EĞİTİM YAPILARININ ATRİUM BÖLÜMÜNDE DOĞAL AYDINLATMA PARAMETRELERİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ VE BİR SİSTEM ÖNERİSİ: TOBB ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ

Ahmet ŞEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MOBİLYA VE DEKORASYON EĞİTİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞUBAT 2010
ANKARA

Ahmet ŞEN tarafından hazırlanan EĞİTİM YAPILARININ ATRİUM BÖLÜMÜNDE DOĞAL AYDINLATMA PARAMETRELERİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ VE BİR SİSTEM ÖNERİSİ : TOBB ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Kemal YILDIRIM …….….
Tez Danışmanı, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Kemal YILDIRIM …….….
Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi, Gazi Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Abdullah TOGAY …….….
Endüstriyel Teknoloji Eğitimi, Gazi Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Nihat DÖNGEL …….….
Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Tarih: 10 / 02 / 2010

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

Prof. Dr. Bilal TOKLU …….
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 bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ahmet ŞEN

EĞİTİM YAPILARININ ATRİUM BÖLÜMÜNDE DOĞAL AYDINLATMA PARAMETRELERİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ VE BİR SİSTEM ÖNERİSİ : TOBB ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ahmet ŞEN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Şubat 2010

ÖZET

Bu çalışmada; Ankara'da bulunan TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'nin Atrium bölümü' nün günışığı ile standartlara en uygun biçimde aydınlatılmasını sağlayan yeni bir çatı ışıklığı sistemi tasarlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak; ilk aşamada söz konusu yapı doğal aydınlatma açısından incelenmiş ve eksiklikleri belirlenmiştir. İkinci aşamada doğal ışıkla aydınlatılan çeşitli mekanlar incelenmiş, bu mekanların aydınlatılmasında kullanılan çatı ışıklık tipleri tek katmanlı ve çift katmanlı çatı ışıklıkları başlıkları ile sınıflandırılıp, bilgisayar programları yardımı ile modellendikten sonra, sanal ortamda simülasyonları yapılarak, incelenen eğitim yapısının çatısına uygulanmıştır. Üçüncü aşamada; simülasyon sonuçlarından yola çıkarak "hareketli güneş kırıcılı çift katmanlı" yeni bir çatı ışıklığı tasarlanmış ve simülasyonu yapılmıştır. Son aşamada ise; mevcut yapıda, tek katmanlı ve çift katmanlı çatı ışıklık tiplerine ve yeni oluşturulan öneri çatı ışıklığına ait doğal aydınlatmaya ilişkin bilgisayar simülasyon değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, yeni tasarlanan "hareketli güneş kırıcılı çift katmanlı" çatı ışıklığının,

mevcut sisteme ve tek katmanlı ve çift katmanlı diğer çatı tiplerine göre doğal aydınlatma açısından çok daha avantajlı olduğunu göstermiştir.

Bilim Kodu : **711.3.023**
Anahtar Kelimeler : **Eğitim yapılarında doğal aydınlatma, bilgisayar ile aydınlatma simülasyonu**
Sayfa Adedi : **144**
Tez Yöneticisi : **Doç. Dr. Kemal YILDIRIM**

A SYSTEM PARAMETER PROPOSAL AND THE COMPUTER-AIDED ANALYSIS OF NATURAL LIGHTING IN THE ATRIUM SECTION OF EDUCATIONAL STRUCTURES

(M.Sc. Thesis)

Ahmet Şen

GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
February 2010

ABSTRACT

In this master thesis, a new skylight system which ensures the most appropriate form of lighting according to daylight standards is designed in the Atrium section of TOBB University of Economics and Technology University in Ankara.For this purpose, first of all Atrium section has been examined in terms of natural lighting and the deficiencies have been determined. Secondly, the various places which are lighted with daylight were examined and also the roof skylight types used to light of these places has been classified as single layered and double layered skylight systems. After modelling these systems with helping softwares, the simulation was applied to the roof of the university. Thirdly, according to simulation results, a new “movable double layered solar shading skylight system has been designed and simulated. Lastly, the simulation values of the single and double layered skylight systems and the simulation values of the new proposed system were compared. The results showed that newly designed "movable double-layered solar shading" skylight system was much

more advantageous in terms of natural lighting according to the other single and double layered skylight systems.

Science Code : **711.3.023**
Key Words : **Natural lighting in ducational structures, computer aided lighting simulation**
Page Number : **144**
Advise : **Assoc. Prof. Dr. Kemal YILDIRIM**

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Kemal YILDIRIM' a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım. Ayrıca tez çalışmasından geniş ölçüde faydalandığım Dr. Uğurtan AYBAR' a, aynı zamanda TOBB ETÜ' nin plan ve kesitlerinin hazırlanmasındaki katkılarından dolayı Doç. Dr. Aysu AKALIN' a, yine yüksek lisans süresince desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen Adil IŞILDAK, Hikmet KARADEMİR ve IŞILDAK GROUP çalışanlarına, ayrıca çalışmalarım sırasında sabrı, anlayışı ve destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan Fatma AŞÇIOĞLU' na ve Aileme çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT vi

TEŞEKKÜR viii

İÇİNDEKİLER ix

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xiii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xvi

RESİMLERİN LİSTESİ xviii

SİMGELER VE KISALTMALAR xix

1. GİRİŞ 1

1.1. Literatürdeki Benzer Çalışmalar 4

1.2. Varsayımlar 6

2. EĞİTİM YAPILARINDA DOĞAL AYDINLATMA KRİTERLERİ 7

2.1. Kaliteli Aydınlatma 9

2.2. Eğitim Kurumlarında Aydınlatma Sistemi Tasarımı 10

2.2.1. Aydınlık düzeyi 10

2.2.2. Günışığının kullanımı 11

2.2.3. Işık kaynaklarının ve armatürlerin belirlenmesi 12

3. EĞİTİM YAPILARINDA GÜN IŞIĞI SİSTEMLERİNİN KULLANIM OLANAKLARI 13

3.1. Direkt Güneş Işığını Kesen Ancak Yayınık Gök Işığını Kullanan Gölgeleme Sistemleri 14

3.1.1. Prizmatik paneller 14

3.1.2. Prizmalar ve jaluziler 15

Sayfa

3.1.3. Güneş ışınlarını yansıtan aynalar 15

3.1.4. Anidolik zenital boşluk 16

3.1.5. Işık toplayan holografik optik elemanlı (HOE) yönlendirmeli gölgeleme sistemi 16

3.1.6. Toplam yansımaya göre HOE'li yarısaydam gölgeleme sistemi 17

3.2. Güneş Işığını Yayan veya Tavana ya da Göz Hizasının Üzerinde Bir Noktaya Yönlendiren Gölgeleme Sistemleri 19

3.2.1. Işık kılavuz sistemi 19

3.2.2. Örtücüler ve storlar 19

3.2.3. Güneş ışınlarını yönlendiren ışık rafları 20

3.2.4. Okasolar sistemi 20

3.2.5. Lazer-cut (lazer kesimli) paneller 21

3.2.6. Dönebilen panelli sistem 21

3.2.7. Anidolik güneş storları 22

3.3. Yayınık Günışığı Yönlendirme Sistemleri 24

3.3.1. Işık rafı 24

3.3.2. Anidolik sistem 24

3.3.3. Balık sistemi 25

3.3.4. Zenit ışık kılavuz sistemi 25

3.4. Direkt Günışığı Yönlendirme Sistemleri 26

3.4.1. Güneş ışığını yönlendiren cam 27

3.5. Işığı Yüzey Üzerinde Saçarak Dağıtan Sistemler 28

3.6. Işık Taşıma Sistemleri 29

3.6.1. Heliostat 29

Sayfa

3.6.2. Işık borusu 29

3.6.3. Solar tüpler 30

3.6.4. Işık kılavuz tavanı 30

4. DENEY ORTAMI VE YÖNTEM 32

4.1. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'nin Kısa Tarihçesi 32

4.2. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'nin Mimari Özellikleri 32

4.3. Çalışmada Kullanılan Araçlar 33

4.3.1. Lüksmetre 33

4.3.2. Kullanılan bilgisayar programları 34

4.4. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'nin Aydınlatma Planlamasının Değerlendirilmesi 35

4.4.1. Yerinde yapılan ölçümler 36

4.5. Simülasyon Yöntemi 39

4.5.1. Verilerin elde edilmesi, plan ve kesitlerin hazırlanması 39

4.5.2. Üniversitenin üç boyutlu olarak modellenmesi ve simülasyon yöntemi 39

4.5.3. Modelin gerçeğe yakınlığının değerlendirilmesi 43

4.6. Mevcut Tasarımın Simülasyonu (A) 44

4.6.1. Simülasyon (A-1) – yan pencerelerden alınan doğal ışığın etkisi 44

4.6.2. Simülasyon (A-2) – yan pencerelerden ve mevcut tonozdan alınan toplam doğal ışığın etkisi 48

4.7. Tek Katmanlı Çatı Işıklık Formlarının Analizi (B) 52

4.7.1. Simülasyon (B-1) – tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklığının doğal aydınlatmaya olan etkisi 52

Sayfa

4.7.2. Simülasyon (B-2) – tek katmanlı çift yönlü çatı ışıklığının doğal aydınlatmaya olan etkisi....58

4.8. Çift Katmanlı Çatı Işıklık Formlarının Analizi (C) 63

4.8.1. Simülasyon (C-1) – sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatıların doğal aydınlatmaya olan etkisi....64

4.8.2. Simülasyon (C-2) – güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı çatıların doğal aydınlatmaya olan etkisi 69

4.9. Öneri Sistem - Hareketli Güneş Kırıcılara Sahip Çift Katmanlı Çatı Işıklığının Analizi (D)....74

4.9.1. Öneri çatı sisteminin oluşturulmasındaki yöntem....74

4.9.2. Öneri çatı sisteminin işleyişi....77

5. SONUÇ VE ÖNERİLER 84

5.1. Doğal Aydınlatma Uygunluğu Açısından Değerlendirme 84

5.2. İhtiyacın Üzerinde Aydınlanma Açısından Değerlendirme 87

5.3. İhtiyacın Altında Aydınlatma Açısından Değerlendirme....88

5.4. Genel Değerlendirme 90

KAYNAKLAR....91

EKLER....96
EK -1 TOBB ETÜ yerleşim planı 97
EK -2 Tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklığı....98
EK -3 Tek katmanlı çift yönlü çatı ışıklığı 106
EK -4 Sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı ışıklığı 114
EK -5 Güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı çatı ışıklığı 122
EK -6 Öneri sistem; Hareketli güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı....130
EK -7 Ankara için belirli gün ve saatler için güneşin gökyüzündeki konumu 138
EK -8 D.M.İ.G.M' ne göre Ankara için ortalama aylık güneşlenme süreleri....141
EK -9 Simülasyon sonuçlarını değerlendirmede kullanılan aylık güneşlenme katsayısının tüm yıla oranı (%) 142
EK -10 Simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması için uygulanan örnek analiz yöntemi 143

ÖZGEÇMİŞ....144

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 1.1. TOBB ETÜ' en uygun doğal aydınlatma koşullarının belirlenmesine yönelik çalışmanın sınıflandırılması 3

Çizelge 2.1. Eğitim amaçlı etkinlikler için mekanlarda önerilen aydınlık gereksinimleri 11

Çizelge 3.1. Direkt güneş ışığını engelleyen ancak yayınık gök ışığını kullanan sistemler 18

Çizelge 3.2. Güneş ışığını yayan veya tavana ya da göz hizasının üzerinde bir noktaya yönlendiren gölgeleme sistemleri 23

Çizelge 3.3. Yayınık günışığı yönlendirme sistemleri 26

Çizelge 3.4. Direkt günışığı yönlendirme sistemleri 27

Çizelge 3.5. Işığı yüzey üzerinde saçarak dağıtan sistemler 28

Çizelge 3.6. Işık taşıma sistemleri 31

Çizelge 4.1. 9 Kasım günü için mevcut ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın simülasyon sonucuna göre uygunluğu 38

Çizelge 4.2. Simülasyon değerlendirmelerinde kullanılan aydınlık düzeyi aralıkları 44

Çizelge 4.3. Yan pencerelerden giren doğal ışığın uygunluğu 48

Çizelge 4.4. Mevcut çatı ışıklığından ve yan pencerelerden giren doğal ışığın uygunluğu 51

Çizelge 4.5. 21 Mart günü için tek katmanlı tek yönlü ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu 54

Çizelge 4.6 21 Haziran günü için tek katmanlı tek yönlü ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu 55

Çizelge 4.7. 21 Eylül günü için tek katmanlı tek yönlü ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu 56

Çizelge 4.8. 21 Aralık günü için tek katmanlı tek yönlü ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu 57

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.9. 21 Mart günü için tek katmanlı çift yönlü ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu 59

Çizelge 4.10. 21 Haziran günü için tek katmanlı çift yönlü ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu 60

Çizelge 4.11. 21 Eylül günü için tek katmanlı çift yönlü ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu 61

Çizelge 4.12. 21 Aralık günü için tek katmanlı çift yönlü ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu 62

Çizelge 4.13. 21 Mart günü için sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu 65

Çizelge 4.14. 21 Haziran günü için sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu 66

Çizelge 4.15. 21 Eylül günü için sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu 67

Çizelge 4.16. 21 Aralık günü için sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu 68

