dış duvar ,tavan taban /döşeme , pencere kapı vb. Yapı bileşenlerinin ısı kaybeden yüzey alanlarının toplamı olup , dış ölçülere göre bulunur.Birimi m<sup>2</sup>'dir.

Vbrüt : Binayı çevreleyen dış kabuğun ölçülerine göre hacimdir.Birimi m<sup>3</sup>'tür.

A/V : Isı kaybeden toplam yüzeyin (Atop ) ısıtılmış yapı hacmine (Vbrüt) oranıdır. Birimi m<sup>-1</sup>'dir.

Q' : A/V oranına bağlı olarak müsaade edilen maksimum yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacıdır. Birimi kWh/m<sup>2</sup> kWh/m<sup>3</sup>'tür.

Qyıl : Bu bina için hesaplanmış olan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı. Birimi kWh/m<sup>2</sup> , kWh/m<sup>3</sup>'tür.

**Binanın enerji verimliliği indeksi**

|  |   |   |
|--|---|---|
| <input type="checkbox"/> C tipi bina<br>Normal enerji verimli bina | <input type="checkbox"/> B tipi bina<br>İyi enerji verimli bina | <input type="checkbox"/> A tipi bina<br>Süper enerji verimli bina |
|--|---|---|

**Not :**  $Q \leq 0,999 \cdot Q'$  ise C tipi bina (51,000  $\leq$  17,515 ) $Q \leq 0,90 \cdot Q'$  ise B tipi bina (51,000  $\leq$  15,764 ) $Q \leq 0,80 \cdot Q'$  ise A tipi bina (51,000  $\leq$  12,261 ) Yukarıdakilerden  
hiçbiri

| Düzenleyenler   | MMO                                   | ONAY |
|---|---------------------------------------|------|
| Adı, Soyadı, Unvanı<br><br>MAKİNA MÜHENDİSİ<br>İmza ..... | Adı, Soyadı, Unvanı<br><br>İmza ..... |      |

## Maksimum Isıtma Enerjisi İhtiyacı



|                             |   |  |
|-----------------------------|---|--|
| Bölge No                    | : | 3  |
| Havalandırma Tipi           | : | Binada Doğal Havalandırma Var              |
| Bina Tipi                   | : | Okul, Konut, Normal, Donanımlı Binalar Vb. |
| Ortam İçi Sıcaklık (Ti)     | : | 19 °C                                      |
| Kat Yüksekliği              | : | 305 cm                                     |
| Havalandırma Kayıpları (Hh) | : | 402,956 WK                                 |
| İletim Kayıpları (H)        | : | 1487,051 WK                                |
| Hava Değişim Debisi (nh)    | : | 0,7  |
| Vbrüt                       | : | 2492 m³                                    |
| Atoplam                     | : | 1086,6 m³                                  |
| A / V                       | : | 0,436                                      |

Bu binanın A/V'ye göre olması gereken Maksimum Isıtma Enerjisi İhtiyacı : 51,000 kWh/m³



**Çizelge 7 - Binaın Özgöl Isı Kaybı**

| Binadaki Yapı Elemanları     | Yapı Elemanı Kalınlığı<br>d ( m )   | Isı İletkenlik Hesap Değeri<br>W/mK | Isı İletkenlik Direnci<br>R (m <sup>2</sup> K/W) | Isı Geçirgenlik<br>U ( W/m <sup>2</sup> K ) | Isı Kaybeden Yüzey<br>A ( m <sup>2</sup> ) | Isı Kaybı<br>A * U<br>( W/K ) |                |
|------------------------------|---|-------------------------------------|--|---|--|-------------------------------|----------------|
| <b>DIŞ DUVAR</b>             |   |                                     |  | <b>Malzeme Toplamları &gt;&gt;&gt;</b>      | <b>0,875</b>                               | <b>97,5</b>                   | <b>85,313</b>  |
|                              | İç yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci  | 0                                   | 0  | 0,13  | -  | -                             |                |
| 4.3                          | Alçı harcı, kireçli alçı harcı  | 0,005                               | 0,7  | 0,007                                       | -  | -                             |                |
| 4.2                          | Çimento harcı   | 0,02                                | 1,6  | 0,013                                       | -  | -                             |                |
| 6.1.1.3                      | Normal derz kalınlığında ve normal harçla yerleştirilen levhalar  | 0,2                                 | 0,24   | 0,833                                       | -  | -                             |                |
| 4.2                          | Çimento harcı   | 0,015                               | 1,6  | 0,009                                       | -  | -                             |                |
| 7.1.1.1                      | TS EN 771-1'e uygun tuğlalarla yapılan kâgir duvarlar, dolu klinker, düşey delikli klinker, Dış yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci | 0,09                                | 0,81   | 0,111                                       | -  | -                             |                |
|                              | Dış yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci   | 0                                   | 0  | 0,04  | -  | -                             |                |
| <b>ÇATI</b>                  |   |                                     |  | <b>Malzeme Toplamları &gt;&gt;&gt;</b>      | <b>2,268</b>                               | <b>423,13</b>                 | <b>767,727</b> |
|                              | İç yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci  | 0                                   | 0  | 0,13  | -  | -                             |                |
| 11.3.2.3.4                   | Yatay (ısı akışı aşağıdan yukarıya) kalınlık=50 mm.   | 2                                   | 0,313  | 0,15  | -  | -                             |                |
| 5.1.1                        | Donatılı  | 0,15                                | 2,2  | 0,068                                       | -  | -                             |                |
| 4.2                          | Çimento harcı   | 0,02                                | 1,6  | 0,013                                       | -  | -                             |                |
|                              | Dış yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci   | 0                                   | 0  | 0,08  | -  | -                             |                |
| <b>TOPRAGA OTURAN DOSEME</b> |   |                                     |  | <b>Malzeme Toplamları &gt;&gt;&gt;</b>      | <b>0,688</b>                               | <b>394,06</b>                 | <b>135,557</b> |
|                              | İç yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci  | 0                                   | 0  | 0,17  | -  | -                             |                |
| 9.2.3.2                      | PVC örtü  | 0,005                               | 0,19   | 0,026                                       | -  | -                             |                |
| 1.8                          | Yapay taşlar  | 0,025                               | 1,3  | 0,019                                       | -  | -                             |                |
| 4.2                          | Çimento harcı   | 0,025                               | 1,6  | 0,016                                       | -  | -                             |                |
| 5.1.1                        | Donatılı  | 0,15                                | 2,2  | 0,068                                       | -  | -                             |                |
| 3.3                          | Yüksek fırın cürufu   | 0,15                                | 0,13   | 1,154                                       | -  | -                             |                |
|                              | Dış yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci   | 0                                   | 0  | 0   | -  | -                             |                |
| <b>BETONARME</b>             |   |                                     |  | <b>Malzeme Toplamları &gt;&gt;&gt;</b>      | <b>2,985</b>                               | <b>96,54</b>                  | <b>288,172</b> |
|                              | İç yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci  | 0                                   | 0  | 0,13  | -  | -                             |                |
| 4.3                          | Alçı harcı, kireçli alçı harcı  | 0,005                               | 0,7  | 0,007                                       | -  | -                             |                |
| 4.2                          | Çimento harcı   | 0,02                                | 1,6  | 0,013                                       | -  | -                             |                |
| 5.1.1                        | Donatılı  | 0,3                                 | 2,2  | 0,136                                       | -  | -                             |                |
| 4.2                          | Çimento harcı   | 0,015                               | 1,6  | 0,009                                       | -  | -                             |                |
|                              | Dış yüzeyin yüzeysel ısı iletkenlik direnci   | 0                                   | 0  | 0,04  | -  | -                             |                |
| <b>PENCERE</b>               |   |                                     |  | <b>Malzeme Toplamları &gt;&gt;&gt;</b>      | <b>2,79</b>                                | <b>75,37</b>                  | <b>210,282</b> |

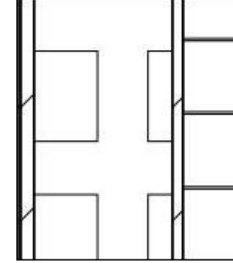


## Bileşenlerin Malzeme Detayları

### 1: DIŞ DUVAR

|   |          |
|---|----------|
| İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci     | 0        |
| Alçı harcı, kireçli alçı harcı                | 0,005 m. |
| Çimento harcı                                 | 0,02 m.  |
| Normal derz kalınlığında ve normal harçla yer | 0,2 m.   |
| Çimento harcı                                 | 0,015 m. |
| TS EN 771-1'e uygun tuğlalarla yapılan kâgır  | 0,09 m.  |
| Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci    | 0        |

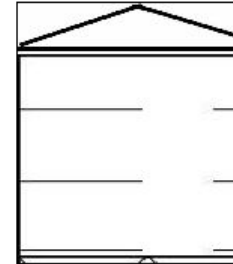
0,005 > 0,02 > 0,2 > 0,015 > 0,09 mt.



### 2: ÇATI

|  |         |
|--|---------|
| İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci              | 0       |
| Yatay (ısı akışı aşağıdan yukarıya) kalınlık= Donatılı | 2 m.    |
| Çimento harcı  | 0,15 m. |
| Çimento harcı  | 0,02 m. |
| Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci             | 0       |

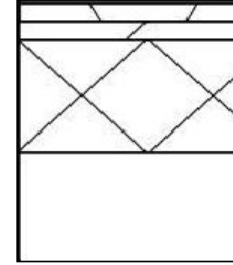
2 > 0,15 > 0,02 mt.



