

**ENERJİ PERFORMANSI ÖNCELİKLİ MİMARİ TASARIM SÜRECİNİN
İLK AŞAMASINDA KULLANILABİLECEK
TASARIMA DESTEK DEĞERLENDİRME MODELİ**

Gölsu ULUKAVAK HARPUTLUGİL

**DOKTORA TEZİ
MİMARLIK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2009
ANKARA**

Gölsu ULUKAVAK HARPUTLUGİL tarafından hazırlanan ENERJİ PERFORMANSI ÖNCELİKLİ MİMARİ TASARIM SÜRECİNİN İLK AŞAMASINDA KULLANILABİLECEK TASARIMA DESTEK DEĞERLENDİRME MODELİ adlı bu tezin doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Gülser ÇELEBİ

Tez Danışmanı, Mimarlık Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oybirliği ile MİMARLIK Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ali İhsan ÜNAY (Jüri Başkanı)

Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Gülser ÇELEBİ (Danışman)

Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Jan L. M. HENSEN

Mimarlık Anabilim Dalı, Eindhoven Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Soofia T. ELIAS-ÖZKAN

Mimarlık Anabilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Cemil YAMALI

Makine Müh. Anabilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Tarih: 17./07/2009

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Gölsu ULUKAVAK HARPUTLUGİL

**ENERJİ PERFORMANSI ÖNCELİKLİ MİMARİ TASARIM SÜRECİNİN İLK
AŞAMASINDA KULLANILABİLECEK TASARIMA DESTEK
DEĞERLENDİRME MODELİ
(Doktora Tezi)**

Gülsu ULUKAVAK HARPUTLUGİL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2009**

ÖZET

Tasarım sürecinin ilk adımlarında alınan kararların önemli bir bölümünün sonuçta elde edilen bina performansını doğrudan etkilediği bilinmektedir. Bu noktada bina performans simülasyonlarından elde edilen bilgi, tasarım sürecinin başından itibaren tasarım kararı destek sistemi olarak tasarım ekibinin alternatif çözümler içinden seçim yapabilmesine yardımcı olabilecek önemde görülmektedir. Bina performans simülasyonlarının tasarım süreci içinde dolaylı yolla kullanılabilmesinde hassasiyet analizine dayalı yeni bir yöntem aranmaktadır. Hassasiyet analizi tasarım parametrelerinin bina performansı üzerindeki etkisinin ve hangi parametrenin daha etkin rol oynadığının belirlenmesine yardımcı olmaktadır.

Tezin amacı, henüz tasarım sürecinin başındaki okul binası şemalarının belirlenen parametreler ve denenen değerlerine bağlı enerji performansı hassasiyetinin sorgulanmasıdır. İklimsel farklılıklara bağlı hassasiyetlerin belirlenebilmesi için analiz, Türkiye'nin dört derece gün bölgesi için ayrı olmak üzere gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmaya veri sağlamak üzere Esp-r enerji performans simülasyon programı kullanılmıştır. Temsili bir sınıf zonları kümesi tanımlanmış ve girdi parametreleri belirlenmiştir. Analiz hem ısıtma enerjisi tüketimi hem de soğutma enerjisi tüketimi üzerinden irdelenmiştir.

Tezin sonucunda okul tasarımları için ısıl açıdan dirençli tasarımlara yönelik bir modül önerisi *Modulsco* geliştirilmiştir. Bu modülü test edebilmek için bu modül ile elde edilen üç alternatif tasarım şeması Türkiye'nin dört iklim bölgesine uygulanmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Bu önerilen yöntem, iklime dayalı tasarım gerçekleştirmek isteyen tasarımcılar için hazırlanacak tasarım kılavuzun genel çerçevesini oluşturmaktadır.

Bilim Kodu :804.1.040

Anahtar Kelimeler:Tasarım kararı destek sistemi, bina performans simülasyonu, performans değerlendirme, hassasiyet analizi

Sayfa Adedi :196

Tez Yöneticisi :Prof. Dr. Gülser ÇELEBİ

**AN ASSESSMENT MODEL ADDRESSED TO EARLY PHASES OF
ARCHITECTURAL DESIGN PROCESS PRIORITISED BY ENERGY
PERFORMANCE
(PhD Thesis)**

Gülsu ULUKAVAK HARPUTLUGİL

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
July 2009**

ABSTRACT

It is widely accepted that decisions taken during the early phases of building design can have a large role in ensuring the performance of the end product. Thus, building performance simulation outcomes are important towards expanding the capabilities of the design team to make well-informed choices at the beginning of the design process. As an indirect way of using performance simulations within design process, a new methodology has been explored by help of sensitivity analysis. Sensitivity analysis is considered an effective instrument to evaluate the impact of design parameters on building performance and to identify which parameters are the most effective ones.

The aim of this thesis is to examine the sensitivity of energy performance of school building schemes which are still at an early stage of the building design process. In order to reveal the sensitivity difference towards climatic conditions, the analysis has been performed for four degree day regions of Türkiye.

The ESP-r building performance simulation program has been used to generate data for the study. A representative classroom block has been modeled and the input parameters are determined. The analysis has been carried out from point of view of annual heating energy consumption and annual cooling energy consumption.

The consequence of the thesis includes attempt to develop a new, more thermally robust school outline design concept called *Modulsco* that is significantly more robust than the current general scheme. In order to test *Modulsco*, three pre-design alternatives applied to different climatic regions of Türkiye to allow validation of the outcomes proposed in this study. The methodology is established as a general framework of developing design guideline for Turkish building designers who intend to design with climate.

Science Code	: 804.1.040
Key Words	: Design decision support, building performance simulation, performance evaluation, sensitivity analysis
Page Number	: 196
Advisor	: Prof. Dr. Gülser ÇELEBİ

TEŞEKKÜR

Bir akademisyenin doktora çalışması, akademik basamakların en önemli sıçrama noktasını oluşturmaktadır. Bu önemli kilometre taşını aşabilmek kimileri için “çok kolay” kimileri için ise “çok zor”dur. Ben, bu zorluk derecesini belirleyen faktörlerin çeşitliliğini yaşayarak öğrenmek zorunda kaldım. Sonuçta elde ettiğim ise, sadece bir doktora diplomasından çok daha fazlasıdır. Bu süreçte beni en başından beri yalnız bırakmayan, çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım, değerli bilim insanı, saygıdeğer hocam Prof. Dr. Gülser ÇELEBİ’ye minnet borçluyum. Tez izleme komitesinde yer alarak değerli görüşlerinden yararlandığım hocalarım Doç. Dr. Soofia Tahira Elias-ÖZKAN (ODTÜ Mimarlık Bölümü) ve Doç. Dr. Cemil Yamalı’ya (ODTÜ Makine Mühendisliği Bölümü) da sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarımın altı aylık süresini Hollanda Eindhoven Teknik Üniversitesi Bina Fiziği ve Sistemleri Bölümü’nde araştırma çalışmasında bulunarak geçirdim. Bu dönemde TÜBİTAK Yurt Dışı Araştırma Burs Programı çerçevesinde aldığım araştırma bursu için TÜBİTAK’a teşekkür ederim. Bana Eindhoven Teknik Üniversitesi’nde çalışma olanağı sunan Prof. Dr. Jan L. M. HENSEN’e ve birlikte çalıştığımız arkadaşlarım Marija TRCKA, Christina HOPFE, Christian STRUCK, Monica MELHADO ve Azzedine YAHIAOUI’ya destek ve yardımları için teşekkür ederim. Prof. Dr. Jan HENSEN beni sadece araştırma grubuna kabul etmekle kalmamış, çalışmalarına olan inancıyla bana güç vermiş, beni kendi doktora öğrencilerinden ayırmayarak Hollanda’dan döndükten sonra da e-posta aracılığı ile bilgi paylaşımını sürdürmüştür. Daha da önemlisi tez jürime katılarak beni onurlandırmış ve bana olan inancını bir kez daha gösterme nezaketinde bulunmuştur. Kendisine hem değerli bir bilim insanı, hem de bir dost olarak minnettarım. Aynı dönemde tanıdığım, TNO araştırma kuruluşunda bir araştırmacı olarak çalışan ve çalışmalarımıza destek olan Dr. Pieter DE WILDE’e, gerek Hollanda’da iken, gerekse Türkiye’ye dönüşüm sonrası tez çalışmalarımın

sonuna kadar, e-posta aracılığı ile yürüttüğümüz tartışmalar ve kritik yönlendirmeleri için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde bana destek olan ve yardım eden saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Tanju GÜLTEKİN'e, Prof. Dr. Mehmet Emin TUNA'ya, Prof. Dr. Sare SAHİL'e ve Prof .Dr. Can Mehmet HERSEK'e minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Tahsin Yücel'in *"Kelebeklerin, kanatları çıkmadan önce bir zaman karanlık bir kozada kalmaları en büyük, en gerçek sevinçlerin acılardan, karanlıklardan sonra geldiğini anlasınlar diyedir."* satırlarını bana anımsatarak, yaşadığım tüm sıkıntılara karşı güçlü olmamı, güçlü kalmamı öğütleyen sevgili annem Mübeccel HARPUTLUGİL'e teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak bu tezimi her türlü sıkıntımı paylaştığım, varlıklarıyla güç bulduğum sevgili aileme adamak isterim: biricik annem Sungur ULUKAVAK'a, kızı olmakla her zaman onur duyduğum babam Kızıltan ULUKAVAK'a, dert ortağım ablam Doç. Dr. Tansu ULUKAVAK ÇİFTÇİ'ye ve eniştem Dr. Bülent ÇİFTÇİ'ye, hayat arkadaşım, meslektaşım, değerli eşim Y. Mimar Timuçin HARPUTLUGİL'e ve uslu durarak bana yardım eden, canımın parçası oğlum ERDEM'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	x
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xvi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxi
GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve TANIMLAR	7
2.1. Performans Bazlı Bina Tasarımı	7
2.2. Tasarım Süreci İçinde Bina Performansını Değerlendirme Yolları	11
2.2.1. Mimari tasarım süreci	11
2.2.2. Tasarımda enerji ve çevresel faktörlerin yeri	14
2.2.3. Enerji performansı bağlamında tasarım parametreleri.....	15
2.2.4 Tasarım kararı destek sistemleri	24
2.2.5. Bina enerji performansı yönetmelikleri.....	26
2.3. Bina Performans Simülasyonları.....	34
2.4. Mimari Tasarımda Performans Simülasyonu	39
2.5. Performans Simülasyonuna Dayalı Parametrik Değerlendirme	45
2.5.1. Hassasiyet analizine dayalı yöntem.....	46

	Sayfa
2.5.2. Hassasiyet katsayısı	48
2.5.3. Kısıtlı hassasiyet analizi ve kapsamlı hassasiyet analizi	50
3. MATERYAL VE METOD	53
3.1. Çalışmanın Amacı	53
3.1.1. Performansa dayalı değerlendirme	53
3.1.2. Karar destek sistemlerinden yararlanma	56
3.1.3. İklimsel farklılıklara göre tasarım	58
3.2. Çalışma İçin Seçilen Bina Tipi ve Özellikleri	58
3.2.1. Mevcut okul binaları eleştirel değerlendirmesi	60
3.3. Hipotezin Tanımı ve Model Kurgusu Akış Şeması	68
3.4. Taban Model Tanımı	70
3.4.1. Çalışma kapsamında ele alınan performans göstergesi	72
3.4.2. Modeller arası doğrulama	73
3.4.3. Girdi parametrelerinin tanımlanması ve sınırlandırılması	76
3.5. Sonuçlar	87
3.5.1. Kısıtlı hassasiyet analizi sonuçları	87
3.5.2. Kapsamlı hassasiyet analizi sonuçları	113
4. BULGULAR VE HİPOTEZİN SINANMASI	119
4.1. Dirençli Parametrelere Dayalı Kavramsal Öneri-Modül	119
4.2. Alternatif Tasarım Şemaları ve İklim Bölgelerine Dayalı Seçim	121

Sayfa

4.2.1. İklim bölgelerine bağlamında değerlendirme	128
4.2.2. Şema-senaryo eşlemesi	136
4.3. Ön Proje Aşamasında Bina Enerji Performansı Değerlendirmesi.....	140
5. SONUÇ	144
KAYNAKLAR	154
EKLER	161
EK-1 Derece Gün Bölgelerine Göre İllerimiz	162
EK-2 Derece Gün Tanımı ve Türkiye İklim Bölgelerine göre Isıtma ve Soğutma Derece Gün Değerleri	163
EK-3 Latin Hypercube yöntem ile belirlenmiş 50 örneklem listesi	165
EK-4 İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları	169
ÖZGEÇMİŞ	193

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Bir kullanıcı ihtiyacı, bir kaç performans gereksinimi karşılanmasını gerektirebilir	9
Çizelge 2.2. Performans göstergelerine dayalı değerlendirmede simülasyon yaklaşımları	10
Çizelge 2.3. RIBA Çalışma Planı ile TMMOB Standart Mimarlık Hizmetleri iş aşamaları karşılaştırması	12
Çizelge 2.4. Hassasiyet analizi yöntemlerinin karşılaştırılması	48
Çizelge 2.5. Kısıtlı hassasiyet analizi ile kapsamlı hassasiyet analizi karşılaştırması.....	51
Çizelge 3.1. Derece gün bölgelerine göre okulların ortalama enerji Tüketimleri	59
Çizelge 3.2. Binalara ilişkin arsa konumları ve karakteristik özellikleri	62
Çizelge 3.3. Girdi parametreleri ve yenileme için önerilen yeni değerler.....	63
Çizelge 3.4. Antalya ve Erzurum'daki okulların ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerinin parametredeki değişime bağlı etkileri.....	64
Çizelge 3.5. Antalya ve Erzurum'daki okulların gerçek ısıtma enerjisi,soğutma enerjisi ve elektrik enerjisi tüketimleri.....	66
Çizelge 3.6. Taban modele ait girdi verileri	72
Çizelge 3.7. İki hesap yöntemi ile elde edilen ısıtma enerjisi tüketimleri karşılaştırması	75
Çizelge 3.8. Çalışma kapsamında ele alınan parametreler ve hassasiyete dayalı analiz için göz önünde bulundurulan toplam girdi sayısı	77
Çizelge 3.9. Duvar U-değeri değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri	78

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.10. Döşeme U-değeri değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri	79
Çizelge 3.11. Çatı U-değeri değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri	79
Çizelge 3.12. Kabuk bileşenlerinde kullanılan malzemelerin ısı iletkenlikleri ve kalınlıkları.....	79
Çizelge 3.13. Kabuk şeffaf yüzey oranı değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri	80
Çizelge 3.14. Pencere U-değeri değişkenine ait parametre kodları ve değerleri	81
Çizelge 3.15. Pencere güneş ışınlamı toplam geçirgenlik değeri değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri	81
Çizelge 3.16. Duvar ısı kütlesi değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri	82
Çizelge 3.17. Döşeme ısı kütlesi değişkenine ait denenen Parametre kodları ve değerleri.....	83
Çizelge 3.18. Zon derinliği değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri	83
Çizelge 3.19. Tavan yüksekliği değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri	84
Çizelge 3.20. Hava değişimi oranı değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri	84
Çizelge 3.21. Kullanıcı yoğunluğu değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri	85
Çizelge 3.22. Azimut açısı değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri	86
Çizelge 3.23. İklim bölgelerine göre, ısıtma ve soğutmaya dayalı regresyon analizinde elde edilen R2 değerleri	94

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.24. Parametrelere ve değişen değerlere göre oluşturulmuş modellere göre derece gün bölgeleri bazında, regresyon analizi sonucunda elde edilen ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimleri etki katsayıları.....	102
Çizelge 3.25. İklim bölgelerine göre, soğutma enerjisi tüketimi ile hava değişim oranı arasındaki doğrusal ilişkiyi belirleyen değerler listesi.....	104
Çizelge 3.26. Her bir derece gün bölgesine ait öncelik sıralaması.....	112
Çizelge 3.27. Dört derece gün bölgesi ısıtma dönemleri.....	112
Çizelge 3.28. Genel hassasiyet analizi için kullanılan parametrelerin en yüksek ve en düşük değerleri.....	115
Çizelge 4.1. Çalışma kapsamında değerlendirilen üç şema	124
Çizelge 4.2. Kabuk bileşenlerinde kullanılan malzemeler ve ısı iletkenlik değerleri.....	125
Çizelge 4.3. İklim bölgelerine göre senaryolara bağlı belirlenen parametre değerleri.....	127
Çizelge 4.4. Türkiye'nin dört iklim bölgesine göre derece gün değerleri.....	128
Çizelge 4.5. Senaryolar bağlamında şemaların toplam enerji tüketim değerleri.....	139
Çizelge 5.1. Yapı bileşenlerinin iklim bölgelerine göre enerji performansının optimizasyonuna yönelik yönlendirici kriterler	149

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Tasarımın farklı aşamalarında geleneksel tasarım ile bilgisayar destekli tasarımın geri dönüşlere izin verme oranları	15
Şekil 2.2. Güneş azimut açısı (α)	24
Şekil 2.3. Performans bazlı bina enerji kodları için uygunluk prosedürü	28
Şekil 2.4. Performans simülasyon programlarının işleyiş süreci	37
Şekil 2.5. Bina enerji simülasyonunun tasarım sürecine adaptasyonu.....	38
Şekil 2.6. Mimari tasarım süreci içinde simülasyon programlarının kullanımına yönelik iki farklı yaklaşım a) Çeviriye dayalı yaklaşım b) "Bilgisayar destekli tasarım ortamı" yaklaşımı	40
Şekil 2.7. Tasarım süreci boyunca simülasyon programlarının tasarımı iyileştirme potansiyeli ile elde edilebilir veri arasındaki şematik ilişki.....	42
Şekil 2.8. Simülasyon programlarının tasarım sürecinin erken evrelerine entegrasyonda karşılaşılabilecek sorunlar	44
Şekil 3.1. Enerji korunumunda iki temel adım	54
Şekil 3.2. Tasarım aşamaları boyunca simülasyonun analiz-sentez sürecine katkısı	56
Şekil 3.3. Öneri model akış şeması.....	70
Şekil 3.4. Parametrik değerlendirme için kullanılan taban model.....	71
Şekil 3.5. Model doğrulama için kullanılan sınıf zone.....	74
Şekil 3.6. Temel modelin azimut açılarına (α) göre konumu	86
Şekil 3.7. Kısıtlı hassasiyet analizi akış şeması	88
Şekil 3.8. Özel hassasiyet analizi ile belirlenen ısıtma enerjisi tüketimi (a) ve soğutma enerjisi tüketimi (b) artış-azalış oranları (1. Derece Gün Bölgesine göre – 1.DGB).....	89

Şekil	Sayfa
Şekil 3.9. Özel hassasiyet analizi ile belirlenen ısıtma enerjisi tüketimi (a) ve soğutma enerjisi tüketimi (b) artış-azalış oranları (2. Derece Gün Bölgesine göre – 2.DGB).....	90
Şekil 3.10. Özel hassasiyet analizi ile belirlenen ısıtma enerjisi tüketimi (a) ve soğutma enerjisi tüketimi (b) artış-azalış oranları (3. Derece Gün Bölgesine göre – 3.DGB).....	91
Şekil 3.11. Özel hassasiyet analizi ile belirlenen ısıtma enerjisi tüketimi (a) ve soğutma enerjisi tüketimi (b) artış-azalış oranları (4. Derece Gün Bölgesine göre – 4.DGB).....	92
Şekil 3.12. Birinci derece gün bölgesinde yer alan duvar konstrüksiyonunun ısıl kütlesi ile ısıtma enerjisi tüketimi arasındaki fonksiyon ilişkisi	95
Şekil 3.13. Birinci derece gün bölgesinde yer alan duvar konstrüksiyonunun ısıl kütlesi ile soğutma enerjisi tüketimi arasındaki fonksiyon ilişkisi	95
Şekil 3.14. Dört derece gün bölgesinde, hava değişimi oranındaki Artışa bağlı soğutma enerjisi tüketimlerdeki değişim eğrileri	97
Şekil 3.15. Birinci derece gün bölgesinde (Antalya) yönlenmedeki (azimut açısı) değişime bağlı ısıtma enerjisi tüketimi ve soğutma enerjisi tüketim değerleri çizelgesi ve değişim eğrileri.	98
Şekil 3.16. İkinci derece gün bölgesinde (İstanbul) yönlenmedeki (azimut açısı) değişime bağlı ısıtma enerjisi tüketimi ve soğutma enerjisi tüketim değerleri çizelgesi ve değişim eğrileri.	99
Şekil 3.17. Üçüncü derece gün bölgesinde (Ankara) yönlenmedeki (azimut açısı) değişime bağlı ısıtma enerjisi tüketimi ve Soğutma enerjisi tüketim değerleri çizelgesi ve değişim eğrileri	100
Şekil 3.18. Dördüncü derece gün bölgesinde (Erzurum), Yönlenmedeki (azimut açısı) değişime bağlı ısıtma enerjisi tüketimi ve soğutma enerjisi tüketimlerdeki değişim eğrileri	101

Şekil	Sayfa
Şekil 3.19. Duvar da yer alan ısı kütlesi ile ısıtma enerjisi tüketimi arasındaki doğrusal ilişki	103
Şekil 3.20. Duvar da yer alan ısı kütlesi ile soğutma enerjisi tüketimi arasındaki doğrusal ilişki	104
Şekil 3.21. İklim bölgelerine göre, soğutma enerjisi tüketimi ile hava değişim oranı arasındaki doğrusal ilişkiyi belirleyen grafikler ...	106
Şekil 3.22. İklim bölgelerine göre ısıtma enerjisi tüketiminde etken parametrelerin öncelik sıralaması	109
Şekil 3.23. İklim bölgelerine göre soğutma enerjisi tüketiminde etken parametrelerin öncelik sıralaması	110
Şekil 3.24. Kısıtlı hassasiyet analizi sonucuna göre ısıtma enerjisi tüketiminin derece gün bölgelerine göre dağılımı.....	111
Şekil 3.25. Kısıtlı hassasiyet analizi sonucuna göre soğutma enerjisi tüketiminin derece gün bölgelerine göre dağılımı.....	111
Şekil 3.26. İklim bölgelerine göre ısıtma enerjisi tüketimi PEAR analiz sonuçları grafiği.	117
Şekil 3.27. İklim bölgelerine göre soğutma enerjisi tüketimi PEAR analiz sonuçları grafiği.	118
Şekil 4.1. Dirençli parametreler bağlamında elde edilen tasarım modülü ve barındırabileceği çeşitli işlevlerden örnekler	120
Şekil 4.2. Karabey'e göre, dersliklerin birbirleri ile bir dolaşım sistemini de gözeterek eklemlenme türleri	122
Şekil 4.3. Perkins'e göre ön tasarım derslik grupları	123
Şekil 4.4. Birinci derece gün bölgesinde senaryolara göre şemaların toplam enerji tüketimleri	129
Şekil 4.5. Senaryolar bağlamında şemaların soğutma enerjisi tüketimleri (Antalya)	130
Şekil 4.6. Senaryolar bağlamında şemaların soğutma enerjisi tüketimleri (Antalya)	130

Şekil	Sayfa
Şekil 4.7. İkinci derece gün bölgesinde senaryolara göre şemaların toplam enerji tüketimleri	131
Şekil 4.8. Senaryolar bağlamında şemaların ısıtma enerjisi tüketimleri (İstanbul)	132
Şekil 4.9. Senaryolar bağlamında şemaların soğutma enerjisi tüketimleri (İstanbul)	132
Şekil 4.10. Üçüncü derece gün bölgesinde senaryolara göre şemaların toplam enerji tüketimleri	133
Şekil 4.11. Senaryolar bağlamında şemaların ısıtma enerjisi tüketimleri (Ankara)	134
Şekil 4.12. Senaryolar bağlamında şemaların soğutma enerjisi tüketimleri (Ankara)	134
Şekil 4.13. Dördüncü derece gün bölgesinde senaryolara göre şemaların toplam enerji tüketimleri	135
Şekil 4.14. Senaryolar bağlamında şemaların ısıtma enerjisi tüketimleri (Erzurum)	136
Şekil 4.15. Senaryolar bağlamında şemaların soğutma enerjisi tüketimleri (Erzurum)	136
Şekil 4.16. Bina enerji performansının belirlenmesinde referans bina tanımı ile değerlendirme önerisi	142
Şekil 5.1. Tasarım sürecinde simülasyon programının kullanımı	147
Şekil 5.2. Ön-tasarıma yönelik öneri süreç kurgusu	148

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. İlköğretim okulu tip projesi üç boyutlu çizimleri	61
Resim 3.2. Mevcut okul binaları (a) Antalya Emişbeleni ilköğretim okulu, (b) Erzurum Horasan ilköğretim okulu	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklama
ACH	Air Change Rate
AIA	Association of International Architects
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers
CIB	International Council for Research and Innovation in Building and Construction
DGB	Derece Gün Bölgesi
HVAC	Heating, Ventilating, Air Conditioning
IBPSA	International Building Performance Simulation Association
RIBA	Royal Institute of British Architects
TS 825	Binalarda Isı Yalıtım Standardı kodu

1. GİRİŞ

Mimari tasarım, içinde pek çok gereklilik barındıran oldukça karmaşık bir süreçtir. Bu süreç içinde, karmaşık etkileşimlerin çözümüne yardımcı olmak üzere, tasarımcının destek sistemlerden yararlanma zorunluluğu doğmaktadır. Bu tasarım destek sistemleri, basit birkaç hesaplama olabildiği gibi, günümüzün teknik ve teknolojik gelişimi paralelinde, yaratıcı problem çözümüne yönelik tasarımcıya yardımcı olabilecek pek çok farklı seçenek sunulabilmektedir (üç boyutlu modelleme, sanal gerçek ortam, vb.). Tasarım süreci bileşenlerinin karmaşık etkileşiminin doğru analiz edilmesi ve tutarlı sentezlere ulaşılabilmesi için çoğunlukla geçmiş deneyimlere dayalı yöntemler izlenmektedir. Ancak, bu noktada sorun, bina tasarımcısının bugünün mimari tasarım süreci içinde öncelikli olarak yer alan enerji ve çevresel faktörleri geçmiş deneyimler yardımı ile yeterli düzeyde tanımlayamamasıdır. Çoğunlukla bina tasarımında enerji ve çevresel faktörler, yönetmeliklerin belirlediği gerekliliklerin sağlanıp sağlanmadığının sorgulanması ile sınırlı kalmaktadır.

Bina tasarımının ilk evrelerinden itibaren enerji etkinliği ve çevresel duyarlılık başta olmak üzere tüm bina performansını etkileyebilecek doğru malzeme ve bileşen kararları almaya yardımcı bir dizi bilgisayar simülasyon programından söz edilebilir. Biçim, boyut, yönlenme ve bina sistemlerinin tüm bina performansını nasıl etkilediğini analiz edebilen bu programlardan elde edilecek bilgi, performansı etkileyen bina alt sistemleri (kabuk, aydınlatma, HVAC, vb.) ile ilgili tasarım kararlarını yönlendirmede büyük rol oynamaktadır.

Ancak bugün için bina performans simülasyon programları, mimari tasarımın sonunda “tasarım performansını doğrulamak” için kullanılmaktadır. Oysaki tasarım sürecinin başından itibaren, süreç boyunca simülasyon desteği ile yürütülen bir bina tasarımının sonuç performansının çok daha yüksek olacağı

açıktır. Bu bağlamda bugün, bina performans simülasyon programlarının tasarım sürecine entegrasyonuna yönelik çalışmalar hız kazanmıştır.

Performansa dayalı tasarımda, özellikle tasarımın erken evreleri için gerekli olan kararların alınmasında etkili olabilecek parametrelerin belirlenmesi, tasarımcının kararlarını kolaylaştırmada önemli rol oynamaktadır. Tasarım seçeneklerini çoğaltan ve kararı zorlaştıran pek çok parametrenin içerisinde, bina bütünündeki performansı doğrudan ve önemli ölçüde etkileyen parametrelerin belirlenmesi, bir dizi hassaslık ölçümü ile mümkün olabilmektedir. Parametrelerin belirli sınır koşullar içindeki değerlerinin sonuç performansta meydana getirdiği sapmalar, parametrenin etkinliğinin değerlendirilmesi için kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın çerçevesini oluşturabilmeye yönelik olarak, araştırmanın başında 4 ana başlık altında toplanabilecek araştırma soruları belirlenmiştir. Bu soruların cevapları ile doktora araştırmasının ana kurgusu ortaya çıkarılmaktadır. Bu soru grupları ve içerdiği sorular aşağıda sıralanmaktadır:

“Tasarım” başlığı altındaki sorular:

- Yüksek performanslı bina tasarımı nedir?
- Tasarıma dahil olan karar alıcıların yüksek performanslı bina tasarımındaki (yeni) rolü nedir?
- Mevcut ihtiyaç programı kurgusu yüksek performanslı bina tasarımını gerçekleştirmek için yeterli midir?
- Performansa dayalı uygulamalar ile kurallı (prescriptive) yaklaşımlar arasındaki farkla nedir ve tasarım kararlarını nasıl etkiler?

“Performans Değerlendirme” başlığı altındaki sorular:

- Yüksek performanslı binaların değerlendirilmesi için kullanılan derecelendirme sistemleri (rating systems) nelerdir?

- Derecelendirme sistemleri yüksek performanslı bina tasarımlarına taban oluşturacak bir yapının gerçekleşmesine yardımcı olabilir mi?
- Performans göstergeleri ve tasarımın “değer öncüleri” (value drivers) tanımları nelerdir?
- Performans göstergeleri, değer öncüleri ve derecelendirme sistemleri arasında nasıl bir ilişki kurulabilir?

“Bina Performans Simülasyonu” başlığı altındaki sorular:

- Bina performans simülasyonu tasarım kararlarını almada nasıl kullanılır?
- Bina performans simülasyonu uygulanabilir (gerçekçi) tasarım çözümlerinin belirlenmesinde nasıl yardımcı olabilir?
- Bina performans simülasyonu performans değerlendirmede ve tasarım kararlarında ne zaman ve nasıl etkili olabilmektedir?
- Derecelendirme sistemlerinde hedeflenen performans yaklaşımlarından hangileri bina performans simülasyonlarında değerlendirilmemektedir, eksiktir?

“Tasarım Kararı Desteği” başlığı altındaki sorular:

- Bugün kullanılmakta olan tasarım kararı destek yaklaşımları nelerdir?
- Tasarım süreci içerisinde tasarım kararı desteği ne zaman ve nasıl gerekli olmaktadır?
- Tasarım kararı destek sistemleri yüksek performanslı binalar elde etmek üzere etkin bir şekilde kullanılmakta mıdır? Eksikler nelerdir?

Tüm bu soruların cevaplanması ile iki temel hedefe ulaşılmaya çalışılmaktadır. Bunlardan biri, tasarım kararı desteği ile ilişkilidir. Hedef, tasarım sürecinin erken evrelerinden itibaren basit hesaplar yardımıyla görülemeyen, ama sonuçta elde edilen binanın performansını doğrudan etkileyebilecek tasarım kararlarının değerlendirilmesi, bina performans simülasyonlarının uygulama alanının genişletilmesine yönelik yeni bir yaklaşımın araştırılması ve bir tasarım kararı destek aracı olarak bina

performans simülasyonunun etkinlik alanının tanımlanmasıdır. Bu hedefin gerçekleşmesiyle elde edilecek sonuç, bina performans simülasyonlarının yüksek performanslı bina elde edebilmeye dönük etkisini ortaya çıkararak, tasarımcıların bina performans simülasyonu kullanmasını gerektiren koşulların genişletilmesini sağlamaktır.

Diğer hedef ise, enerji performansı bağlamında tasarım sürecinin ilk aşamasında etken olan parametreleri değerlendirmek ve farklı iklim koşullarına uygun tasarım yönünde tasarımcılara sunulacak bir kılavuz için yöntem önerisi geliştirmektir. Böylece, tasarımın erken evrelerinde karar vermede etkili olan geçmiş deneyimler ve mevcut uygulamaların tekrarlanmasının yerini, performans değerlendirme yönteminin alması beklenmektedir.

“Mimari tasarım süreci” aşamalarla gelişir. Her aşamayı evre olarak kavramsallaştırmak olasıdır. İlk evrelerde veri olarak kullanılan parametreler, bina performansını önemli ölçüde etkiler. Performans beklentilerinin denetlenmesi önemlidir. Çünkü her evrenin denetlenme yöntemleri farklıdır. Enerji performansını konu alan bu çalışmada, tasarım sürecinin ilk evresinde denetlenmesi gereken parametrelerin her birinin ve bir aradaki etkilerinin tasarım sürecine etkilerinin saptanması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, parametrelerin bina performansına olan etkilerinin belirlenmesi için “hassasiyet analizi” yöntemi kullanılacaktır. Bu yöntem ile her bir parametrenin öncelikli konumları belirlenebileceği gibi, performansı iyileştirmeye yönelik değeri de tartışılabilecektir. Aynı zamanda, parametrelerin bir aradaki etkilerinin de hassasiyet analizi ile saptanması amaçlanmaktadır.

Bina ısı etkileşiminin karmaşık yapısının değerlendirmesi ve sonuçların hassasiyet analizini yönlendirebilmesi için saatlik bazda hesap gerçekleştirebilen dinamik simülasyon programlarından biri olan Esp-r’den yararlanılacaktır. Yönteme ait akış, aşağıda sıralanmaktadır.

- Hassasiyet analizi için gerekli olan girdi değişkenleri (tasarım parametreleri) ve çıktı değişkenlerinin (performans göstergeleri) belirlenmesi,
- Bir dizi simülasyon ile elde edilen sonuçlar yardımıyla öncelik değerlendirmesinin yapılması,
- Çoklu değişkene dayalı analizler için örneklem seçiminin yapılması,
- Parametrelerin etkileşimli değerlendirmelerinin hassasiyet ölçümlerinin yapılması,
- Farklı iklim bölgeleri için öne çıkan, sonuç performansı önemli oranda etkileyen parametrelerin saptanması.

Ortaya çıkan “enerji performansı bağlamında bina tasarımı ön değerlendirme yaklaşım modeli”, ile performans bazlı yaklaşıma bir örnek oluşturulması hedeflenmektedir.

Tezin ilk bölümü konunun genel çerçevesinin aktarıldığı giriş bölümüdür. İkinci bölümde yapılan çalışmanın daha iyi anlaşılmasını sağlayacak ve bir altyapı oluşturacak kuramsal temeller ve tanımlar yer almaktadır. İkinci bölüm içinde, *performans bazı bina tasarımı* tanımlanmakta, gerekleri sıralamakta; mimari tasarım süreci ve performans simülasyonunun tasarım sürecine entegrasyonu ele alınmaktadır. Mimari tasarım sürecinin bileşenleri aktarılmakta, tasarımda enerji ve çevresel faktörlerin yeri sorgulanmaktadır. Performans simülasyonlarının tasarım sürecine dahil edilebilmesi yönünde yapılan bazı çalışmalar üzerinden simülasyonların tasarım sürecine entegrasyon olasılıkları tartışılmaktadır.

Üçüncü bölüm, materyal ve metodun aktarıldığı bölümdür. Hipotezin tanımı ve model kurgusu akış şemasının açıklanması ardından, tasarım parametreleri ve performans göstergesi belirlenmektedir. Parametrik değerlendirme iki aşamalı hassasiyet analizine dayandırılmakta, sonuçta elde edilen veriler ışığında, her parametrenin enerji tüketimlerine etkisi

yorumlanmaktadır. Türkiye'nin dört derece gün bölgesi için, enerji tüketimlerini minimize etmede en etkin parametrelerin önem ve önceliğinin sıralandığı bir ağırlık faktörü uygulaması da yine dördüncü bölümde yer almaktadır. Bu bölümde aynı zamanda elde edilen ağırlık faktörlerine göre oluşturulmuş ve tasarımcılara yardımcı olmak üzere kurgulanmış bir ön tasarım değerlendirme çizelgesi de hazırlanmıştır.

Analizin ikinci aşamasında belirlenen parametreler, farklı iklim ve arsa koşullarına uyum sağlayacak bir tasarım şeması oluşturabilmek için kullanılmaktadır. Bu koşullar altında hassas parametreler, farklı bölgesel bağlamlara göre dönüştürülmesi gereken girdi verileri olarak değerlendirilmektedir. Elde edilen sonuçlarda oluşabilecek değişimler doğrudan tasarım şemasına yansıtılarak, bir konsept modül tasarlanmaktadır.

Dördüncü bölüm, öneri kurgunun sınındığı bölümdür. Tasarlanan modül ile oluşturulan ön tasarım şemaları bölgesel gerekler bağlamında farklı kurgularda eklenecek kabuk tasarımları ile analiz edilmekte ve tasarımın geçerliliği sınanmaktadır.

Beşinci bölüm, sonuç bölümüdür. Elde edilen verilere dayalı olarak bir genel değerlendirme ve bu çalışmanın ışığında gerçekleştirilebilecek gelecek çalışmalar da bu bölümde aktarılmaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve TANIMLAR

2.1. Performans Bazlı Bina Tasarımı

Performansa dayalı tasarım aslında yeni bir kavram değildir. Bu konuya ilişkin bilinen en eski referans olarak, MÖ 1780'de yazılmış olan Hammurabi kurallarını göstermek mümkündür. Hammurabi “eğer birisi başka biri için bir ev yapar ve bunu doğru inşa etmezse ve bu yapı yıkılır ve sahibini öldürürse, yapıyı yapan da öldürülmelidir.” demektedir. Bir başka deyişle o dönemde de, yüksek dayanıma ve güvenliğe dayalı performansa öncelikli önem verilmektedir.

Milattan önce birinci yüzyılda Roma mimarı Vitruvius, performansa yönelik olarak üç temel gereklilik sıralamaktadır; *Dayanıklılık, Kullanışlılık, Güzellik*. Bu temel gereksinimler, bugünün karmaşık toplumu için bile, bina performans hedeflerini belirlenmesinde başlangıç noktasını oluşturmaktadır.

Bina performansı için geliştirilen pek çok tanımlama var olmakla birlikte, Uluslar Arası Mimarlar Birliği-AIA (Association of International Architects) tarafından deklare edilen ve bina performansı hedefini veya amacını belirleyen tanımlamalar şöyledir [1]:

“...binalarda fonksiyonel ve çevresel kaliteye dayalı (örn. ısı konfor, iç ortam havası, akustik, görsel kalite gibi) bireysel etkinliği sağlamak,
...binalarda bütünlüğe dayalı (örn. esneklik, dayanıklılık, strüktürel ve yangın güvenliği gibi) organizasyonel etkinliği sağlamak,
...bina yakın çevresinin kaynak dağılımı ve entegrasyonuna dayalı (örn. malzeme, arazi, su, enerji, atık, alt yapı gibi) toplumsal etkinliği sağlamak.”

Performans yaklaşımının tanımlanmasına yönelik, CIB (International Council for Research and Innovation in Building and Construction) tarafından 1982 yılında hazırlanan, “Binalarda Performans Yaklaşımına Dayalı Çalışma” [2] başlıklı raporda en net ifadesini bulan tanım aşağıda yer almaktadır:

“Performans yaklaşımı *yöntemden* ziyade *sonuç* bazında düşünme ve çalışma pratiğidir. Bir binanın ya da bina ürününün, nasıl inşa edileceğinin tarifi ile değil; neye gereksinim duyduğu ile ilgilenir.”

Bir başka deyim ile kabul edilebilir çözümleri tanımlamak/tariflemek yerine; bireysel veya toplumsal amaçlara yönelik olarak belirlenen ihtiyaçlardan hareketle, gereken performans tarifler.

Performans-bazlı bina, hangi amaçla inşa edilecekse, o amaca yönelik ihtiyacı barındırmalıdır. Bu bağlamda tasarım aşaması son derece önemlidir, çünkü binanın kullanım sürecindeki performansını belirleyecek pek çok karar bu aşamada alınmaktadır. “Yüksek performanslı bir bina” tasarlayabilmek için, binanın amaçlanan kullanımı tam karşılaması, bir başka deyişle tasarımcıların kullanıcı gerekliliklerini tam olarak anlaması son derece önemlidir, ancak yeterli değildir. Tasarımcı aynı zamanda binanın kullanıcı gerekliliklerini karşılamak için hangi özelliklere sahip olması gerektiğini de anlamış olmalıdır. Bu gereken özellikler, çözümden bağımsız, hesaplanabilir terimler halinde ifade edildiğinde, “performans gereklilikleri”nden söz ediliyor demektir.

Bir kullanıcı ihtiyacı, bir kaç performans gereksiniminin karşılanmasını gerektirebilir. Spekkink [3] tarafından hazırlanan tabloda (Çizelge 2.1) kullanıcı ihtiyacı ile performans gereklilikleri arasındaki fark örneklenmektedir. Burada iki farklı dilden söz edilebilir. Kullanıcı ihtiyacı dili, kullanıcının iyi anladığı ve çoğunlukla işleve yönelik gerekliliği ortaya koyan bir dildir. Diğer yandan performans gerekliliği sıradan bir kullanıcı için bir anlam ifade etmeyen, uzmanlık dilidir ve kullanıcı ihtiyacını performans gerekliliğine çevrilmesi uzmanlık gerektiren bir iştir.

Çizelge 2.1. Bir kullanıcı ihtiyacı, bir kaç performans gereksinimi karşılanmasını gerektirebilir [3].

Kullanıcı ihtiyacı	Performans gereksinimi
En fazla 25 kişi ile farklı oturma düzeninde (yuvarlak masa veya derslik) toplantı yapabilme imkanı sağlayacak bir mekan	- gereken mekan: $3\text{m}^2/\text{kişi}$ - mekan biçimi: en/ boy oranı $< 1,5:1$ - havalandırma: her bir kişi ve her saat için 30 m^3 taze hava - iç ortam hava sıcaklığı: $19^\circ\text{C} < t < 21^\circ\text{C}$ - arka plandaki gürültü düzeyi (dış ortam kaynaklarıyla oluşan): en fazla 35dB(A) - reverberasyon süresi: 0,8 – 1,0 sn - masa üstü aydınlatma düzeyi: en az 500 lux

Performans gerekliliği binanın kullanımı sırasında gereken kalite düzeyi için farklı yaklaşımları tanımlamakta ancak herhangi bir çözüm önermemektedir. Bu, tasarım ve mühendislik sürecinde yaratıcı çözümlere olanak sağlamaktadır. Bu çözümlerin performans gerekliliklerini karşıladığından emin olabilmek için, bunları değerlendirmek gerekmektedir. Bu “performans göstergeleri (PG)” temeline dayandırılarak yapılmaktadır. Bu göstergeler, ölçme, hesaplama veya simülasyon yöntemi yardımıyla önerilen tasarım çözümlerinden çıkartılabilir.

Hitchcock'un [4] tanımına göre, performans göstergeleri bir bina projesinin performans hedeflerini, dinamik ve strüktre edilmiş bir formatta nicel kriterler kullanarak net olarak ortaya koyma çalışmasıdır. Bu bağlamda performans göstergeleri (PG) binanın performans hedeflerinin daha açık ve nicel olarak belirlenmesi için kullanılır. Performans verilerinin belgelenmesi, binanın planlanma aşmasından başlayarak tasarım ve inşaa aşamaları sonrası kullanım ve işletimine kadar binanın tüm yaşamı boyunca “değer (value)” sağlar. Performans kriterleri, doğrudan bina performans simülasyonu ile ilişkilenen birkaç değerlendirme göstergesine dayalı olarak sınırlandırılabilir.

Çizelge 2.2’de simülasyon sonuçlarından elde edilebilecek göstergeler listelenmektedir. Bu göstergelere, önemleri ölçüsünde bir ağırlık faktörü uygulamak mümkün değildir. Çünkü her bina tasarımı özelinde bu performans göstergelerinin önemi ve gerekliliği değişecektir.

Çizelge 2.2. Performans göstergelerine dayalı değerlendirmede simülasyon yaklaşımları [5].

Performans kriteri	Performans Göstergeleri (PG)		Simülasyon Yaklaşımı
1. Enerji	a. Isıtma enerjisi ihtiyacı		BES ¹
	b. Soğutma enerjisi ihtiyacı		BES
	c. Elektrik enerjisi tüketimi		BES
	d. Gaz tüketimi		BES
	e. Birincil enerji		BES
2. Konfor	A. <i>Isıl</i>	f. Konforsuz kullanıcı yüzdesi (Predicted Percentage Dissatisfied-PPD)	BES
		g. Mekan max. sıcaklığı	BES
		h. Mekan min. sıcaklığı	BES
		i. Aşırı ısınma dönemi	BES
		j. Lokal konforsuzluk	AFN ² -CFD ³
	B. <i>İç ortam hava kalitesi (Indoor Air Quality-IAQ)</i>	k. Kirli hava dağılımı	AFN-CFD
		l. Havalandırma etkinliği	AFN
	C. <i>Görsel</i>	m. Aydınlık düzeyi	DLA ⁴
	D. <i>Akustik</i>	n. Reverberasyon süresi	AA ⁵
3. Maliyet	o. İlk yatırım maliyeti		CA ⁶
	p. Enerji maliyeti		CA
	r. Yaşam boyu maliyeti		CA
4. Çevresel Etki	s. Embodied enerji		LCA ⁷
	t. CO ₂ emisyonları		LCA
¹ Bina Enerji Simülasyonu ² Air Flow Network (hava akış ağı) ³ Computational Fluid Dynamics (sayısal akışkanlar dinamiği) ⁴ Daylighting Analysis (Gün ışığı analizi) ⁵ Akustik Analiz ⁶ Cost Analysis (maliyet analizi) ⁷ Life Cycle Assessment (Yaşam döngüsü analizi)			

2.2. Tasarım Süreci İçinde Bina Performansını Değerlendirme Yolları

2.2.1. Mimari tasarım süreci

Tasarım süreci, tasarımcının problemle karşılaştığı ilk basamaktan, çözümü ortaya koyduğu son basamağa dek geliştirdiği bir dizi işlemler zinciri olarak tanımlanabilir. Mimari tasarım sürecini farklı bakış açılarıyla, farklı basamaklardan oluşan bir süreç olarak ele almak mümkündür. Schwenck ve Sarıyıldız [6] mimari tasarım sürecini, “kavramsal tasarım” ve “maddeleştirme (materialisation)” olarak iki ana aşamaya ayırmaktadır. Kavramsal tasarımda, tasarımın biçimlenişi gerçekleşmekte, maddeleştirme ile ise, biçime uygun bileşenler ve malzemeler belirlenmektedir.

Bu en genel ayırım dışında, İngiliz Mimarlar Enstitüsü, RIBA (Royal Institute of British Architects) mimari tasarım sürecini dört aşamaya bölmektedir: [7]

1. *Aşama-Özümseme (assimilasyon)*: eldeki problem ile ilişkili bilgi edinme ve birikim.
2. *Aşama-Genel çalışma*: problemin doğasının keşfedilmesi, olası çözümlerin araştırılması.
3. *Aşama-Geliştirme*: ikinci evreden ayrılan olası bir ya da birkaç çözümün geliştirilmesi, artırılması.
4. *Aşama-İletişim*: tasarım ekibinin içinden veya dışından kişilerle bir veya birkaç çözüm üzerinde konuşulması.

Ancak RIBA, bu dört aşamalı genellemenin birbirini izleyen bir dizi oluşturamayacağını ve aşamalar arasında atlamaların ve geri dönüşlerin söz konusu olabileceğini belirtmektedir. Gerçekten de tasarımcı olası sonuçları müşterisine sunduğunda (4. aşama), müşterisinin problemi son derece kötü tanımladığını (1. aşama) belirtmesi sıklıkla yaşanmaktadır.

RIBA'nın daha ayrıntılı ele aldığı, içinde tasarım sürecini de içeren bir “bina elde etme süreci” olan “Çalışma planı” on iki aşamadan oluşmaktadır (Çizelge 2.3). Bu aşamaları, çizelgede görüldüğü gibi “tasarım öncesi çalışmalar”, “tasarım çalışmalar”, “yapım hazırlığı”, “inşaat” ve “inşaat sonrası” olmak üzere beş grupta toplamak mümkündür.

Çizelge 2.3. RIBA Çalışma Planı ile TMMOB Standart Mimarlık Hizmetleri iş aşamaları karşılaştırması.

RIBA Çalışma Planı	Gruplama	TMMOB Standart Mimarlık Hizmetleri iş aşamaları
A - Başlangıç	Tasarım öncesi çalışmalar	A – Hazırlık ve Ön Etüd Çalışmaları
B - Fizibilite		
C - Outline tasarım	Tasarım çalışmalarları	B – Ön Proje Çalışmaları
D - Şematik tasarım		C – Kesin Proje Çalışmaları
E - Detaylı tasarım		D – Uygulama Proje Çalışmaları D-1/Uygulama Projesi D-2/Sistem ve Montaj Detayları D-3/İmalat Detayları
F - Üretim bilgisi	Yapım hazırlığı	D – Uygulama Proje Çalışmaları D-4/Teknik Şartnameler D-5/Metraj, keşif, maliyet analizi E – İhale Çalışmaları
G - Maliyet analizi		
H - İhale		
J - Proje planlama		
K - Saha çalışmalarları	İnşaat	F – Uygulama Denetimi Çalışmaları
L - Tamamlama		G – Kabul-Teslim
M - Geri besleme	İnşaat sonrası	H – Geri Besleme Çalışmaları

RIBA çalışma planına çok benzer bir başka plan ise, TMMOB Mimarlar Odası'nın “Serbest Mimarlık Hizmetleri Uygulama ve Mesleki Denetim Yönetmeliği”nde [8] yer alan “Standart Mimarlık Hizmetleri” başlığı altında sıralanan sınıflandırılmasıdır. Bu “Standart Mimarlık Hizmetleri” iş aşamaları da aynı tablo içinde görülmektedir. RIBA Çalışma Planı ile benzer aşamalar içerse de, TMMOB Mimarlar Odası'nın sınıflandırması daha özet bir yaklaşım sunmaktadır.

Bu sınıflandırmanın, “tasarım çalışmaları” bölümü, bina elde etme sürecinin “mimari tasarım” kısmını oluşturmakta, yani “tasarım süreci”ni belirlemektedir.

Hem RIBA'nın Çalışma Planı, hem TMMOB'un "Standart Mimarlık Hizmetleri" iş aşamaları mimari tasarım sürecini üç alt sınıfa ayırmaktadır.

1. Ön Proje Çalışmaları: Bu aşamada yapılan tasarım çalışmaları, Hazırlık ve Ön Etüd çalışmalarında (A iş aşaması) belirlenmiş, yorumlanmış ve değerlendirilmiş bilgilerin projede yansıtılmasını amaçlamaktadır. Bu aşamada, kaynak kaybının önlenmesi, ekonomik, sağlam, güvenli, kullanışlı, çevresi ile uyumlu yapıların gerçekleştirilmesi amacıyla, ihtiyaç programının, işlev şemasının, arsa, altyapı, iklim, kadastro, imar durumu, doğal yapı, çevre düzeni, işveren istekleri, vb. veriler ile mimarın aldığı kararların kesinleşmiş olması gerekir. Bu bağlamda TMMOB, ön projede "iklim verilerinin değerlendirilmesi, iklim özelliklerine göre alınan önlemlerin saptanması, çevre yapıların ve doğa özelliklerinin belirlenmesi ve alınan önlemlerin tasara yansıtılması, yapıda genel olarak kullanılacak malzemelerin belirlenmesi"ni şart koşturmaktadır [8].

2. Kesin Proje Çalışmaları: Bu aşama, gerçekleştirilecek yapının mimarisi ve yapım tekniği konularında daha ayrıntılı ve kesinleşmiş bilgiler ve etütler içerir, ön proje çalışmaları sırasında yeterince değerlendirilemeyen ya da tasara yansıtılmayan veriler kesin proje aşamasında değerlendirilir. Bu aşamaya ilişkin ön projede sağlanması gereken gereklilikler yanı sıra "su, ısı ve ses yalıtımları özelliklerinin belirlenmesi, ısıtma, soğutma, iklimlendirme, havalandırma prensiplerinin belirlenmesi ve tasara yansıtılması, yangına karşı önlemlerin tasara yansıtılması, yapıda kullanılacak malzemelerin kesinleştirilmesi" gerekliliği belirtilmektedir [8].

3. Uygulama Proje Çalışmaları: TMMOB Uygulama proje çalışmalarını beş alt aşamaya bölmektedir. Bu alt aşamalardan üçü tasarım çalışmaları içinde, ikisi ise yapım hazırlığı içinde yer alması uygun olacaktır. Tasarım çalışmalarını içeren üç aşamanın ilki yapının inşa edilebilmesi için, mühendislik projelerinin tüm yapım özelliklerini ve ölçülerini, yapıda yer alan tüm donatım sistemlerinin yapıyı etkileyen bütün elemanlarını, sistem

detaylarının ve imalatlarla ilgili tüm bilgileri ve referansları, montaj özelliklerini içeren, gerekli tüm ölçülerin ve malzemelerin yazıldığı projelerdir. Diğer iki aşama olan sistem ve montaj detayları ile imalat detayları alt aşamaları, ilk aşama ile birlikte yürütölmek zorundadır [8].

2.2.2. Tasarımda enerji ve çevresel faktörlerin yeri

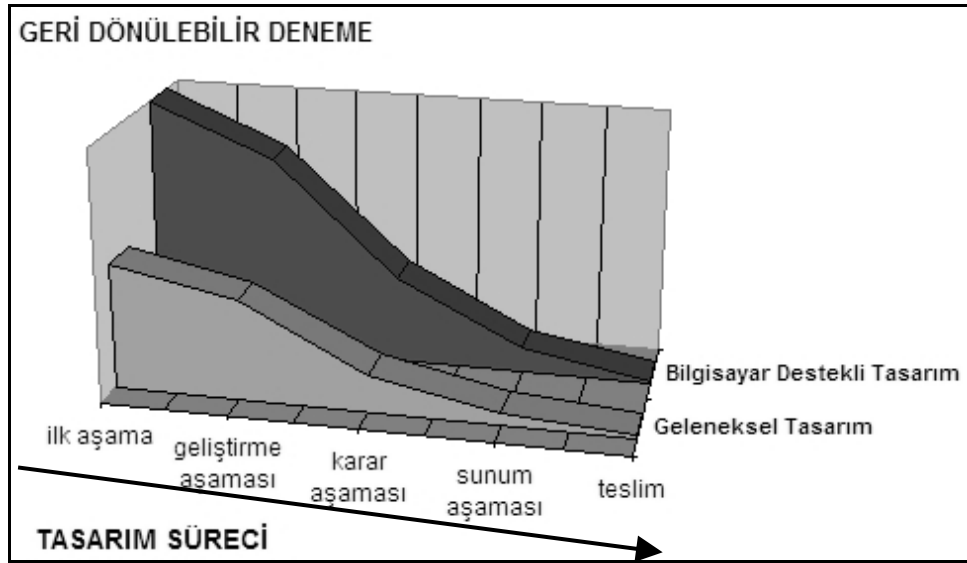
Enerji tüketiminde pay sahibi olan pek çok sektör içinde, bina sektörü, büyük oranda enerji korunumu potansiyeli barındırması açısından oldukça önemli bir konumdur. Binalardaki enerji tüketiminin yaklaşık %40-%70 arasındaki bir oranı, yapay ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma için kullanılmaktadır ve enerji etkinliğine yönelik yaklaşımlar ile, iç ortam konfor düzeyi iyileştirilirken, ısıtma ve soğutma çerçevesinde yaklaşık %60, yapay aydınlatma çerçevesinde %50 enerji tasarrufu sağlanabileceği bilinmektedir [9]. Pek çok bina için, iyi tasarlanmış teknik önlemlerin geri dönüş periyodu beş yıl ya da daha az sürede gerçekleşebilmektedir [10].

Bu açıdan bakıldığında mimarların, tasarımın ilk aşamalarından itibaren enerji ve çevresel faktörleri, değişik veri tabanlarına ve farklı disiplinlere ait daha fazla bilgiyi, mutlaka göz önünde bulundurmaları şarttır. Bu, mimarlara disiplinler arası çalışma ortamı sunabildiği gibi, diğer disiplinlerin tasarıma müdahalesini kontrol olanağı da sağlar.

Ancak bunun uygulanabilmesine yönelik ciddi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Örneğin, bina geometrisi, nicel bilgiler içermeyen, tasarım boyunca akışkan ve sürekli değişime uğrayan bir süreç izlemektedir. Tasarımın bu aşamasında, yüzey alanlarını hesaplama veya belirli bir malzemenin ısı etkisini araştırma zorunluluğu, tasarımcıyı sezgisel düşünmesi gerekli noktalarda matematiksel düşünmeye zorlayacaktır [11].

Oysaki özellikle bu sezgisel evre, performans etkinliğinin ve çevresel yaklaşımların değerlendirilebilmesine yönelik son derece büyük potansiyel

taşımaktadır. Tasarımın ilk aşamalarından itibaren kolay geri dönüşlerle çok daha fazla deneme gerçekleştirebilmek önemlidir (Şekil 2.1) [11, 12]. Eğer tasarıma ilişkin sorunlar, sonuç aşamasına yakın keşfedilirse, iyileştirme sınırlı bir perspektifte ve yüksek maliyetle gerçekleşecektir.



Şekil 2.1. Tasarımın farklı aşamalarında geleneksel tasarım ile bilgisayar destekli tasarımın geri dönüşlere izin verme oranları [12].

Bu nedenle, son bir kaç yıldır, bina performans simülasyonundaki gelişim, mimarları bu teknolojiyi bina tasarımında uygulamaya doğru yönlendirmiştir. Bilgisayar simülasyonu yöntemine geleneksel bir yaklaşımdan bakıldığında, bina tasarımcılarının mimari tasarımın sınırlarını genişletmeye çalıştıklarını söylemek yanlış olmaz [13].

2.2.3. Enerji performansı bağlamında tasarım parametreleri

Bina enerji performansı (iç ortam konfor koşulları, fosil tabanlı yakıt tüketimi, zararlı emisyonlar, vb. bağlamında) sadece tekil bina bileşenlerine (iç ve dış duvarlar, pencereler, döşemeler, vb.) veya tesisat sistemine (ısıtma, havalandırma, iklimlendirme, aydınlatma, vb.) dayalı değil, bunların entegre bir bütün olarak dinamik etkileşimine dayalıdır.

Çeşitli enerji ve kütle transfer yolları aracılığıyla çalışan bir dizi ısı kaynağı, bina iç ortam koşullarını belirleyebilir. Bu etken temel kaynaklar [14];

- en önemli değişkenleri, hava sıcaklığı, ışınsal sıcaklık, nem, güneş radyasyonu, rüzgar hızı ve yönü olan dış ortam iklimi,
- metabolizmik ısı kazancına neden olan kullanıcılar, çeşitli ekipmanlar, yapay aydınlatma, vb.,
- ısıtma, soğutma, ve/veya havalandırmaya yardımcı ekipmanlardır.

Bu kaynaklar, aşağıda sıralanan çeşitli enerji ve kütle transfer süreçleri yardımıyla iç ortam koşullarına etkirler [14];

- Bina kabuğu ve iç bölücü duvarlar yoluyla kondüksiyon,
- Bina kabuğunun şeffaf yüzeyleri aracılığıyla geçen güneş radyasyonu ve yüzeylerde uzun dalga ışıma dönüşerek yeniden ışıması,
- Yüzeyler ve hava arasında ısı alışverişini sağlayan konveksiyon,
- Bina kabuğu yoluyla (kontrollü-doğal havalandırma; kontrolsüz-infiltrasyon/exfiltrasyon), binanın içinde ve ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemi ile birlikte hava hareketi,
- Tesisat sistemi içinde kilitlenmiş akışkanların hareketi.

İç ortam koşullarına kullanıcıların müdahalesi iki yolla mümkün olabilmektedir [14];

- Pencere, kapı veya ventleri açarak/kapatarak, perdeleri kapatarak, güneş kırıcılarını yönlendirerek bina kabuğunun çalışmasına yardım,
- Destek sistemlerin denetimine yönelik zaman cetveli ve sistemin devreye gireceği alt-üst değerlerin ayarlaması.

Tüm bu ilişkileri göz önünde bulundurarak, her biri kendi dinamik ısı karakteristikleri içinde birkaç alt sistem tanımlanabilir [14];

- Kendileri başlı başına karmaşık bir dinamik sistem olan kullanıcılar,
- Isıl kapasitesi yüksek (görelî olarak zaman gecikmesi uzun) bileşenlerle ilişkili bina strüktürü ve ısı kapasitesi daha düşük diğer elemanlar (mobilyalar, vb.)
- Isıl kapasiteye sahip destek sistemi bileşenleri (örneğin, sıcak su tankı)

Sisteme etki eden bu bileşenlerin döngü periyodu da oldukça farklıdır. Bir tesisat sistemi elemanı için bu birkaç saniye ile ifade edilebilirken, kullanıcı için dakikalar, dış ortam iklimi için ise saatler, günler, hatta yıllar söz konusudur [14].

Tüm bu bilgiler ışığında, binanın oldukça karmaşık bir sistem olduğu görülmektedir. Bu karmaşık etkileşimlerin bir arada değerlendirilmesinin gerekliliği ise açıktır. Binaya bütüncül yaklaşım, bina tasarımında etkin bir yöntemdir ve binaların tıpkı makinalar gibi karşılaştırılmalarını kolaylaştırmakta, bina performanslarının kolayca ölçülebilmesine olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda, bina bütününde performans değerlendirilmesinde, maksimum tasarım esnekliğine olanak veren, entegre, bütüncül bir yaklaşım uygun olacaktır.

Bu çalışma çerçevesinde ele alınan, bütüncül yaklaşımda etken, enerji performansı bağlamında tasarım kararlarında öncelikli olduğu düşünülen parametreler aşağıda sıralanmaktadır. Bu listenin sınırlandırılması veya kapsamının genişletilmesi mümkün olmakla birlikte, bunun bir başlangıç noktası oluşturabilmek üzere kullanıldığı göz önünde bulundurulmalıdır.

Kabuk bileşenlerinin ısı geçirme katsayısı (U-değeri)

Bina kabuğu, binanın iç ortam konforu ve enerji etkinliği açısından önemli görevler üstlenmektedir. Kabuk konstrüksiyonunun kesitinde yer alan katmanların ısı, ışık, su buharı, hava, su ve ses geçişine gösterdiği dirence

göre kabuk, sınırlayıcı etkinlik göstererek, iklimsel değişiklikleri gereksinimleri çerçevesinde süzüp, yumuşatabilen dinamik bir filtre şeklinde tasarlanması halinde, binanın ısı performansına önemli katkılar sağlar. Isı kayıp ve kazançları, iç dış ortam arasındaki sıcaklık farkına dayalı olarak, kabuktan transfer edilen ısı miktarı ile gerçekleşir ve kabuk sahip olduğu ısı geçirme direnci ile doğru orantılı olarak ısı geçişini azaltır. Geçirdiği ısı miktarı ise, ısı geçirme direncinin aritmetik tersi olan ısı geçirme katsayısı ile doğru orantılıdır. Bu bağlamda kabuk U-değeri, ısı kayıp ve kazançlarının belirlenmesinde göz önünde bulundurulması gereken önemli bir parametredir. Bu nedenle binalarda enerji tasarrufunun sağlanmasında, kabuk katmanlarının ısı dirençlerinin artırılması ve dolayısıyla kabuk U-değerinin düşürülmesi öncelikli alınan önlemler arasındadır.

Kabuk şeffaf yüzey optik ve termofiziksel özellikleri

a. Kabuk şeffaf yüzey oranı: Yapı kabuğunda güneşten ısı kazancının artırılmasında rol oynayan en önemli yapı bileşenlerinden biri, ısı toplacı olarak çalışan şeffaf yüzeylerdir. Kabukta güneşe bakan şeffaf yüzey alanının, kabuk bütününe oranı arttıkça, güneşten kazancın artması, buna bağlı ısıtma yükünün azalması ve göreceli olarak soğutma yükünün artması beklenmektedir. Bu nedenle, hem enerji tüketiminin denetim altında tutulması hem de kullanıcı konforu açısından iklim bölgeleri özelinde kabuk şeffaf yüzey oranının optimizasyonu önemlidir.

b. Pencere U-değeri: Güneşten maksimum ısı kazancı sağlamaya yönelik olarak kabuğun şeffaf bileşenleri temel görev üstlenmektedir. Şeffaf yüzeylerin doğru tasarımı, soğuk dönemlerde güneşten ısıtma amaçlı yararlanmayı ve ısıtma yüklerinin azalmasını sağlarken, sıcak dönemlerde aşırı ısınmanın önüne geçecek ve soğutma yükünün artmasını engelleyecek önlemlerin alındığı bir tasarımı gerekli kılar.

Pencerelerin performansının belirlenebilmesindeki önemli parametrelerden biri pencerenin ısı geçirme katsayısının bilinmesidir. Bu, pencerenin bileşenlerinin (cam, film katmanları, çerçeve, katmanlar arasında kullanılan gazın cinsi, vb.) ayrı ayrı termofiziksel özelliklerine bağlı olarak ortalama bir değeri gösterir. Isı geçirme katsayısı, pencerenin diğer özelliklerine (görülebilir alan ve güneş ışıınımı toplam geçirgenlik değeri, serinlik indeksi, güneş ısı kazanç katsayısı gibi) ait değerlerle birlikte, her tasarım özelinde optimum sonucu verecek şekilde değerlendirmeye alınmalıdır.

c. Cam güneş ışıınımı toplam geçirgenlik değeri (G.T.G. Değeri): Kabukta yer alan şeffaf yüzeylerin, malzeme cinsine ve optik özelliklerine bağlı olarak güneş ışıınımını yansıtma, yutma ve geçirme özellikleri ile ısı yayma katsayısı (emissivite) değışkenlik gösterir. Bina yönlenmesi, şeffaf yüzeyin konumu, şeffaf yüzey alanının kabuk toplam alanına oranı, binanın kullanım şekli ve ısıtma düzenine göre, şeffaf yüzeylerin optik özellikleri doğru değerlendirildiğinde, iç ortam konforunu bozmadan enerji tüketimlerinin düşürölmesine yardımcı olmaktadır.

Bu nedenle, camların performansının belirlenmesinde göz önünde bulundurulan bir başka parametre güneş ışıınımı toplam geçirgenlik değeri. Güneş ışıınımı spektrumu, mor ötesi ışıınım ($< 0,4 \mu$), görülebilir ışıınım ($0,4-0,76 \mu$) ve kısa dalga kızılötesi ışıınım ($> 0,76 \mu$) olarak üç bölgeye ayrılabilir. Güneş ışıınımının taşıdığı enerjinin yaklaşık %3'ü gözle görülemeyen morötesi, %47'si ışık olarak görülebilir kısım ve %50'si ise gözle görülemeyen kısa dalga kızılötesi dalga boylarındadır. İç metabolizmik kazancı yüksek binalar için, doğal aydınlatma açısından görülebilir ışığa gereksinim varken, soğutma yükünü artıracak için, ısıtma etkisi yüksek olan kısa dalga kızılötesi ışıınım istenmez. İç metabolizmik kazançları düşük olan binalar için ise, ideal cam hem görülebilir ışığı almalı hem de kısa dalga kızılötesi ışıınımı geçirerek ısı kazancı sağlamalıdır. Günümüzde, farklı bina tipleri için, güneş kontrolü açısından farklı dalga boylarındaki ışıınımı soğurma, geçirme ve yansıtma özelliklerine sahip seçici geçirgen camlar

üretilebilmektedir. Ancak, farklı dalga boylarına karşı opak davranabilen özel cam türleri bu çalışma kapsamının dışında tutulmuştur. Bu çalışmada, güneş ışınımı toplam geçirgenlik değeri, güneş ışınımı spektrumunun tüm dalga boylarının toplam geçirgenliğini tarif etmektedir.

d. Kabuk şeffaf yüzey optik özelliklerine ait kısıtlar: Pencerelelerin enerji performansı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde ve performanslarının belirlenmesinde güneş ışınımı toplam geçirgenlik değeri ve pencerenin U-değeri kadar, güneş ısı kazanç katsayısı (solar heat gain coefficient / g-value) ve serinlik indeksi (D_x) değerleri de önem taşımaktadır. Bu dört verinin, iklim bölgeleri özelinde optimizasyonuna dayalı pencere tasarımı ile bina toplam performansı iyileştirilebilir [15, 16]. Bu çalışma içerisinde ise, g-değerine ve serinlik indeksine (D_x) bağlı değerlendirme kapsam dışı tutulmuştur.

Isıl kütle kapasitesi

Yapı kabuğu enerji performansının değerlendirilmesinde, kabuk bileşenlerinin ısı depolama kapasitesi de performans üzerine etki eden faktörlerden biridir. Farklı malzemeler kullanılarak oluşturulmuş, aynı ısı dirence sahip iki yapı kabuğundan, ısı depolama kapasitesi yüksek olan kabuk konstrüksiyonunun diğerine oranla performansı daha yüksek olacaktır. Bunun nedeni ısı kütleinin “genlik küçültme” ve “zaman geciktirme” etkisidir. Gün içinde ısının depolanmasını ve böylece mekanda aşırı ısınmanın önüne geçilmesini sağlayan, ısıya ihtiyaç duyulan akşam saatlerinde ise bu ısıyı geri boşaltıp mekanın sıcaklığının birden düşmesini engelleyen zaman geciktirme etkisi sayesinde, mekanın ısı yüklerini azaltmakta, genlik küçültme etkisi ile ise, dış ortamdaki değişken ve salınımı (pik değerleri) çok yüksek olan sıcaklık farklılıklarını yumuşatarak, içerideki sıcaklık farkı salınımının daha düşük ve konfor sınırlarına daha yakın kalmasını sağlamaktadır. Malzemelerin ısı kapasitesi, özgül ısı ve kütle miktarı ile doğru orantılıdır. Bu nedenle ısı

kapasitesi yüksek bir malzemenin kalınlığı, kabuk içinde ısı kütlenin etkisini pekiştirmektedir.