Çizelge 4.17. 21 Mart günü için güneş kırıcıya sahip olmayan çift katmanlı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu 70

Çizelge 4.18. 21 Haziran günü için güneş kırıcıya sahip olmayan çift katmanlı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu 71

Çizelge 4.19. 21 Eylül günü için güneş kırıcıya sahip olmayan çift katmanlı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu 72

Çizelge 4.20. 21 Aralık günü için güneş kırıcıya sahip olmayan çift katmanlı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu 73

Çizelge 4.21. Yılın çeşitli günleri ve saatleri için öneri sistemde kullanılan güneş kırıcıların konumu 79

Çizelge 4.22. 21 Mart günü için önerilen çatı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu 80

Çizelge 4.23. 21 Haziran günü için önerilen çatı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu 81

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.24. 21 Eylül günü için önerilen çatı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu 82

Çizelge 4.25. 21 Aralık günü için önerilen çatı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu 83

Çizelge 5.1. Örnek çatı formlarının doğal aydınlatma açısından karşılaştırılması 86

Çizelge 5.2. Örnek çatı formlarının ihtiyacın üzerinde oluşan doğal aydınlık düzeyi açısından karşılaştırılması 88

Çizelge 5.3. Örnek çatı formlarının ihtiyacın altında oluşan doğal aydınlık düzeyi açısından karşılaştırılması 89

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Ankara için yıllık ortalama bulutluluk oranı 8

Şekil 3.1. Prizmatik panel 15

Şekil 3.2. Güneş ışınlarını yansıtan aynalar 15

Şekil 3.3. Televizyon izleme eylem alanı 16

Şekil 3.4. Toplam yansımaya göre HOE'li yarısaydam gölgeleme sistemi 17

Şekil 3.5. Işık kılavuz sistemi....19

Şekil 3.6. Örtücüler ve storlar....20

Şekil 3.7. Güneş ışınlarını yönlendiren ışık rafları....20

Şekil 3.8. Okasolar sistemi....21

Şekil 3.9. Lazer-cut panel sistemi....21

Şekil 3.10. Dönebilen panelli sistem 22

Şekil 3.11. Anidolik sistem 24

Şekil 3.12. Zenit ışık kılavuz sistemi....25

Şekil 3.13. Güneş ışığını yönlendiren cam....27

Şekil 3.14. Kuyruklu Işığı yüzey üzerinde saçarak dağıtan sistemler 28

Şekil 3.15. Heliostat....29

Şekil 3.16. Işık borusu....30

Şekil 4.1. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi planı....33

Şekil 4.2. 9 Kasım günü 12:00’ de bulutlu gökyüzü için mevcut çatı ışıklığından ve pencerelerden giren toplam doğal ışık miktarının yerinde yapılan ölçümleri 37

Şekil 4.3. 9 Kasım günü 12:00’ de bulutlu gökyüzü için mevcut çatı ışıklığından ve pencerelerden giren toplam doğal ışık miktarının simülasyon ölçümleri....38

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.4. 3dsmax malzeme editörü ve gün ışığı sistemi menüsü 42

Şekil 4.5. 21 Haziran günü 09:00'da yan pencerelerden alınan doğal ışık miktarı.....45

Şekil 4.6. 21 Haziran günü 12:00'da yan pencerelerden alınan doğal ışık miktarı.....46

Şekil 4.7. 21 Haziran günü 15:00'da yan pencerelerden alınan doğal ışık miktarı.....47

Şekil 4.8. 21 Haziran günü 09:00'da açık gökyüzü için mevcut çatı ışıklığı ve pencerelerden giren toplam doğal ışık miktarı.....50

Şekil 4.9. 21 Haziran günü 09:00'da bulutlu gökyüzü için mevcut çatı ışıklığından ve pencerelerden giren toplam doğal ışık miktarı.....51

Şekil 4.10. Tek katmanlı tek yönlü ışıklık kesiti 52

Şekil 4.11. Tek katmanlı çift yönlü ışıklık kesiti.....58

Şekil 4.12. Sabit güneş kırıcıya sahip çift katmanlı çatı kesiti.....64

Şekil 4.13. Güneş kırıcıya sahip olmayan çift katmanlı çatı kesiti.....69

Şekil 4.14. 3dsmax programına göre Ankara için dönemsel engellenmemiş dış ortam aydınlık düzeyleri a) 21 Mart, b) 21 Haziran, c) 21 Eylül, d) 21 Aralık 75

Şekil 4.15. Önerilen çift katmanlı çatı sisteminin kesiti 77

Şekil 4.16. A ve B tip güneş kırıcı açıları ve farklı açılarda alınan güneş ışığının yansıtılma biçimi.....78

Şekil 5.1. Çatı ışıklığı tipine göre yıl boyunca her türlü gök koşulunda, iç mekanda ölçülen doğal aydınlık düzeylerinin uygunluğu 87

Şekil 5.2. Çatı ışıklığı tiplerinin ihtiyacın üzerinde aydınlatma açısından karşılaştırılması 88

Şekil 5.3. Çatı ışıklığı tiplerinin ihtiyacın altında aydınlatma açısından karşılaştırılması 90

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 4.1. ISO kalibrasyon sertifikalı ışık ölçer Testo/540 33

Resim 4.2. Çatı ışıklığının file ile kapatılması ve yapay aydınlatma aygıtları 36

Resim 4.3. Üç boyutlu olarak modellenen üniversiteden iç görünüşler 40

Resim 4.4. Tavandaki fileler 49

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklama**
%	Yüzdelik değer
(gk^0)	A tipi güneş kırıcıların yatayla yaptığı açı
(i)	Güneş ışınlarının geliş doğrultusu
(r)	Güneş ışınlarının güneş kırıcılardan yansıdıktan sonar iç mekana giriş doğrultusu
(s^0)	Güneş ışınlarının yatayla yaptığı açı
~	Yaklaşık olarak
Lüks, E	Aydınlık düzeyi birimi
Lümen (lm)	Işık akışı
t	Toplam geçirgenlik
U (W/m^2K)	Isı iletim katsayısı
Watt	Güç birimi

Kısaltmalar	**Açıklama**
D.M.İ.G.M	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DR	Daylight ratio (İngilizce), günışığı oranı; iç ortamda ölçülen aydınlık düzeyinin, kapalı, yarı kapalı veya açık gökyüzü koşullarında dış ortamdaki engellenmemiş gün ışığı aydınlık düzeyine oranı.
GKSOÇK	Güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı
H.O.E	Halografik optik eleman
I.E.S	Illuminating engineering society
ÖS	Öneri sistem
RGB	Kırmızı, yeşil, mavi renk sistemi

Kısaltmalar	**Açıklama**
SGKSÇK	Sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı
TKÇY	Tek katmanlı çift yönlü
TKTY	Tek katmanlı tek yönlü
UV	Ultraviolet (İngilizce), mor ötesi

1. GİRİŞ

Yapılan araştırmalar ışığın, insanların bedensel, fizyolojik ruh sağlıkları ve özellikle çalışma alanlarında insan performansı üzerinde derin etkileri olduğunu göstermiştir [1].

Çalışma alanındaki aydınlatmayı düşündüğümüzde, üzerimizde oluşturduğu fiziksel etki ilk akla gelendir. Örneğin, uygun olmayan aydınlatmada göz yorgunluğu ortaya çıkar ve çalışma alanlarında ciddi yaralanmalara sebep olur [1].

Bir iş ortamında yapılan çalışmada, her üç kişiden ikisinde işyerindeki fiziksel yorgunluğun zayıf aydınlatmadan dolayı oluştuğu belirlenmiştir [1]. Kensington Technology Group ve the American Society of Interior Designers (ASID) tarafından yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır [1,3].

Cornell Üniversitesi tarafından yapılan başka bir çalışmada, uygun olmayan aydınlatmanın görme problemleri oluşturduğu ve iş kayıplarına sebep olduğu gösterilmiştir [4]. Görme konforu üzerinde ışık kaynaklarının önemli bir etkisi olduğu deneysel olarak da belirlenmiştir [5]. Görme, görme konforu ve görme performansı gibi kavramlar üzerine birçok çalışma yapılmış ve aydınlatmanın etkisi ifade edilmiştir [6,7].

Aydınlatmanın fizyolojik ve psikolojik etkileri de oldukça güçlüdür. İnsanların ruhsal ve motivasyon seviyesini etkiler. Ruhsal durum üzerindeki sistemik etkisi yapılan deneysel çalışmada [8] ve diğer çalışmalarda [9,10] gösterilmiştir. Bu etkiler dikkate alınarak uygun aydınlatma şartlarının oluşturmak için aydınlatma parametreleri ve kaliteli aydınlatma [11,12], aydınlatma dizaynı [13-16], gün ışığı ve aydınlatmanın birlikte kullanımı ve dizaynı [17-22] kavramları üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Yapılan bu çalışmaların ortak noktası; çalışma alanlarındaki insan performansını arttırmak, aydınlatma sisteminin işletme, bakım ve onarım maliyetlerini azaltmak ve

kaliteli bir aydınlatmayı sağlamak için The Illuminating Engineering Society of North America (IESNA), the Chartered Institute of Building Services Engineers (CIBSE) veya Commission Internationale de I' Eclairage(CIE) ın belirttiği kriterlere uyulması gerekliliğidir. Kriterlerden en önemlisi aydınlatmanın yapıldığı ortamdaki görevlere göre belirlenen aydınlık düzeyinin istenilen düzeyde olmasını sağlamaktır [1].

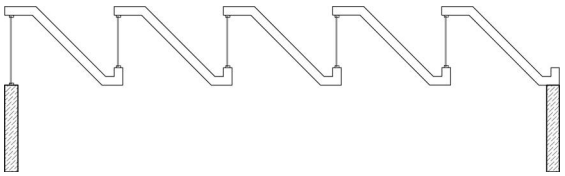
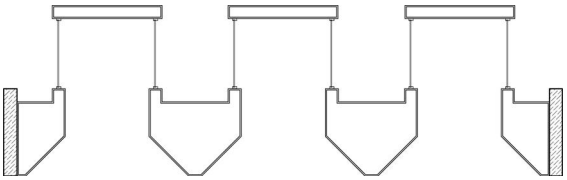
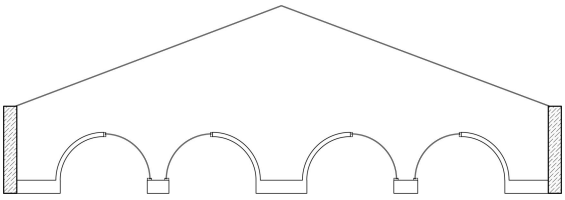
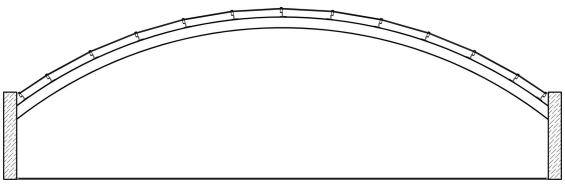
Bu çalışmada, eğitim yapılan ortamların aydınlatma sistemlerinin tasarımında yapılması gereken süreçler ele alınacaktır. Eğitimcilerin ve öğrencilerin performansını artırmak ve kaliteli bir aydınlatma sağlamak için ışık kaynakları ve aydınlatma tasarımı konularında uyulması gereken kriterler belirlenecektir. Ayrıca, eğitim yapılarında gün ışığı ve yapay aydınlatmanın birlikte kullanımı ve aydınlatmada enerji verimliliğini sağlayacak yöntemler verilecektir.

Araştırma ortamı olarak kullanılan TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Rektörlük binası kolej olarak tasarlanmış, fakat sonradan revize edilerek üniversite yapısına dönüştürülmüştür. Bu binanın Arasta bölümü büyük ölçüde çatıdan içeri alınan doğal ışıkla aydınlatılmaktadır. Rektörlük binası olduktan sonra ışıklığın alt kısmına fileler gerilerek ışık belli ölçülerde kesilmeye çalışılmıştır.

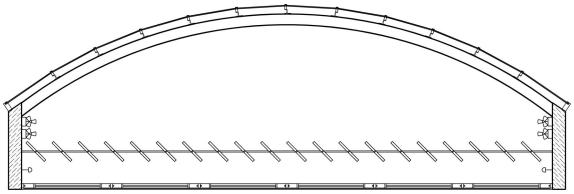
Çatıdaki doğal aydınlatmaya ek olarak yapının iki cephesinde ki duvarlarında büyük boyutlu pencereler ve tavana monte edilmiş yapay aydınlatma aygıtları mevcuttur. Üniversitedeki genel doğal aydınlatma kalitesi incelendiğinde sakıncanın bulunduğu görülmüş ve mevcut olan çatı ışıklık tipinden daha uygun bir sistemin kurulmasının gerekli olduğu düşünülmüştür. Yüksek lisans tezi kapsamında eğitim yapılarında doğal aydınlatma kavramı ve doğal ışık yardımıyla aydınlatılan çeşitli dünya yapıları incelenerek çatı ışıklık formları sistematize edilmiş ve bu formlar bilgisayar programı yardımıyla modellendikten sonra seçilen üniversite yapısının "Arasta" bölümünde uygulanarak doğal aydınlatmaya ilişkin elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Uygunlukları tartışılan çatı formlarından yola çıkarak, söz konusu yapının daha uygun biçimde aydınlatılmasına yarar sağlayacak yeni bir ışıklık tipi geliştirilmiştir.