### 3: TOPRAGA OTURAN DOSEME

|  |          |
|--|----------|
| İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci  | 0        |
| PVC örtü                                   | 0,005 m. |
| Yapay taşlar                               | 0,025 m. |
| Çimento harcı                              | 0,025 m. |
| Donatılı                                   | 0,15 m.  |
| Yüksek fırın cürufu                        | 0,15 m.  |
| Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci | 0        |

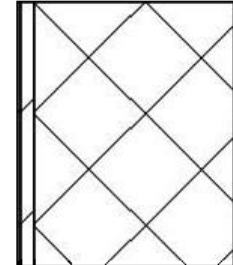
0,005 > 0,025 > 0,025 > 0,15 > 0,15 mt.



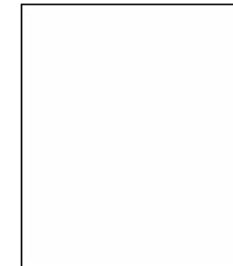
### 4: BETONARME

|  |          |
|--|----------|
| İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci  | 0        |
| Alçı harcı, kireçli alçı harcı             | 0,005 m. |
| Çimento harcı                              | 0,02 m.  |
| Donatılı                                   | 0,3 m.   |
| Çimento harcı                              | 0,015 m. |
| Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci | 0        |

0,005 > 0,02 > 0,3 > 0,015 mt.



### 5: PENCERE



**EK-4 ANADOLU ÜNİVERSİTESİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ AKADEMİK VE İDARİ PERSONEL BLOĞUNUN ALTERNATİF YÖNLERE VE OPAKLIK SAYDAMLIK ORANLARINA GÖRE HESAPLANAN YILLIK ISITMA VE SOĞUTMA ENERJİ TÜKETİMLERİ (kWh/yıl)**

| Opaklık Saydamlık Oranı | Cam Türü | KUZEY                     |                            | KUZEYDOĞU                 |                            | KUZEYBATI                 |                            | DOĞU                      |                            |
|-------------------------|----------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
|                         |          | Isıtma Enerjisi (kWh/yıl) | Soğutma Enerjisi (kWh/yıl) | Isıtma Enerjisi (kWh/yıl) | Soğutma Enerjisi (kWh/yıl) | Isıtma Enerjisi (kWh/yıl) | Soğutma Enerjisi (kWh/yıl) | Isıtma Enerjisi (kWh/yıl) | Soğutma Enerjisi (kWh/yıl) |
| 10%                     | A        | 90.176                    | 635                        | 89.812                    | 902                        | 89.809                    | 849                        | 88.543                    | 1.369                      |
|                         | B        | 90.423                    | 575                        | 90.092                    | 760                        | 90.102                    | 724                        | 88.992                    | 1.086                      |
|                         | C        | 89.961                    | 574                        | 89.664                    | 740                        | 89.646                    | 710                        | 88.624                    | 1.014                      |
|                         | D        | 89.816                    | 605                        | 89.502                    | 814                        | 89.472                    | 771                        | 88.339                    | 1.181                      |
|                         | E        | 90.333                    | 569                        | 90.035                    | 735                        | 90.012                    | 705                        | 88.958                    | 1.010                      |
|                         | Mevcut   | 91.409                    | 667                        | 90.978                    | 1.007                      | 90.961                    | 942                        | 89.536                    | 1.596                      |
| 20%                     | A        | 90.173                    | 941                        | 89.639                    | 1.720                      | 89.611                    | 1.591                      | 87.549                    | 3.088                      |
|                         | B        | 90.752                    | 723                        | 90.331                    | 1.146                      | 90.329                    | 1.091                      | 88.701                    | 2.003                      |
|                         | C        | 89.527                    | 715                        | 89.106                    | 1.079                      | 89.107                    | 1.041                      | 87.680                    | 1.751                      |
|                         | D        | 89.158                    | 818                        | 88.729                    | 1.345                      | 88.707                    | 1.267                      | 86.983                    | 2.365                      |
|                         | E        | 90.408                    | 696                        | 89.976                    | 1.060                      | 89.984                    | 1.022                      | 88.514                    | 1.737                      |
|                         | Mevcut   | 93.045                    | 1.092                      | 92.350                    | 2.188                      | 92.335                    | 1.993                      | 89.896                    | 3.958                      |
| 30%                     | A        | 90.023                    | 1.323                      | 89.338                    | 2.715                      | 89.326                    | 2.497                      | 86.669                    | 5.015                      |
|                         | B        | 90.902                    | 895                        | 90.405                    | 1.613                      | 90.396                    | 1.528                      | 88.359                    | 3.032                      |
|                         | C        | 89.082                    | 879                        | 88.595                    | 1.490                      | 88.598                    | 1.427                      | 86.847                    | 2.586                      |
|                         | D        | 88.550                    | 1.078                      | 88.034                    | 1.996                      | 88.013                    | 1.867                      | 85.828                    | 3.703                      |
|                         | E        | 90.474                    | 848                        | 89.966                    | 1.454                      | 89.971                    | 1.395                      | 88.158                    | 2.563                      |
|                         | Mevcut   | 94.308                    | 1.642                      | 93.406                    | 3.607                      | 93.405                    | 3.254                      | 90.173                    | 6.534                      |
| 40%                     | A        | 89.871                    | 1.795                      | 89.086                    | 3.849                      | 89.072                    | 3.502                      | 85.906                    | 6.994                      |
|                         | B        | 91.003                    | 1.105                      | 90.429                    | 2.158                      | 90.421                    | 2.033                      | 88.032                    | 4.143                      |
|                         | C        | 88.645                    | 1.079                      | 88.095                    | 1.976                      | 88.094                    | 1.881                      | 86.057                    | 3.498                      |
|                         | D        | 87.976                    | 1.394                      | 87.372                    | 2.757                      | 87.355                    | 2.557                      | 84.785                    | 5.139                      |
|                         | E        | 90.420                    | 1.030                      | 89.842                    | 1.921                      | 89.846                    | 1.833                      | 87.748                    | 3.458                      |
|                         | Mevcut   | 95.340                    | 2.298                      | 94.288                    | 5.126                      | 94.264                    | 4.584                      | 90.418                    | 9.037                      |
| 50%                     | A        | 89.719                    | 2.267                      | 88.834                    | 4.984                      | 88.818                    | 4.507                      | 85.143                    | 8.973                      |
|                         | B        | 91.104                    | 1.315                      | 90.453                    | 2.704                      | 90.446                    | 2.539                      | 87.706                    | 5.254                      |
|                         | C        | 88.208                    | 1.279                      | 87.596                    | 2.461                      | 87.590                    | 2.336                      | 85.268                    | 4.411                      |
|                         | D        | 87.403                    | 1.711                      | 86.711                    | 3.517                      | 86.698                    | 3.247                      | 83.743                    | 6.575                      |
|                         | E        | 90.367                    | 1.213                      | 89.719                    | 2.387                      | 89.722                    | 2.270                      | 87.339                    | 4.352                      |
|                         | Mevcut   | 96.373                    | 2.954                      | 95.169                    | 6.645                      | 95.123                    | 5.914                      | 90.663                    | 11.540                     |
| 60%                     | A        | 89.628                    | 2.707                      | 88.663                    | 5.961                      | 88.639                    | 5.381                      | 84.600                    | 10.582                     |
|                         | B        | 91.182                    | 1.523                      | 90.477                    | 3.210                      | 90.478                    | 2.994                      | 87.483                    | 6.210                      |
|                         | C        | 87.914                    | 1.476                      | 87.255                    | 2.917                      | 87.250                    | 2.754                      | 84.719                    | 5.214                      |
|                         | D        | 87.003                    | 2.018                      | 86.262                    | 4.213                      | 86.248                    | 3.870                      | 83.007                    | 7.789                      |
|                         | E        | 90.374                    | 1.393                      | 89.689                    | 2.823                      | 89.685                    | 2.669                      | 87.087                    | 5.136                      |
|                         | Mevcut   | 97.233                    | 3.532                      | 95.922                    | 7.888                      | 95.869                    | 7.013                      | 90.950                    | 13.505                     |
| 70%                     | A        | 89.537                    | 3.147                      | 88.492                    | 6.937                      | 88.461                    | 6.254                      | 84.058                    | 12.191                     |
|                         | B        | 91.259                    | 1.731                      | 90.501                    | 3.716                      | 90.509                    | 3.449                      | 87.261                    | 7.166                      |
|                         | C        | 87.620                    | 1.673                      | 86.914                    | 3.372                      | 86.911                    | 3.172                      | 84.171                    | 6.016                      |
|                         | D        | 86.603                    | 2.326                      | 85.813                    | 4.909                      | 85.798                    | 4.493                      | 82.272                    | 9.002                      |
|                         | E        | 90.381                    | 1.573                      | 89.658                    | 3.258                      | 89.649                    | 3.069                      | 86.834                    | 5.919                      |
|                         | Mevcut   | 98.093                    | 4.110                      | 96.674                    | 9.131                      | 96.614                    | 8.112                      | 91.237                    | 15.470                     |
| 80%                     | A        | 89.510                    | 3.691                      | 88.361                    | 8.126                      | 88.326                    | 7.322                      | 83.492                    | 14.128                     |
|                         | B        | 91.422                    | 1.998                      | 90.600                    | 4.347                      | 90.616                    | 4.013                      | 87.065                    | 8.333                      |
|                         | C        | 87.342                    | 1.923                      | 86.586                    | 3.943                      | 86.581                    | 3.694                      | 83.593                    | 7.004                      |
|                         | D        | 86.207                    | 2.713                      | 85.359                    | 5.770                      | 85.341                    | 5.265                      | 81.466                    | 10.476                     |
|                         | E        | 90.469                    | 1.800                      | 89.703                    | 3.804                      | 89.694                    | 3.567                      | 86.603                    | 6.882                      |
|                         | Mevcut   | 99.202                    | 4.816                      | 97.650                    | 10.620                     | 97.593                    | 9.432                      | 91.662                    | 17.805                     |