Isıl kütlenin etkin çalışabilmesi için, kabuk konstrüksiyonunda kullanılan malzemelerin ısı kapasiteleri yanında, malzemelerin kabuktaki yeri de önem kazanmaktadır. Bir kabuğun, hem ısı geçirgenlik direncinin yüksek, hem de ısı kütlesi olarak etkinliğinin yüksek olabilmesi için, ısı geçirgenlik direnci yüksek, ısı yalıtım malzemesinin kabuk dış kesiminde, ısı kütleyi koruyacak ve iç-dış ortam sıcaklık alışverişini en aza indirecek şekilde yerleştirilmesi; ısı depolama kapasitesi yüksek katmanın ise, camlardan alınan güneş ışınımını yakalayabilecek ve iç ortam havası ile rahat temas edebilecek şekilde kabuk iç kısmında yer alması gerekmektedir.

Mekana ait boyutsal özellikler

a. Zon derinliği: İklimle dayalı tasarımda, bina formu ve en-boy oranları, enerji ve ısı konfor bağlamında performansı büyük ölçüde etkiler. Kabuk yüzey alanının artışına paralel olarak, yüzeyden ısı transferi de artacak, bu da mekan yüklerinin artmasına neden olacaktır. Bu nedenle bina tasarımında boyutsal optimizasyon son derece önemlidir. Olgyay [17], kütlelerin en-boy oranlarına göre, kış ve yaz koşullarında tüketilen enerji miktarlarını karşılaştırdığı çalışmasında, doğu-batı aksında uzanan ve 1:1,6 en-boy oranındaki bir zonun kışın daha az ısıtma enerjisi tüketmekte olduğunu, yazın ise görece olarak daha az soğutma enerjisine gereksinim duyduğunu belirlemiştir.

b. Tavan yüksekliği: Binalarda enerji etkinliğinin sağlanmasında, mekansal boyutlandırma önemli parametrelerden biridir. Binaların kullanım şekli, içsel kazançlar ve kullanım sıklığı gibi özelliklerine bağlı olarak, mekan en-boy oranları kadar, mekan yükseklikleri de dikkatle tasarlanmalıdır. Mekan tavan yüksekliğindeki değişim, en-boy oranının değişimi gibi mekan hacmini değiştirmektedir. Ancak tavan yüksekliğinin artırılması, mekan içinde farklı

kotlarda sıcaklık farkları oluşmasına neden olabilir. Sıcak havanın yüksek kotlarda kümelenmesi ve mekan içindeki yaşam zonunun görece olarak serin kalması, bir konfor sorunu olabileceği gibi, sıcak iklimler için bir gereklilik oluşturabilir.

Hava değişimi oranı

Bina kabuğundaki çatlaklar, pencere ve kapı gibi bileşenlerin sızıntı noktalarından iç ve dış çevre arasında tasarım dışı ve kontrolsüz hava değişimi “hava sızıntısı”dır. Hava sızıntısı dış- iç ortam arası basınç farkına bağlı olarak gerçekleşir ve dış basıncın, iç ortam basıncından daha yüksek olduğu durumda, içeriye doğru gerçekleşen hava sızıntısı “infiltrasyon”dur. Hava sızıntıları binalarda gerçekleşen toplam ısı kaybının %20-%50’si civarında önemli ısı kayıpları yaratmanın yanı sıra yoğunlaşmaya dayalı erken yapı hasarları nedeni ile de yapıya zarar vermektedir [18]. Hava sızıntıları, kabuğun doğru tasarımı ve iyi bir işçilikle minimuma indirilebilir. Ancak, performans hesaplamalarında, iç-dış ortam arasında, kontrolsüz hava değişimine dayalı kayıpların göz önünde bulundurulması şarttır. Bu nedenle infiltrasyon, “hava değişim oranı” olarak hesaplamalara katılmaktadır. ASHRAE el kitabı [19] tarafından, hava sızıntılarına karşı önlem alınmış bir bina için ortalama hava değişim oranı $0,5 \text{ ACH}^1$ (Air Change rate per Hour), sızdırmazlığı başarısız bir bina için ise $1,25 \text{ ACH}$ olarak verilmektedir. TS825 ısı yalıtım standardında ise, hava değişim oranını kontrollü ve kontrolsüz hava hareketlerini bir arada değerlendirmektedir. Buna göre, doğal havalandırma yapılan binalarda havalandırma yoluyla gerçekleştirilen hava değişim oranı olarak $0,8 \text{ ACH}$ değerinin hesaba katılmasını önermektedir [20].

¹ Hava değişim oranı (ACH), bir saatte o mekan içerisine giren veya o mekandan çıkan hava miktarının o mekandaki toplam hava miktarına oranını temsil etmektedir.

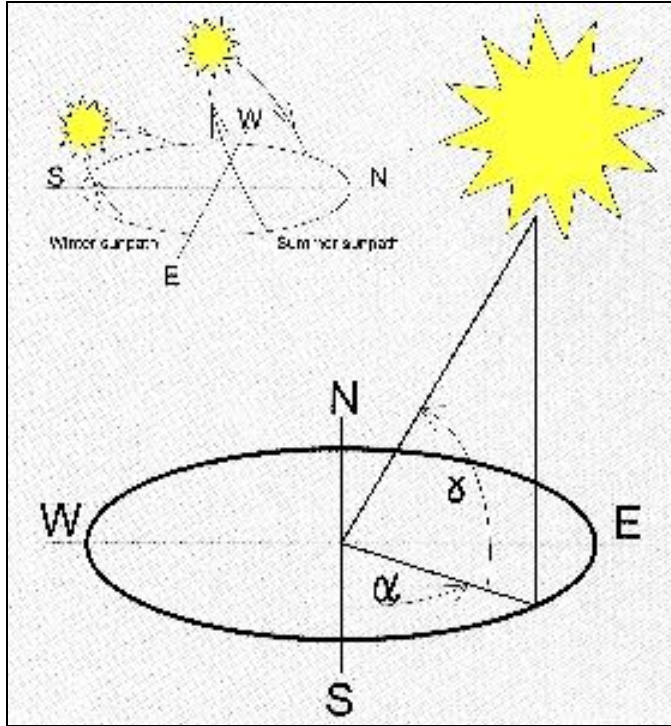
Kullanıcı yoğunluğu

Enerji etkinliği ve iç iklimsel konforun sağlanabilmesi açısından, binanın kullanım şekli son derece önemlidir. Kullanıcı yoğunluğu ve nitelikleri (yaş, cinsiyet, giysi türü, vb.) ile kullanım evrelerinin göz önünde bulundurulması, mekan yüklerinin belirlenmesinde doğrudan etkilidir. Mekanda yer alan aydınlatma ekipmanı ve diğer ısı üreten aletler ile birlikte kullanıcılar, iç metabolizmik kazancı önemli ölçüde etkiler.

Bu çalışmada taban modele ait bazı veriler, TS825 hesaplamalarındaki kabullere bağlı olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni, model doğrulama için TS 825 hesaplamalarının kullanılmış olmasıdır. TS 825 kullanıcı yoğunluğu ile birlikte aydınlatma ekipmanı ve ısı üreten diğer aletlerin toplamda ürettiği ısı enerjisi miktarını günün 24 saati ve yıl boyu aylık $5W/m^2$ olarak belirlemiştir [20].

Yönlendirme

Binanın bulunduğu yere ait iklimsel özellikler ve arsa topografyasına bağlı olarak yönlendirme son derece önemlidir. İdeal koşullar altında, binaların soğuk dönemlerde güneşten maksimum yararlanabileceği, sıcak dönemlerde ise güneşin olumsuz etkilerinden korunabilecek bir konumlanmaya sahip olması beklenir. Bu noktada güneş azimut açısı önem kazanmaktadır. Azimut açısı, yer küre üzerindeki herhangi bir noktanın, ufuk çizgisine göre hesaplanmış yatay bileşenidir ve bazı disiplinlerde (örn. Jeodezi) kuzeyden doğuya doğru saat yönünde, bazı disiplinlerde ise (örn. Astronomi) güneyden batıya doğru saat yönünde alınmaktadır. Güneş azimutu, güneşin gökyüzünde bulunduğu konumun ufuk çizgisine göre izdüşümünün, güneyle yaptığı yatay açıyı tanımladığı için genellikle güneşe göre konumlanma tarif edilirken güneyden sapma açısı (güneş azimutu) kullanılmaktadır [21] (Şekil 2.2). Böylece güneş azimut açısı, güneyden batıya doğru saat yönünde (+), doğuya doğru saat yönünün tersinde (–) işaretlerle gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Güneş azimut açısı (α) [21].

2.2.4. Tasarım kararı destek sistemleri

Tasarım kararı destek sistemlerinin ana hedefi, süreç içindeki kararların kalitesini iyileştirmeye yönelik bilgi üretimini sağlamaktır. Bu nedenle, karar destek sisteminde sürecin etkinliği değil, elde edilen sonucun kalitesi üzerinde durulmaktadır. Tasarım kararı destek sistemi, karar vericinin yerine geçmez ancak problemin araştırılması ve uygun çözümün bulunması yönünde rehberlik eder. Tasarım kararı sırasında ortaya çıkabilecek problemleri başlıca üçe ayırmak mümkündür:

- İyi planlanmış karar problemleri
 - Problem tamamıyla anlaşılmış ve algoritmik sonuçlar üretmek mümkündür.

- Eksik planlanmış karar problemleri
 - Çoklu ve genellikle birbiriyle çatışan hedefler,
 - Hedefler net olarak tanımlanmamış ve ağırlıkları belirsizdir,
 - Kararların sonuçlarını tahmin etmek zordur.
- Planlanmamış karar problemleri
 - Problem tamamen plansızdır.

Tasarım kararı destek sistemleri, eksik planlanmış karar problemlerinin çözümüne yardımcı olmak üzere, bilimsel yöntem ve modeller kullanan, ancak spesifik alan bilgisini ön plana çıkartan bilgisayar programlarıdır.

Bu çalışmada ele alınmakta olan spesifik alan bilgisi, binaların çevresel performans tasarımıdır. Bu bağlamda, Morbitzer'in [22] "Enerji ve Çevresel Tasarım Kararı Destek Sistemi" olarak adlandırdığı binanın performans değerlendirmesine yardımcı olmayı amaçlayan sistemler, bazı tasarım kurallarından, tasarım önerisinin performansını tahmin etmeyi amaçlayan bina simülasyon programlarına kadar geniş bir yelpazede ele alınabilmektedir.

- *Tasarım Rehberleri (Design Guidelines):* Çoğunlukla tasarımcıya belirli performans hedeflerini gerçekleştirmeye yönelik yapılması gerekenleri içeren bir öneriler paketidir. Doğrudan performansın tahminine yönelik değildir.
- *Geleneksel Hesaplama Yöntemleri:* Binadaki belli başlı fiziksel süreçleri belirlemeyi amaçlayan geleneksel hesaplama yöntemleridir. Sınırlı sayıdaki, hatta bazen sadece bir fiziksel olguyla ilgilenir. Kabuk U-değerinin hesaplanması örnek olarak verilebilir.
- *Korelasyona Dayalı Yöntemler:* Binanın karmaşık sistemini göz önünde bulundurarak, performansın tahmini amaçlanmaktadır. Basit simülasyon programları yardımıyla, çoklu parametrik analiz gerçekleştirmek mümkündür. Burada tasarımcının belirli parametreleri tanımlaması, simülasyon

programının da tasarımcıya bu parametreler ışığında binanın nasıl bir performans sergileyeceğini bildirmesi söz konusudur.

- *Bina Simülasyonu:* Bina simülasyonu ile amaç, bina performansını etkileyecek detaylı parametrelerin tümünün tasarımcı tarafından tanımlanması ile gerçeğe mümkün olduğunca yakın performans tahminlerinin elde edildiği sanal bir bina yaratmaktır.
- *Küçük Ölçekli Modelleme:* Binanın küçük maketler yardımı ile test edilmesi ve performansının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilecek bir rüzgar tüneli testi örnek olarak verilebilir.

Tüm bu tasarımı yönlendirmeye yardımcı araçlar içerisinde, karmaşık bir sistem olarak binanın performansını belirleyebilecek ve detaylı analizini gerçekleştirebilecek en uygun teknik bina simülasyondur. Simülasyon yardımıyla, bina performansını etkileyen tüm parametreler dikkate alınabilmektedir. Hensen [23] “Profesyonel bağlamda bakıldığında, bina performans simülasyonu tasarım kararlarını belirlemek amacıyla mutlaka kullanılmalıdır.” demektedir.

2.2.5. Bina enerji performansı yönetmelikleri

Bina performansının değerlendirilmesinde söz konusu olan enerji performansı olduğunda, binanın hangi kriterlere dayalı olarak enerji etkinliğinin belirleneceğinin, standartlarca tanımlanması, yönetmelik ve yönergelerle de uygulama koşullarının açıklanması gerekir. Enerji etkin bina kavramı çerçevesinde, her ülkenin kendi yerel koşulları içinde geliştirdiği standart, yönetmelik ve yönergeleri vardır.

Bina enerji yönetmelik ve standartları, binalarda enerji korunumu potansiyelinin farkına varılmasına ve binalarda enerji etkin tasarıma ilişkin talebin artmasına yardımcı olacaktır. Bu aynı zamanda enerji etkin politikaların geliştirilmesi için bir temel oluşturulmasını sağlayacaktır [24].

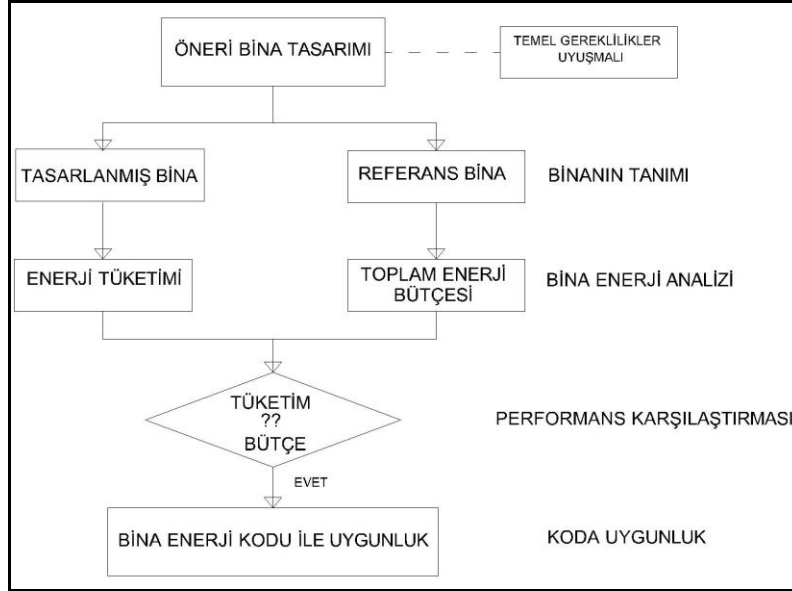
Bina enerji yönetmelik ve standartları, bina tasarımı üzerinde belirli düzeyde bir kontrolü ve binalarda enerji bilinçli tasarımın geliştirilmesini ve yenilenmesini sağlamak üzere, pek çok ülkede kullanılmakta ve geliştirilmektedir.

Performans bazlı bina enerji yönetmelikleri, yöntemi, malzemeyi, süreci tanımlamadan, maksimum kabul edilebilir enerji tüketim seviyelerini belirlemeyi gerektirir. Tasarımcının görevi, binanın enerji davranışını da göz önünde bulunduran bir tasarım çözümü üretmektir. Performansa dayalı uygunluk (compliance); yapı kabuğu, aydınlatma, iklimlendirme gibi bina elemanlarının ve sistemlerinin entegre performanslarına dayalı tüketim seviyeleri üzerinde çalışmayı ve değerlendirmeyi gerektirir. Ancak değerlendirmenin ne kadar bir alanı içerdiğini belirlemek, amaca ve değerlendirmenin sınırlarına bağlı olarak değişir.

Performans kriteri, önerilen binanın enerji tüketimini hesaplamaya ve belirli bir enerji bütçesi ya da hedefini aşmamasının sağlanmasına dayalıdır. Bu yaklaşım; binanın ve bileşenlerinin tasarım esnekliğine olanak tanır, ancak yönetmeliğe uygunluğu gösterebilmek için titiz bir analiz ve bilimsel yöntem gereklilik duyar. Çoğunlukla iklimlendirilen taban alanı metrekaresine düşen yıllık kWh veya MJ olarak ifade edilen enerji bütçesi, ya sabit bir seviyede ya da standardize edilmiş bir binanın enerji bütçesine göre belirlenir. İkinci seçenek kullanıldığında, eğer öneri binanın enerji tüketimi, kendisi ile benzer özellikler taşıyan “referans bina”nın tüketiminden az ise “uygunluk” sağlanıyor demektir [24].

Referans bina ve öneri bina aynı enerji kaynaklarını kullanmalı, aynı, geometri, taban alanı, dış ortam koşulları, kullanıcı yoğunluğu, ısı verileri, vb. ye sahip olmalıdır. Referans bina, bina elemanları için tariflenen gerekliliklere uyacak şekilde, kabuğu, bina bileşenleri ve enerji tüketen sistemleri ile birlikte tasarlanmalıdır. Şekil.2.3 performans bazlı bina enerji yönetmelikleri için uygunluk prosedürünü göstermektedir. Performans bazlı yönetmelikler geniş

bir tasarım esnekliğine sahiptir ve genişliği, pasif güneş tasarımı, ısı geri kazanımı, mekansal sıcaklık denetimi, ısı depolama, vb. gibi yenilikçi özellikleri de göz önünde bulundurabilir [25].



Şekil.2.3. Performans bazlı bina enerji kodları için uygunluk prosedürü [24].

Briggs ve Brambley [25], performans bazlı enerji standartlarının uygulanabilmesi için, performans simülasyonuna gereklilik duyulacağını belirtmektedir. Uygunluğun demonstrasyonu için kullanıcı, tasarıma ait bir simülasyon girdi (input) tanımı geliştirmeli, girdi tanımını dönüştürerek tariflenen gerekliliklerle uyumlu hale getirmeli, ve her iki versiyon için de simülasyonu gerçekleştirmelidir.

Binalarda Enerji Performansı İle İlgili Avrupa Birliği Direktifi

Avrupa Komisyonunun Kasım 2000’de yayınladığı “Avrupa’nın Enerji Kaynaklarına ait Strateji” başlıklı Yeşil Bildiri’de (Green Paper*), üç önemli noktaya değinilmiştir;

* Yeşil Bildiri bir danışma dokümanıdır. Bir kanun düzenlenmesi ya da yeni bir kanun teklifi söz konusu olduğunda, Yeşil Bildiri adı verilen bir tartışma dokümanında tüm görüşler bir araya toplanır. Bu dokümanın amacı parlamento içinde ve dışındaki herkesi konu hakkında tartışmasını ve bu görüşlerin değerlendirilmesini sağlamaktır.

- Avrupa Birliği üye ÷lkelerinin dış enerji kaynaklarına bağımlılığı giderek artmaktadır ve genişleme s÷reci de bu durumu g÷çlendirmektedir. Eğer ÷nlem alınmaz ise, 2030 yılında dışa bağımlılık %70'lere varacaktır.
- Bug÷n, Avrupa Birliği'nde sera gazı emisyonu artış eğilimdedir ve bu, iklim değişimine karşı geliştirilen tavır ve Kyoto Protokol'÷ taahh÷tleri ile çelişmektedir.
- Avrupa Birliği, enerji kaynaklarına ait mevcut koşulları değiştirebilmek ÷zere sınırlı bir alana sahiptir. Talep açasından bakıldığında, Avrupa Birliği'nin, ÷zellikle binalarda ve ulaşım sekt÷r÷nde enerji korunumunu geliştirmek adına m÷dahalede bulunması şarttır [26].

Bu g÷r÷şler ışığında enerji kullanımında, m÷mk÷n olan her alanda tasarruf etmek zorunluluğu için yeterli gerekçenin olduğu g÷r÷lmektedir. Konut sekt÷r÷ ve ÷÷nc÷l sekt÷r (end÷stri binaları dışında kalan ofis, alışveriş, otel, restoran, okul, hastane, spor merkezi, kapalı y÷zme havuzu, vb. binaları kapsayan sekt÷r) ÷zellikle ısıtma, aydınlatma ve çeşitli ekipmanın en yoğun kullanıldığı alanlar olarak tespit edilmiş ve yapılan çeşitli araştırmalar ve uygulamalar sonucunda, diğer sekt÷rlere kıyasla bu alanda ÷nemli enerji tasarruf potansiyeli olduğu g÷r÷lm÷řt÷r.

Yeşil Bildiri, bu noktadan hareketle, yeni teknolojilerin desteklenmesi ve teşviki için y÷r÷t÷len Birlik programlarının pek çok üye ÷lkede enerji etkin binalar için yeni standartların uygulanmasını ortaya çıkaracak başarıya ulaşamadığını ifade etmektedir.

Aynı zamanda Mart 2000'de y÷r÷rl÷đe giren Avrupa iklim Değişikliği Programı'nın en ÷nemli başlıkları da binalardaki enerji korunumu ve buradaki potansiyeli değerlendirecek olası ÷nlemlere ilişkindir.

T÷m bu gerekçeler g÷z ÷n÷nde bulundurularak, Mayıs 2001 de teklif olarak Komisyona sunulan "binaların enerji performansı" ile ilgili direktif, 16 Aralık

2002’de Avrupa Birliği Resmi yayın organında yayınlanarak yürürlüğe girmiştir.

Avrupa Birliği enerji performanslı bina direktifi doğrultusunda hazırlanan ve derecelendirme sisteminin işleyişini anlatan standart ve yönetmelikler içerisinde,

- Enerji performansının tanımlanmasını (enerji sertifikasyonu) ve gerekliliklerinin tarif edildiği *prEN15217: Binaların enerji performansı – enerji performansının tarifi ve binaların enerji sertifikasyonu yöntemleri* (Energy performance of buildings – Methods of expressing energy performance and for energy certification of buildings),
- Enerji tüketimleri ve CO2 emisyonlarının değerlendirmeye alındığı *prEN15203: Binaların enerji performansı – enerji tüketimi değerlendirmesi ve etiketleme tanımları* (Energy performance of buildings –Assessment of energy use and definition of ratings) ve,
- Bina enerji ihtiyacının belirlenmesi için, tüm ısı kayıp ve kazançlarını göz önünde bulundurarak binanın ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacının hesaplanmasına yönelik EN ISO 13790 ve EN 832’nin revizyonu ve kapsamının genişletilmesine yönelik çalışmalar yer almaktadır.

Bu üç standart, binalarda enerji performansının belirleyicileri olarak ön plana çıkmaktadır. Bunlara destek olmak üzere 10’dan fazla standart daha hazırlanmıştır. Bunlar içerisinde, havalandırma, aydınlatma, iklimlendirme gibi destek sistemlerin enerji tüketimlerinin belirlenmesi ve hesaplanması da yer almaktadır. Standartlara ilişkin ayrıntılar aşağıda sıralanmaktadır.

PrEN 13790: Isıtma ve soğutma enerjisi tüketimi hesap yöntemi: Bu standart ile konut ve konut dışı bina tiplerinin mekan ısıtma ve soğutması için gereken yıllık enerji tüketiminin değerlendirilmesine yönelik bir hesap yöntemi tanımlanmaktadır. Bu standart, daha önce sadece mekan ısıtmasını

içermekteyken, özellikle güney ülkelerin önemli soğutma enerjisi tüketimleri göz önünde bulundurularak kapsamı genişletilmiş ve soğutma enerjisi tüketiminin değerlendirilmesi de hesaplara dahil edilmiştir.

PrEN 13790 ile amaç, yönetmeliklere uygunluğun sorgulanması, çeşitli tasarım alternatiflerinin karşılaştırılması, enerji performansının konvensiyonel olarak belirlenmesi, enerji korunum önlemlerinin etkisinin değerlendirilmesi, ulusal ve uluslar arası ölçekte, gelecekte gereksinilecek enerji kaynaklarının tahmin edilmesi olarak sıralanabilir [27].

Kapsamı genişletilen bu standartta önerilen üç tip hesap yöntemi dikkat çekmektedir. Hogeling [28], ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi hesap yönteminin belirlendiği standartlarda yer alacak yöntemleri;

- Tamamen tanımlayıcı (prescribed) yapıda, aylık verilere dayalı yarı-kararlı hal koşulu hesap yöntemi (özel bir seçeneğe sahiptir: dönemsel (seasonal) yöntem)
- Tamamen tanımlayıcı yapıda saatlik verilere dayalı basit hesap yöntemi ve
- Detaylı simülasyon yöntemlerine dayalı hesap prosedürü olarak sıralamaktadır. Böylece bina enerji simülasyonunun bir yöntem olarak Avrupa Birliği standartlarına da girmiş olduğu görülmektedir.

PrEN 13790 hesap yöntemi ile elde edilen çıktı verileri, havalandırma ve konveksiyona dayalı ısı transferi, içsel ısı kazançlarının ve güneş ışıınımlarının katkısı, ısıtma ve soğutmaya dair yıllık ısı yükü, ısıtma ve soğutma sistemleri için gereken yıllık enerji miktarı, havalandırma sistemi için gereken yıllık ek enerji miktarı olarak sıralanmaktadır. Bu standart, Temmuz 2007’de yürürlüğe girmiştir.

PrEN15203: Binaların enerji performansı–enerji tüketimi değerlendirmesi ve derecelendirme tanımları: PrEN 15203, yeni ve mevcut binalar için

derecelendirme (rating) sisteminin tanımını yapmaktadır. Dikkate alınması gereken enerji kullanımının belirlenmesi ve yeni ve mevcut binalar için enerji performans derecelendirmesinin hesabına yönelik yöntemin tanımı bu standart içinde yer almaktadır. Ayrıca bu standart, binaların gerçek enerji tüketimleri ile modelden hareketle hesaplanan sonuçların arasında oluşacak sapmaları azaltacak ve binada olası iyileştirmeler ile enerji etkinliğini değerlendirebilecek bir yöntem sağlamaktadır.

Binanın ısıtılması, soğutulması, aydınlatılması, sıcak su sağlanması, havalandırması vb. gibi enerji tüketen tüm sistemlerinin ayrı ayrı standartlarca belirlenmiş hesap yöntemlerine dayalı hesaplanmış enerji tüketimleri yanı sıra iklim ve kullanıcı verilerini de değerlendirerek derecelendirme için girdi oluşturulmaktadır. Bu verilere dayalı olarak “değer (asset) derecelendirmesi” ve “işletim derecelendirmesi” olarak iki derecelendirmeye dayalı iyileştirmeler ile enerji etkinliği elde edilmektedir.

Değer derecelendirmesi, binanın ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma, vb. gibi tasarlanmış bileşenlerine dayalı hesaplanmış enerji tüketiminin dayandırıldığı derecelendirme sistemidir. İşletim derecelendirmesi ise, harcanan petrol, doğal gaz, elektrik vb. miktarına göre belirlenen bir derecelendirme sistemidir. Bir binanın bileşen performansına dayalı olarak değer derecesi A iken, harcadığı yakıt nedeni ile işletim derecesi B olabilmektedir. Örneğin tasarımı tamamlanmış bir binanın yapılan enerji analizinde elde edilen sonuca göre, bina değer derecesi A olarak etiketlenir. Bu bina bileşenlerinin en uygun şekilde tasarlanmış olduğunun bir göstergesidir. Ancak, bina işleme girdikten sonra, o tasarıma uygun simüle edilen işletimdeki başarı tam anlamıyla sağlanamadığında ve o tasarım için olması gerekenden daha yüksek oranda tüketim gerçekleştiğinde binanın işletim derecesi B olarak etiketlenebilir.

Avrupa Birliği Teknik Komitesi tarafından prEN15217 ile birleştirilen bu standart, Haziran 2007’de yürürlüğe girmiştir.

PrEN15217: Binaların enerji performansı – enerji performansının tarifi ve binaların enerji sertifikasyonu yöntemleri: Bu standart, ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su ve aydınlatma sistemlerini içeren bina bütününde enerji performansının ifade edilebilmesine yönelik bir göstergenin belirlenmesini içermektedir. Yeni bina tasarımının veya mevcut bina revizyonlarının enerji gerekliliklerini tarif etmek üzere bir yöntemin belirlendiği prEN15217 ile referans değerler ve benchmarklar tanımlanmakta, enerji sertifikasyon şemalarının düzenlenme yöntemi aktarılmaktadır.

PrEN 15217 standardı, PrEN15203 ile belirlenen derecelendirmeyi, binanın boyutlarını ve iklim parametrelerini dikkate alarak, enerji performans göstergeleri, enerji gerekliliği tanımı ve sertifikasyon şeması prensiplerini sunmaktadır. Burada dikkate alınan derecelendirme, binanın net enerji dağılımı, binanın birincil enerji tüketimi, binanın yaydığı karbon emisyonu miktarı veya bina inşaat izni için gereken tasarım derecelendirmesinden herhangi biri olabilmektedir.

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği

Yukarıdaki üç temel standart baz alınarak, Türkiye’de Avrupa Birliği direktifi doğrultusunda gerekli çalışmalar büyük ölçüde tamamlanmış, Aralık 2008’de Bayındırlık ve İskan Bakanlığınca “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” yürürlüğe sokulmuştur. Bu yönetmeliğin amacı, “*dış iklim şartlarını, iç mekan gereksinimlerini, mahalli şartları ve maliyet etkinliğini de dikkate alarak bir binanın bütün enerji kullanımlarının değerlendirilmesini sağlayacak hesaplama kurallarının belirlenmesini, birincil enerji ve karbondioksit emisyonu açısından sınıflandırılmasını, yeni ve önemli oranda tadilat yapılacak mevcut binalar için minimum enerji performans gereklerinin belirlenmesini, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesini, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolünü, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılmasını, binalarda performans kriterlerinin ve*

uygulama esaslarının belirlenmesini ve çevrenin korunmasını düzenlemek” olarak belirtilmiştir.

Burada söz konusu olan birincil enerji için, binaların ısıtma enerjisi tüketimi, soğutma enerjisi tüketimi, aydınlatma enerjisi tüketimi ve sıhhi sıcak su üretimi için harcanan enerjinin toplamından söz edilmektedir. Her bir enerji tüketim kalemi için de belirlenmiş ön koşullar bulunmaktadır. Isıtma enerjisi tüketimi için TS825 ısı yalıtım standardının önerdiği yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı sınır değerinin gözetilmesi gerektiği belirtilmektedir. Soğutma enerjisi ihtiyacı hesabı için bir yönergenin yayınlanacağı belirtilmiş ancak henüz bu yönerge yayınlanmamıştır. Aydınlatma enerjisi ile ilgili hesap yöntemi ve sıhhi sıcak su hazırlama ve dağıtım sistemleri enerji tüketimi, ilgili standartlarca belirlenmiştir.

Binalarda enerji performansı (BEP) yönetmeliğinde her bina tipi için ayrı olmak üzere birincil enerjiye göre referans göstergeleri tanımlanmış ancak bir referans bina tanımı yapılmamış, bina performans simülasyonlarının kullanımını mümkün kılacak bir hesap yöntemi tariflenmemiştir.

2.3. Bina Performans Simülasyonları

“Benzeşim” olarak da türkçeleştirilebilen simülasyon, karmaşık bir sistemin basitleştirilmiş bir modelini oluşturarak, gerçek sistemin davranışını tahmin etmek ve analiz etmek üzere bu modeli kullanma süreci olarak tanımlanabilir. Gerçek sistemleri tüm karmaşıklıkları içinde analiz etmek çok zor, hatta imkansızdır ve genellikle bunu, bu karmaşıklık içinde gerçekleştirmek gereksizdir. Simülasyonun temel amacı, gerçek sistemden dikkatlice çekip çıkartılarak, sadece belirli gereklerle ilgili elemanların dikkate alınması ve görelilik olarak daha önemsiz olanların göz ardı edilmesi ile, gerçek sistem davranışını doğru olarak tahmin etmek üzere kullanılabilen bir model geliştirmektir [24, 29].

Bina simülasyonu için farklı pek çok model (ölçekli mimari maketlerden, test hücrelerine kadar değişen çeşitlilikte) oluşturmak mümkün ise de, burada söz konusu olan bilgisayar simülasyonlarıdır.

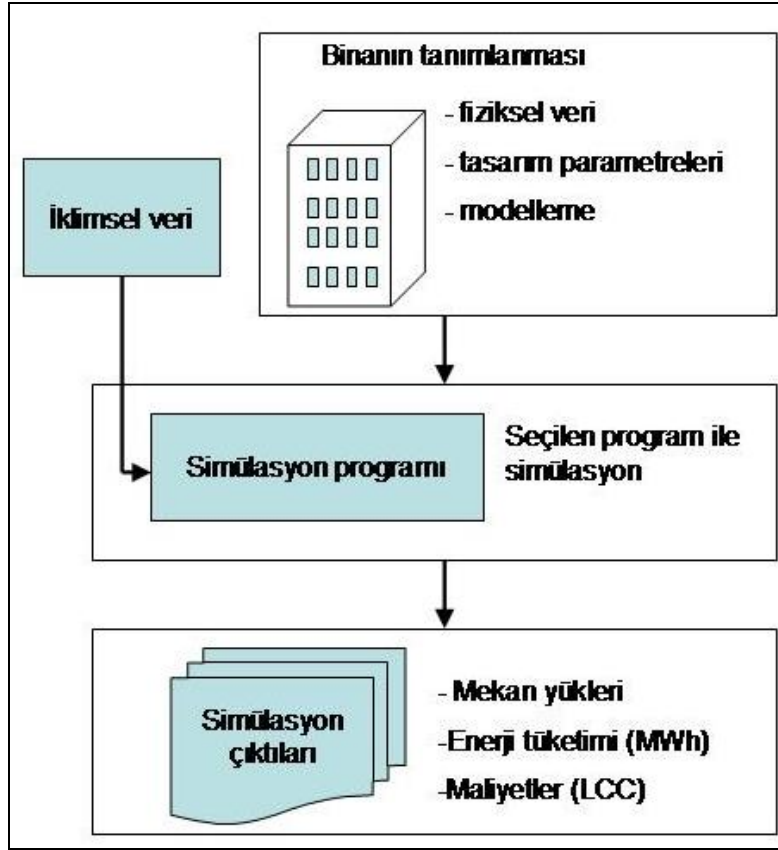
Bina simülasyon programları, genellikle hesap yöntemlerine, modelleme düzeylerine, kullanım alanlarına göre sınıflandırılabilir. Hendricx [30] bina simülasyonlarını binanın tasarımı sırasındaki boyut, biçim, vb. bilgilerinin değerlendirilebildiği “*modelleme araçları*”, tasarım alternatiflerinin geliştirilmesine yardımcı “*tasarım araçları*” ve bina performansı yaklaşımlarını (enerji akışı, strüktürel dayanım, akustik, vb.) değerlendiren “*analiz araçları*” olarak üçe ayırmaktadır. Binaların performans dayalı tasarımı söz konusu olduğunda, her üç kategori de önem kazanmakta ve tasarım süreci boyunca entegre bir bütün olarak çalışmaları ve değerlendirmeye dahil edilmeleri gerekmektedir. Modelleme, tasarım ve analizi bir arada bulunduran, büyük, çok zonlu binalar ve bunların ısıtma, iklimlendirme ve havalandırma sistemlerinin değerlendirilebilmesini sağlayan, genellikle saatlik bazda ve her mekan için ayrı hesaplamalar gerçekleştirebilen detaylı simülasyon programları, binanın entegre bir bütün olarak performansını analiz edebilen bina performans simülasyon programlarıdır [31, 32]. Bu detaylı simülasyon programları, çoğunlukla ısı sistemlerinin etkileşimi, ısıtma ve soğutma yükleri ile enerji tüketim hesaplamaları için kullanıldığı için “bina enerji simülasyon programları” olarak nitelendirilmekte ve genelleştirilmektedir.

Bina simülasyon programları, öncelikle binanın modellenmesini gerektirir. Burada tasarıma ilişkin verilerin tanımlanması söz konusudur. Bu, bazen sadece kütle formu, boyut, bileşen ve malzemelerle sınırlı kalabildiği gibi, detaylı simülasyon programları için, saatlik kullanım zaman cetvellerinden, ısıtma, havalandırma, iklimlendirme sistemlerinin özellikleri ve işletim stratejilerine kadar ayrıntılı pek çok bilginin tanımlanmasını da gerektirir. Bu tasarım parametrelerinin bina biçimine yönelik olan kısmı için çoğu enerji simülasyon programı CADD (Computer Aided Design/Drafting) verilerini (çoğunlukla DXF-Data Exchange File- olarak) kabul edebilmektedir ya da

program içinde binanın iki ya da üç boyutlu modellemesinin gerçekleştirilebilmesi söz konusu olabilmektedir.

Programın çalıştırılabilmesi için ikinci en önemli veri, binanın yapılacağı bölgeye ait iklimsel verinin elde edilebilmesidir. Bu verileri, bazı programlarda, programın içine manual olarak girebilmek mümkün olabildiği gibi, çoğu program bir kaç farklı formatta (TRY, TMY, BIN, WYEC, vb.) elde edilebilen paket iklim verilerini de kabul edebilmektedir.

Gerekli verilerin girilmesi ile simülasyon çalıştırılır. Elde edilen veriler, simülasyon programının özelliğine göre değişmekle birlikte, detaylı enerji simülasyon programları genellikle, binanın veya mekanların ısıtma ve soğutma yükleri ile bunları karşılayacak yıllık enerji tüketimlerini vermektedir. Programların özelliklerine ve girilen veri düzeyine bağlı olarak, enerji maliyetleri veya binanın toplam maliyeti, binanın çevresel zararları (CO₂ emisyonları gibi), yaşam boyu maliyeti (life cycle cost) gibi sonuçlar da elde edebilmek mümkündür (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Performans simülasyon programlarının işleyiş süreci [33].

Bina simülasyonunun etkinliğini ve sonuçların güvenilirliğini sağlamak için üç temel gerekliliğin yerine getirilmesi gerekmektedir:

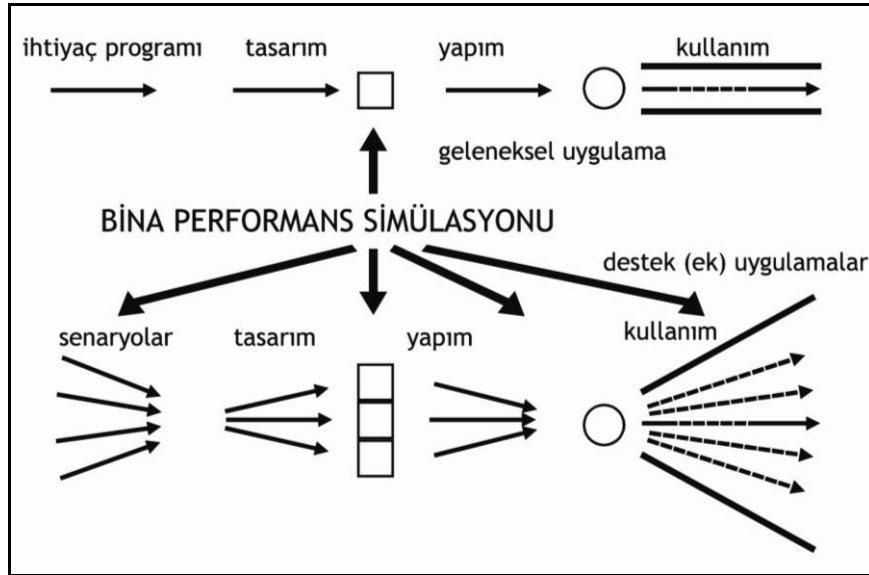
- Model, karmaşıklık ve beklenen çözüm düzeyine uyumlu olmalı,
- Yazılım geçerliliğini kanıtlamış ve model yazılıma uyumlu hale getirilmiş (kalibre edilmiş) olmalı,
- Simülasyonlar alternatif çözümleri ve tasarım seçeneklerini karşılaştırmak üzere kullanılmalıdır.

Bugün, bina performans simülasyonunun tasarımcılara uzmanlıklarını daha etkin kullanma, genişletme ve iyileştirme olanağı sunduğu kabul edilmektedir [23, 29, 34-37]. Simülasyon, tasarımcılar için sadece fikirlerin test

edilmesinde değil, aynı zamanda yeni fikirlerin geliştirilmesi ve sunulmasında da önemlidir.

Bu bağlamda, bugün bina performans simülasyonunun kullanımında önemli bir eksiklik vardır. Şekil 2.5’de de görüldüğü gibi, simülasyon genellikle tasarım sürecinin son evresinde, “performans kanıtlayıcı” olarak kullanılmaktadır. Oysa tasarımın erken evrelerinde, kolay geri dönüşlerle kararların test edilmesi ve çok daha fazla seçeneğin sınanabilmesi mümkün olmaktadır. Simülasyonu, tasarım sürecinin erken evrelerine çekebilmeye yönelik araştırmalar halen devam etmektedir.

Bina ve sistemlerinin entegre tasarımının disiplinler arası bir ekiple yürütülmesi şarttır ve simülasyon, farklı disiplinler arasındaki iletişimi sağlamaya yönelik oldukça önemli bir teknoloji olarak da düşünülmelidir.



Şekil 2.5. Bina enerji simülasyonunun tasarım sürecine adaptasyonu [35].

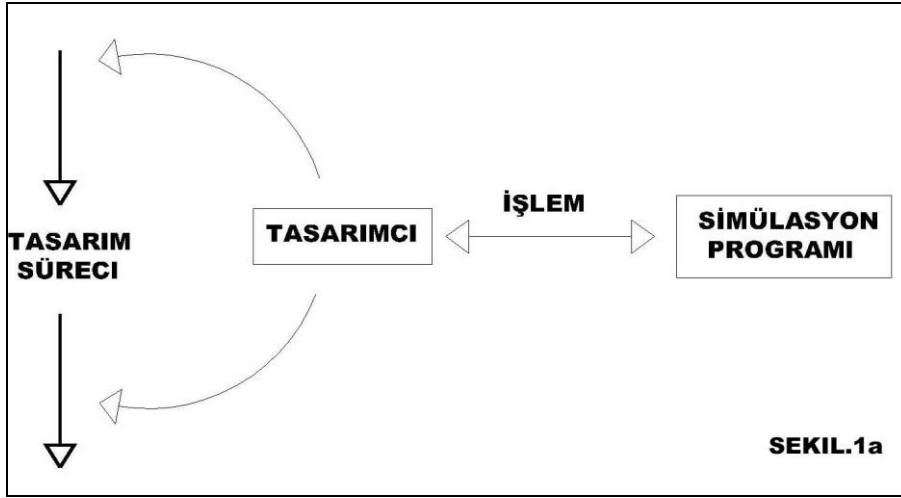
Performans bazlı standartların artarak geliştirilmesi, simülasyonun etkin kullanımı için çalışan organizasyonlar (IBPSA, ASHRAE, CIBSE gibi), eğitim kursları, seminerler, workshoplar, yüksek öğrenime simülasyon eğitiminin dahil edilmesi, bu konudaki uzmanların artışına paralel olarak

danışmanlıklardaki artış ve en önemlisi tasarım sürecinin her evresinde simülasyondan yararlanabilme olanağının sağlanması ile gelecekte bina performans simülasyonunun çok daha yaygın kullanım olanağı bulması beklenmektedir.

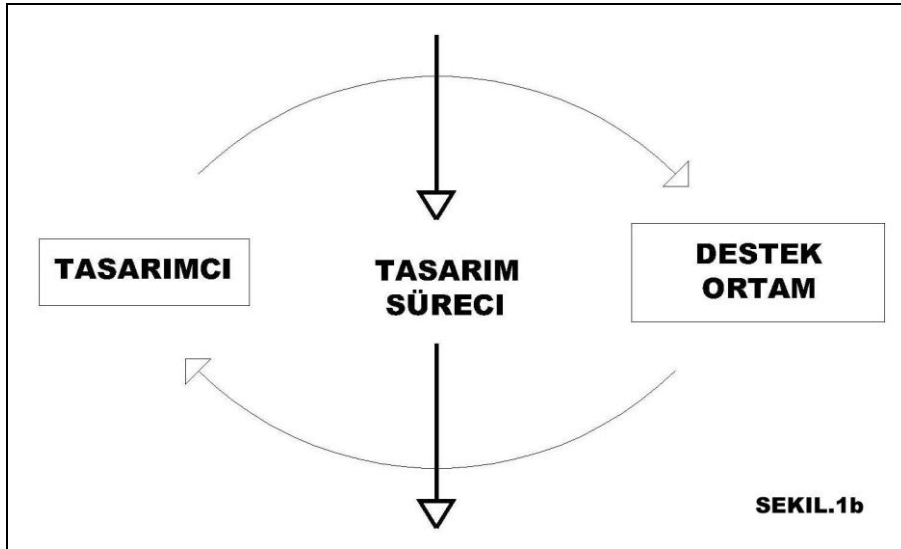
2.4. Mimari Tasarımda Performans Simülasyonu

Mimari tasarım süreci içinde simülasyon programlarının kullanımına yönelik olarak Clarke [38], iki farklı yaklaşımdan söz etmektedir. Birincisi, tasarımcının belirli bir konudaki performans değerlendirmesini (örneğin farklı pencere boyutlarının etkisi), uygun bir program yardımıyla analiz edip, sonuçları tasarımda uygun değişikliklere dönüştürerek yürütmesidir. Bu aslında tasarım sürecinden simülasyon programlarının ayrıştırılması demektir ve burada tasarımcı sürekli olarak veri modelleri arasında (CAD ve performans simülasyonları verileri) çeviri gerçekleştirmek zorundadır (Şekil 2.6a). Daha doğru bir yaklaşım ise, “bilgisayar destekli tasarım ortamı” yaklaşımıdır. Burada, tasarım süreci içinde, tasarımla ilgili alınan kararlar doğrudan destek ortam içinde değerlendirilerek, performansla yönelik tüm bilgiler geri besleme yoluyla tasarımcıya anında ulaşmaktadır (Şekil 2.6b).

Burada üzerinde durulması gereken en önemli konu, simülasyonların tasarımcılara uzmanlıklarını daha etkin kullanma, genişletme ve iyileştirme olanağı sunduğu ve tasarımcılar için sadece fikirlerin test edilmesinde değil, aynı zamanda yeni fikirlerin geliştirilmesi ve sunulmasında da önemli olduğu gerçeği yanında; her mimarın aynı zamanda simülasyon uzmanı olması zorunluluğudur. Bina performans simülasyon programlarının, çoğunlukla tesisat mühendislerince ve tasarımın geri dönüşü daha zor olan ileri aşamalarında, sadece durum belirlemeye yönelik kullanıldığına farkına varılması ve asıl önemli kazançların tasarımın ilk aşamalarında mimarlarca ve mimari bileşen seçimindeki dikkate dayalı elde edilebildiğinin görülmesi ile son birkaç yıldır mimari tasarıma performans simülasyonlarının entegrasyonuna yönelik çalışmalara hız verilmiştir.



(a)



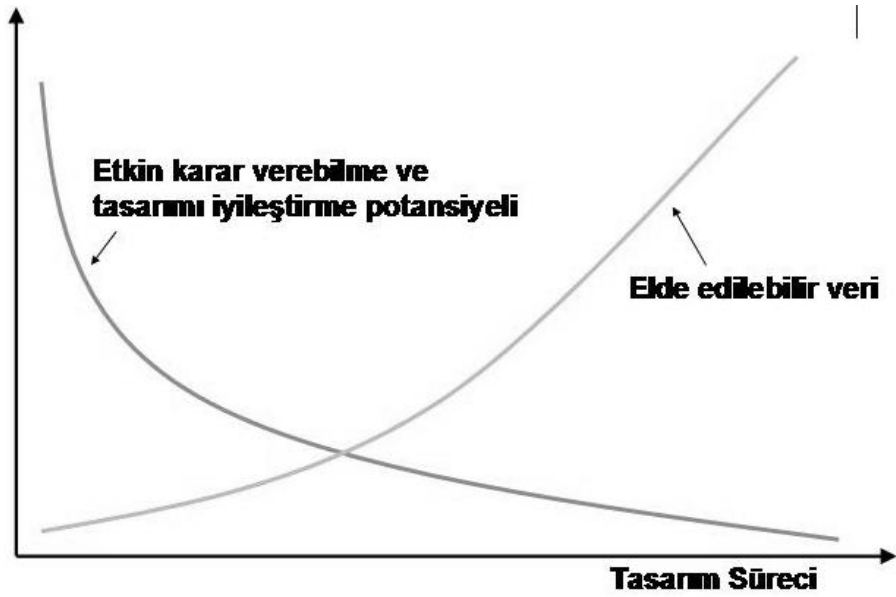
(b)

Şekil 2.6. Mimari tasarım süreci içinde simülasyon programlarının kullanımına yönelik iki farklı yaklaşım a) Çeviriye dayalı yaklaşım b) "Bilgisayar destekli tasarım ortamı" yaklaşımı [38].

Augenbroe [34] bu çalışmaları, programların işlerliğiyle ilgilenen "program merkezli (tool-related)" ve tasarım sürecine programların entegrasyonu ile ilgilenen "süreç merkezli (process-related)" olmak üzere iki grupta toplamaktadır. Simülasyon programlarının evriminin, tasarımın erken evrelerinde, sonraki süreçleri doğrudan etkileyen kararların alınmasında yardımcı olmak üzere kullanılacak "tasarım kararı destek sistemi (design decision support systems)" yönünde olduğu düşünüldüğünde, "süreç merkezli"

entegrasyonun tasarım ekibindeki tüm uzmanlık alanları kararlarına yardımcı olabileceği düşünülebilir. Ancak burada Augenbroe'nun [34] da üzerinde önemli durduğu konu, “tasarımcı dostu programlar (designer-friendly tools)” ile “tasarıma entegre programlar (design-integrated tools)” arasındaki ayrımın doğru yapılabilmesidir. Tasarımcı dostu programlar uzmanlık gerektiren bir programı az bilgi ile rahat kullanılabilir hale getirirken, uzmanlık gerekliliğini ortadan kaldırmakla birlikte, uzmanlık bilgisini (domain-knowledge) oldukça basite indirgemektedir. Bu noktada program sadece bir “kara kutu”dan ibaret kalmakta ve uygulamanın sınırlılıklarını net olarak anlaşılabilmesini engellemektedir. Aslında tasarımcı dostu programlar ile tasarıma entegre programlar arasındaki temel fark özetlenecek olursa; birincisinde uzmanlık bilgisinin azaltılması ve özüne erişilemeyen tabletler haline getirilmesi söz konusu iken, ikincisinde ise tasarım bağlamı zenginleştirilmekte ve etkinleştirilmektedir.

Tasarımcı dostu programlar gerilerken, tasarıma entegre programların gelişimi devam etmektedir. Programların, özellikle tasarımın erken evrelerinde tasarım kararlarına destek bir sistem olarak devreye girebilmesi yönünde yapılan çalışmalarda, eldeki veri yetersizliğine karşı, tasarımı iyileştirebilme potansiyelinin yüksek oluşunun göz önünde bulundurulması şarttır [33] (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Tasarım süreci boyunca simülasyon programlarının tasarımı iyileştirme potansiyeli ile elde edilebilir veri arasındaki şematik ilişki [33]

Bina performans simülasyonu adım adım ilerleyen ve geri dönüşlerle beslenen bir süreçtir. Problemin analizi ile başlayıp, sonuçların tasarım sentezine dönüştürüldüğü bu süreç, aşağıda sıralanan adımlardan biri veya bir kaçını içermektedir [23]:

- Problemin veya tasarım gereklerinin analizi,
- Modelden beklentiyle örtüşecek uygun simülasyon yazılımının seçilmesi,
- Binanın ve sistemlerinin gerçeğe uygun, ilgili elemanlarına ve niteliklerine dayalı modelleme gerçekleştirilmesi,
- Modelin yazılım gereklerine uydurulması (modelin kalibrasyonu),
- İlgili koşulların (iç ortam konfor koşulları, iklim verisi, vb.) düzenlenerek simülasyonun gerçekleştirilmesi,
- Bir çok değişken (enerji gerekliliği, maksimum yük, konfor parametreleri, emisyonlar, vb.) yardımıyla simülasyon sonuçlarının analizi,
- Sonuçların ilgili tasarım bilgisine dönüştürülmesi.

Çoğunlukla tasarımı tamamlanmış ya da tamamlanmak üzere olan bir bina için geçerli sayılabilecek bu işleyiş sürecini, tasarımın erken evrelerine uyarlamak söz konusu olduğunda karşılaşılabilecek güçlükler aşağıda sıralanmaktadır [33] (Şekil 2.8).

1. *Problemin analizi*: Bu ilk adımda, tasarımın erken evrelerinde henüz pek çok bilgi netleşmediği için, belirsiz pek çok tanımla uğraşmak ve “varsayım” zorunlu hale gelmektedir.

2. *Yazılım seçimi*: Henüz tasarımın başında bilgi eksikliği çok olduğu için, bilinçsizce yapılan seçimler, yanlış yönlendirmelere ve başarısız sonuçlara neden olabilir. Bu aşamada uzman gerekliliği şarttır.

3. *Modelleme*: Tasarımın erken evrelerinde yeterli detay bilgiye sahip olunmaması nedeni ile basit bir model kurgulanması yeterli olacaktır. Ancak bu, modelden beklenen, gerçeğe uygun boyut, biçim ve yüzey özellikleri gibi değerlendirmede önemli parametreleri göz ardı edecek kadar basitleştirilmiş olamaz.

4. *Simülasyon*: Tasarımın erken evrelerinde henüz elde edilmemiş veriler nedeniyle eksik kalan bilgilerin (örneğin HVAC sistem bileşenleri ve işletimi) simülasyonun çalıştırılabilmesi için kabul edilmesi aşamasında, “akıllı kabuller”in devreye girmesi ve kullanıcının programın kabullerine güveniyor olması gereklidir.

5. *Sonuçların analizi*: Elde edilen sonuçlar ile tasarımın erken evrelerindeki değerlendirmeden beklentilerin çakışabiliyor olması şarttır. Bu beklentinin baştan belirlenmiş olması, karşılaşılabilecek pek çok sorunu önceden çözecektir.

6. *Tasarım bilgisine dönüştürme*: Elde edilen sonuç, tasarımın erken evrelerinde, sürecin sonraki adımlarında yönlendirici nitelik barındırmalıdır.

Simülasyon sonuçlarının, optimizasyon ve alternatif çözümleri içermesi, tasarım kararlarını yönlendirmede önemli rol oynar.



Şekil 2.8. Simülasyon programlarının tasarım sürecinin erken evrelerine entegrasyonda karşılaşılabilecek sorunlar [33].

Bu karmaşık yapılanma içinde tasarım süreci alt evrelerinde simülasyon programlarından nasıl yararlanabileceğine ilişkin Morbitzer'in [22] yorumu aşağıda sıralanmaktadır:

- **Ön Proje Çalışmaları:** Bu aşamada simülasyon, hangi tasarım kararları ile bina performansının nasıl etkileneceğinin anlaşılmasına yönelik kullanılabilir. Farklı bina geometrilerinin uygulanması sonucunda ortaya çıkan performansların karşılaştırılması ya da belirli bir geometriye dayalı farklı tasarımlar arası performans karşılaştırması için simülasyondan yararlanılabilmektedir.
- **Kesin Proje Çalışmaları:** Bu aşamada, tasarımcı, binanın enerji ve çevresel etkiler bağlamında performansını nasıl iyileştirebileceğine yönelik bilgi edinebildiği veya önceden tanımlanmış problem alanlarını

inceleyebilmelidir. Bu aşamada gerçekleştirilecek simülasyonlar çoğunlukla binanın belirli bir bölümüne veya özel problem alanlarına yönelik gerçekleştirilmelidir. Burada bu problem alanına yönelik bir dizi simülasyon ile elde edilen sonuçlardan en optimumunun seçilmesi önem kazanmaktadır.

- *Uygulama Proje Çalışmaları:* Bu aşamada bina pasif sistemlerinin etkinliği ve aktif sisteminin sorgulanması söz konusudur. Tüm tasarım parametrelerinin değerlendirilmesi sonucunda tasarımcı, simülasyon modellerinde veya tasarım sürecinin ilk iki aşamasında gelişen önemli belirsizlikleri giderecek detaylı çalışmayı gerçekleştirmelidir. Bu veri doğrulama, gelişmiş simülasyon çalışmaları için örneğin “doğal havalandırmanın tasarımı mı, yoksa iklimlendirme sistemi tasarımı mı” kararını verebilmek için gereklidir.

2.5. Performans Simülasyonuna Dayalı Parametrik Değerlendirme

Bilgisayar simülasyonunda geçerlilik ve doğrulama son derece önemlidir. Ama doğru olmayan sonuçlar, her zaman program hataları nedeniyle gerçekleşmez. Bina simülasyonu geçerliliği ile ilişkili bir raporda [39], yedi temel hatadan söz edilmektedir;

1. Bina çevresindeki gerçek iklimsel koşullar ile simülasyonda varsayılan koşullar arasındaki farklar;
2. Bina kullanıcıları davranışlarının gerçek etkisi ile program kullanıcılarının varsayımı arasındaki farklar,
3. Bina girdi bilgilerini oluştururken program kullanıcıları hataları,
4. Binanın gerçek ısı ve fiziksel özellikleri ile program kullanıcıları tarafından varsayılanlar arasındaki farklar,
5. Gerçek ısı ve kütle transferi mekanizması ile program içinde bu mekanizmayı ifade eden algoritma arasındaki farklar,
6. Isı ve kütle transfer mekanizmasının gerçek etkileşimleri ile bunların program içindeki ifadeleri arasındaki farklar,

7. Kodlama (yazılım) hataları.

Bu hatalardan ilk dördü, hesaplama yönteminin iç işleyişinden bağımsız olduğu için “dışsal hata” olarak tanımlanmaktadır. Genellikle dışsal hatalar, program geliştiricilerinin kontrolü altında değildir; bu nedenle çoğunlukla program değerlendirmelerinde, içsel hata olarak adlandırılan son üç hatanın geçerlilik ve doğrulama sorgusu yapılmaktadır. Ancak, kullanıcının güvenini kazanmak ve cesaretlendirmek adına, dışsal hataların üzerinde de durulması ve çalışmalarda göz önünde bulundurulması gerektiği belirtilmektedir [40].

Bu nedenle bu çalışma kapsamında değerlendirme, dışsal hataların hassasiyetinin ölçülmesini içermektedir. Kullanıcının varsaydığı bilginin değişkenliğinin, performanstaki hassasiyete yansımaları değerlendirilmektedir.

2.5.1. Hassasiyet analizine dayalı yöntem

En genel tanımı ile hassasiyet analizi, bir modelin çıktısındaki değişimin nasıl paylaşıldığı üzerine yapılan çalışmaları kapsar. Hassasiyet analizinde, araştırılmak istenen süreci karakterize edecek bir dizi eşitlik, girdi faktörü, parametre ve değişken tanımlanarak bir matematik model kurgulanmaktadır. Girdi, genellikle ölçüm hataları, bilgi eksikliği, etken mekanizmaların eksik ya da yanlış anlaşılması gibi pek çok belirsizlik kaynağı ile karşı karşıyadır. Bu belirsizlik, modelin tepkisinin ya da çıktısının güvenilirliğine sınır getirmektedir.

Hassasiyet analizini (sensitivity analysis) belirsizlik analizi (uncertainty analysis) olarak da tanımlamak mümkün gibi görünse de, aslında belirsizlik analizinde esas olan, analiz girdilerindeki belirsizlikten türeyen sonuçlardaki belirsizliğin tespit edilmesidir. Hassasiyet analizinde ise, tekil belirsiz analiz girdilerinin sonuçlarındaki belirsizlik üzerindeki etkisinin (katkısının) tespit edilmesidir [41].

Avrupa Komisyonu çalışma raporu olan genişletilmiş etki değerlendirmesi el kitabında (2002) hassasiyet analizi, “iyi bir hassasiyet analizi, anahtar parametreler ve bunların etkileşiminin olası tüm değer aralıklarını analiz edebilmeli, anahtar parametrelerdeki değişimin tepkideki değişimi nasıl etkilediğini değerlendirebilmelidir.” diye tanımlanmaktadır.

Hassasiyet analizini gerçekleştirebilmek için birkaç uygulama vardır. Bunlardan en yaygın olanı, örneklem tabanlıdır (sampling based). Rastgele örneklem (Random sampling), önem örneklem (importance sampling) ve Latin hypercube örneklem gibi çeşitli örneklem stratejileri vardır. Genel olarak örnekleme dayalı hassasiyet analizinde model, girdi faktörlerinin dağılımına dayalı örneklenen değerlerin kombinasyonu ile tekrar ederek yürütülmektedir. Diğer yöntemlerde ise modelden bağımsız olarak, model çıktısının değişen ayrışmasına dayalıdır. Literatürde hassasiyet analizinin bina ısıt modellerine uygulanmasına yönelik çeşitli örnekler bulunabilir [42-47].

Avrupa Komisyonu Joint Research Center (JRC) hassasiyet analizi yöntemlerinin ideal özelliklerini şöyle sıralamaktadır [48];

1. *Girdi*: Girdinin etkisi, girdi değişim aralığının etkisini ve onun olasılık yoğunluk fonksiyonunun (probability density function) biçimini birleştirebilmelidir.
2. *Girdi faktörlerinin değişimi*: Bir faktörün etkisi değerlendirilirken diğerlerinin değişime uğramasına izin vermelidir.
3. *Modelin bağımsızlığı*: Sadece lineer bir model değil, non-lineer bir model için de hassasiyet analizi gerçekleştirebilmek için model bağımsız kılınmalıdır. Buradaki sorun, özellikle iki faktörün ayrı ayrı tekil etkilerinin toplamından, bir arada değişimlerinin farklı bir sonuç doğurmasıyla belirginleşmektedir.
4. *Faktör gruplaması*: Sonuçların yorumlanabilmesini kolaylaştırabilmek için tekil faktörlere bile gruplanmış faktörler olarak davranabilmesi gerekir. Kimse hassasiyet sonuçlarını yoğun tablolar içinden anlamaya çalışmak istemez.

Bu özelliklerin hangi analiz yöntemi ile sağlanabildiği Çizelge 2.4.'de verilmektedir.

Çizelge 2.4.Hassasiyet analizi yöntemlerinin karşılaştırılması [48]

	1. Girdi	2. Girdi faktörlerinin değişimi	3. Modelin bağımsızlığı	4. Faktör gruplaması
Kısıtlı yöntemler	H	H	H	E
Monte-Carlo yöntemi (örnekleme dayalı)	E	E	E	H
Görüntüleme yöntemleri	E/H	E	E	E
Değişkene dayalı yöntemler	E	E	E	E
E: Evet				H: Hayır

2.5.2. Hassasiyet katsayısı

Hassasiyet genel bir tanımlamadır. Eğer bir A parametresi, bir başka B parametresinde bir değişime neden oluyorsa ve her ikisi de ölçülebiliyorsa, A'ya göre B'nin hassasiyeti belirlenebilir. Basit olarak, hassasiyet analizinin amacı, girdideki değişimlere bağlı olarak, çıktıdaki nicel değişimleri karşılaştırmaktır.

Hassasiyetin ölçümü için, matematikte genellikle hassasiyet katsayısı kullanılmaktadır. Ekonomi alanında ise, esneklik kavramı, hassasiyet ölçümü için uygulanmaktadır. Isıl sistemler ve bina performans simülasyonu için, etki katsayısı (EK) (influence coefficient-IC) kullanılmakta ve aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır [44]:

$$EK (IC) = \frac{\text{Çıktıdaki değişim}}{\text{Girdideki değişim}} = \frac{\partial \text{çıktı}}{\partial \text{girdi}} \cong \frac{\Delta \text{çıktı}}{\Delta \text{girdi}} \quad (2.1)$$

Bir başka deyişle

$$EK (IC) = \frac{\Delta \text{ Sonuçlar}}{\Delta \text{ Parametreler}} \quad (2.2)$$

İlgili parametre taban modelden türetilerek değiştirilmekte ve sonuçtaki değişim, parametredeki değişime bölünerek sonuç elde edilmektedir.

Bu yöntemin simülasyona uygulanmasında izlenen yol Spitler [42] tarafından aşağıdaki şekilde özetlenmektedir;

- Taban modelin simülasyonu,
- İlgili parametrelerin belirlenmesi ve referans değerlerinin elde edilmesi,
- İlgili parametrenin uygun düzeyde değiştirilmesiyle girdinin farklılaştırılması, (Parametredeki değişim aralığı, sonuçta önemli değişiklikler oluşturabilecek kadar geniş olmalıdır.)
- Etki katsayısı belirlemeye yönelik olarak sonuçtaki değişimin parametredeki değişime bölünmesi.

Etki katsayısı, eğer parametre sadece bir kez değiştirilecek ise, aşağıdaki formül bağlamında çözülebilir.

$$EK (IC) = \frac{Ç_1 - Ç_2}{G_1 - G_2} \quad (2.3)$$

Burada $Ç_1$ ve $Ç_2$ çıktı değişkenleri, G_1 ve G_2 girdi değişkenlerini göstermektedir. Ancak birden çok parametrenin girdi değişkeni olarak kabul edildiği ve değerlendirmeye alındığı durumda, etki katsayısı, regresyon doğrusunun eğimi ile belirlenir. Eğer girdi ve çıktı parametreleri arasındaki ilişki doğrusal değil ise, burada hassasiyetin her noktada değişkenlik gösterdiği bilinmelidir.

Regresyon analizi, bir değişkenin bağımsız kılınması ve diğer değişkenin buna bağımlı değişim çizgisinin belirlenmesidir. Sonuçta ortaya çıkan, iki değişken arasındaki ilişkiyi tanımlayan bir eşitliktir. Bağımsız değişken (x) ile bağımlı değişken (y)'nin regresyon analizi sonucu ortaya çıkan eşitliğinde, “b” eğimi, “a” ise doğrunun y-aksını kestiği noktayı göstermektedir.

$$y = bx + a \quad (2.4)$$

Regresyon analizi sonucu elde edilen R^2 değeri, regresyon eğrisinin x ile y arasındaki ilişkiye ne kadar uyduğunu göstermektedir. R^2 değeri, 1.00 ya da 1.00'e çok yakın değerler aldığı anda, x ile y arasındaki ilişkinin regresyon eğrisine tam olarak oturtulabildiği sonucuna varılmaktadır. Değer sıfıra doğru yaklaştıkça, ilişki belirsizleşmekte ve daha fazla analiz ile değerlendirme yapmak gerekmektedir.

2.5.3. Kısıtlı hassasiyet analizi ve kapsamlı hassasiyet analizi

Bu çalışma kapsamında hassasiyet analizi ile iklim ve bölgesel bağlamdaki diğer faktörlerin bina performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek üzere kullanılmaktadır. Enerji simülasyon modellerinde hassasiyet değerlendirmesi için genellikle bir dizi parametre ve bunların değerleri belirlenmekte ve modele eklenmektedir. Girdi değerlerindeki farklılığa bağlı olarak çıktıdaki değişimin hangi boyutta gerçekleştiğini görmek için simüle edilmiş model, enerji tüketimi karşılaştırma tabanı olarak kullanılmaktadır. Buradan elde edilen sonuca bağlı olarak “hassas” parametrelerin belirlenmesi söz konusudur. “Hassas parametreler”, girdi olan değeri değiştikçe, çıktıda etkin değişime neden olan parametreler olarak tanımlanabilir. Girdi değerleri değişse bile, çıktıda önemli değişime neden olmayan parametreler ise, “dirençli (robust) parametreler” olarak tanımlanmaktadır.

Hamby [49], Saltelli [50], Heiselberg [51], Hansen [52] tarafından yapılan çalışmalarda belirtildiği gibi hassasiyet analizi çok farklı şekillerde

sınıflandırılmaktadır (Çizelge 2.5). Ancak hassasiyet analizinin literatürde en yaygın sınıflandırılma biçimi “kısıtlı (local)” ve “kapsamlı (global)” hassasiyet analizidir [50, 52]. Bu çalışma çerçevesinde, Çizelge 2.4.’de yer alan örnekleme dayalı yöntem olan Monte-Carlo yöntemi “kapsamlı” hassasiyet analizi olarak kabul edilmiştir. İki analiz yönteminin karşılaştırması Çizelge 2.5.’de verilmektedir.

Çizelge 2.5. Kısıtlı hassasiyet analizi ile kapsamlı hassasiyet analizi karşılaştırması

Kısıtlı Hassasiyet Analizi	Kapsamlı Hassasiyet Analizi
* Her defasında bir değişim * Daha basit * Hassasiyet derecelendirmesi bağımlı * Parametreler bağımsız kabul edilir	* Rastgele örneklem seçimi * Çeşitli düzeyde karmaşık * Hassasiyet analizi daha bağımsız ancak, girdi verisi çeşitlenmediği sürece yine bağımlı * Parametreler arasındaki olası korelasyonlara ait bilgi de verir

Bu çalışma kapsamında yöntem olarak, belirlenen parametrelerin ısıtma enerjisi tüketimi ve soğutma enerjisi tüketimi üzerindeki etkileri önce kısıtlı hassasiyet analizi (OAT approach²) ile değerlendirilmekte ve bu analiz ile elde edilen sonuçlara göre, parametreler ve değerleri elenerek, bir sonraki adımda kapsamlı hassasiyet analizi için kullanılmaktadır. Kapsamlı hassasiyet analizi sonucu elde edilen bilgilerden yola çıkarak, “dirençli” parametreler yardımıyla farklı iklim ve arsa koşullarına daha kolay uyumlandırılabilen bir tasarım modülü elde etmek amaçlanmaktadır. Çalışmanın akışını yönlendiren basamaklar aşağıda sıralanmaktadır:

² OAT (One At a Time) approach: Her defasında bir parametrenin bir değerinin değiştirilmesi ve diğer tüm değerlerin sabit bırakılmasına dayalı yaklaşım.