Çalışma dört ayrı aşamadan oluşmaktadır. Buna göre birinci aşamada üniversiteye ilişkin mevcut koşullar, ikinci aşamada tek katmanlı çatı ışıklık tipleri, üçüncü aşamada çift katmanlı çatı ışıklık tipleri incelenirken, son aşamada örnek yapı için en uygun doğal ışık sağlamaya yönelik yeni bir planlama yapılmıştır (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1. TOBB ETÜ en uygun doğal aydınlatma koşullarının belirlenmesine yönelik çalışmanın sınıflandırılması [23].

<table>
<tr><td colspan="3">A - Mevcut Koşulların Değerlendirilmesi</td></tr>
<tr><td></td><td>Yerinde yapılan aydınlık düzeyi ölçümleri</td><td>Mekana ilişkin mevcut bulguların saptanması ve değerlendirilmesi.</td></tr>
<tr><td>Simülasyon A-1</td><td>Sadece yan pencerelerden içeriye gün ışığı alınıyor</td><td rowspan="2">Izgara ve brandalar kaldırıldığında, yan pencerelerden ve çatı ışıklıklarından giren gün ışığının tüm mekana etkisinin belirlenmesi.</td></tr>
<tr><td>Simülasyon A-2</td><td>Tüm pencerelerden içeriye gün ışığı alınıyor</td></tr>
<tr><td colspan="3">B - Tek Katmanlı Işıklık Tiplerinin İncelenmesi</td></tr>
<tr><td>Simülasyon B-1</td><td></td><td>Tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklığından içeri giren doğal ışığın iç mekan aydınlık düzeylerine olan etkisinin incelenmesi.</td></tr>
<tr><td>Simülasyon B-2</td><td></td><td>Tek katmanlı çift yönlü çatı ışıklığından içeri giren doğal ışığın iç mekan aydınlık düzeylerine olan etkisinin incelenmesi.</td></tr>
<tr><td colspan="3">C - Çift Katmanlı Işıklık Tiplerinin İncelenmesi</td></tr>
<tr><td>Simülasyon C-1</td><td></td><td>Sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı ışıklığından içeri giren doğal ışığın iç mekan aydınlık düzeylerine olan etkisinin incelenmesi</td></tr>
<tr><td>Simülasyon C-2</td><td></td><td>Güneş kırıcı elemana sahip olmayan çift katmanlı çatı ışıklığından içeri giren doğal ışığın iç mekan aydınlık düzeylerine olan etkisinin incelenmesi</td></tr>
</table>

Çizelge 1.1. (Devam) TOBB ETÜ en uygun doğal aydınlatma koşullarının belirlenmesine yönelik çalışmanın sınıflandırılması [23].

D – Öneri "Hareketli Güneş Kırıcılı Çift Katmanlı" Işıklık Tiplerinin İncelenmesi		
Simülasyon D-1		Hareketli güneş kırıcılara sahip çift katmanlı tepe ışıklığından içeri giren doğal ışığın iç mekan aydınlık düzeylerine olan etkisinin incelenmesi (Eğitim yapısı için öneri doğal aydınlatma tasarımı yapılması)

1.1. Literatürdeki Benzer Çalışmalar

Literatürde yapılarda doğal aydınlatma, bilgisayarla yapılmış doğal aydınlatma simülasyonları, gölgeleme teknikleri, günışığı hesaplama yöntemlerinde bilgisayar kullanım olanakları ile ilgili yayınlar bulunmaktadır. Yayınlar arasında bu yüksek lisans çalışmasına inceleme alanı ve yöntem olarak benzer olanlar bulunmaktadır.

Ng, Poh, Wei ve Nagakura' nın Singapur' da bulunan Asya Medeniyetleri Müzesi için yaptıkları 2001 tarihli çalışmada Radiance adlı bilgisayar programı kullanılarak bulutlu gökyüzü koşullarında iç mekana ilişkin aydınlık düzeyleri gerçeğe çok yakın olarak hesaplanmıştır. Günışığı kontrol yöntemleri arasından iki tanesi seçilerek simülasyon uygulandıktan sonra jaluzi kullanımının perdeye göre çok daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır [24].

Wong' un 2004 yılında Lightscape programı kullanarak yaptığı bir başka araştırmada yine Singapur' da bir konut binası için dışa monte edilmiş gölgeleme elemanlarının iç mekan aydınlatmasına etkisi incelenmiştir [25].

Tina Saragwi' nin 2004 yılında yaptığı araştırmada, iç mekanlardaki günışığı oluşumu tahmin yöntemleri arasında popüler metotlar olan elle hesaplama, fiziksel oran modeli ve bilgisayar destekli günışığı tasarımı karşılaştırılmış; örnek olay çalışmaları yardımıyla en uygun ve hızlı yöntemin bilgisayar destekli tasarım olduğu sonucuna ulaşılmıştır [26].

Cabeza, Almodovar ve Pulido' nun, eski binaların rehabilitasyonunda simülasyon programlarının kullanılabilirliğinin denetlendiği 1998 tarihli ortak araştırmasında İspanya' daki dini bir yapının bu anlamda incelemesi yapılmıştır [27].

İki kişilik küçük bir ofis odasının yıllık aydınlık düzeylerinin değişkenliği açısından incelendiği 2002 tarihli bir diğer çalışmada, Walkenhorst, Luther, Reinhart ve Timmer, Radiance tabanlı Daysim adlı bilgisayar programını kullanmıştır. Sonuçlar yerinde yapılan ölçümlerle son derece benzerlik göstermektedir [28].

Doğal aydınlatma ile beraber yapay aydınlatma desteği ile karma olarak aydınlatılan bir ofis mekanında elektrik harcamasını azaltmak ve aydınlık kalitesini artırmak için uygulanabilecek pencere ve karartma sistemleri için yapılan Athienitis ve Tzempelikos' un 2002 tarihli bir başka bilgisayar simülasyonu çalışması istenen sonuçlara ulaşılmada güvenilir bir yöntem olarak göze çarpmaktadır [29].

Reinhart ve Walkenhorst' un 2001 yılında yaptığı çalışmada Radiance bazlı Daysim programı kullanılarak 10,097 adet değişik gökyüzü koşulunda, çift pencereli ve dış montajlı gölgeleme elemanlarına sahip bir ofis odasında, yerinde alınan aydınlık düzeyi ölçümleri ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır ve % 2' nin altında bir hata ile tutarlılık sağlanmıştır [30].

Simpson ve McPherson 1998' de hazırladıkları makalede, doğal güneş kontrol elemanlarının (ağaçlar) kullanımı ile Sacramento' da bulunan bir konut sistemini bilgisayar simülasyonu ile incelemiş ve doğal güneş kontrol elemanlarının ısı kazancından kaynaklı soğutma yükünü hangi oranda hafiflettiğini hesaplamıştır [31]. Günışığı kontrol sistemi olarak kullanılan düz, eğimli ve yay biçimli reflektörlerin günışığı faktörlerine etkisinin incelendiği 1998 tarihli araştırma, Traverso ve Vighy tarafından yapılmıştır [32].

Bilgisayar simülasyonu ile elde edilen sanal 3 boyutlu görüntüler ile doğal aydınlatma tasarım sonucuna ilişkin değerlendirme yapılan Moeck ve Selkowitz imzalı 1996 tarihli bir çalışmaya da rastlanmıştır [33].

Uğurtan Aybar' ın 2007 yılında yaptığı Doktora tezinde 3ds max. programı kullanılarak Ankara'da bulunan Anadolu Medeniyetleri Müzesi'nin Arasta bölümünde sergilenen eserlerin, günışığı ile, standartlara en uygun biçimde aydınlatılmasını sağlayan yeni bir çatı ışıklığı sistemi tasarlanmıştır. [34].

1.2. Varsayımlar

Yüksek lisans çalışmasında, günümüzde dünyanın çeşitli yapılarında kullanılmakta olan farklı çatı ışıklık tiplerinden doğal aydınlatma, iç mekan konforu ve ekonomiklik açısından en uygun olanlarının saptanmıştır. Buna göre tasarlanan yeni çatı ışıklık sisteminin, ele alınan yapıdaki doğal aydınlatmaya bağlı sorunları çözeceği düşünülmektedir. Bu amaçla, eğitim yapısının Atrium kısmını kapatan farklı tipte çatı ışıklıklarının doğal aydınlatmaya olan etkilerinin bilgisayar simülasyonları ile değerlendirilmesine karar verilmiştir. Bilgisayar simülasyonları; yılın tüm zamanları için fikir vermesi amacı ile ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış aylarını ifade edecek biçimde ve mevsim dönüşlerine rastlayan 21 Mart, 21 Haziran, 21 Eylül ve 21 Aralık tarihleri için yapılmıştır. Genellikle uluslararası yayınlarda kullanılan 9:00, 12:00, 15:00 gibi güneş saatleri simülasyon kapsamında değerlendirilmiştir. Söz konusu gün ve saatler için gökyüzünün tamamen bulutlarla kapalı olması ve gökyüzünde hiç bulut olmaması koşulları ayrı ayrı simüle edilmiştir.

2. EĞİTİM YAPILARINDA DOĞAL AYDINLATMA KRİTERLERİ

Sirel, doğal aydınlatma ile ilgili olarak şöyle demektedir [35]:

"Sonsuz doğrultudan gelen yayınık gök ışığının da, güneşten gelen doğrultulu ışığın da renkleri ve sağladıkları aydınlık düzeyleri değişkendir. Bu değişkenlik atmosfer koşulları, günün saati, mevsimler, bulutluluk durumu, arazi biçimi gibi bir çok etkene bağlı olduğu gibi, değişkenliğin hızı da değişkendir. Buna, dolaysız güneş ışınlarının doğrultusunun da değişkenliğini eklemek gerekir.

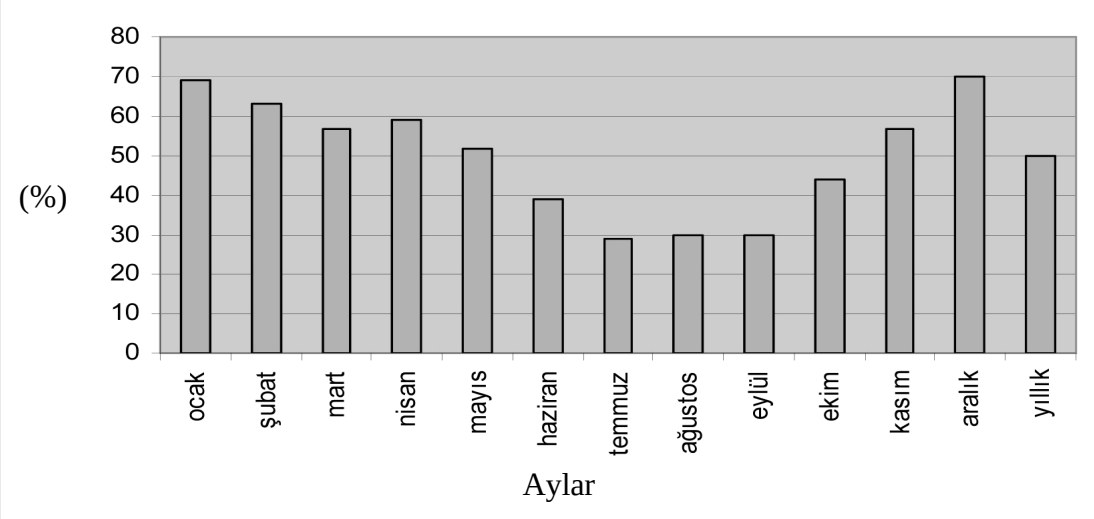
Bu özellikleri ile gün ışığı bir çok bakımdan canlı, devingen bir nitelik gösterir. Bu, insan doğasına uygun çok güzel bir özelliktir. Özetle denebilir ki, insan, yeryüzünde var olduğu günden bu yana, böyle bir ışık içinde gelişmiş, tüm organizması, çalışmalarından psikolojik yaşantısına değin, buna göre oluşmuştur".

Gökyüzü koşulları genel olarak üçe ayrılır:

Bulutlu gökyüzü (overcast sky): Bulutlu gökyüzü, gökyüzü koşulları arasında aydınlık açısından en düzgün biçimdir. Gökyüzünün en az %80' i bulutlarla kaplıdır. Bulutlu gökyüzünün parıltısı genel olarak doruk noktasında ufuktakinin üç katı kadardır. Bulutların yoğunluğuna göre dünya yüzeyinde ölçülen aydınlık düzeyi 4000 – 25 000 lüks arası olabilir [36].

Açık gökyüzü (clear sky): Açık gökyüzü bulutlu gökyüzünden daha donuktur ve ufukta doruk noktasından daha parlak görünür. Güneşin çevresinde kalan gökyüzü parçası dışında oldukça durağandır. Gökyüzünde bulutla kaplı alan, tüm alanın %30' unu geçmez. Açık gökyüzü koşullarında ölçülen yeryüzü aydınlık düzeyleri 50000 lüks ile 120 000 lüks arasında değişim gösterebilir [36].

Az bulutlu gökyüzü (cloudy sky): Az bulutlu gökyüzü, bulutlu ve açık gökyüzü arasında, göğün % 30 - % 80' inin bulutlarla kaplı olduğu durumdur [36]. Bulutların hareketiyle aydınlık düzeyleri çok hızlı biçimde değişir. Mevsim ve iklime göre gökyüzü koşulları sürekli değişim gösterir. Gün ışığından yararlanmak üzere ülkelerde yıllık bulutluluk oranı ve aydınlık düzeylerine ilişkin ölçümler yapılır ve çizelgeler hazırlanır (Şekil 2.1) [37].