| Opaklık Saydamlık Oranı | Cam Türü | BATI                      |                            | GÜNEY                     |                            | GÜNEYDOĞU                 |                            | GÜNEYBATI                 |                            |
|-------------------------|----------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
|                         |          | Isıtma Enerjisi (kWh/yıl) | Soğutma Enerjisi (kWh/yıl) | Isıtma Enerjisi (kWh/yıl) | Soğutma Enerjisi (kWh/yıl) | Isıtma Enerjisi (kWh/yıl) | Soğutma Enerjisi (kWh/yıl) | Isıtma Enerjisi (kWh/yıl) | Soğutma Enerjisi (kWh/yıl) |
| 10%                     | A        | 88.366                    | 1.174                      | 86.645                    | 843                        | 87.319                    | 1.259                      | 87.033                    | 1.110                      |
|                         | B        | 88.857                    | 955                        | 87.426                    | 739                        | 87.959                    | 1.018                      | 87.718                    | 916                        |
|                         | C        | 88.496                    | 901                        | 87.147                    | 738                        | 87.668                    | 975                        | 87.465                    | 890                        |
|                         | D        | 88.181                    | 1.032                      | 86.684                    | 779                        | 87.253                    | 1.095                      | 87.001                    | 982                        |
|                         | E        | 88.838                    | 895                        | 87.478                    | 732                        | 88.013                    | 971                        | 87.800                    | 888                        |
|                         | Mevcut   | 89.354                    | 1.344                      | 87.348                    | 920                        | 88.139                    | 1.449                      | 87.827                    | 1.266                      |
| 20%                     | A        | 87.285                    | 2.585                      | 84.340                    | 1.435                      | 85.499                    | 2.675                      | 85.008                    | 2.267                      |
|                         | B        | 88.504                    | 1.707                      | 86.252                    | 1.016                      | 87.077                    | 1.734                      | 86.691                    | 1.492                      |
|                         | C        | 87.484                    | 1.510                      | 85.511                    | 1.016                      | 86.273                    | 1.594                      | 85.963                    | 1.400                      |
|                         | D        | 86.753                    | 2.005                      | 84.363                    | 1.156                      | 85.266                    | 2.029                      | 84.854                    | 1.732                      |
|                         | E        | 88.322                    | 1.497                      | 86.324                    | 1.000                      | 87.093                    | 1.580                      | 86.789                    | 1.388                      |
|                         | Mevcut   | 89.569                    | 3.273                      | 85.962                    | 1.824                      | 87.406                    | 3.455                      | 86.870                    | 2.922                      |
| 30%                     | A        | 86.291                    | 4.198                      | 82.354                    | 2.179                      | 83.897                    | 4.251                      | 83.267                    | 3.604                      |
|                         | B        | 88.074                    | 2.577                      | 85.191                    | 1.347                      | 86.278                    | 2.536                      | 85.772                    | 2.155                      |
|                         | C        | 86.584                    | 2.220                      | 84.093                    | 1.360                      | 85.063                    | 2.303                      | 84.663                    | 2.005                      |
|                         | D        | 85.522                    | 3.132                      | 82.382                    | 1.621                      | 83.564                    | 3.074                      | 83.031                    | 2.607                      |
|                         | E        | 87.929                    | 2.195                      | 85.364                    | 1.330                      | 86.368                    | 2.278                      | 85.943                    | 1.980                      |
|                         | Mevcut   | 89.704                    | 5.404                      | 84.798                    | 2.950                      | 86.800                    | 5.631                      | 86.046                    | 4.787                      |
| 40%                     | A        | 85.443                    | 5.875                      | 80.649                    | 2.990                      | 82.543                    | 5.876                      | 81.769                    | 5.012                      |
|                         | B        | 87.705                    | 3.505                      | 84.261                    | 1.733                      | 85.548                    | 3.383                      | 84.957                    | 2.876                      |
|                         | C        | 85.892                    | 2.998                      | 82.812                    | 1.760                      | 83.976                    | 3.070                      | 83.505                    | 2.678                      |
|                         | D        | 84.424                    | 4.344                      | 80.644                    | 2.157                      | 82.070                    | 4.181                      | 81.418                    | 3.559                      |
|                         | E        | 87.471                    | 2.955                      | 84.433                    | 1.718                      | 85.633                    | 3.030                      | 85.144                    | 2.637                      |
|                         | Mevcut   | 89.828                    | 7.527                      | 83.784                    | 4.108                      | 86.298                    | 7.798                      | 85.363                    | 6.662                      |
| 50%                     | A        | 84.595                    | 7.553                      | 78.944                    | 3.802                      | 81.188                    | 7.501                      | 80.270                    | 6.421                      |
|                         | B        | 87.336                    | 4.433                      | 83.331                    | 2.119                      | 84.819                    | 4.230                      | 84.141                    | 3.598                      |
|                         | C        | 85.200                    | 3.775                      | 81.531                    | 2.159                      | 82.889                    | 3.837                      | 82.348                    | 3.351                      |
|                         | D        | 83.325                    | 5.556                      | 78.905                    | 2.693                      | 80.576                    | 5.287                      | 79.804                    | 4.510                      |
|                         | E        | 87.012                    | 3.716                      | 83.503                    | 2.105                      | 84.899                    | 3.783                      | 84.345                    | 3.294                      |
|                         | Mevcut   | 89.952                    | 9.650                      | 82.771                    | 5.265                      | 85.796                    | 9.964                      | 84.679                    | 8.537                      |
| 60%                     | A        | 83.987                    | 8.942                      | 77.685                    | 4.474                      | 80.213                    | 8.828                      | 79.189                    | 7.588                      |
|                         | B        | 87.072                    | 5.231                      | 82.635                    | 2.461                      | 84.294                    | 4.948                      | 83.542                    | 4.216                      |
|                         | C        | 84.489                    | 4.454                      | 80.603                    | 2.516                      | 82.099                    | 4.500                      | 81.506                    | 3.937                      |
|                         | D        | 82.538                    | 6.596                      | 77.632                    | 3.163                      | 79.492                    | 6.221                      | 78.639                    | 5.326                      |
|                         | E        | 86.727                    | 4.376                      | 82.862                    | 2.447                      | 84.399                    | 4.431                      | 83.793                    | 3.865                      |
|                         | Mevcut   | 90.151                    | 11.338                     | 82.107                    | 6.191                      | 85.528                    | 11.660                     | 84.268                    | 10.025                     |
| 70%                     | A        | 83.378                    | 10.332                     | 76.427                    | 5.146                      | 79.237                    | 10.155                     | 78.109                    | 8.755                      |
|                         | B        | 86.809                    | 6.028                      | 81.939                    | 2.802                      | 83.769                    | 5.667                      | 82.942                    | 4.834                      |
|                         | C        | 83.778                    | 5.133                      | 79.675                    | 2.873                      | 81.309                    | 5.164                      | 80.664                    | 4.522                      |
|                         | D        | 81.751                    | 7.637                      | 76.359                    | 3.632                      | 78.409                    | 7.156                      | 77.474                    | 6.142                      |
|                         | E        | 86.442                    | 5.036                      | 82.220                    | 2.789                      | 83.900                    | 5.079                      | 83.241                    | 4.436                      |
|                         | Mevcut   | 90.350                    | 13.026                     | 81.443                    | 7.118                      | 85.259                    | 13.356                     | 83.856                    | 11.513                     |
| 80%                     | A        | 82.731                    | 12.011                     | 75.013                    | 5.958                      | 78.168                    | 11.748                     | 76.919                    | 10.163                     |
|                         | B        | 86.565                    | 7.004                      | 81.179                    | 3.222                      | 83.218                    | 6.543                      | 82.298                    | 5.588                      |
|                         | C        | 83.152                    | 5.966                      | 78.635                    | 3.313                      | 80.444                    | 5.977                      | 79.728                    | 5.240                      |
|                         | D        | 80.893                    | 8.908                      | 74.916                    | 4.208                      | 77.202                    | 8.292                      | 76.165                    | 7.136                      |
|                         | E        | 86.187                    | 5.843                      | 81.528                    | 3.213                      | 83.377                    | 5.875                      | 82.658                    | 5.135                      |
|                         | Mevcut   | 90.692                    | 15.041                     | 80.755                    | 8.217                      | 85.045                    | 15.361                     | 83.452                    | 13.278                     |