Kısıtlı hassasiyet analizi

- Taban modelin tanımı, kalibrasyonu ve simülasyonu
- Göz önünde bulundurulacak parametrelerin belirlenmesi
- Belirlenen parametrelerin taban değerlerinin tanımlanması
- Seçilen parametrelerin her defasında bir değer olmak üzere taban değerlere göre değiştirilmesi. Burada önemli olan değer aralığının sonuçta önemli bir değişiklik yaratacak kadar geniş tutulmasına dikkat edilmesidir.
- Simülasyon sonuçlarındaki değişimin ilgili çıktıdaki etkisinin analizi

Kapsamlı hassasiyet analizi

- Kısıtlı hassasiyet analizi ile elde edilen sonuçlardan yola çıkarak parametreler ve değerleri bazında öncelik sıralamasının gerçekleştirilmesi
- Seçilen parametre ve değerleri bağlamında Latin hypercube örnekleme dayalı örneklem listesinin belirlenmesi ve simülasyonu
- Simülasyon sonuçlarının Monte Carlo yöntemine dayalı kapsamlı hassasiyet analizinin gerçekleştirilmesi
- Elde edilen sonuçlara göre “hassas” ve “direnci” parametrelerin sınıflandırılması
- Direnci parametreler yardımıyla örnek şemalar tasarlanması ve her bir şemanın farklı iklim bölgeleri özelinde etkinliğinin sınanması.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Çalışmanın Amacı

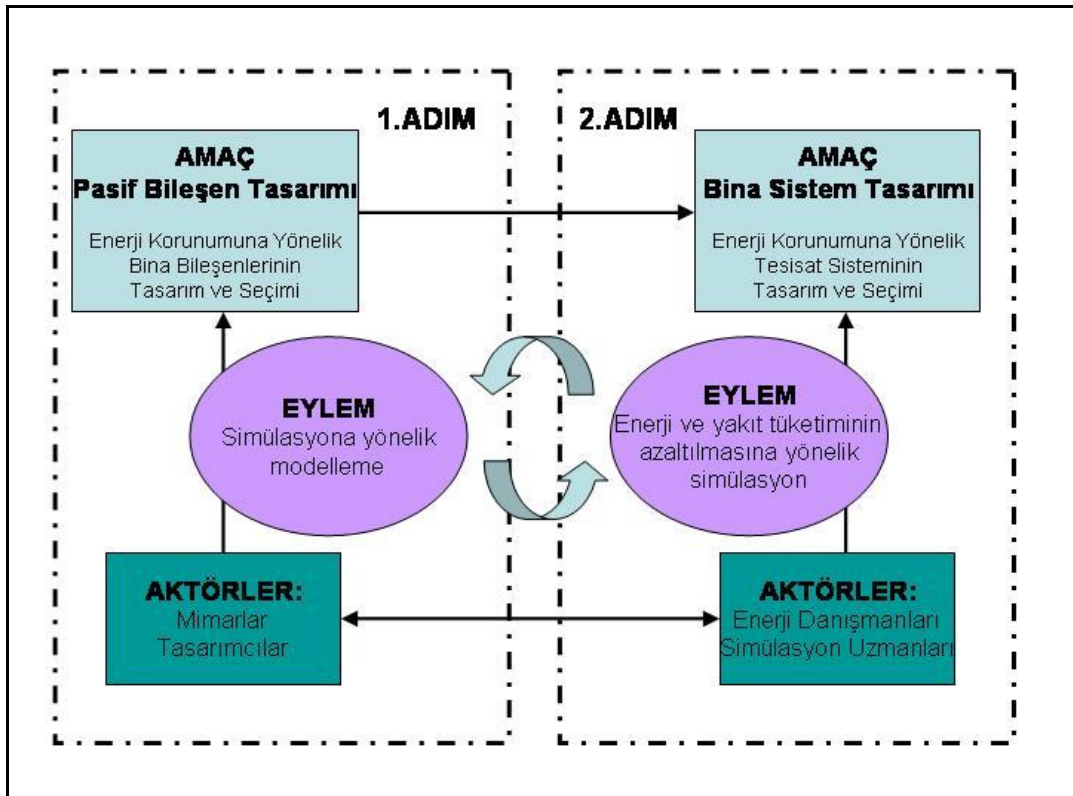
Performansa dayalı tasarımda, özellikle tasarımın erken evreleri için gerekli olan kararların alınmasında etkili olabilecek parametrelerin belirlenmesi, tasarımcının kararlarını kolaylaştırmada önemli rol oynamaktadır. Performans değerlendirmesi için bina performans simülasyonunu sadece binanın performans kanıtlayıcısı olarak kullanmakla sınırlamak, daha etkili olan erken evrelerdeki tasarım desteği şansının değerlendirilememesine neden olacağı düşünülmektedir. Bu noktadan hareketle çalışmanın amacını üç ana başlık altında toplamak mümkündür.

1. Tasarımcılara *performansa dayalı değerlendirmenin* önemini göstermek,
2. Tasarım değerlendirmede *karar destek sistemlerinden yararlanmanın* artılarını sunmak,
3. *İklimsel farklılıkların* tasarım kararlarındaki etkinliğini ve önemini göstermek,

3.1.1. Performansa dayalı değerlendirme

Mimari tasarımın disiplinler arası bir ekip çalışması ile gerçekleştirilmesi halinde elde edilecek sonuç performansın çok daha başarılı olacağı bugün bu alandaki tüm çalışmaların ortak kabulünü oluşturmaktadır. Tasarım sürecinin ön proje aşamasındaki hedefinde “*iklim verilerinin değerlendirilmesi, iklim özelliklerine göre alınan önlemlerin saptanması, çevre yapıların ve doğa özelliklerinin belirlenmesi ve alınan önlemlerin tasara yansıtılması, yapıda genel olarak kullanılacak malzemelerin belirlenmesi*” olduğu belirtilmişti. Bu noktada önceliğin enerji tüketiminin ve çevresel etkinin en aza indirilebilmesine yönelik sistem ve malzeme seçimi olduğu söylenebilir. Bir başka deyişle ön proje aşamasında birincil performans hedefi enerji tüketimidir.

Söz konusu olan binaların enerji performansları olduğunda, enerji korunumuna yönelik olarak, tasarım ekibinin iş bölümünü de belirleyen iki temel adımdan söz edilebilir. Bunlardan birincisi, “pasif bileşen tasarımı”, ikincisi ise, “bina sistem tasarımı”dır. Pasif bileşen tasarımı, daha çok mimarın kararları ile şekillenmekte ve performans iyileştirmeye yönelik olarak bina bileşenlerinin seçimi ve tasarımını içermektedir. Hedefi, pasif bileşenlerin etkinliğinin değerlendirileceği bir bina modelini simülasyona hazır hale getirmektir. İkinci adımda ise, bina tesisat sisteminin seçimi ve tasarlanmasını içeren bina sistem tasarımı gelmektedir. Enerji danışmanları ve simülasyon uzmanlarının devreye girdiği bu aşamada enerji ve yakıt tüketiminin azaltılmasına yönelik alınacak önlemler için simülasyon gerçekleştirilmektedir. Bu iki adım bir döngü ile birbirlerine geri besleme sağlayabilmelidir. (Şekil 3.1)



Şekil 3.1. Enerji korunumunda iki temel adım

Birinci adım sonunda elde edilenler,

- Enerji korunumuna yönelik bina bileşenlerinin tasarım kararları,
- PV, biyoyakıt, rüzgar türbini gibi destek sistemlerin tasarım kararları,
- Mekanların ısıtma ve soğutma yükleri, olarak sıralanabilir.

Mimari tasarım değerlendirilirken, özellikle birinci adımda alınan önlemler önem kazanmakta ve bu tezin konusunu kapsamaktadır. Bu çalışma ile, pasif bileşen tasarımına ait veriler değerlendirilerek, tasarım alternatifleri oluşturulmasına yönelik kararlarda ve bunların tasarım bileşenlerinin neler olacağının belirlenmesinde hangi parametrelerin öncelikli önem taşıdığı tartışılacaktır. Her tasarım kendine özgüdür ve bu nedenle kendi özelinde öne çıkan parametreleri vardır. Bu parametrelerin, her tasarımda hem içerikleri hem değerleri değişmekle birlikte, burada her tasarımda az veya çok yer alan ve bina performansını önemli oranlarda etkileyeceği düşünülen parametreler grubu dikkate alınmıştır. Burada hedeflenen, tasarım sürecinin başından itibaren çeşitli aşamalarda alternatifleri içinden seçim yapılmasını gerektiren bir dizi parametrenin, binanın sonuç performansına olan etkisinin hassasiyet analizi ile belirlenebilmesine yönelik bir yöntem önerisi geliştirmektir.

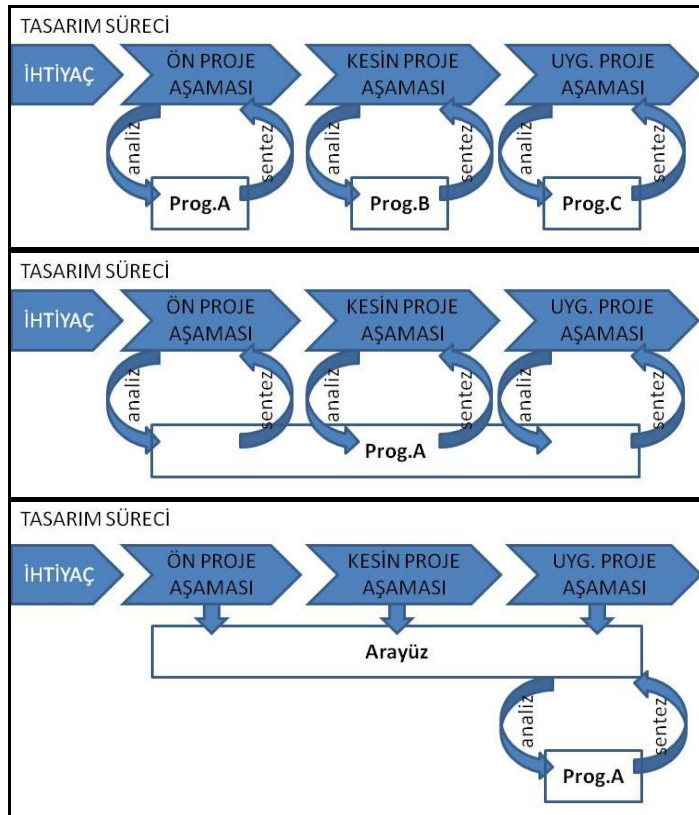
Bu çalışma kapsamında ele alınacak parametreler;

- Yönlenme
- Mekan boyutları
- Kabuk bileşenlerinin temel gereklilikleri (opak ve şeffaf yüzey bileşenleri)
- Isı depolama kapasitesi
- İç metabolizmik kazançlar (kullanıcı yoğunluğu)
- Hava değişim oranı, olarak genellenebilir.

3.1.2. Karar destek sistemlerinden yararlanma

Tasarım alternatifleri içinden seçim yaparken özellikle bina performans simülasyonlarının katkısının ve tasarım sürecine entegrasyon olasılıklarının tartışılması hedeflenmektedir. Literatüre bakıldığında entegrasyona yönelik öneriler genellikle tasarım süreci detay düzeyi ile performans simülasyonlarının detay düzeyi eşlenerek belirlenmektedir [22] Bir başka deyişle, basit bir simülasyon programını tasarımın ilk evrelerinde, detaylı programları ise tasarım daha detaylı ve karmaşık hale geldiğinde kullanmak gerektiği genel kanı olarak belirlenmiştir.

Tasarım aşamaları boyunca simülasyonun analiz-sentez sürecine katkısına yönelik çeşitli teorik yaklaşımlar geliştirmek mümkündür (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Tasarım aşamaları boyunca simülasyonun analiz-sentez sürecine katkısı

Ancak, tasarımın henüz başında, tasarıma ait elde çok az bilgi varken, bir sonraki adımı atabilmek için verilecek kararın değerlendirmesinde o aşama için uygun görülen basit bir analiz programı değil, çok daha detaylı bir programa gerek duyulabilir. Örneğin, henüz bina geometrisi tasarlanırken, çevre binalarla etkileşimde ya da binanın kendi biçimi nedeniyle gerçekleşecek hava hareketlerinin analizi için, oldukça detaylı bir uygulama olan CFD analizi gerekebilir. IBPSA (Uluslararası Bina Performans Simülasyonu Birliği) simülasyon programlarının gerekliliğini ve işleyiş sürecini anlattığı çalışmasında [19], simülasyonun gerçek değerinin, ancak uygun simülasyon programının, tasarım özelindeki gereksinime yönelik uygulanmasıyla anlaşılabilirliğini belirtmektedir.

Bu nedenle, simülasyon programlarının tasarım sürecine doğrudan katkısı ancak kesin proje aşaması sonrası mümkün olmaktadır. Ön proje aşaması için performansa dair gereken bilginin tasarım kılavuzları yardımıyla sağlanması gerektiği düşünülmektedir. Böylece tasarımcıların, simülasyon programlarını süreç içinde doğru kullanabilmek için, aynı zamanda simülasyon uzmanı olma zorunlulukları da ortadan kalmış olacaktır. Bölüm 2’de ele alınan enerji ve çevresel tasarım destek sistemleri içerisinde tasarım kılavuzu dışında kalanlar, doğru sonuç elde edebilmek için uzmanlık bilgisi gerektirmektedir. Uzman olmayan tasarımcının bu destek sistemleri dolaylı yoldan kullanabilmesinin bir yolu, bu sistemler yardımıyla oluşturulan tasarım kılavuzlarıdır. Böylece tasarım sürecinin başından itibaren performansa yönelik değerlendirme, belirli kalıplar çerçevesinde tasarımcıya hazır olarak sunulabilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, sunulan kılavuzun içeriğinin tasarım özgürlüğünü kısıtlayıcı nitelik barındırmamasıdır. Bu nedenle tasarım kılavuzu uzmanlar tarafından yeterli esneklikte hazırlanmalı, böylece tasarımların, kalıplaşmış sınırlandırmalardan uzak tutulması sağlanmalıdır.

3.1.3. İklimsel farklılıklara göre tasarım

Bu çalışma ile, iklime dayalı tasarımın bölgesel anlamda uygulanması bağlamında her tasarım parametresinin total performansı iyileştirecek değer aralıklarının belirlenmesi ve bölgelere bağılı olarak anlam ve ağırlığının anlaşılmasını hedeflemektedir. Bu çalışma ile, iklime dayalı tasarımın göz ardı edildiğı proje uygulamalarının, binaların enerji performansı üzerindeki olumsuz etkilerinin görülebilmesi de amaçlanmaktadır. Geliştirilen yöntem önerisi ile iklimsel farklılıklara bağılı belirlenen hassas parametreler ile bölgesel bazda tasarım özgünlüklerinin elde edilebilirliği tartışılmaktadır.

3.2. Çalışma İçin Seçilen Bina Tipi ve Özellikleri

Çalışma kapsamında, ilköğretim okul binaları örnek bina tipi olarak belirlenmiştir. Bu seçimin temelde iki önemli nedeni vardır. Bunlardan biri, ülkemizde okul binası projelerinin elde edilme şekli ile ilgilidir. Özel kişi ve kuruluşların yaptırdığı sınırlı sayıdaki özel okul projeleri dışında, devlet okullarının tamamına yakını “tip projeler” ile elde edilmektedir. Türkiye’deki toplam ilköğretim okul binalarının sayısına bakıldığında¹, %98’inin tip proje ile elde edildiğı görülmektedir. Tip projeler, iklim ve çevresel koşullardan bağımsız olarak “avan proje” ölçeğinde hazırlanmaktadır. Uygulama aşamasında ise proje, arsa koşullarına göre, zorunlu değişiklikler dışında (arsanın topoğrafik özelliklerine dayalı zorunluluklar, eğimli arazi veya düz arazi yerleşimi gibi) aynen uygulanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında değerlendirilmek üzere ilköğretim okul projelerinin ele alınmasının bir diğer nedeni ise, genelde kamu binalarının, özelde ise ilköğretim okul binalarının ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi ile aydınlatma, elektrikli aletler, vb. için tüketilen elektrik enerjisi toplamalarının, IEA’nın

¹ Milli Eğitim Bakanlığı’nın 2006-2007 öğretim yılı için hazırladığı istatistik raporunda, resmi ilköğretim kurumlarının sayısı 33 898, özel ilköğretim kurumlarının sayısı ise, 757 olarak verilmektedir.

(Uluslar arası Enerji Ajansı) Türkiye raporunda önerdiği 150 kWh/m^2 sınırını aştığının görülmektedir [53]. Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin 2001 yılında yapmış olduğu bir araştırmaya göre, okulların bölgeler bazında yakıt ve elektrik enerjisine dayalı enerji tüketimleri Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Derece gün bölgelerine göre okulların ortalama enerji tüketimleri [53]

Derece Bölgesi	Gün	Bina Sayısı	Yakıt tüketimi kWh/m^2	Elektrik tüketimi kWh/m^2	Toplam enerji tüketimi kWh/m^2
1. Bölge		441	154	30	184
2. Bölge		4226	193	46	239
3. Bölge		2967	236	27	263
4. Bölge		2517	262	22	284

Rapora göre, yeni yapılacak okullarda TS825 ısı yalıtım standardına uygunluk sağlandığında %40 oranında tasarruf potansiyeli öngörülmektedir. Bu çalışma ile, bu oranın geçerliliğinin sınanması yanı sıra, tasarım parametrelerinin doğru belirlenmesi sonucu tasarruf oranının ne kadar daha artırılabilirliğinin de görülebilmesi amaçlanmaktadır. İlköğretim okul binalarında enerji tasarrufunun sağlanabilmesinde sadece yalıtım standardının gereğinin yerine getirilmesinin yeterli olmayacağı düşünülmektedir. İklim ve arsa koşullarının (makroklima ve mikroklima verileri) göz önünde bulundurulduğu “yere uygun proje” tasarımının geliştirilmesi şarttır. Bu noktada, “tip proje” kavramının sakıncalarının da irdelenmesi hedeflenmektedir.

Bu çalışma kapsamında ele alınan ilköğretim okul yapıları, iç metabolizmik kazançları yüksek (çok sayıda kullanıcı, vb.) bina türleri arasında yer almaktadır. Bu nedenle yapının değerlendirmesi, güneşten ısı kazancının gereksinilen kadarını alabilecek ve çok dikkatli güneş kontrolü ile aşırı ısınma oluşmayacak ve yapay iklimlendirme zorunluluğu doğurmayacak şekilde tasarlanması prensibine dayalı yapılmaktadır.

İlköğretim binaları, yıllık işletim stratejisi, eğitim öğretim yılının başladığı eylül ayı ile eğitim öğretimin sona erdiği haziran ayı arasında tüm kullanıcılara açık olduğu bilgisine dayalı gerçekleştirilmektedir. Bu dönem dışında ise, öğrenci kursları, öğretmen seminerleri gibi sınırlı sayıda kullanıcıya hizmet edecek aktiviteler için işletilmektedir. Eğitim öğretim döneminde, hafta içi kullanıcıların binada bulunduğu zaman dilimi sabah saat 7:00 ile akşam saat 18:00 arasındadır. Genellikle okul binalarının ısıtma sistemleri işletimi, yıllık, haftalık ve günlük eğitim öğretim zaman dilimlerine göre ayarlanmaktadır. Çoğunlukla hafta sonu ısıtma sistemi işletilmemektedir.

İlköğretim binaları ihtiyaç programından yola çıkarak mekanları; öğretim mekanları, uygulama mekanları, yönetim birimleri, okul ve çevre ortak kullanım alanları, kafeterya, destek birimler ve varsa lojman ve yatakhane olarak gruplamak mümkündür. Bu mekan gruplarına dayalı olarak, enerji performansının etkinliği ve iç iklimsel konforun sağlanabilmesi açısından bu mekan gruplarında yer alacak eylem türlerinin gerektirdiği konfor koşulları yanı sıra hacim özelliklerine göre kullanıcılar, aydınlatma, ısı üreten aletler kanalı ile oluşan içsel ısı kazançlarının düzeyinin belirlenmesi önemlidir. İçsel kazançların düzeyi, tasarıma özgüdür ve ilköğretim okul binaları için öğrenci kapasitesine dayalı olarak içsel kazançların mekanlara göre belirlenmesi gerekir.

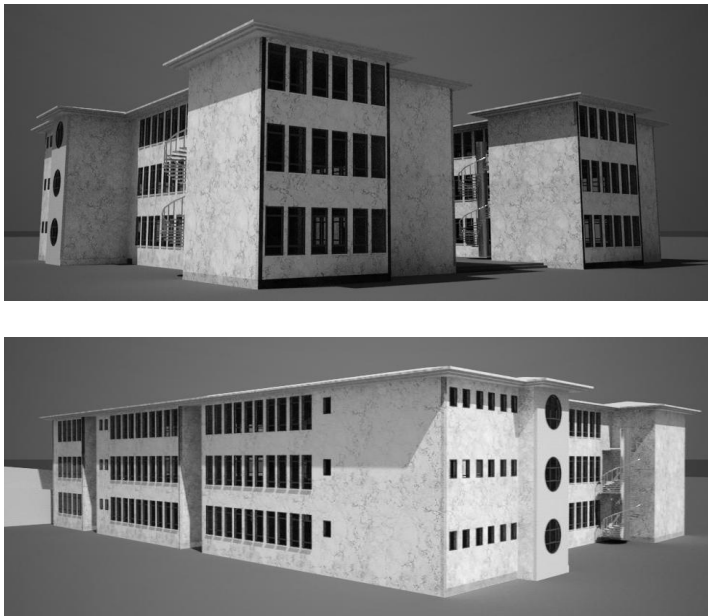
3.2.1. Mevcut okul binaları eleştirel değerlendirmesi

Milli Eğitim Bakanlığı için çeşitli üniversitelerce projelendirilen ve 1998-2001 yılları arasında uygulanmış olan 8 yıllık ilköğretim tip projeleri içinden, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi tarafından projelendirilen² 480

² Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Döner Sermaye İşletmesi tarafından projelendirilen İlköğretim okulu tip projeleri tasarım ekibi içinde Esen Onat, Hüsnü Can, Zeynep Onur, Hakan Sağlam, Göktürk Gültek, Selçuk Uysal, İlhan Kesmez, Şehnaz Rastgeldi, Merve Akansel, Gülsu Ulukavak yer almıştır.

öğrenci kapasiteli okul projesi, bu çalışma için eleştirel değerlendirme için seçilmiştir.

Proje 10 sınıf, 4 laboratuvar ve işlik, bir kütüphane ve spor salonundan oluşmaktadır. Bina zemin üstü 2 kat olup, sığınak, beden eğitimi salonu ve teknik hacimleri içeren bir bodrum katı vardır. Taban alanı 1062,6 metrekare, toplam 4250,4 metrekaredir (Resim 3.1).



Resim 3.1. İlköğretim okulu tip projesi üç boyutlu çizimleri.

Proje, Ankara, İstanbul, İzmir, Adana, Gaziantep, Erzincan, Erzurum, Antalya, Kastamonu vb. gibi iklimsel yapısı farklı pek çok ilde ve değişik zemin yapılarına sahip arsalar üzerinde uygulanmıştır. Uygulama projelerinde sadece TS825 ısı yalıtım standardı gereklerine uygun olacak şekilde kabuk katmanları malzeme ve kalınlıkları değiştirilmiş ve zemin eğimine uygun bodrum kat revizyonu yapılmıştır.

Buna göre, bu çalışma kapsamında, projenin Antalya'da Alanya Emişbeleni İlköğretim okulu olarak uygulanmış örneği ile, aynı projenin Erzurum'da Horasan Atatürk İlköğretim okulu olarak uygulanmış örneğinin mevcut durum

analizleri yapılmaktadır [54]. Okulların uygulama sonrasına ait fotoğrafları Resim 3.2’de yer almaktadır. Binaların arsadaki konumları ve binalara ilişkin anahtar özellikler Çizelge 3.2’de verilmektedir.



(a)



(b)

Resim 3.2. Mevcut okul binaları (a) Antalya Emişbeleni ilköğretim okulu, (b) Erzurum Horasan ilköğretim okulu

Çizelge 3.2. Binalara ilişkin arsa konumları ve karakteristik özellikleri

	Arsa Konumu (toplam ısıtılan alan 3750m ²)	% Alan Doğal havl.	% Alan Mekanik havl.	% Alan iklimlendirme ile soğutma	% Alan ek sistemle ısıtma
Erzurum Horasan i.ö.o.		86.7	3	-	2,7
Antalya Emişbeleni i.ö.o.		86,7	3	12.3	-

Mevcut okulların enerji tüketim performansı

Bu çalışma, mevcut binaların durumunun değerlendirmesini ve iyileştirme önerisini içermektedir. İyileştirmeye ilişkin öneriler sadece yenileme (renovasyon) aşamasına ilişkin ve bazı ısı ve fiziksel parametre değerlerin değişmesine dayalı gerçekleşmektedir. Dolayısıyla yenileme aşamasındaki olası değişikliklerin, tasarımın başında gerçekleştirilenlere oranla çok daha kısıtlı olacağı açıktır. Yenileme için, tüm parametrelerin olası en küçük değerlerinin tanımlanması ve sonuçlarının değerlendirilmesi düşünülmüştür. Parametreler ve değerleri Çizelge 3.3 de listelenmektedir.

Çizelge 3.3. Girdi parametreleri ve yenileme için önerilen yeni değerler

	Parametre	Mevcut değer	Renovasyon değeri(Ekstrem / minimum değer)
Erzurum Horasan İlköğretim okulu	Hava değişim oranı	1,0 ach	0,1 ach
	U-değeri (çatı)	0,32 W/m ² °C	0,22 W/m ² °C
	U-değeri (duvar)	0,44 W/m ² °C	0,25 W/m ² °C
	Tavan yüksekliği	3,4 m.	3,0 m.
	Mekan derinliği	7,2 m.	5,0 m.
Antalya Emişbeleni İlköğretim okulu	Hava değişim oranı	1,0 ach	0,1 ach
	U-değeri (çatı)	0,36 W/m ² °C	0,22 W/m ² °C
	U-değeri (duvar)	0,57 W/m ² °C	0,33 W/m ² °C
	Tavan yüksekliği	3,4 m.	3,0 m.
	Pencere-duvar oranı	53%	30%

Esp-r program yardımıyla simülasyonu gerçekleştirilen analize ilişkin adımlar aşağıda sıralanmaktadır:

- Tip projenin modellenmesi, kalibrasyonu ve simülasyonu
- Yenilemeye izin veren parametrelerin belirlenmesi
- Parametre değerlerinin belirlenmesi
- Seçilen parametrelere yeni değerlerin girilmesi
- Yeni değerlerin simülasyon sonuçlarına etkisinin değerlendirilmesi

Bu analiz hem Antalya hem de Erzurum'daki okul için ayrı ayrı uygulanmıştır. Sonuçlar Çizelge 3.4 de verilmektedir.

Çizelge 3.4. Antalya ve Erzurum'daki okulların ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerinin parametredeki değişime bağlı etkileri

Modeller	Isıtma enerjisi tüketimi (kWh)	Taban modele göre değişim oranı (%)	Soğutma enerjisi tüketimi (kWh)	Taban modele göre değişim oranı (%)	Toplam enerji tüketimi (kWh)	Taban modele göre değişim oranı (%)
Erz-taban	274221	-	60009	-	334230	-
Erz-ach	52560	80,8	162669	-171,0	215229	35,6
Erz-çatı	266637	2,7	62289	-3,7	328926	1,6
Erz-duvar	264320	3,6	62203	-3,6	326523	2,3
Erz-döşeme	240947	12,1	62870	-4,7	303817	9,1
Erz-zonderinliği	252814	7,8	62957	-4,9	315771	5,5
Erz-ach-çatı-duv-döş-zod	27461	89,9	191213	-218,6	218674	34,5
Ant-taban	17408	-	381631	-	399039	-
Ant-ach	4093	76,4	475976	-24,7	480069	-20,3
Ant-çatı	17037	2,1	383610	-0,5	400647	-0,4
Ant-döşeme	16133	7,3	366832	3,8	382965	4,0
Ant-duvar	14004	19,5	399576	-4,7	413580	-3,6
Ant-pencereoranı	18703	-7,4	344847	9,6	363550	8,9
Ant-ach-çatı-dös-duv-penör	2626	84,9	451255	-18,2	453881	-13,7

Elde edilen sonuçlar alınan önlemlerin ısıtma enerjisi tüketiminde etkili olduğunu göstermektedir. Her iki okula ait sonuçlarda ısıtma enerjisi tüketiminin düşürülmesi bağlamında potansiyelin oldukça yüksek olduğu gözlenmektedir (% 89,9 Erzurum, % 84,9 Antalya). Ancak soğutma enerjisi tüketiminin azaltılması söz konusu olduğunda bu önlemler negatif etki göstermiştir. Aslında bugün için yürürlükte olan yönetmelikler de (TS825) ısıtma enerjisi tüketimi odaklıdır. Oysaki soğutma enerjisi tüketimi için göz önünde bulundurulması gereken önlemler farklı bir paketin içeriğini oluşturmaktadır; örneğin yönlenme, mekan organizasyonu, güneş kontrol sistemleri. Toplam enerji tüketimine bakıldığında alınan önlemlerin Erzurum gibi ısıtma derece gün değeri yüksek bir bölgede etkili olabildiği görülmektedir. Soğutma derece gün değeri en yüksek bölgelerden biri olan Antalya'da ise aynı önlemler toplam enerji tüketiminin düşürülmesini sağlayamamıştır.

Daha önce de belirtildiği gibi sınırlı sayıda parametre ile yapılan bu analiz genişletilerek yenilenebilir. Ancak görülmektedir ki, okul binaları inşa edildikten sonra enerji etkinliğinin iyileştirilebilmesi hiç de kolay değildir. Biçim, boyut, yönlenme, mekan organizasyonu, vb. parametreler ancak ön tasarım aşamasında değiştirilebilir ve her parametreye ait değer, ancak her binanın inşa edileceği yere ait coğrafi özellikleri bağlamında belirlenebilir. Bu değerler bir kez sabitlenirse, yenileme aşamasındaki iyileştirme çalışmaları çok da başarılı olamamaktadır.

Modelleme ve simülasyon aşamasında, özellikle kullanıcılar, çevresel koşullar ve sistem kontrol ve işletimi bağlamında pek çok varsayım yapılmak zorundadır. Bu varsayımlar, gerçek ölçülen enerji tüketimleri ile tahmin edilen arasında fark oluşturur. Bu farka ilişkin literatürde yer alan değerlendirmelere bakıldığında Pegg (2007) tarafından simülasyona dayalı yapılan toplam enerji tüketimi tahminlerinin $\pm\%30$ hata payı verdiğini, bu hatanın gerçek kullanımda ise $\pm\%90$ oranında olduğu belirtilmektedir. Bu yüksek orandaki hata oranları karşısında, binaların gerçek tüketimleri üzerine bir analiz daha yapma gereği doğmuştur. Böylece gerçek enerji tüketimleri ile sanal olarak simüle edilen binaların bir karşılaştırması yapılacaktır. Antalya ve Erzurum'daki okul binalarının ölçülen enerji tüketim değerleri çizelge 3.5'de verilmektedir.

Çizelge 3.5. Antalya ve Erzurum'daki okulların gerçek ısıtma enerjisi, soğutma enerjisi ve elektrik enerjisi tüketimleri

	Isıtma sezonu	Isıtma için yıllık yakıt tüketimi	Isıtma için yıllık yakıt tüketimi (kWh)	Soğutma için yıllık yakıt tüketimi	Yıllık elektrik tüketimi (ısıtma, soğutma ve aydınlatmayı içeren) (kWh)
Erzurum Horasan İÖÖ	Ekim ile Nisan arası (7 ay)	60 ton kömür	400200kWh	-	919
Antalya Emişbeleni İÖÖ	Aralık ile Mart arası (4 ay)	2 ton fuel-oil	17784 kWh	-	24780

Çizelge 3.4'de verilen simülasyon sonuçları ile karşılaştırıldığında Erzurum'da ısıtma dönemi boyunca tüketilen yakıt miktarı simülasyon sonucuna göre %20 daha fazladır. Antalya sonuçları karşılaştırılamamıştır çünkü ısıtma enerjisi tüketimi çok düşük orandadır ve baskın olan soğutma enerjisine ilişkin tüketim bilgilerine ise ulaşılammıştır.

Beş yıllık ortalama gerçek tüketim değerlerine bakıldığında, Erzurum Horasan ilköğretim okulunun yüksek oranda ısıtma enerjisi tüketimine sahip olduğu görülmektedir. Ancak okul müdürü ile yapılan görüşmede bu tüketime rağmen kışın ısı konforu sağlamak üzere ek ısıtma sistemlerine gereksinim duyulabildiğini belirtmektedir. Antalya Emişbeleni ilköğretim okulunda ise ısıtma sezonu sadece 4 ay olsa da, soğutma yükü oldukça yüksek orandadır ve bazı sınıflara iklimlendirme sistemi monte edilmiştir.

Antalya ve Erzurum'a uygulanan aynı projenin enerji tüketimlerinde çok farklı sonuçlar verdiği açıktır. Simülasyon sonuçları da farklı iklim bölgelerinin çatışan sonuçlarını sanal yolla sağlamaktadır. Her arsa ve mikroklimaya özel tasarlanmış bir yapının çok daha yüksek bir performansa sahip olacağı düşünülmektedir.

Mevcut okulların tasarımında tasarımcıların görüşleri

Okul binalarının tasarımının iyileştirilmesi konusunda tasarımcıların görüşlerini almak üzere, okul binaları konusunda uzmanlaşmış mimarlardan üçü olan, Haydar Karabey, Semra Uygur ve Cengiz Bektaş ile yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilmiştir [54]. Türkiye'deki okul binalarının elde edilme yöntemine dayalı ipuçları taşıyan görüşmelerin ana hatları aşağıda sıralanmaktadır:

Okul tasarımında tasarım yaklaşımı oldukça çeşitlidir ve her ihtiyaç program ve tasarım bağlamı farklıdır. En genel yaklaşım kullanıcının özgün gerekliliklerine uygun mekan tasarlamaktır. Bir yaklaşım, okul binalarının kendisinin bir eğitim aracı olarak düşünülmesi ve bu nedenle tüm strüktürel elemanların, diğer sistemlerin açıkta bırakılarak görülebilmesinin sağlanmasına dayalıdır. Bir başka yaklaşım ise, okul binalarının küçük bir kent gibi, benzer strüktürel elemanlardan oluşan küçük birimlerle şekillendirilmesi ve tasarlanmasıdır.

Görüşme yapılan mimarlar, okulların enerji etkin olabilmesi için farklı stratejiler önermektedir. Genellikle, yönlenme, mekan zonları oluşturma, gün ışığını kullanma, doğal havalandırma ve minimum infiltrasyon ile ısı yalıtımını ön plana çıkarmaktadır. Ancak gerçek tasarımın iklim karakteristiklerinden, bina tipinden ve kullanım zamanlarından bağımsız düşünüldüğünün altının çizilmesi gerekir. Sonuçta her tasarım farklı vurgulara sahiptir ve enerji etkinliği bağlamında farklı yerel kararlar gerektirir. Tasarımı mekanlar/hacimler olarak gören mimarlardan biri daha sonar bunu (1)yönlenme, (2)ısıtma ve hava kalitesi gerekleri ve (3)pencere boyutları ve yeri olarak detaylandırmıştır.

Enerji etkin okulların tasarım sonuçları çok çeşitlidir. Genellikle görüşülen mimarların güneşe göre yönlenme, gün ışığı sistemleri ve süper yalıtım gibi

pasif sistemlere eğilimli olduğu anlaşılmaktadır. Ancak sadece üç mimarla görüşüldüğü için bunu genelleme için yeterli olmadığı belirtilmek zorundadır.

Bir okul tasarımını ön plana çıkaran en önemli özellik konusunda görüşülen mimarların farklı düşünceleri vardır. Bunları “kullanıcıların fırsatlarını arttıran tasarım”, “enerji etkin bir bina” veya “doğal çevreyle dengeli mükemmel işlevli mekanlar” olarak çeşitlendirmektedirler.

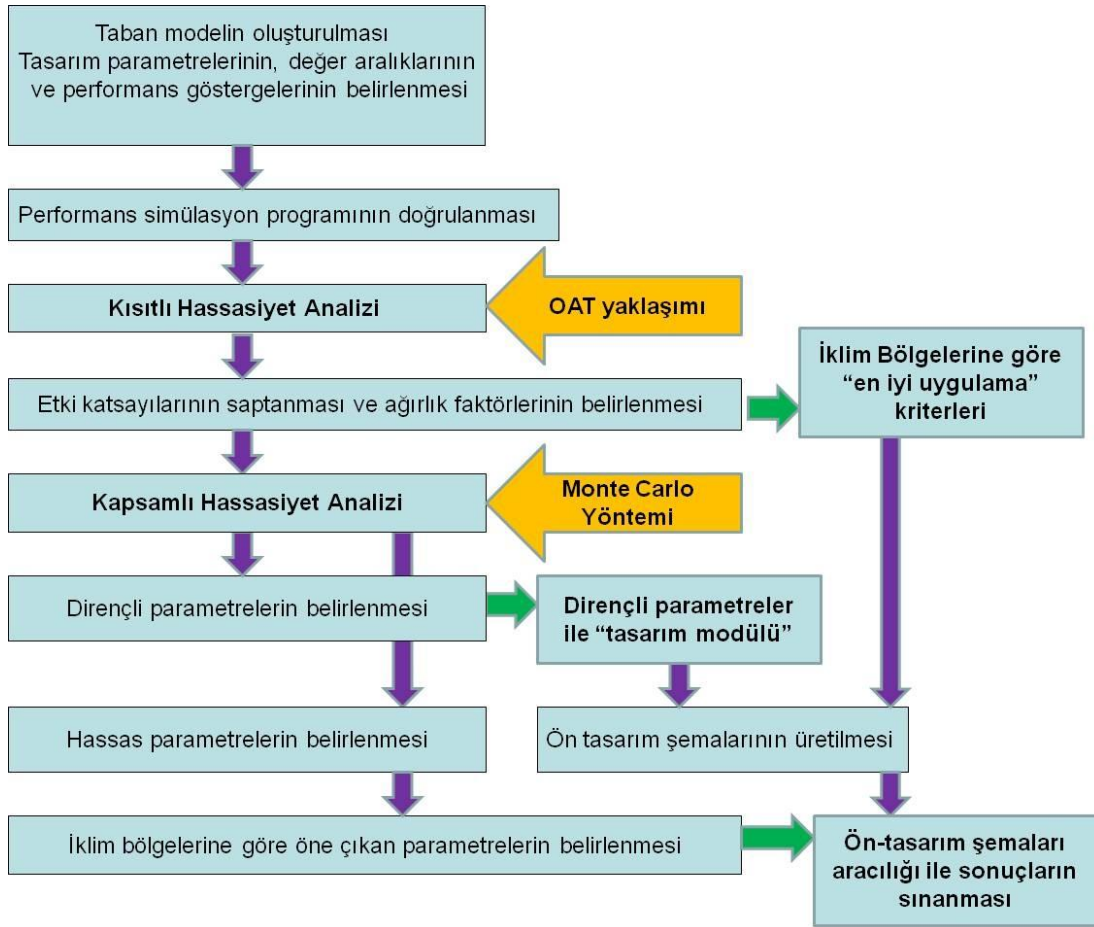
Mimarlar tasarım sürecinin iyileştirilmesi için, mutlaka disiplinlerarası bir ekip çalışması ile yürütülmesinin, mimarın kendi başına tasarımı götürmesinden çok daha iyi olacağını, tasarımın düzeyini arttırmak için bina simülasyon araçlarından yararlanmanın gerekliliğini, yeni tasarımlar için deneyimin önemli olduğunu ve tasarımcı ile müşteri arasında “ortak dil” geliştirmek gerektiğini belirtmişlerdir.

3.3. Hipotezin Tanımı ve Model Kurgusu Akış Şeması

Tasarım sürecinin erken evrelerinde kararı verilen ve sonraki adımlara değişmez veri olarak aktarılan parametrelerden bazıları, sonuç performansı önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, tasarım sürecinin başlangıcından itibaren her adımında, karar sürecinin performans analizleri ile desteklenmesi, sonuçta elde edilen binanın performans etkinliğini pekiştirecektir. Bu çalışma, bir koridor üzerine çift yönlü olarak yerleştirilmiş dört zonlu basit bir şema ile tasarım sürecinin ön tasarım evresinde kararı verilen tasarım parametrelerinin hassasiyet analizlerinin yapılmasını içermektedir. Tanımlanan parametreler çerçevesinde, TS825 “Binalarda Isı Yalıtım Standardı” [20] tarafından belirlenmiş olan, Türkiye’nin dört derece gün bölgesi için (EK-1), bina performansında öne çıkan parametreler belirlenecektir.

Basitleştirilmiş bir şema tanımlanması ile model kurgusuna başlanmaktadır. Basit şema, model kurgusu için gerekli olan verileri sağlamak üzere

tasarlanan bir “taban model” (base case)’dir. Hassasiyet analizi için gerekli olan girdi değişkenleri (tasarım parametreleri) ve çıktı değişkenlerinin (performans göstergeleri) belirlenmesinin ardından, veri elde etmek üzere kullanılacak olan bina simülasyon programına model doğrulaması uygulanmıştır. Bu yolla hazır hale getirilen programda girdi verisi olarak kullanılmak üzere taban modele (base case) ait referans değerleri ve hassasiyet analizinde kullanılmak üzere, parametrelere ait değer aralıkları belirlenmiştir. Hassasiyet analizi iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiş, birinci aşamada elde edilen sonuçlar, etki katsayılarının saptanması ve yapı bileşenlerinin iklim bölgelerine göre enerji performansının optimizasyonuna yönelik yönlendirici kriterlerin belirlenmesi için kullanılmıştır. Bu adımda, Türkiye’nin dört iklim bölgesinden seçilen dört il için ayrı ayrı değerlendirilme yapılmaktadır. Elde edilen veriler, ikinci aşamada çoklu değişkene dayalı hassasiyet analizi ile “hassas” ve “dirençli” parametreler saptanmıştır. Bu parametreler ışığında tasarlanan “*dirençli parametrelere dayalı ön-tasarım modülü*” performans bazlı yaklaşımın da ilk adımını oluşturmaktadır. Önerilen yaklaşım modelinin sınanması için, bu modül farklı kombinasyonlarda bir araya getirilerek, iklim bölgeleri bazında şekillendirilen senaryolar bağlamında performans başarıları analiz edilecektir. Şekil 3.3’de öneri model sürecine ait, basitleştirilmiş akış şeması aktarılmaktadır.

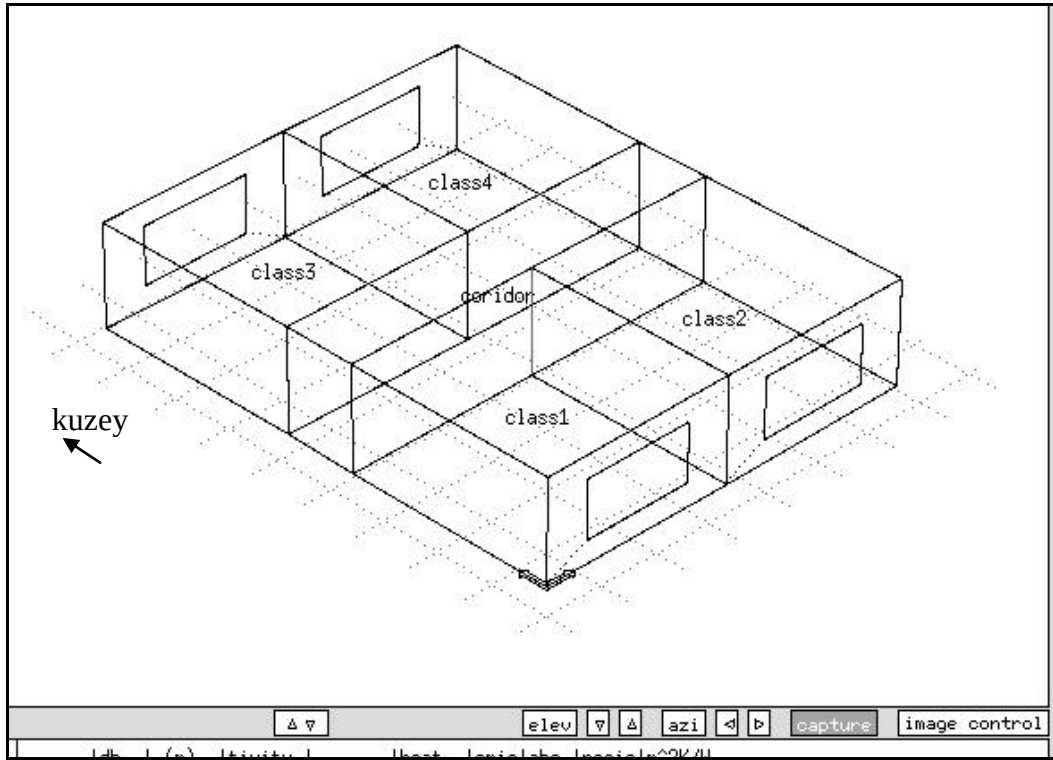


Şekil 3.3. Öneri model akış şeması

3.4. Taban Model Tanımı

Bu çalışma kapsamında, ikisi kuzey yönünde, diğer ikisi güney yönünde bulunan dört zon ve bir koridordan oluşan basit bir şema; Çizelge 3.1.'de yer alan değerler yardımı ile "taban model" olarak tanımlanmıştır (Şekil.3.4). Taban modelin tanımlanmasına esas olan veriler iki ayrı kaynağa dayandırılmaktadır. Bunlardan biri, modelin her bir zonuna ait biçimsel büyüklüklerdir. Bu büyüklükler, Milli Eğitim Bakanlığı için çeşitli üniversitelerce projelendirilen ve 1998-2001 yılları arasında uygulanmış olan 8 yıllık ilköğretim tip projeleri içinden, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi tarafından projelendirilen 480 öğrenci kapasiteli okul projesinde yer alan sınıfların en-boy oranları, tavan yükseklikleri ve pencere boyutları esas alınarak belirlenmiştir. Taban modelin tanımlanması ve simülasyonunun

gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan diğer veriler (kabuğun termofiziksel ve optik özellikleri, hava değişim oranları, iç kazançlar, vb.) ise, TS825 binalarda ısı yalıtım standardı hesap yönteminde kabul edilmiş olan değerler ve değer aralıklarına göre belirlenmiştir (Çizelge 3.6).



Şekil 3.4. Parametrik değerlendirme için kullanılan taban model

Çizelge 3.6. Taban modele ait girdi verileri

Her bir sınıf zonunun taban alanı	6,6 x 7,2 m - 47,5 m ²
Koridor zonu taban alanı	13,2 x 2,5m – 33m ²
Döşemeden döşemeye yükseklik	3,4m
Toplam hacim	758,472 m ³
Pencere alanı	11,89 m ² x 4
Pencerenin duvara oranı	0,53
Pencere yönü	Kuzey - Güney
Dış duvar alanı	140,14 m ²
Dış duvar U-değeri	TS825'e göre dört iklim bölgesi için öngörülen sınır değerler
Pencere U-değeri	TS825'e göre dört iklim bölgesi için öngörülen sınır değerler
İç kazançlar	5 W/m ² (TS 825'de hesap için verilen değer)
Hava değişim oranı	1,0 ACH
Havalandırma	yok
Isıtma için iç ortam sıcaklık sınır değeri	19°C

3.4.1. Çalışma kapsamında ele alınan performans göstergesi

Tasarım sürecinin erken evrelerinde, tasarımın sonraki aşamalarını etkileyecek önemli kararların verilmesi söz konusu olsa da, tasarıma ait eldeki bilgilerin detay düzeyi oldukça düşüktür. Bu nedenle, bugün yapılmakta olan çalışmaların büyük bölümü “az bilgi” ile “çok sonuç” elde etmenin yollarının aranmasına odaklanmıştır.

Henüz binanın formu, arazi üzerindeki konumlanması, mekan organizasyonu gibi parametrelerin netleştirildiği bu evrede, performans değerlendirmesinde, öncelikle göz önünde bulundurulacak faktör enerji performansı, bir başka deyişle binanın enerji etkinliğidir. Çünkü enerji performansını doğrudan etkileyen pek çok parametre, henüz bu erken evrede alınan kararlara bağlı şekillenmektedir.

Bu çalışmada performans göstergesi olarak ele alınacak çıktı parametresi enerji tüketimidir. Binanın enerji performansı göstergesi olarak kabul edilen enerji tüketimi, yıllık toplam ısıtma enerjisi tüketimi (kWh/m²) ve yıllık toplam soğutma enerjisi tüketimi (kWh/m²) üzerinden ayrı ayrı değerlendirilecektir.

3.4.2. Modeller arası doğrulama

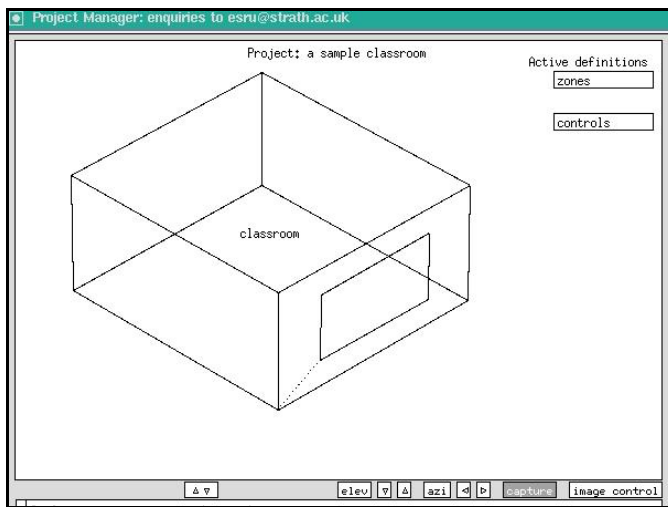
Bina performans simülasyonu ile elde edilen sonuçların geçerliliği, programın kodu ve algoritmasındaki doğruluk kadar, programın doğru kalibre edilmesine bağlıdır.

Kalibrasyonda, modellenen bina ya da zonun gerçek verilerinden yararlanmak en yaygın kullanılan biçimdir. Örneğin modellemesi yapılacak olan bir binanın gerçek tüketim verileri ile model simülasyonu sonucu elde edilen tüketim verilerinin karşılaştırılması ve eşlenmesi ile kalibrasyon sağlanmış olur. Ancak, gerçek bir bina henüz ortada yok ise, ya laboratuvar ortamında hazırlanmış test hücreleri yardımıyla elde edilen sonuçlar kalibrasyon için kullanılabilir ya da literatür desteği ile daha önce yapılmış çalışmalar ve sonuçlar baz olarak alınabilir [38].

Tasarım sürecinin başında, tasarlanmakta olan bina ile ilgili elde çok az bilgi var olduğundan, tasarım sürecinde destek sistem olarak kullanılacak olan simülasyon programının kalibrasyonu için, “modelin güvenilirliğinin sağlanması için uygulanan bir yöntem” tanımı getirmek gerekir. Bu durumda, çoğunlukla ya geçmiş deneyimlerden elde edilen sonuçlar, ya da basitleştirilmiş hesap yöntemlerinin sonuçları, hatta sezgisel yaklaşımlar devreye girmektedir.

Bu çalışmada modelin güvenilirliğini sağlamak için, “*modeller arası doğrulama -inter-model validation*” yöntemi kullanılmaktadır. Modeller arası doğrulama yöntemi “ANSI/ASHRAE Standard 140-2001: *Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs – Bina Enerji Analizi Bilgisayar Programlarının Değerlendirme Testi Standart Yöntemi*” içinde de referans olarak gösterilen IEA-BESTEST yöntemidir. Bu yöntem kısaca, test için belirlenmiş, bir dizi örnek binanın sonuçlarının karşılaştırılmasını içermektedir. Binalar, sadece ısı transfer mekanizmalarının sorgulanmasına yönelik hazırlanmış basit modellerden; geometrik olarak

basit olsa da ısı etkileşim açısından gerçeğe oldukça yakın ve ısı kütle, güneş kazançları, infiltrasyon, vb. gibi farklı parametrenin birleşik etkisinin sorgulanmasına imkan veren modellere kadar farklı detay düzeylerinde çeşitlilik göstermektedir [39]. ESP-r simülasyon programı BESTEST ile gerçekleştirilmiş pek çok geçerlilik çalışmasından geçmiştir [55]. Bu nedenle bu çalışma kapsamında ESP-r modelinin değil, karşılaştırma tabanı olarak kullanılacak olan TS825 hesap yönteminin doğrulaması yapılacaktır. Türkiye’de yıllık ısıtma tüketiminin belirlendiği geçerli tek standart olan TS825’in hesap yöntemi ile, yıllık enerji tüketimi hesaplanan binalar, standarda uygun oldukları belirlenmesi halinde inşa edilebilmektedir. Bu standardın her dört iklim bölgesi için de uygun gördüğü minimum sınır değerler esas alınarak yapılan hesaplama ile elde edilen sonuç, ESP-r ile modellenen ve aynı verilerin kullanıldığı modelin sonuçları ile karşılaştırılacaktır. Doğrulamayı gerçekleştirebilmek için, taban model verilerini kullanan temsili bir sınıf zonu seçilmiştir (Şekil 3.5). Her iklim bölgesi için, TS825 hesaplama yöntemi ile elde edilen yıllık ısıtma enerjisi tüketimleri, standardın o iklim bölgesi için uygun gördüğü U-değerlerine sahip yapı elemanları ile, standarda uygun olacak şekilde hesaplanmıştır. Hem TS825 hesaplamaları, hem de ESP-r ile elde edilen hesaplamalar, Çizelge 3.7’de yer almaktadır.



Şekil 3.5. Model doğrulama için kullanılan sınıf zonu

Çizelge 3.7. İki hesap yöntemi ile elde edilen ısıtma enerjisi tüketimleri karşılaştırması

İklim Bölgesi	TS825 (ısıtma enerjisi hesabı)	Dinamik Simülasyon (ısıtma enerjisi hesabı)	Hata payı (%)
1.BÖLGE Antalya	3334 kWh/yıl (70,15 kWh/m²)	2054 kWh/yıl (43,22 kWh/m²)	38,3
2.BÖLGE İstanbul	5209 kWh/yıl (109,61 kWh/m²)	4340 kWh/yıl (91,32 kWh/m²)	16,6
3.BÖLGE Ankara	6185 kWh/yıl (130,15 kWh/m²)	6338 kWh/yıl (133,37 kWh/m²)	-2,4
4.BÖLGE Erzurum	8928 kWh/yıl (187,87 kWh/m²)	8864 kWh/yıl (186,53 kWh/m²)	0,01

Çizelge 3.3’de de görülen, aynı veriler kullanılarak yapılan her iki hesaplama ile elde edilen sonuçlarda oluşan farklılıklar, bölgeden bölgeye değişiklik göstermekle birlikte, oluşan sapmaların en önemli nedeninin, dinamik simülasyon ile hesaplama gerçekleştirirken kullanılan saatlik iklim verilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Örneğin, TS825 hesaplamalarında kullanılan aylık güneş ışıyım şiddeti değerleri, tüm iklim bölgeleri için geçerli kılınan bir tablo aracılığı ile belirlenmektedir. Oysa simülasyon programında kullanılan iklim verilerinde güneş ışıyım şiddeti değerleri oldukça farklı olup, günlük ve aylık bazda değişkenlik göstermektedir.

TS825 standardında iklim bölgelerinin belirlenmesinde derece gün değerleri göz önünde bulundurulmaktadır ve derece gün yöntemi sadece sıcaklıklara bağlı bir bölgeleme yapmaya olanak vermektedir. Özellikle güneş ışıyımının göz önünde bulundurulmaması, Türkiye gibi Avrupa’nın güneyindeki ülkeler için sorun oluşturmaktadır.

Mevcut durum üzerinden yapılan bu değerlendirmede ise, Çizelge 3.7’de yer alan değerlere bakıldığında, TS825 hesap yöntemine dayalı elde edilen sonuçların, dinamik simülasyona göre ne kadar sapma yaptığı görülmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan değerlendirme ve karşılaştırmalarda, her

iklim bölgesi için geçerli olan bu hata oranlarının göz önünde bulundurulması ve göreceli değerlendirmeye dayalı kullanılması doğru olacaktır.

3.4.3. Girdi parametrelerinin tanımlanması ve sınırlandırılması

Analizde göz önünde bulundurulan parametrelerin ayrıntıları Bölüm 2.2.3’de aktarılmıştı. Değerlendirmeye alınan parametreler aşağıda sıralanmaktadır:

- Kabuk bileşenlerinin ısı geçirme katsayısı (U-değeri)
 - Duvar U-değeri
 - Toprağa oturan döşeme U-değeri
 - Çatı U-değeri
- Kabuk şeffaf yüzey optik ve termofiziksel özellikleri
 - Kabukta şeffaf yüzey oranı
 - Pencere U-değeri
 - Cam güneş ışınlamı toplam geçirgenlik değeri
- Isıl kütle kapasitesi
 - Duvar ısı kapasitesi
 - Döşeme ısı kapasitesi
- Mekana ait boyutsal özellikler
 - Zon derinliği
 - Tavan yüksekliği
- Hava değişimi oranı
- Kullanıcı yoğunluğu
- Yönlenme

Bu parametrelere ait değerler, Çizelge 3.8’de yer almaktadır. Taban modelin verileri, çizelgede yer alan minimum ve maksimum değer aralıkları arasında, her parametreye ait toplam girdi sayısı kadar değiştirilerek uygulanmıştır. Her parametre için belirlenen değerler ve değer aralıkları, tasarım pratiğine dayalı ve belirli bir etkiyi yansıtabilecek kadar geniş aralıkta seçilmiştir. Örneğin, yapı kabuğu ısı geçirme katsayısı (U-değeri) değer aralığının, TS825 Isı

yalıtım standardının dört iklim bölgesi için öngördüğü sınır değerlerin dışına taşırılmasının nedeni, bu sınır değerlerin de sorgulanması ve geniş bir aralıktaki etkinin değerlendirilebilmesini sağlamaktır.

Çizelge 3.8. Çalışma kapsamında ele alınan parametreler ve hassasiyete dayalı analiz için göz önünde bulundurulanan toplam girdi sayısı

1. Girdi		2. Birim	3. Taban model değeri (bölgelere göre)	4. Min değer	5. Max değer	6. Toplam girdi sayısı
Kabuk bileşenlerinin ısı geçirme katsayısı (U-değeri)	Duvar	W/m ² K	TM ₁ : 0,74 TM ₂ : 0,56 TM ₃ : 0,48 TM ₄ : 0,38	0,33	0,74	6
	Döşeme	W/m ² K	TM ₁ : 0,79 TM ₂ : 0,59 TM ₃ : 0,44 TM ₄ : 0,39	0,32	1,19	7
	Çatı	W/m ² K	TM ₁ : 0,50 TM ₂ : 0,39 TM ₃ : 0,30 TM ₄ : 0,25	0,22	1,18	7
Isıl kütle kapasitesi (özellikler)	Duvar	J/kgK	1000	500	4000	5
	Döşeme	J/kgK	1000	500	4000	5
Kabuk şeffaf yüzey optik ve termofiziksel özellikleri	yüzey oranı	---	0,53	0,1	0,8	6
	güneş ışınlamı toplam geçirgenlik değeri (GTG)		0,76	0,15	0,76	4
	ısı geçirme katsayısı (U-değeri)	W/m ² K	TM ₁ : 2,75 TM ₂ : 2,58 TM ₃ : 2,58 TM ₄ : 2,39	1,15	3,86	4
Mekana ait boyutsal özellikler	Zon derinliği	m	7,2	5	9	4
	Tavan yüksekliği	m	3,4	3,0	4,0	6
Hava değişimi oranı		ACH	1,0	0,1	1,2	5
Kullanıcı yoğunluğu		m ² /p	15,84	1,18	4,75	5
Yönlendirme (güneş azimut açısı)		-	0°	0°	180°	8

Çizelge 3.8'de 1. kolon girdi parametreleri gruplarını ve isimlerini içermektedir. 2. kolonda her bir parametrenin birimleri gösterilmiştir. Belirlenen taban modele ait Çizelge 3.6'de sunulan değerlerin parametrelere göre dağılımı 3. kolonda sunulmaktadır. Burada her dört iklim bölgesi için TS825 standardı tarafından verilen sınır değerlere göre opak ve şeffaf kabuk bileşenlerinin ısı geçirme katsayısında yapılan düzenlemeler, dört ayrı taban model tanımına neden olmuş, bunlar çizelge içinde TM₁, TM₂, TM₃ ve TM₄

değerleri olarak tanımlanmıştır (Bu değerlerin belirlenmesi için, opak kabukta sadece kabuk katmanları içinde yer alan ısı yalıtımının kalınlığı değiştirilmiştir. Buna ilişkin ayrıntılı bilgi “kabuk bileşenlerinin ısı geçirme katsayısı (U-değeri)” bölümünde aktarılmaktadır. Şeffaf kabukta ise doğrudan pencerenin ısı geçirme katsayısı düzeltilmiştir.) Çizelge 3.8’deki 4. kolon, her bir parametreye verilen en küçük değeri, 5. kolon ise en yüksek değeri göstermektedir. 6. kolonda ise, en düşük ve en yüksek değer arasında toplam kaç değer daha girildiği belirtilmektedir. Burada belirtilen sayıların toplamı aynı zamanda türetilen toplam model sayısını da vermektedir [56].

Aşağıda her parametreye ait açıklamalar ve her parametrenin girdi değerlerine ait tablolar yer almaktadır. Tüm parametrelerin açıklanması tamamlandıktan sonra analiz yöntemi aktarılmakta ve değerlendirmeye geçilmektedir.

Kabuk bileşenlerinin ısı geçirme katsayısı (U-değeri)

Bu çalışma kapsamında kabuk bileşenleri ısı geçirme katsayısı ile hassasiyet analizinde, duvar, toprağa oturan döşeme ve çatı U-değerlerinin enerji tüketimleri ve ısıl konfor üzerindeki tekil etkisinin görülebilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, kabuk bileşenlerine ait U değerleri ayrı ayrı ele alınmaktadır. Bu parametrelere ait değerleri Çizelge 3.9 - Çizelge 3.11’de, her ile ait taban model değerleriyle karşılaştırmalı olarak izlemek mümkündür.

Çizelge 3.9. Duvar U-değeri değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri

Parametre kodu		Değeri
DUV-1 (ant-tm)	1.bölge taban model değeri	0,74 W/m ² K
DUV-2 (ist-tm)	2. bölge taban model değeri	0,56 W/m ² K
DUV-3 (ank-tm)	3. bölge taban model değeri	0,48 W/m ² K
DUV-4	Türetilen değer	0,42 W/m ² K
DUV-5 (erz-tm)	4. bölge taban model değeri	0,38 W/m ² K
DUV-6	Türetilen değer	0,33 W/m ² K

Çizelge 3.10. Döşeme U-değeri değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri

Parametre kodu		Değeri
DOS-1	Türetilen değer	1,19 W/m ² K
DOS-2 (ant-tm)	1.bölge taban model değeri	0,79 W/m ² K
DOS-3 (ist-tm)	2. bölge taban model değeri	0,59 W/m ² K
DOS-4	Türetilen değer	0,50 W/m ² K
DOS-5 (ank-tm)	3. bölge taban model değeri	0,44 W/m ² K
DOS-6 (erz-tm)	4. bölge taban model değeri	0,39 W/m ² K
DOS-7	Türetilen değer	0,32 W/m ² K

Çizelge 3.11. Çatı U-değeri değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri

Parametre kodu		Değeri
CAT-1	Türetilen değer	1,18 W/m ² K
CAT-2	Türetilen değer	0,70 W/m ² K
CAT-3 (ant-tm)	1.bölge taban model değeri	0,50 W/m ² K
CAT-4(ist-tm)	2. bölge taban model değeri	0,39 W/m ² K
CAT-5 (ank-tm)	3. bölge taban model değeri	0,30 W/m ² K
CAT-6 (erz-tm)	4. bölge taban model değeri	0,25 W/m ² K
CAT-7	Türetilen değer	0,22 W/m ² K

Çizelge 3.12. Kabuk bileşenlerinde kullanılan malzemelerin ısı iletkenlikleri ve kalınlıkları

Kabuk katmanı (içten dışa)	Katmanın ısı iletkenliği (λ) (W/mK)	Katmanın kalınlığı (d) (cm)			
		1. bölge (Antalya)	2. bölge (İstanbul)	3. bölge (Ankara)	4. bölge (Erzurum)
DUVAR					
İç sıva	0,87	2	2	2	2
Gazbeton	0,24	20	20	20	20
Isı yalıtımı (PUR)	0,035	1	2,5	3,5	5,5
Dış sıva	0,87	3	3	3	3
DÖŞEME (zemine oturan)					
Mermer kapl.	3,5	2	2	2	2
Yapıştırıcı+ harç	1,4	2	2	2	2
Betonarme döşeme	2,1	15	15	15	15
Isı yalıtımı (PUR)	0,035	3,5	5	7	8
TAVAN (çatılı)					
İç sıva	0,87	2	2	2	2
Betonarme döşeme	2,1	15	15	15	15
Isı yalıtımı (PUR)	0,035	6	8	10,8	13

Dört iklim bölgesini temsil eden illere ait taban model değerleri, kabuk konstrüksiyonunda yer alan yalıtım kalınlıkları değiştirilerek TS825 standardında her bölge için belirlenmiş olan sınır değerlere yaklaştırılmıştır. Kullanılan kabuk katmanları, kalınlıkları ve ısı iletkenlik hesap değerleri, Çizelge 3.12’de verilmektedir.

Kabuk şeffaf yüzey optik ve termofiziksel özellikleri

a. Kabuk şeffaf yüzey oranı: Taban modelin %53 değerine ek olarak, kabukta yer alan şeffaf yüzeyin oranı, %10 ile %80 arasında değiştirilerek, 6 simülasyon daha gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.13).

Çizelge 3.13. Kabuk şeffaf yüzey oranı değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri

Parametre kodu	Değeri
Pen-10	%10
Pen-20	%20
Pen-30	%30
Pen-40	%40
Taban model	%53
Pen-60	%60
Pen-80	%80

b. Pencere U-değeri: Bu çalışma kapsamında ele alınan 4 farklı U-değerine göre, pencerelerin performansı değerlendirilmektedir. Pencere çerçevesi, cam katmanları ve film özellikleri ayrı ayrı tanımlanmamıştır. Burada amaç, sadece pencerenin tüm bileşenleri ile birlikte hesaplanmış ortalama U-değerindeki değişimin, sonuç performanstaki değişime etki oranının görülebilmesidir. TS825 ısı yalıtım standardının önerdiği, bölgelere göre pencereler için U-değeri sınır değerlerine uygun taban model değerleri de Çizelge 3.14’da verilmektedir.

Çizelge 3.14. Pencere U-değeri değişkenine ait parametre kodları ve değerleri

Parametre kodu	Değeri
Pen-U1	1,15 W/m ² K
Pen-U2	1,70 W/m ² K
Pen-U3	2,12 W/m ² K
Taban model değeri (erz)	2,39 W/m ² K
Taban model değeri (ank-ist)	2,58 W/m ² K
Taban model değeri (ant)	2,74 W/m ² K
Pen-U4	3,86 W/m ² K

c. *Cam güneş ışınlamı toplam geçirgenlik değeri (G.T.G. Değeri):* Güneş ışınlamı toplam geçirgenlik değerinin enerji tüketimleri üzerindeki etkisini görmek amacıyla, U-değerleri sabit tutularak, 4 farklı geçirgenlik değerine sahip cam tipi performansı sorgulanmıştır.

Çizelge 3.15. Pencere güneş ışınlamı toplam geçirgenlik değeri değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri

Parametre kodu	Değeri
Taban model değeri	0,76
Pen-gtg1	0,56
Pen-gtg2	0,38
Pen-gtg3	0,25
Pen-gtg4	0,15

d. *Kabuk şeffaf yüzey optik özelliklerine ait kısıtlar:* Bu çalışma içerisinde, g-değerine ve serinlik indeksine (D_x) bağlı değerlendirme kapsam dışı tutulmuştur. Bunun nedeni, analiz programı olarak kullanılan Esp-r simülasyon programının g-değerini ayrı bir veri girdisi olarak kabul etmemesidir. Esp-r programı içinde g-değeri göz önünde bulundurulmakta ancak karmaşık bir yöntem ile hesaplamalara dahil edilmektedir. Bu noktada, çalışmanın asıl hedefi olan tekil parametrelerin değişimlerinin performansa etkisinin görülebilmesi zorlaşmaktadır. Serinlik indeksi değeri ise, iki nedenle kapsam dışındadır. Bunlardan biri, çalışmanın sadece ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimlerinin değerlendirilmesi ile sınırlı tutulması ve aydınlatmaya dayalı tüketimleri değerlendirme dışı bırakmasıdır. İkinci neden ise, Esp-r programının aydınlatmaya ilişkin değerlendirmeler için Radiance isimli

aydınlatma programını devreye sokması ve burada yine, birden çok parametrenin değişkenlik göstermesi nedeniyle, tekil performansının değerlendirilmesi hedefinin yerine getirilememesidir.

Isıl kütle kapasitesi

Bu çalışma içerisinde ısıl kütle kapasitesindeki değişiminin bina performansına etkilerini görebilmek için, kabukta ısıl kütle olarak çalışacak malzemenin sadece özgül ısı değeri değiştirilmiştir. Her ne kadar ısıl kütlenin etkinliği için malzemenin kalınlığını arttırmak ya da ısıl kapasiteleri farklı birkaç malzeme seçeneği kullanmak mümkün ise de, bunlar kabuk konstrüksiyonunun U-değerini de değiştireceğinden ısıl kütlenin tekil etkisinin gözden kaçmasına neden olacaktır.

Bu değerlendirmede, ısıl kütlenin konumunun performansa etkisi de değerlendirilmektedir. Düşey düzlemde (duvar) ve yatay düzlemde (döşeme) yer alan ısıl kütle katmanının, ısıl eşlemedeki başarısını sorgulamak amacıyla, ısıl kütle katmanı 5 farklı özgül ısı değeri ile hem duvar konstrüksiyonu, hem de döşeme konstrüksiyonu için ayrı ayrı sınanmıştır.