Şekil 2.1. Ankara için yıllık ortalama bulutluluk oranı [37].

Aydınlatma amaçlı olarak gün ışığının uygun biçimde değerlendirilmesi ile mekanların görsel kalitesini artırmak, yapay aydınlatmaya gereksinimi azaltmak, dolayısıyla enerji tasarrufu sağlamak mümkündür.

Eğitim yapılarında doğal aydınlatma söz konusu olduğunda, gün ışığıyla ilgili olarak karşımıza çözülmesi gerekli bazı sorunlar çıkmaktadır:

- Yapı içerisine bazı açıklıklardan giren doğal ışıkla istenen aydınlık düzeninin kurulması oldukça zordur.
- Gün ışığının yapı içerisindeki dağılımını denetleme olanağı sınırlıdır.
- Gök ışığının tayfsal yapısı ve oluşturduğu aydınlık düzeyi değişkendir ve denetlenemez.
- Gün ışığının, yapıların içinde oluşturduğu aydınlık düzeyinin belli sınırların üstüne çıkmamasını sağlamaya dönük çalışma ve uygulamalar yapı maliyetini artırmaktadır.
- Gün ışığı (açık ve kapalı gök) zararlı ışınımlar içermektedir ve yapı içerisinde kullanımı uygun değildir.
- Gün ışığının belli bir niteliği vardır ve bu nitelik çoğu nesne özelliklerinin görsel algılaması için uygun değildir. Örneğin, çok önemli olan baskın doğrultulu ışık alanı ve gerekli baskın doğrultu, gök ışığı ile elde edilemez.

- Gün ışığı 24 saat boyunca kullanılamaz.
- Gün ışığının, görme alanı içinde oluşturduğu kamaşmaları önlemek için tedbir almak gereklidir.

Bu yüksek lisans tezi; yukarıda maddeleşmiş olan sorunların çözümüne yönelik bir çalışmadır.

2.1. Kaliteli Aydınlatma

Aydınlatma; kişilerin asgari görme ihtiyacını sağlayan, ışığın üretim ve dağılımını kontrol eden, ekonomik koşullar altında görme konforuna bağlı olarak iş verimini yükseltmeyi amaç edinen özel bir bilim dalı haline gelmiştir [38]. Tanımdaki amaçlara cevap veren iyi ve sürekli bir aydınlatma elde etmek için aşağıdaki şartların sağlanması gerekir [39]:

- Amacının iyi tespit edilmiş olması,
- Uygun aydınlatma düzeyinin ve tipinin tespit edilerek aydınlatma tekniğine uygun projelendirilmesi,
- Etkinlik faktörü yüksek ışık kaynaklarının tercih edilmesi,
- Işığın armatürde kaybolmasına yol açmayan ve uygun ışık dağılımını veren armatürlerin kullanımı,
- Enerjinin optimum yönetimi için uygun kontrol sistemlerinin kullanımı,
- Belirli aralıklarla armatürlerin düzenli bakımlarının yapılması.

Kaliteli aydınlatma, yüksek aydınlık düzeyi demek değildir. Aydınlatma düzeyinin yeterli olduğu ortamlarda bile ortamda bulunan kişilerin, kamaşmadan ve ortam içindeki farklı parıltı seviyelerinden kaynaklanan baş ağrısı ve göz şikayetlerinde bulundukları görülmüştür. İyi yapılmış bir yapay aydınlatma ile rahat görme koşullarının sağlanması yanında, kişilerin duygusal ve psikolojik ihtiyaçlarına cevap vererek çalışma verimini de arttırmalıdır [39]. İnsanın çalışma performansı ve sağlığı üzerine aydınlatmanın potansiyel etkileri Tablo 1’ de görülmektedir [1].

2.2. Eğitim Kurumlarında Aydınlatma Sistemi Tasarımı

Eğitim faaliyetleri için yapılan aydınlatmada amaç; her türlü okul ortamında eğitmen ve öğrenci için optimum bir görsel çevre sağlayarak öğretme-öğrenme sürecine katkıda bulunmaktır. Bu da kullanıcıların görsel işlerini doğru, çabuk ve rahat bir şekilde yapabildikleri görsel bir çevre ile mümkündür. Öğrenme sürecini destekleyecek şekilde tasarlanmış bir görsel çevre öğrencilerin psikolojik ve duygusal olarak tatmin etmeli ve rahat görme koşullarına sahip olmalıdır. Etkili şekilde kullanılan aydınlatma hoş ve cezp edici ortamlar oluşturur, ferahlık hissi sağlayarak öğrenmeyi teşvik eder ve davranışları iyi yönde etkiler [1, 14].

Eğitmenlerin ve öğrencilerin performansını artırmak ve kaliteli bir aydınlatma sağlamak için uygun aydınlık düzeyinin belirlenmesi, ışık kaynaklarının belirlenmesi, armatürlerin seçimi ve aydınlatma tasarımı konularında uyulması gereken kriterler başlıklar altında aşağıda anlatılmıştır. Ayrıca, okullarda gün ışığı ve aydınlatmanın birlikte kullanımı ve aydınlatmada enerji verimliliğini sağlayacak yöntemler verilmiştir.

2.2.1. Aydınlık düzeyi

Sağlıklı bir öğretme-öğrenme sürecinde uygun aydınlatma şartlarının gerçekleşmesi için aydınlatma alanında standartları belirleyen kurumların tavsiyeleri belirli aralıklar yayınlamaktadır.

IESNA’ nın dersliklerin iç yüzeyleri için önerdiği ışık yansıtma değerleri; duvarlar için %40-60, tavan %70-90, zemin %60-50 ve çalışma düzlemi için %30-50’ dir. prEN 14464-1 çalışma alanlarında aydınlatma (Lighting of workplaces) isimli Avrupa standardı hacimlerde yapılan eylemlere göre aydınlık düzeyi, renksel geri verim ve kamaşma indisi değerlerini belirlemiştir. Eğitim yapılarına ilişkin değerler Çizelge 2.1.’ de görülmektedir [40].

Çizelge 2.1. Eğitim amaçlı etkinlikler için mekanlarda önerilen aydınlık gereksinimleri [1].

Hacim ve Eylem Alanı	**E (Lüx)**	**UGR_L**	**R_a**	**Açıklama**
Derslik	300	19	80	Aydınlatma kontrol edilmeli
Akşam derslikleri ve yetişkin sınıfları	500	19	80	Aydınlatma kontrol edilmeli
Konferans salonları	500	19	80	Aydınlatma kontrol edilmeli
Yazı tahtası	500	19	80	Bölgesel kamaşmalar engellenmeli
Güzel sanatlar sınıfı	750	19	80	
Teknik çizim dersliği	750	19	80	
Laboratuvar	500	19	80	
Müzik sınıfları	300	19	80	
Bilgisayar sınıfları	300	19	80	
Yabancı dil sınıfları	300	19	80	
Giriş holü	200	19	80	
Koridorlar ve sirkülasyon alanları	100	19	80	
Merdivenler	150	19	80	
Toplantı odaları	200	19	80	
Öğretmenler odası	300	19	80	
Kütüphane, kitaplık	200	19	80	
Kütüphane, okuma alanları	500	19	80	
Depolama bölgeleri	100	19	80	
Spor alanları	300	19	80	EN12193'e bakılmalı
Kantin, kafeterya	200	19	80	
Mutfak	500	19	80	

E: Önerilen Aydınlık Düzeyi, UGR_L: Kamaşma limiti, R_a: Minimum renk geriverimi.

2.2.2. Günışığının kullanımı

Günışığı yapay aydınlatma sistemleri ile bütünleşik kullanılırsa, eğitim kurumlarında yüksek performans ve kaynakların verimli kullanımını sağlar. Araştırmalarda günışığından faydalanılan sınıflarda öğrencilerin, günışığından yeterince faydalanılmayan sınıflardaki öğrencilere göre hem sınavlarda hem bireysel başarılarda daha üstün oldukları gözlemlenmiştir [41-43]. Günışığının okullarda kullanımının faydaları aşağıdaki şekilde sıralanabilir [41]:

- Akademik performansın artması,
- Enerji tasarrufu,
- İyi aydınlatma,
- Tabiat ile güçlü bağlantı,
- Sağlıklı bir ortam geliştirme,
- İdeal eğitim ortamının sağlanması.

2.2.3. Işık kaynaklarının ve armatürlerin belirlenmesi

Eğitim kurumlarında ışık kaynaklarının ve armatürlerin seçiminde aşağıdaki faktörler dikkate alınarak gerçekleştirilir.

- Aydınlatma yapılacak ortamın kullanılma amacı,
- Hedeflenen aydınlık düzeyi,
- Enerji tasarrufu,
- Minimum bakım,
- Uzun ömür,
- Nesnelerin renklerini gerçeğe yakın göstermesi.

3. EĞİTİM YAPILARINDA GÜN IŞIĞI SİSTEMLERİNİN KULLANIM OLANAKLARI

Eğitim yapılarında günışığından gerektiği ölçüde yararlanabilmek üzere uygulanabilecek gün ışığı sistemleri, genel olarak gölgeleme elemanlarına sahip olan ve gölgeleme elemanlarına sahip olmayan sistemler adları altında iki ana başlıkta incelenebilir [44]. Bu bölümde gün ışığı sistemleri alt başlıklar halinde toparlanmış ve her bir alt başlık tablolaştırılarak değerlendirilmiştir. Tablolarda eleman seçimindeki kriterler başlığı altında aşağıdaki soruların cevapları irdelenmiştir:

Kamaşmanın engellenmesi: Sistem, içeriden bakıldığında güneşten kaynaklanan direkt kamaşmayı ve yansıyan kamaşmaları engelleyebiliyor mu [45]?

Dış mekanın algılanması: Sistem, yarı geçirgen ve bozulmamış bir dış ortam algısına izin veriyor mu?

Işığın mekanın iç bölümlerine ulaşması: Sistem, geleneksel pencere sistemlerine göre ışığın mekanın iç kısımlardaki karanlık bölümlerine ulaşmasında avantaj sağlıyor mu?

Homojen aydınlatma: Sistem mekan içerisinde düzgün aydınlatma sağlıyor mu?

Yapay aydınlatmadan tasarruf: Geleneksel sistemlerle kıyaslandığında sistem, yapay aydınlatma aygıtlarının kullanımını azaltabiliyor mu?

Hareketli elemanlar: Sistemin etkin performans sağlaması için gün boyu veya yıl boyu güneşe göre farklı açılarda konumlandırılması gerekiyor mu?

Kullanım olanağı: Sistemin günümüzde üretimi var mıdır? Yoksa henüz test aşamasında mıdır?

Günışığı sistemleri genel olarak iki ana başlıkta incelenebilir:

1. Gün ışığını gölgeleyen sistemler

a. Direkt güneş ışığını kesen ancak yayınık gök ışığını kullanan gölgeleme sistemleri
b. Güneş ışığını yayan veya tavana ya da göz hizasının üzerinde bir noktaya yönlendiren gölgeleme sistemleri [46]

2. Gün ışığını yönlendiren sistemler

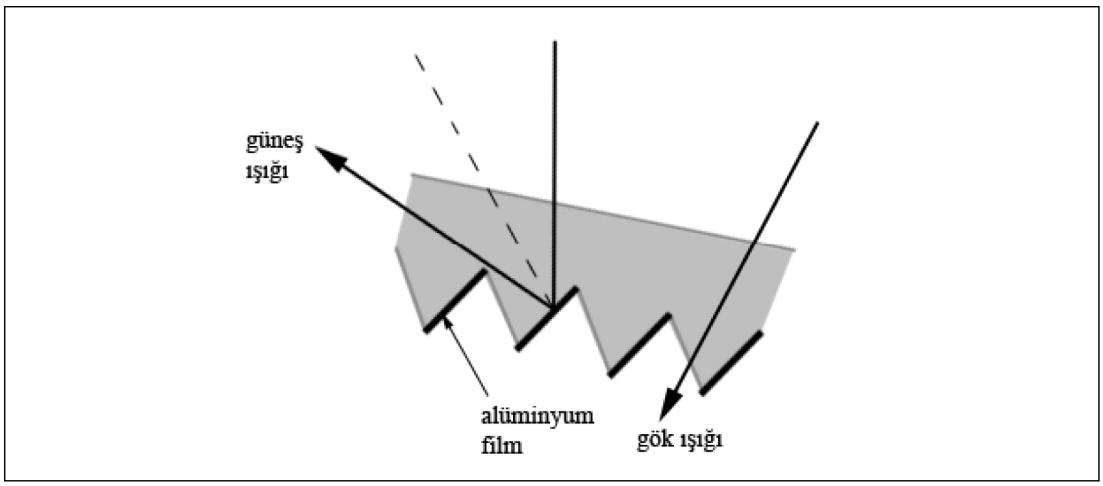
a. Yayınık günışığı yönlendirme sistemleri
b. Direkt günışığı yönlendirme sistemleri
c. Işığı yüzey üzerinde saçarak dağıtan sistemler
d. Işık taşıma sistemleri [46]

Gün ışığını gölgeleyen sistemler; günışığını belli ölçülerde engelleyen, bloke eden sistemlerdir. Gölgeleme sistemleri genellikle direkt gün ışığının içeriye girmesini engellemek ve yayınık ışığı içeriye almak üzere tasarlanan elemanlardır. Aşırı ısınmayı ve kamaşmayı engellemek üzere tasarlanan geleneksel gölgeleme sistemleri, ölçüm alanlarındaki gün ışığı oranını da otomatik olarak azaltır. Günümüzde gün ışığını keserek yalnızca yayınık ışığı iç mekana yönlendirilmek üzere tasarlanan gelişmiş gölgeleme sistemleri bulunmaktadır [47].