**EK-5 ÖRNEK BİNA GERÇEKÇİ MODELİNDEKİ ALTERNATİF YÖN VE OPAKLIK SAYDAMLIK ORANLARINA GÖRE ALTERNATİF CAM TÜRLERİNİN ISITMA-SOĞUTMA ENERJİ TASARRUF MİKTARLARI VE MALİYETLERİ**

|                         |          | KUZEY                      |                                    |                             |                                     |                          |                           |                         |
|-------------------------|----------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Opaklık Saydamlık Oranı | Cam Türü | Isıtma Tasarrufu (kWh/yıl) | Isıtma Tasarrufu Maliyeti (TL/yıl) | Soğutma Tasarrufu (kWh/yıl) | Soğutma Tasarrufu Maliyeti (TL/yıl) | Toplam Tasarruf (TL/yıl) | İlk Yatırım Maliyeti (TL) | Geri Ödeme Süresi (yıl) |
| 10%                     | A        | 1.233                      | 124                                | 32                          | 13                                  | 137                      | 165                       | 1,3                     |
|                         | B        | 986                        | 99                                 | 92                          | 37                                  | 136                      | 283                       | 2,3                     |
|                         | C        | 1.448                      | 146                                | 92                          | 37                                  | 183                      | 968                       | 7,1                     |
|                         | D        | 1.593                      | 160                                | 62                          | 25                                  | 185                      | 850                       | 6,2                     |
|                         | E        | 1.077                      | 108                                | 98                          | 39                                  | 148                      | 684                       | 6,1                     |
| 20%                     | A        | 2.871                      | 289                                | 150                         | 60                                  | 349                      | 324                       | 1,1                     |
|                         | B        | 2.293                      | 230                                | 368                         | 147                                 | 378                      | 555                       | 1,6                     |
|                         | C        | 3.518                      | 354                                | 377                         | 151                                 | 504                      | 1.896                     | 4,4                     |
|                         | D        | 3.887                      | 391                                | 274                         | 109                                 | 500                      | 1.665                     | 4,2                     |
|                         | E        | 2.636                      | 265                                | 395                         | 158                                 | 423                      | 1.341                     | 3,6                     |
| 30%                     | A        | 4.285                      | 431                                | 319                         | 128                                 | 558                      | 477                       | 0,9                     |
|                         | B        | 3.406                      | 342                                | 747                         | 299                                 | 641                      | 818                       | 1,4                     |
|                         | C        | 5.225                      | 525                                | 763                         | 305                                 | 830                      | 2.796                     | 4,1                     |
|                         | D        | 5.758                      | 579                                | 564                         | 225                                 | 804                      | 2.455                     | 4,0                     |
|                         | E        | 3.834                      | 385                                | 794                         | 318                                 | 703                      | 1.978                     | 3,3                     |
| 40%                     | A        | 5.470                      | 550                                | 503                         | 201                                 | 751                      | 661                       | 1,0                     |
|                         | B        | 4.337                      | 436                                | 1.193                       | 477                                 | 913                      | 1.133                     | 1,3                     |
|                         | C        | 6.695                      | 673                                | 1.219                       | 488                                 | 1.161                    | 3.870                     | 4,1                     |
|                         | D        | 7.364                      | 740                                | 903                         | 361                                 | 1.102                    | 3.398                     | 4,0                     |
|                         | E        | 4.920                      | 495                                | 1.267                       | 507                                 | 1.001                    | 2.738                     | 3,2                     |
| 50%                     | A        | 6.654                      | 669                                | 687                         | 275                                 | 944                      | 800                       | 0,8                     |
|                         | B        | 5.269                      | 530                                | 1.639                       | 655                                 | 1.185                    | 1.371                     | 1,3                     |
|                         | C        | 8.165                      | 821                                | 1.675                       | 670                                 | 1.491                    | 4.683                     | 3,5                     |
|                         | D        | 8.971                      | 902                                | 1.243                       | 497                                 | 1.399                    | 4.112                     | 3,5                     |
|                         | E        | 6.007                      | 604                                | 1.741                       | 696                                 | 1.300                    | 3.312                     | 3,1                     |
| 60%                     | A        | 7.605                      | 764                                | 825                         | 330                                 | 1.094                    | 952                       | 0,9                     |
|                         | B        | 6.052                      | 608                                | 2.009                       | 803                                 | 1.412                    | 1.631                     | 1,3                     |
|                         | C        | 9.319                      | 937                                | 2.056                       | 822                                 | 1.759                    | 5.573                     | 3,6                     |
|                         | D        | 10.230                     | 1.028                              | 1.513                       | 605                                 | 1.634                    | 4.894                     | 3,5                     |
|                         | E        | 6.859                      | 689                                | 2.139                       | 855                                 | 1.545                    | 3.942                     | 3,1                     |
| 70%                     | A        | 8.556                      | 860                                | 963                         | 385                                 | 1.245                    | 1.117                     | 1,0                     |
|                         | B        | 6.834                      | 687                                | 2.379                       | 951                                 | 1.638                    | 1.914                     | 1,3                     |
|                         | C        | 10.473                     | 1.053                              | 2.437                       | 975                                 | 2.027                    | 6.541                     | 4,0                     |
|                         | D        | 11.490                     | 1.155                              | 1.784                       | 714                                 | 1.868                    | 5.743                     | 4,0                     |
|                         | E        | 7.712                      | 775                                | 2.536                       | 1.015                               | 1.790                    | 4.627                     | 3,1                     |
| 80%                     | A        | 9.692                      | 974                                | 1.124                       | 450                                 | 1.424                    | 1.295                     | 1,0                     |
|                         | B        | 7.781                      | 782                                | 2.818                       | 1.127                               | 1.909                    | 2.220                     | 1,3                     |
|                         | C        | 11.860                     | 1.192                              | 2.892                       | 1.157                               | 2.349                    | 7.586                     | 4,0                     |
|                         | D        | 12.995                     | 1.306                              | 2.103                       | 841                                 | 2.147                    | 6.661                     | 4,0                     |
|                         | E        | 8.733                      | 878                                | 3.015                       | 1.206                               | 2.084                    | 5.366                     | 3,1                     |

|                         |          | KUZEYDOĞU                  |                                    |                             |                                     |                          |                           |                         |
|-------------------------|----------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Opaklık Saydırlık Oranı | Cam Türü | Isıtma Tasarrufu (kWh/yıl) | Isıtma Tasarrufu Maliyeti (TL/yıl) | Soğutma Tasarrufu (kWh/yıl) | Soğutma Tasarrufu Maliyeti (TL/yıl) | Toplam Tasarruf (TL/yıl) | İlk Yatırım Maliyeti (TL) | Geri Ödeme Süresi (yıl) |
| 10%                     | A        | 1.166                      | 117                                | 105                         | 42                                  | 159                      | 165                       | 1,2                     |
|                         | B        | 886                        | 89                                 | 247                         | 99                                  | 188                      | 283                       | 1,6                     |
|                         | C        | 1.314                      | 132                                | 267                         | 107                                 | 239                      | 968                       | 5,1                     |
|                         | D        | 1.475                      | 148                                | 193                         | 77                                  | 225                      | 850                       | 4,4                     |
|                         | E        | 943                        | 95                                 | 272                         | 109                                 | 203                      | 684                       | 4,1                     |
| 20%                     | A        | 2.711                      | 272                                | 468                         | 187                                 | 460                      | 324                       | 0,7                     |
|                         | B        | 2.018                      | 203                                | 1.041                       | 416                                 | 619                      | 555                       | 1,0                     |
|                         | C        | 3.244                      | 326                                | 1.108                       | 443                                 | 769                      | 1.896                     | 3,0                     |
|                         | D        | 3.621                      | 364                                | 842                         | 337                                 | 701                      | 1.665                     | 2,6                     |
|                         | E        | 2.374                      | 239                                | 1.128                       | 451                                 | 690                      | 1.341                     | 2,2                     |
| 30%                     | A        | 4.068                      | 409                                | 892                         | 357                                 | 766                      | 477                       | 0,6                     |
|                         | B        | 3.001                      | 302                                | 1.994                       | 797                                 | 1.099                    | 818                       | 0,7                     |
|                         | C        | 4.812                      | 484                                | 2.116                       | 847                                 | 1.330                    | 2.796                     | 2,4                     |
|                         | D        | 5.372                      | 540                                | 1.611                       | 644                                 | 1.184                    | 2.455                     | 2,3                     |
|                         | E        | 3.441                      | 346                                | 2.152                       | 861                                 | 1.207                    | 1.978                     | 1,7                     |
| 40%                     | A        | 5.202                      | 523                                | 1.276                       | 511                                 | 1.033                    | 661                       | 0,6                     |
|                         | B        | 3.859                      | 388                                | 2.967                       | 1.187                               | 1.575                    | 1.133                     | 0,7                     |
|                         | C        | 6.192                      | 622                                | 3.150                       | 1.260                               | 1.882                    | 3.870                     | 2,3                     |
|                         | D        | 6.915                      | 695                                | 2.369                       | 948                                 | 1.643                    | 3.398                     | 2,3                     |
|                         | E        | 4.445                      | 447                                | 3.205                       | 1.282                               | 1.729                    | 2.738                     | 1,7                     |
| 50%                     | A        | 6.335                      | 637                                | 1.661                       | 664                                 | 1.301                    | 800                       | 0,6                     |
|                         | B        | 4.716                      | 474                                | 3.941                       | 1.576                               | 2.050                    | 1.371                     | 0,7                     |
|                         | C        | 7.573                      | 761                                | 4.183                       | 1.673                               | 2.435                    | 4.683                     | 2,2                     |
|                         | D        | 8.458                      | 850                                | 3.128                       | 1.251                               | 2.101                    | 4.112                     | 2,2                     |
|                         | E        | 5.450                      | 548                                | 4.257                       | 1.703                               | 2.251                    | 3.312                     | 1,6                     |
| 60%                     | A        | 7.259                      | 730                                | 1.928                       | 771                                 | 1.501                    | 952                       | 0,6                     |
|                         | B        | 5.445                      | 547                                | 4.678                       | 1.871                               | 2.419                    | 1.631                     | 0,7                     |
|                         | C        | 8.666                      | 871                                | 4.971                       | 1.989                               | 2.860                    | 5.573                     | 2,2                     |
|                         | D        | 9.660                      | 971                                | 3.675                       | 1.470                               | 2.441                    | 4.894                     | 2,3                     |
|                         | E        | 6.233                      | 626                                | 5.065                       | 2.026                               | 2.653                    | 3.942                     | 1,6                     |
| 70%                     | A        | 8.182                      | 822                                | 2.194                       | 878                                 | 1.700                    | 1.117                     | 0,7                     |
|                         | B        | 6.173                      | 621                                | 5.416                       | 2.166                               | 2.787                    | 1.914                     | 0,7                     |
|                         | C        | 9.760                      | 981                                | 5.759                       | 2.304                               | 3.285                    | 6.541                     | 2,3                     |
|                         | D        | 10.861                     | 1.092                              | 4.222                       | 1.689                               | 2.780                    | 5.743                     | 2,3                     |
|                         | E        | 7.016                      | 705                                | 5.873                       | 2.349                               | 3.055                    | 4.627                     | 1,6                     |
| 80%                     | A        | 9.289                      | 934                                | 2.494                       | 998                                 | 1.931                    | 1.295                     | 0,7                     |
|                         | B        | 7.050                      | 709                                | 6.273                       | 2.509                               | 3.218                    | 2.220                     | 0,7                     |
|                         | C        | 11.064                     | 1.112                              | 6.677                       | 2.671                               | 3.783                    | 7.586                     | 2,3                     |
|                         | D        | 12.292                     | 1.235                              | 4.850                       | 1.940                               | 3.175                    | 6.661                     | 2,4                     |
|                         | E        | 7.947                      | 799                                | 6.816                       | 2.727                               | 3.525                    | 5.366                     | 1,6                     |