Çizelge 3.16. Duvar ısıl kütlesi değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri

Parametre kodu	Özgül ısı
DUV-IK-1	500 J/kgK
Taban model değeri	1000 J/kgK
DUV-IK-2	1500 J/kgK
DUV-IK-3	2000 J/kgK
DUV-IK-4	3000 J/kgK
DUV-IK-5	4000 J/kgK

Çizelge 3.17. Döşeme ısı kütlesi değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri

Parametre kodu	Özgül ısı
DOS-IK-1	500 J/kgK
Taban model değeri	1000 J/kgK
DOS-IK-2	1500 J/kgK
DOS-IK-3	2000 J/kgK
DOS-IK-4	3000 J/kgK
DOS-IK-5	4000 J/kgK

Mekana ait boyutsal özellikler

a. Zon derinliği: Bu çalışma kapsamında, zonların en-boy oranları, zon derinliğine bağlı olarak değiştirilmiştir. Bunun nedeni, özellikle kuzey ve güney cephe genişliklerinin sabit tutulmak istenmesidir. Hem kuzey cephede, hem güney cephede pencereler yer almaktadır ve cephe boyutlarının değişmesi pencere/duvar oranını da değiştirecektir. Bu oran sabit tutulmaya çalışıldığında ise, pencere boyutları değişecek, bu da başka bir değişkenin daha devreye girmesine neden olacaktır. Oysaki bu çalışmada her bir parametrenin tek başına sonuca etkisini görmek amaçlanmaktadır. Bu nedenle, kuzey ve güney cephelerinin boyutları sabit tutulup, zonların doğu ve batıya yön veren cephelerinin boyutlarını değiştirmektedir. Boyutsal oranlar Çizelge 3.18’de verilmektedir.

Çizelge 3.18. Zon derinliği değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri

Parametre kodu	Değeri	En-boy oranı
ZOD-1	5 m	1:0,75
ZOD-2	6 m	1:0,9
Taban model değeri	7.2 m	1:1,09
ZOD-3	8 m	1:1,21
ZOD-4	9 m	1:1,36

b. Tavan yüksekliği: Tavan yüksekliğindeki değişimin, hacim farkı oluşturması nedeniyle enerji tüketimine etkisini görmek amacıyla, mekan döşeme yüksekliklerinin değiştirildiği 5 farklı simülasyon gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.19. Tavan yüksekliği değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri

Parametre kodu	Değeri
TAV-1	3,0 m
TAV-2	3,2 m
Taban model değeri	3,4 m
TAV-3	3,6 m
TAV-4	3,8 m
TAV-5	4,0 m

Hava değişimi oranı

Bu çalışma kapsamında, hava değişimi oranının iklim bölgelerindeki hassasiyetini görmek için, taban modelde *infiltrasyon* (hava sızıntısı) 1,0 ach kabul edilmiş ve Çizelge 3.20’de yer alan değerler hesaba katılarak 9 simülasyon gerçekleştirilmiştir. Her ne kadar taban model değeri, TS825’de hava sızıntısı (kontROLSÜZ) olarak değil, hava değişimi (kontrollü ve kontROLSÜZ) olarak geçse de, bu tanımda kontrollü ve kontROLSÜZ havalandırmanın hangi oranlarda göz önünde bulundurulduğu belirtilmediği için, geniş bir aralıktaki etkinin görülebilmesine yönelik olarak taban modelde, hava değişimi ortalama değer olan 1,0 ach olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 3.20. Hava değişimi oranı değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri

Parametre kodu	Değeri
ACH-1	0,1
ACH-2	0,3
ACH-3	0,5
ACH-4	0,7
Taban model değeri	1,0
ACH-5	1,2
ACH-6	1,4
ACH-7	1,6
ACH-8	1,8
ACH-9	2,0

Kullanıcı yoğunluğu

Bu çalışma kapsamında sadece kullanıcı yoğunluğunun enerji tüketimine ve iç ortam konforuna etkisinin örneklenmesi istenmektedir. Bu nedenle binanın kullanım şekli de göz önünde bulundurularak, kullanıcı yoğunluğuna ait değerlendirme, sınıftaki öğrenci sayısına bağlı olarak ve kullanımın sabah 7 ile akşam 18 arasında gerçekleştiği varsayımı ile yapılmıştır. Simülasyonlara ait değerler Çizelge 3.21’de yer almaktadır.

Çizelge 3.21. Kullanıcı yoğunluğu değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri

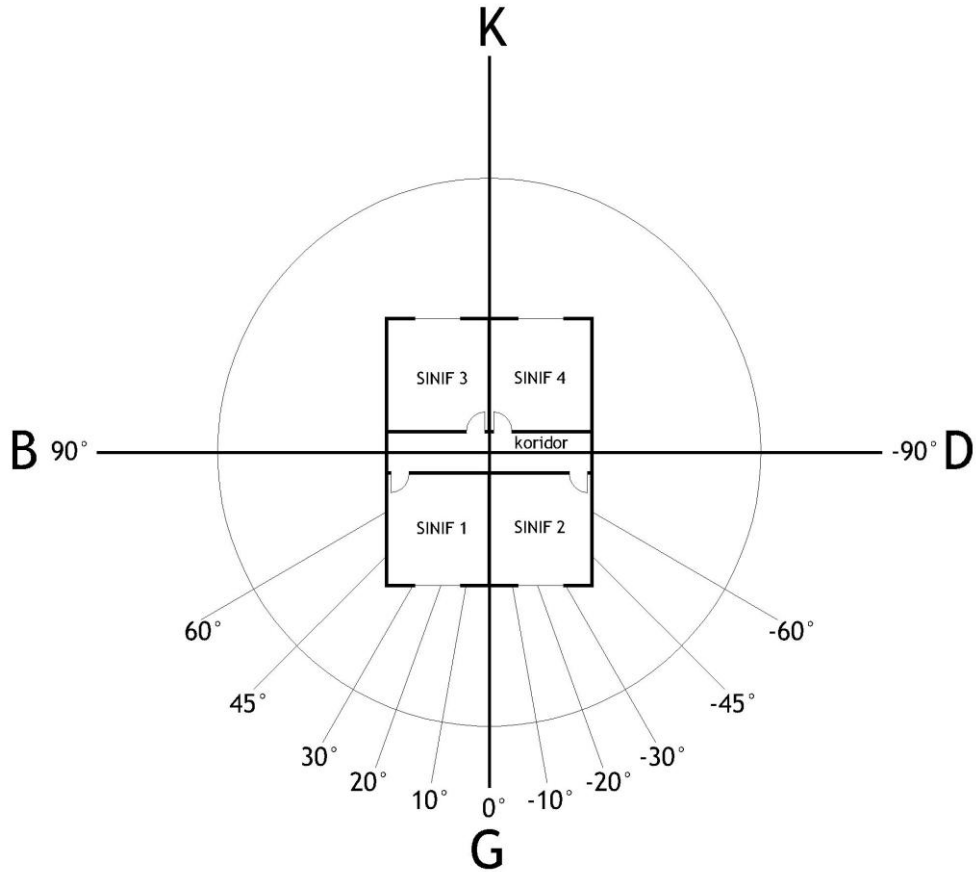
Parametre kodu	Değeri	İşletim zaman cetveli
Taban model değeri	15,84 m ² /p	00 ⁰⁰ -24 ⁰⁰
KUL-1	4,75 m ² /p	07 ⁰⁰ -18 ⁰⁰
KUL-2	3,17 m ² /p	07 ⁰⁰ -18 ⁰⁰
KUL-3	2,37 m ² /p	07 ⁰⁰ -18 ⁰⁰
KUL-4	1,58 m ² /p	07 ⁰⁰ -18 ⁰⁰
KUL-5	1,18 m ² /p	07 ⁰⁰ -18 ⁰⁰

Yönlenme

Mekanların enerji tüketim değerlerinin yönlenmeye bağlı değişim oranlarının görülebilmesi için, güneş azimut açısına dayalı olarak 12 simülasyon değerlendirmeye alınmıştır. Değerlendirilen açılar Çizelge 3.22’de listelenmektedir. Açıların güneye göre konumları Şekil 3.6’da görülebilir.

Çizelge 3.22. Azimut açısı değişkenine ait denenen parametre kodları ve değerleri

Parametre kodu	Değeri
Taban model değeri	0° (güney)
YON-1	-10°
YON-2	-20°
YON-3	-30°
YON-4	-45°
YON-5	-60°
YON-6	-90° / +90° (doğu / batı)
YON-7	+60°
YON-8	+45°
YON-9	+30°
YON-10	+20°
YON-11	+10°
YON-12	0° (kuzey)



Şekil 3.6. Temel modelin azimut açılarına (α) göre konumu

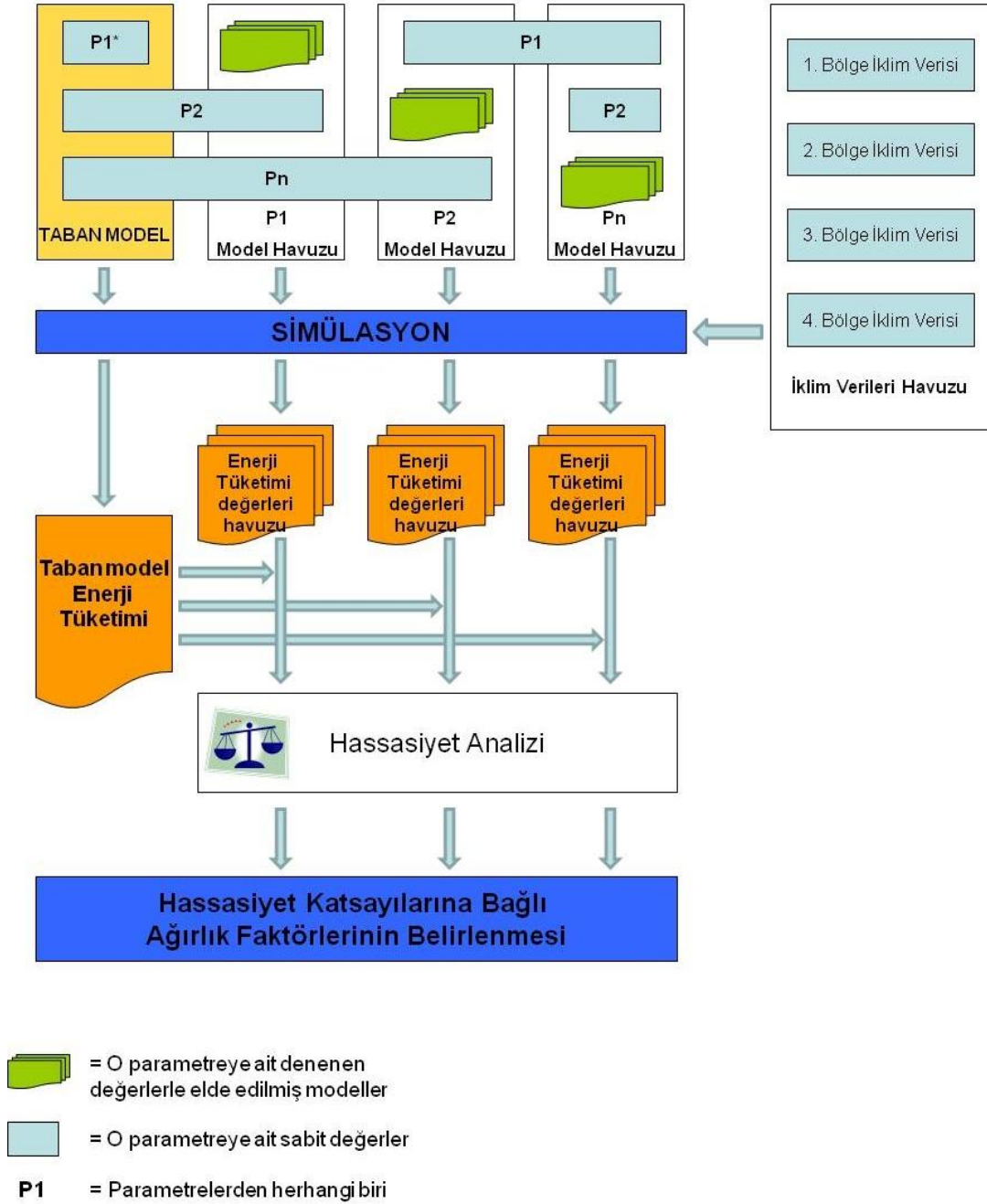
3.5. Sonuçlar

Çizelge 3.8’de verilen parametrelere bağlı olarak iki aşamalı bir değerlendirme gerçekleştirilmiş ve sonuçları aşağıda sunulmuştur. Birinci aşamayı “kısıtlı hassasiyet analizi” ile elde edilen sonuçlar oluşturmaktadır. Kısıtlı hassasiyet analizi basit olmakla birlikte, çok sayıdaki parametre içinden en etkili/baskın parametrelerin ortaya çıkartılabilmesi için kolaylık sağlamaktadır. İkinci aşamada, birinci aşamada elde edilen verilere bağlı olarak gerçekleştirilmiş olan “kapsamlı hassasiyet analizi” sonuçları değerlendirilmektedir.

3.5.1. Kısıtlı hassasiyet analizi sonuçları

OAT (one at a time) yaklaşımına dayalı olarak gerçekleştirilen kısıtlı hassasiyet analizinin yöntemi, Şekil 3.7’de bir akış şeması olarak sunulmuştur. Buna göre, her bir parametreye ait denenen değerler ile elde edilmiş ve o parametrenin adını taşıyan model havuzları oluşturulmuştur. Her bir model havuzunda, sadece o parametrenin denenen değerleri değiştirilerek elde edilmiş modeller bulunmaktadır. Bu modellerde, diğer parametrelere ait değerler, taban modeldeki sabit değerinde tutulmaktadır. Model havuzlarındaki her bir modelin ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi değerleri, simülasyon programı yardımıyla hesaplanmış ve o parametreye ait enerji tüketimi havuzunda toplanmıştır.

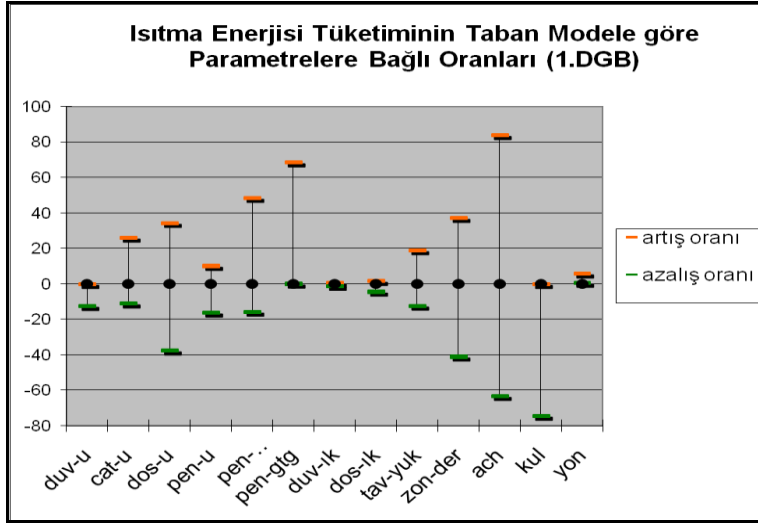
Enerji tüketimi havuzunda toplanan her parametreye ait sonuçlar, taban modele ait enerji tüketimi sonuçları ile birlikte hassasiyet katsayılarının belirlenmesi için kullanılmıştır. Kapsamlı hassasiyet analizi için etkin parametrelerin seçimi için belirlenecek ağırlık faktörleri ise, bu hassasiyet katsayıları yardımıyla belirlenmektedir. Simülasyon, dört iklim bölgesine ait iklim verileri ayrı ayrı girilerek gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle bu akış şemasında aktarılan işlemler, dört kez tekrar edilmiştir.



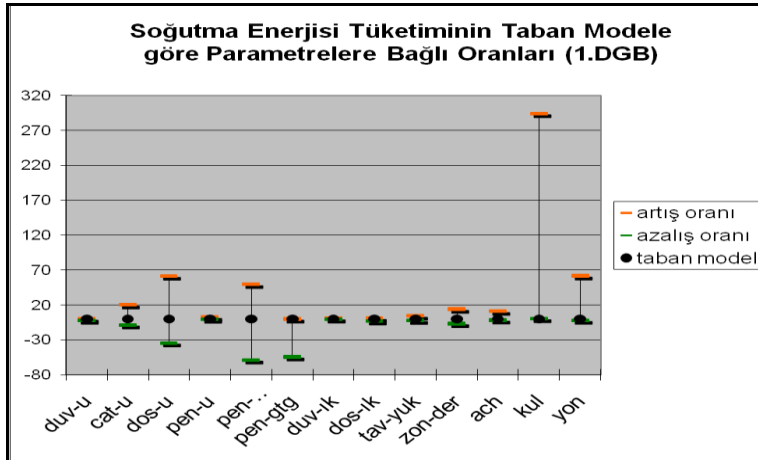
Şekil.3.7. Kısıtlı hassasiyet analizi akış şeması

Analiz sonuçlarının yorumunda parametrelerdeki değişime dayalı, ısıtma enerjisi tüketimi ve soğutma enerjisi tüketimleri ayrı ayrı ele alınmaktadır. Her parametrenin iklim verilerine bağlı olarak enerji tüketimlerinde neden olduğu farklılıklar grafiklerde (Şekil 3.8 – Şekil 3.11) artış oranları ve azalış oranları olarak gösterilmektedir. Burada taban model için girilmiş olan veriler de

tanımlanmıştır. Hangi parametrenin ne oranda bir artışa veya azalışa neden olduğunu gösteren bu grafikler, iklim bölgeleri özelinde optimum tasarıma olanak sağlayan girdi verilerinin ortaya çıkmasına yardımcı olmaktadır.

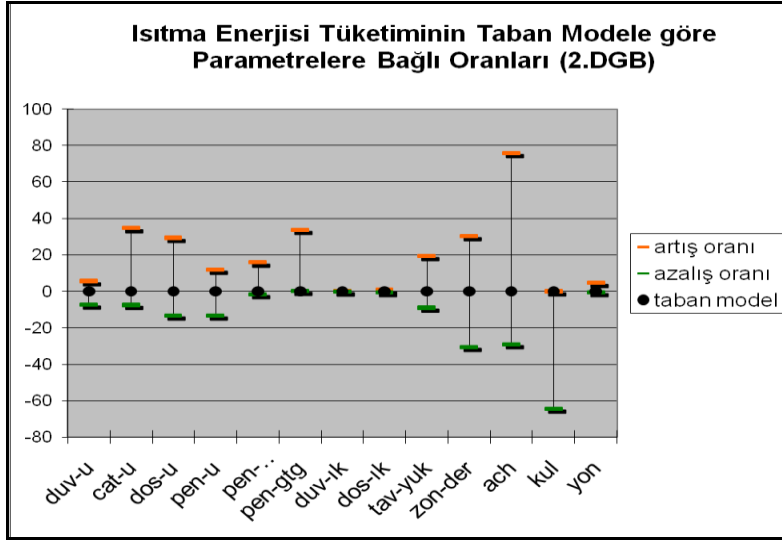


(a)

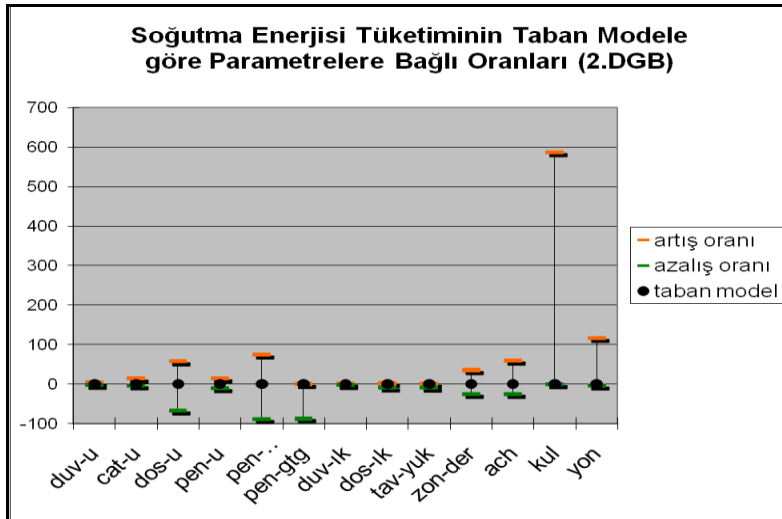


(b)

Şekil 3.8. Kısıtlı hassasiyet analizi ile belirlenen ısıtma enerjisi tüketimi (a) ve soğutma enerjisi tüketimi (b) artış-azalış oranları (1. Derece Gün Bölgesine göre – 1.DGB)



(a)

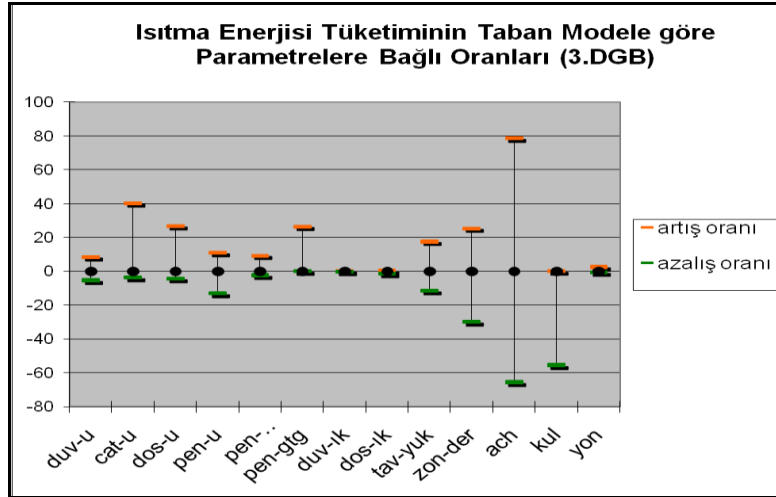


(b)

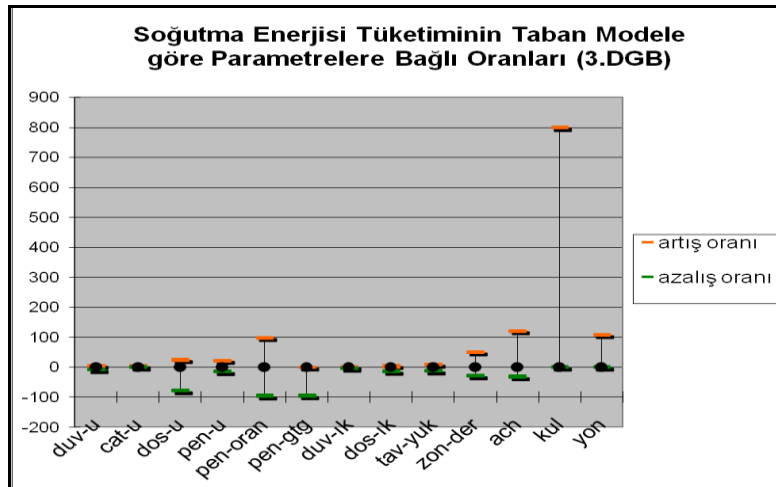
Şekil 3.9. Kısıtlı hassasiyet analizi ile belirlenen ısıtma enerjisi tüketimi (a) ve soğutma enerjisi tüketimi (b) artış-azalış oranları (2. Derece Gün Bölgesine göre – 2.DGB)

Her dört iklim bölgesine ait grafikler incelendiğinde, ısıtma enerjisi tüketiminde artış-azalış oranı en fazla etkileyen parametreler, ağırlıkları farklı olmak üzere, kabuk ısı aktarım katsayılarının değişimine bağlı, hava değişim oranına bağlı ve mekan büyüklüklerine bağlı görünmektedir. Soğutma enerjisi tüketiminde ise, en etkin parametrenin içsel kazançların değişimi ile elde edildiği görülmektedir. Ayrıca, yine ısı kazancında etken olması beklenen

pencere-duvar oranı ile pencerenin toplam güneş ışınlamı geçirgenlik değeri de soğutma enerjisi tüketiminin artış-azalış oranı etkilediği görülmektedir.

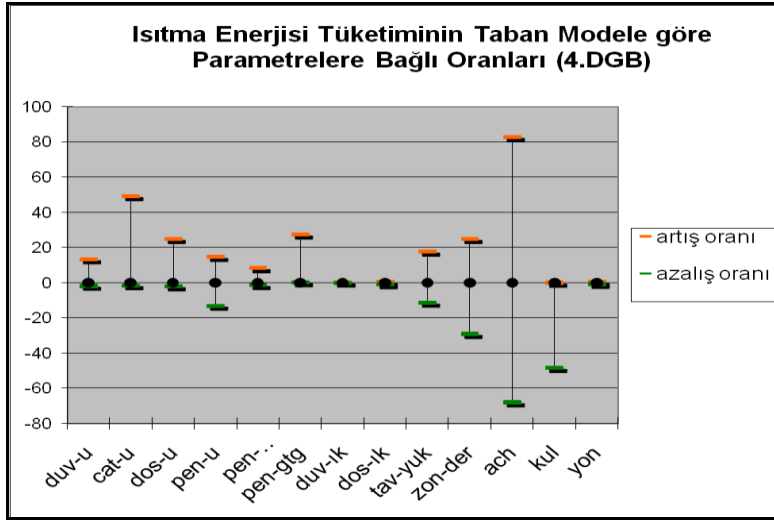


(a)

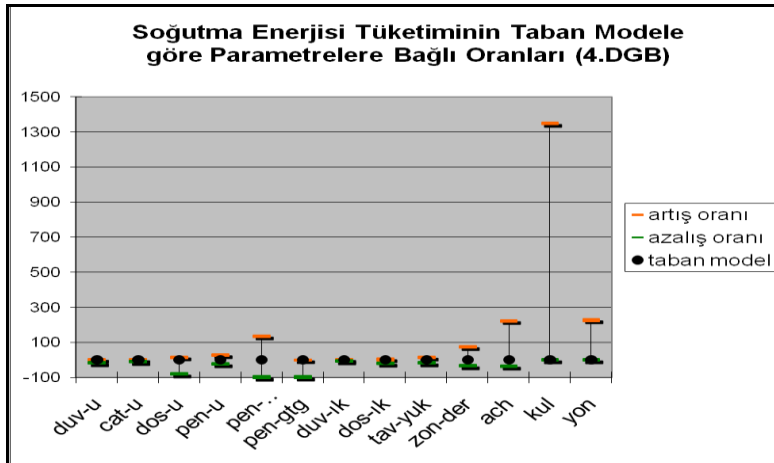


(b)

Şekil 3.10. Kısıtlı hassasiyet analizi ile belirlenen ısıtma enerjisi tüketimi (a) ve soğutma enerjisi tüketimi (b) artış-azalış oranları (3. Derece Gün Bölgesine göre – 3.DGB)



(a)



(b)

Şekil 3.11. Kısıtlı hassasiyet analizi ile belirlenen ısıtma enerjisi tüketimi (a) ve soğutma enerjisi tüketimi (b) artış-azalış oranları (4. Derece Gün Bölgesine göre – 4.DGB)

Kısıtlı hassasiyet analizi ile elde edilen ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimlerine ait sonuçlar ve bunların etki oranlarından yola çıkarak Türkiye'nin dört iklim bölgesi için tasarımcılara bir öneri listesi oluşturulmuştur. Kısıtlı hassasiyet analizi ile elde edilen değerlere, tekil performanslar değerlendirilerek ulaşıldığı için, etkileşimli değerlendirmede başka değer aralıkları ile aynı performans mümkün kılınabilir. Bu nedenle, bu değer aralıklarının esnek olmayan katı sınırlar olmadığı belirtilmesi gerekmektedir.

Regresyon analizi

Kısıtlı hassasiyet analizine dayalı gerçekleştirilen değerlendirmede *regresyon analizi* ile girdi değişkenleri ile çıktı değişkenleri arasındaki korelasyon belirlenmiş ve sonuçları ağırlık faktörlerinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Burada, simülasyon yardımıyla elde edilen tüm sonuçların, birinci, ikinci ve üçüncü dereceden fonksiyonları yardımıyla R^2 değerleri hesaplanmıştır². Birinci dereceden fonksiyonlar doğrusal ilişkiyi (lineer regresyon) temsil etmektedir. İkinci ve üçüncü dereceden fonksiyonlarla elde edilen polinomal regresyona ait sonuçlar da ayrıca yorumlanmaktadır. Regresyon analizleri için MS Excel programı ile birlikte çalışan “Analyse-it” istatistik programından yararlanılmıştır. R^2 değerleri, Çizelge 3.23’de listelenmektedir.

Hassasiyet katsayılarına bağlı değerlendirmede, polinomal regresyon analizi ile elde edilen sonuçların yorumlanabilmesi güçleşmektedir. Bunun nedeni, eğimin, dolayısı ile hassasiyet katsayısının her noktada değişkenlik gösteriyor olmasıdır.

Toplam ısıtma enerjisi tüketimleri ve toplam soğutma enerjisi tüketimlerine ait elde edilen R^2 değerlerine bakıldığında, duvar ve pencerelerin ısı iletkenlik katsayıları (U-değeri), ısı kütlesi, duvar-pencere oranı, camların toplam güneş ışınlamı geçirgenlik değerleri, mekan derinliği, tavan yüksekliği ve hava değişim oranı tüm iklim bölgelerinde 1,00 veya 1,00’e yakın değerlerde elde edilmiştir. Bu, ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi ile bu sayılan parametreler arasında doğrudan bir korelasyon olduğunu göstermektedir.

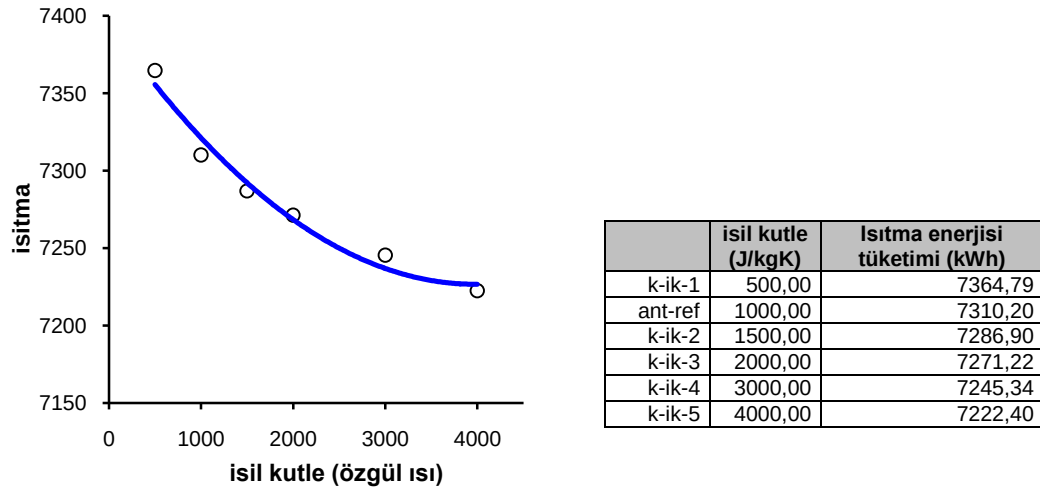
² Çizelge 3.23’de yer alan tek yıldızlı (*) R^2 değerleri ikinci dereceden fonksiyonla, iki yıldızlı (**) R^2 değerleri ise üçüncü dereceden fonksiyonla tanımlanmaktadır.

Çizelge 3.23. İklim bölgelerine göre, ısıtma ve soğutmaya dayalı regresyon analizinde elde edilen R^2 değerleri

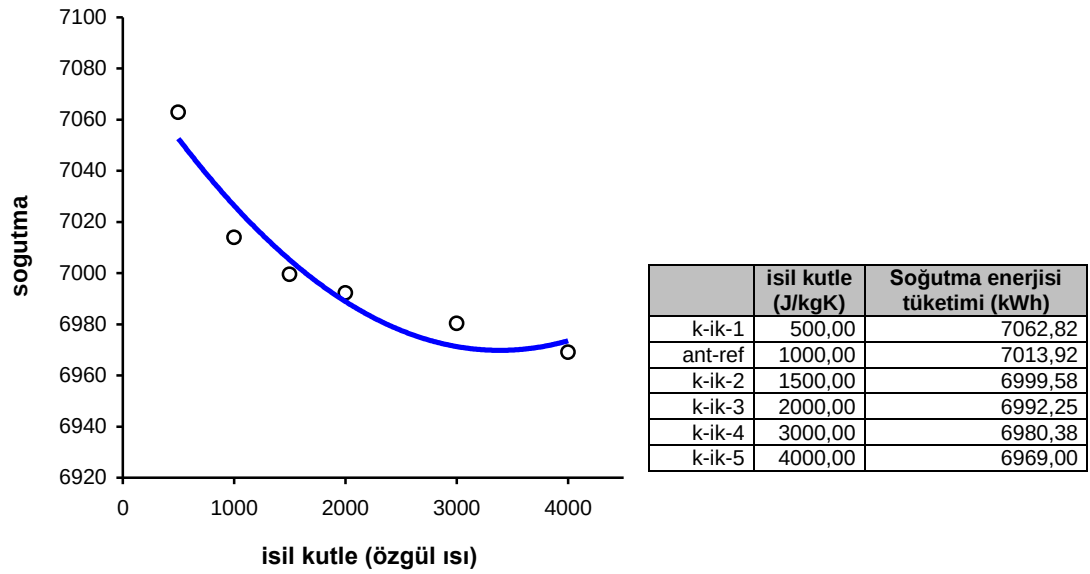
		1.BÖLGE		2.BÖLGE		3.BÖLGE		4.BÖLGE	
		Isıtm.	Soğtm	Isıtm.	Soğtm	Isıtm.	Soğtm	Isıtm.	Soğtm
Kabuk bileşenlerinin ısı geçirme katsayısı	duvar	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	0,99	1,00	0,99
	döşeme	1,00	0,99	1,00	0,96	1,00	0,95	1,00	0,93
	çatı	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	1,00	0,93
Kabuk şeffaf yüzey optik ve termofiziksel özellikleri	yüzey oranı	0,96	0,99	0,93	0,99	0,94	0,97	0,92	0,94
	u-değeri	1,00	0,95	1,00	0,99	1,00	0,98	0,99	0,97
	GTG değeri	0,90	0,96	0,94	0,97	0,92	0,97	0,92	0,97
Isıl kütle kapasitesi ve konumu	duvar	0,97*	0,93*	0,98	0,93	0,98	0,97	0,98	0,98
	döşeme	0,96	0,97	0,99	0,99	0,99	0,97	0,99	0,98
Mekana ait boyutsal özellikler	tavan yüksekliği	1,00	1,00	0,99	0,89	1,00	1,00	1,00	0,99
	derinlik	1,00	0,98	1,00	0,99	1,00	0,99	1,00	0,97
Hava değişimi oranı		1,00	0,99*	1,00	1,00*	1,00	0,99*	1,00	0,97*
Kullanıcı yoğunluğu		0,93	0,99	0,96	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97
Yönlenme		0,93**	0,93*	0,99**	0,92*	0,97**	0,93*	0,92**	0,90*

Ancak, burada karşılaşılan bir iki ayrıcalıklı durum söz konusudur. Bunlardan biri, soğutma derece gün değeri en yüksek bölge olan, 1. Derece gün bölgesi duvarda yer alan ısıtma kütle analizinde R^2 'nin ikinci derece fonksiyon ile ısıtma enerjisi tüketiminde 0,97, soğutma enerjisi tüketiminde ise 0,93 değerine ulaşması ve böylece elde edilen eğrinin polinomal olmasıdır.

Şekil. 3.12 ve Şekil 3.13'de görüldüğü gibi ısıtma kütlelerinin özgül ısı değeri 2500-3000J/kgK üzerine çıktığında hem ısıtma enerjisi tüketiminde, hem de soğutma enerjisi tüketimindeki etkisi azalmaya başlamakta ve ilişki eğrileşmektedir. Bu noktada birinci derece gün bölgesi için ısıtma kütle kapasitesini, kütlelerinin doğru çalışabileceği değerlerde tutmak gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Isıl kapasitenin yüksek tutulduğu ve iklim koşullarının ısıtma kütlelerinin yüklendiği ısıyı periyodik olarak boşaltmasına izin vermediği koşullarda, ısıtma kütle sadece yutucu olarak çalışmakta ve enerji tüketiminin azaltılması yönünde etkin çalışması mümkün olamamaktadır [56].



Şekil 3.12. Birinci derece gün bölgesinde yer alan duvar konstrüksiyonunun ısıtma enerjisi tüketimi ile ısıtma enerjisi tüketimi arasındaki fonksiyon ilişkisi [56]



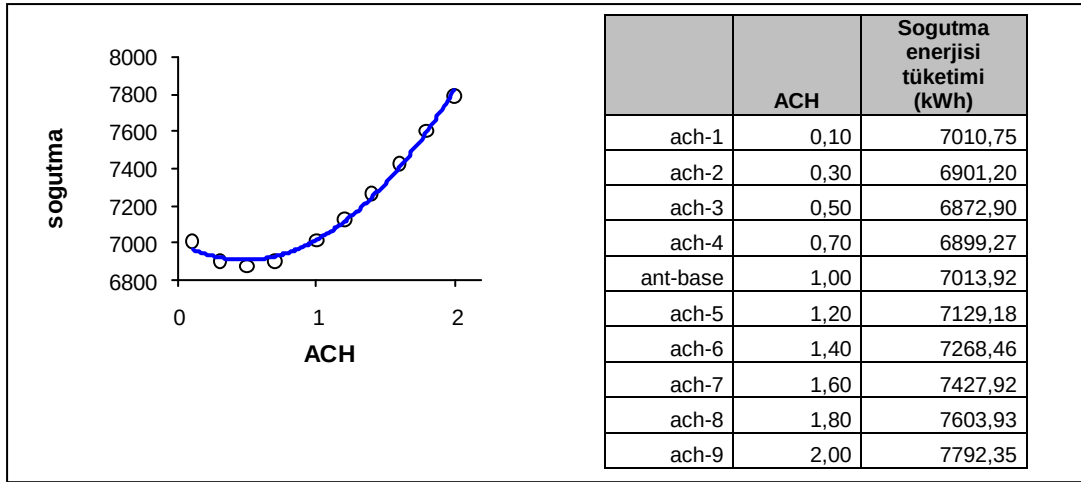
Şekil 3.13. Birinci derece gün bölgesinde yer alan duvar konstrüksiyonunun soğutma enerjisi tüketimi ile soğutma enerjisi tüketimi arasındaki fonksiyon ilişkisi [56]

Bir diğer ayrıcalıklı durum, hava değişim oranı parametresi ile ilgili yapılan analizlerde görülmektedir. Isıtma enerjisi tüketimi ile hava değişim oranı arasındaki ilişki bütün iklim bölgeleri için doğru orantılı olarak gerçekleştiği görülmüş ve R^2 değerleri 1,00 ve 1,00'e çok yakın değerler almıştır. Ancak soğutma enerjisi tüketimi ile olan ilişki polinomaldır.

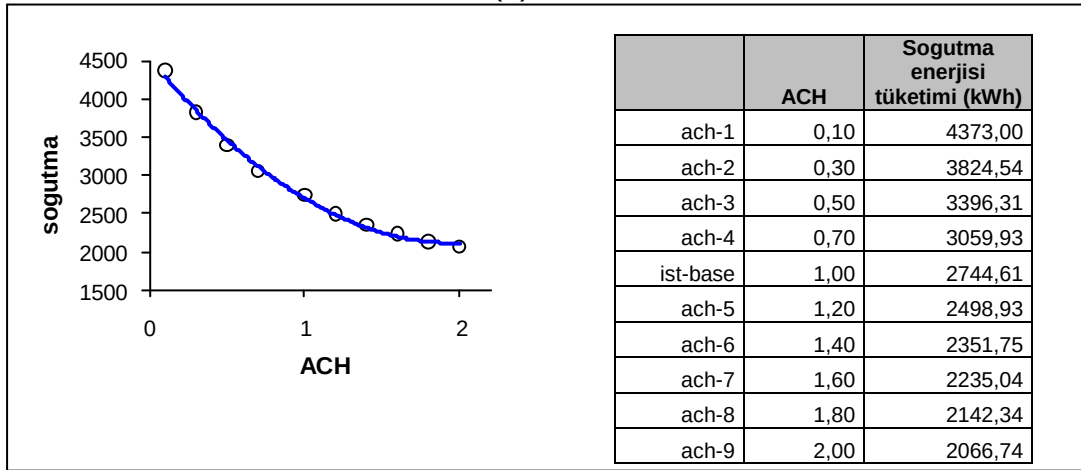
Regresyon eğrilerine bakıldığında (Şekil 3.14), hava değişimi oranının yaklaşık 1,0 ach değerinin üzerine çıkması halinde, ikinci, üçüncü ve dördüncü derece gün bölgelerinde soğutma enerjisi tüketimindeki değişim görece olarak azalmaktadır (Şekil 3.14-b,c,d). Bir diğer deyişle, hava değişimi oranı 1,0 ach üzerine çıktığında soğutma enerjisi tüketimine etkisi azalmaktadır. Bu durum birinci bölge için değişmekte ve hava değişimi oranı 1,0 ach değerinin üzerine çıktığında soğutma enerjisi tüketimini daha büyük oranlarda artırmaktadır (Şekil 3.14-a) [56].

Her ne kadar, hava değişiminin önlenmesi, ısıtma enerjisi tüketiminin azaltılması açısından son derece önemli ise de, hava değişimi oranı 1,0-1,2 ach üzerine çıktığında soğutma enerjisi tüketiminin üzerinde etken bir rol üstlenmemektedir. Bunun nedeni, hava değişimi oranının 1,0 ach üstüne çıkmasıyla doğal havalandırma işlevini de görmeye başlaması ile açıklanabilir. Bunun ötesinde, genel olarak bakıldığında, her dört iklim bölgesi için de, tasarımın değerlendirilmesi sırasında, hava değişimi oranının 1,0 ach üzerine çıkmasına neden olacak detay tasarımları ve uygulamalardan kaçınmak gereklidir. Havalandırma gerekli ise, bunun kontrollü bir şekilde yapılması daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

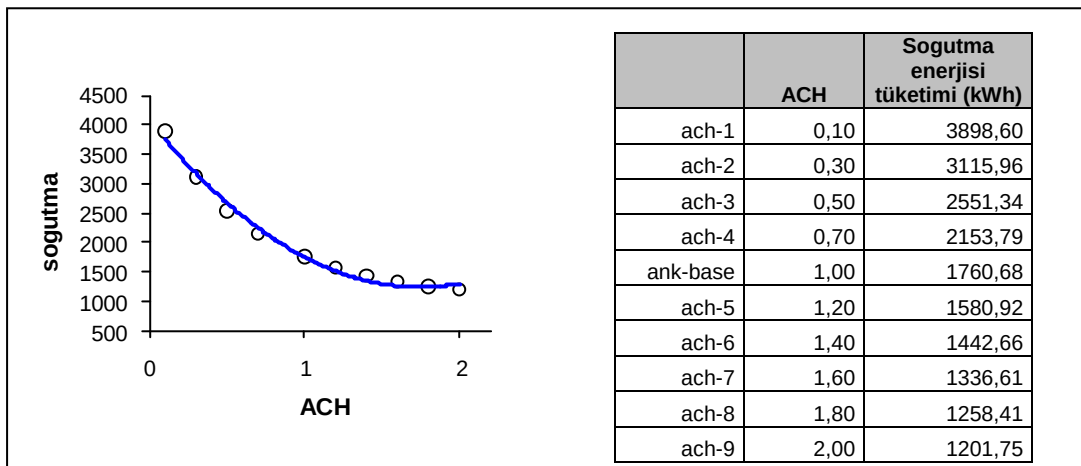
Ayrıcalıklı durum olarak değerlendirilecek son parametre yönlenmedir. Yönlenme, güney cephesinin güneyden sapma açısına göre, enerji tüketimindeki değişimi sorgulamak üzere kurgulanmıştır. Bu nedenle regresyon eğrilerinin doğrusal olması beklenmemektedir (Bir başka deyişle açı büyüdükçe tüketimin artması ya da azalması gerekmemektedir). Her dört iklim bölgesi için de, regresyon ilişkisi eğriseldir (Şekil 3.15-18).



(a)

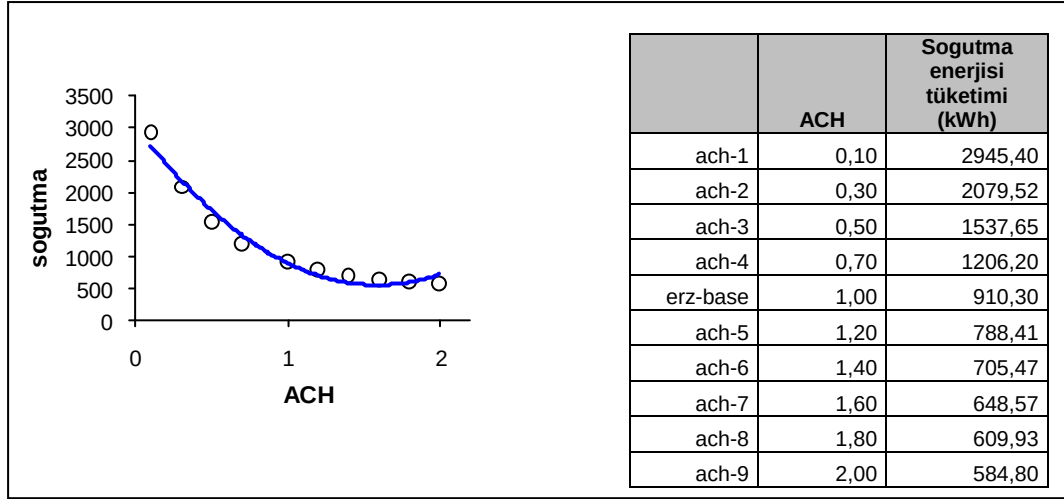


(b)



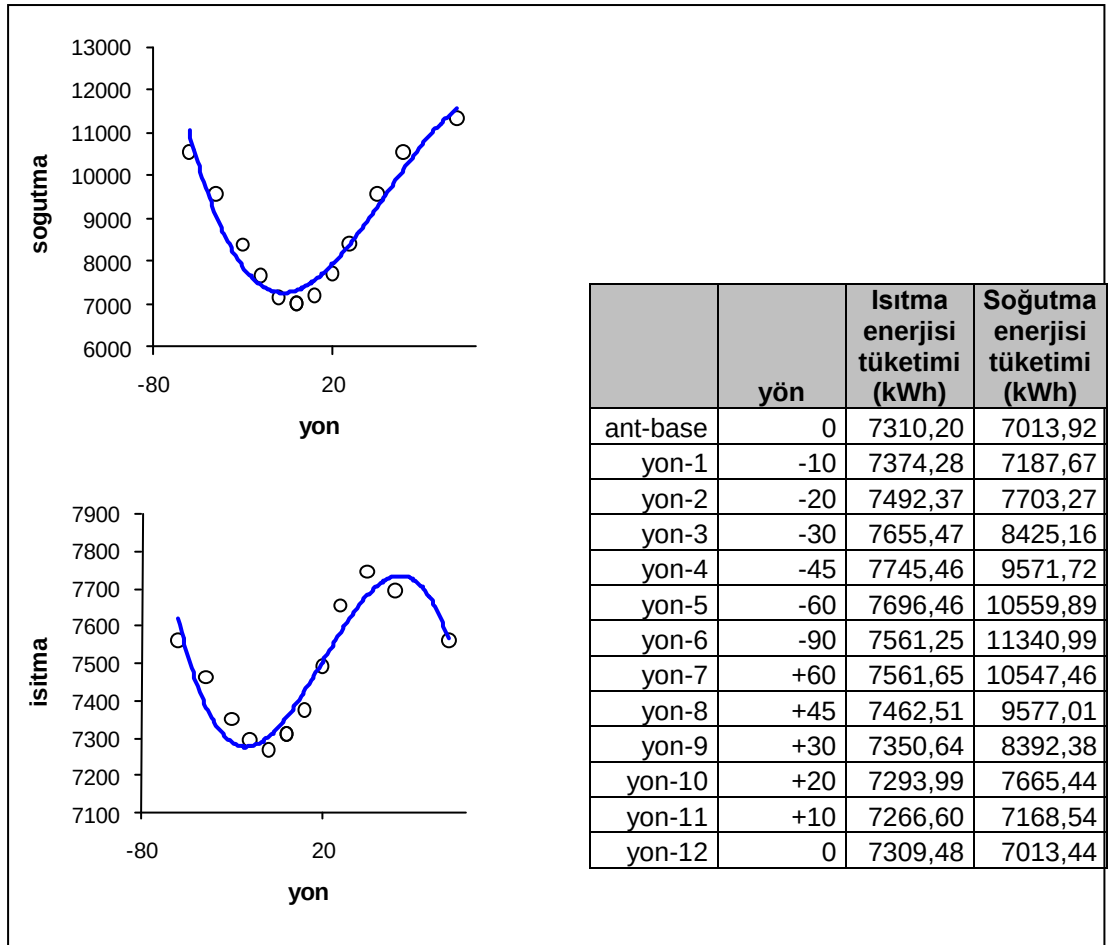
(c)

Şekil 3.14. Dört derece gün bölgesinde, hava değişimi oranındaki artışa bağlı soğutma enerjisi tüketimlerindeki değişim eğrileri a)1.Bölge (Antalya) b) 2.Bölge (İstanbul) c) 3.Bölge (Ankara) [56].

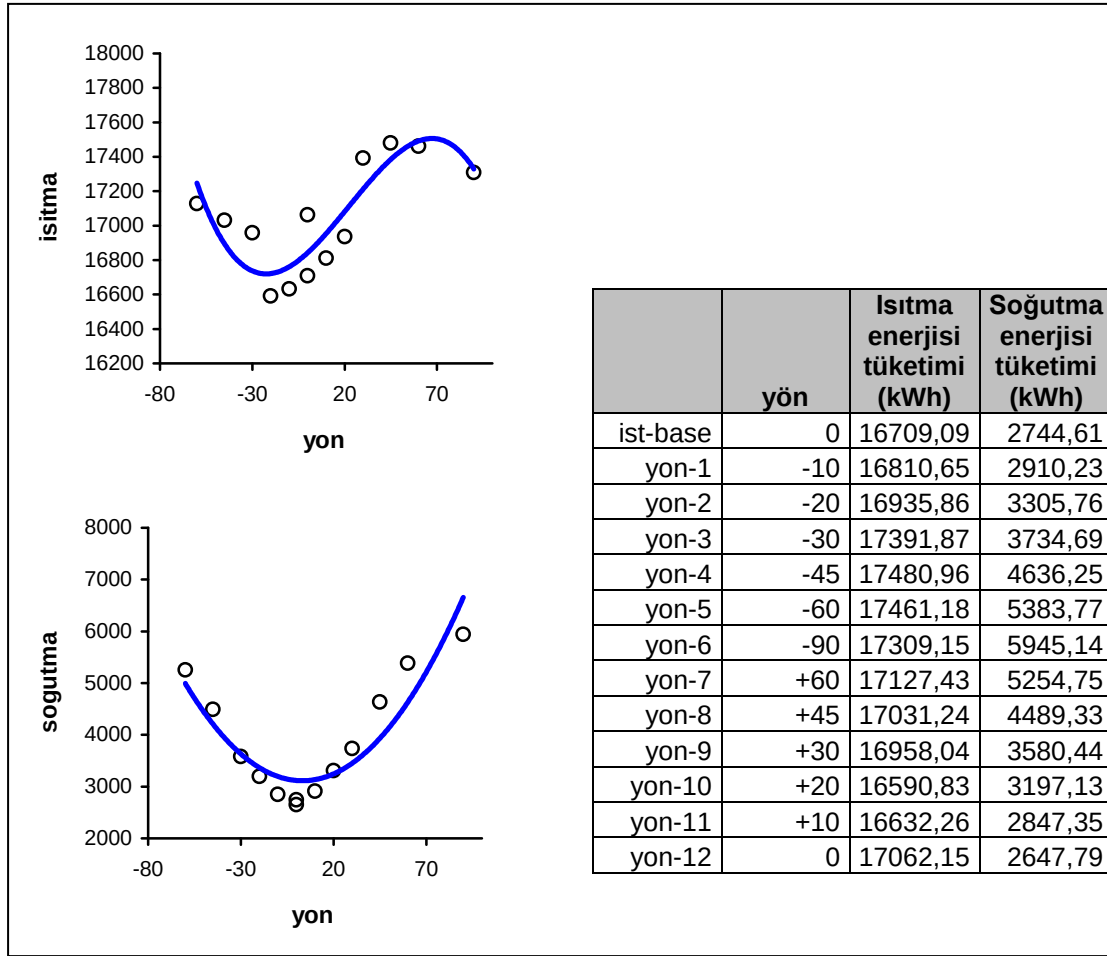


(d)

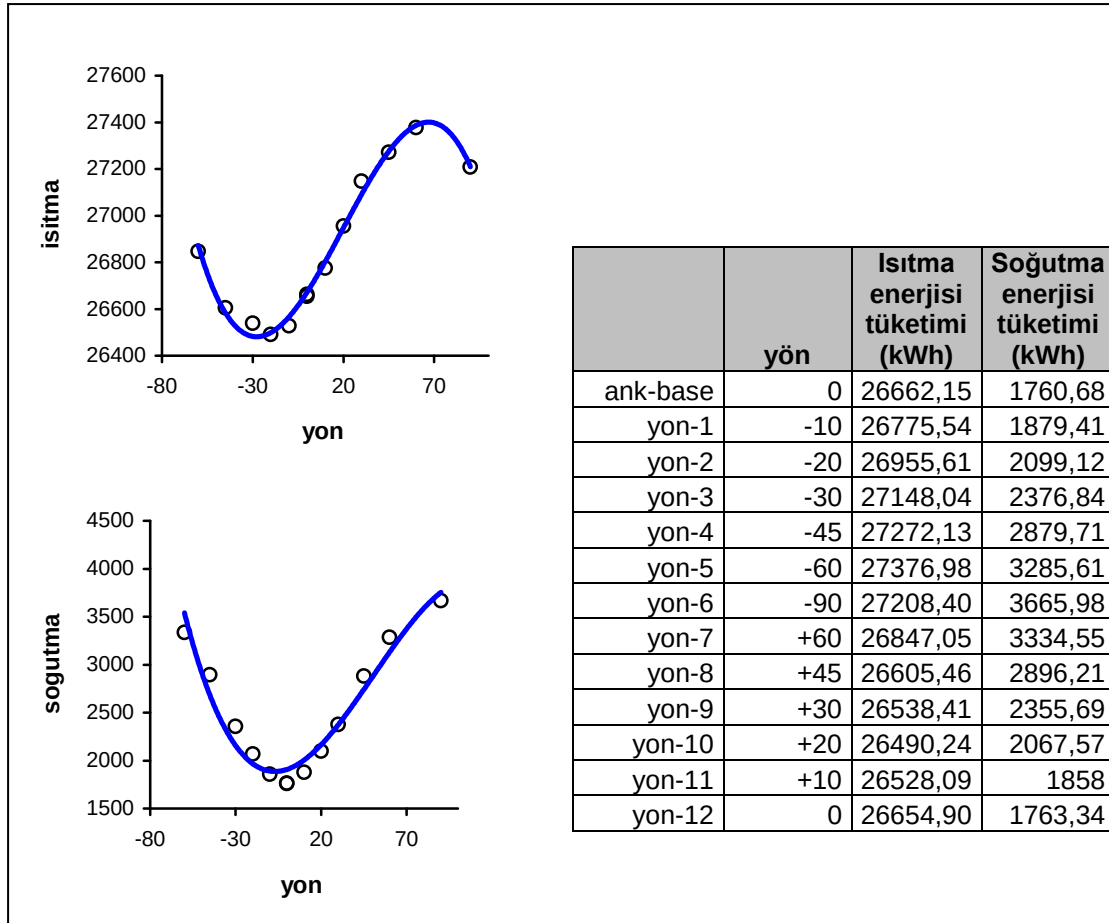
Şekil 3.14. (Devam) Dört derece gün bölgesinde, hava değişimi oranındaki artışa bağlı soğutma enerjisi tüketimlerdeki değişim eğrileri d) 4.Bölge (Erzurum) [56].



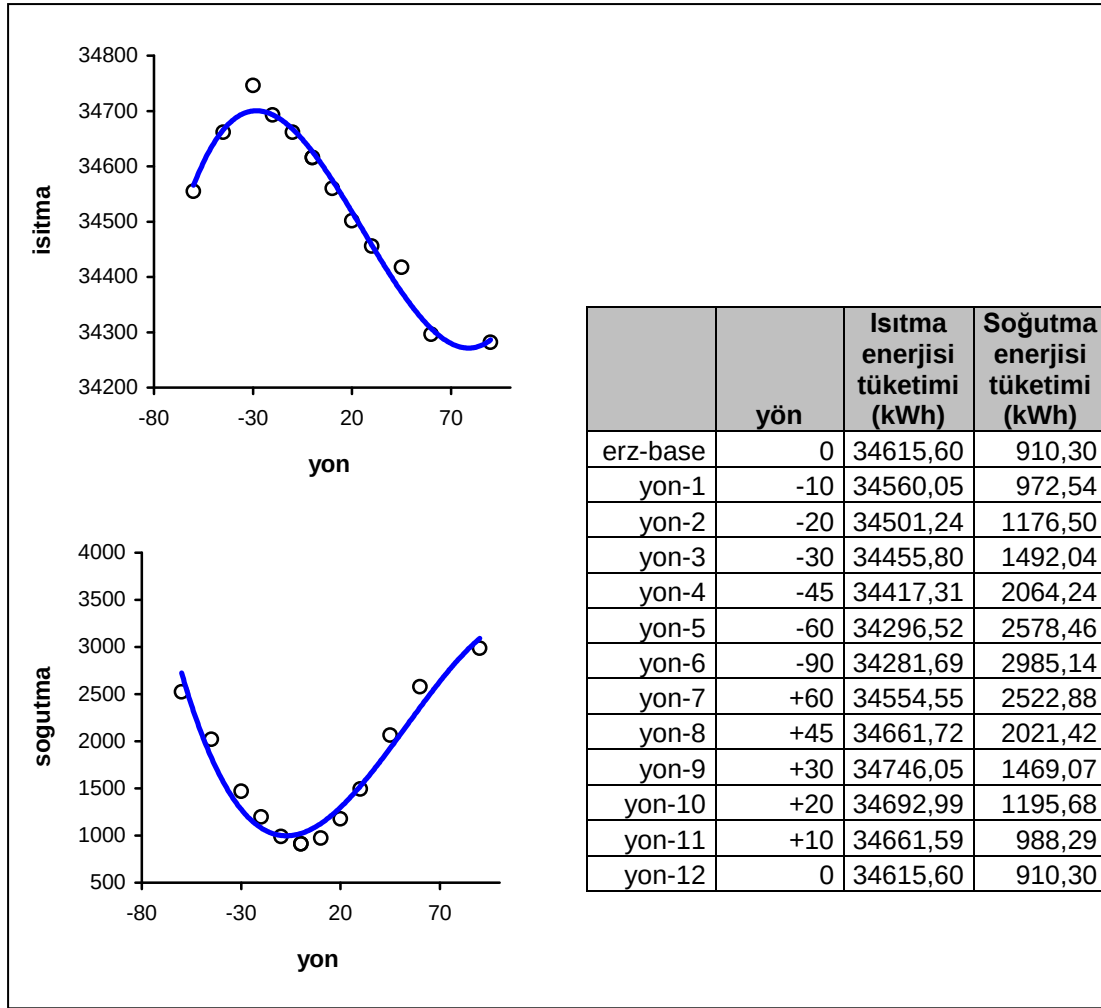
Şekil 3.15. Birinci derece gün bölgesinde (Antalya) yönlenmedeki (azimut açısı) değişime bağlı ısıtma enerjisi tüketimi ve soğutma enerjisi tüketim değerleri çizelgesi ve değişim eğrileri.



Şekil 3.16. İkinci derece gün bölgesinde (İstanbul) yönlenmedeki (azimut açısı) değişime bağlı ısıtma enerjisi tüketimi ve soğutma enerjisi tüketim değerleri çizelgesi ve değişim eğrileri.



Şekil 3.17. Üçüncü derece gün bölgesinde (Ankara) yönlenmedeki (azimut açısı) değişime bağlı ısıtma enerjisi tüketimi ve soğutma enerjisi tüketim değerleri çizelgesi ve değişim eğrileri.



Şekil 3.18. Dördüncü derece gün bölgesinde (Erzurum), yönlenmedeki (azimut açısı) değişime bağlı ısıtma enerjisi tüketimi ve soğutma enerjisi tüketimlerdeki değişim eğrileri.

Birinci derece fonksiyon ile tanımlanabilen regresyon doğrusunun eğimi ile belirlenen ve ısıtma enerjisi tüketimi ile soğutma enerjisi tüketimi ilişkisi ayrı ayrı belirtilen *etki katsayıları* Çizelge 3.24'de verilmektedir. Bu katsayıların büyüklüğü, o parametrenin ilgili enerji tüketimi üzerindeki etkisini göstermektedir. Bağımsız değişken olarak ele alınan herhangi bir parametreye ait denenen değer artışı ile enerji tüketimi de artmaktaysa, etki katsayısı pozitif (+) değer almakta, aynı koşulda enerji tüketiminin azalmasıyla ise, etki katsayısı negatif (-) değerde elde edilmektedir.

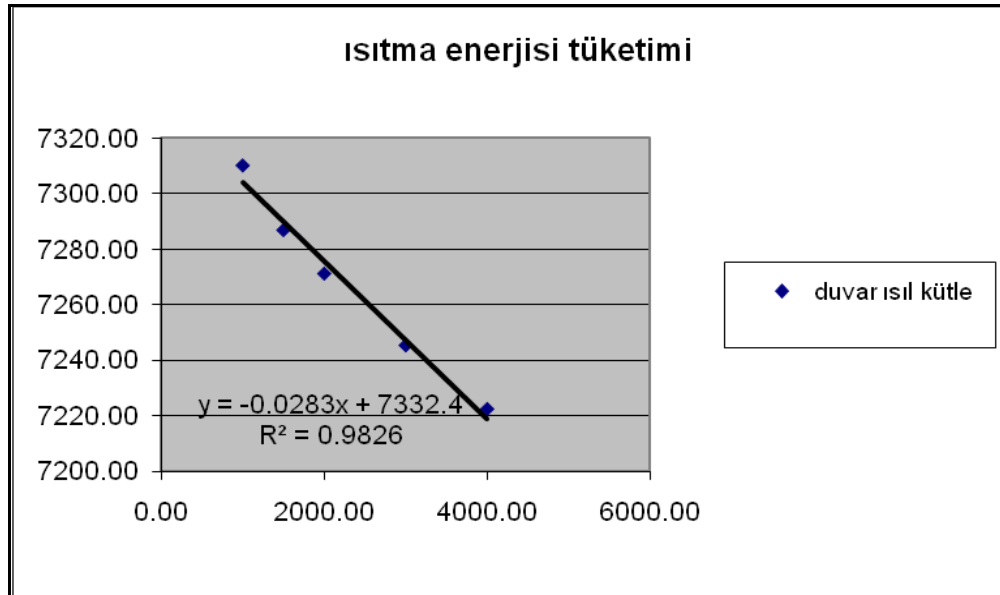
Çizelge 3.24. Parametrelere ve değişen değerlere göre oluşturulmuş modellere göre derece gün bölgeleri bazında, regresyon analizi sonucunda elde edilen ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimleri etki katsayıları

		1. bölge		2. bölge		3. bölge		4. bölge	
		Isıtma enerjisi tüketimi EK	Soğutma enerjisi tüketimi EK	Isıtma enerjisi tüketimi EK	Soğutma enerjisi tüketimi EK	Isıtma enerjisi tüketimi EK	Soğutma enerjisi tüketimi EK	Isıtma enerjisi tüketimi EK	Soğutma enerjisi tüketimi EK
Kabuk Bileşenlerinin ısı Geçirme Katsayısı (U-değeri)	Duvar	2236,4720	416,7226	5314,6676	-350,5298	8975,3956	-600,1260	12946,4266	-434,7003
	Döşeme	6079,0770	-7680,6775	8201,2742	-3846,6537	9571,8679	-2039,5625	10776,4743	-976,1590
	Çatı	2842,8332	2130,5525	7362,7918	475,7201	12287,2972	83,4683	18376,7107	-103,5972
Kabuk şeffaf yüzey optik ve termofiziksel özellikleri	yüzey oranı	-6618,4295	10872,1459	-4301,9580	6445,1019	-4475,3198	4929,4005	-4870,1336	3006,8297
	U-değeri	713,6182	-86,4840	1552,1359	-243,8151	2356,0008	-235,0685	3496,8770	-163,9201
	GTG değeri	-8482,5930	6734,3256	-9494,1282	4151,9438	-12090,6970	2948,2008	-16158,0482	1585,0239
Isıl kütle kapasitesi ve konumu	Duvar	<i>Polinomal 0,02833*</i>	<i>Polinomal -0,01412*</i>	-0,0290	-0,0237	-0,0264	-0,0231	-0,0318	-0,0200
	Döşeme	-0,1251	-0,0874	-0,1449	-0,0849	-0,1396	-0,0905	-0,1398	-0,0632
Mekana ait boyutsal özellikler	Derinlik	1433,5579	-372,2324	2543,0858	-410,4402	3693,3317	-346,4807	4690,5116	-247,3954
	Yükseklik	2299,1329	487,3457	4824,8414	-277,5657	7790,0371	-390,6957	10152,6357	-293,1443
Hava değişimi oranı		5724,8933	<i>Polinomal 483*</i>	11964,9452	<i>Polinomal -296*</i>	20318,3497	<i>Polinomal -333*</i>	27589,0699	<i>Polinomal -268*</i>
Kullanıcı yoğunluğu		-141,1322	558,7441	-285,0912	435,8693	-395,4800	383,5876	-449,3274	334,9315
Yönlenme		<i>polinomal</i>	<i>polinomal</i>	<i>polinomal</i>	<i>polinomal</i>	<i>polinomal</i>	<i>polinomal</i>	<i>polinomal</i>	<i>polinomal</i>

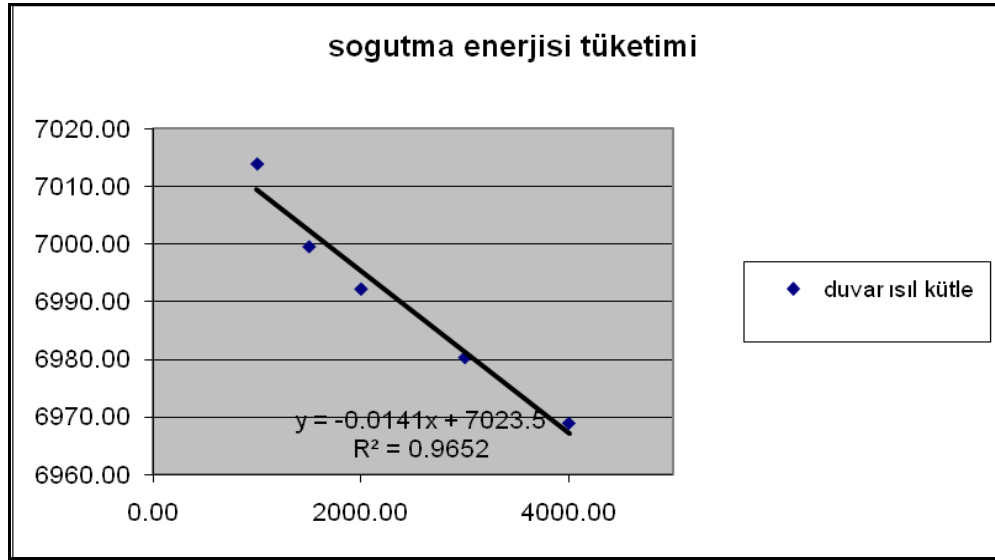
* Düzeltilmiş değer

Regresyon analizi ile elde edilen etki katsayıları, derece gün bölgeleri bazında toplam enerji tüketimlerine göre denenen parametrelerin ağırlık faktörlerini belirlemek için kullanılmaktadır. Bu nedenle, Çizelge 3.24’de “*Polinomal*” olarak belirtilen, ikincil fonksiyon eğrilerinde denenen değerlere göre belirli düzeltmeler yapmak zorunluluğu doğmuştur.

1. Derece gün bölgesi için duvarda yer alan ısıl kütle değeri en az 1000 J/kgK ile en fazla 4000 J/kgK arasında kabul edilerek ısıtma enerjisi tüketimi için birinci derece fonksiyona dayalı ilişki belirlenmiş, R^2 değeri 0,98 olup, etki katsayısı -0,02833 olarak saptanmıştır (Şekil 3.19). Soğutma enerjisi tüketimi için ise R^2 değeri 0,97, etki katsayısı ise -0,01412 olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.20).



Şekil 3.19. Duvarda yer alan ısıl kütle ile ısıtma enerjisi tüketimi arasındaki doğrusal ilişki

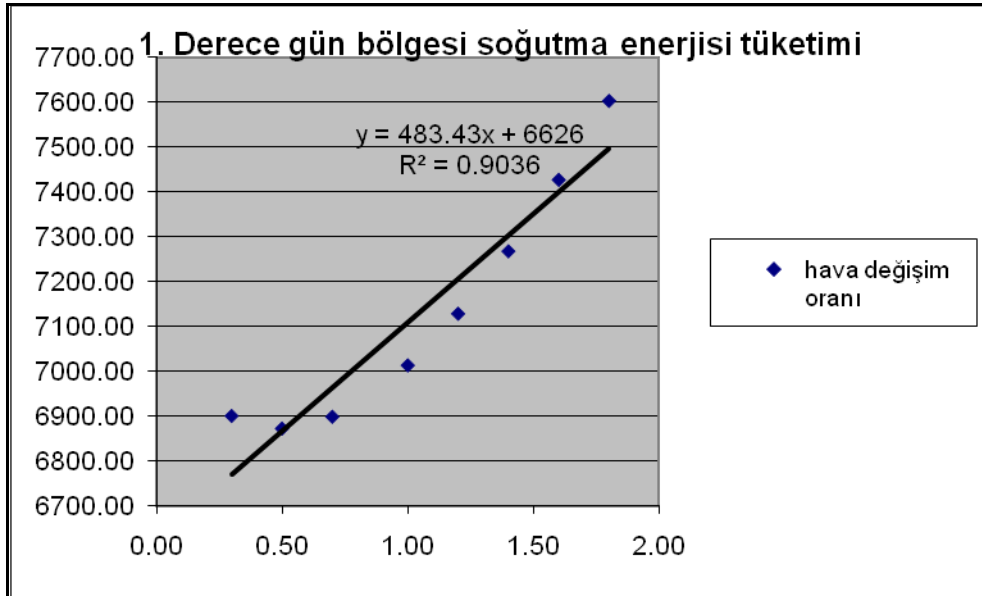


Şekil 3.20. Duvarda yer alan ısıt kütle ile soğutma enerjisi tüketimi arasındaki doğrusal ilişki.