3.1. Direkt Güneş Işığını Kesen Ancak Yayınık Gök Işığını Kullanan Gölgeleme Sistemleri

3.1.1. Prizmatik paneller

İnce, yüzeysel, testere dişlere sahip şeffaf akrilik panellerden oluşurlar. Ilıman iklimlerde günışığını kırmak ve yönünü değiştirmek üzere kullanılırlar. Gölgeleme sistemi olarak kullanıldıklarında direkt güneş ışığını kırarken, yayınık ışığı geçirirler. Birçok farklı biçimde uygulanabilirler. Güneşe göre hareketli veya sabit olarak cephe elemanlarına veya çatı pencerelerine yerleştirilirler (Şekil 3.1) [34].



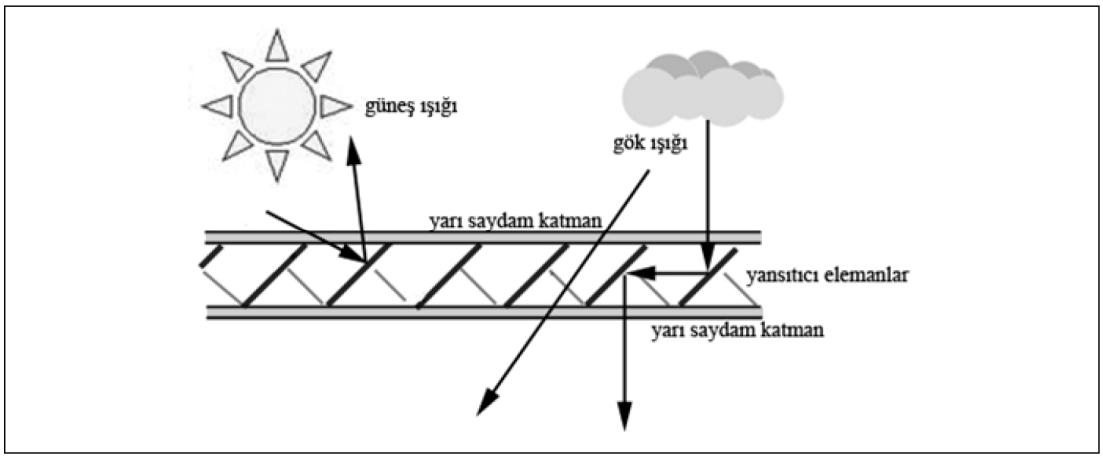
Şekil 3.1. Prizmatik panel [34].

3.1.2. Prizmalar ve jaluziler

Gölgeleme amaçlı olarak prizmatik panelli bir katmandan ve yayınık günışığını yönlendirmek üzere tasarlanmış boşluklu jaluziden oluşan bir sistemdir. Sistem pencere içerisine tüm pencere yüksekliğini kaplayacak biçimde yerleştirilir [34].

3.1.3. Güneş ışınlarını yansıtan aynalar

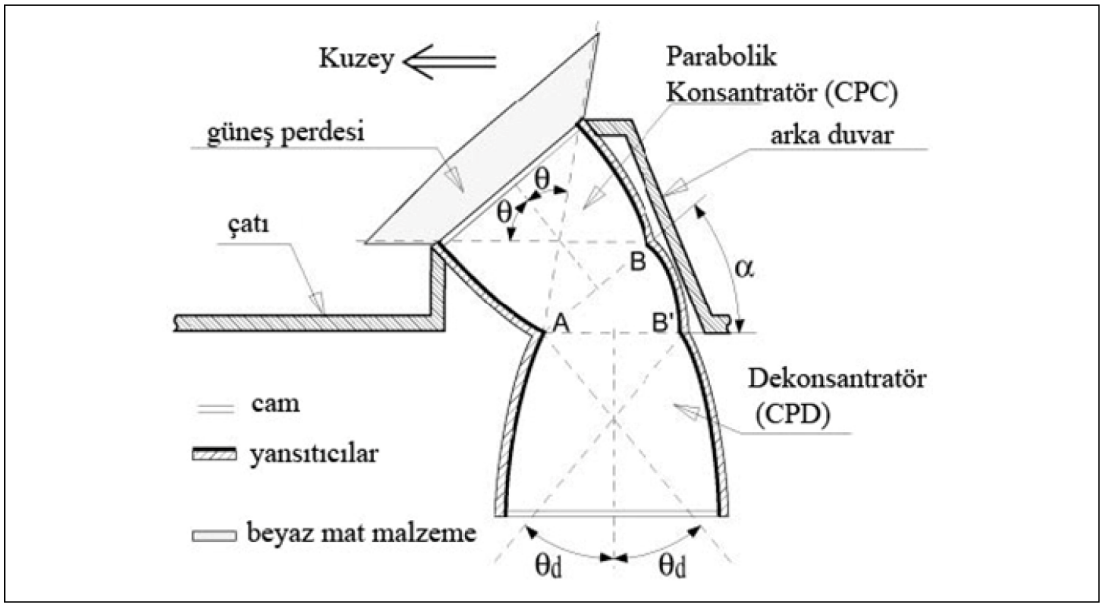
İki katman arasına yerleştirilen yansıtıcı elemanlar direkt güneş ışığını yansıtarak yayınık gök ışığını içeri alır (Şekil 3.2) [34].



Şekil 3.2. Güneş ışınlarını yansıtan aynalar [34].

3.1.4. Anidolik zenital boşluk

Yerleştirilen anidolik cihaz gelişmiş açısal seçiliği yardımıyla direkt güneş ışığı yerine yayınık günışığını içeri alabilir. Bu sistem özelliği nedeniyle çoğunlukla tek katlı binalarda, tonozlu yapılarda ve çok katlı binaların en üst katında kullanılabilir. (Şekil 3.3) [34].



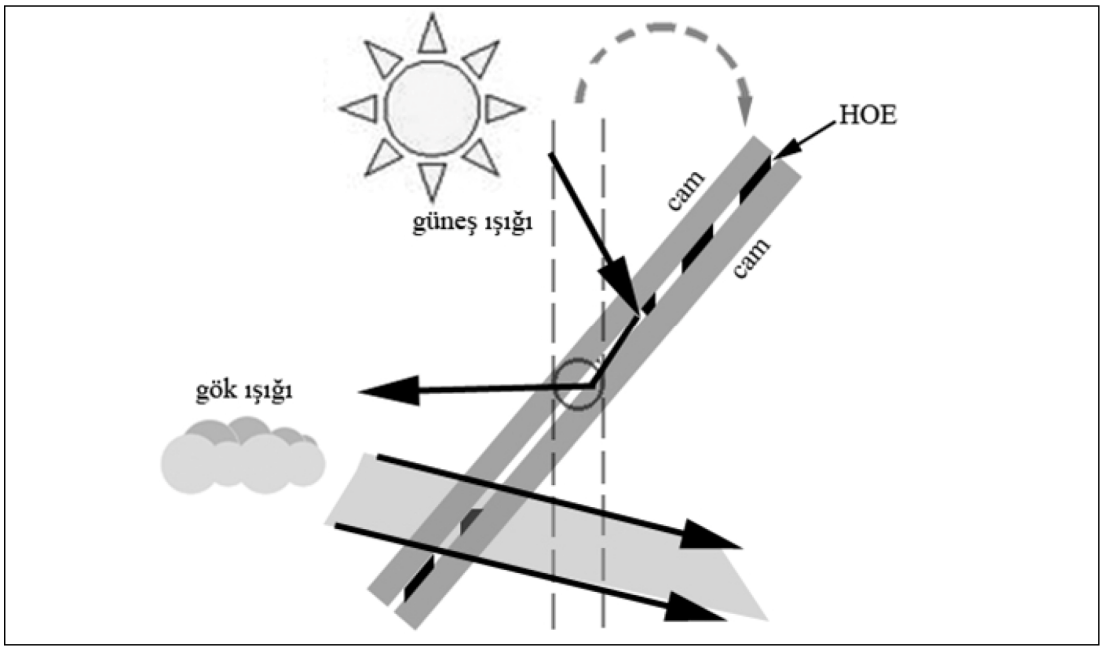
Şekil 3.3. Anidolik zenital boşluk [47].

3.1.5. Işık toplayan holografik optik elemanlı (HOE) yönlendirmeli gölgeleme sistemi

Sistemde kullanılan holografik elemanlar direkt güneş ışığını bir cam eleman üzerinde bulunan opak hatlara yönlendirir ve toplar. Bu hat üzerinde güneş ışığı yansıtılır, yutulur ya da elektrik enerjisine veya termal enerjiye dönüştürülür. Tasarım direkt güneş ışığının iç mekana girmesini önlerken izleyicinin dış mekanı algılamasını ve yayınık ışığın içeri girmesini engellemez [34].

3.1.6. Toplam yansımaya göre HOE' li yarısaydam gölgeleme sistemi

Sistemdeki HOE’ lar direkt güneş ışığını yüzey normaline göre çok dar bir açıyla yansıtacak biçimde tasarlanmışlardır. Bu elemanla entegre olan cam güneşi takip edecek biçimde hareket ettiği zaman, direkt güneş ışığı filtrelenmektedir (Şekil 3.4). Direkt güneş ışığını engelleyen ancak yayınık gök ışığını kullanan sistemler ile ilgili karşılaştırma Çizelge 3.1’ de verilmektedir [34].



Şekil 3.4. Toplam yansımaya göre HOE' li yarısaydam gölgeleme sistemi [34].

Direkt güneş ışığını engelleyen ancak yayınık gök ışığını kullanan sistemler ile ilgili karşılaştırma Çizelge 3.1’ de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Direkt güneş ışığını engelleyen ancak yayınık gök ışığını kullanan sistemler [47].

1. Gölgeleme Sistemleri										
Kategori	Tip/İsim	İklim	Uygulama	Eleman seçimindeki kriterler						
				Kamaşmanın Engellenmesi	Dış mekanın algılanması	Işığın Mekanın İç Bölümlerine Ulaşması	Homojen Aydınlatma	Yapay Aydınlatmadan Tasarruf	Hareketli Elemanlar	Kullanım olanağı
Direkt güneş ışığını engelleyen ancak yayınık gökışığını kullanan sistemler	Prizmatik Paneller	Her türlü	Düşey pencereler çatı pencereleri	KG	-	KG	KG	KG	KG	K
	Prizmalar ve Jaluziler	Ilıman	Düşey pencereler	+	KG	+	+	+	+	K
	Güneş ışınlarını yansıtan aynalar	Ilıman	Çatı pencereleri, şeffaf çatılar	KG	-	-	+	-	-	K
	Anidolik Zenital boşluk	Ilıman	Çatı pencereleri	+	-	-	+	+	-	T
	Işık toplayan Holografik Optik Elemanlı (HOE)** yönlendirmeli gölgeleme sistemi	Her türlü	Düşey pencereler çatı pencereleri şeffaf çatılar	KG	+	-	KG	+	+	T
	Toplam yansımaya göre HOE'li yarısaydam gölgeleme sistemi	Ilıman	Düşey pencereler çatı pencereleri şeffaf çatılar	KG	+	-	+	+	+	K

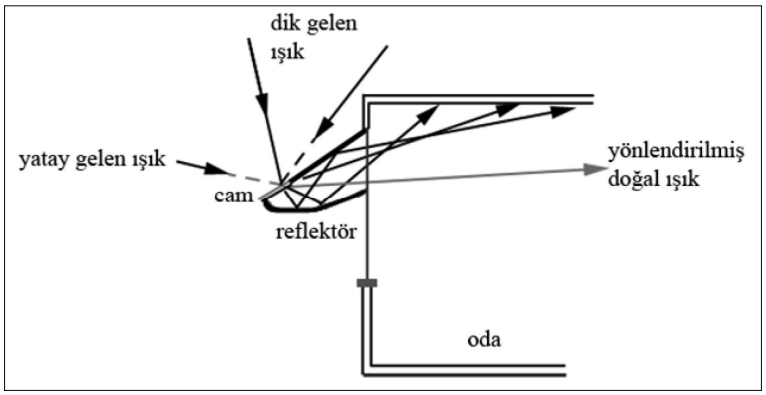
* (+) : Söz konusu koşul sağlanıyor/var (-) : Söz konusu koşul sağlanmıyor/yok (KG) : Kullanılan elemanın konumuna göre koşul sağlanıyor veya sağlanmıyor , (K) : Sistem günümüzde kullanılıyor, (T) : Sistem henüz test aşamasında

**HOE : Holografik Optik Elemanlar

3.2. Güneş Işığını Yayan veya Tavana ya da Göz Hizasının Üzerinde Bir Noktaya Yönlendiren Gölgeleme Sistemleri

3.2.1. Işık kılavuz sistemi

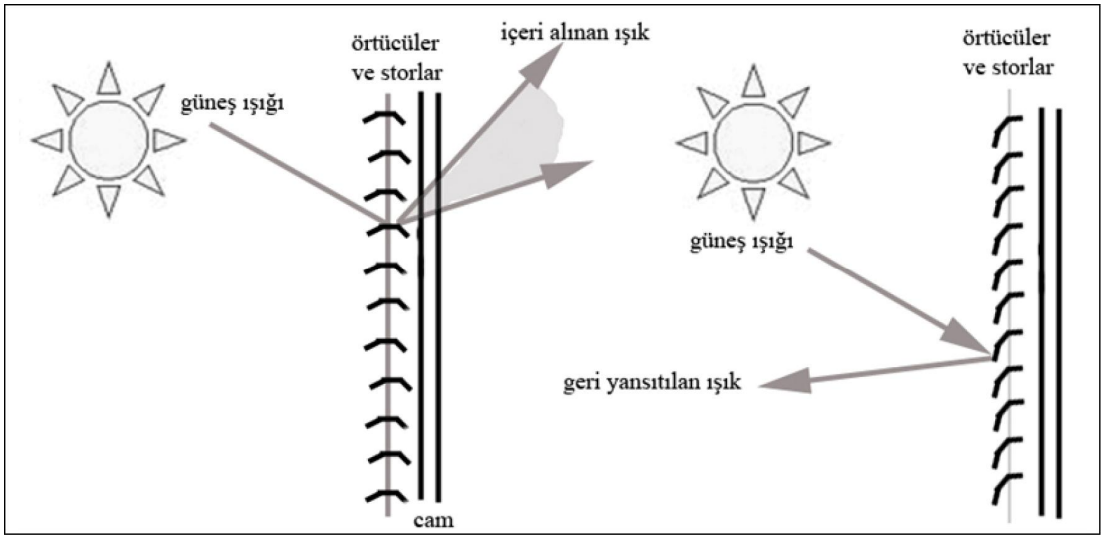
Işığı dağıtan bir cam ve iki reflektörden oluşur. Amaç ışığı yayarak bina içerisine istenen açıda göndermektir (Şekil 3.5) [34].