|                         |          | DOĞU                       |                                    |                             |                                     |                          |                           |                         |
|-------------------------|----------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Opaklık Saydamlık Oranı | Cam Türü | Isıtma Tasarrufu (kWh/yıl) | Isıtma Tasarrufu Maliyeti (TL/yıl) | Soğutma Tasarrufu (kWh/yıl) | Soğutma Tasarrufu Maliyeti (TL/yıl) | Toplam Tasarruf (TL/yıl) | İlk Yatırım Maliyeti (TL) | Geri Ödeme Süresi (yıl) |
| 10%                     | A        | 993                        | 100                                | 227                         | 91                                  | 191                      | 165                       | 0,9                     |
|                         | B        | 544                        | 55                                 | 510                         | 204                                 | 259                      | 283                       | 1,2                     |
|                         | C        | 912                        | 92                                 | 582                         | 233                                 | 325                      | 968                       | 3,4                     |
|                         | D        | 1.197                      | 120                                | 415                         | 166                                 | 286                      | 850                       | 3,4                     |
|                         | E        | 578                        | 58                                 | 586                         | 234                                 | 292                      | 684                       | 2,6                     |
| 20%                     | A        | 2.348                      | 236                                | 870                         | 348                                 | 584                      | 324                       | 0,6                     |
|                         | B        | 1.196                      | 120                                | 1.955                       | 782                                 | 902                      | 555                       | 0,6                     |
|                         | C        | 2.216                      | 223                                | 2.206                       | 883                                 | 1.105                    | 1.896                     | 2,0                     |
|                         | D        | 2.913                      | 293                                | 1.593                       | 637                                 | 930                      | 1.665                     | 2,1                     |
|                         | E        | 1.382                      | 139                                | 2.221                       | 888                                 | 1.027                    | 1.341                     | 1,4                     |
| 30%                     | A        | 3.504                      | 352                                | 1.519                       | 608                                 | 960                      | 477                       | 0,5                     |
|                         | B        | 1.814                      | 182                                | 3.502                       | 1.401                               | 1.583                    | 818                       | 0,5                     |
|                         | C        | 3.327                      | 334                                | 3.948                       | 1.579                               | 1.914                    | 2.796                     | 1,5                     |
|                         | D        | 4.345                      | 437                                | 2.831                       | 1.132                               | 1.569                    | 2.455                     | 1,6                     |
|                         | E        | 2.016                      | 203                                | 3.970                       | 1.588                               | 1.791                    | 1.978                     | 1,2                     |
| 40%                     | A        | 4.512                      | 453                                | 2.043                       | 817                                 | 1.271                    | 661                       | 0,5                     |
|                         | B        | 2.385                      | 240                                | 4.894                       | 1.958                               | 2.197                    | 1.133                     | 0,5                     |
|                         | C        | 4.361                      | 438                                | 5.538                       | 2.215                               | 2.654                    | 3.870                     | 1,5                     |
|                         | D        | 5.633                      | 566                                | 3.898                       | 1.559                               | 2.125                    | 3.398                     | 1,7                     |
|                         | E        | 2.670                      | 268                                | 5.579                       | 2.232                               | 2.500                    | 2.738                     | 1,2                     |
| 50%                     | A        | 5.520                      | 555                                | 2.567                       | 1.027                               | 1.582                    | 800                       | 0,5                     |
|                         | B        | 2.957                      | 297                                | 6.286                       | 2.514                               | 2.812                    | 1.371                     | 0,5                     |
|                         | C        | 5.395                      | 542                                | 7.129                       | 2.852                               | 3.394                    | 4.683                     | 1,5                     |
|                         | D        | 6.920                      | 696                                | 4.965                       | 1.986                               | 2.682                    | 4.112                     | 1,6                     |
|                         | E        | 3.324                      | 334                                | 7.188                       | 2.875                               | 3.209                    | 3.312                     | 1,2                     |
| 60%                     | A        | 6.349                      | 638                                | 2.923                       | 1.169                               | 1.807                    | 952                       | 0,5                     |
|                         | B        | 3.467                      | 348                                | 7.295                       | 2.918                               | 3.266                    | 1.631                     | 0,5                     |
|                         | C        | 6.230                      | 626                                | 8.291                       | 3.317                               | 3.943                    | 5.573                     | 1,5                     |
|                         | D        | 7.942                      | 798                                | 5.716                       | 2.287                               | 3.085                    | 4.894                     | 1,7                     |
|                         | E        | 3.863                      | 388                                | 8.369                       | 3.348                               | 3.736                    | 3.942                     | 1,2                     |
| 70%                     | A        | 7.179                      | 722                                | 3.279                       | 1.312                               | 2.033                    | 1.117                     | 0,5                     |
|                         | B        | 3.976                      | 400                                | 8.304                       | 3.322                               | 3.721                    | 1.914                     | 0,5                     |
|                         | C        | 7.066                      | 710                                | 9.454                       | 3.782                               | 4.492                    | 6.541                     | 1,5                     |
|                         | D        | 8.965                      | 901                                | 6.467                       | 2.587                               | 3.488                    | 5.743                     | 1,7                     |
|                         | E        | 4.403                      | 443                                | 9.551                       | 3.820                               | 4.263                    | 4.627                     | 1,2                     |
| 80%                     | A        | 8.169                      | 821                                | 3.677                       | 1.471                               | 2.292                    | 1.295                     | 0,6                     |
|                         | B        | 4.596                      | 462                                | 9.472                       | 3.789                               | 4.251                    | 2.220                     | 0,5                     |
|                         | C        | 8.068                      | 811                                | 10.801                      | 4.320                               | 5.131                    | 7.586                     | 1,6                     |
|                         | D        | 10.196                     | 1.025                              | 7.329                       | 2.931                               | 3.956                    | 6.661                     | 1,8                     |
|                         | E        | 5.058                      | 508                                | 10.923                      | 4.369                               | 4.878                    | 5.366                     | 1,2                     |