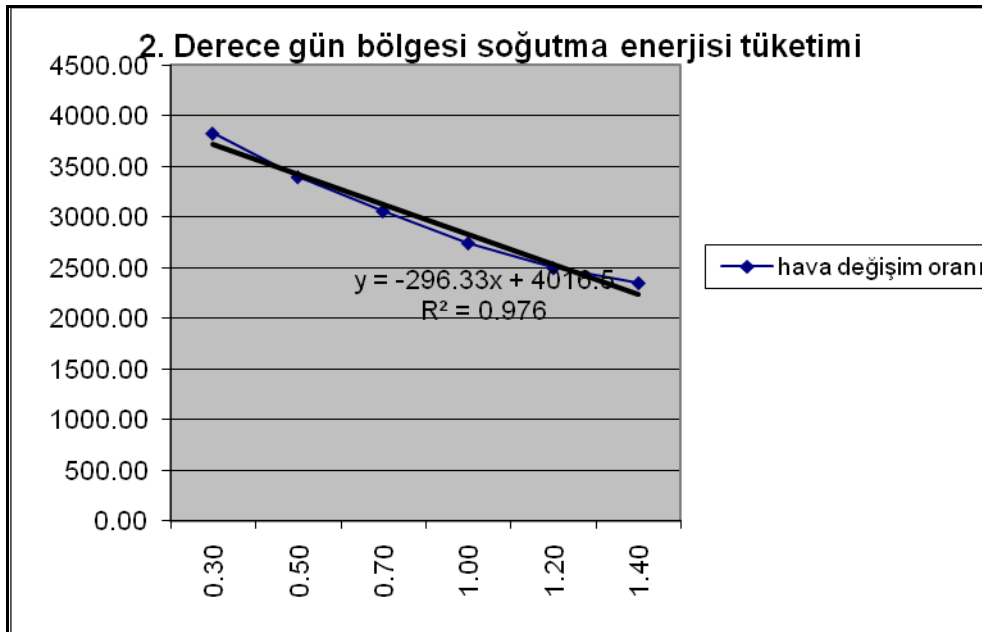
Bölgelere göre soğutma enerjisi tüketimi ile hava değişim oranları arasındaki ilişki de yeniden düzenlenerek, değer aralıkları, doğrusal ilişkiye olanak tanıyacak şekilde belirlenmiş, Çizelge 3.25'deki sonuçlar değerlendirme kapsamına alınmıştır. Verilere ait grafik sonuçlar Şekil 3.21 (a.b.c.d.)'da sunulmuştur.

Çizelge 3.25. İklim bölgelerine göre, soğutma enerjisi tüketimi ile hava değişim oranı arasındaki doğrusal ilişkiyi belirleyen değerler listesi.

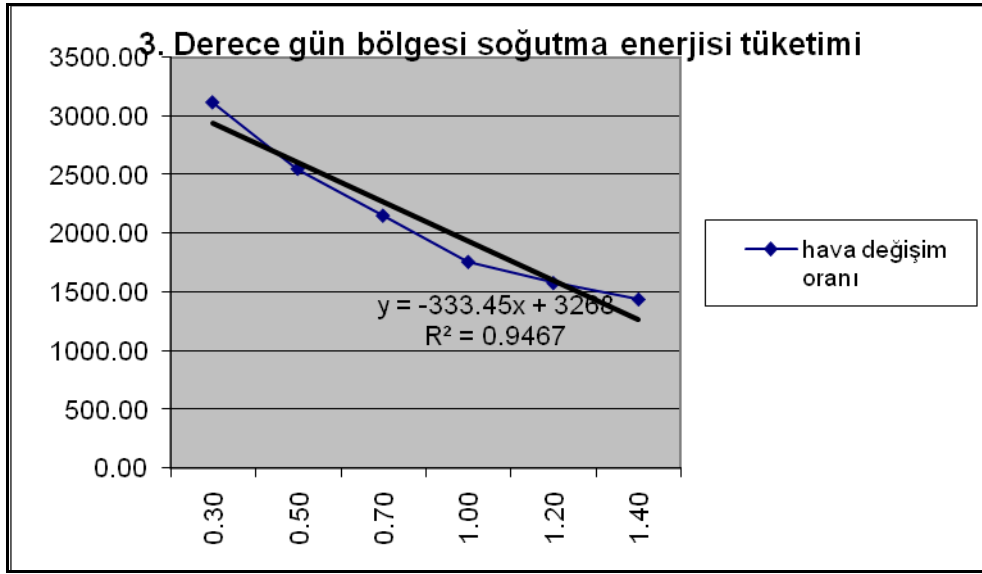
	1.DGB		2.DGB		3.DGB		4.DGB	
Hava değişim oranı (ACH)	Değer aralığı min.0,3 –max1,8 olarak alınmıştır.		Değer aralığı min.0,3-max1,4 olarak alınmıştır.		Değer aralığı min.0,3-max1,4 olarak alınmıştır.		Değer aralığı min.0,3-max1,4 olarak alınmıştır.	
	R ² : 0,90	EK: 483	R ² : 0,97	EK: -296	R ² : 0,94	EK: -333	R ² : 0,91	EK: -268



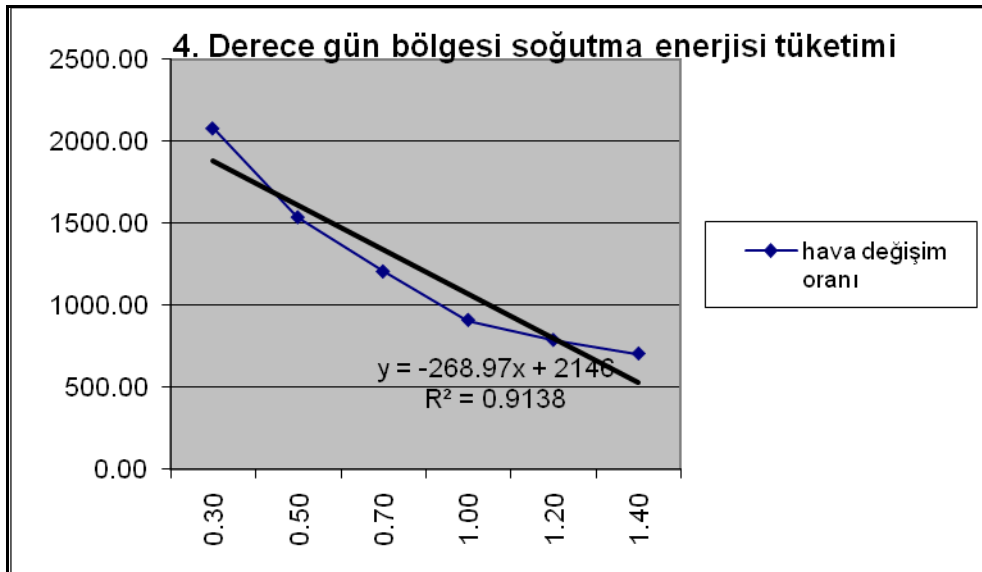
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.21. İklim bölgelerine göre, soğutma enerjisi tüketimi ile hava değişim oranı arasındaki doğrusal ilişkiyi belirleyen grafikler.

Yönlenme ile ilişkili sonuçlar ön değerlendirme çizelgesi için bazı verileri ulaşmayı sağlıyorsa da, tasarım sürecinde etken parametrelerin belirlenme aşamasında, elde edilen sonuçlara bakılmaksızın en etkili parametrelerden biri olarak ele alınmak zorunda olduğu not edilmelidir.

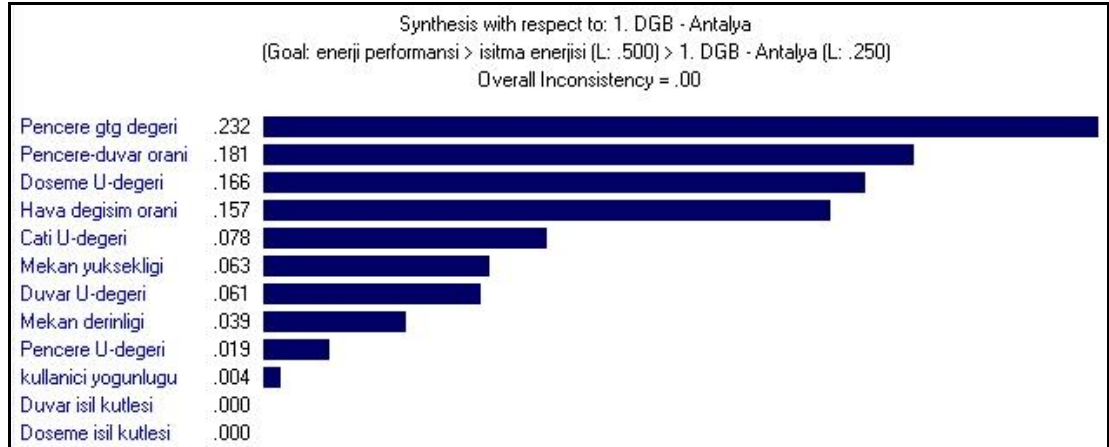
Ağırlık faktörlerinin belirlenmesi

Ağırlık faktörü genel olarak önem sırasının belirlenmesi gerekli olan konularda, önemin (ağırlığın) hangi yön(ler)de olduğunun tanımlanmasına yardımcı olmaktadır. Ağırlık faktörü genellikle yüzde olarak tanımlıdır ve tüm ağırlık faktörlerinin toplamının 100 olması gerekmektedir.

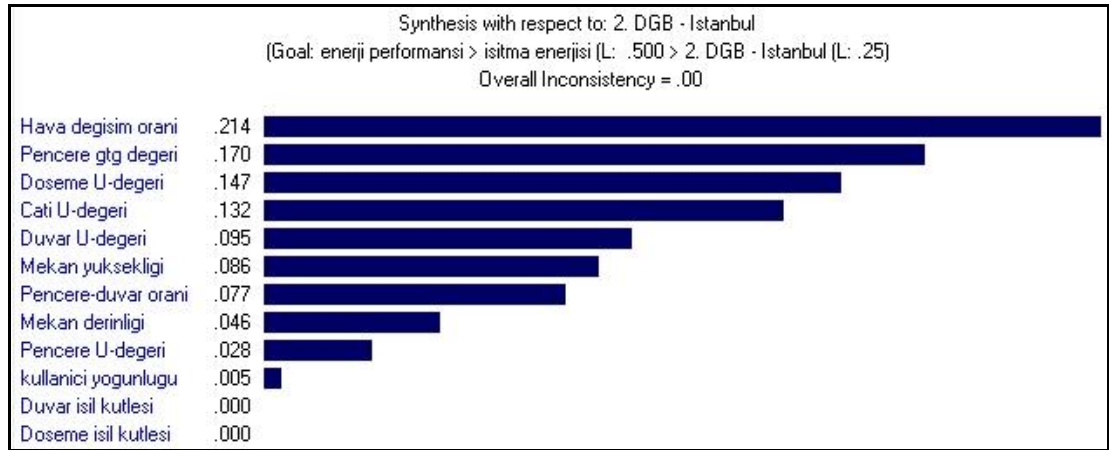
Dört derece gün bölgesi için denenen parametrelerin önem ve önceliğinin belirlenmesinde de ağırlık faktörlerinden yararlanılması düşünülmüştür. Özel hassasiyet analizine dayalı değerlendirme ile ısıtma enerjisi ve soğutma enerjisi tüketimleri üzerinden elde edilen “etki katsayıları” her dört iklim bölgesi için ağırlık faktörlerine dönüştürülmüştür. Böylece her bölge için baskın tasarım parametreleri ortaya çıkartılacak ve elde edilen sıralamada ağırlığı en yüksek ilk beş parametre bir sonraki aşamada genel hassasiyet analizi için kullanılacaktır.

Etki katsayılarının ağırlık faktörlerine dönüşümü için Expert Choice isimli programdan yararlanılmıştır. Bu program yardımı ile pek çok ölçüt bağlamında alternatifler içinden ağırlıklarına göre seçim yapmak mümkün olmaktadır. Yöntem olarak Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytical Hierarchy Process-AHP) kullanan program ile ısıtma enerjisi ve soğutma enerjisi tüketimleri etki katsayıları ağırlık faktörlerine dönüştürülmüş ve dört derece gün bölgesindeki öncelik sırasına göre listelenmiştir. Isıtma enerjisi tüketimine göre, Şekil 3.22 (a, b, c, d)’de, soğutma enerjisi tüketimine göre Şekil 3.23 (a, b, c, d)’de denenen tasarım parametrelerinin ağırlık faktörlerine göre önem ve öncelik sırası gösterilmektedir.

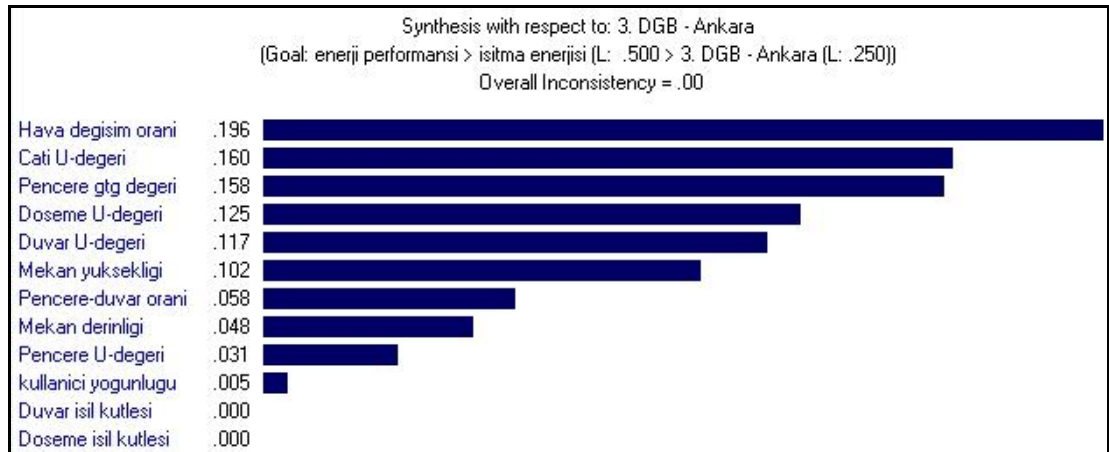
Ağırlık faktörlerine göre her derece gün bölgesi için denenen parametreler içerisinde belirgin öncelik gösteren ilk beş parametreye ait değerler genel hassasiyet analizinde değerlendirmeye alınmaktadır.



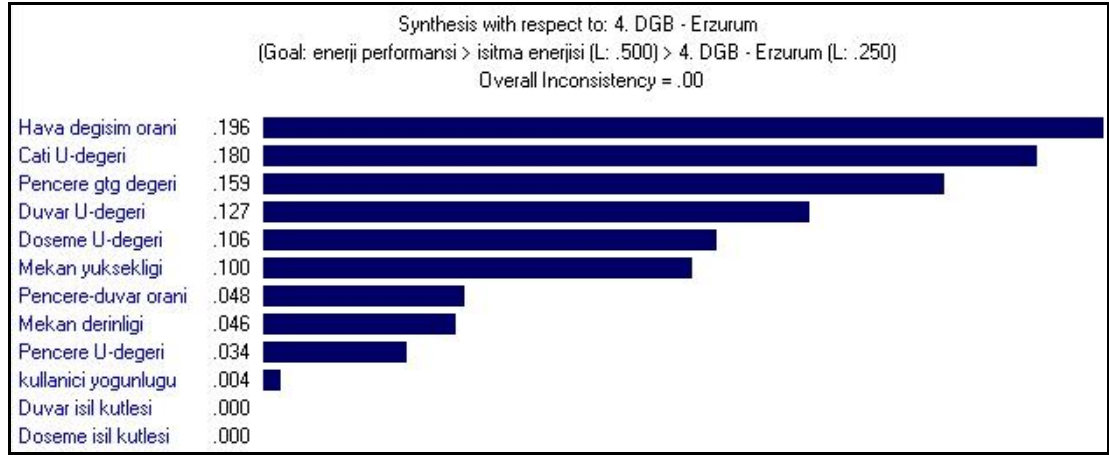
(a)



(b)

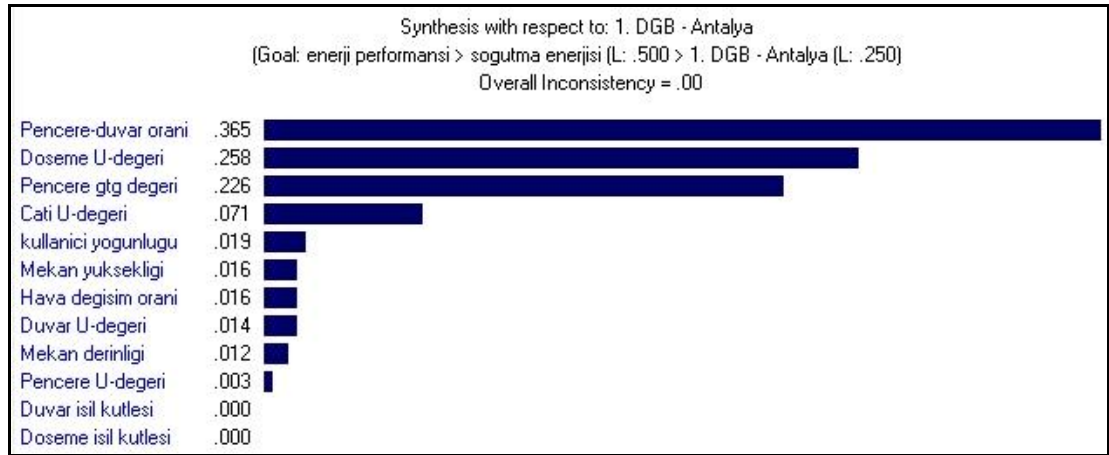


(c)

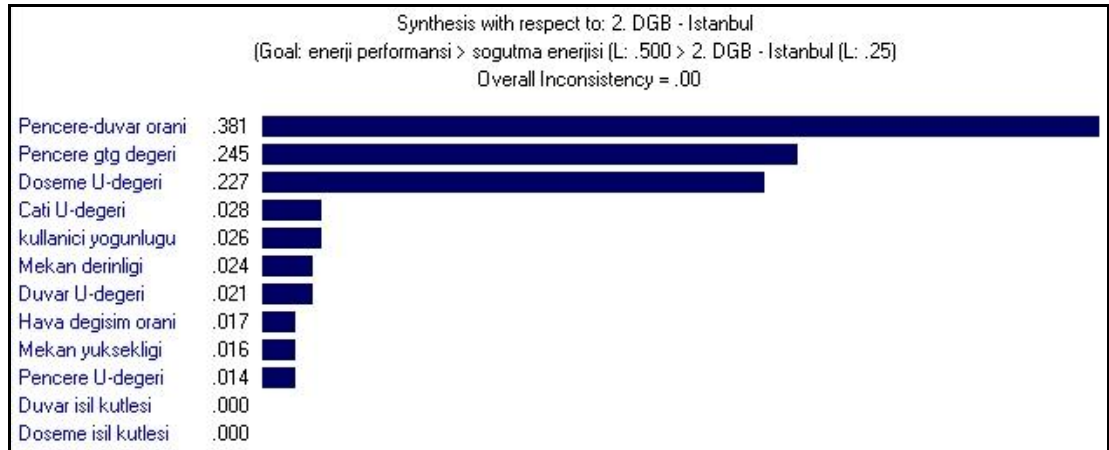


(d)

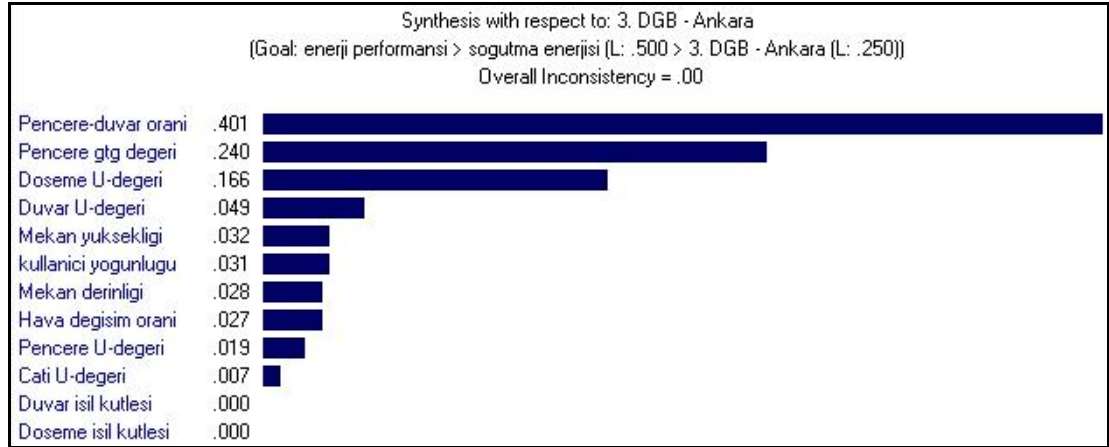
Şekil 3.22. İklim bölgelerine göre ısıtma enerjisi tüketiminde etken parametrelerin öncelik sıralaması, a) Antalya, b) İstanbul, c) Ankara, d) Erzurum.



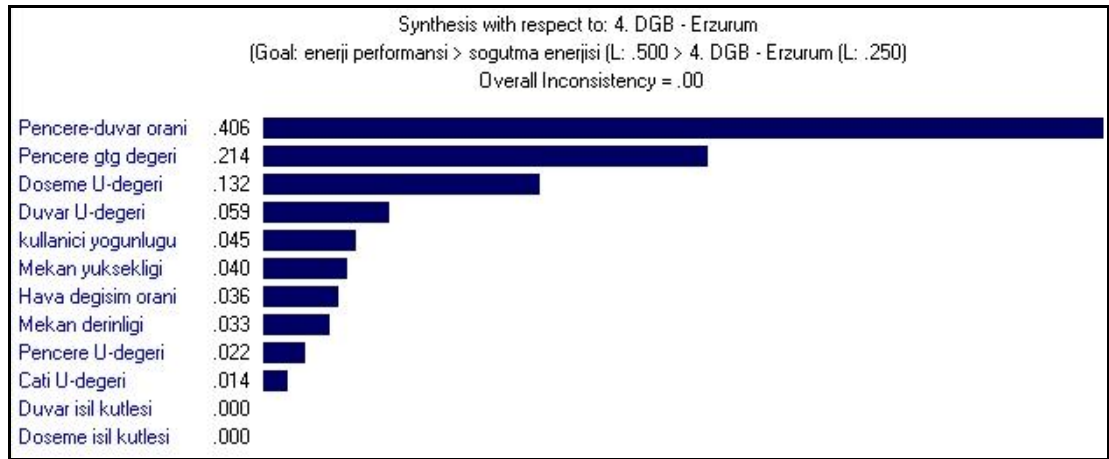
(a)



(b)



(c)



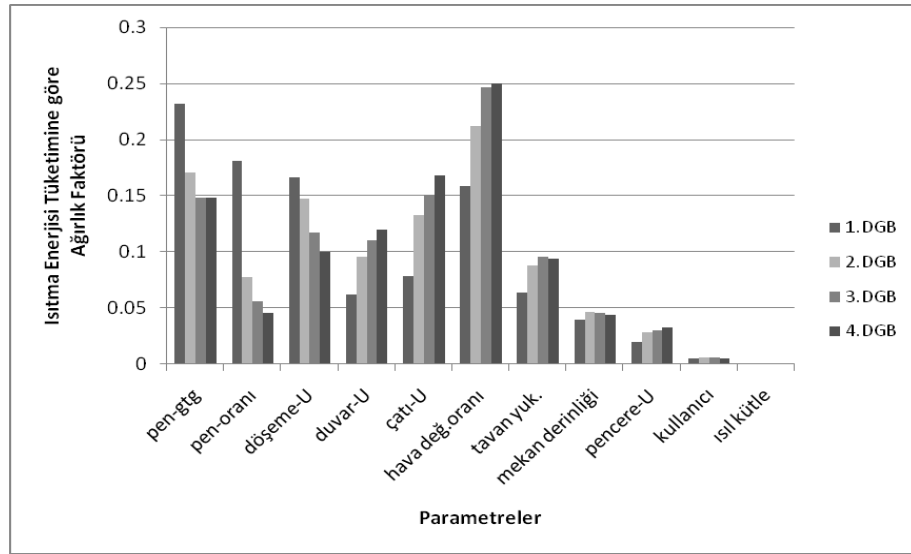
(d)

Şekil 3.23. İklim bölgelerine göre soğutma enerjisi tüketiminde etken parametrelerin öncelik sıralaması, a) Antalya, b) İstanbul, c) Ankara, d) Erzurum.

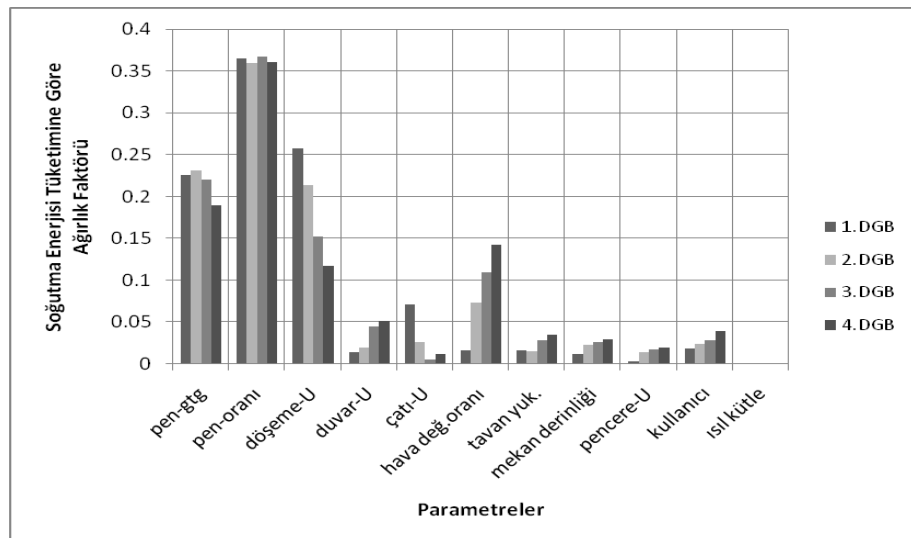
Ancak diğer parametrelerin önem sırasında geri planda yer almaları onların gereksiz veya önemsiz olduğu anlamına gelmemektedir. Tasarımın başından itibaren değerlendirmeye dahil edilmesi gereken öncelikli parametreler ile ilerleyen tasarım, bir sonraki adımda diğer parametrelerin daha hassaslıkla yeniden ele alınmasını gerektirmektedir. Bir başka deyişle parametrelerin bu sıralaması aynı zamanda parametrelerin kademeli değerlendirmesini içermektedir. Enerji tüketiminde büyük değişikliklere neden olan parametreler önce olmak üzere, adım adım her bir parametrenin tasarım performansını iyileştirme etkisi göz önünde bulundurulmak zorundadır.

Dirençli parametrelerin belirlenmesi

OAT yaklaşımına dayalı olarak gerçekleştirilen kısıtlı hassasiyet analizinin sonuçları Şekil 3.24 ve Şekil 3.25’de verilmektedir. Isıtma enerjisi tüketimi ve soğutma enerjisi tüketimi değerlerinin derece gün bölgelerine göre parametreler bazında dağılımları şekillerde gösterilmektedir.



Şekil 3.24. Kısıtlı hassasiyet analizi sonucuna göre ısıtma enerjisi tüketiminin derece gün bölgelerine göre dağılımı [56]



Şekil 3.25. Kısıtlı hassasiyet analizi sonucuna göre soğutma enerjisi tüketiminin derece gün bölgelerine göre dağılımı

Bu sonuçlara göre, genelde ısı kazançlarını etkileyen parametreler (pencere/duvar oranı ve camların güneş ışınlamı toplam geçirgenlik değeri) ile enerji korunumu sağlayan parametreler (kabuk U-değerleri ve hava değişimi oranları) enerji tüketimi değerlerinde yüksek oranda etki eden, en hassas parametreler olarak sıralanabilir. Göreli olarak bakıldığında, mekana ait boyutsal özellikler, ısı kütlesi ve hatta içsel kazançlar daha dirençli parametreler olarak kabul edilebilir.

Bu doğrultuda, elde edilen ilk sonuçlara bağlı olarak parametrelerin derece gün bölgelerine göre, ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimleri bağlamında öncelik sıralaması Çizelge 3.26'de verilmektedir.

Çizelge 3.26. Her bir derece gün bölgesine ait öncelik sıralaması [56]

ÖNCELİK SIRALAMASI		1. DGB		2. DGB		3. DGB		4. DGB	
		ısıtma	soğutma	ısıtma	soğutma	ısıtma	soğutma	ısıtma	soğutma
1.	Pen-gtg	Pen-oranı		Hava değ. oranı	Pen oranı	Hava değ. oranı	Pen oranı	Hava değ. oranı	Pen oranı
2.	Pen oranı	Döşeme U-değeri		Pen-gtg	Pen-gtg	Çatı U-değeri	Pen-gtg	Çatı U-değeri	Pen-gtg
3.	Döşeme U-değeri	Pen-gtg		Döşeme U-değeri	Döşeme U-değeri	Pen-gtg	Döşeme U-değeri	Pen-gtg	Hava değ. oranı
4.	Hava değ. oranı	Çatı U-değeri		Çatı U-değeri	Hava değ. oranı	Döşeme U-değeri	Hava değ. oranı	Duvar U-değeri	Döşeme U-değeri
5.	Çatı U-değeri	kullanıcı		Duvar U-değeri	Çatı U-değeri	Duvar U-değeri	Duvar U-değeri	Döşeme U-değeri	Duvar U-değeri

Derece gün bölgelerinin Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün [58] verilerine dayalı olarak belirlenen ısıtma dönemleri Çizelge 3.27'de verilmektedir.

Çizelge 3.27. Dört derece gün bölgesi ısıtma dönemleri

	1.DDR	2.DDR	3.DDR	4.DDR
Isıtma Dönemi	6 ay	7 ay	8 ay	10 ay

Bu bilgilere dayalı olarak, özellikle bölgelerin ısıtma dönemi uzunluğu göz önünde bulundurulduğunda, ısıtma enerjisi tüketimine dayalı öncelik listesi genel hassasiyet analizi parametrelerinin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Bununla beraber, soğutma enerjisi tüketimi tamamen yok sayılamaz. Bu

nedenle soğutma enerjisi tüketiminde ağırlık faktörü her dört derece gün bölgesi için de ilk sırada yer alan “pencere-duvar oranı” parametresi de genel hassasiyet analizinde değerlendirilmesi gereken bir parametre olarak belirlenmiştir. Böylece genel hassasiyet analizinde kullanılmak üzere belirlenen parametreler aşağıda sıralanmaktadır:

- Cam güneş ışınlamı toplam geçirgenlik değeri (pen-gtg)
- Döşeme R değeri
- Çatı R değeri
- Duvar R değeri
- Hava değişimi oranı
- Pencere – duvar oranı

3.5.2. Kapsamlı hassasiyet analizi sonuçları

Kapsamlı hassasiyet analizini gerçekleştirebilmek için SimLab 2.2 [58] programından yararlanılmıştır. Program, hassasiyet analizi ve belirsizlik analizi yapabilmek üzere hazırlanmış profesyonel bir araçtır. Amacı belirsizlik ve hassasiyet analizinin öğrenilmesini ve kullanımını sağlamaktır. Bu nedenle Avrupa komisyonu “Unit of Econometrics and Applied Statistics of the Joint Research Centre” tarafından ticari olmayan kullanıma açık lisanslı olarak internet ortamından indirilebilmektedir.

SimLab 2.2 programı, Monte Carlo (MC) yöntemine dayalı analiz gerçekleştirmektedir. Monte Carlo yöntemi ile hassasiyet analizi probabilistik olarak seçilen model girdileri ile çoklu model değerlendirmelerini gerçekleştirmeye dayalıdır ve bu değerlendirmenin sonuçlarını; 1) model tahminlerindeki belirsizliğin belirlenmesi için ve 2) bu belirsizliği artıran girdi değişkenlerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Genel olarak Monte Carlo analizi beş basamaktan oluşmaktadır.

Birinci basamakta her bir girdi değişkeni (girdi faktörü) için bir aralık ve dağılım tanımlanmaktadır. Bu tanımlama, bir sonraki adımda girdi faktörlerinden oluşturulacak örneklemin üretilmesi için kullanılmaktadır. İkinci basamakta, birinci basamakta belirlenmiş girdilerin dağılımdan elde edilen noktalar örneklemini oluşturulmaktadır. Bu basamaktan elde edilen sonuç, örneklem elemanlarının dizilimidir. Üçüncü basamakta, model örneklem elemanları ile beslenmekte ve bir dizi model çıktısı üretilmektedir. Temelde, bu model değerlendirmeleri girdi kümesinden sonuç kümesine bir eşleştirme sağlamaktadır. Bu eşleştirme, daha sonraki belirsizlik ve hassasiyet analizi için temel oluşturmaktadır. Dördüncü adımda, model değerlendirmelerinin sonuçları belirsizlik analizi için temel olarak kullanılmaktadır. Belirsizliği nitelendirmek için bir yolun, ortalama değer ve değişken olduğu söylenebilir. Diğer model çıktı istatistikleri de elde edilebilir. Beşinci ve son basamakta, model değerlendirmelerinin sonuçları hassasiyet analizi için temel oluşturmak üzere kullanılmaktadır.

SimLab 2.2 programı üç modül olarak hazırlanmıştır ve bu modüller yukarıdaki beş adımı içermektedir. 1. Modül “İstatistiksel Ön-İşlemci (The Statistical Pre Processor)” birinci ve ikinci basamakları; 2. Modül, “Model Düzenleme (Model Execution)” üçüncü adımı ve son olarak 3. Modül “İstatistiksel Son-İşlemci (The Statistical Post Processor)” de dördüncü ve beşinci adımı içermektedir [59].

Bu çalışma çerçevesinde SimLab 2.2 programının modülleri bağlamında Monte Carlo yöntemine dayalı analizin nasıl gerçekleştirildiği adım adım aşağıda aktarılmaktadır:

1. Modül: İstatistiksel Ön-İşlemci

Bu modüle örneklem üretimi için gerekli olan bilgiler girilmekte ve örneklem kümesi elde edilmektedir. Genel hassasiyet analizi için yukarıda listelenen parametrelerin en yüksek ve en düşük değerleri, Çizelge 3.24’de

verilmektedir. Özel hassasiyet analizi sırasında ve öncelik sıralamasında duvar, döşeme ve çatı konstrüksiyonlarının ısı geçirgenlik katsayıları (U-değeri) değerlendirilmiş olmasına rağmen, genel hassasiyet analizinde girdi kolaylığı sağlaması açısından ısı yalıtımının kalınlığı değiştirilerek kabuk ısı aktarım direnci (R-değeri) çeşitlendirilmiştir. Bu nedenle Çizelge 3.28’de döşeme, duvar ve çatıya ait değerler R-değeri olarak belirtilmiştir.

Çizelge 3.28. Genel hassasiyet analizi için kullanılan parametrelerin en yüksek ve en düşük değerleri.

Parametreler	En düşük	En yüksek	σ (std sapma)	μ (ortalama)
Pen-gtg	0,15	0,76	0,22	0,42
Döşeme-R	0,84 m ² C°/W	3,12 m ² C°/W	2,51	5,92
Çatı-R	0,84 m ² C°/W	4,54 m ² C°/W	4,4	8,4
Duvar-R	1,35 m ² C°/W	3,03 m ² C°/W	1,96	4
Hava değişim oranı	0,30 ACH	1,40 ACH	0,39	0,85
Pencere oranı	%10	%80	0,23	0,42

Monte Carlo analizi ile örneklem listesi oluşturabilmek için seçilen değerlerin ortalamasına (μ) ve standart sapmasına (σ) ihtiyaç vardır. Bu bilgiler de Çizelge 3.28’de verilmektedir.

Bu parametrelerin belirtilen değerleri bağlamında elde edilecek örneklem üretimi için program tarafından birkaç farklı yöntem listelenmektedir (Morris yöntemi, Rastgele örneklem yöntemi veya Latin Hypercube örneklem yöntemi gibi.) Bu konu ile ilgili çeşitli referanslara bakıldığında [59] çoğunlukla Latin Hypercube örneklem yönteminin öne çıktığı görülmektedir. Latin Hypercube örneklem, rastgele örneklemden farklı olarak, genellikle eşit dağılım istendiği ve bileşenlerin eşit düzeyde temsil edilmesi istenen durumlar için kullanılmaktadır. Bu çalışmadaki beklentiye uygun olduğu düşünülen bu örneklem yöntemi ile her dört iklim bölgesi için de kullanılmak üzere elde edilen 50 örnekleme ait veri değerleri listesi Ek-3’de sunulmuştur.

2. Modül: Model düzenleme

Örnekleme ait değerler listesine bağlı olarak üretilen 50 farklı model, Esp-r programı ile simüle edilmiş ve ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimlerine ait sonuçlar bir Excel dosyasında toplanmıştır. Simlab 2.2 programı ile örneklem listesi ile sonuçlar arasında bir eşleştirme gerçekleştirilmiştir.

Monte Carlo yöntemi kullanıldığında, örneklemin model üzerindeki dağılımı analiz girdilerinden analiz sonuçlarına şöyle bir eşleştirme gerçekleştirir:

$$[y_i, x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}], i = 1, \dots, m, \quad (3.5)$$

n , bağımsız faktörlerin sayısı
 m , örneklem sayısı

3. Modül: İstatistiksel Son-İşlemci

Bu eşleştirme bir kez oluşturulduğunda, tekil girdi değişkenlerine göre modellerin hassasiyetini belirlemek için SimLab 2.2 çeşitli yollar sunmaktadır. Bu yollar çeşitli hassasiyet analizi teknikleridir ve bu çalışmada bunlardan ikisi, scatter plots ve regresyon analizi için PEAR (Pearson product moment correlation coefficient) kullanılmaktadır.

Scatter plot oluşturulması, hassasiyet analizi tekniklerinin en kolay yöntemi olarak görülmektedir. Bu yaklaşıma göre her bir bağımsız değişken x_i için (x_{ij}, y_j), $i = 1, \dots, m$, noktalarının belirlenmesini içermektedir. Scatter plots model girdisi ile modeller arasındaki ilişkiyi açığa çıkarmak için, özellikle bir ya da iki girdi analiz sonuçları üzerinde baskın ise kullanılır. Hatta, doğrusal olmayan ilişkileri, eşik değerleri ve değişken ilişkilerini model davranışı anlayışını kolaylaştırarak ortaya çıkarmaktadır.

Bu çalışma için yapılan scatter plot analizine ait grafikler EK-4'de verilmektedir. Isıtma enerjisi tüketimi ve soğutma enerjisi tüketimi ile bazı

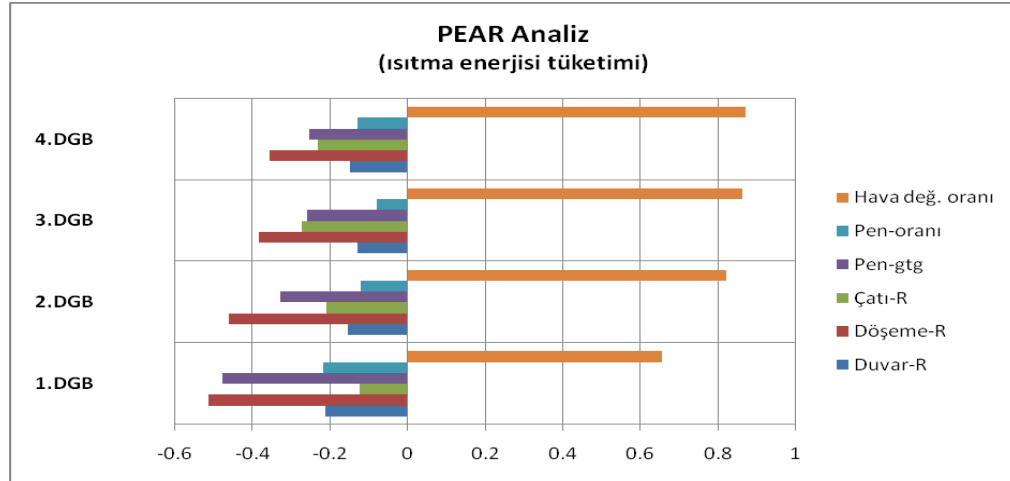
parametreler arasındaki ilişkinin derece gün bölgelerindeki etkisi bu grafiklerde açığa çıkmaktadır.

Scatter plot grafikleri doğrudan ilişkiler konusunda ipuçları taşıyor olsa da, her parametrenin eşit temsil edildiği bu yöntemde bazı parametreler ile sonuçları arasındaki ilişki ifadesini netleştirmeyi zorlaştırmaktadır.

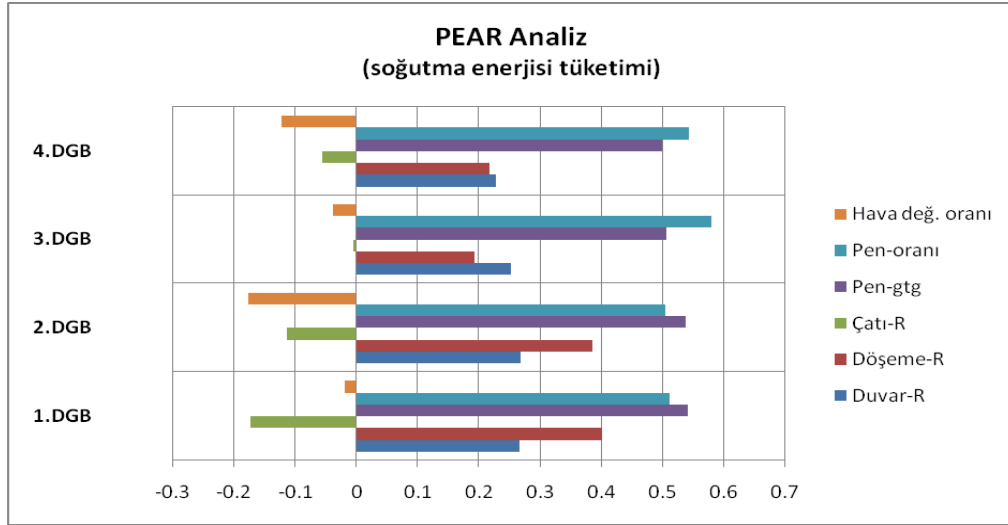
Bir başka analiz yöntemi olan PEAR analiz ile yapılan değerlendirmede ise lineer korelasyon katsayısı,

$$x_{ij}, y_i \quad (i = 1, \dots, m) \quad (3.6)$$

ile hesaplanmaktadır. Dört derece gün bölgesine göre parametrelerin ısıtma enerjisi tüketimi bağlamında PEAR analiz sonuçlarına ait grafiği Şekil 3.26'de ve soğutma enerjisi tüketimi bağlamında PEAR analiz sonuçları ise Şekil 3.30'de verilmektedir. Bu değerler aynı zamanda her dört derece gün bölgesi için parametrelerin önem sırasını göstermektedir.



Şekil 3.26. İklim bölgelerine göre ısıtma enerjisi tüketimi PEAR analiz sonuçları grafiği.



Şekil 3.27. İklim bölgelerine göre soğutma enerjisi tüketimi PEAR analiz sonuçları grafiği.

Grafiklerdeki x-ekseni korelasyon katsayısını, bir başka deyişle etki katsayısını (EK) göstermektedir. EK değeri pozitif ise bu, parametre değeri ile sonuç arasında doğru orantılı bir ilişki olduğunu gösterir: örneğin pencere-duvar oranı değeri arttıkça, soğutma enerjisi tüketimi de artıyor demektir. EK değerinin negatif olması halinde ise, parametre değeri ile sonuç arasında ters orantılı bir ilişki var demektir. Örneğin duvar ısı aktarım direnci arttıkça, ısıtma enerjisi tüketimi azalmaktadır.

4. BULGULAR VE HİPOTEZİN SINANMASI

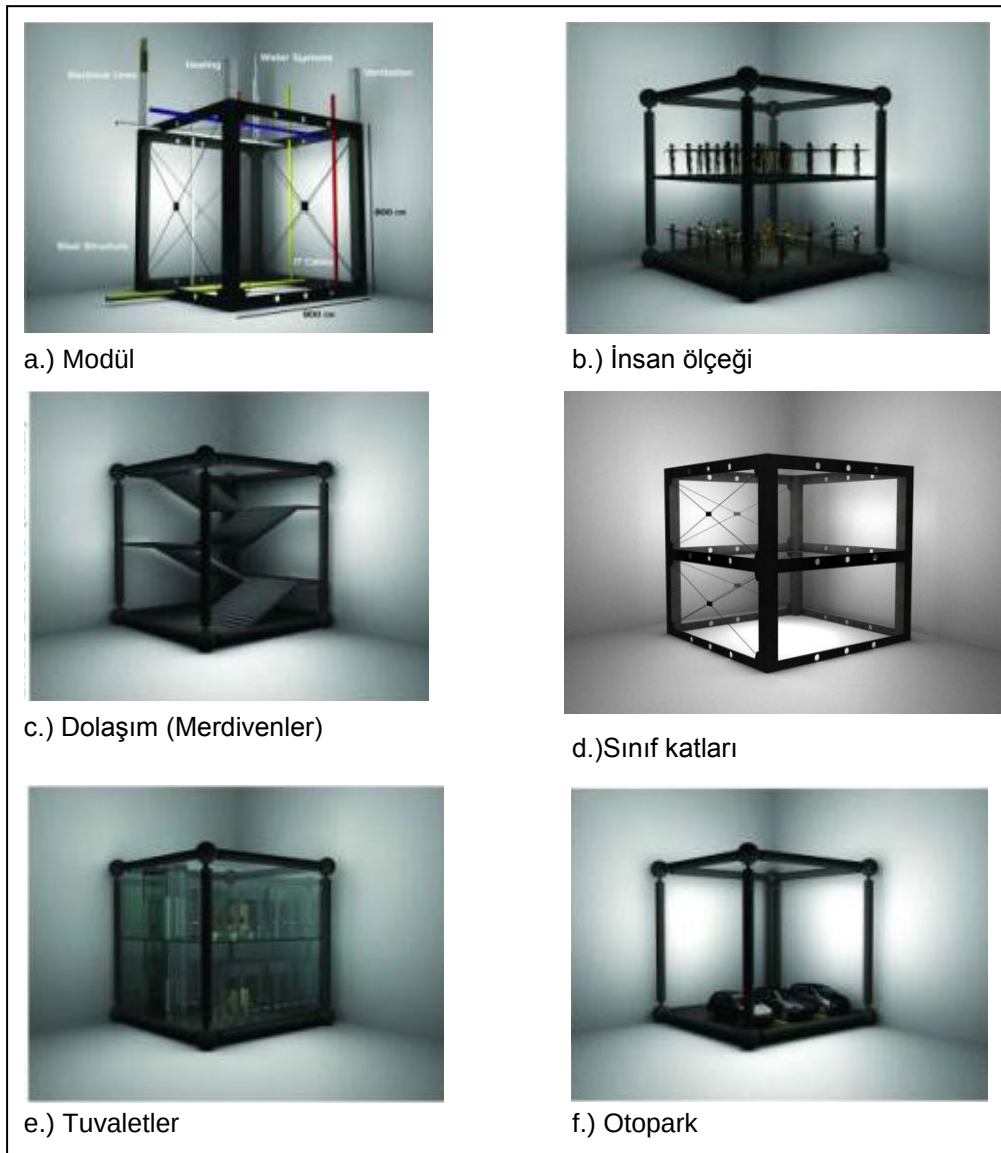
Hassasiyet analizi ile elde edilen sonuçlar, “ısıl olarak dirençli”, esnek yapıda bir okul tasarımı şeması için kavramsal bir öneri sunmak için kullanılacaktır. Yapılan değerlendirmede alışlagelmişin dışında bir yöntem izlenmektedir. Söz konusu olan hassas parametreler olduğunda, genel kanı bu hassas parametrelerin öncelikle en uygun değerinin saptanması ve bunun sabitlenerek, dirençli parametreler ile oynanmasıdır.

Bu çalışmanın çıkış noktasını da oluşturan ilköğretim okul yapılarının Türkiye’deki elde edilmiş biçiminin %98 oranında “tip proje” bağlamında olduğu göz önünde bulundurularak, elde edilen verileri değerlendirme için iki farklı öneri geliştirmek mümkündür. Birincisi, genel kanıya da uygun olarak, tip projenin tamamen ortadan kaldırılması ve her arsa ve iklim koşulu özelinde “özgün” yapı tasarımlarının gerçekleştirilmesinin sağlanmasıdır. Teorik açıdan bakıldığında en doğru çözüm olarak görülebilecek bu yaklaşım, Türkiye gibi gelişmekte olan ve buna bağlı olarak çok hızlı bina elde etme ihtiyacı olan ülkeler için gerçekleştirilmesi güç bir yaklaşımdır. Bu nedenle “tip proje” üretimi kaçınılmaz görünmektedir. Bu noktada, bu çalışma ile alışlagelmişin dışında bir yaklaşım ile “esnek tip proje” üretimi için olasılıklar tartışılmaktadır. Bu nedenle, hassas parametreler değil, dirençli parametreler sabitlenerek, hassas parametrelerin en uygun değeri, yere ve iklime göre yeniden belirlenebilmelidir.

4.1. Dirençli Parametrelere Dayalı Kavramsal Öneri - Modül

Yapılan analizler sonucu elde edilen dirençli parametreler farklı iklim ve arsa koşullarına uyum sağlayacak bir tasarım şeması oluşturabilmek için kullanılmaktadır. Bu koşullar altında hassas parametreler, farklı bölgesel bağlamlara göre dönüştürülmesi gereken girdi verileri olarak değerlendirilmektedir.

Esnek ve değişen koşullara uyum sağlayabilecek kavramsal bir tasarım şeması, aynı zamanda farklı işlevleri de içinde barındırabilecek şekilde dşünlmek zorundadır. Bu çalışmada üretilen 8x8 boyutlarındaki bir “modül” içine gereken tüm ihtiyaçların eklenebildiği 512m³lk bir hacim oluşturmaktadır. Bu hacim, mekan boyutları sabit olmak üzere, değişen işlev beklentilerini karşılayacak şekilde işlenebilmektedir (şekil 4.1) [54, 60].



şekil 4.1. Dirençli parametreler bağlamında elde edilen tasarım modülü ve barındırabileceği çeşitli işlevlerden rnekler.

Burada geliştirilen “modül” kavramı, oldukça basit görünebilir. Ancak bu modül tasarım şemalarının oluşturulabilmesi için kullanılacak bir araç olarak önerilmektedir. Bu nedenle de yeterince basit olmalı ve bir ilköğretim yapısını etkileyebilecek her türlü yaklaşım (kültür, eğitim sistemi, öğretim stratejileri, vb.) bağlamında kolaylıkla işlenebilmelidir. Bu modül ile “en uygun tasarım” çözümü önerisi sunulmadığının altının çizilmesi gerekir. Bu modül sadece bir araç olarak kullanılmak ve değerlendirilen parametreler bağlamında ısı olarak dirençli okul şemaları oluşturmak üzere geliştirilmiştir.

Tasarlanan bu modül bir kez elde edildikten sonra, arsa ve iklim koşullarına göre modül grupları oluşturularak yere uyumlu hale getirilmesi, şeffaf ve opak kabuk bileşenlerinin de yine bölgesel gereklilikler bağlamında tasarlanarak bu modüllere eklenmesi ile çeşitli ön tasarım alternatifleri gerçekleştirilmiş olacaktır. Kabuk bileşenlerinin eklenmesinde, iklim bölgelerinin özel koşulları ile bağlantılı olarak hassas parametre değerlendirmesinden çıkan sonuçların göz önünde bulundurulması gerektiği bir kez daha vurgulanmalıdır.

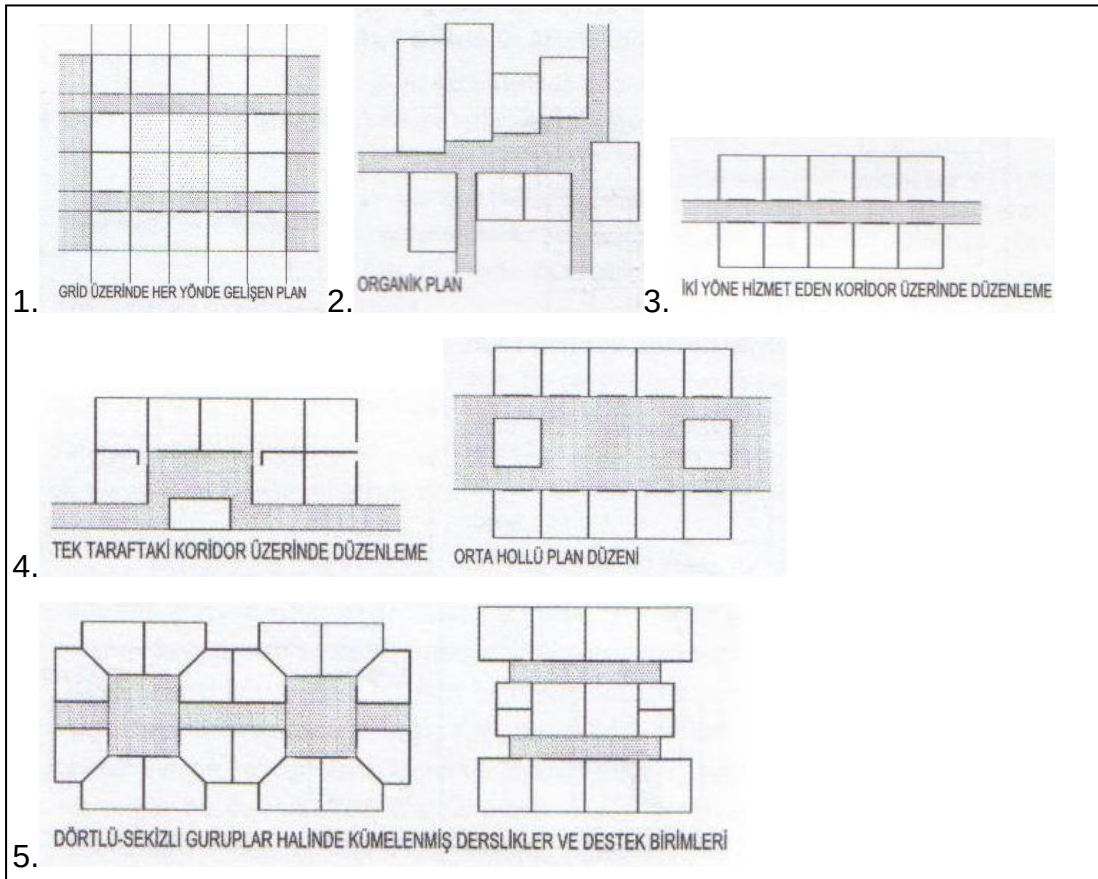
4.2. Alternatif Tasarım Şemaları ve İklim Bölgelerine Dayalı Seçim

Önerilen modül ile üretilcek ön tasarım şemalarının iklim bölgeleri özelinde sonuçlarının tartışılabilmesi için birkaç alternatif okul şeması üretilmesi planlanmıştır.

Literatüre bakıldığında, okul projeleri ön tasarımı için belirli şemaların belirlenebildiği görülmüştür [61, 62]. Karabey [62] bu şemaların oluşturulma sürecinde, bir eğitim yapısının “doğurgan” biriminin *derslik* olduğunu belirtmektedir. Derslik gruplanmaları ile başlayan şemada yatay ve dikey dolaşım sistemi kurgulanacak, sonra da bunlara toplantı salonu, spor salonu, yemekhane gibi daha büyük birimler ile ıslak hacim, kütüphane gibi ortak kullanım alanları eklenilecektir. Bu çalışmanın gereğine uygun olarak belirlenecek ön-tasarım şemaları, bir dolaşım sistemine bağlanmış derslik gruplanması ile sınırlı tutulmaktadır.

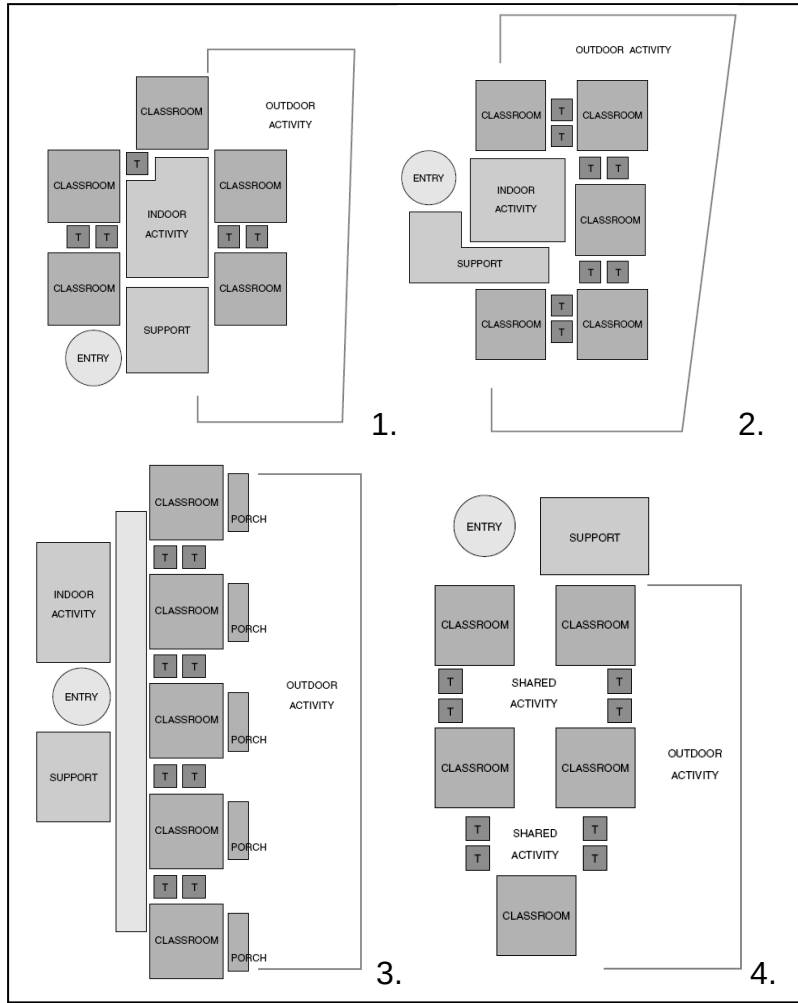
Dersliklerin birbirleri ile bir dolaşım sistemini de gözeterek eklemlenme türlerini Karabey [62] birkaç grupta toplamaktadır:

1. Kompakt bir grid altlığında yan yana gelerek her yönde gelişen plan
2. Organik biçimde serpiştirilmiş birimlerden oluşan plan
3. İki yöne hizmet eden bir koridor üzerinde çift taraflı dizilen derslik ve ortak kullanım alanlarından oluşan plan
4. Büyük ve orta holler çevresinde paralel düzende konumlanan birimlerden oluşan plan
5. İkili, dördü, altılı, sekizli gruplar halinde kümelenmiş derslik gruplarının oluşturduğu “küme” veya “pavyon” türü planlar (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Karabey'e göre, dersliklerin birbirleri ile bir dolaşım sistemini de gözeterek eklemlenme türleri [62].

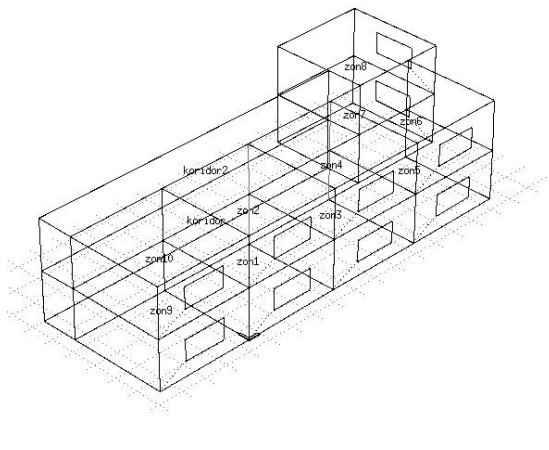
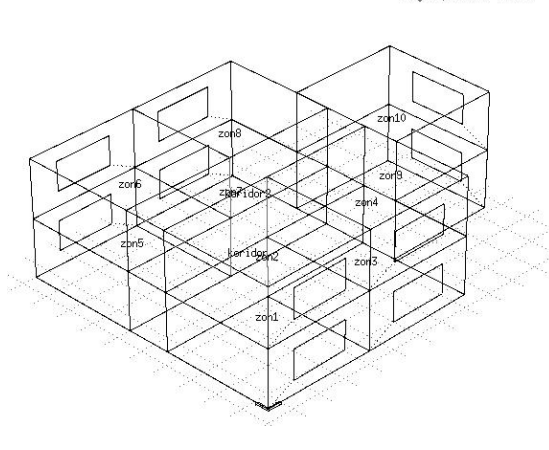
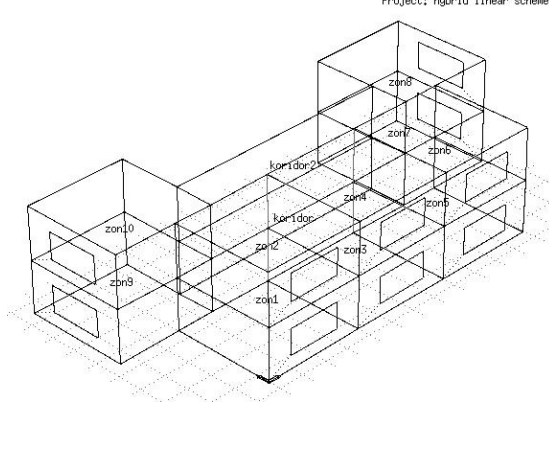
Perkins [61] ise bu gruplamaları biraz daha basitleştirerek dört gruba ayırmış, bunları 1. “İçe dönük küme” plan, 2. “dışa dönük küme” plan, 3. “doğrusal” plan ve 4. “karma-doğrusal” plan şemaları olarak belirlemiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Perkins'e göre ön tasarım derslik grupları [61]

Bu şemalar içerisinde, bu çalışmanın kapsamına uygun detay düzeyinde üç alternatif şema belirlenerek analiz için modellenmiştir (Çizelge 4.1). Bu şemalardan birincisi “doğrusal şema”, ikincisi “kümelenmiş şema” ve üçüncüsü ise “karma-doğrusal şema”dır. Şemalar iki katlı düşünülmüş olup, üst üste gelen her iki sınıf, bir modül oluşturmaktadır. Bu şemalar, geliştirilen senaryolar bağlamında her dört iklim bölgesinde olacak şekilde ayrı ayrı simüle edilmiştir.

Çizelge 4.1. Çalışma kapsamında değerlendirilen üç şema.

Doğrusal Şema		Toplam kullanım alanı 802 m², Taban alanı 401 m² Isı kaybeden düşey dış yüzeylerinin toplam alanı: 816 m² Isı kaybeden yüzeylerinin toplam alanı: 1618 m²
Kümelenmiş Şema		Toplam kullanım alanı 736 m² Taban alanı 368 m² Isı kaybeden düşey dış yüzeylerinin toplam alanı 698 m² Isı kaybeden yüzeylerinin toplam alanı 1434 m²
Karma-doğrusal Şema		Toplam alanı 748 m² Taban alanı 374 m² Isı kaybeden düşey dış yüzeylerinin toplam alanı 880 m² Isı kaybeden yüzeylerinin toplam alanı 1628 m²

Şemalar modellenirken kullanılan kabuk katmanları ve ısı iletkenlik hesap değerleri Çizelge 4.2’de listelenmiştir.

Çizelge 4.2. Kabuk bileşenlerinde kullanılan malzemeler ve ısı iletkenlik değeri

Kabuk katmanı (içten dışa)	Katmanın ısı iletkenliği (λ) (W/mK)
DUVAR	
İç sıva	0,87
Gazbeton	0,24
Isı yalıtımı (PUR)	0,035
Dış sıva	0,87
DÖŞEME (zeminde oturan)	
Mermer kapl.	3,5
Yapıştırıcı+ harç	1,4
Betonarme döşeme	2,1
Isı yalıtımı (PUR)	0,035
TAVAN (çatılı)	
İç sıva	0,87
Betonarme döşeme	2,1
Isı yalıtımı (PUR)	0,035
Pencere	2,4

Bu üç şema, bir ilköğretim okulu ön-tasarım şemaları olarak düşünüleceği için, simülasyon programında (Esp-r) mekanların ısı yüklerinin ve zaman cetvellerinin bu bina tipi özelinde bazı varsayımlara dayalı tanımlanması gerekmektedir. Öncelikle her sınıfta 30 öğrenci olacağı düşünülmüş ve bu kullanıcının hafta içi saat 8:00 ile 16:00 arasında burada bulunacağı varsayılmıştır. Yapay aydınlatma yükünü hesaplamak için bir sınıfta ihtiyaç duyulan 500 lümen/m² aydınlık düzeyini sağlayacak 32 wattlık 11adet T8 flüoresan lamba kullanıldığı varsayılmış, ısı yükü her sınıf için 352 watt olarak girilmiştir. Kullanım düzeni ise, hafta içi saat 07:00 ile 18:00 arası olarak tanımlanmıştır.

Şemaların ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimlerinin belirlenebilmesi için sistem işletiminin tanımlanması da gerekmektedir. Isıtma veya soğutma sisteminin devreye girebilmesi için belirli bir eşik sıcaklık değerlerine ihtiyaç vardır. Bu sıcaklık değeri aralığı çok dar olursa, bina bileşenlerinin pasif anlamdaki etkinliğinden söz edilemez. Bu nedenle ısıtma sistemi eşik sıcaklık

değeri 18°C, soğutma sistemi eşik sıcaklık değeri ise 26°C olarak belirlenmiştir. Sistemin devreye girmesi beklenen zaman dilimi ise, hafta içi saat 06:00 ile 18:00 arasında tanımlanmıştır. Bu belirlenen değerler, varsayıma dayalı olup, belirlenecek senaryolarda sabit olarak yer alacaktır. Değişkenler ise parametre değerleri olacaktır.

Bu şemaların değerlendirilmesi için birkaç senaryo belirlenmesi gerekmektedir. Enerji tüketimleri bağlamında genel hassasiyet analizi çalışmaları sırasında elde edilen 50 örnekleme ait parametrik değerler (EK-4) ve elde edilen enerji tüketim sonuçları iklim bölgeleri bağlamında senaryolaştırılmaktadır. Buna göre, ısıtma enerjisi tüketimini en aza indirecek şekilde ısı korunumu ve güneşten ısı kazancını artıracak önlemler öngören, soğutma enerjisi tüketimini en aza indirecek önlemler içeren ve toplam enerji tüketimini en aza indirecek önlemler içeren parametre değerleri belirlenerek, bu şemalar için uygulanacak senaryolara dönüştürülmüştür (Çizelge 4.3). Buna göre;

- Senaryo-1: en düşük soğutma enerjisi tüketimini veren parametre değerleri (iklim bölgeleri özelinde)
- Senaryo-2: en düşük ısıtma enerjisi tüketimi veren parametre değerleri (iklim bölgeleri özelinde)
- Senaryo-3: en düşük toplam enerji tüketimi veren parametre değerleri (iklim bölgeleri özelinde)
- Senaryo-4: süper yalıtımlı kabuk (pencere U-değeri 1,22 W/m²K alınarak), güneşten ısı kazancını en yüksek oranda arttıracak şekilde camlı alan tasarımı, hava değişim oranı en yüksek (hipotetik)
- Senaryo-5: kabukta ısı korunum düzeyi en düşük (pencere U-değeri 2,8 W/m²K alınarak), güneşten ısı kazancını en yüksek oranda arttıracak şekilde camlı alan tasarımı, hava değişimi oranı en düşük (hipotetik)
- Senaryo-6 (TS825-senaryo): TS825 ısı yalıtım standardına göre referans değerler olarak alınan ve diğer senaryolar ile karşılaştırma tabanı oluşturacak senaryo. Her iklim bölgesi için sınır değer kabul edilmiş U-değerlerine sahip

kabuk, yine yönetmeliğin hesaplarda kullanılmasını önerdiği hava değişim oranı, standartta belirtilmeyen pencere boyutları ortalama değer olarak %50 alınmış, pencere güneş ışınlı geçirgenlik değeri ise 0,76 olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 4.3. İklim bölgelerine göre senaryolara bağlı belirlenen parametre değerleri

		Duvar*	Döşeme*	Çatı*	Pen-gtg	Pen-oranı	Hava değ.oranı
1.DGB	Senaryo-1	6,42	3,15	7,30	0,25	%49	0,67
	Senaryo-2	4,88	6,56	7,94	0,56	%62	0,43
	Senaryo-3	3,0	4,23	13,09	0,56	%27	0,52
	Senaryo-4	8,23	11,22	17,63	0,76	%92	1,80
	Senaryo-5	1,61	2,83	2,90	0,76	%92	0,38
	Senaryo-TS825	1,50	4,30	6,50	0,76	%50	0,80
2.DGB	Senaryo-1	6,42	3,15	7,30	0,25	%49	0,67
	Senaryo-2	4,88	6,56	7,94	0,56	%62	0,43
	Senaryo-3	2,74	11,22	17,14	0,56	%18	0,60
	Senaryo-4	8,23	11,22	17,63	0,76	%92	1,80
	Senaryo-5	1,61	2,83	2,90	0,76	%92	0,38
	Senaryo-TS825	2,50	5,00	8,00	0,76	%50	0,80
3.DGB	Senaryo-1	6,42	3,15	7,30	0,25	%49	0,67
	Senaryo-2	4,88	6,56	7,94	0,56	%62	0,43
	Senaryo-3	2,74	11,22	17,14	0,56	%18	0,60
	Senaryo-4	8,23	11,22	17,63	0,76	%92	1,80
	Senaryo-5	1,61	2,83	2,90	0,76	%92	0,38
	Senaryo-TS825	3,50	7,00	10,80	0,76	%50	0,80
4.DGB	Senaryo-1	4,14	7,33	15,84	0,15	%26	1,03
	Senaryo-2	4,88	6,56	7,94	0,56	%62	0,43
	Senaryo-3	4,88	6,56	7,94	0,56	%62	0,43
	Senaryo-4	8,23	11,22	17,63	0,76	%92	1,80
	Senaryo-5	1,61	2,83	2,90	0,76	%92	0,38
	Senaryo-TS825	5,50	8,00	13,00	0,76	%50	0,80
* Isı yalıtımı kalınlığı (cm)							

Çizelge 4.3'de verilen değerler her üç şema için ayrı ayrı olmak üzere 60 simülasyon gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar, hem iklim bölgeleri bağlamında, hem de şemalar bağlamında değerlendirilmektedir.