Şekil 3.5. Işık kılavuz sistemi [34].

3.2.2. Örtücüler ve storlar

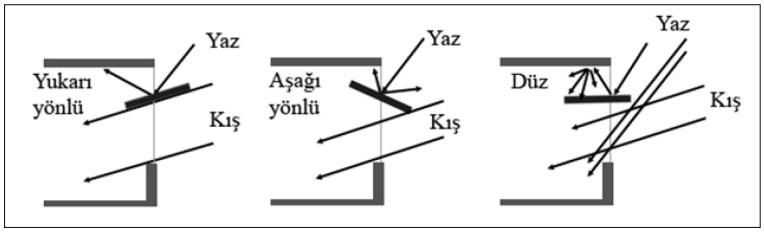
Yatay, düşey veya eğik kapakçıklardan oluşur. Dışarıda konumlandırılmış sistemlerde galvanize çelik, boyalı alüminyum veya Pvc malzeme tercih edilir. Açılı biçimde yerleştirilen kapakçıklar arasındaki mesafe sistemin gereğinde günışığını tamamen engellemesi için kapakçık boyundan daha dardır. Elemanlar güneş ışınımını yutacak, yansıtacak, ya da kısmen geçirecek biçimde tasarlanırlar (Bkz. Şekil 3.6) [34].



Şekil 3.6. Örtücüler ve storlar [47].

3.2.3. Güneş ışınlarını yönlendiren ışık rafları

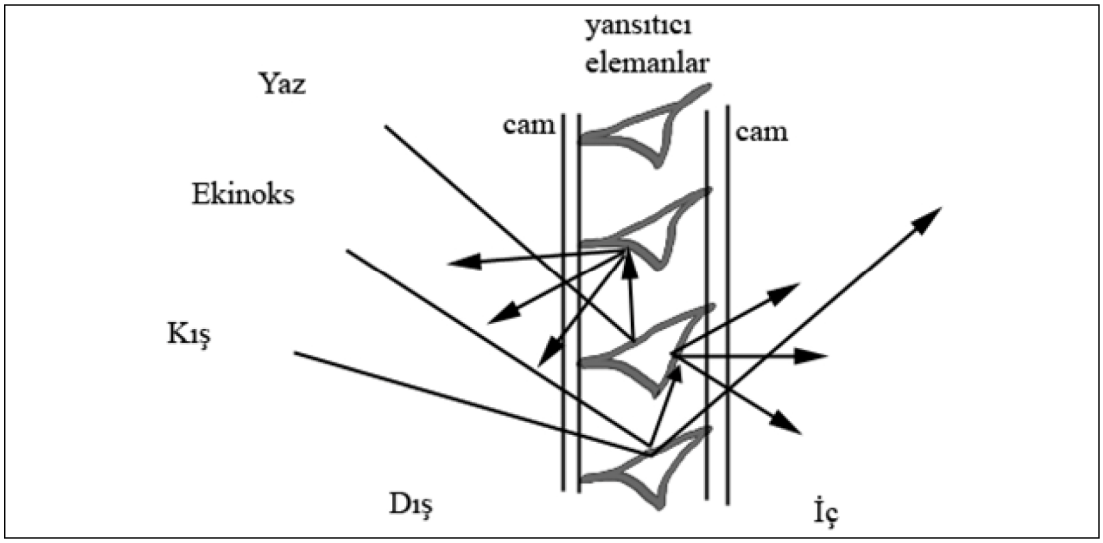
Gökyüzünün oluşturduğu direkt kamaşmayı engellemek üzere tasarlanan ve ışığı mekanın tavanına doğru yönlendiren sistemdir (Şekil 3.7) [34].



Şekil 3.7. Güneş ışınlarını yönlendiren ışık rafları [34].

3.2.4. Okasolar sistemi

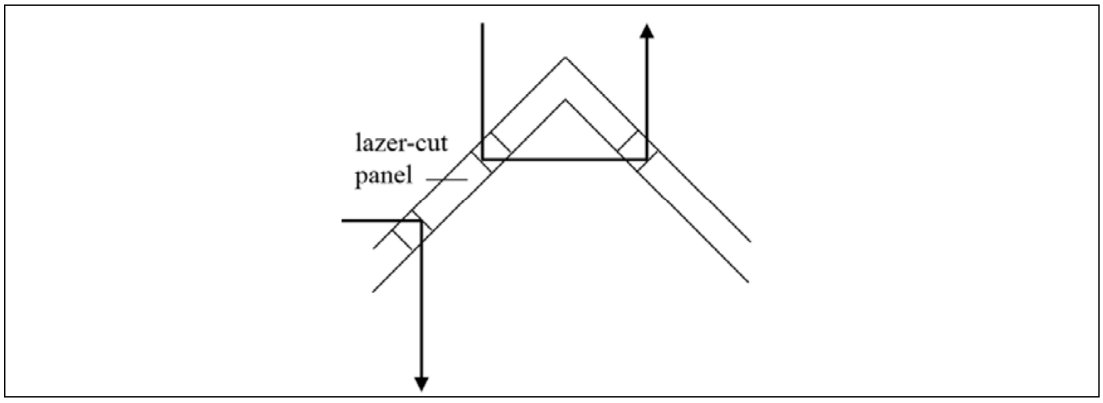
Sabit bir sistem olan okasolar sistemi, çift cam arasına yerleştirilen, araları eşit olarak bölünmüş, üç yüzeyli, yansıtıcı özelliği olan örtücülerden oluşur. Örtücüler kış aylarında ışığı tavana doğru yansıtır; yazın ise gölgeleme özellikleri bulunmaktadır (Şekil 3.8) [34].



Şekil 3.8. Okasolar sistemi [47].

3.2.5. Lazer-cut (lazer kesimli) paneller

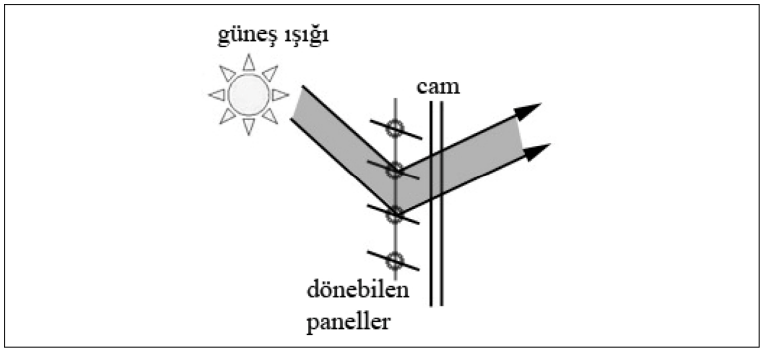
Düşük açı ile gelen ışığı daha fazla, yüksek açı ile gelen ışığı daha az oranda iç mekana bırakan bir sistemdir. Paneller ışığı istenen şekilde saptıracak biçimde boşluklandırılmıştır (Şekil 3.9) [34].



Şekil 3.9. Lazer-cut panel sistemi [34].

3.2.6. Dönebilen panelli sistem

Sistemde camın dış yüzeyine uygulanan paneller güneş açısına göre dönerek direkt ışığı tavana yansıtırlar (Şekil 3.10) [34].



Şekil 3.10. Dönebilen panelli sistem [34].

3.2.7. Anidolik güneş storları

İki adet, üç boyutlu, gridal boşluklu yansıtıcı elemanlara sahip, parabolik yoğunlaştırıcıdan (konsantratör) oluşan bir sistemdir. Storlar direkt güneş ışığı ve kamaşma kontrolü sağlamak üzere tasarlanmıştır [34].

Güneş ışığını yayan veya tavana ya da göz hizasının üzerinde bir noktaya yönlendiren gölgeleme sistemleri ile ilgili karşılaştırma Çizelge 3.2’ de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Güneş ışığını yayan veya tavana ya da göz hizasının üzerinde bir noktaya yönlendiren gölgeleme sistemleri [47].

1. Gölgeleme Sistemleri										
Kategori	Tip/İsim	İklim	Uygulama	Eleman seçimindeki kriterler						
				Kamaşmanın Engellenmesi	Dış mekanın algılanması	Işığın Mekanın İç Bölümlerine Ulaşması	Homojen Aydınlatma	Yapay Aydınlatmadan Tasarruf	Hareketli Elemanlar	Kullanım olanağı
Güneş ışığını yayan veya tavana ya da göz hizasının üzerinde bir noktaya yönlendiren gölgeleme sistemleri	Işık kılavuz sistemi	Sıcak iklim güneşli gökyüzü	Göz hizasının üzerindeki düşey pencereler	+	+	KG	KG	KG	-	T
	Örtücüler ve storlar	Her türlü	Düşey pencereler	+	KG	+	+	+	+	K
	Güneş ışınlarını yönlendiren ışık rafları	Her türlü	Düşey pencereler	KG	+	+	+	+	-	K
	Yansıtıcı profillere sahip cephe elemanları (Okasolar)	Ilıman	Düşey pencereler çatı pencereleri	KG	KG	KG	KG	KG	-	K
	Laser-cut panelli çatı pencereleri	Sıcak iklim güneşli gökyüzü alt enlemler	Çatı pencereleri	KG		+	+	+	-	T
	Dönebilen lamalı sistemler	Ilıman	Düşey pencereler çatı pencereleri	+/KG	KG	KG	KG	KG	+	K
	Anidolik güneş storları	Her türlü	Düşey pencereler	+	KG	+	+	KG	-	T

* (+) : Söz konusu koşul sağlanıyor/var (-) : Söz konusu koşul sağlanmıyor/yok (KG) : Kullanılan elemanın konumuna göre koşul sağlanıyor veya sağlanmıyor , (K) : Sistem günümüzde kullanılıyor, (T) : Sistem henüz test aşamasında

Işık yönlendirme sistemleri esas olarak gün ışığını hacmin derinliğine taşımak için tasarlanan sistemlerdir. Gün ışığını engelleyebilir veya engellemeyebilirler.

3.3. Yayınık Günışığı Yönlendirme Sistemleri

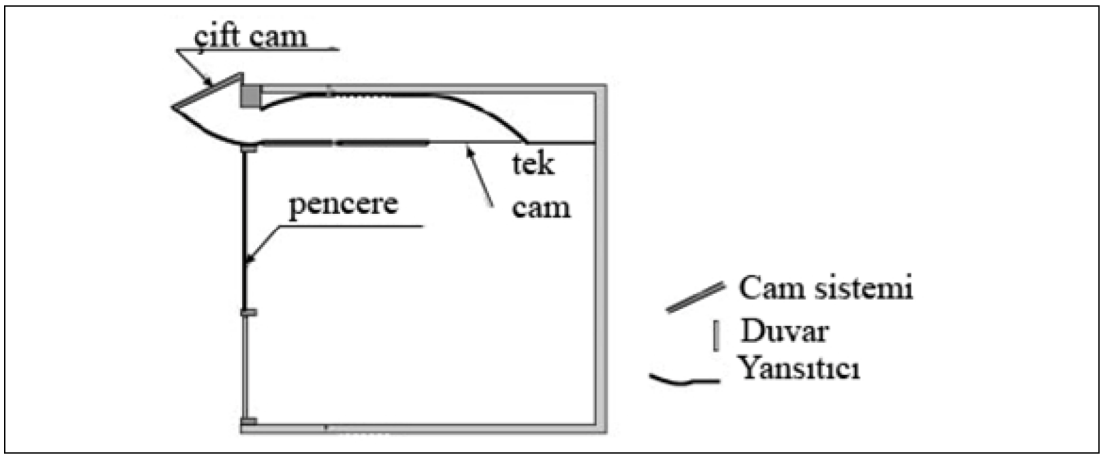
Bulutlu gökyüzünün doruk noktası, ufuk çizgisinden çok daha parlaktır. Normal olarak pencere boşluğu göğün doruk veya başucu noktası dediğimiz bölümünden yararlanır. Işığı bu bölümden toplayarak mekanın iç kısımlarına doğru taşıyan ışık yönlendirme sistemleri gün ışığından yararlanmada gelişmiş sistemlerdir. Dışarıdaki yayınık gök ışığının içeri girmesini engelleyen elemanlar olduğunda da bu sistemler kullanılır [34].