|                         |          | GÜNEYDOĞU                  |                                    |                             |                                     |                          |                           |                         |
|-------------------------|----------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Opaklık Saydamlık Oranı | Cam Türü | Isıtma Tasarrufu (kWh/yıl) | Isıtma Tasarrufu Maliyeti (TL/yıl) | Soğutma Tasarrufu (kWh/yıl) | Soğutma Tasarrufu Maliyeti (TL/yıl) | Toplam Tasarruf (TL/yıl) | İlk Yatırım Maliyeti (TL) | Geri Ödeme Süresi (yıl) |
| 10%                     | A        | 820                        | 82                                 | 190                         | 76                                  | 158                      | 165                       | 1,2                     |
|                         | B        | 181                        | 18                                 | 431                         | 172                                 | 191                      | 283                       | 1,6                     |
|                         | C        | 472                        | 47                                 | 475                         | 190                                 | 237                      | 968                       | 4,0                     |
|                         | D        | 886                        | 89                                 | 354                         | 142                                 | 231                      | 850                       | 4,4                     |
|                         | E        | 126                        | 13                                 | 478                         | 191                                 | 204                      | 684                       | 4,1                     |
| 20%                     | A        | 1.907                      | 192                                | 780                         | 312                                 | 504                      | 324                       | 0,6                     |
|                         | B        | 329                        | 33                                 | 1.721                       | 688                                 | 721                      | 555                       | 0,8                     |
|                         | C        | 1.133                      | 114                                | 1.862                       | 745                                 | 859                      | 1.896                     | 2,4                     |
|                         | D        | 2.140                      | 215                                | 1.426                       | 570                                 | 786                      | 1.665                     | 2,4                     |
|                         | E        | 314                        | 32                                 | 1.875                       | 750                                 | 782                      | 1.341                     | 2,0                     |
| 30%                     | A        | 2.903                      | 292                                | 1.380                       | 552                                 | 844                      | 477                       | 0,6                     |
|                         | B        | 523                        | 53                                 | 3.095                       | 1.238                               | 1.291                    | 818                       | 0,6                     |
|                         | C        | 1.737                      | 175                                | 3.328                       | 1.331                               | 1.506                    | 2.796                     | 2,1                     |
|                         | D        | 3.236                      | 325                                | 2.557                       | 1.023                               | 1.348                    | 2.455                     | 2,1                     |
|                         | E        | 432                        | 43                                 | 3.353                       | 1.341                               | 1.385                    | 1.978                     | 1,5                     |
| 40%                     | A        | 3.756                      | 377                                | 1.922                       | 769                                 | 1.146                    | 661                       | 0,6                     |
|                         | B        | 750                        | 75                                 | 4.415                       | 1.766                               | 1.841                    | 1.133                     | 0,6                     |
|                         | C        | 2.322                      | 233                                | 4.728                       | 1.891                               | 2.125                    | 3.870                     | 2,1                     |
|                         | D        | 4.228                      | 425                                | 3.617                       | 1.447                               | 1.872                    | 3.398                     | 2,1                     |
|                         | E        | 665                        | 67                                 | 4.767                       | 1.907                               | 1.974                    | 2.738                     | 1,5                     |
| 50%                     | A        | 4.608                      | 463                                | 2.463                       | 985                                 | 1.448                    | 800                       | 0,6                     |
|                         | B        | 978                        | 98                                 | 5.735                       | 2.294                               | 2.392                    | 1.371                     | 0,6                     |
|                         | C        | 2.907                      | 292                                | 6.127                       | 2.451                               | 2.743                    | 4.683                     | 2,0                     |
|                         | D        | 5.220                      | 525                                | 4.677                       | 1.871                               | 2.396                    | 4.112                     | 2,0                     |
|                         | E        | 898                        | 90                                 | 6.182                       | 2.473                               | 2.563                    | 3.312                     | 1,4                     |
| 60%                     | A        | 5.315                      | 534                                | 2.832                       | 1.133                               | 1.667                    | 952                       | 0,6                     |
|                         | B        | 1.234                      | 124                                | 6.712                       | 2.685                               | 2.809                    | 1.631                     | 0,6                     |
|                         | C        | 3.428                      | 345                                | 7.160                       | 2.864                               | 3.208                    | 5.573                     | 2,0                     |
|                         | D        | 6.035                      | 607                                | 5.439                       | 2.175                               | 2.782                    | 4.894                     | 2,1                     |
|                         | E        | 1.128                      | 113                                | 7.229                       | 2.892                               | 3.005                    | 3.942                     | 1,4                     |
| 70%                     | A        | 6.021                      | 605                                | 3.201                       | 1.280                               | 1.886                    | 1.117                     | 0,6                     |
|                         | B        | 1.490                      | 150                                | 7.689                       | 3.076                               | 3.225                    | 1.914                     | 0,6                     |
|                         | C        | 3.949                      | 397                                | 8.192                       | 3.277                               | 3.674                    | 6.541                     | 2,1                     |
|                         | D        | 6.850                      | 689                                | 6.200                       | 2.480                               | 3.168                    | 5.743                     | 2,1                     |
|                         | E        | 1.359                      | 137                                | 8.277                       | 3.311                               | 3.447                    | 4.627                     | 1,4                     |
| 80%                     | A        | 6.877                      | 691                                | 3.614                       | 1.445                               | 2.137                    | 1.295                     | 0,6                     |
|                         | B        | 1.827                      | 184                                | 8.818                       | 3.527                               | 3.711                    | 2.220                     | 0,6                     |
|                         | C        | 4.601                      | 462                                | 9.384                       | 3.754                               | 4.216                    | 7.586                     | 2,1                     |
|                         | D        | 7.844                      | 788                                | 7.069                       | 2.828                               | 3.616                    | 6.661                     | 2,1                     |
|                         | E        | 1.668                      | 168                                | 9.487                       | 3.795                               | 3.962                    | 5.366                     | 1,4                     |

|                          |          | GÜNEY                      |                                    |                             |                                     |                          |                           |                         |
|--------------------------|----------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Opaklık Saydıamlık Oranı | Cam Türü | Isıtma Tasarrufu (kWh/yıl) | Isıtma Tasarrufu Maliyeti (TL/yıl) | Soğutma Tasarrufu (kWh/yıl) | Soğutma Tasarrufu Maliyeti (TL/yıl) | Toplam Tasarruf (TL/yıl) | İlk Yatırım Maliyeti (TL) | Geri Ödeme Süresi (yıl) |
| 10%                      | A        | 703                        | 71                                 | 77                          | 31                                  | 101                      | 165                       | 1,7                     |
|                          | B        | -79                        | -8                                 | 181                         | 72                                  | 64                       | 283                       | 5,4                     |
|                          | C        | 200                        | 20                                 | 182                         | 73                                  | 93                       | 968                       | 20,0                    |
|                          | D        | 663                        | 67                                 | 140                         | 56                                  | 123                      | 850                       | 5,3                     |
|                          | E        | -130                       | -13                                | 188                         | 75                                  | 62                       | 684                       | 9,9                     |
| 20%                      | A        | 1.622                      | 163                                | 389                         | 156                                 | 319                      | 324                       | 1,1                     |
|                          | B        | -290                       | -29                                | 808                         | 323                                 | 294                      | 555                       | 2,2                     |
|                          | C        | 451                        | 45                                 | 808                         | 323                                 | 369                      | 1.896                     | 7,0                     |
|                          | D        | 1.599                      | 161                                | 668                         | 267                                 | 428                      | 1.665                     | 3,0                     |
|                          | E        | -362                       | -36                                | 824                         | 330                                 | 293                      | 1.341                     | 3,0                     |
| 30%                      | A        | 2.443                      | 246                                | 771                         | 308                                 | 554                      | 477                       | 0,9                     |
|                          | B        | -393                       | -40                                | 1.603                       | 641                                 | 602                      | 818                       | 1,5                     |
|                          | C        | 704                        | 71                                 | 1.590                       | 636                                 | 707                      | 2.796                     | 5,1                     |
|                          | D        | 2.415                      | 243                                | 1.328                       | 531                                 | 774                      | 2.455                     | 2,3                     |
|                          | E        | -566                       | -57                                | 1.620                       | 648                                 | 591                      | 1.978                     | 3,4                     |
| 40%                      | A        | 3.135                      | 315                                | 1.117                       | 447                                 | 762                      | 661                       | 0,9                     |
|                          | B        | -476                       | -48                                | 2.375                       | 950                                 | 902                      | 1.133                     | 1,4                     |
|                          | C        | 972                        | 98                                 | 2.348                       | 939                                 | 1.037                    | 3.870                     | 4,4                     |
|                          | D        | 3.140                      | 316                                | 1.950                       | 780                                 | 1.096                    | 3.398                     | 2,3                     |
|                          | E        | -649                       | -65                                | 2.390                       | 956                                 | 891                      | 2.738                     | 3,2                     |
| 50%                      | A        | 3.827                      | 385                                | 1.463                       | 585                                 | 970                      | 800                       | 0,8                     |
|                          | B        | -560                       | -56                                | 3.146                       | 1.259                               | 1.202                    | 1.371                     | 1,3                     |
|                          | C        | 1.240                      | 125                                | 3.106                       | 1.242                               | 1.367                    | 4.683                     | 4,2                     |
|                          | D        | 3.866                      | 389                                | 2.572                       | 1.029                               | 1.417                    | 4.112                     | 2,2                     |
|                          | E        | -732                       | -74                                | 3.160                       | 1.264                               | 1.190                    | 3.312                     | 2,9                     |
| 60%                      | A        | 4.422                      | 444                                | 1.718                       | 687                                 | 1.131                    | 952                       | 0,8                     |
|                          | B        | -528                       | -53                                | 3.731                       | 1.492                               | 1.439                    | 1.631                     | 1,2                     |
|                          | C        | 1.504                      | 151                                | 3.675                       | 1.470                               | 1.621                    | 5.573                     | 4,2                     |
|                          | D        | 4.475                      | 450                                | 3.029                       | 1.212                               | 1.661                    | 4.894                     | 2,3                     |
|                          | E        | -755                       | -76                                | 3.744                       | 1.498                               | 1.422                    | 3.942                     | 2,9                     |
| 70%                      | A        | 5.016                      | 504                                | 1.972                       | 789                                 | 1.293                    | 1.117                     | 0,9                     |
|                          | B        | -495                       | -50                                | 4.315                       | 1.726                               | 1.676                    | 1.914                     | 1,3                     |
|                          | C        | 1.768                      | 178                                | 4.244                       | 1.698                               | 1.875                    | 6.541                     | 4,2                     |
|                          | D        | 5.084                      | 511                                | 3.485                       | 1.394                               | 1.905                    | 5.743                     | 2,3                     |
|                          | E        | -777                       | -78                                | 4.328                       | 1.731                               | 1.653                    | 4.627                     | 3,0                     |
| 80%                      | A        | 5.742                      | 577                                | 2.258                       | 903                                 | 1.481                    | 1.295                     | 0,9                     |
|                          | B        | -424                       | -43                                | 4.995                       | 1.998                               | 1.955                    | 2.220                     | 1,2                     |
|                          | C        | 2.120                      | 213                                | 4.903                       | 1.961                               | 2.175                    | 7.586                     | 4,2                     |
|                          | D        | 5.839                      | 587                                | 4.009                       | 1.604                               | 2.190                    | 6.661                     | 2,3                     |
|                          | E        | -773                       | -78                                | 5.004                       | 2.002                               | 1.924                    | 5.366                     | 2,9                     |