4.2.1. İklim bölgeleri bağlamında değerlendirme

Her üç şemanın iklim bölgelerindeki başarısı senaryolar karşılaştırılarak yorumlanmaktadır. Bunun için iklim bölgelerinin ısıtma ve soğutma derece gün değerlerinin bilinmesi zorunluluğu vardır. Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan illere göre ısıtma ve soğutma derece gün bölgeleri listesinden bu çalışma kapsamında değerlendirilen dört ilin (Antalya, İstanbul, Ankara ve Erzurum) uzun yıllar ortalama derece gün değerleri Çizelge 4.4’de listelenmiştir. Derece gün değerlerinin hesap yöntemine ilişkin bilgi EK-2’de sunulmuştur. Ayrıca, Esp-r programının simülasyonlar için kullandığı iklim verilerine ait derece gün değerlerini de Çizelge 4.4’de verilmektedir. Değerler arasındaki farklılık, Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nün uzun yıllar ortalamalarına göre hazırlanmış olan verilerine karşılık, program tarafından kullanılan saatlik iklim verilerinin 2001 yılına ait olmasıdır.

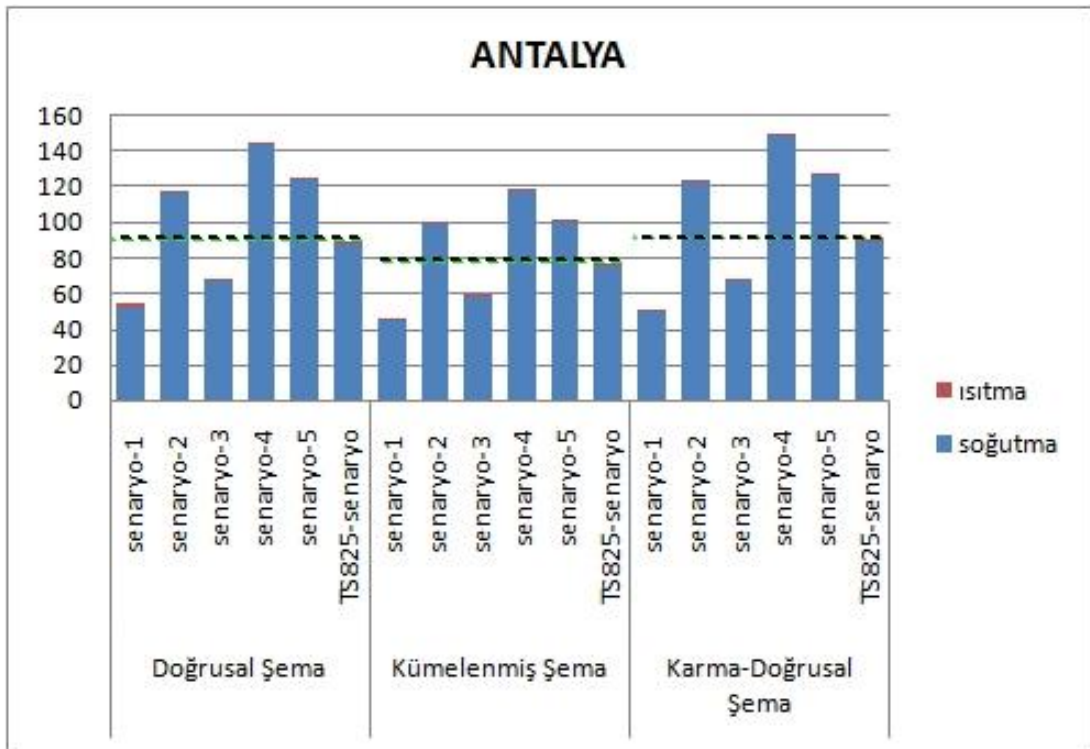
Çizelge 4.4. Türkiye’nin dört iklim bölgesine göre derece gün değerleri

		1. bölge (Antalya)	2. bölge (İstanbul)	3.bölge (Ankara)	4. bölge (Erzurum)
Meteoroloji İşleri Gen. Müd. verileri	Isıtma Derece Gün Değeri	992,8	1800,2	2604,1	4642,1
	Soğutma Derece Gün Değeri	550,6	104,1	70,4	0
Esp-r iklim verileri	Isıtma Derece Gün Değeri	512,5	1285,3	2676,9	3857,1
	Soğutma Derece Gün Değeri	643,5	186,5	170,9	115

1. Derece gün bölgesi

Bu bölge, soğutma derece gün sayısı en fazla olan bölgedir. Bu nedenle soğutma enerjisi tüketimi, toplam enerji tüketimi üzerinde baskın bir konumda

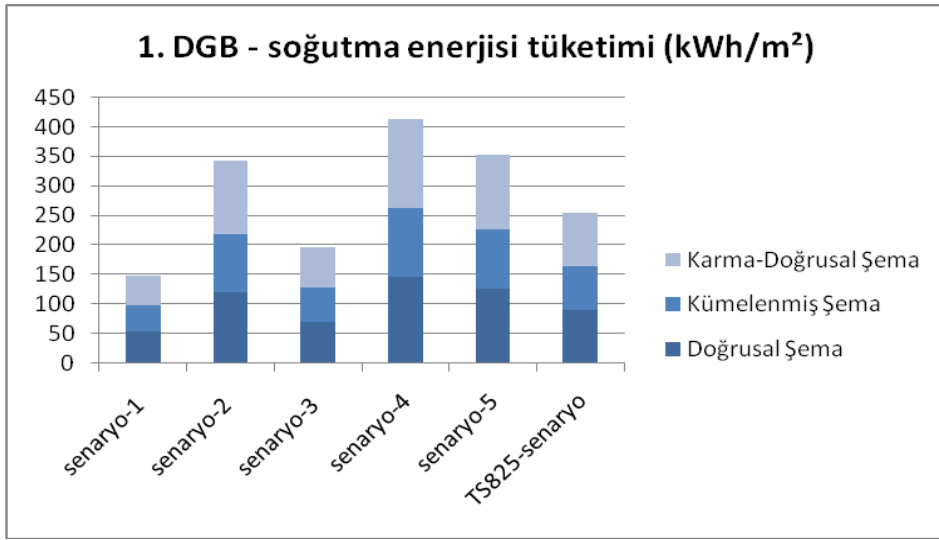
bulunmaktadır. Yapılan analiz sonucunda da 1. Derece gün bölgesinde her üç şema için de en düşük toplam enerji tüketimi sonucu veren 1. Senaryo, yani en düşük soğutma enerjisi tüketimini sağlayan parametre değerleri bütünüdür (Şekil 4.4). Buna göre duvar U-değeri $0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$, döşeme U-değeri $0,86 \text{ W/m}^2\text{K}$, çatı U-değeri $0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$ olan ve %49 oranında şeffaf bir kabuk konstrüksiyonu uygun görünmektedir. Bu uygun senaryoya göre hava değişim oranı 0,67'dir. Pencerelerin toplam güneş ışınlı geçirgenlik değerinin 0,25 olması, doğal aydınlatma değerlerinin de düşük olmasını getirecektir. Burada önemli olan güneş kontrolünün sağlanması gerekliliğidir. Bu açıdan bakıldığında camın gün ışığı geçirgenlik değerini düşürmeden, cam dışında kurgulanacak bir güneş kontrol elemanı ile de güneşten aşırı kazançların önlenmesi yoluyla da benzer sonuca ulaşılabilmesi mümkündür.



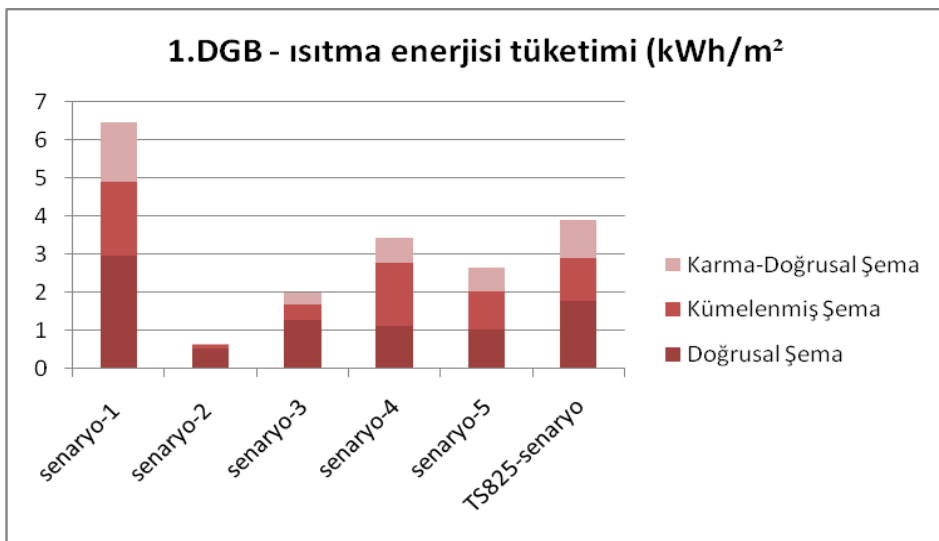
Şekil 4.4. Birinci derece gün bölgesinde senaryolara göre şemaların toplam enerji tüketimleri.

Şekil 4.5'de senaryoların şemalara göre soğutma enerjisi tüketimleri yer almaktadır. Buna göre birinci derece gün bölgesinde en düşük sonucu

senaryo-1 ile elde etmek mümkündür. Sadece ısıtma enerjisi tüketimi açısından değerlendirme yapılacak olursa, en iyi sonucun senaryo-2 ile elde edildiği görülmektedir (Şekil 4.6). Karşılaştırma tabanı olan TS825-senaryoya göre, hem ısıtma enerjisi hem de soğutma enerjisi tüketimi üzerindeki en büyük etkinin güneşten ısı kazançları ve hava değişim oranı olduğu görülmektedir.



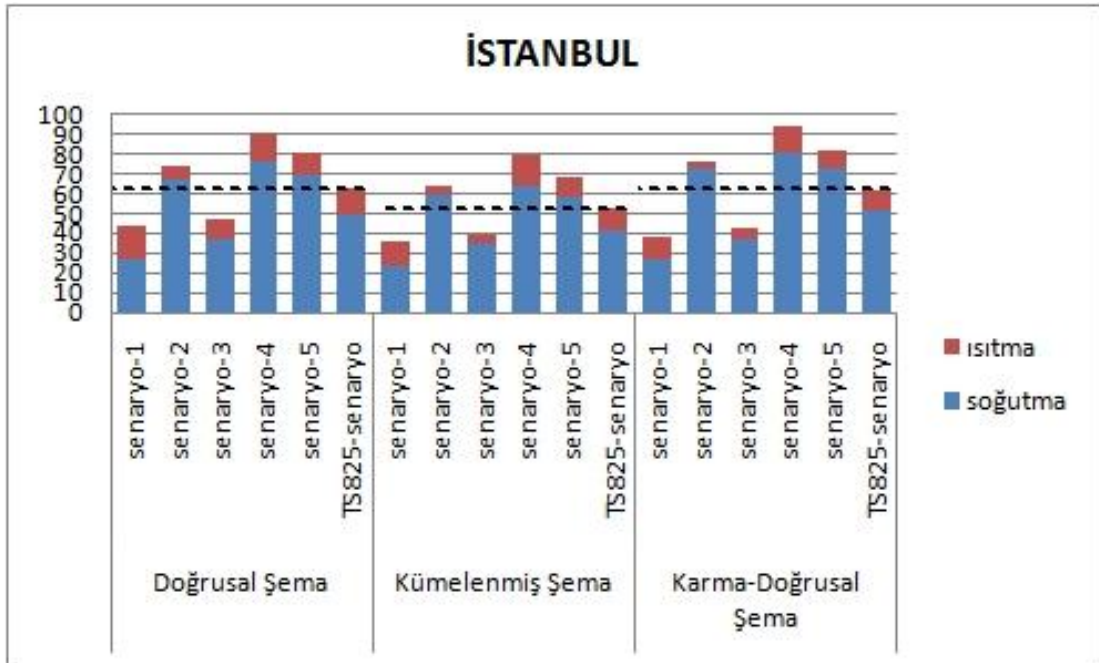
Şekil 4.5. Senaryolar bağlamında şemaların soğutma enerjisi tüketimleri (Antalya)



Şekil 4.6. Senaryolar bağlamında şemaların soğutma enerjisi tüketimleri (Antalya)

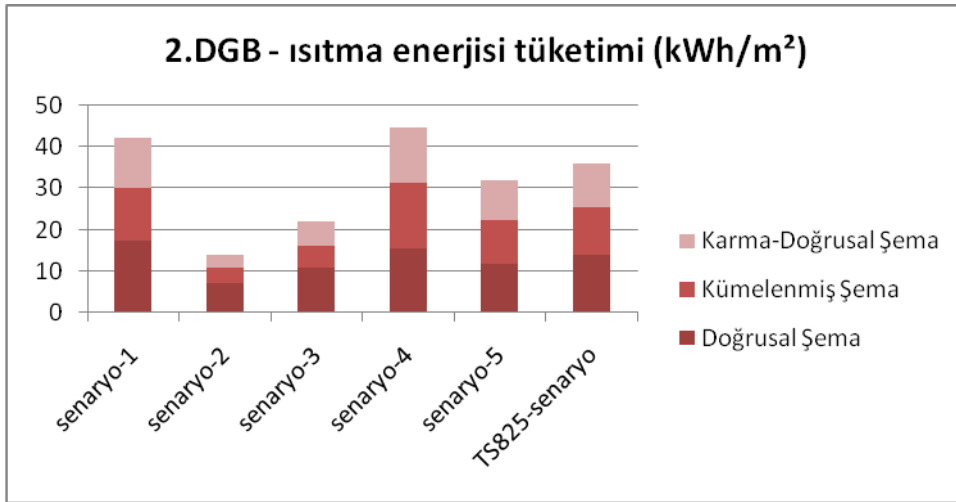
2. Derece gün bölgesi

2. derece gün bölgesinde her ne kadar soğutma derece gün değeri çok yüksek olmasa da, yapılan analiz sonucunda elde edilen değerlere göre en düşük toplam enerji tüketiminin Senaryo-1'e göre elde edildiği görülmektedir. Senaryo-1 en düşük soğutma enerjisi tüketiminin sağlandığı parametre değerlerinden oluşmaktadır (Şekil 4.7) Buna göre, tıpkı 1. Derece gün bölgesinde olduğu gibi, duvar U-değeri 0,34 W/m²K, döşeme U-değeri 0,86 W/m²K, çatı U-değeri 0,42 W/m²K olan ve %49 oranında şeffaf bir kabuk konstrüksiyonu uygun görünmektedir. Bu uygun senaryoya göre hava değişim oranı 0,67'dir. Pencereilerin toplam güneş ışıınımı geçirgenlik değeriinin 0,25 olması, 1. Derece gün bölgesi ile benzer şekilde, doğal aydınlatma değeriilerinin de düşük olmasını getirecektir. Burada da öneri; güneş kontrolünün camın geçirgenlik değeriini düşürmeden alınacak önlemlerle mümkün kılınması gerektiğidir.

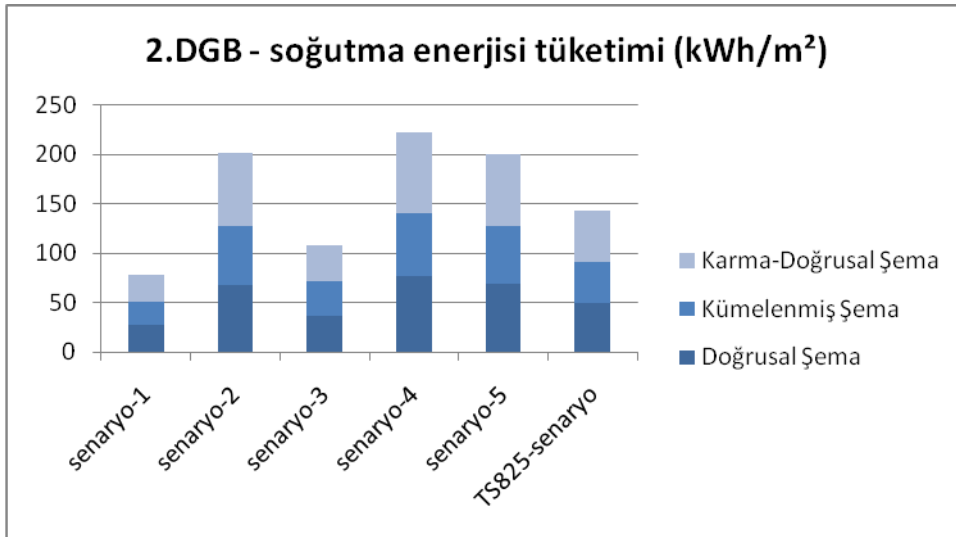


Şekil 4.7. İkinci derece gün bölgesinde senaryolara göre şemaların toplam enerji tüketimleri.

TS825 senaryosuna göre karşılaştırma yapıldığında, soğutma enerjisi tüketiminin azaltılabildiği ölçüde, toplam tüketimin azaltılabildiği görülmektedir. Sadece ısıtma enerjisi tüketimi açısından bakılırsa, ısı korunumu çok yüksek bir kabuk, hava değişim oranı düşük ve güneşten kazancı artıracak oranda pencere-duvar oranı tanımlayan senaryo-2'nin başarılı olması kaçınılmazdır (Şekil 4.8).



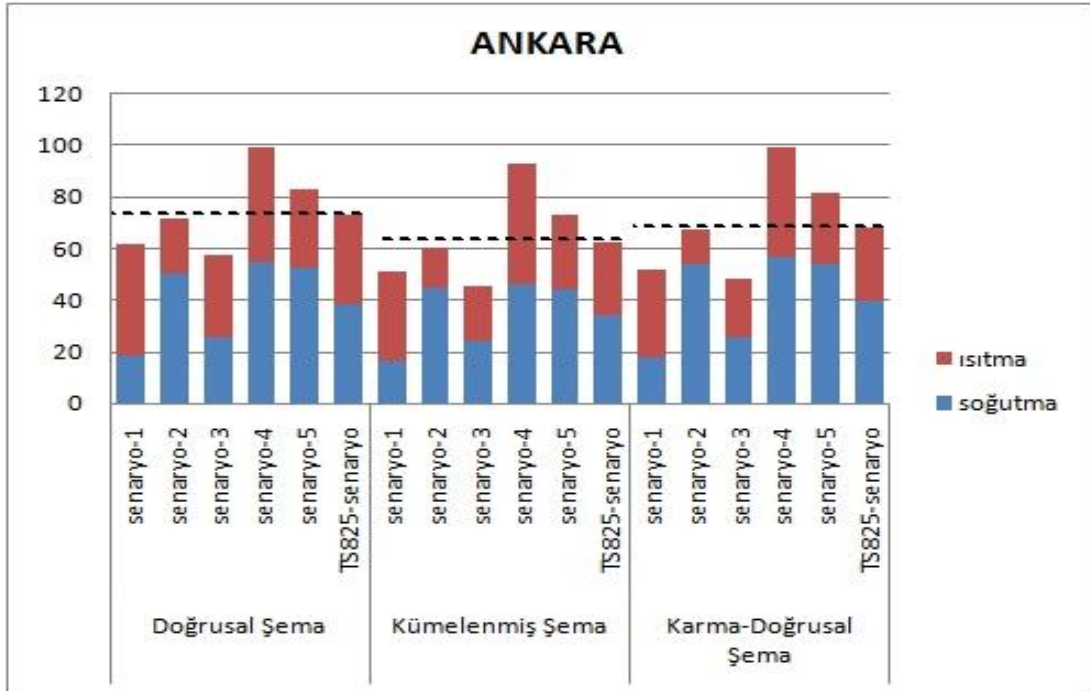
Şekil 4.8. Senaryolar bağlamında şemaların ısıtma enerjisi tüketimleri (İstanbul)



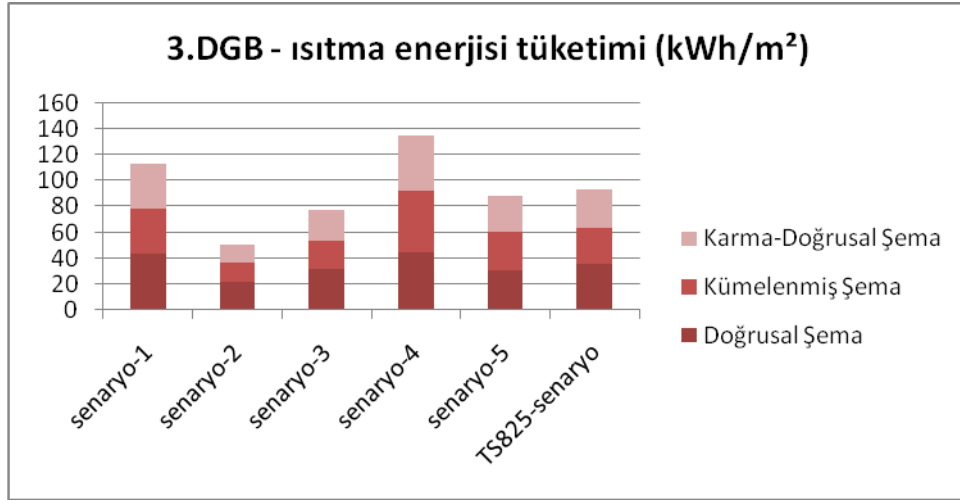
Şekil 4.9. Senaryolar bağlamında şemaların soğutma enerjisi tüketimleri (İstanbul)

3. Derece gün bölgesi

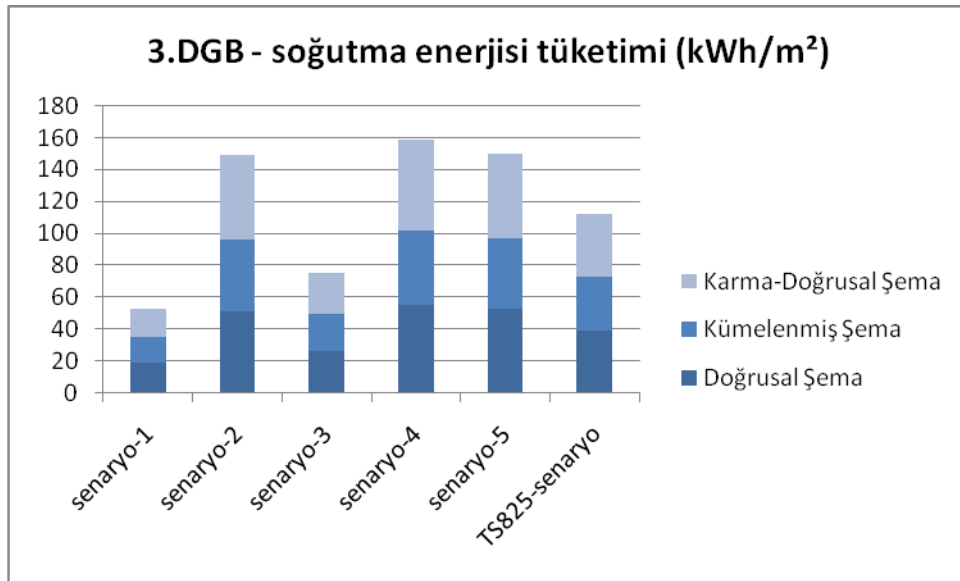
Isıtma derece gün değeri yüksek 3. Bölgede, ısıtma enerjisi tüketimi daha baskın olmaya başlaması yanında, soğutma enerjisi tüketiminin de etkisini kapsayan, en düşük toplam enerji tüketimini sağlayan parametre değerleri ile oluşturulmuş senaryo-3 ile en düşük değerin elde edildiği görülmektedir (Şekil 4.10). Buna göre, duvar U-değeri $0,54 \text{ W/m}^2\text{K}$, döşeme U-değeri $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$, çatı U-değeri $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ olan ve %18 oranında şeffaf bir kabuk konstrüksiyonu uygun görünmektedir. Bu uygun senaryoya göre hava değişim oranı 0,60'dir. Pencerelemlerin toplam güneş ışınlamı geçirgenlik değeri 0,56 olsa bile, pencere duvar oranının %18'de kalmış olması yine gün ışığından doğal aydınlatma amaçlı yararlanmayı olanaksız kılacaktır. Burada önemli olanın pencereden ısı kayıplarının azaltılması gerekliliği olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle teorik açıdan bakıldığında, pencere U-değerinin $2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ olan sabit değeri düşürülürse, pencere boyutları da artırılabilir.



Şekil 4.10. Üçüncü derece gün bölgesinde senaryolara göre şemaların toplam enerji tüketimleri



Şekil 4.11. Senaryolar bağlamında şemaların ısıtma enerjisi tüketimleri (Ankara)

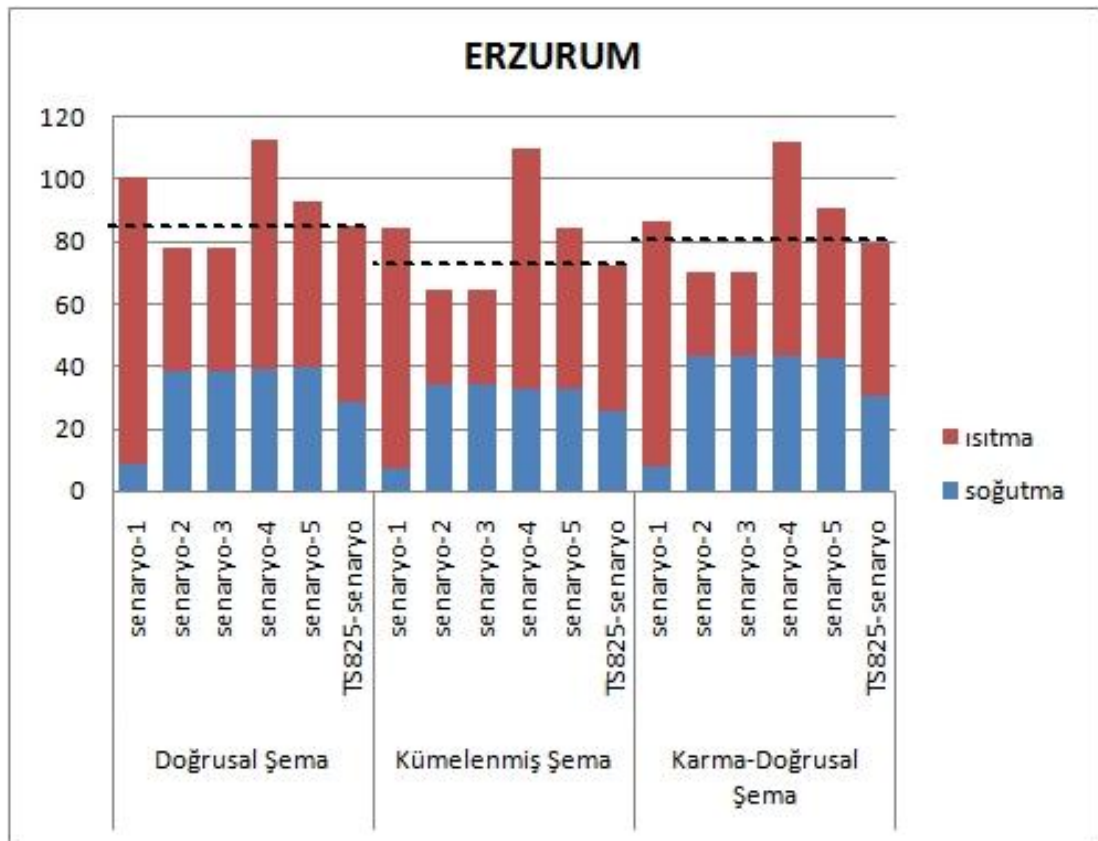


Şekil 4.12. Senaryolar bağlamında şemaların soğutma enerjisi tüketimleri (Ankara)

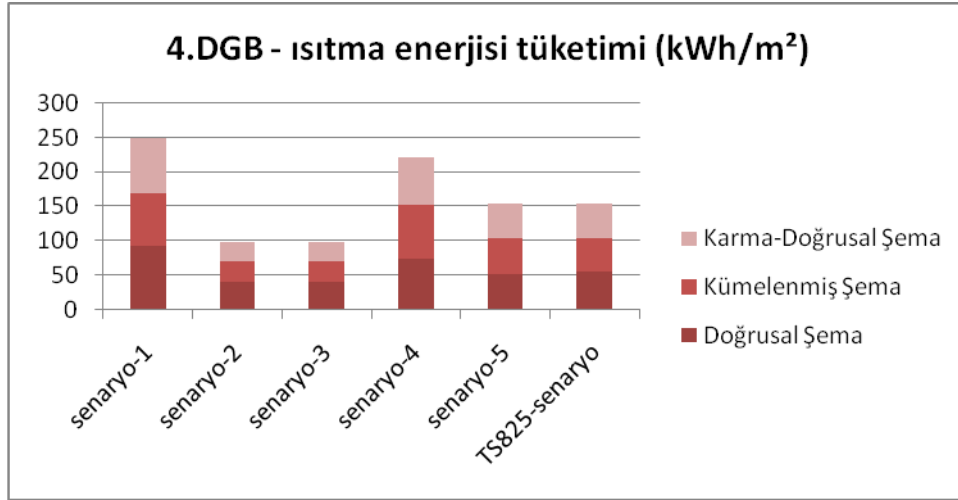
4. Derece gün bölgesi

Isıtma derece gün değeri en yüksek bölge olan 4. Derece gün bölgesinde en düşük ısıtma enerjisi tüketimini sağlayan parametre değerleri ile en yüksek toplam enerji tüketiminin sağlandığı parametre değerleri aynıdır. Burada ısıtma enerjisi tüketiminin ne kadar baskın olduğunun da ortaya çıktığı

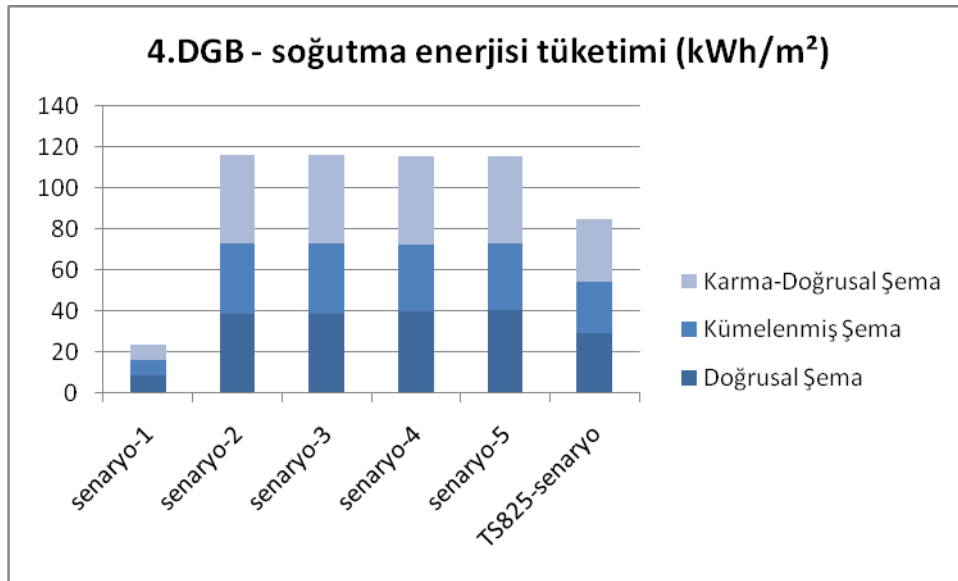
görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre en uygun çözüm ısıtma enerjisi tüketimini ve dolayısıyla toplam enerji tüketimini en aza indirebilen Senaryo-2'dir (Şekil 4.13). Buna göre, duvar U-değeri $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$, döşeme U-değeri $0,46 \text{ W/m}^2\text{K}$, çatı U-değeri $0,39 \text{ W/m}^2\text{K}$ olan ve %62 oranında şeffaf bir kabuk konstrüksiyonu uygun görünmektedir. Bu uygun senaryoya göre hava değişim oranı 0,43'dür. Pencereilerin toplam güneş ışınlamı geçirgenlik değeri 0,56 olarak belirlenmiştir. Bu değerler, ısıtma derece gün değeri yüksek bölgeler için, enerji korunumu bağlamında yüksek ısıl dirençli bir kabuk ve güneş kazançlarından yararlanma olanağı sunacak pencere boyutlarını öngörmektedir.



Şekil 4.13. Dördüncü derece gün bölgesinde senaryolara göre şemaların toplam enerji tüketimleri.



Şekil 4.14. Senaryolar bağlamında şemaların ısıtma enerjisi tüketimleri (Erzurum)



Şekil 4.15. Senaryolar bağlamında şemaların soğutma enerjisi tüketimleri (Erzurum)

4.2.2. Şema-Senaryo eşlemesi

İklim bölgeleri bağlamında yapılan değerlendirmelerde şemaların özellikleri ve etkileri üzerinde durulmamıştır. Bu bölümde ise, iklim bölgeleri ile beraber özellikle şemalar ile senaryoların ilişkileri bağlamında bir değerlendirme gerçekleştirilmektedir. Senaryolara bağlı olarak şemalardan elde edilen enerji

tüketim değerleri Çizelge 4.5’de listelenmiştir. Buradaki sonuçlara göre, iklim bölgeleri özelinde enerji tüketimini en aza indirmeyi başarmış senaryo-şema ilişkisi de belirlenmektedir. Burada tartışılması gerekenin şemaların birbirlerine olan üstünlükleri olmadığıнын altının çizilmesi gerekir. Burada amaç, şemaları yarıştırmak değil, hangi ön tasarım şemasının, hangi iklim özelinde ne sonuç verdiğinin görülebilmesini sağlamaktır.

Belirlenen 3 şema, iklim bölgeleri özelindeki senaryolar bağlamında elde edilen sonuçlara göre binalarda enerji performansı referans değer olarak belirlenen TS825-senaryoya göre değerlendirilmektedir. Öncelikle sonuçlara genel olarak bakıldığında, hangi şema tercih edilecek olursa olsun, benzer sonuçlara varılabildiği görülmektedir. Bu, tasarımcının ön proje aşamasında seçenek sınırını ortadan kaldıran önemli bir bulgudur. Bu çalışma ile öne çıkan hassas parametreler doğru değerlendirildiği takdirde, özgün şemaların üretilebilmesinde herhangi bir sorun yoktur. Sadece performans değerlendirmede simülasyon programlarından yararlanılacak ise, referans değerlerin her şema özelinde yeniden tanımlanması zorunluluğu vardır.

Doğrusal şema: Tüm senaryolar içerisinde 1, 2. ve 3. Derece gün bölgelerinde en düşük enerji tüketim değerini veren soğutma enerjisi tüketimini en aza indirmek üzere kurgulanmış senaryo-1’dir. Sanılanın aksine, sadece soğutma derece gün değeri yüksek Antalya için değil, İstanbul ve Ankara için de toplam enerji tüketimini etkileyen baskın tüketim soğutma enerjisi tüketimidir.

Kümelenmiş Şema: Bu şema için 1. ve 2. Derece gün bölgelerinde yine etken tüketim soğutma enerjisi tüketimidir. Ancak 3. Derece gün bölgesinde toplam enerji tüketiminin en aza indirilebileceği senaryo olan Senaryo-3 en düşük tüketim sonucunu vermiştir. Bu şemanın, ısı kaybeden yüzey alanı en düşük şema olması, ısı korunumu açısından da etkinliğini göstermekte ve bu 3. ve 4. Derece gün bölgesinde sonuçları etkilemektedir.

Karma-Doğrusal Şema: Doğrusal şema ile çok yakın özelliklere sahip bu şema ile sonuç yine 1. 2. Ve 3. Derece gün bölgesinde soğutma enerjisi tüketiminin baskın rolünü göstermektedir.

Tüm senaryolar bağlamında da bakıldığında, en düşük tüketim değerlerinin elde edildiği şema, Kümelenmiş Şema'dır. Bu şemada, dördü kuzeyde, dördü güneyde, ikisi ise doğuda yer alan on sınıf ve ortada yer alan bir koridordan oluşmaktadır. Bu şemanın başarısı, kuzeye ve güneye eşit olarak dağılmış sınıf zonlarını barındırıyor olması ve diğer şemalara oranla kullanım alanı ve ısı kaybeden yüzey alanı en az olan şema olmasıdır.

Çizelge 4.5'de yer alan tüm enerji tüketim sonuçlarına bakıldığında,

- 1. Derece gün bölgesini temsil eden Antalya'da en düşük tüketim değeri soğutma enerjisi tüketimini en aza indiren *Senaryo-1 ve Kümelenmiş Şema* ile elde edilmiştir.
- 2. Derece gün bölgesini temsil eden İstanbul'da en düşük tüketim değeri, yine soğutma enerjisi tüketimini en aza indiren *Senaryo-1 ve Kümelenmiş Şema* ile elde edilmiştir.
- 3. Derece gün bölgesini temsil eden Ankara'da en düşük tüketim değeri, toplam enerji tüketimini en aza indiren *Senaryo-3 ve Kümelenmiş Şema* ile elde edilmiştir.
- 4. Derece gün bölgesini temsil eden Erzurum'da en düşük tüketim değeri, ısıtma enerjisi tüketimini en aza indiren *Senaryo-2 ve Kümelenmiş Şema* ile elde edilmiştir.

Çizelge 4.5. Senaryolar bağlamında şemaların toplam enerji tüketim değerleri.

	ENERJİ TÜKETİMLERİ (kWh/m²)			
	DOĞRUSAL ŞEMA			
	Antalya	İstanbul	Ankara	Erzurum
SENARYO-1	54,78274	44,2046	62,06097	100,5216
SENARYO-2	118,4449	74,5612	71,8754	78,37411
SENARYO-3	68,76385	47,48297	57,28077	78,37411
SENARYO-4	145,0909	91,25486	99,75222	112,9505
SENARYO-5	125,5213	80,91449	82,88329	92,69817
SENARYO-TS825	91,95618	62,18766	69,54195	82,79343
	KÜMELENMİŞ ŞEMA			
	Antalya	İstanbul	Ankara	Erzurum
SENARYO-1	46,28629	36,15834	50,77181	84,31817
SENARYO-2	100,0093	63,48974	60,06228	64,57346
SENARYO-3	59,11959	39,60852	45,44061	64,57346
SENARYO-4	119,5944	80,07386	93,32757	110,2052
SENARYO-5	101,5157	68,59443	73,11526	84,24481
SENARYO-TS825	76,16582	53,35258	61,81523	75,31061
	KARMA-DOĞRUSAL ŞEMA			
	Antalya	İstanbul	Ankara	Erzurum
SENARYO-1	51,38469	38,59237	52,14003	86,62563
SENARYO-2	123,8705	75,94817	67,17556	70,1786
SENARYO-3	68,09307	42,9984	48,45825	70,1786
SENARYO-4	149,9343	94,12376	99,39479	111,9725
SENARYO-5	127,9335	82,31733	81,724	90,95088
SENARYO-TS825	92,58715	61,77793	67,31524	79,34513

TS825-senaryosu bir referans senaryodur. Bu nedenle bu referans değer in altında kalan değerlerin kabul edilebilir olarak görülmesi gerekmektedir. TS 825 ısı yalıtım standardının hesap yönteminde sadece ısıtma enerjisi tüketiminin dikkate alındığı bilinmektedir. Bu çalışmada ise hem ısıtma, hem de soğutma enerjisi tüketimleri değerlendirilmiştir. İklim bölgeleri bazında sadece ısıtma enerjisi tüketimi dikkate alınmış olsaydı; örneğin Antalya’da kabuk ısı aktarım katsayısı çok düşük ama hava değişim oranı 1,8 gibi

oldukça yüksek bir senaryo ile elde edilen ısıtma enerjisi tüketiminin (senaryo-4) veya kabuk ısı korunum düzeyi çok düşük, sadece güneşten ısı kazancının yüksek orana çıkarıldığı (senaryo-5) bir senaryo ile elde edilen ısıtma enerjisi tüketiminin referans değerinin altında kaldığı, yani uygun olduğu söylenebilecekti. Oysaki soğutma enerjisi tüketiminin ısıtma enerjisi tüketimine oranla ne kadar baskın olduğu Şekil 4.4’de görülmektedir. Benzer şekilde her dört iklim bölgesi için de, soğutma enerjisi tüketiminin, enerji tüketimi içindeki payının yadsınmayacak kadar yüksek olduğu açıktır.

4.3. Ön Proje Aşamasında Bina Enerji Performansı Değerlendirmesi

Bina enerji performansı ile ilgili çalışmalarda, temel olarak üç gereklilikten söz edilebilir;

Bina enerji standartlarının geliştirilmesi ve yaygın olarak benimsenmesi;

Bunun için ülkemizde 2008 yılında önemli adımlar atılmış, gerekli yasaların çıkarılması sonrasında, TS825 “Binalarda ısı yalıtım kuralları standardı” yenilenmiş ve Bayındırlık Bakanlığı tarafından “Binaların enerji performansı yönetmeliği” yayınlamıştır [63]. Bu standart ve yönetmelik çerçevesinde enerji etkinliğinin yaygın olarak benimsenmesi beklenmektedir.

Yerel iklim verilerinin geliştirilmesi, enerji analizlerine uygun formatlarda düzenlenmesi,

Bu noktada yerel iklime ilişkin yapılacak çalışmalarla, Türkiye’nin iklimsel koşullarına en uygun tasarım prensiplerinin geliştirilebilirliği sağlanmalıdır. Özellikle saatlik iklim verilerinin (nem, sıcaklık, rüzgar hızı, yağış miktarı, vb.) tüm şehirler için tutulmaya başlanması gerekmektedir. Bölgeleme çalışması için sadece sıcaklıklara bağlı belirlenen derece gün tanımı yerine, kış ve yaz konfor koşulları ile yağış rejimi ve iklimin insanlar üzerindeki psikolojik etkisi (kapalı gökyüzü, sis, vb.), iklimin yıkıcı gücü (tufanlar, tipiler, vb.) gibi etkenlerin de göz önünde bulundurulmasına dayalı bir indis olan Climate Severity Index (CSI) (İklim Sertlik indisi)’in kullanılması önerilebilir [64]. Bu

konu ile ilgili yapılan bir çalışmada [65] aynı derece gün bölgesi içerisinde yer alan İstanbul ile Mardin arasındaki bölgesel farklılıkların tasarımı ne oranda etkileyebildiği gösterilmektedir. Bu nedenle, Türkiye'nin coğrafi iklim bölgeleri ve yerel mimari özellikleri de gözetilerek yeni bir iklimsel bölgeleme yapılması uygun olacaktır.

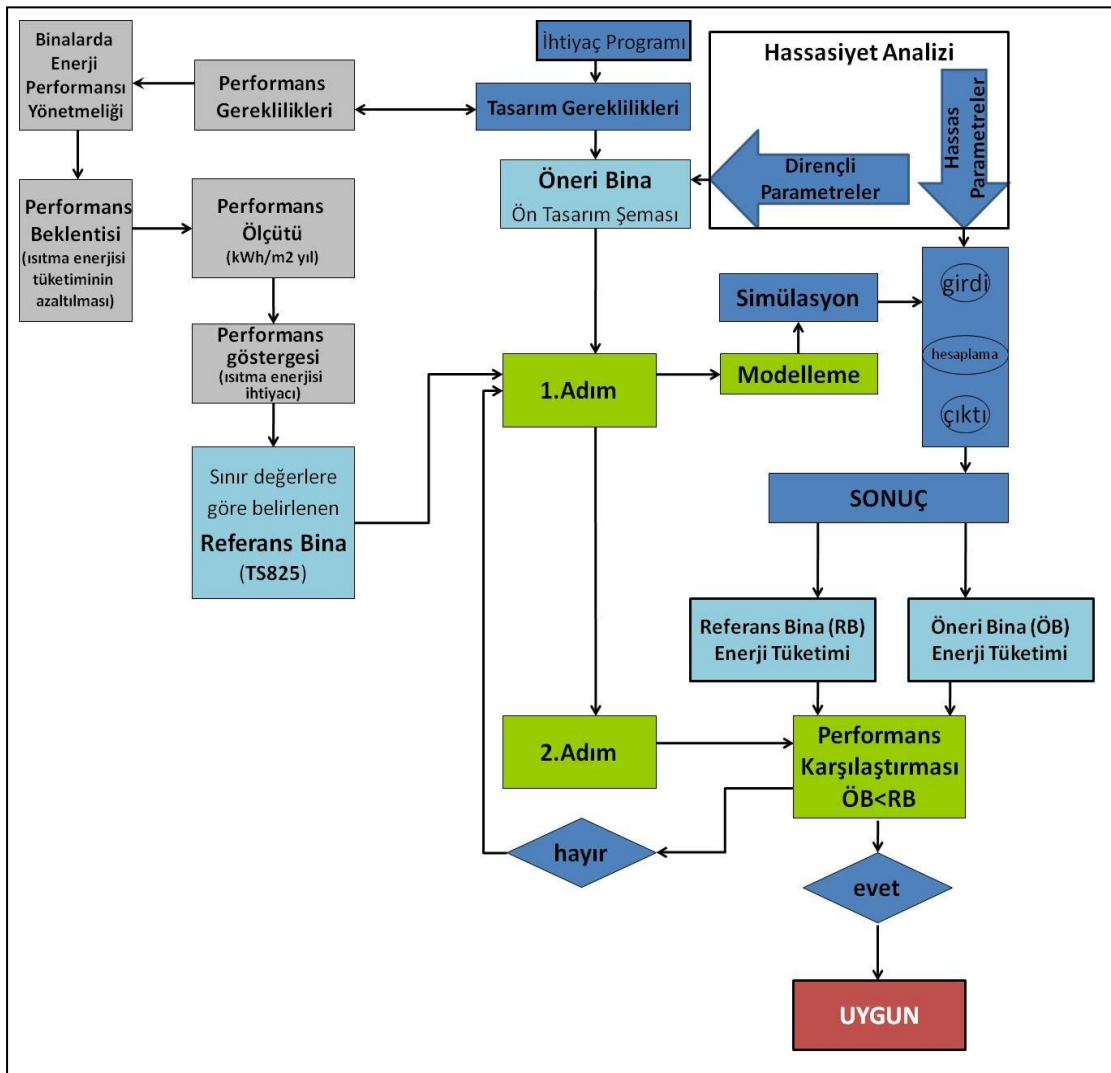
Bina enerji simülasyon tekniklerinin ve olanaklarının anlaşılması, geliştirilmesi, kullanımının yaygınlaştırılması

Bu nedenle ön-tasarım aşamasında enerji performansı tahmini için;

- Binalarda enerji performansı yönetmeliği çerçevesinde ısıtma enerjisi tüketimi, soğutma enerjisi tüketimi ve birincil enerji olarak tanımlanan aydınlatma enerjisi tüketimi ile sıcak su elde etmek üzere harcanan enerji ile ilgili hesap yöntemlerinin belirlenmesi ve yeniden gözden geçirilmesi gerekir. Burada mutlaka bina performans simülasyonları ile performans tahminlerinin yapılabileceği göz önünde bulundurulmalı ve hesap yöntemleri içinde simülasyon hesaplamaları da yer almalıdır.
- Hesap yöntemi olarak performans simülasyonlarından yararlanılması uygun görülürse, değerlendirme için “referans bina” tanımına ihtiyaç vardır. Bu çalışma ile önerilen de performans bazlı yaklaşımın gereği olan referans binanın tanımı için gerekli verilerin neler olduğunun tespit edilmesi ve bu etken parametreler yardımıyla tasarlanmış şemaların başarısının test edilmesini kapsamaktadır.

Şekil 4.16'da akış şeması verilmiş olan öneriye göre, ihtiyaç programının elde edilmesi ile başlayan süreç, tasarım gereklilikleri bağlamında “öneri bina”nın ön tasarım şemasının geliştirilmesi ile devam etmektedir. Bu noktada aynı zamanda tasarım gerekliliklerinin performans gerekliliklerine dönüştürülmesi söz konusudur. Bu performans gereklilikleri ilgili yönetmelik hükümlerine dayandırılmalıdır. Burada örnek olarak gösterilen “Binalarda enerji

performansı yönetmeliği” olup, performans beklentisi “ısıtma enerjisi tüketiminin azaltılması” olarak tanımlanmıştır. Performans ölçütü kWh/m², performans göstergesi ise ısıtma enerjisi ihtiyacıdır. Referans binanın tanımını şekillendirecek standart ise TS825 Binalarda Isı Yalıtım Standardı olarak örneklenmiştir. Bu öneri bağlamında farklı yönetmeliklerin gereklilikleri, hatta değerlendirme/derecelendirme sistemlerinin (LEED, BREEAM, vb.) performans tanımları da yerine konulabilir.



Şekil 4.16. Bina enerji performansının belirlenmesinde referans bina tanımı ile değerlendirme önerisi

Öneri binanın şekillenmesinde, önceden belirlenmiş olan hassas ve dirençli parametreler rol oynamaktadır. Dirençli parametreler ile öneri şema tanımlanırken, hassas parametreler, ilgili arsa koşulları ve iklim bileşenleri bağlamında tasarım alternatifleri oluşturmak üzere kullanılmaktadır.

Diğer taraftan ilgili yönetmelik tanımı bağlamında sınır değerlere göre belirlenen referans bina, öneri bina ile birlikte simüle edilerek sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Referans binaya ait sonuç, bir karşılaştırma tabanı olarak kullanılmaktadır. Öneri bina sonucu, referans bina sonucundan büyük ise, tasarım alternatifleri hassas parametreler bağlamında çeşitlendirilerek, uygun sonuç elde edinceye kadar simülasyon devam eder. Öneri bina sonucunun referans bina sonucunun altına düştüğü durumda, o ön tasarım şeması yönetmeliğe uygun olarak belirlenir.

5. SONUÇ

Tasarım, içinde pek çok parametre barındıran ve sürekli geri dönüşlerle beslenerek yürüyen “yinelemeli (iterative)” bir süreçtir. Mimari tasarım, çoğunlukla tasarımcının deneyimine bağlı olarak gelişmektedir. Tasarımı herhangi bir formüle bağlı şekillendirmek mümkün değildir. Aynı gereklilikler için, aynı arsa koşullarında, aynı tasarımcı, her seferinde farklı bir tasarım gerçekleştirebilir.

Bu karmaşık süreç sonunda ortaya çıkan binanın yüksek performanslı, çevresel değerlere öncelik veren, sürdürülebilir bir tasarım ile elde edilmesini sağlamaya yönelik olarak, tasarımcıların yardımcı araçlara gereksinimi vardır. Bu araçlar tasarım kararlarının alınmasında etkili, farklı seçeneklerin değerlendirilebilmesini sağlayacak nitelikte olmalıdır. Günümüzde tasarım kararını desteklemeye yönelik geliştirilmiş pek çok bilgisayar programı vardır. Ancak çoğunlukla tasarımcı, kendi deneyimlerini, bir bilgisayar programı yardımıyla gelecek desteğin üzerinde tutmaktadır. Tasarım süreci içinde elde edilecek bilginin akış hızı, sürecin akışını yavaşlatmamalıdır. Bu anlamda, tasarım kararını desteklemeye yönelik araçları çoğunlukla zaman kaybı olarak gören tasarımcı, deneyimlerine öncelik vermeyi tercih etmektedir.

Ancak, tasarımda daha önce değerlendirmedeği, ama günümüzün artık olmazsa olmaz etkenlerinden olan çevreye duyarlı, enerji korunumlu ve sürdürülebilirliği destekleyen parametrelerin süreç içine entegrasyonu, tasarımcının daha önce deneyiminde yer almayan farklı girdileri değerlendirmesini gerektirmektedir. Bu noktada tasarımcı karar vermeye yardımcı araçlara gereksinim duymaktadır. Sorun ise, tasarım kararına destek olduğu öne sürülen bu araçların gerçekte karar vermeyi ne kadar etkilediği ve ne kadar etkin kullanılabildiğidir.

Konu; çevreye duyarlı, sürdürülebilir tasarımlar ve buna bağlı yüksek performanslı binalar olduğunda, tasarım kararına etken parametreleri,

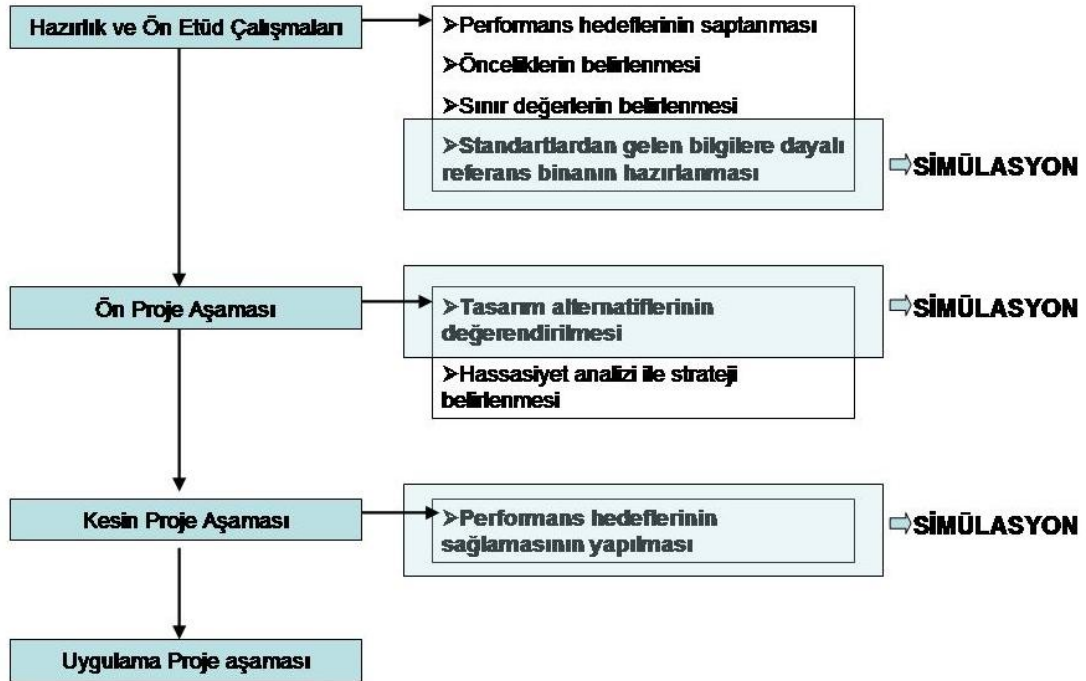
temelde, nitel ve nicel olmak üzere iki başlık altında toplamak mümkündür. Teorik olarak, belirli eşik değerlerin tanımlanması ile nitel değerlendirmede, tasarım kararını desteklemeye yönelik kullanılacak araçlar olarak bina performans simülasyonları öne çıkmaktadır. Bina performans simülasyonları, çeşitli detay düzeylerinde olabilmektedir. Bunun yanında, akustik, aydınlatma, vb. gibi özel alanlar kadar, bina bütününde değerlendirmeye de olanak sağlaması nedeniyle, özellikle tasarımların fiziksel çevre değerlendirmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak, uygulamada simülasyon, tasarımı destekleyen bir araç olarak değil, bir performans kanıtlayıcı olarak kullanılmaktadır. Oysa tasarımın erken evrelerinden itibaren simülasyonu kullanmak, binanın gereksinimler doğrultusunda iyileştirilmesine yönelik potansiyeller içermekte, farklı alternatiflerin, performans kriterleri bağlamında analiz edilerek, bütün bina performansına etkisinin tasarımcı tarafından kolayca kavranabilmesini sağlayacağı düşünülmektedir.

Performansa dayalı tasarımda, özellikle tasarımın erken evreleri için gerekli olan kararların alınmasında etkili olabilecek parametrelerin belirlenmesi, tasarımcının kararlarını kolaylaştırmada önemli rol oynamaktadır. Tasarım seçeneklerini çoğaltan ve kararı zorlaştıran pek çok parametrenin içerisinde, bina bütünündeki performansı doğrudan ve önemli ölçüde etkileyen parametrelerin belirlenmesi, bir dizi hassaslık ölçümü ile mümkün olabilmektedir. Parametrelerin belirli sınır koşullar içindeki değerlerinin sonuç performansta meydana getirdiği sapmalar, parametrenin etkinliğinin değerlendirilmesi için kullanılmaktadır.

Mimari tasarımda çoğunlukla önceliği enerji etkinliği ve çevresel performans değil, işlev ve estetik biçimlenme almaktadır. Böylece çoğunlukla tasarıma yardımcı araçlar bina tasarım rolünü değil, enerji etkinliği ve çevresel performansını değerlendirme rolünü üstlenmektedirler. Bu bağlamda simülasyon programları süreç içinde *“bunu nasıl gerçekleştirebilirim?”* sorusunun cevabını değil, *“bunu yaptığımda ne olur?”* sorusunun cevabını aramak için kullanılmaktadır. Eğer tasarımcı en iyi tasarım seçeneğini

yakalayabilmek için tasarım seçeneklerini test etmek isterse, her bir öneri seçeneği ayrı ayrı simüle ederek sonuçlarını karşılaştırmak zorundadır. Tasarımcının ulaşmak istediği asıl amaca bağlı olarak, tasarım seçenekleri içinden seçim yapmak üzere, parametre değerleri azaltılarak veya çoğaltılarak ve sonuçları karşılaştırılarak en iyi sonucu vereni bulmaya çalışmaktadır. Sonuçta aslında tasarımcı simülasyon programına *“bunu yaptığımda ne olur?”* sorusunu sorup, analiz ve karşılaştırma gerçekleştirerek *“bunu nasıl gerçekleştirebilirim?”* sorusunun cevabını bulmaya çalışmaktadır. Ancak asıl sorun bu yöntemle tüm olası seçeneklerin test edilmesinin mümkün olup olmadığıdır. Her ne kadar tasarımcı kendi sunduğu seçenekler içerisinde seçim yapmakta olsa da, hiç göz önünde bulundurmadığı bir seçeneğin daha iyi sonuç vermeyeceğini garanti edemez. Bugün hiçbir simülasyon programı için bu anlamda kullanılabilmeye yönelik bir yöntem geliştirilememiştir. Bu nedenle tasarım araçları halen çeşitli tasarım parametreleri değiştirilerek sonuçlarının karşılaştırılması ve değerlendirilmesine yönelik pratik yarar sağlamaktadır.

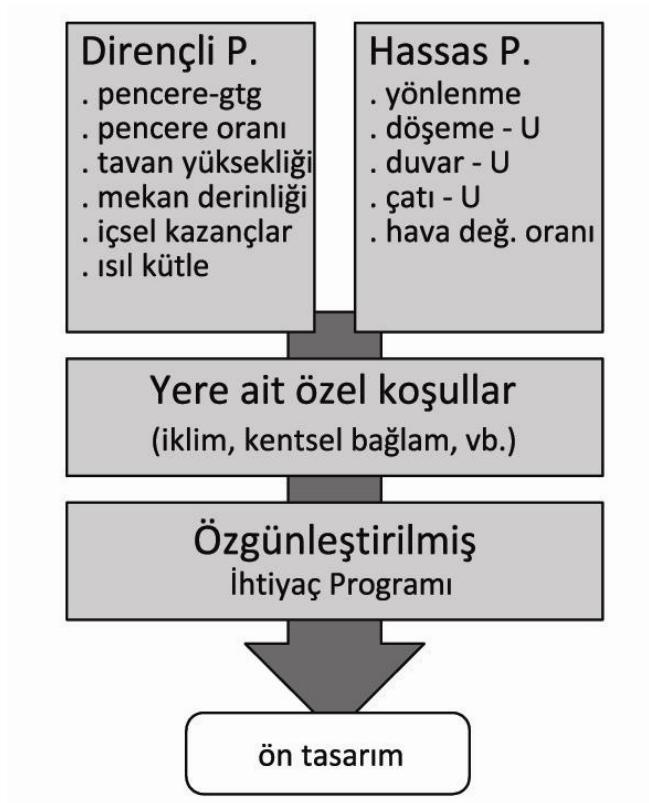
Bugün için tasarım süreci içinde simülasyonun entegrasyonuna dair çeşitli yöntemler geliştirilmektedir (Şekil 5.1). Bu sürecin özellikle performansa dayalı yaklaşımla kurgulanmış standartlarla desteklenmesi önemlidir. Karşılaştırma tabanı oluşturacak referans binaya ait değerler standartlarca belirlenmiş ve simülasyon programı bu verilere dayalı kalibre edilerek referans binanın simülasyonu gerçekleştirilmiş olmalıdır. Ön proje aşamasındaki tasarım alternatifleri içerisinde yapılacak seçimde referans binaya ait bu sonuçların göz önünde bulundurulması önemlidir. Kesin proje aşamasında ise performans doğrulaması gerçekleştirilebilir.



Şekil 5.1. Tasarım sürecinde simülasyon programının kullanımı

Bu çalışma ile tasarım sürecinin erken evrelerinde ele alınan tasarım parametrelerinin hassasiyet analizi yardımıyla değerlendirilmesi ve Türkiye'nin dört iklim bölgesi için hangi parametrelerin daha etkin rol oynadığının belirlenmesi amaçlanmıştır. Tasarım parametrelerinin nicel değerlendirmesi için bina performans simülasyonlarından yararlanılmıştır.

Çalışma iki aşamalı olarak gerçekleştirilirken, kısıtlı hassasiyet analizinin sonuçları ile en iyi uygulama (best practice) kriterlerine dayalı öneriler listesi geliştirilmiş, kapsamlı hassasiyet analizi sonucunda belirlenen hassas ve dirençli parametreler yardımıyla ise, hangi parametre değerlerin sabit, hangilerinin ise değişken olabileceğine karar verilmiştir. Bu noktada genel kanının aksine hassas parametreler değişken, dirençli parametreler ise sabit olarak alınmıştır. Bir ön-tasarım kurgusu için, özgünleştirilmiş ihtiyaç programını da tanımlayabilmeye yönelik süreç Şekil 5.2'de gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Ön-tasarıma yönelik öneri süreç kurgusu

Dirençli parametreler ile önerilen kavramsal “modül” ile elde edilen alternatif ön tasarım şemaları, standart ve yönetmeliklerin öngördüğü sınır değerlere göre test edilmiştir. Ortaya çıkan sonuca göre, hangi ön tasarım şeması, hangi iklim bölgesi için tasarlanacak olursa olsun, sonuç standart ve yönetmeliğe uygun değerlere ulaşmayı sağlamaktadır. Bu şemaların Şekil 5.1’de tanımlanan referans bina olarak değerlendirilebilmesi ve süreç içerisinde simülasyon programlarının referans bina yardımıyla değerlendirmeye katılabilmesi mümkündür.

Kısıtlı hassasiyet analizine dayalı sonuçlardan yola çıkarak, derece gün bölgelerine göre, bina bileşenlerinin en iyi uygulama kriterleri Çizelge 5.1’de sıralanmaktadır.

Çizelge 5.1. Yapı bileşenlerinin iklim bölgelerine göre enerji performansının optimizasyonuna yönelik yönlendirici kriterler

	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge
Duvar	Duvarın ısı kayıplarının azaltılması yanı sıra dış ortam sıcaklığının, iç ortamdaki yüksek olduğu durumlarda ısı kazancının azaltılması ve soğutma yükünün düşürülmesi için duvar konstrüksiyonunun ısı geçirme direnci yüksek olmalıdır. Bu bölgede soğutma gerektiren dönemin uzunluğu göz önünde bulundurularak serinliğin depolanması için duvar konstrüksiyonunda ısıtılabilir kütleye kullanılabilir. Isıl kütle için etkin çalışabilmesi için, duvar iç yüzeyinde, iç ortam ile kolayca ısı eşleme yapabilecek şekilde konumlandırılması gerekir. İçsel ısı kazançlarının (kullanıcı, aydınlatma, ısı üreten aletler, vb.) çok yüksek olduğunda, ısıtılabilir kütleden vazgeçilerek, hafif konstrüksiyon tercih edilebilir.	Duvarın ısı kayıplarının azaltılması için duvar konstrüksiyonunun ısı geçirme direnci mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Bu bölge için ısıtma gerektiren dönem, soğutma gerektiren döneme oranla daha fazladır. Isıtma gerektiren dönem için ısı kazançlarının depolanması, soğutma gerektiren dönem için ise serinliğin depolanması için duvar konstrüksiyonunda ısıtılabilir kütleye kullanılmalıdır. Isıl kütle için etkin çalışabilmesi için, duvar iç yüzeyinde, iç ortam ile kolayca ısı eşleme yapabilecek şekilde konumlandırılması gerekir. Isıl kütle için etkinliği için yapıda ağır konstrüksiyon tercih edilmelidir.	Duvarın ısı kayıplarının azaltılması için duvar konstrüksiyonunun ısı geçirme direnci mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Bu bölge için ısıtma gerektiren dönem, soğutma gerektiren döneme oranla daha fazladır. Isıtma gerektiren dönem için ısı kazançlarının depolanması, soğutma gerektiren dönem için ise serinliğin depolanması için duvar konstrüksiyonunda ısıtılabilir kütleye kullanılmalıdır. Isıl kütle için etkin çalışabilmesi için, duvar iç yüzeyinde, iç ortam ile kolayca ısı eşleme yapabilecek şekilde konumlandırılması gerekir. Isıl kütle için yapıda ağır konstrüksiyon tercih edilmelidir.	Duvarın ısı kayıplarının azaltılması için duvar konstrüksiyonunun ısı geçirme direnci mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Bu bölge için alınacak önlemler öncelikle ısıtma gerektiren dönem için olmalıdır. Isıtma gerektiren dönem için ısı kazançlarının depolanması için duvar konstrüksiyonunda ısıtılabilir kütleye kullanılmalıdır. Isıl kütle için etkin çalışabilmesi için, duvar iç yüzeyinde, iç ortam ile kolayca ısı eşleme yapabilecek şekilde konumlandırılması gerekir. Isıl kütle için yapıda ağır konstrüksiyon tercih edilmelidir.
Döşeme	Toprağa oturan döşemeden serinletme amacıyla yararlanmak mümkündür. Bu nedenle soğutma derece gün değeri en yüksek bölge olan bu bölgede döşeme konstrüksiyonunun ısı geçirme direnci, ısıtma gerektiren dönemde aşırı ısı kaybına yol açmayacak şekilde olmalıdır. Döşeme konstrüksiyonunda yer alan ısıtılabilir kütleye, ısı kazançlarının depolanması ile ısıtma yükünü azaltmak üzere mutlaka döşemenin iç yüzeyinde, kolay ısı eşleme yapabilecek bir konumda kullanılmalıdır. Böylece soğutma gerektiren dönem için de serinliğin depolanmasına yardımcı olacaktır. Isıtılan ve ısıtılmayan mekanlar arasındaki iç döşeme konstrüksiyonunun ısı geçirme direnci artırılarak, ısı kayıplarının azaltılmasının sağlanması gerekir.	Toprağa oturan döşeme konstrüksiyonunun ısı geçirme direnci, ısıtma gerektiren dönemde ısı kaybına yol açmayacak şekilde olmalıdır. Döşeme konstrüksiyonunda yer alan ısıtılabilir kütleye, ısı kazançlarının depolanması ile ısıtma yükünü azaltmak üzere mutlaka döşemenin iç yüzeyinde, kolay ısı eşleme yapabilecek bir konumda kullanılmalıdır. Böylece soğutma gerektiren dönem için de serinliğin depolanmasına yardımcı olacaktır. Isıtılan ve ısıtılmayan mekanlar arasındaki iç döşeme konstrüksiyonunun ısı geçirme direnci artırılarak, ısı kayıplarının azaltılmasının sağlanması gerekir.	Toprağa oturan döşeme konstrüksiyonunun ısı geçirme direnci, ısıtma gerektiren dönemde ısı kaybına yol açmayacak şekilde olmalıdır. Döşeme konstrüksiyonunda yer alan ısıtılabilir kütleye, ısı kazançlarının depolanması ile ısıtma yükünü azaltmak üzere mutlaka döşemenin iç yüzeyinde, kolay ısı eşleme yapabilecek bir konumda kullanılmalıdır. Böylece soğutma gerektiren dönem için de serinliğin depolanmasına yardımcı olacaktır. Isıtılan ve ısıtılmayan mekanlar arasındaki iç döşeme konstrüksiyonunun ısı geçirme direnci artırılarak, ısı kayıplarının azaltılmasının sağlanması gerekir.	En yüksek ısıtma derece gün değerine sahip bu bölgede toprağa oturan döşeme konstrüksiyonunun ısı geçirme direnci, yüksek olmalıdır. Döşeme konstrüksiyonunda yer alan ısıtılabilir kütleye, ısı kazançlarının depolanması ile ısıtma yükünü azaltmak üzere mutlaka döşemenin iç yüzeyinde, kolay ısı eşleme yapabilecek bir konumda kullanılmalıdır. Eğer içsel ısı kazançları (kullanıcı, aydınlatma, ısı üreten aletler, vb.) çok yüksek ise, döşemede yer alan ısıtılabilir kütleye, soğutma yükünü düşürmek amacıyla serinliğin depolanmasına yardımcı olacaktır. Isıtılan ve ısıtılmayan mekanlar arasındaki iç döşeme konstrüksiyonunun ısı geçirme direnci artırılarak, ısı kayıplarının azaltılmasının sağlanması gerekir.