3.3.1. Işık rafı

Konu ile ilgili açıklama Bölüm 3.2.3' de verilmiştir.

3.3.2. Anidolik sistem

Günışığı toplama sistemi yardımıyla özellikle kapalı havalarda ışığı iç mekanlara dağıtmak üzere tasarlanmış bir sistemdir (Şekil 3.11) [34].



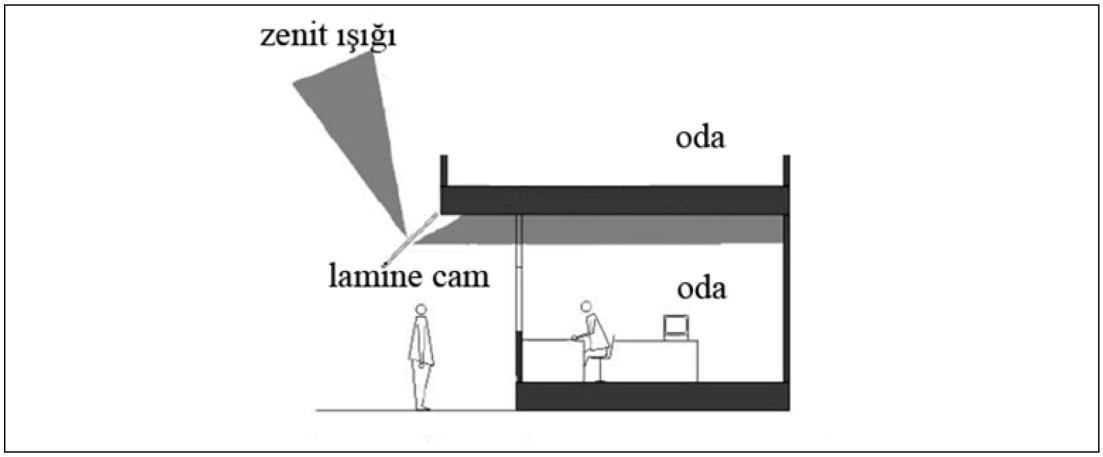
Şekil 3.11. Anidolik sistem [47].

3.3.3. Balık sistemi

Açılandırılmış üçgen kesitli sabit yatay örtücülerden oluşur. Kamaşmayı engellemek ve yayınık ışığı yönlendirmek üzere tasarlanmıştır. Isı kazancı ve güneş ışığının engellenmesi istendiğinde gölgeleme açısından ek önlemler gerektirir. Örtücü elemanlar gökyüzünün en üst çeyreğinden topladığı ışığı tavana yönlendirir. Okasolar sistemine benzer biçimde çalışmaktadır [34].

3.3.4. Zenit ışık kılavuz sistemi

Asal bileşeni, iki katmanlı lamine cam içerisinde bulunan holografik kırınma [45] özelliğine sahip polimerik filmdir. Holografik eleman gökyüzünün zenit bölümünden topladığı yayınık ışığı bina içerisine gönderir. Direkt güneş ışığı alınmayan bina cephelerinde kullanılmasında yarar vardır. Çünkü direkt güneş ışığı renk dağılmasına neden olabilir (Şekil 3.12) [34].



Şekil 3.12. Zenit ışık kılavuz sistemi [47].

Yayınık günışığı yönlendirme sistemleri ile ilgili karşılaştırma Çizelge 3.3’ de görülebilir.

Çizelge 3.3. Yayınık günışığı yönlendirme sistemleri [47].

2. Yönlendirme Sistemleri										
Kategori	Tip/İsim	İklim	Uygulama	Eleman seçimindeki kriterler						
				Kamaşmanın Engellenmesi	Dış mekanın algılanması	Işığın Mekanın İç Bölümlerine Ulaşması	Homojen Aydınlatma	Yapay Aydınlatmadan Tasarruf	Hareketli Elemanlar	Kullanım olanağı
Yayınık günışığı yönlendirme sistemleri	Işık rafı	Ilıman iklim, bulutlu gökyüzü	Düşey pencereler	KG	+	KG	KG	KG	-	K
	Anidolik entegre sistem	Ilıman iklim	Düşey pencereler	-	+	+	+	+	-	K
	Anidolik tavan	Ilıman iklim, bulutlu gökyüzü	Manzara penceresi üzerinde düşey cephe elemanı		+	+	+	+	-	T
	Balık sistemi	Ilıman iklim	Düşey pencereler	+	KG	+	+	+	-	K
	Zenith ışık kılavuz sistemi (HOE'li)	Ilıman iklim, bulutlu gökyüzü	Özellikle avlulardaki düşey pencereler, çatı pencereleri		+	+	+	+	-	K

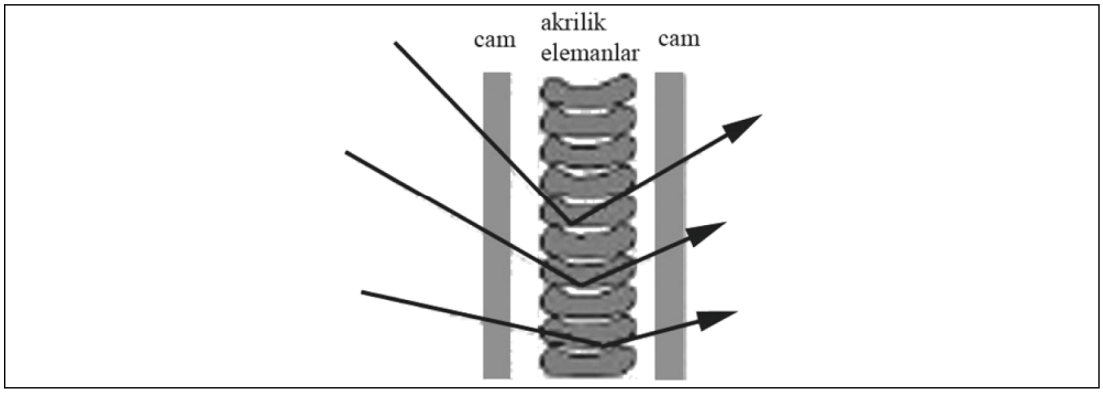
* (+) : Söz konusu koşul sağlanıyor/var (-) : Söz konusu koşul sağlanmıyor/yok (KG) : Kullanılan elemanın konumuna göre koşul sağlanıyor veya sağlanmıyor , (K) : Sistem günümüzde kullanılıyor, (T) : Sistem henüz test aşamasında

3.4. Direkt Günışığı Yönlendirme Sistemleri

Kamaşma ve aşırı ısınma problemleri giderildikten sonra hacimler direkt güneş ışığıyla aydınlatılabilir. Kamaşmanın giderilebilmesi, ışığın içeride gölgeler oluşmaksızın eşit olarak dağılımına ve çalışma alanında yüksek kontrast oluşmamasına bağlıdır [47]. Aşırı soğutma yükünün giderilebilmesi için güneş ışığı cephede küçük bir noktadan alınarak, yüksek verimli bir yönlendirme ve dağıtma işlemine tutularak içeriye gönderilir ve cephenin diğer bölümleri geleneksel gölgeleme elemanları ile korunur. Daha önceki sistemlerde bahsedilen Lazer-cut paneller, prizmatik paneller ve çatı pencerelerinde HOE sistemleri aynı zamanda direkt ışık yönlendirme sistemleri içinde değerlendirilebilir [34].

3.4.1. Güneş ışığını yönlendiren cam

Çift camlı ünite içerisine yerleştirilen içbükey akrilik elemanlar, direkt güneş ışığını tavana yönlendirirler (Şekil 3.13) [34].



Şekil 3.13. Güneş ışığını yönlendiren cam [47].

Direkt günışığı yönlendirme sistemleri ile ilgili karşılaştırma Çizelge 3.4' de verilmiştir.

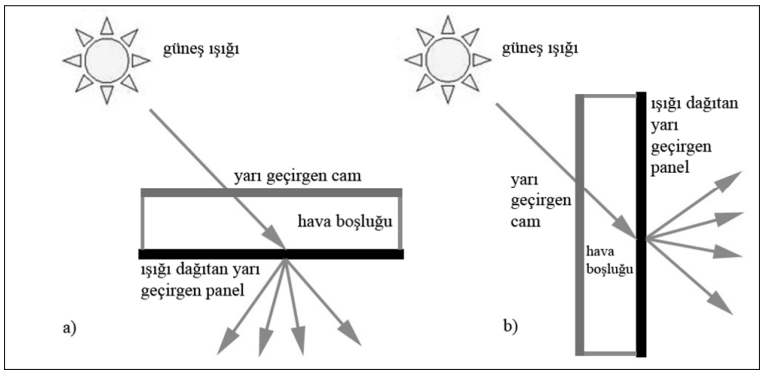
Çizelge 3.4. Direkt günışığı yönlendirme sistemleri [47].

2. Yönlendirme Sistemleri										
Kategori	Tip/İsim	İklim	Uygulama	Eleman seçimindeki kriterler						
				Kamaşmanın Engellenmesi	Dış mekanın algılanması	Işığın Mekanın İç Bölümlerine Ulaşması	Homojen Aydınlatma	Yapay Aydınlatmadan Tasarruf	Hareketli Elemanlar	Kullanım olanağı
Direkt günışığı yönlendirme sistemleri	Lazer-cut panel	Her türlü	Düşey pencereler çatı pencereleri	-	+	+	+	+	-	T
	Prizmatik paneller		Düşey pencereler çatı pencereleri	KG	KG	KG	KG	KG	+/-	K
	Çatı penceresinde HOE		Çatı pencereleri	KG	+	+	+	+	+	K
	Güneş ışığını yönlendiren cam		Düşey pencereler çatı pencereleri	KG	-	+	+	+	-	K

* (+) : Söz konusu koşul sağlanıyor/var (-) : Söz konusu koşul sağlanmıyor/yok (KG) : Kullanılan elemanın konumuna göre koşul sağlanıyor veya sağlanmıyor , (K) : Sistem günümüzde kullanılıyor, (T) : Sistem henüz test aşamasında

3.5. Işığı Yüzey Üzerinde Saçarak Dağıtan Sistemler

Işık saçma sistemleri eşit ışık dağıtmak amacı ile tasarlanır. Üstten aydınlatılan çatı pencereleri formlar için çok uygundur. Düşey boşluklarda kullanıldıklarında önemli kamaşma problemlerine neden olabilirler. Konumları çok iyi seçilmelidir aksi taktirde kamaşmaya neden olmamaları için korunmaları gerekir (Şekil 3.14). Malzeme olarak camın farklı tipleri kullanılır (Çizelge 3.5) [34].



Şekil 3.14. Işığı yüzey üzerinde saçarak dağıtan sistemler [47].

Çizelge 3.5. Işığı yüzey üzerinde saçarak dağıtan sistemler [47].

2. Yönlendirme Sistemleri										
Kategori	Tip/İsim	İklim	Uygulama	Eleman seçimindeki kriterler						
				Kamaşmanın Engellenmesi	Dış mekanın algılanması	Işığın Mekanın İç Bölümlerine Ulaşması	Homojen Aydınlatma	Yapay Aydınlatmadan Tasarruf	Hareketli Elemanlar	Kullanım olanağı
Işığı yüzey üzerinde saçarak dağıtan sistemler	Işık yayan cam, kapiler cam, kumlu cam	Her türlü	Düşey pencereler çatı pencereleri	-	-	+	+	KG	-	K

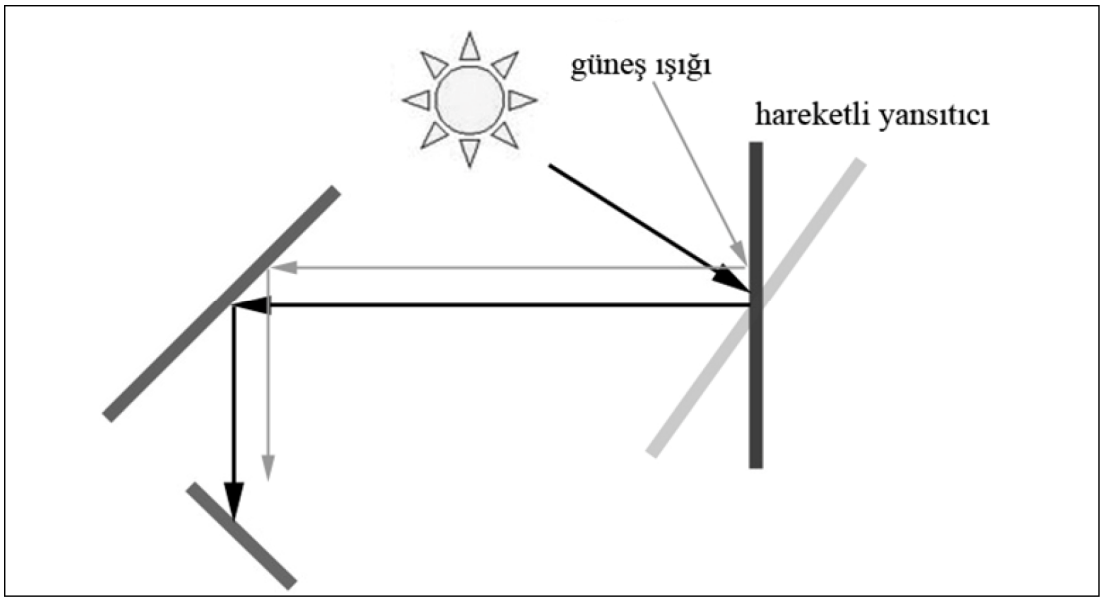
* (+) : Söz konusu koşul sağlanıyor/var (-) : Söz konusu koşul sağlanmıyor/yok (KG) : Kullanılan elemanın konumuna göre koşul sağlanıyor veya sağlanmıyor , (K) : Sistem günümüzde kullanılıyor

3.6. Işık Taşıma Sistemleri

Işık bir takım ışık kılavuz ekipmanı yardımıyla dış ortamdan hacmin iç kısımlarına ve binanın derinliklerine taşınabilir. Hiçbir pencere boşluğu olmaksızın uzun mesafeler kat edilebilir [34].