|                         |          | GÜNEYBATI                  |                                    |                             |                                     |                          |                           |                         |
|-------------------------|----------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Opaklık Saydımlık Oranı | Cam Türü | Isıtma Tasarrufu (kWh/yıl) | Isıtma Tasarrufu Maliyeti (TL/yıl) | Soğutma Tasarrufu (kWh/yıl) | Soğutma Tasarrufu Maliyeti (TL/yıl) | Toplam Tasarruf (TL/yıl) | İlk Yatırım Maliyeti (TL) | Geri Ödeme Süresi (yıl) |
| 10%                     | A        | 794                        | 80                                 | 156                         | 62                                  | 142                      | 165                       | 1,3                     |
|                         | B        | 109                        | 11                                 | 351                         | 140                                 | 151                      | 283                       | 2,2                     |
|                         | C        | 363                        | 36                                 | 376                         | 150                                 | 187                      | 968                       | 7,1                     |
|                         | D        | 826                        | 83                                 | 285                         | 114                                 | 197                      | 850                       | 10,1                    |
|                         | E        | 27                         | 3                                  | 378                         | 151                                 | 154                      | 684                       | 5,4                     |
| 20%                     | A        | 1.862                      | 187                                | 655                         | 262                                 | 449                      | 324                       | 0,7                     |
|                         | B        | 179                        | 18                                 | 1.430                       | 572                                 | 590                      | 555                       | 1,1                     |
|                         | C        | 907                        | 91                                 | 1.521                       | 609                                 | 700                      | 1.896                     | 3,2                     |
|                         | D        | 2.016                      | 203                                | 1.190                       | 476                                 | 679                      | 1.665                     | 5,0                     |
|                         | E        | 82                         | 8                                  | 1.534                       | 614                                 | 622                      | 1.341                     | 2,4                     |
| 30%                     | A        | 2.779                      | 279                                | 1.182                       | 473                                 | 752                      | 477                       | 0,6                     |
|                         | B        | 274                        | 28                                 | 2.632                       | 1.053                               | 1.080                    | 818                       | 0,8                     |
|                         | C        | 1.383                      | 139                                | 2.781                       | 1.113                               | 1.252                    | 2.796                     | 2,5                     |
|                         | D        | 3.015                      | 303                                | 2.180                       | 872                                 | 1.175                    | 2.455                     | 3,6                     |
|                         | E        | 103                        | 10                                 | 2.806                       | 1.123                               | 1.133                    | 1.978                     | 2,1                     |
| 40%                     | A        | 3.594                      | 361                                | 1.649                       | 660                                 | 1.021                    | 661                       | 0,6                     |
|                         | B        | 406                        | 41                                 | 3.785                       | 1.514                               | 1.555                    | 1.133                     | 0,7                     |
|                         | C        | 1.857                      | 187                                | 3.984                       | 1.594                               | 1.780                    | 3.870                     | 2,4                     |
|                         | D        | 3.945                      | 397                                | 3.103                       | 1.241                               | 1.638                    | 3.398                     | 3,5                     |
|                         | E        | 218                        | 22                                 | 4.025                       | 1.610                               | 1.632                    | 2.738                     | 1,7                     |
| 50%                     | A        | 4.409                      | 443                                | 2.117                       | 847                                 | 1.290                    | 800                       | 0,6                     |
|                         | B        | 538                        | 54                                 | 4.939                       | 1.976                               | 2.030                    | 1.371                     | 0,7                     |
|                         | C        | 2.331                      | 234                                | 5.186                       | 2.075                               | 2.309                    | 4.683                     | 2,3                     |
|                         | D        | 4.875                      | 490                                | 4.027                       | 1.611                               | 2.101                    | 4.112                     | 3,4                     |
|                         | E        | 334                        | 34                                 | 5.243                       | 2.097                               | 2.131                    | 3.312                     | 1,6                     |
| 60%                     | A        | 5.078                      | 510                                | 2.438                       | 975                                 | 1.485                    | 952                       | 0,6                     |
|                         | B        | 726                        | 73                                 | 5.810                       | 2.324                               | 2.397                    | 1.631                     | 0,7                     |
|                         | C        | 2.762                      | 278                                | 6.089                       | 2.435                               | 2.713                    | 5.573                     | 2,3                     |
|                         | D        | 5.628                      | 566                                | 4.699                       | 1.880                               | 2.445                    | 4.894                     | 3,4                     |
|                         | E        | 475                        | 48                                 | 6.160                       | 2.464                               | 2.512                    | 3.942                     | 1,6                     |
| 70%                     | A        | 5.747                      | 578                                | 2.759                       | 1.103                               | 1.681                    | 1.117                     | 0,7                     |
|                         | B        | 914                        | 92                                 | 6.680                       | 2.672                               | 2.764                    | 1.914                     | 0,7                     |
|                         | C        | 3.192                      | 321                                | 6.991                       | 2.796                               | 3.117                    | 6.541                     | 2,4                     |
|                         | D        | 6.382                      | 641                                | 5.372                       | 2.149                               | 2.790                    | 5.743                     | 3,4                     |
|                         | E        | 615                        | 62                                 | 7.077                       | 2.831                               | 2.893                    | 4.627                     | 1,7                     |
| 80%                     | A        | 6.533                      | 657                                | 3.115                       | 1.246                               | 1.903                    | 1.295                     | 0,7                     |
|                         | B        | 1.154                      | 116                                | 7.689                       | 3.076                               | 3.192                    | 2.220                     | 0,7                     |
|                         | C        | 3.724                      | 374                                | 8.037                       | 3.215                               | 3.589                    | 7.586                     | 2,4                     |
|                         | D        | 7.287                      | 732                                | 6.141                       | 2.456                               | 3.189                    | 6.661                     | 3,5                     |
|                         | E        | 794                        | 80                                 | 8.143                       | 3.257                               | 3.337                    | 5.366                     | 1,7                     |