Çizelge 5.1. (Devam) Yapı bileşenlerinin iklim bölgelerine göre enerji performansının optimizasyonuna yönelik yönlendirici kriterler

Çatı	Çatı konstrüksiyonunun ısı geçirme direnci mümkün olan en yüksek değerde olmalıdır. Bu hem ısıtma, hem de soğutma yükünün azaltılması için gereklidir. Ayrıca iç ortamda ısınan havanın tahliyesi ile soğutma yükünü azaltmaya yönelik çatı konstrüksiyonunda özel detaylar üretilebilir. Tavan yüksekliğini arttırmak, ısınan havanın yüksek kotlarda kümelenmesi ve yaşam zonunun görel olarak serin kalması açısından önerilmektedir. Bu bölgeye dahil olup, yıllık yağış miktarı fazla olan iller için çatının mutlaka eğimli tercih edilmesi gerekir. Çatı boşluğunun hem yağışmanın önlenmesi hem de soğutma yükünü düşürülmesine yardımcı olması için mutlaka havalandırılması gerekir.	Çatı konstrüksiyonunun ısı geçirme direnci mümkün olan en yüksek değerde olmalıdır. Bu hem ısıtma, hem de soğutma yükünün azaltılması için gereklidir. Tavan yüksekliğinin, ısınan havanın yüksek kotlarda kümelenmesi ile yaşam zonunun görel olarak serin kalması sonucunda ısıtma yükünün artmasına olanak vermeyecek şekilde tasarlanması önerilir. Bu bölgeye dahil olup, yıllık yağış miktarı fazla olan iller için çatının mutlaka eğimli tercih edilmesi gerekir. Yoğuşma sorunları nedeniyle havalandırılan çatı tasarımı önerilmektedir.	Çatı konstrüksiyonunun ısı geçirme direnci mümkün olan en yüksek değerde olmalıdır. Bu hem ısıtma, hem de soğutma yükünün azaltılması için gereklidir. Tavan yüksekliğinin, ısınan havanın yüksek kotlarda kümelenmesi ile yaşam zonunun görel olarak serin kalması sonucunda ısıtma yükünün artmasına olanak vermeyecek şekilde tasarlanması önerilir. Bu bölgeye dahil olup, yıllık yağış miktarı fazla olan iller için çatının mutlaka eğimli tercih edilmesi gerekir. Yoğuşma sorunları nedeniyle havalandırılan çatı tasarımı önerilmektedir.	Çatı konstrüksiyonunun ısı geçirme direnci mümkün olan en yüksek değerde olmalıdır. Bu özellikle ısıtma yükünün azaltılması için gereklidir. Tavan yüksekliğinin, ısınan havanın yüksek kotlarda kümelenmesi ile yaşam zonunun görel olarak serin kalması sonucunda ısıtma yükünün artmasına olanak vermeyecek şekilde tasarlanması önerilir. Bu bölgede çatının mutlaka eğimli tercih edilmesi gerekir. Yoğuşma sorunları nedeniyle havalandırılan çatı tasarımı önerilmektedir.
Pencere	Pencere bileşenlerinin ısı geçirme direnci yüksek olmalıdır. Bu bölge için pencerelerden ısı kazancının engellenmesi, ancak doğal aydınlatmanın sağlanabilir olması gerekir. Bu nedenle güney-kuzey yönlerinde yer alan açıklıklar, kolay kontrol edilebilir olduğu için ve nötr ışık sağlayabildiği için tercih edilmelidir. Bu yönlerde yer alan pencerenin duvara oranı, ısıtma yükünde önemli azalmaya imkan verecek kadar, %50-%70 arasında olmalıdır. Seçilen cam tipinin de kısa dalga kızılötesi ışıma karşı opak, görülebilir alan ışıma karşı şeffaf davranabilen, seçici geçirgen bir cam tipi tercih edilebilir.	Pencere bileşenlerinin ısı geçirme direnci mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Bu bölge için pencerelerden ısı kazanç ve kayıplarının dengelenmesi, yanı sıra doğal aydınlatmanın sağlanabilir olması gerekir. Bu nedenle güney-kuzey yönlerinde yer alan açıklıklar, kolay kontrol edilebilir olduğu için ve nötr ışık sağlayabildiği için tercih edilmelidir. Bu yönlerde yer alan pencerenin duvara oranı, ısıtma yükünde önemli azalmaya imkan verecek kadar, ancak ısı kayıplarını da arttırmayacak oranda %40-%50 arasında olmalıdır. Seçilen cam tipinin ısıtma gerektiren dönemde kısa dalga kızılötesi ışıma da geçirebilmesi gerekir.	Pencere bileşenlerinin ısı geçirme direnci mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Bu bölge için pencerelerden ısı kazanç ve kayıplarının dengelenmesi, yanı sıra doğal aydınlatmanın sağlanabilir olması gerekir. Bu nedenle güney-kuzey yönlerinde yer alan açıklıklar, kolay kontrol edilebilir olduğu için ve nötr ışık sağlayabildiği için tercih edilmelidir. Bu yönlerde yer alan pencerenin duvara oranı, ısıtma yükünde önemli azalmaya imkan verecek kadar, ancak ısı kayıplarını da arttırmayacak oranda %40-%50 arasında olmalıdır. Seçilen cam tipinin ısıtma gerektiren dönemde kısa dalga kızılötesi ışıma da geçirebilmesi gerekir.	Pencere bileşenlerinin ısı geçirme direnci mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Bu bölge için pencerelerden ısı kayıplarının engellenmesi birincil önem taşımaktadır. Diğer taraftan doğal aydınlatmanın sağlanabilir olması da gerekir. Bu nedenle güney yönünde yer alan açıklıklar, kolay kontrol edilebilir olduğu için tercih edilmelidir. Bu bölge için kuzey yönünde mümkün olduğunca açıklık yer almamalıdır. Güneyde yer alacak pencerenin duvara oranı, ısıtma yükünün azaltılmasından çok, ısı kayıplarını arttırmayacak oranda %30-%40 arasında olmalıdır. Seçilen cam tipinin ısıtma gerektiren dönemde kısa dalga kızılötesi ışıma da geçirebilmesi gerekir.

Çizelge 5.1. (Devam) Yapı bileşenlerinin iklim bölgelerine göre enerji performansının optimizasyonuna yönelik yönlendirici kriterler

Pencere	Bu cam tipinin elde edilemediği koşullarda doğru işletilen jaluzi ve kepenklerle hem doğal aydınlatmanın artırılması hem de aşırı ısı kazancının engellenmesi sağlanabilir.	Bu nedenle doğru işletilen jaluzi ve kepenklerle hem doğal aydınlatmanın artırılması hem de dönemsel olarak ısı kazançlarının kontrol edilmesi sağlanabilir.	Bu nedenle doğru işletilen jaluzi ve kepenklerle hem doğal aydınlatmanın artırılması hem de dönemsel olarak ısı kazançlarının kontrol edilmesi sağlanabilir.	Bu nedenle içsel ısı kazancı yüksek binalar için, doğru işletilen jaluzi ve kepenklerle hem doğal aydınlatmanın artırılması hem de dönemsel olarak ısı kazançlarının kontrol edilmesi sağlanabilir.
Havalandırma	Soğutma derece gün değeri yüksek olan bu bölgede yapı bileşenlerinden havalandırma yoluyla ısı soğutulması önem kazanmaktadır. Pencere açıklıklarının çapraz havalandırmaya olanak sağlayacak şekilde konumlandırılması gerekir. Gece sıcaklıklarının düşük olduğu dönemlerde ısı kütlenin serinliği depolayacak şekilde gece havalandırması uygundur. Hem ısıtma yükünü, hem de soğutma yükünü etkilemesi nedeniyle hava sızıntılarının önlenmesi gerekir. Hava değişim oranı en fazla 0,3ach olmalıdır.	Bu bölgede binaların taze hava ihtiyacını karşılamak ve soğutma gerektiren dönemde yapı bileşenlerinden havalandırma yoluyla ısı soğutulabilmesi için doğal havalandırma önemlidir. Pencere açıklıklarının yeterli taze hava sağlayacak şekilde tasarlanması gerekir. Gece-gündüz sıcaklık farkından yararlanarak soğutma gerektiren dönemde ısı kütlenin serinliği depolamasına imkan veren gece havalandırması uygundur. Hem ısıtma yükünü, hem de soğutma yükünü etkilemesi nedeniyle hava sızıntılarının önlenmesi gerekir. Hava değişim oranı en fazla 0,5ach olmalıdır.	Bu bölgede binaların taze hava ihtiyacını karşılamak ve soğutma gerektiren dönemde yapı bileşenlerinden havalandırma yoluyla ısı soğutulabilmesi için doğal havalandırma önemlidir. Pencere açıklıklarının yeterli taze hava sağlayacak şekilde tasarlanması gerekir. Gece-gündüz sıcaklık farkından yararlanarak soğutma gerektiren dönemde ısı kütlenin serinliği depolamasına imkan veren gece havalandırması uygundur. Hem ısıtma yükünü, hem de soğutma yükünü etkilemesi nedeniyle hava sızıntılarının önlenmesi gerekir. Hava değişim oranı en fazla 0,5ach olmalıdır.	Bu bölgede binaların taze hava ihtiyacını karşılamak için doğal havalandırma önemlidir. Pencere açıklıklarının yeterli taze hava sağlayacak şekilde tasarlanması gerekir. Hem ısıtma yükünü, hem de soğutma yükünü etkilemesi nedeniyle hava sızıntılarının önlenmesi gerekir. Hava değişim oranı en fazla 0,3ach olmalıdır.
Yönlendirme	Bu bölge için ideal yön güney ve güneyin 10°'ye kadar batıdır. Güney yönü güneş kontrolünün en kolay yapılabilirdiği yön olduğu için, ısı kazançları, kısa saçaklar ve/veya kepenkler ile kolay kontrol edilebilir. Binaların doğu-batı aksında yerleşmesi ve pencere açıklıklarının kuzey ve güneye toplanması önerilir. Bu konumlanma ayrıca, kuzeyde yer alan açıklıklar aracılığı ile doğal serinletmeye olanak tanıyacak çözümler de sunar.	Bu bölge için güney ve güneyden batıya doğru 20° açığa kadar ideal yön olarak kabul edilir. Isı kazançlarını azaltmak açısından güneş kontrolünün en kolay olduğu yön olan güneyde yer alan pencereler ile, ısıtma gerektiren dönemde, ısı kazancı sağlamak da mümkündür.	Bu bölge için güney ve güneyden batıya doğru 20° açığa kadar ideal yön olarak kabul edilir. Isı kazançlarını azaltmak açısından güneş kontrolünün en kolay olduğu yön olan güneyde yer alan pencereler ile, ısıtma gerektiren dönemde, ısı kazancı sağlamak da mümkündür.	Bu bölge için en ideal yön güneydir. En yüksek ısıtma derece gün değerine sahip bu bölge için ısı kazançlarını arttırmak öncelikli önem taşımaktadır. Isıtma gerektiren dönemde güneşten ısı kazancı sağlamaya yönelik olarak pencerelerin güney yönünde toplanması önerilir. Ancak kuzey cephede ısı kayıplarını azaltacak önlemler (açıklıkların azaltılması, cephe genişliğinin düşürülmesi, vb.) gerekir. Yine ısı kayıpları açısından bakıldığında tam güney yönünün sağlanamaması halinde güney-doğu kuzey-batı aksı tercih edilmelidir.

Literatüre bakıldığında, tasarım süreci içinde bina performans simülasyonlarının tasarım kararı destek sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik çeşitli yöntemler ve önerilerle karşılaşılabilir [örneğin, Hopfe et al (2005), de Wilde (2004), Morbitzer (2003), Hensen (2004)]. Bunların pek çoğu teorik yaklaşımlardır ve pratikte kullanılabilirlikleri sınanmamıştır. De Wilde (2004)'in tasarım ekipleri için etkileşimli tasarım süreci önerisi ve web tabanlı uygulaması benzerinde çalışmalar da vardır; ancak bu tür çalışmaların pratikte başarılı olabilmesi için disiplinler arası çalışma gerekliliğini özümsemiş ve uzmanlık gerektiren alanlarda (örneğin bina simülasyonu) danışmanlık desteği kabul eden tasarım ekiplerinin kurulması gerekmektedir.

Bu çalışma ile ortaya konmak istenen ise, tasarımcının süreç içinde kararları kendi başına aldığı ve genellikle özel uzmanlık alanlarına ilişkin danışmanlık desteği almadan tasarımını kişisel deneyimlere dayalı yürüttüğü bir duruma öneri geliştirmektir. Tasarımcının önceden belirli bina tipleri ve iklim koşulları için hazırlanmış bir kılavuz yardımıyla tasarımına yön vermesinin sağlanması prensibine dayalı bu öneride, tasarım sürecinin ilk aşamalarında sıklıkla değerlendirilen parametreler üzerinden, öncelikle değerlendirilmesi gerekenlerin bina performans simülasyonları aracılığıyla nicelleştirilerek belirlendiği bir yöntem ortaya konmuştur.

Bu yöntemin aşamaları, bina tipi olarak seçilen ilköğretim okul yapıları basit şemaları üzerinden Türkiye'nin dört iklim bölgesinin örneklenmesi ile irdelenmiştir. Aynı yöntem kullanılarak, diğer bina tipleri için, genişletilmiş ya da daraltılmış parametreler listesine dayalı olarak ve farklı alternatif şemalar üzerinden yeni önermeler geliştirmek mümkündür. Her bina tipi için, yaygın kullanım olanağı bulmuş şemalar üzerinden her iklim bölgesine ait veriler ile oluşturulacak önermeler dizisi ile “Enerji Performansı Öncelikli Bina Tasarımı Ön-bilgilendirme Kılavuzu” nun oluşturulabileceği düşünülmektedir. Bu çalışma kapsamında sunulan yöntem, bu kılavuzun oluşturulabileceğini göstermektedir.

Ancak mimari tasarım doğası gereği kendine özgü bir yapı üzerine kuruludur. Her tasarım kendi özel bağlamında değerlendirilmek zorundadır. Bir başka deyişle mimari tasarımın özgünlüğü, tasarımda bir genellemeye gidilmesine imkan vermez. Bu noktada genellemeye dayalı oluşturulacak tasarım kılavuzlarının, tasarımın sınırlandırılmasına neden olan tanımlayıcı yaklaşımlardan çok, elde edilecek ve kılavuzun amacı doğrultusunda belirlenmiş sonuca ilişkin beklentinin tariflendiği yol göstericiler olarak ele alınması doğru olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Bullen, D., "Building Performance: Past, Present and Future", ***The AIA Journal of Architecture***, Vol. January, <http://info.aia.org/nwsltr/aiaj.cfm?pagename=aiaj%5Fa%5F20051020%5Fpast%5Fpresent> (2006).
- [2] CIB, "Working with the Performance Approach in Building" ***Report of International Council for Research and Innovation in Building and Construction***, 64, Netherlands, 7-14 (1982).
- [3] Spekkink, D., "Performance Based Design of Buildings", Performance based building Thematic Network, ***PeBBu Domain 3 Final Report***, Netherlands, 29. (2005).
- [4] Hitchcock, R.J., "Standardized Building Performance Metrics – Final Report", ***Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory Report***, USA, 3-9 (2003).
- [5] Harputlugil G.U., Hensen, J.L.M., "Relation Between Building Assessment Systems and Building Performance Simulation", ***International Build & Human Environment Research Week Proceedings***, 3-7 April, Delft University of Technology, Netherlands, 333-343 (2006).
- [6] Schwenck, M., Sarıyıldız, S., "An Integrated Software Environment for the Architectural Design Process", In: L. Hempel, H. Kirschke (eds.); ***Digital Proceedings IKM 1997*** (CD-ROM), Bauhaus-Universität Weimar, Weimar, Germany, 1-6 (1997).
- [7] Lawson, B., "How Designers Think? The Design Process Demystified", Third Edition, ***Biddles Ltd. Press***, UK, 32-35 (1997).
- [8] TMMOB, "Serbest Mimarlık Hizmetleri Uygulama ve Mesleki Denetim Yönetmeliği", ***Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği***, Ankara, 1-15 (2002).
- [9] Utkutuğ, G., Ulukavak, G., "Building Simulation Programs as a Tool of Energy Performance Evaluation", "Binaların Enerji Performansının Değerlendirilmesi Bağlamında Bina Simülasyon Programları", ***Türk Tesisat Mühendisleri Dergisi***, Sayı:19, 33-40, (2002).
- [10] IEA, "Energy Efficiency Initiative, Volume1: Energy policy analysis", Volume2: Country Profiles & Case Studies, <http://www.iea.org/pub.htm>, International Energy Agency, USA, (1998).

- [11] Marsh, A. J., "Performance Analysis and Conceptual Design, Part A-Discussion", Doctor of Philosophy Thesis, **The University of Western Australia School of Architecture and Fine Arts**, Australia, 30-65 (1997).
- [12] Kesmez, İ., "Bilgisayar Destekli Tasarımın Mimarlık Eğitime Katkıları Bir Yöntem Önerisi", Yüksek lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 32-40 (2000).
- [13] Hui, S. C. M., "Simulation based design tools for energy efficient buildings in Hong Kong", **Hong Kong Papers in Design and Development**, Vol.1: 40-46, (1998).
- [14] Hensen, J.L.M., "On the Thermal Interaction of Building Structure and Heating and Ventilating System", PhD Dissertation, **Energy Systems Research Unit, Department of Mechanical Engineering**, University of Strathclyde, UK, 15-17 (1991).
- [15] Ayçam, İ., "Pencerelerin Isıl Performansının Arttırılmasına Yönelik İyileştirme Teknikleri", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, Türkiye, 40 (1998).
- [16] Ayçam, İ., "Türkiye Derece Gün Bölgelerinde Isıtma Gerektiren Dönem İçin Alçak Katlı Konut Binalarında Uygun Cam Tiplerinin Saptanmasına Yönelik bir Yöntem", Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, Türkiye, 33-35 (2006).
- [17] Olgyay, V., "Design with Climate, Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism", **Princeton University Press**, New Jersey, USA, 96 (2001).
- [18] Utkutuğ, G., Ayçam, İ., İmren, M., "Fiziksel Çevre Denetimi-1", Fiziksel Çevre Denetimi Ders Notları, **GÜMMF Mimarlık Bölümü**, Ankara, Türkiye, 64 (1994).
- [19] ASHRAE, "ASHRAE Handbook Fundamentals", SI and IP Edition, **American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers**, Inc., Atlanta, USA, 89 (2001).
- [20] TSE, "TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Standardı", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, Türkiye, 5 (2008).
- [21] ESRU, "Self Learning Modules", Energy Systems Research Unit, Strathclyde University, UK, <http://esru.strath.ac.uk> (2007).

- [22] Morbitzer, C. A., "Towards the Integration of Simulation into the Building Design Process", PhD dissertation, **Energy Systems Research Unit, Department of Mechanical Engineering**, University of Strathclyde, UK, 6-10, 51-76 (2003).
- [23] Hensen, J.L.M. "Simulating building performance: just how useful is it?", **REHVA Journal**, nr. 4, Federation of European Heating, Ventilating and Air-conditioning Associations - REHVA, Brussels, 18-24 (2003).
- [24] Hui, S. C. M., "Using Performance-based Approach in Building Energy Standards and Codes", **In Proc. Of the Chongqing-Hong Kong Joint Symposium 2002**, 8-10 july, Chongqing, China, A52-61 (2002).
- [25] Briggs, R. S., Brambley M. R., "Whole Building Energy Targets: A Methodology for Future Performance-Based Standards", **Proc. of Building Simulation '91 Conference**, IBPSA, August, 20-22, Sophia-Antipolis, Nice, France, 631-637 (1991).
- [26]. CEC, "Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the Energy Performance of Buildings", presented by **the Commision of the European Communities**, Brussel, Belgium, 3-8 (2001).
- [27] Roulet, C. A., Anderson, B., "CEN Standards for Implementing the European Directive on Energy Performance of Buildings", **The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture**, Geneva, Switzerland, 6-8 September, 183-221 (2006).
- [28] Hougeling, J., "EPBD and CEN Mandate from EU to Develop Standards to Support the Implementation of EPBD", **CEN Technical Meetings**, 17 January, Netherlands, 1-18 (2005).
- [29] Aburdene, M. F., "Computer Simulation of Dynamic Systems", **Wm. C. Brown Publishers**, Dubuque, IA, 354 (1988).
- [30] Hendricx, A., "A Core Object Model For Architectural Design", PhD Thesis, **Catholic University Louvain, Department of Architecture**, Belgium, 28-30 (2000).
- [31] Hui, S. C. M., "Energy Performance of Air-Conditioned Buildings in Hong Kong", PhD Thesis, **City University of Hong Kong**, HongKong 47-89 (1996).
- [32] De Wilde, P., Voorden, V., "Computational Support For The Selection Of Energy Saving Building Components", **Proceedings of Building Simulation'03 Conference**, IBPSA, Eindhoven, the Netherlands, 1409-1416 (2003).

- [33] Harputlugil, G. U., "Mimari Tasarım Süreci İçinde Bina Enerji Simülasyon Programı Uygulamalarının Yeri", **Teknoloji Dergisi**, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları, Cilt:10, sayı:3, 143-159, (2007).
- [34] Augenbroe G., "Trends in Building Simulation", **Building and Environment**, v.37, 891-902, (2002).
- [35] Hensen, J. L. M. "Towards more effective use of building performance simulation in design", in Proc. **7th International Conference on Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning**, 2-5 July , Technische Universiteit Eindhoven, D-291 (2004).
- [36] Djunaedy, E., Hensen, J. L. M., & Loomans, M. "Selecting an appropriate tool for airflow simulation in buildings", **Building Services Engineering Research and Technology**, vol. 25, no. 3, 269-278 (2004).
- [37] Hopfe C. J., Struck C., Harputlugil G. U., Hensen J. L. M., De Wilde P., "Exploration of the Use of Building Performance Simulation for Conceptual Design", **IBPSA-NVL Conference**, 20 October, Technische Universiteit Delft, Netherlands, 1-16 (2005).
- [38] Clarke, J., "Energy Simulation in Building Design", **Butterworth-Heinemann, Oxford**, UK, 58 (2001).
- [39] Judkoff, R., D. Wortman, B. O'Doherty, and J. Burch, "A methodology for validating building energy analysis simulations" **SERI/TR-254-1508 report**, Golden, Colo.: Solar Energy Research Institute (now NREL), SERI/TR-254-1508 (1983).
- [40] Hensen, J. L. M. "Towards more effective use of building performance simulation in design", in Proc. **7th International Conference on Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning**, 2-5 July , Technische Universiteit Eindhoven, 291(2004).
- [41] Helton, J. C., Johnson, J. D., Sallaberry, C. J., Storlie, C. B., "Survey of Sampling Based Methods for Uncertainty and Sensitivity Analysis", **Reliability Engineering and System Safety**, Volume 91, 1175-1209, (2006).
- [42] Spitler, J. D., Fisher, D. E., Zietlow, D. C., "A Primer on the Use of Influence Coefficients in Building Simulation", **Proceedings of Building Simulation'89 Conference**, IBPSA, Vancouver, Belgium, 299-304, (1989).
- [43] Corson G. C., "Input-Output Sensitivity of Building Energy Simulations", **ASHRAE transactions**, 98 (Part I), 618-626, (1992).

- [44] Lam J. C. and Hui S. C., "Sensitivity Analysis of Energy Performance of Office Buildings", ***Building and Environment***, Vol.31 No.1, 27-39, (1996).
- [45] Fülbringer and Roulet, "Confidence of Simulation Results: Put a Sensitivity Analysis Module in Your Model", ***Energy and Buildings***, Volume 30, 61-71, (1999).
- [46] Mc Donald, "Assessing the Significance of Design Changes when Simulating Building Performance Including the Effects of Uncertain Input Data", ***Proceedings of e-Sim'04***, Vancouver, 3-5 (2004).
- [47] Westphal and Lamberts, "Building Simulation Calibration Using Sensitivity Analysis", ***Proceedings of Building Simulation'05 Conference***, IBPSA, Montreal, Canada, 1331-1338 (2005).
- [48] European Union, Joint Research Center, "Sensitivity Analysis Methods", <http://sensitivity-analysis.jrc.ec.europa.eu/methods/index.htm> (2009).
- [49] Hamby, D. M., "A Review of Techniques for Parameter Sensitivity Analysis of Environmental Models", ***Environmental Monitoring and Assessment***, v.32, 135-154, (1994).
- [50] Saltelli, A., Ratto, M., Tarantola, S., Campolongo, F., "Sensitivity Analysis Practices: Strategies for Model Based Inference", ***Reliability Engineering and System Safety***, Volume 91, 1109-1125, (2006).
- [51] Heiselberg, P., Brohus, H., Hesselhort, A., Rasmussen, H., Seinre, E., Thomas, S., "Application of Sensitivity Analysis in Design of Integrated Building Concepts", ***1th Annex 44 Forum***, The University of Hong Kong, Hong Kong, China, 24 (2007).
- [52] Hansen, H. T. R., "Sensitivity Analysis as a Methodical Approach to the Development of Design Strategies for Environmental Sustainable Buildings", PhD Thesis, ***Department of Architecture and Design and Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Science and Medicine, Aalborg University***, Denmark, 141-199 (2007).
- [53] Öztürk, S., "Okullarımızın Enerji Tüketimleri ve Enerji Tasarruf Potansiyeli", ***EİEİ/UETM Raporu***, Ankara, Türkiye, 1-15 (2001).
- [54] Harputlugil, G. U., Harputlugil, T., Wilde, P.d., "Thermal Design for Turkish Schools: Prospects for an Improved Pre-Design Process", ***Architectural Engineering and Design Management***, Volume 5, Issue: 3, Earthscan, UK, 153-164 (2009).

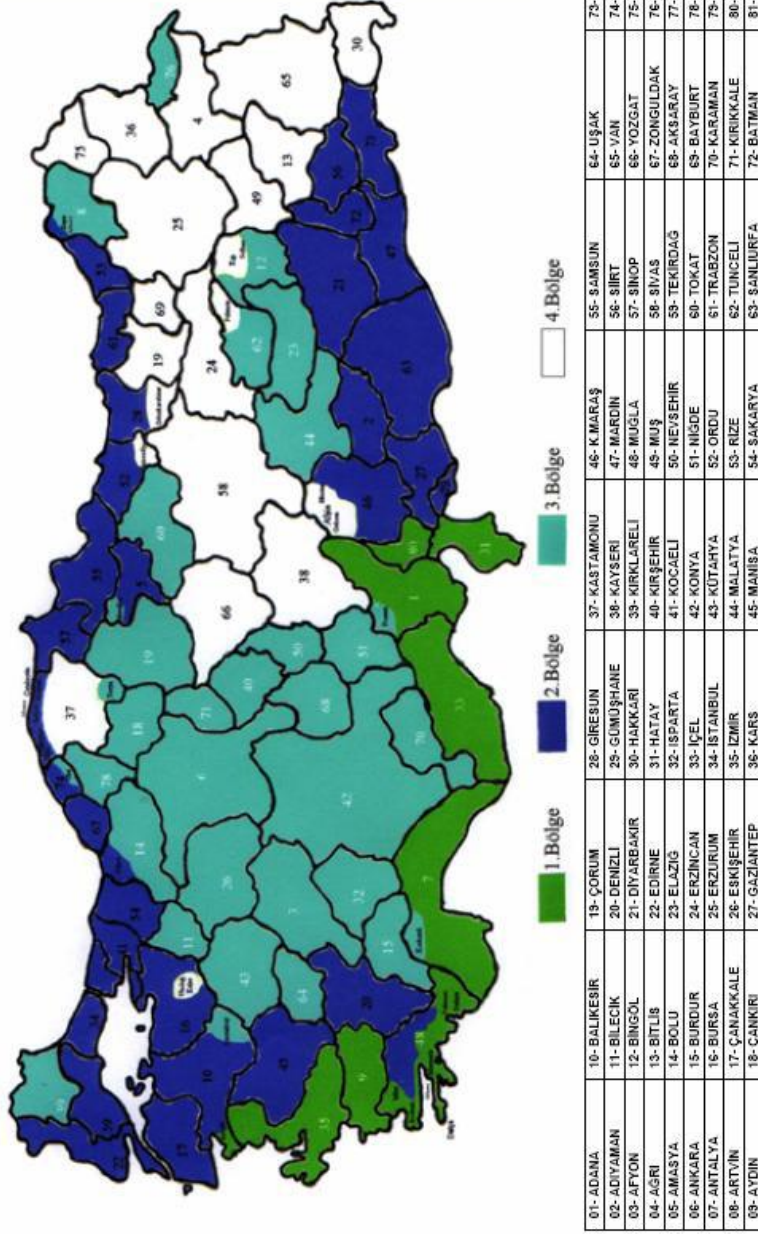
- [55] Stratchan, P., “Esp-r: Summary of Validation Stories”, **ESRU Technical Report**, University of Strachclyde, Energy Systems Research Unit, UK. 25 (2000).
- [56] Harputlugil, G. U., Hensen, J., & Wilde, P. d., "Simulation as a tool to develop guidelines for the design of school schemes for four climatic regions of Turkiye", **Proceedings of the 10th IBPSA Building Simulation Conference**, 3-5 September, Tsinghua University, Beijing, 1805-1812, (2007).
- [57] Harputlugil, G. U., Wilde, P.d., Hensen, J., Çelebi, G., Development of A Thermally Robust School Outline Design for the Different Climate Regions of Turkiye, **Proceedings of the 11th IBPSA Building Simulation Conference**, 26-30 July, Stratchclyde University, Glasgow, UK, 905-912, (2009).
- [58] Sensoy, S., 2007 yılı ısıtma ve soğutma gün dereceleri, **Meteoroloji işleri genel müdürlüğü raporu**, Ankara, 1-5 (2007).
- [59] SIMLAB, 2006, <http://simlab.jrc.ec.europa.eu/>, Simlab version 2.2 manual, 28-53, 76-97 (2009).
- [60] Ulukavak Harputlugil G., Harputlugil T., De Wilde, P., 2008, “Novel Concepts for the Design of High-Performance Schools”, **5th International Conference on Innovation in Architecture, Engineering and Construction**, AEC 2008 Proceedings, 23rd-25th July, Antalya, Turkiye, 48-58 (CD).
- [61] Perkins, B., “Building Type Basics for Elementary and Secondary Schools”, ed. Stephen a. Kliment, **John Wiley and Sons**, Canada, 16-22 (2001)
- [62] Karabey, H., “Eğitim Yapıları”, **Literatür Yayınları**, İstanbul, 78 (2004).
- [63] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, **Resmî Gazete**, Ankara, 1-15 (2008)
- [64] Santamouris, M., Mihalakakou, G., Patargias, P., Gaitani, N., Sfakianaki, K., Papaglastra, M., Pavlou, C., Doukas, P., Primikiri, E., Geros, V., Assimakopoulos, M. N., Mitoula, R., Zerefos, Z., “Using Intelligent Custering Techniques to Classify the Energy Performance of School Buildings”, **Energy & Buildings**, V:39, issue:1, 45-51(2007).

- [65] Yilmaz, Z., "Evaluation of energy efficient design strategies for different climatic zones: Comparison of thermal performance of buildings in temperate-humid and hot-dry climate", ***Energy and Buildings***, volume 39, 306-316 (2007).
- [66] Vesma, V., "Accounting for the weather", Vesma Ltd. Company Report, UK. <http://www.vesma.com/mt/> (2003).
- [67] Vesma, V., "How degree days are computed", Vesma Ltd. Company Report, UK, <http://www.vesma.com/mt/> (2007).

EKLER

EK-1 Türkiye'de TS825'e göre, derece gün bölgelerine göre iller.

Derece gün bölgelerine göre illerimiz



EK-2. Derece Gün Tanımı ve Türkiye İklim Bölgelerine göre Isıtma ve Soğutma Derece Gün Değerleri

Enerji tüketim değerlerinin belirlenmesinde dış iklimsel veriler önem kazanmaktadır. Özellikle binanın ısıtılması veya soğutulması gerekliliğinin belirlenmesinde dış sıcaklık verileri önemlidir. Dış ortam sıcaklığının -8°C olması halindeki enerji tüketimi ile 8°C olması halindeki enerji tüketimi miktarı birbirinden kesinlikle farklı olacaktır. Bu nedenle dış sıcaklık değerlerine bağlı olarak bir bölgeye ait derece-gün değerlerinin hesaplanması ile, o bölgenin ne kadar sıcak (soğutma için) ya da ne kadar soğuk (ısıtma için) olduğunu, haftalık veya aylık olarak belirlenen tek bir sayıyla basitleştirilmiş olarak gösterebilmek mümkündür [66].

Derece-gün değerinin hesaplanabilmesi için çeşitli yöntemler var olmakla birlikte, hepsi için bir “referans sıcaklık” değeri gereklidir. Bu referans değere bağlı olarak hem “ısıtma derece gün” değeri, hem de “soğutma derece gün” değeri belirlenebilir.

Referans değerin belirlenmesinde, bazı kabullere gerek duyulmaktadır. Bunlardan biri, “ısıtılmayan bir bina”nın iç ortam sıcaklığı ile dış ortam sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkıdır. Buradaki mantık, iç ortamdaki kullanıcı, aydınlatma ve ekipman yüküne bağlı olarak iç ortam sıcaklığının dış ortama göre birkaç derece yüksek olması gerektiği varsayımına dayalıdır. İkinci kabul ise, iç ortam tasarım sıcaklığıdır. Bu kabullere dayalı olarak “referans sıcaklık” aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$t_{\text{ref}} = t_{\text{tas}} - \Delta t \text{ (iç-dış)} \quad (2.1)$$

Derece gün hesabının yapılabilmesi için referans sıcaklık dışında, o bölgeye ait günlük maksimum ve minimum sıcaklık değerlerinin de bilinmesi gerekir. Derece gün değerinin hesaplanmasında, dış ortama ait maksimum ve minimum sıcaklıklara bağlı olarak, günlük sıcaklığın altında kalan (ısıtma için)

EK-2. (Devam) Derece Gün Tanımı ve Türkiye İklim Bölgelerine göre Isıtma ve Soğutma Derece Gün Değerleri

veya üzerine çıkan (soğutma için) değerlerin haftalık ya da aylık toplamaları ile belirli bir döneme ait sonuç elde edilir. Basit olarak derece gün hesabı aşağıdaki şekilde formüle edilebilir.

$$DG = T_{ref} - (T_{max} + T_{min}) / 2 \quad (2.2)$$

Burada T_{max} ve T_{min} günlük maksimum ve minimum sıcaklık değerlerini göstermektedir. Buna göre günlük dış sıcaklık ortalaması $((T_{max} + T_{min}) / 2)$, referans sıcaklık değerinden 1 derece farklı ise o güne ait derece gün değeri = 1, eğer aradaki fark 3 derece ise, o güne ait derece gün değeri =3'tür.

Isıtma derece gün değerleri ve soğutma derece gün değerlerinin hesaplanmasında, dış sıcaklığın, referans sıcaklığın üzerinde ya da altında bir değere sahip olması halinde uygulanacak formüller Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Isıtma derece gün hesabı (D_i) için uygulanacak formüller [67]

Koşul	Kullanılacak Formül
$T_{max} < T_{ref}$	$D_i = T_{ref} - (T_{max} + T_{min}) / 2$
$T_{max} \geq T_{ref}$	$D_i = (T_{ref} - T_{min}) / 2 - (T_{max} - T_{ref}) / 4$
$(T_{max} + T_{min}) / 2 > T_{ref}$	$D_i = (T_{ref} - T_{min}) / 4$
$T_{min} > T_{ref}$	$D_i = 0$

Çizelge 2.2. Soğutma derece gün hesabı (D_s) için uygulanacak formüller [67]

Koşul	Kullanılacak Formül
$T_{min} > T_{ref}$	$D_s = (T_{max} + T_{min}) / 2 - T_{ref}$
$T_{min} \leq T_{ref}$	$D_s = (T_{max} - T_{ref}) / 2 - (T_{ref} - T_{min}) / 4$
$(T_{max} + T_{min}) / 2 < T_{ref}$	$D_s = (T_{max} - T_{ref}) / 4$
$T_{max} < T_{ref}$	$D_s = 0$

EK-3 Latin Hypercube yöntem ile belirlenmiş 50 örneklem listesi ve derece gün bölgelerine göre ısıtma enerjisi tüketimi sonuçları

Parametreler							Sonuçlar			
Nr.	Duvar	Döşeme	Çatı	Pengtg	Penoranı	Hava değ.oranı	1.DGB (kWh)	2.DGB (kWh)	3.DGB (kWh)	4.DGB (kWh)
1	3,78639	8,46902	3,26868	0,373299	0,305082	0,47422	4797,53	14960,06	28058,35	36966,65
2	6,07953	8,1017	5,93623	0,589105	0,574195	0,846677	3671,7	14223,47	27740,97	36149,62
3	4,69132	9,57686	6,71561	0,449184	0,733982	0,739865	3840,53	13924,19	27173,97	35604,18
4	4,25611	7,76588	12,4774	0,151561	0,721301	0,634684	6269,09	16060,59	28217,2	38179,56
5	3,80328	6,92528	9,21844	0,267608	0,929924	0,715107	6058,04	17153,3	30995,65	33429,44
6	5,0711	4,70716	7,54667	0,404721	0,413136	1,00916	7206,66	18947,12	33458,28	43845,91
7	5,92193	5,44497	7,6475	0,606173	0,394262	1,09103	6107,7	17931,69	32481,59	42645,19
8	3,9444	3,77987	13,7662	0,530014	0,212057	1,11521	8584,85	19936,02	33816,25	44612,32
9	1,91232	6,25431	12,8468	0,440519	0,590764	1,41311	7977,81	21684,18	39323,62	52428,77
10	5,36723	10,5484	5,73165	0,862118	0,289935	1,19623	5730,77	17962,87	33802,69	45307,04
11	6,30962	8,24432	4,36009	0,356213	0,346849	0,557401	4271,19	13914,16	26177,8	34206,11
12	5,47224	9,0233	8,16818	0,167908	0,54137	1,13305	8679,78	20919,08	37125,32	49908,28
13	2,11993	6,61973	12,4079	0,69	0,604312	0,548431	2495,03	10550,54	20921,39	28011,3
14	2,82392	5,25591	14,1361	0,326301	0,437878	0,900549	6032,42	16703,34	29576,96	39315,56
15	3,6737	3,50311	10,1234	0,486029	0,686523	1,30752	7414,95	21073,87	37894,73	49125,3
16	5,27052	4,09711	2,9065	0,296893	0,4041	0,813842	9924,8	22802,51	40186,43	52292,33
17	3,53373	3,35241	8,51524	0,382164	0,485347	1,61174	11692,4	27093,15	46912,21	61560,8
18	3,15561	5,06458	4,21315	0,246752	0,418045	1,27192	11344,5	25816,35	45592,42	60323,16
19	4,90627	3,64281	6,98619	0,428175	0,255517	0,994586	9061,12	20659,09	35264,34	45905,34
20	3,50512	4,72825	9,47673	0,28878	0,37423	1,80815	13625,8	29249,19	50408,72	67566,5
21	7,60409	5,33152	6,87341	0,543325	0,671935	0,985359	4641,62	16187,03	30583,83	39425,17
22	6,42398	3,15472	7,30036	0,229752	0,49231	0,676556	8741,96	19223,17	31997,98	42121,31
23	2,87905	5,71326	15,2499	0,214692	0,633564	0,93344	7530,18	18824,52	32852,11	44408

EK-3 (Devam) Latin Hypercube yöntem ile belirlenmiş 50 örneklem listesi ve derece gün bölgelerine göre ısıtma enerjisi tüketimi sonuçları

24	3,97849	6,22277	8,71207	0,723492	0,792494	0,877857	3414,89	13683,1	27300,88	35610,89
25	2,37901	4,32293	9,92803	0,309123	0,452298	0,731126	7998,42	18519,79	31656,88	42457,89
26	4,73724	4,00258	8,90034	0,656957	0,323481	0,797952	6031,24	16297,95	28428,39	37071,51
27	5,65099	9,40342	14,4202	0,886874	0,439771	0,941783	3121,25	12601,28	24289,04	32922,97
28	1,80852	5,62105	6,4859	0,36227	0,474759	0,486871	4576,95	14206,26	26139,12	34341,46
29	7,06396	7,60408	10,5117	0,389838	0,783974	0,896972	4019,88	14668,42	27887,91	36494,27
30	4,88052	6,56804	7,94592	0,462242	0,626237	0,437648	2356,72	10143,82	20078,97	25859,64
31	6,76125	4,92146	5,37585	0,60495	0,654519	0,757952	4299,93	15102,38	28581,09	36587,17
32	8,23838	6,72468	9,6528	0,784553	0,466021	0,953586	3826,57	14035,19	26447,19	35341,15
33	1,61634	7,19197	10,2047	0,324122	0,229013	1,06971	7468,6	18984,59	33924,46	45563,36
34	2,746	11,2291	17,1458	0,536135	0,183578	0,606982	3043,77	10755,2	20146,08	27645,52
35	3,29641	8,67548	5,13783	0,752666	0,335071	0,837294	4566,6	15488,37	29553,24	39534,64
36	4,42115	6,06926	11,8234	0,259186	0,383561	1,05797	8121,45	19351,92	33625,35	45387,4
37	3,00635	4,23549	13,0955	0,629811	0,273386	0,527092	4723,86	13187,41	22808,64	30012,01
38	4,16789	5,11108	12,0744	0,573524	0,315021	0,580334	4021,55	12538,47	22344,71	29495,56
39	4,52547	7,91606	4,61653	0,648551	0,196486	1,17533	7669,27	20387,25	37297,44	49172,4
40	4,46771	5,9791	8,05872	0,705765	0,565061	1,33282	3777,84	19109,71	35812,01	47565,84
41	5,17355	10,3966	10,8146	0,49536	0,523763	1,50038	5573,97	18904,77	35900,07	48190,12
42	6,05853	2,83867	11,5424	0,56504	0,560152	1,45896	9308,84	23445,59	40630,54	53690,42
43	2,18228	6,45923	6,20898	0,41364	0,530412	1,26273	7841,66	21732,37	39795,84	52606,95
44	2,56705	7,51101	9,01367	0,519731	0,237349	0,696782	4517,97	13879,08	25490,32	34654,57
45	2,46114	4,52907	5,07622	0,470309	0,136329	1,2326	10619,2	23963,37	41971,2	55771,11
46	3,40581	5,83161	10,9723	0,500659	0,360634	0,654412	3925,7	12974,54	23736,3	32122,73
47	5,77693	9,00122	11,2007	0,340909	0,505479	0,789421	3658,49	13141,76	24686,98	32919,31
48	4,14869	7,33482	15,8454	0,181025	0,266042	1,03784	8028,87	18356,16	31740,42	43193,01
49	7,24575	6,95044	3,85535	0,418544	0,166059	0,413568	4820,74	13614,26	25004,29	32269,62
50	3,17478	7,07019	17,6357	0,208229	0,886294	0,384608	5289,62	14035,22	24477,79	33252,17

EK-3 (Devam) Latin Hypercube yöntem ile belirlenmiş 50 örneklem listesi ve derece gün bölgelerine göre soğutma enerjisi tüketimi sonuçları

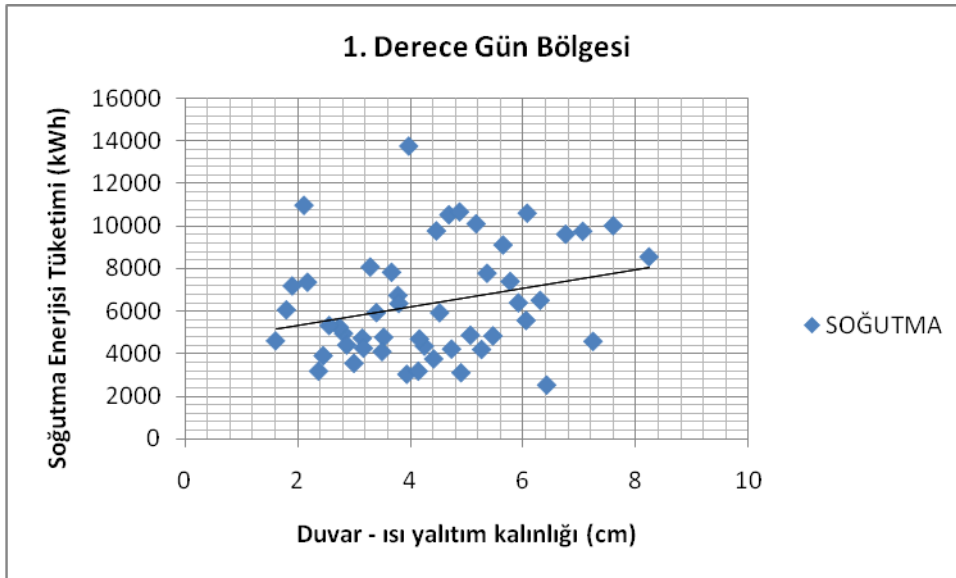
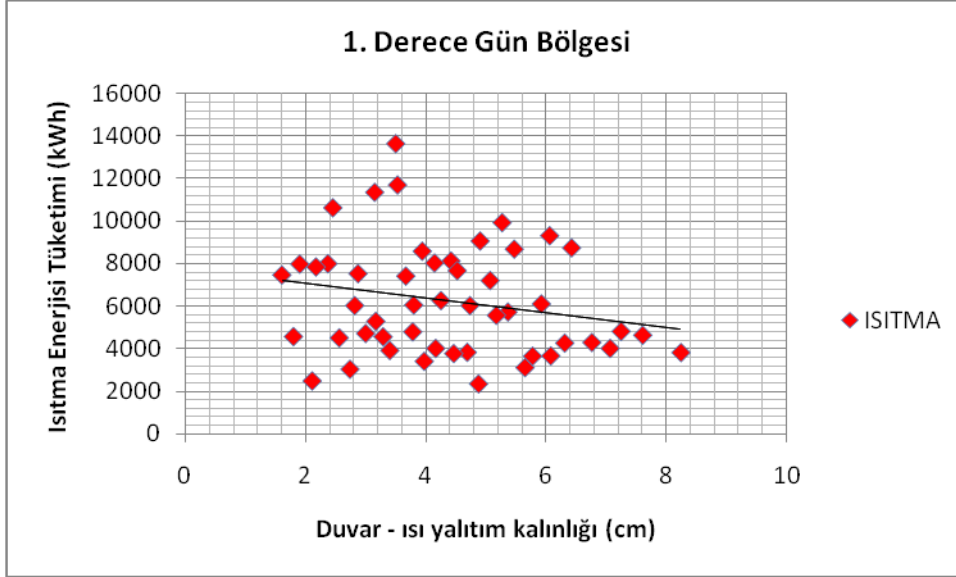
Parametreler							Sonuçlar			
Nr.	Duvar	Döşeme	Çatı	Pengtg	Penoranı	Hava değ.oranı	1.DGB (kWh)	2.DGB (kWh)	3.DGB (kWh)	4.DGB (kWh)
1	3,78639	8,46902	3,26868	0,373299	0,305082	0,47422	6727,16	2011,37	376,24	214,55
2	6,07953	8,1017	5,93623	0,589105	0,574195	0,846677	10602,1	3972,63	2684,77	921,43
3	4,69132	9,57686	6,71561	0,449184	0,733982	0,739865	10525,2	3918,67	2623,43	886,82
4	4,25611	7,76588	12,4774	0,151561	0,721301	0,634684	4333,34	885,14	347,79	79,99
5	3,80328	6,92528	9,21844	0,267608	0,929924	0,715107	6343,85	1708,97	1025,45	376,14
6	5,0711	4,70716	7,54667	0,404721	0,413136	1,00916	4853,37	987,4	504,51	114,61
7	5,92193	5,44497	7,6475	0,606173	0,394262	1,09103	6380,06	1631,48	999,47	252,87
8	3,9444	3,77987	13,7662	0,530014	0,212057	1,11521	3011,25	320,55	180,76	9,02
9	1,91232	6,25431	12,8468	0,440519	0,590764	1,41311	7174,16	1771,81	1322,07	300,12
10	5,36723	10,5484	5,73165	0,862118	0,289935	1,19623	7771,43	2140,06	940,15	325,9
11	6,30962	8,24432	4,36009	0,356213	0,346849	0,557401	6495,03	1964,36	580,51	240,59
12	5,47224	9,0233	8,16818	0,167908	0,54137	1,13305	4818,63	792,99	285,32	56,94
13	2,11993	6,61973	12,4079	0,69	0,604312	0,548431	10970,6	4683,11	3814,42	1486,15
14	2,82392	5,25591	14,1361	0,326301	0,437878	0,900549	4934,83	1113,92	667,51	134,65
15	3,6737	3,50311	10,1234	0,486029	0,686523	1,30752	7817,13	2197,41	2270,36	523,43
16	5,27052	4,09711	2,9065	0,296893	0,4041	0,813842	4181,18	599,35	101,76	53,54
17	3,53373	3,35241	8,51524	0,382164	0,485347	1,61174	4754,83	715,26	539,69	99,72
18	3,15561	5,06458	4,21315	0,246752	0,418045	1,27192	4712,39	639,77	196,59	62,11
19	4,90627	3,64281	6,98619	0,428175	0,255517	0,994586	3084,67	329,01	121,67	7,53
20	3,50512	4,72825	9,47673	0,28878	0,37423	1,80815	4080,78	372,12	220,54	39,45
21	7,60409	5,33152	6,87341	0,543325	0,671935	0,985359	10011,4	3522,79	2959,58	886,46
22	6,42398	3,15472	7,30036	0,229752	0,49231	0,676556	2502,37	250,89	89,61	24,08
23	2,87905	5,71326	15,2499	0,214692	0,633564	0,93344	4390,1	804,78	435,57	96,83

EK-3 (Devam) Latin Hypercube yöntem ile belirlenmiş 50 örneklem listesi ve derece gün bölgelerine göre soğutma enerjisi tüketimi sonuçları

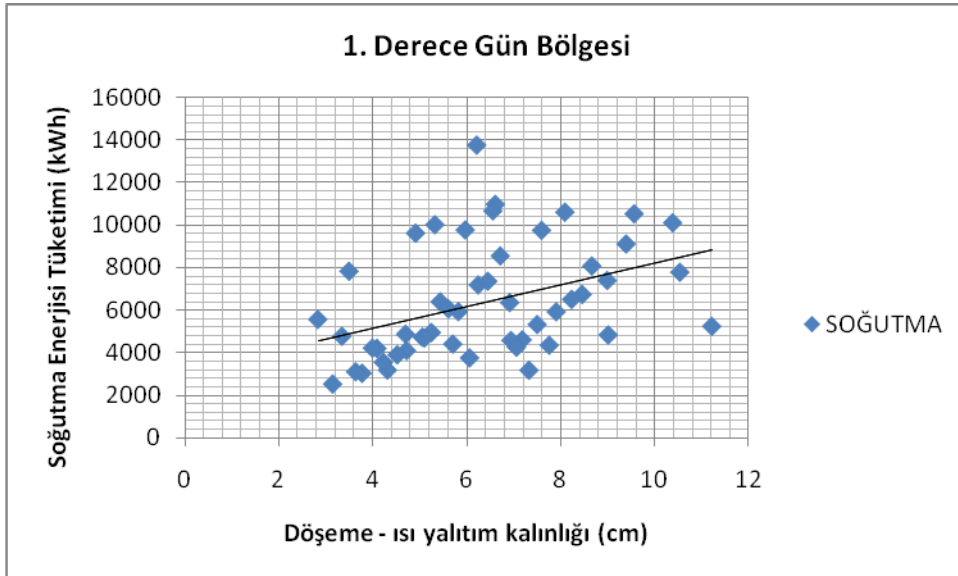
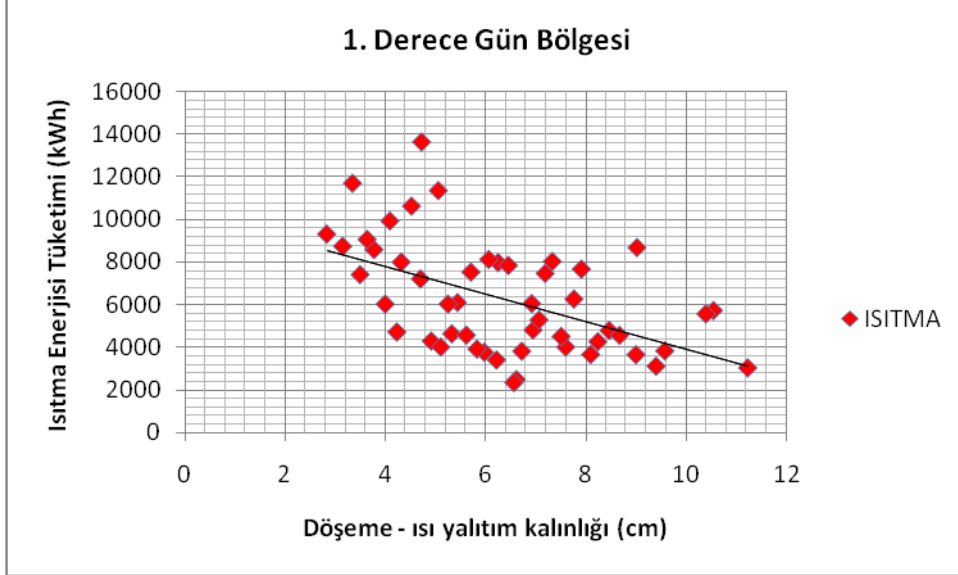
24	3,97849	6,22277	8,71207	0,723492	0,792494	0,877857	13761	5749,54	5441,08	1992,95
25	2,37901	4,32293	9,92803	0,309123	0,452298	0,731126	3159,34	400,12	143,85	25,98
26	4,73724	4,00258	8,90034	0,656957	0,323481	0,797952	4198,77	890,6	480,84	100,27
27	5,65099	9,40342	14,4202	0,886874	0,439771	0,941783	9102,73	3286,32	2379,06	775,2
28	1,80852	5,62105	6,4859	0,36227	0,474759	0,486871	6047,13	1795,09	804,45	239,01
29	7,06396	7,60408	10,5117	0,389838	0,783974	0,896972	9746,79	3477,01	2820,98	829
30	4,88052	6,56804	7,94592	0,462242	0,626237	0,437648	10662,4	4568,28	3456,98	1331,19
31	6,76125	4,92146	5,37585	0,60495	0,654519	0,757952	9611,69	3472,38	2654,14	861,64
32	8,23838	6,72468	9,6528	0,784553	0,466021	0,953586	8542,69	2919,85	2151,46	713,29
33	1,61634	7,19197	10,2047	0,324122	0,229013	1,06971	4586,62	767,66	269,92	31,49
34	2,746	11,2291	17,1458	0,536135	0,183578	0,606982	5226,45	1520,7	589,11	137,58
35	3,29641	8,67548	5,13783	0,752666	0,335071	0,837294	8067,22	2554,15	1133,2	432,82
36	4,42115	6,06926	11,8234	0,259186	0,383561	1,05797	3736,01	506,85	204,75	30,67
37	3,00635	4,23549	13,0955	0,629811	0,273386	0,527092	3529,49	769,78	365,03	63,66
38	4,16789	5,11108	12,0744	0,573524	0,315021	0,580334	4674,97	1268,01	684,4	156,36
39	4,52547	7,91606	4,61653	0,648551	0,196486	1,17533	5908,16	1179,08	347,14	101,42
40	4,46771	5,9791	8,05872	0,705765	0,565061	1,33282	9765,75	3050,16	2513,19	737,71
41	5,17355	10,3966	10,8146	0,49536	0,523763	1,50038	10100,7	3173,37	2407,76	682,57
42	6,05853	2,83867	11,5424	0,56504	0,560152	1,45896	5548,17	1192,41	1296,06	336,49
43	2,18228	6,45923	6,20898	0,41364	0,530412	1,26273	7348,83	1786,28	1013,57	275,13
44	2,56705	7,51101	9,01367	0,519731	0,237349	0,696782	5307,74	1374,83	499,76	169,76
45	2,46114	4,52907	5,07622	0,470309	0,136329	1,2326	3884,63	414,98	113,32	31,7
46	3,40581	5,83161	10,9723	0,500659	0,360634	0,654412	5915,42	1777,5	1029,44	333,07
47	5,77693	9,00122	11,2007	0,340909	0,505479	0,789421	7385,09	2400,22	1449,27	407,88
48	4,14869	7,33482	15,8454	0,181025	0,266042	1,03784	3156,94	313,98	100,12	6,87
49	7,24575	6,95044	3,85535	0,418544	0,166059	0,413568	4559,75	1104,73	125,51	52,13
50	3,17478	7,07019	17,6357	0,208229	0,886294	0,384608	4241,23	1009,11	472,41	121,91

EK-4 İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları

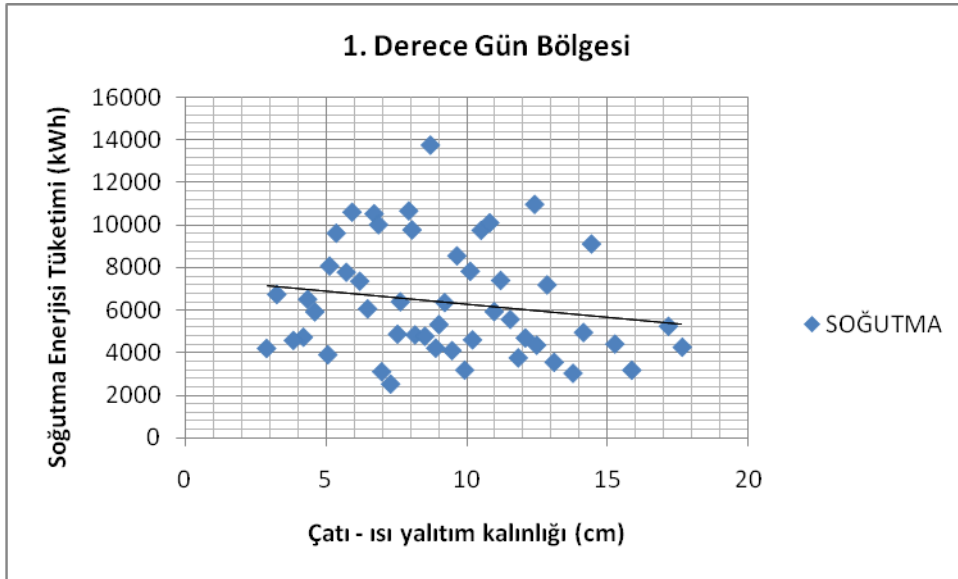
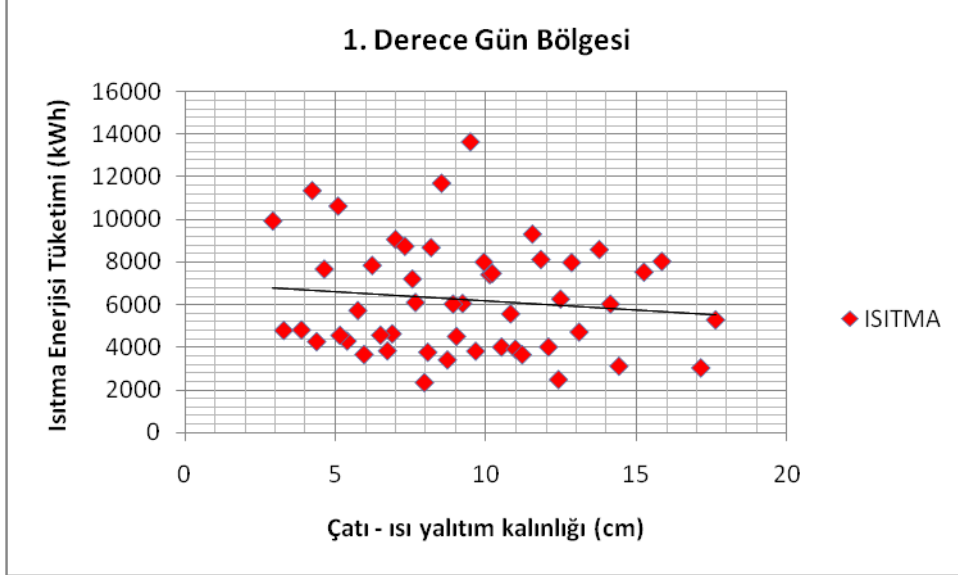
A. 1. Derece Gün Bölgesi (Antalya)



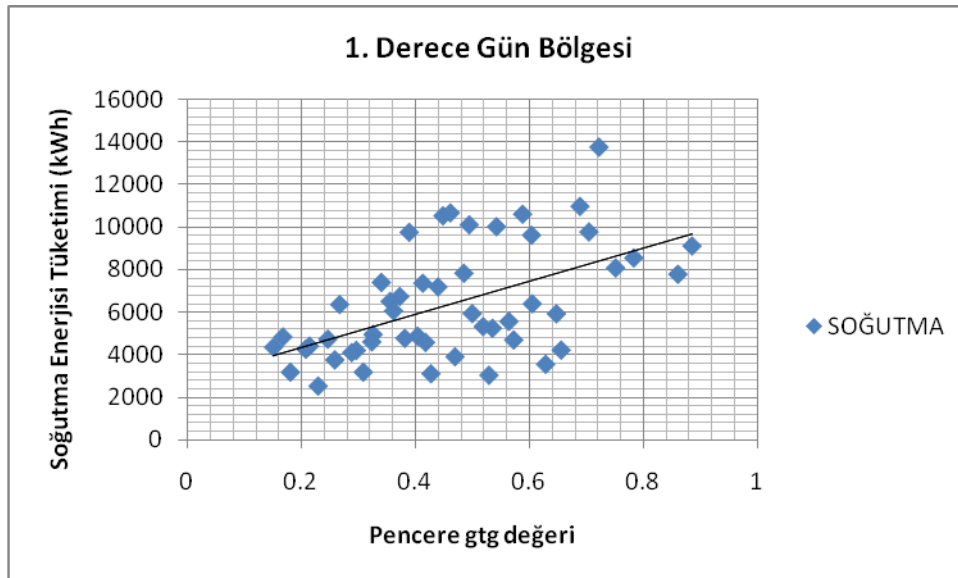
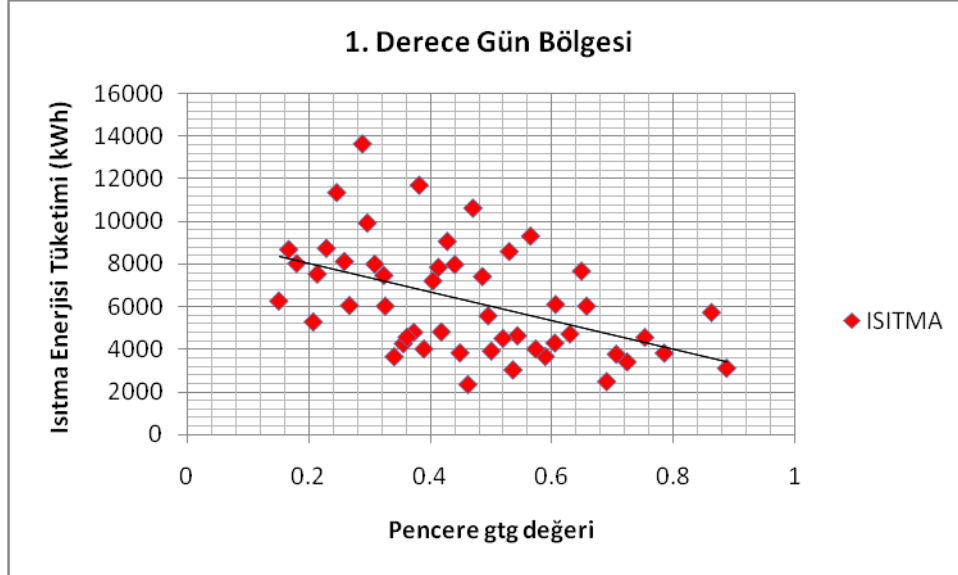
EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları



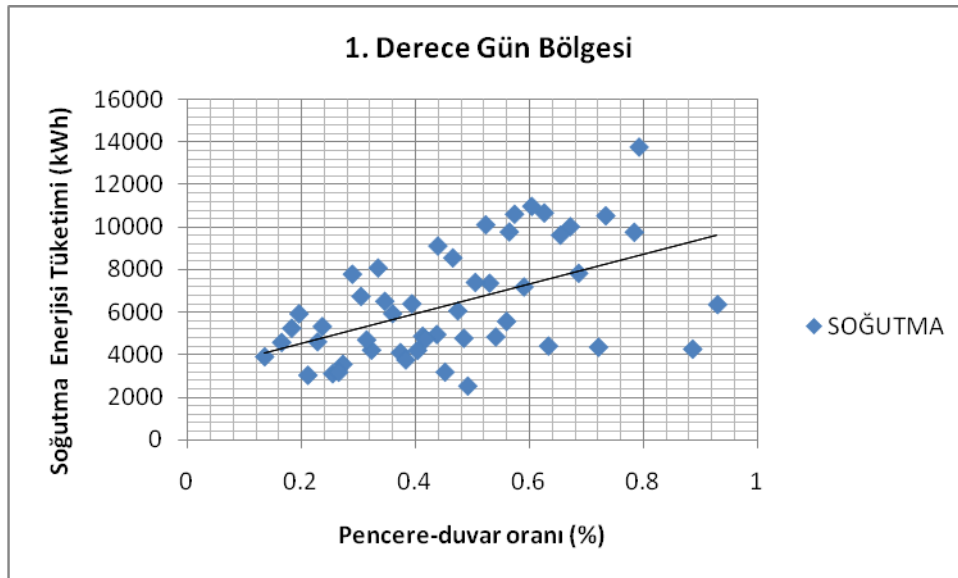
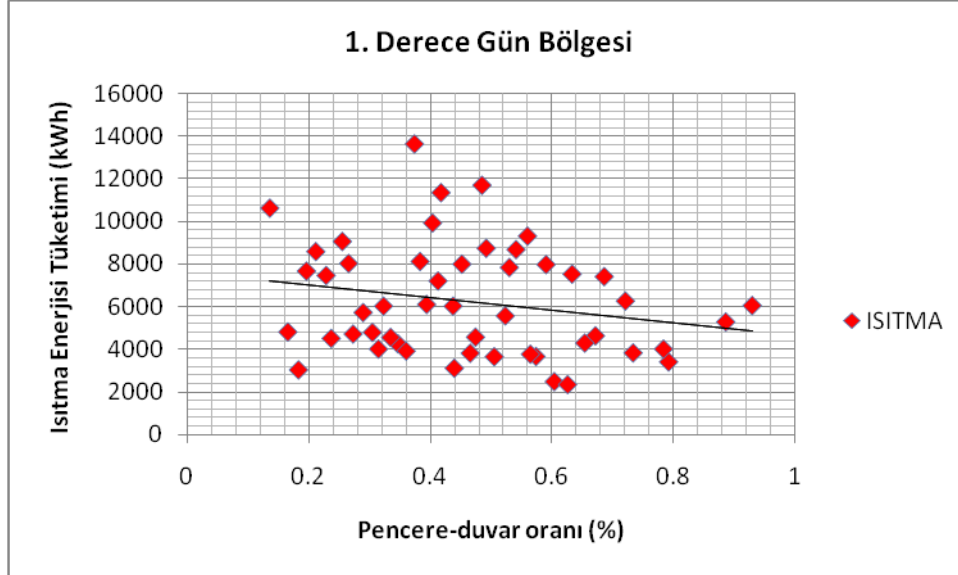
EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları



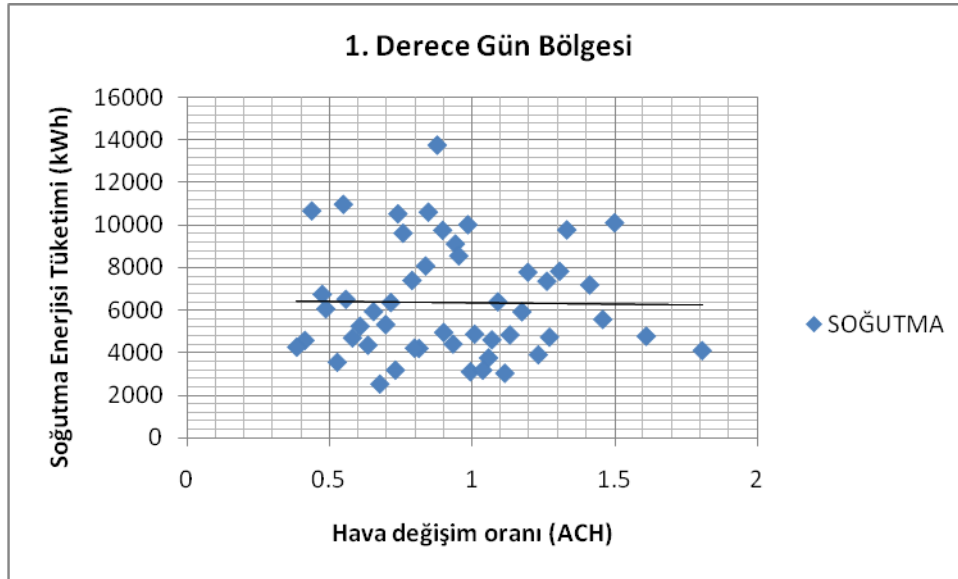
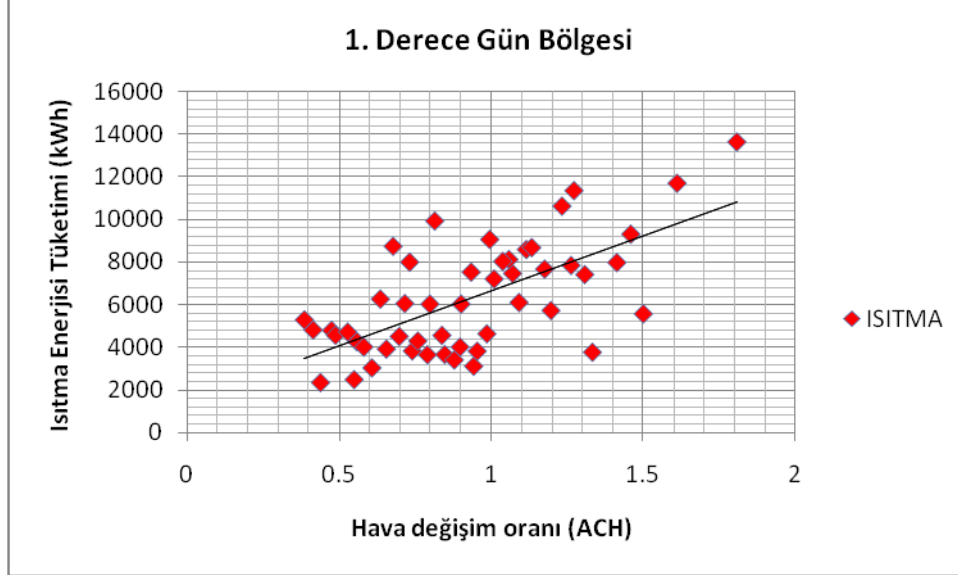
EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları



EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları

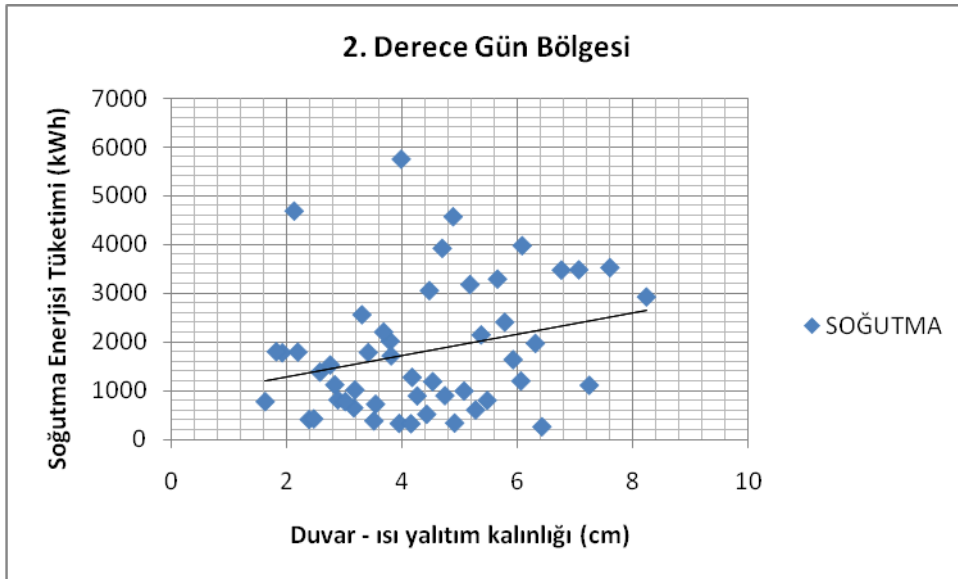
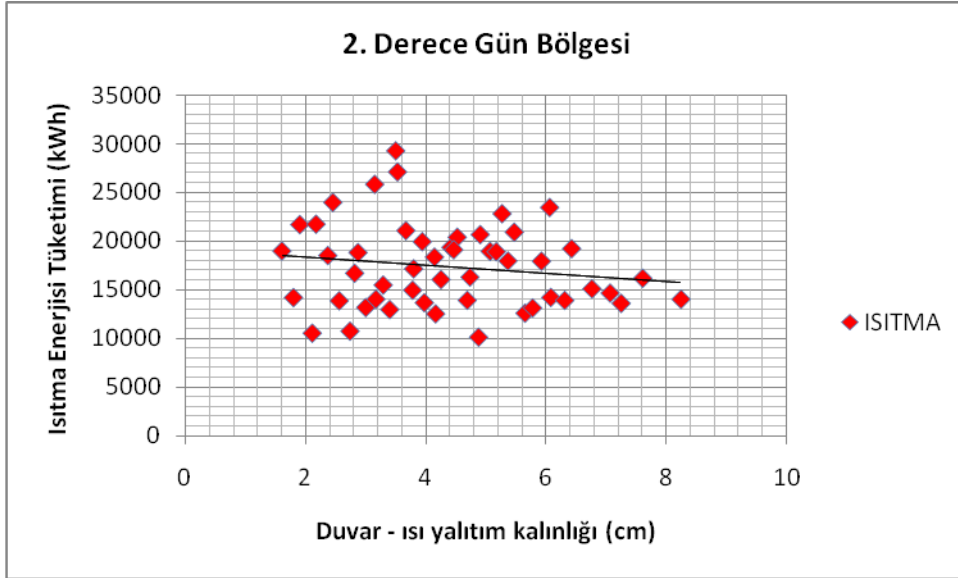


EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları

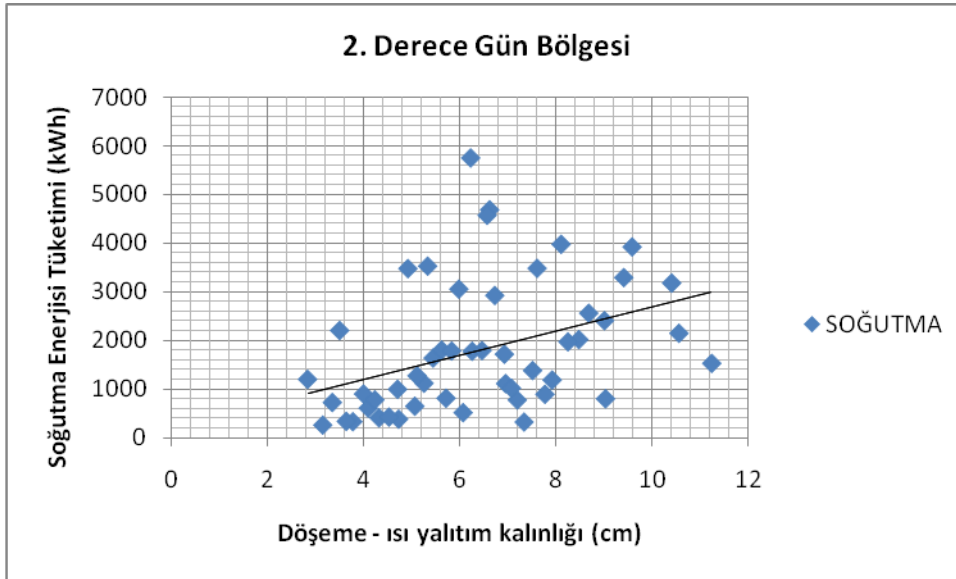
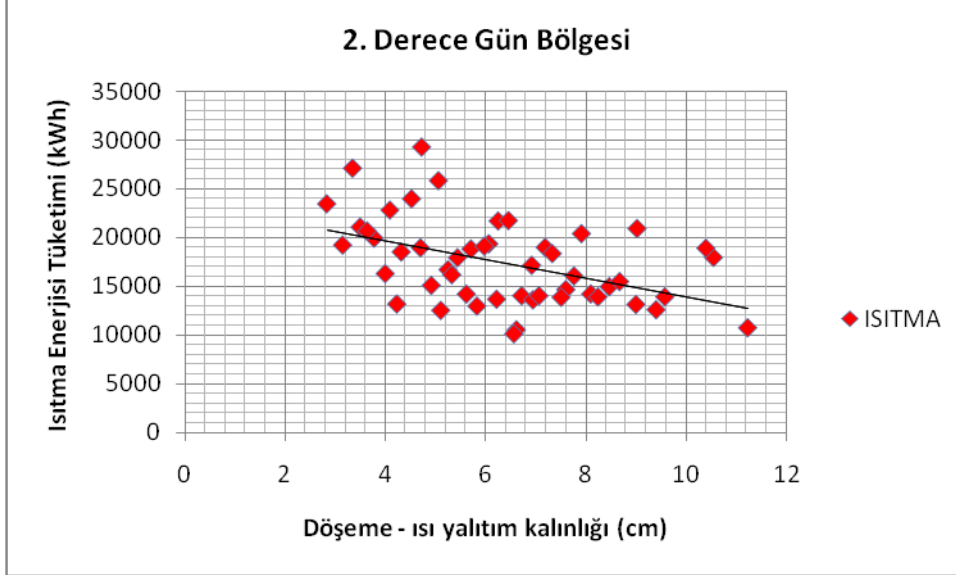


EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları

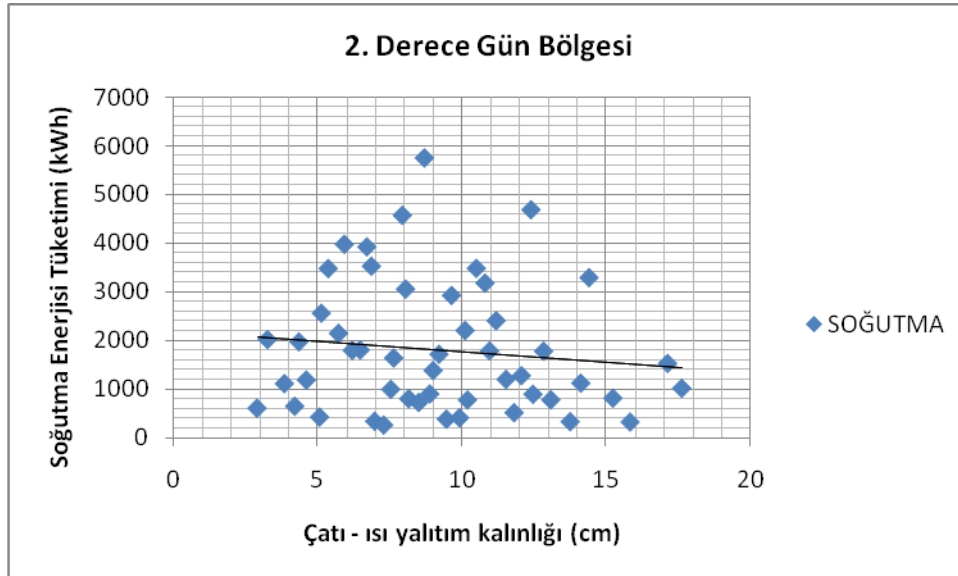
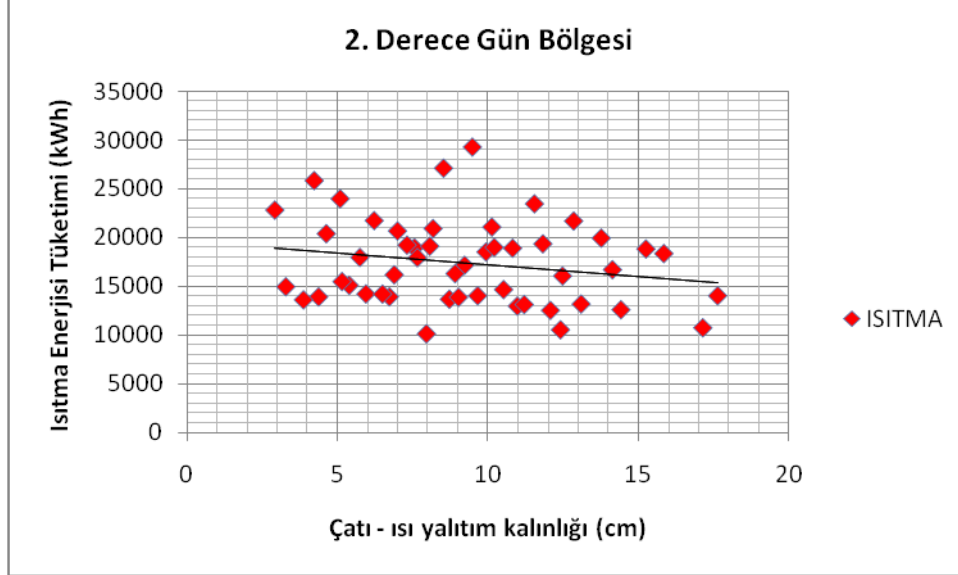
B. 2.Derece Gün Bölgesi (İstanbul)



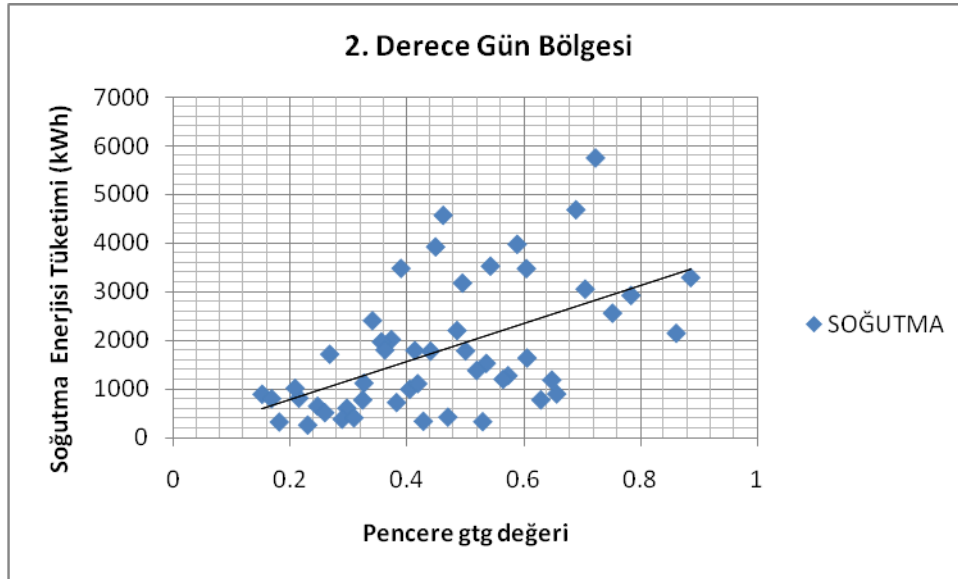
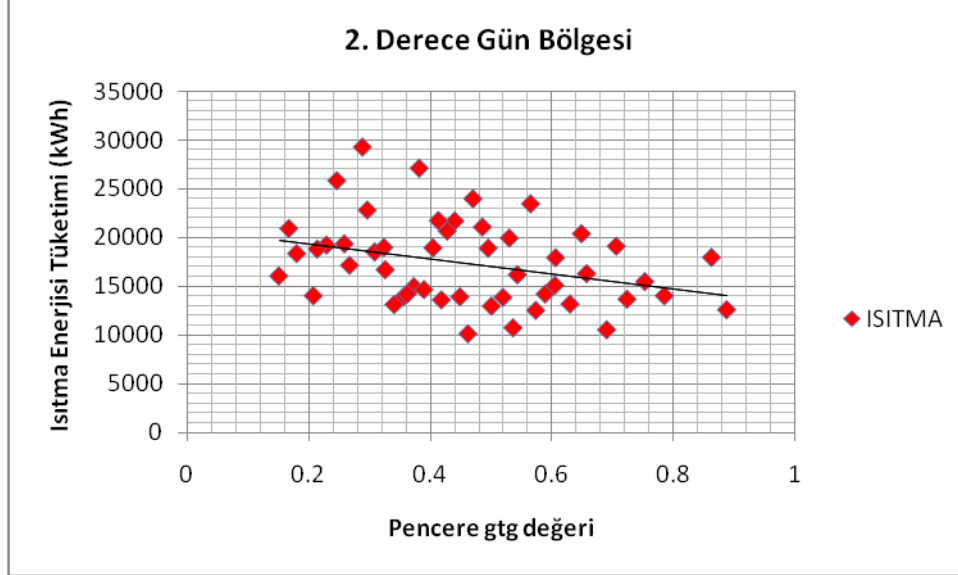
EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları



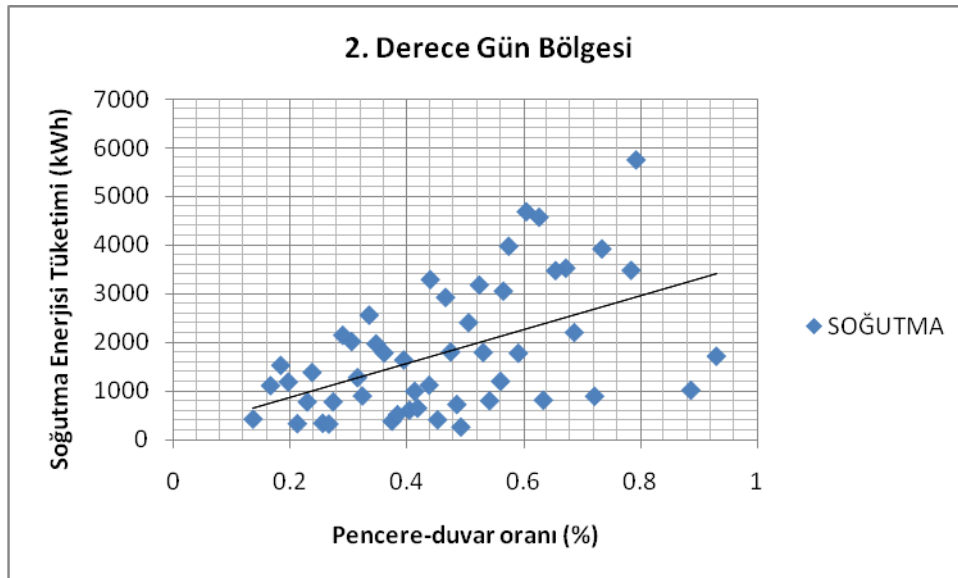
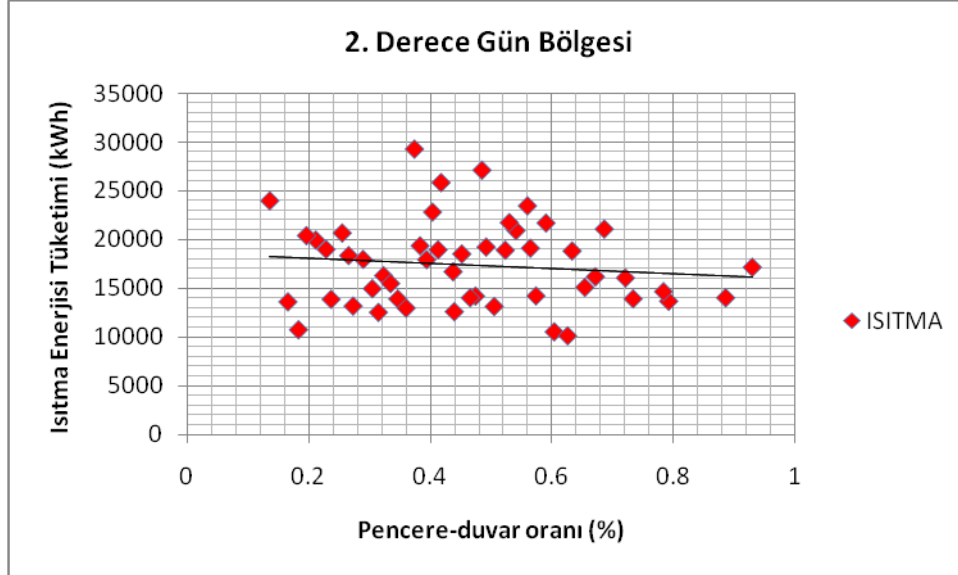
EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları



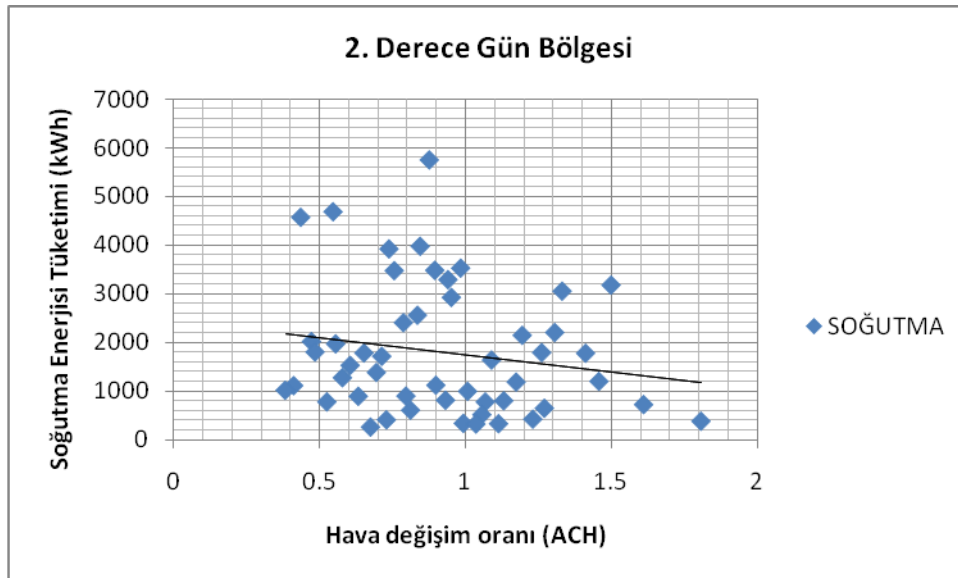
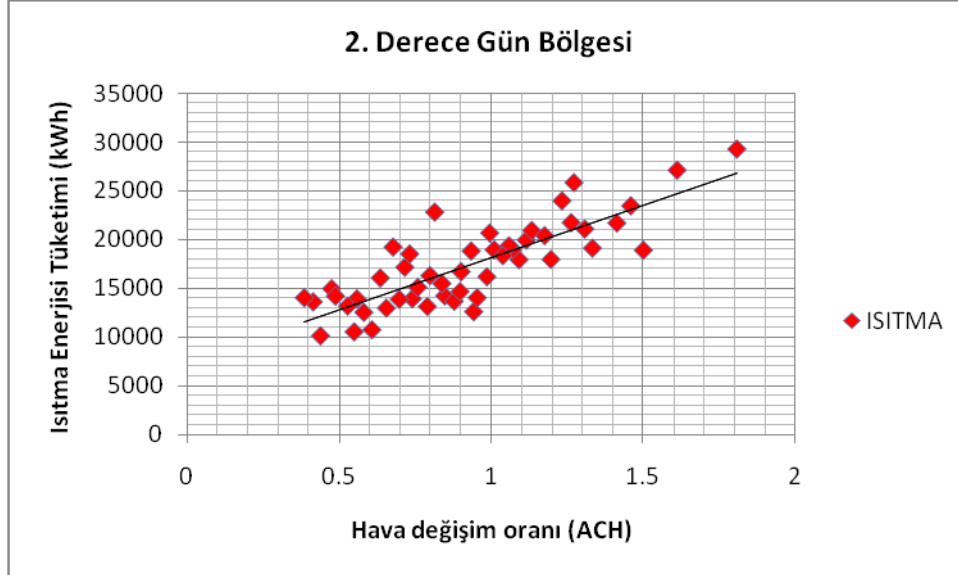
EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları



EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları

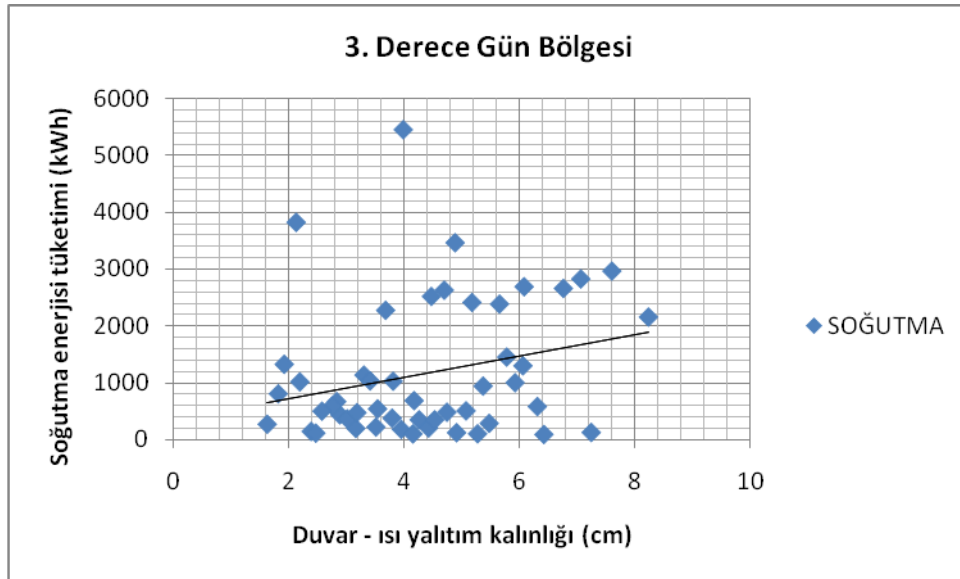
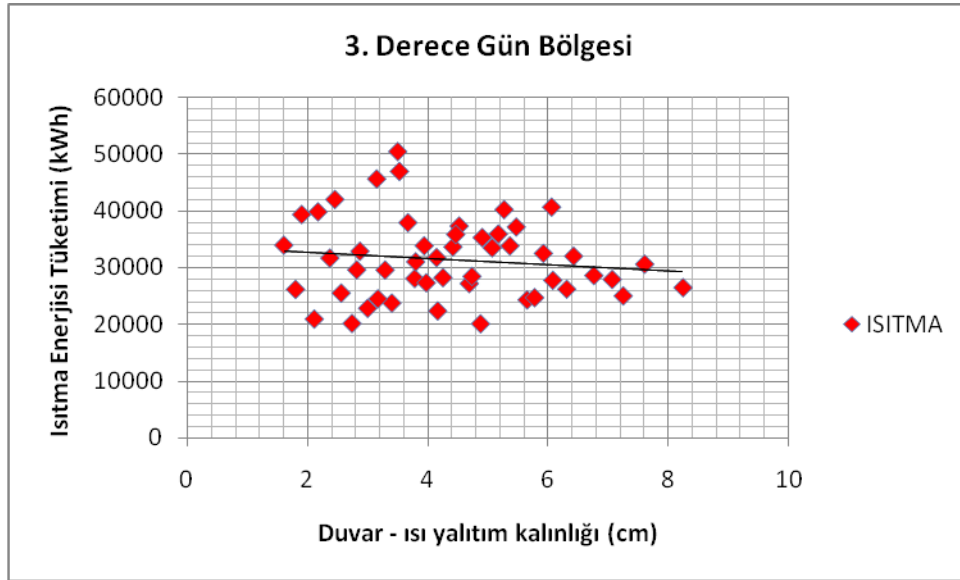


EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları

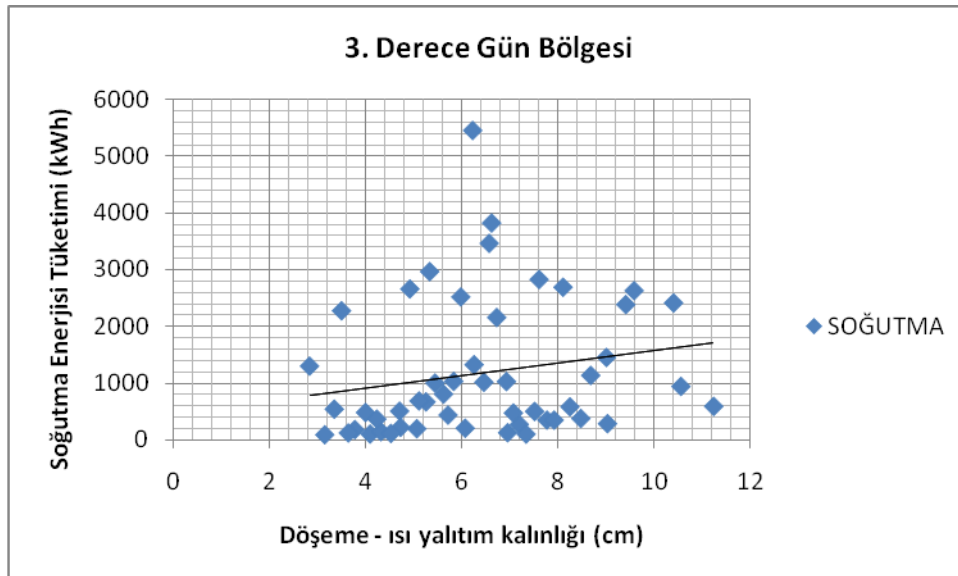
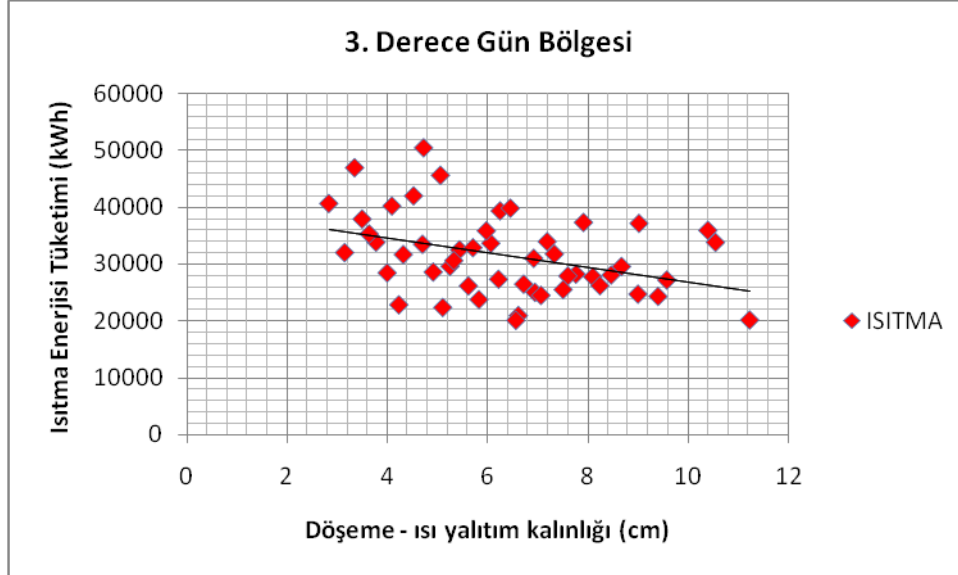


EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları

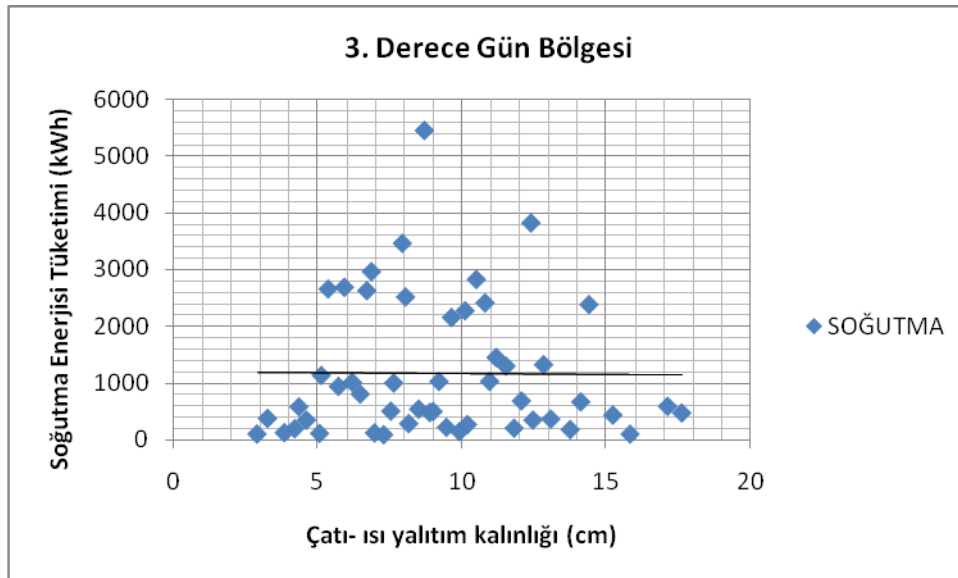
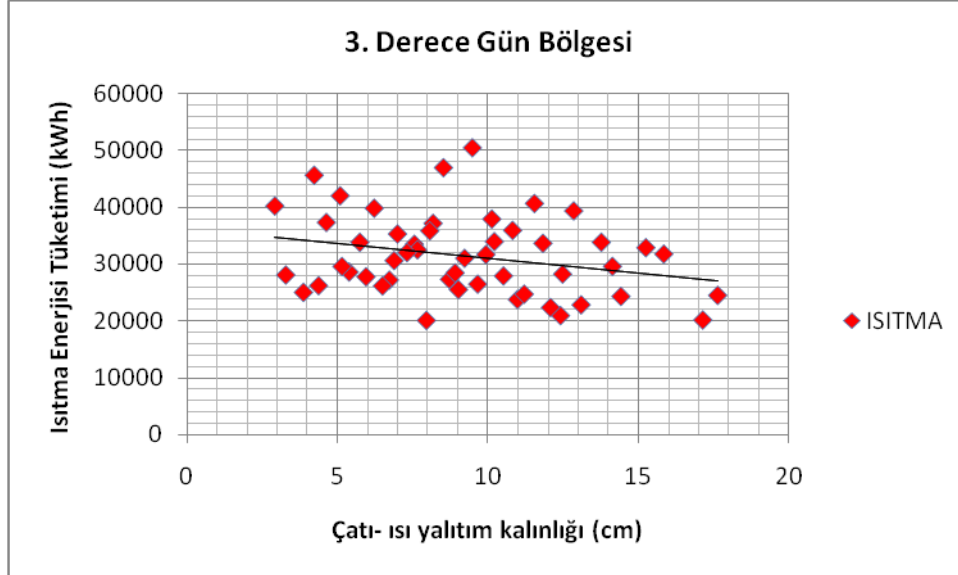
C. 3. Derece Gün Bölgesi (Ankara)



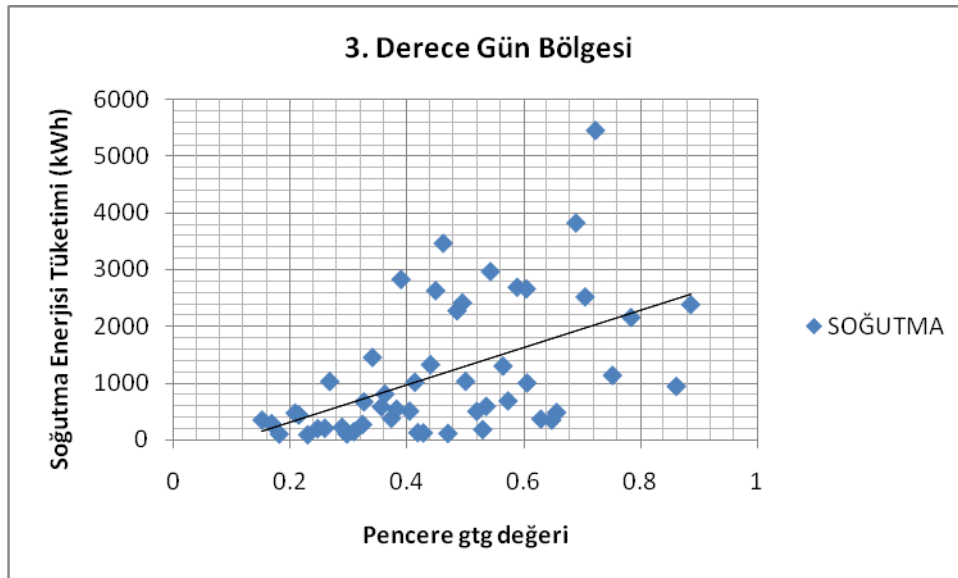
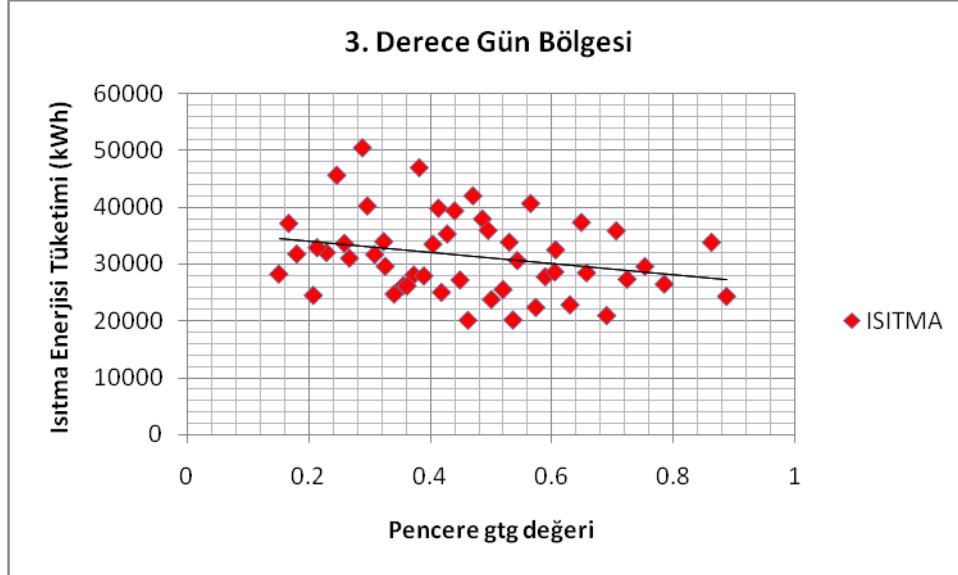
EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları



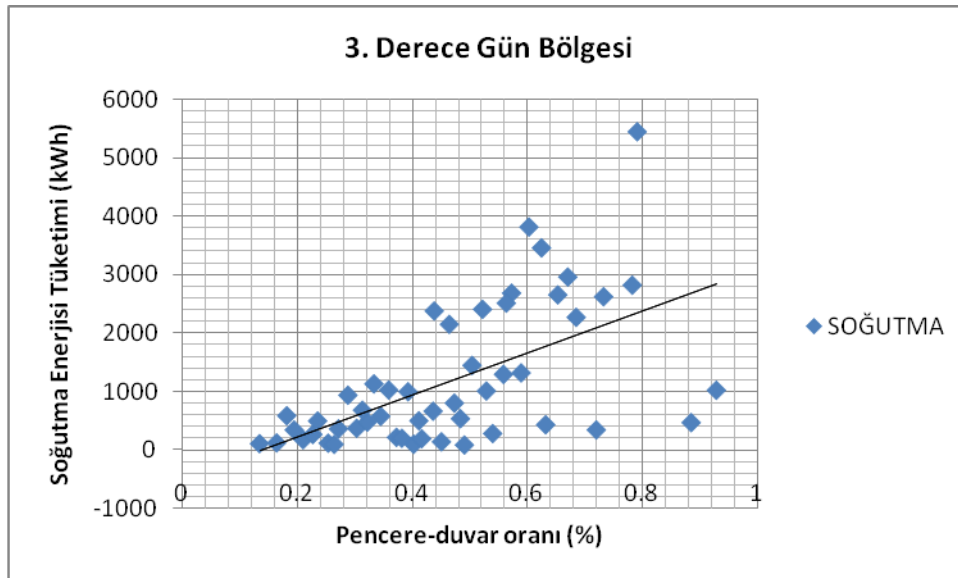
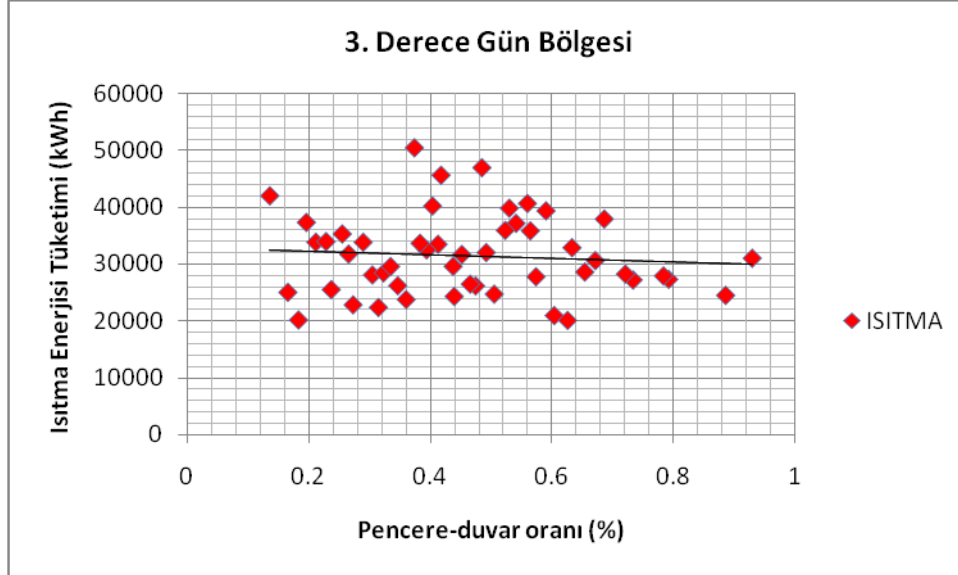
EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları



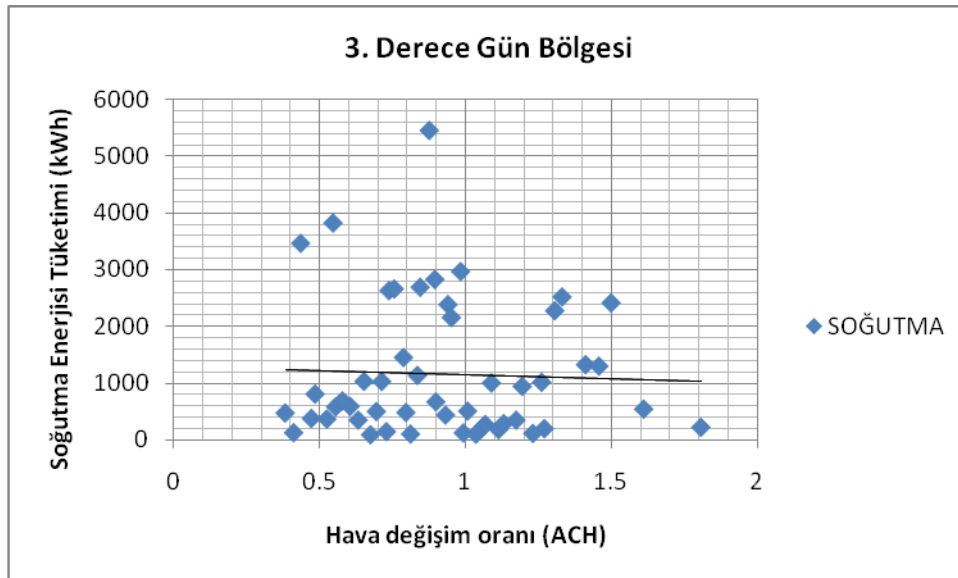
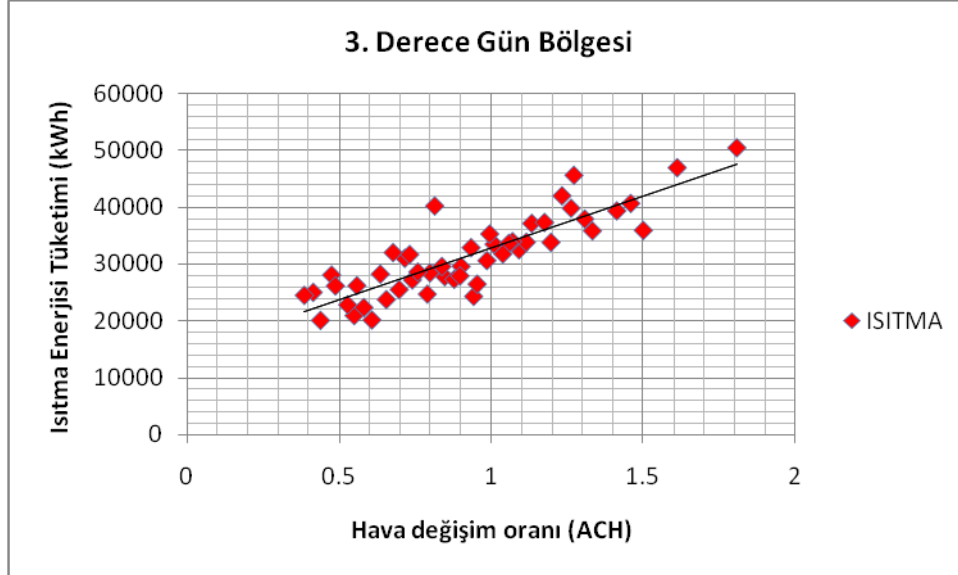
EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları



EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları

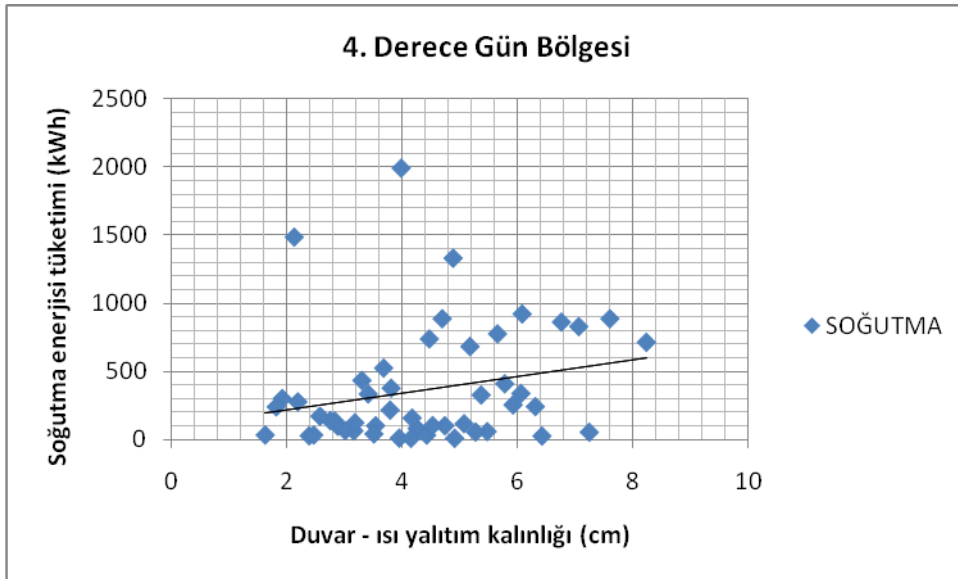
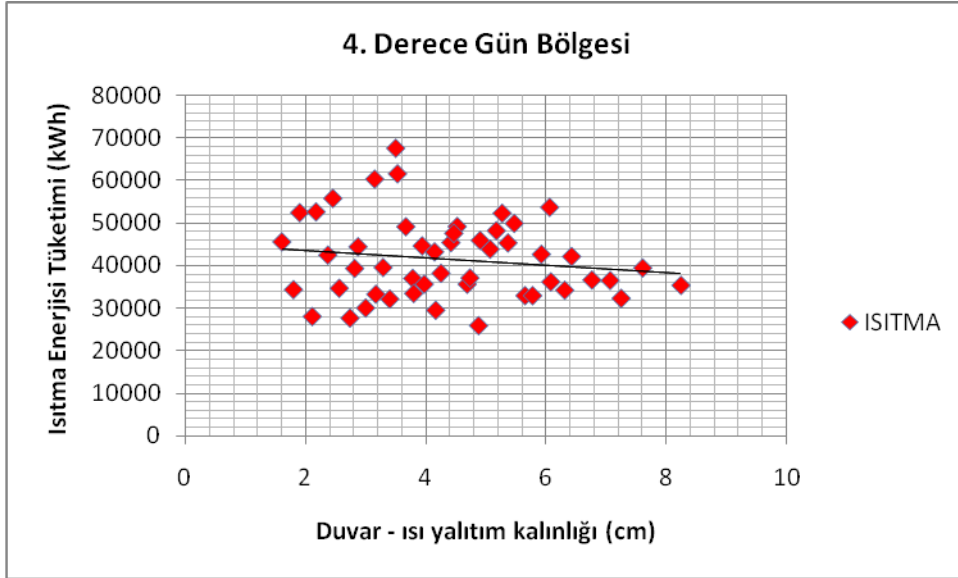


EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları

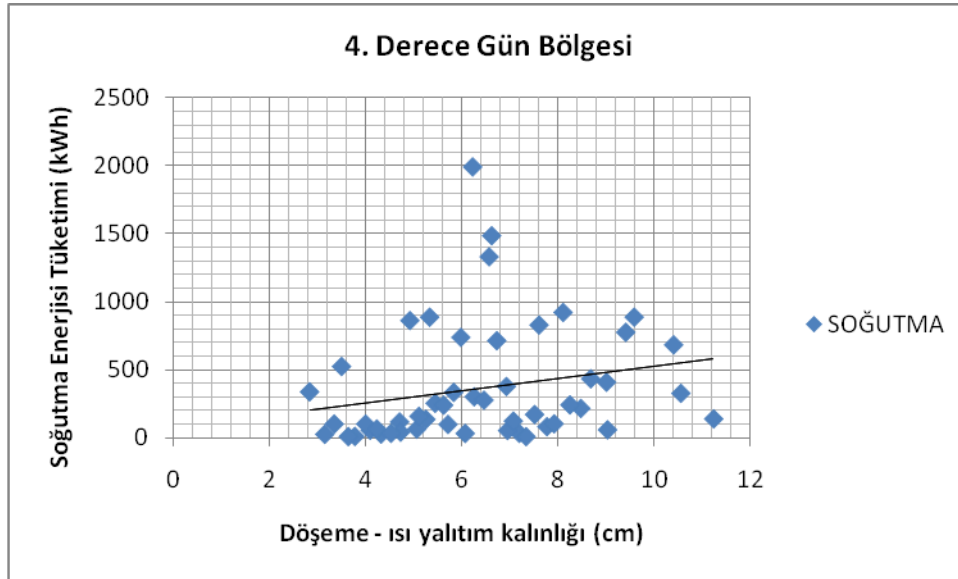
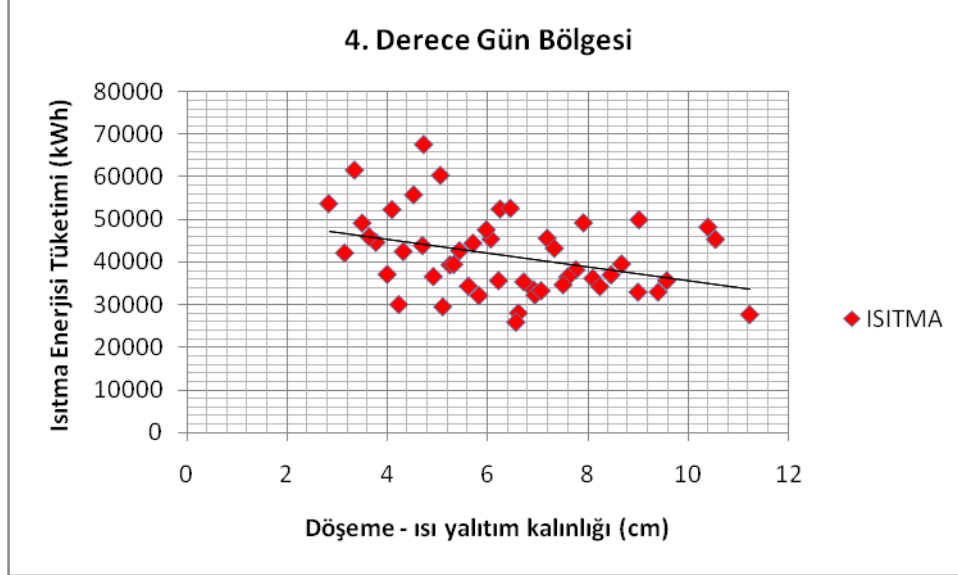


EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları

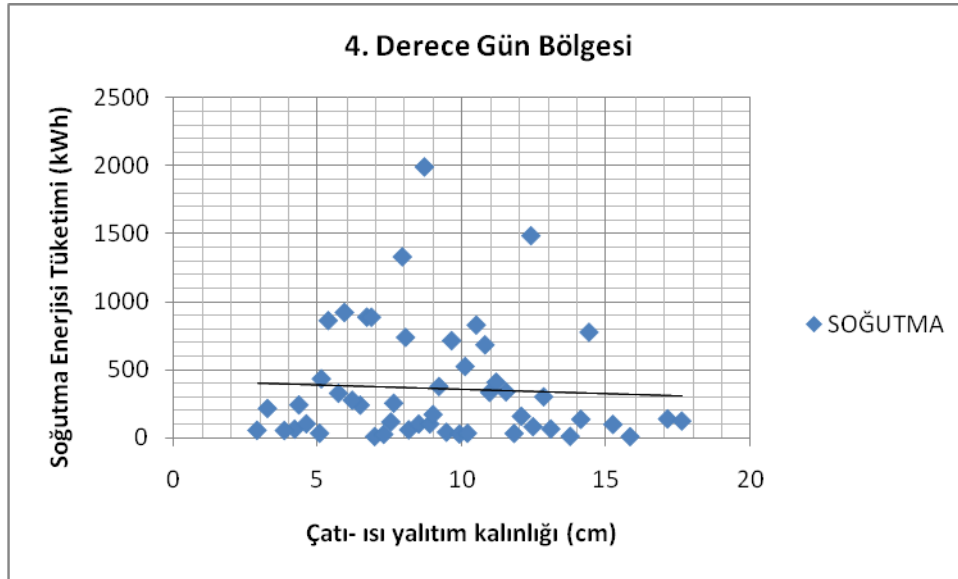
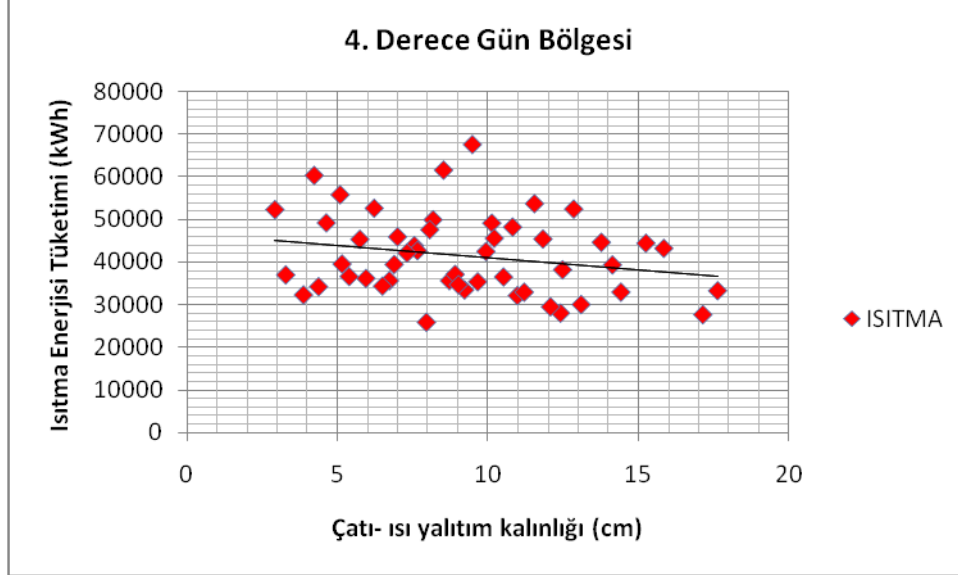
D. 4. Derece Gün Bölgesi (Erzurum)



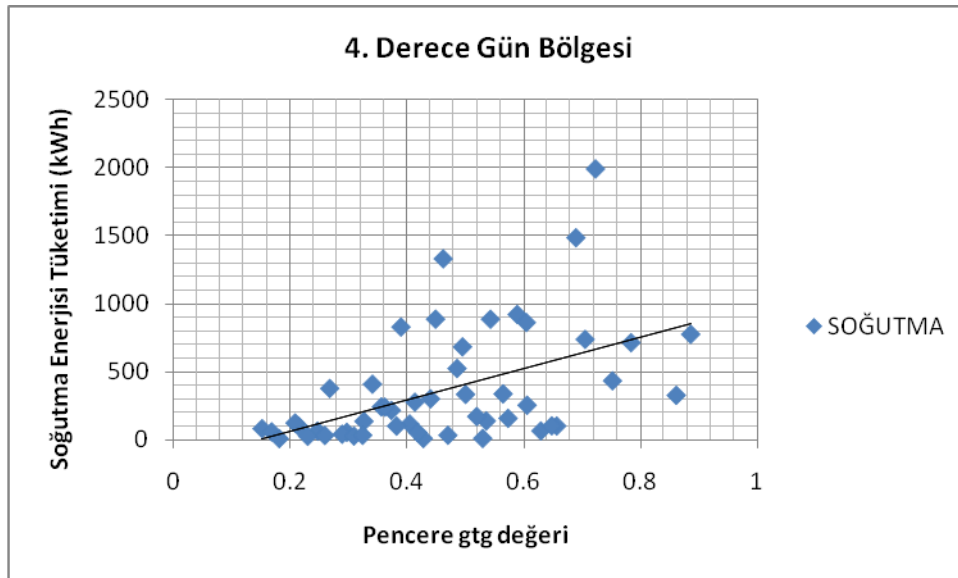
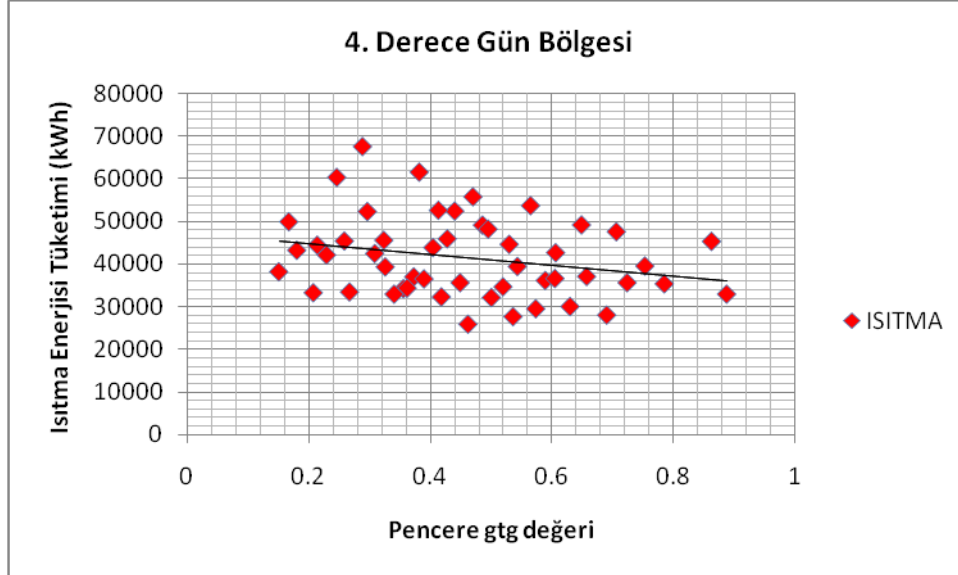
EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları



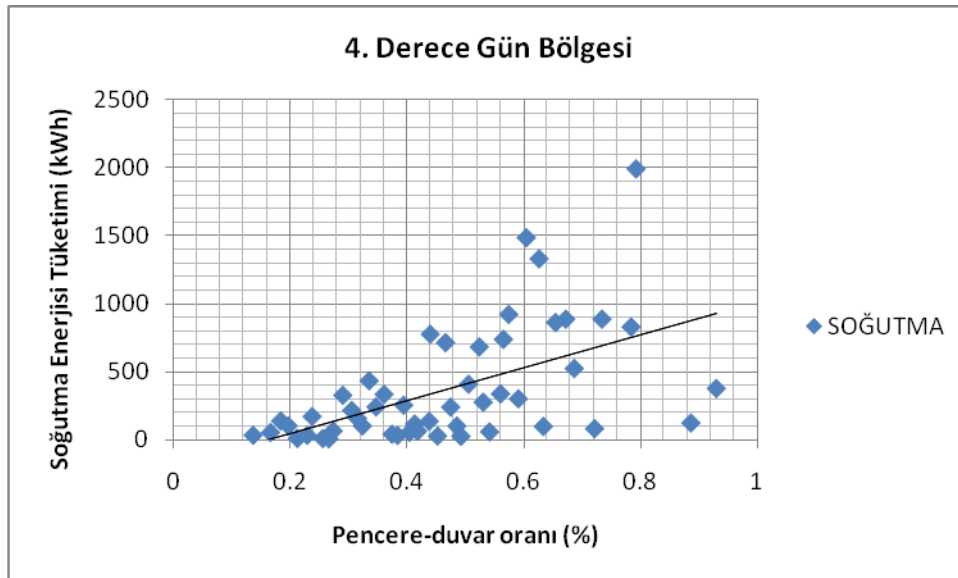
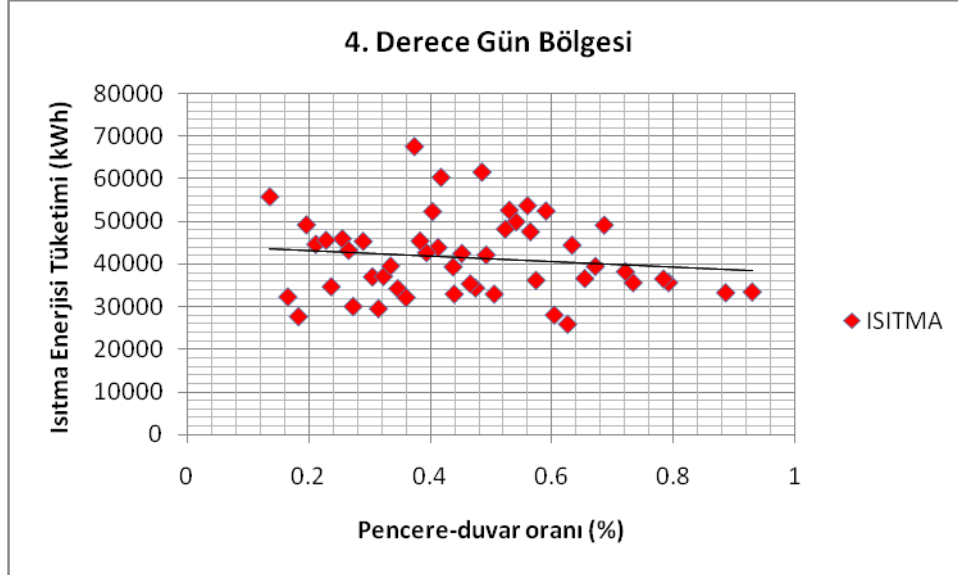
EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları



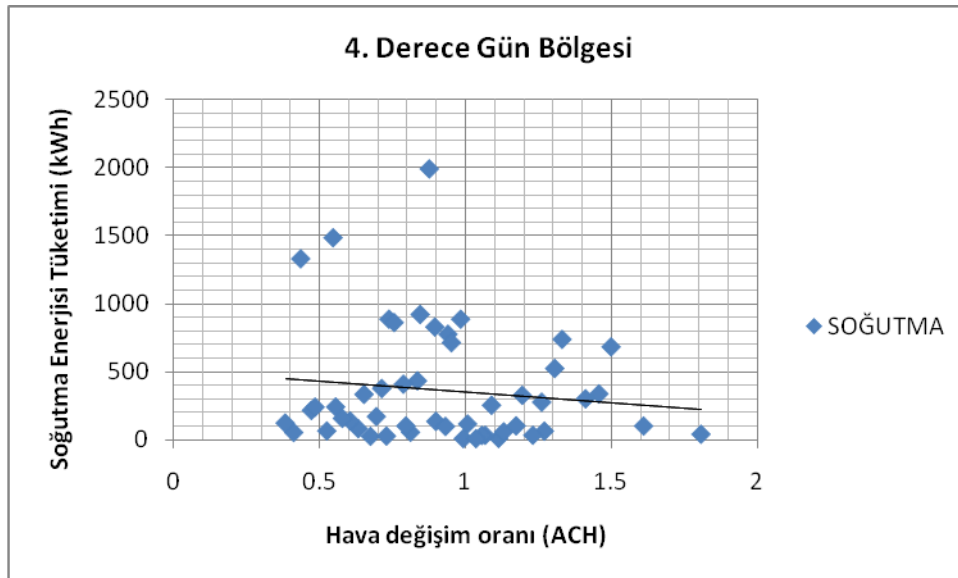
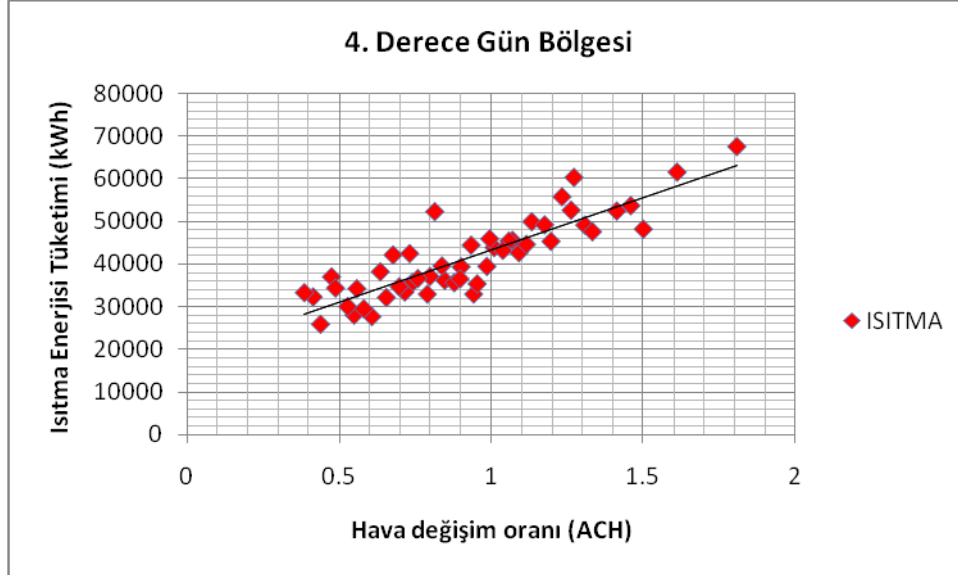
EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları



EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları



EK-4 (Devam) İklim bölgelerine Göre Scatter Plots Analiz Sonuçları



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Ulukavak Harputlugil, Gülsu
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 05/06/1975 Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 370 712 87 06
 Faks : 0 370 712 87 20
 e-posta : g.u.harputlugil@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/Mimarlık Böl.	2001
Lisans	Gazi Üniversitesi/Mimarlık Böl.	1997
Lise	Ankara Atatürk Anadolu Lisesi	1993

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1998-2006	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
1997-1998	MGF Mimarlık	Mimar

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Ulukavak Harputlugil G., Harputlugil T., De Wilde, P., 2008, "Novel Concepts for the Design of High-Performance Schools", 5th International Conference on Innovation in Architecture, Engineering and Construction, AEC 2008 Proceedings, 23rd-25th July, Antalya, Türkiye (CD).

2. Ulukavak Harputlugil G., Bedir M., 2008, "Exploring Design Support Possibilities of Building Performance Simulation Tools in Building Design Process", 5th International Conference on Innovation in Architecture, Engineering and Construction, AEC 2008 Proceedings, 23rd-25th July, Antalya, Turkiye (CD).
3. Ulukavak Harputlugil G., Hensen, J.L.M., De Wilde, P., 2007, "Simulation as a Tool to Develop Guidelines for the Design of School Schemes for Four Climatic Regions of Turkiye", Building Simulation 2007, Proceedings of 10th International Conference of IBPSA, Beijing, China (CD).
4. Hopfe, C.J., Struck, C., Ulukavak Harputlugil G., Hensen, J.L.M., 2006 "Computational Tools for Building Services Design - Professionals' Practices and Wishes", 17th Air Conditioning and Ventilation Conference, Prague, Czech Republic (CD).
5. Ulukavak Harputlugil G., Hensen, J.L.M., 2006, "Relation Between Building Assessment Systems and Building Performance Simulation", International Build & Human Environment Research Week, 3-7 April, Delft Universty of Technology, Netherlands (CD).
6. Ulukavak Harputlugil G., Hopfe, C.J., Struck, C., Hensen, J.L.M., 2006, "Relation Between Design Requirements and Building Performance Simulation", CIB Student Chapters Postgraduate Conference Proceedings, 16-18 March, METU Faculty of Architecture, Turkiye (CD).
7. Yahiaoui A., Ulukavak Harputlugil G., 2006, "The Use of Systems Engineering in the Building Design", CIB Student Chapters Postgraduate Conference, 16-18 March, METU Faculty of Architecture, Turkiye (CD).

8. Hopfe, C.J., Struck, C., Ulukavak Harputlugil G., Hensen, J.L.M., De Wilde, P., 2005, "Exploration of the Use of Performance Simulation for Conceptual Design", IBPSA-NVL Symposium, Gebouwsimulatie: beter inspelen op de praktijk van nu en van morgen, 20 October, Aula Congrescentrum TU Delft, Netherlands (CD).
9. Ulukavak Harputlugil, G., 2005, "Improving the Role of Building Performance Simulation Tools within the Design Process", PhD Symposium, Czech Technical University, Prague, Czech Republic (sözlü sunum + poster) (CD).
10. G. Ulukavak Harputlugil, N. Çetintürk, 2005, "Geleneksel Türk Evinde Isıl Konfor Koşullarının Analizi: Safranbolu Hacı Hüseyinler Evi", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 20, No:1, syf. 77-84 (EI).
11. G. Ulukavak Harputlugil, G. Utkutuğ, 2005, "Mimari Tasarım Sürecinde Bina Enerji Simülasyonunun Yeri", Dizayn-Konstrüksiyon Dergisi, sayı:233, syf. 73-76.
12. G. Ulukavak Harputlugil, G. Utkutuğ, 2004, "Mimari Tasarım Sürecinde Bina Enerji Simülasyonunun Yeri", Sürdürülebilir Çevre için Enerji Denetimi-Yalıtım Kongresi ve Sergisi Bildiri Kitabı, İzoder ve İTÜ Mimarlık Fakültesi, 11-12 Ekim 2004, İstanbul, Türkiye, syf.169-175.
13. G. Ulukavak Harputlugil, 2003, "Ankara'da bir Banka Binasının Simülasyon Programı ile Enerji Performansının Değerlendirilmesi", Enerji 2003 Ulusal Enerji Verimliliği Kongresi Bildiri Kitabı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 23-24 Ocak 2003, Ankara, Türkiye, syf.125-134.
14. G. Utkutuğ, G. Ulukavak, 2002, "Binaların Enerji Performansının Değerlendirilmesi Bağlamında Bina Simülasyon Programları", Türk Tesisat Mühendisleri Dergisi, Sayı:19, syf. 33-40.

- 15.** G. Utkutuğ, G. Ulukavak, 2002, "Building Simulation Programs as a Tool of Energy Performance Evaluation" (Binaların Enerji Performansının Değerlendirilmesi Bağlamında Bina Simülasyon Programları), TTMD V. International HVAC+R Technology Symposium, 29-30 April-1 May 2002, Istanbul, Turkey, (CD).
- 16.** G. Çelebi, G. Ulukavak, 2000, "Bina kabuğunda enerji sağlamaya yönelik yeni arayışlar: Fotovoltaik panellerin etkinliği", Yapı Dünyası Dergisi, syf.14-21.
- 17.** G. Çelebi, G. Ulukavak, 1999, "Bina kabuğunda enerji sağlamaya yönelik yeni arayışlar: Fotovoltaik panellerin etkinliği", Mimari Biçimlendirmede Yüzey Sempozyumu Bildiri Kitabı, 7-9 Ekim, Ankara, Türkiye, syf. 276-289.