|                          |          | BATI                       |                                    |                             |                                     |                          |                           |                         |
|--------------------------|----------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Opaklık Saydıamlık Oranı | Cam Türü | Isıtma Tasarrufu (kWh/yıl) | Isıtma Tasarrufu Maliyeti (TL/yıl) | Soğutma Tasarrufu (kWh/yıl) | Soğutma Tasarrufu Maliyeti (TL/yıl) | Toplam Tasarruf (TL/yıl) | İlk Yatırım Maliyeti (TL) | Geri Ödeme Süresi (yıl) |
| 10%                      | A        | 988                        | 99                                 | 170                         | 68                                  | 167                      | 165                       | 1,1                     |
|                          | B        | 497                        | 50                                 | 388                         | 155                                 | 205                      | 283                       | 1,5                     |
|                          | C        | 858                        | 86                                 | 443                         | 177                                 | 263                      | 968                       | 4,4                     |
|                          | D        | 1.173                      | 118                                | 311                         | 125                                 | 242                      | 850                       | 4,2                     |
|                          | E        | 516                        | 52                                 | 449                         | 180                                 | 231                      | 684                       | 3,4                     |
| 20%                      | A        | 2.284                      | 230                                | 689                         | 275                                 | 505                      | 324                       | 0,6                     |
|                          | B        | 1.065                      | 107                                | 1.566                       | 626                                 | 733                      | 555                       | 0,8                     |
|                          | C        | 2.085                      | 210                                | 1.763                       | 705                                 | 915                      | 1.896                     | 2,3                     |
|                          | D        | 2.816                      | 283                                | 1.268                       | 507                                 | 790                      | 1.665                     | 2,4                     |
|                          | E        | 1.247                      | 125                                | 1.777                       | 711                                 | 836                      | 1.341                     | 1,7                     |
| 30%                      | A        | 3.413                      | 343                                | 1.206                       | 482                                 | 825                      | 477                       | 0,6                     |
|                          | B        | 1.630                      | 164                                | 2.827                       | 1.131                               | 1.295                    | 818                       | 0,6                     |
|                          | C        | 3.120                      | 314                                | 3.184                       | 1.274                               | 1.587                    | 2.796                     | 2,1                     |
|                          | D        | 4.182                      | 420                                | 2.272                       | 909                                 | 1.329                    | 2.455                     | 2,1                     |
|                          | E        | 1.775                      | 178                                | 3.210                       | 1.284                               | 1.462                    | 1.978                     | 1,4                     |
| 40%                      | A        | 4.385                      | 441                                | 1.651                       | 661                                 | 1.101                    | 661                       | 0,6                     |
|                          | B        | 2.123                      | 213                                | 4.022                       | 1.609                               | 1.822                    | 1.133                     | 0,6                     |
|                          | C        | 3.936                      | 396                                | 4.529                       | 1.812                               | 2.207                    | 3.870                     | 2,1                     |
|                          | D        | 5.404                      | 543                                | 3.183                       | 1.273                               | 1.816                    | 3.398                     | 2,2                     |
|                          | E        | 2.357                      | 237                                | 4.572                       | 1.829                               | 2.066                    | 2.738                     | 1,4                     |
| 50%                      | A        | 5.357                      | 538                                | 2.097                       | 839                                 | 1.377                    | 800                       | 0,6                     |
|                          | B        | 2.616                      | 263                                | 5.216                       | 2.086                               | 2.349                    | 1.371                     | 0,6                     |
|                          | C        | 4.752                      | 478                                | 5.874                       | 2.350                               | 2.827                    | 4.683                     | 1,7                     |
|                          | D        | 6.627                      | 666                                | 4.094                       | 1.637                               | 2.304                    | 4.112                     | 2,1                     |
|                          | E        | 2.940                      | 296                                | 5.934                       | 2.374                               | 2.669                    | 3.312                     | 1,3                     |
| 60%                      | A        | 6.165                      | 620                                | 2.396                       | 958                                 | 1.578                    | 952                       | 0,6                     |
|                          | B        | 3.079                      | 309                                | 6.107                       | 2.443                               | 2.752                    | 1.631                     | 0,6                     |
|                          | C        | 5.662                      | 569                                | 6.884                       | 2.754                               | 3.323                    | 5.573                     | 1,7                     |
|                          | D        | 7.613                      | 765                                | 4.742                       | 1.897                               | 2.662                    | 4.894                     | 2,1                     |
|                          | E        | 3.424                      | 344                                | 6.962                       | 2.785                               | 3.129                    | 3.942                     | 1,4                     |
| 70%                      | A        | 6.972                      | 701                                | 2.694                       | 1.078                               | 1.779                    | 1.117                     | 0,6                     |
|                          | B        | 3.541                      | 356                                | 6.998                       | 2.799                               | 3.155                    | 1.914                     | 0,6                     |
|                          | C        | 6.572                      | 661                                | 7.893                       | 3.157                               | 3.818                    | 6.541                     | 2,0                     |
|                          | D        | 8.599                      | 864                                | 5.390                       | 2.156                               | 3.020                    | 5.743                     | 2,2                     |
|                          | E        | 3.908                      | 393                                | 7.991                       | 3.196                               | 3.589                    | 4.627                     | 1,4                     |
| 80%                      | A        | 7.961                      | 800                                | 3.030                       | 1.212                               | 2.012                    | 1.295                     | 0,6                     |
|                          | B        | 4.127                      | 415                                | 8.037                       | 3.215                               | 3.630                    | 2.220                     | 0,6                     |
|                          | C        | 7.540                      | 758                                | 9.075                       | 3.630                               | 4.388                    | 7.586                     | 2,0                     |
|                          | D        | 9.798                      | 985                                | 6.133                       | 2.453                               | 3.438                    | 6.661                     | 2,2                     |
|                          | E        | 4.504                      | 453                                | 9.198                       | 3.679                               | 4.132                    | 5.366                     | 1,4                     |

|                          |          | KUZEYBATI                  |                                    |                             |                                     |                          |                           |                         |
|--------------------------|----------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Opaklık Saydıamlık Oranı | Cam Türü | Isıtma Tasarrufu (kWh/yıl) | Isıtma Tasarrufu Maliyeti (TL/yıl) | Soğutma Tasarrufu (kWh/yıl) | Soğutma Tasarrufu Maliyeti (TL/yıl) | Toplam Tasarruf (TL/yıl) | İlk Yatırım Maliyeti (TL) | Geri Ödeme Süresi (yıl) |
| 10%                      | A        | 1.153                      | 116                                | 93                          | 37                                  | 153                      | 165                       | 1,2                     |
|                          | B        | 860                        | 86                                 | 219                         | 88                                  | 174                      | 283                       | 1,7                     |
|                          | C        | 1.315                      | 132                                | 232                         | 93                                  | 225                      | 968                       | 5,3                     |
|                          | D        | 1.490                      | 150                                | 172                         | 69                                  | 218                      | 850                       | 5,0                     |
|                          | E        | 950                        | 95                                 | 238                         | 95                                  | 191                      | 684                       | 4,3                     |
| 20%                      | A        | 2.724                      | 274                                | 402                         | 161                                 | 435                      | 324                       | 0,7                     |
|                          | B        | 2.006                      | 202                                | 902                         | 361                                 | 562                      | 555                       | 1,1                     |
|                          | C        | 3.228                      | 324                                | 952                         | 381                                 | 705                      | 1.896                     | 3,2                     |
|                          | D        | 3.627                      | 365                                | 726                         | 291                                 | 655                      | 1.665                     | 3,1                     |
|                          | E        | 2.351                      | 236                                | 971                         | 388                                 | 625                      | 1.341                     | 2,4                     |
| 30%                      | A        | 4.079                      | 410                                | 757                         | 303                                 | 713                      | 477                       | 0,7                     |
|                          | B        | 3.009                      | 302                                | 1.726                       | 690                                 | 993                      | 818                       | 0,8                     |
|                          | C        | 4.807                      | 483                                | 1.827                       | 731                                 | 1.214                    | 2.796                     | 2,5                     |
|                          | D        | 5.392                      | 542                                | 1.386                       | 555                                 | 1.097                    | 2.455                     | 2,5                     |
|                          | E        | 3.434                      | 345                                | 1.858                       | 743                                 | 1.089                    | 1.978                     | 2,1                     |
| 40%                      | A        | 5.192                      | 522                                | 1.082                       | 433                                 | 955                      | 661                       | 0,7                     |
|                          | B        | 3.843                      | 386                                | 2.551                       | 1.020                               | 1.407                    | 1.133                     | 0,8                     |
|                          | C        | 6.170                      | 620                                | 2.703                       | 1.081                               | 1.701                    | 3.870                     | 2,5                     |
|                          | D        | 6.909                      | 694                                | 2.027                       | 811                                 | 1.505                    | 3.398                     | 2,5                     |
|                          | E        | 4.418                      | 444                                | 2.752                       | 1.101                               | 1.545                    | 2.738                     | 2,1                     |
| 50%                      | A        | 6.305                      | 634                                | 1.407                       | 563                                 | 1.197                    | 800                       | 0,7                     |
|                          | B        | 4.677                      | 470                                | 3.376                       | 1.350                               | 1.820                    | 1.371                     | 0,8                     |
|                          | C        | 7.533                      | 757                                | 3.579                       | 1.431                               | 2.189                    | 4.683                     | 2,4                     |
|                          | D        | 8.425                      | 847                                | 2.667                       | 1.067                               | 1.914                    | 4.112                     | 2,4                     |
|                          | E        | 5.402                      | 543                                | 3.645                       | 1.458                               | 2.001                    | 3.312                     | 1,7                     |
| 60%                      | A        | 7.230                      | 727                                | 1.632                       | 653                                 | 1.380                    | 952                       | 0,7                     |
|                          | B        | 5.391                      | 542                                | 4.019                       | 1.608                               | 2.150                    | 1.631                     | 0,8                     |
|                          | C        | 8.618                      | 866                                | 4.259                       | 1.704                               | 2.570                    | 5.573                     | 2,4                     |
|                          | D        | 9.621                      | 967                                | 3.143                       | 1.257                               | 2.224                    | 4.894                     | 2,4                     |
|                          | E        | 6.183                      | 622                                | 4.344                       | 1.738                               | 2.359                    | 3.942                     | 1,7                     |
| 70%                      | A        | 8.154                      | 820                                | 1.857                       | 743                                 | 1.563                    | 1.117                     | 0,7                     |
|                          | B        | 6.105                      | 614                                | 4.662                       | 1.865                               | 2.479                    | 1.914                     | 0,8                     |
|                          | C        | 9.704                      | 975                                | 4.940                       | 1.976                               | 2.951                    | 6.541                     | 2,5                     |
|                          | D        | 10.817                     | 1.087                              | 3.619                       | 1.448                               | 2.535                    | 5.743                     | 2,5                     |
|                          | E        | 6.965                      | 700                                | 5.043                       | 2.017                               | 2.717                    | 4.627                     | 2,0                     |
| 80%                      | A        | 9.268                      | 932                                | 2.111                       | 844                                 | 1.776                    | 1.295                     | 0,7                     |
|                          | B        | 6.977                      | 701                                | 5.420                       | 2.168                               | 2.869                    | 2.220                     | 0,8                     |
|                          | C        | 11.012                     | 1.107                              | 5.739                       | 2.295                               | 3.402                    | 7.586                     | 2,5                     |
|                          | D        | 12.253                     | 1.232                              | 4.167                       | 1.667                               | 2.898                    | 6.661                     | 2,5                     |
|                          | E        | 7.899                      | 794                                | 5.866                       | 2.346                               | 3.140                    | 5.366                     | 2,0                     |