3.6.1. Heliostat

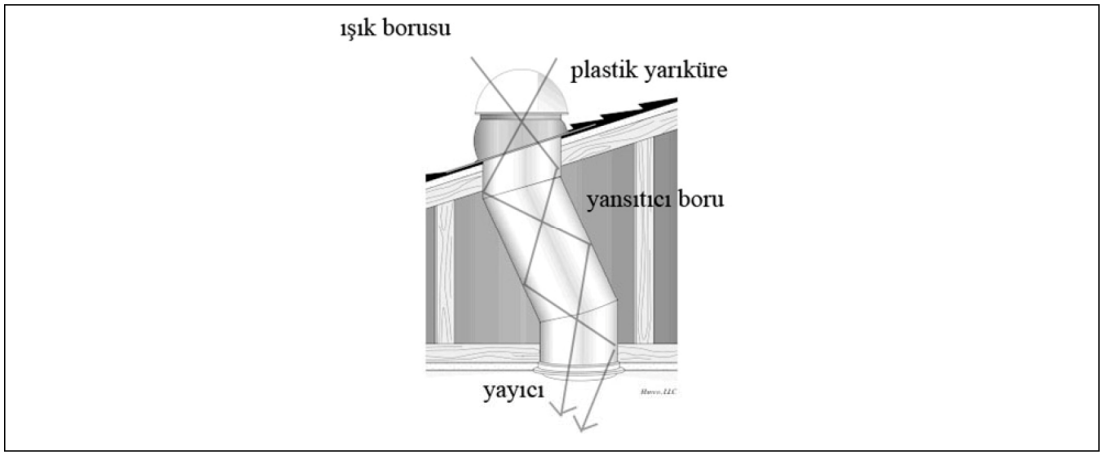
Güneşin hareketlerini takip eden bir cihazdır. Genellikle bir yansıtıcıyı güneş ışınlarını istenilen yöne yansıtmak için hareket ettirme prensibine dayanır (Şekil 3.15) [34].



Şekil 3.15. Heliostat [47].

3.6.2. Işık borusu

1990’ lı yılların başından itibaren kullanılmaya başlayan ışık boruları, genellikle doğal ışığı çatıdan, ihtiyaç duyulan iç bölümlere aktarmayı sağlayan metal veya plastik elemanlardır. Çatıya yerleştirilen plastik bir yarıküre güneş ışığını toplar, yansıtıcı özelliğe sahip bir boru kanalıyla iç mekanın tavanına yerleştirilen yayıcıya iletir (Şekil 3.16) [34].



Şekil 3.16. Işık borusu [34].

3.6.3. Solar tüpler

Çatıları ışıklık yapılamayacak kadar küçük olan mekanlar için tasarlanmış elemanlardır. Banyolar, mutfaklar ve koridorlar için kullanımları uygundur. Işık borusunun daha küçük çaplı olanıdır. Tavanda bir yapay aydınlatma elemanı gibi görünürler. İşlevleri gün ışığını bir tüp yardımıyla iç mekana ulaştırmaktır. Tavanda açılmış küçük bir delikten ibarettir. İçeri su girmemesi için önlem alınmıştır [34].

3.6.4. Işık kılavuz tavanı

Bölüm 3.2.3’ de verilen ışık rafları mantığıyla çalışırlar. Işık taşıma sistemleri ile ilgili karşılaştırma Çizelge 3.6’ da verilmiştir [34].

Çizelge 3.6. Işık taşıma sistemleri [47].

2. Yönlendirme Sistemleri										
Kategori	Tip/İsim	İklim	Uygulama	Eleman seçimindeki kriterler						
				Kamaşmanın Engellenmesi	Dış mekanın algılanması	Işığın Mekanın İç Bölümlerine Ulaşması	Homojen Aydınlatma	Yapay Aydınlatmadan Tasarruf	Hareketli Elemanlar	Kullanım olanağı
Işık taşıma sistemleri	Heliostat	Her türlü iklim, güneşli gökyüzü	Çatı			+		+	+	K
	Işık borusu	Her türlü iklim, güneşli gökyüzü				+	+	+	-	K
	Solar tüp	Her türlü iklim, güneşli gökyüzü				+	KG	+	-	K
	Fiberler	Her türlü iklim, güneşli gökyüzü				+		+	+	K
	Işık kılavuz tavanı	Ilıman iklim, güneşli gökyüzü				+	+	+	-	T

* (+) : Söz konusu koşul sağlanıyor/var (-) : Söz konusu koşul sağlanmıyor/yok (KG) : Kullanılan elemanın konumuna göre koşul sağlanıyor veya sağlanmıyor , (K) : Sistem günümüzde kullanılıyor, (T) : Sistem henüz test aşamasında

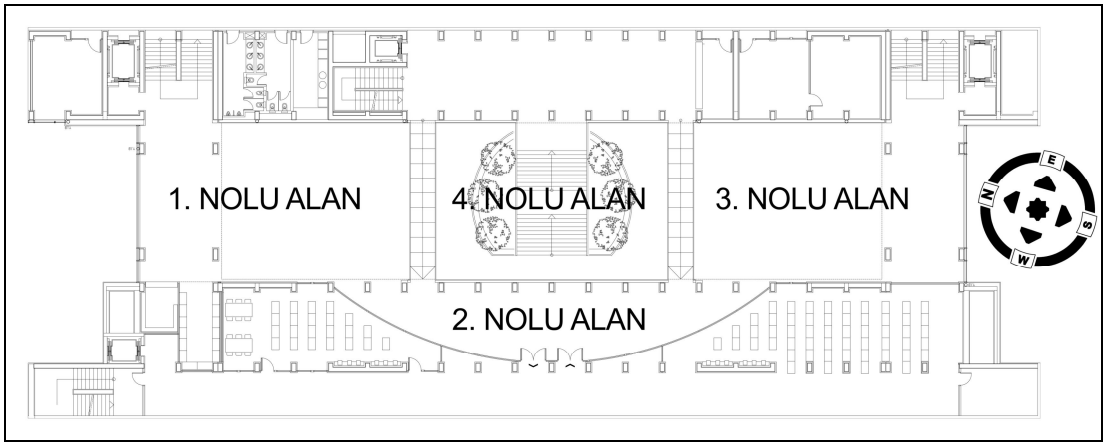
4. DENEY ORTAMI VE YÖNTEM

4.1. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi' nin Kısa Tarihçesi

1986 yılında hazırlık sınıfı ile açılan Ankara Yükseliş koleji' nin Söğütözü kampüsü 1999 yılında son mezunlarını verdikten sonra iflas etmiştir. Türkiye Odalar ve Borsalar Eğitim ve Kültür Vakfının (TOBEV) 2002 yılında aldığı kararla Türk özel sektörünün, sanayi ve ticaret kesiminin uzman personel ihtiyacını karşılamak üzere kurulması kararlaştırılan TOBB Ekonomi ve Teknoloji üniversitesi' nin bir an önce faaliyete geçmesi için hazır tesis alınmasının uygun görüldüğü kaydedildi. TOBB tarafından satın alınan ve vakıf üniversitesi olarak faaliyet gösterecek olan eski Yükseliş koleji binalarının amacına uygun şekilde kullanılmasını temin etmek ve üniversitenin 2004-2005 eğitim yılına açılmasını sağlamak üzere binalarda yenilenme projesinin yaptırılması, projeye ait keşfin hazırlatılması ve inşaatın yaptırılması için gerekli sürecin başlatılması ve inşaatın tamamlanmasının temini, verilecek eğitimin ihtiyaç gösterdiği şekilde binaların tefriş ve teçhiz edilmesi hususları müteaddit yönetim kurulu toplantılarında karar altına alınmıştır [48].

4.2. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi' nin Mimari Özellikleri

TOBB ETÜ' nin kuzey doğu cephesi beş kattan bunun karşı tarafındaki cephe ise üç kattan oluşmaktadır (Şekil 4.1). Kuzey doğu cephesi zemin katta idari birimlerin bir kısmı ve kantini mevcuttur. Birinci katta binanın giriş kapısı, öğretim görevlisi odaları, öğrenci işleri ve fuaye alanı mevcuttur. İkinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci katlarda toplantı salonu, öğretim görevlisi odaları, çay odaları ve fuaye alanı mevcuttur. Güney batı cephesinde ise zemin katta yemekhane, depo ve arka bahçeye çıkış kapısı bulunmaktadır. Birinci katında dolaşım alanı ile bilgisayar odası, kütüphane ve sosyal aktivite alanları bulunmaktadır. İkinci katta kütüphane ve okuma salonları mevcuttur. Üçüncü katta ise fuaye alanı ve anfiler bulunmaktadır.

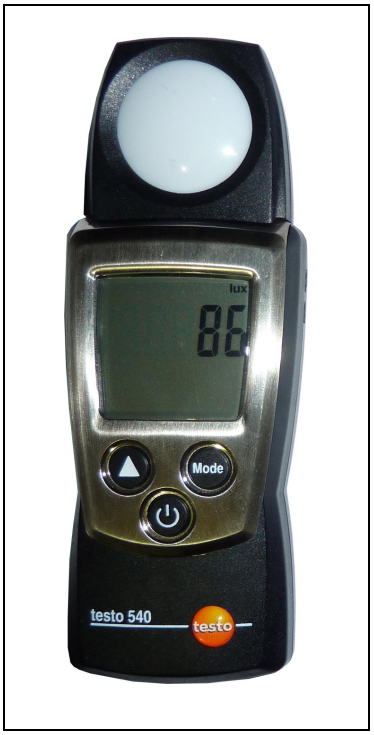


Şekil 4.1. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi planı

4.3. Çalışmada Kullanılan Araçlar

4.3.1. Lüksmetre

Çalışmada mevcut sistemdeki aydınlık düzeylerinin saptanması için ISO kalibrasyon sertifikalı Testo / 540 marka / model bir lüksmetreden yararlanılmıştır (Resim 4.1).



Resim 4.1. ISO kalibrasyon sertifikalı ışık ölçer Testo/540

4.3.2. Kullanılan bilgisayar programları

Yüksek lisans çalışması kapsamında mevcut durum değerlendirildikten sonra, öneri aydınlatma sistemlerinin etkisini belirlemek amacıyla yapılan simülasyon çalışmaları için mekana ait tüm veriler bilgisayara girilmiş ve hesaplamalar yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan bilgisayar programları şunlardır:

Kullanılan üç boyutlu modelleme ve aydınlatma analizi programları için plan ile kesitlerin bilgisayar ortamına geçirilebilmesi için Autocad 2010 adlı programdan yararlanılmıştır (30 günlük trial versiyonundan yararlanılmıştır).

Autodesk 3ds Max Design 2010 Üç boyutlu animasyonlar için üretilmiş bu program içerisinde aydınlatma analizi olanağı veren gerçek fotometrik lambaların kullanımı ve IES verilerine göre tespit edilmiş gerçek gün ışığı ve gökyüzü kullanımına olanak tanınmıştır. Doğal ya da yapay olarak aydınlatılması düşünülen elemanlar gerçek boyutları ile program içerisinde veya diğer üç boyutlu modelleme programları yardımıyla modellenir. IES güneşi ve IES gökyüzü seçilirse, yılın istenen gün ve saati için belirlenen coğrafi bölgeye göre program otomatik olarak 0-120 000 lüks arası bir gün ışığı değeri verir, gök koşulları seçilir (kapalı, parçalı bulutlu, açık) ve radiosity yöntemi ile aydınlık düzeyi ve parıltı hesaplamaları yapılır. Radiosity yönteminde modellenmiş nesne yüzeyleri üzerindeki direkt ve dolaylı ışık düzeyi hesaplanarak (yansımış ışık da hesaba katılır) sonuçlar görsel ve rakamsal olarak değerlendirilebilir [49]. Program yardımıyla gerçekçi malzeme atamak, fotogerçekçi render almanın yanı sıra, hareketli simülasyon yapmak ve pseudo ve griton renk skalasına göre aydınlık düzeyi değerlendirmesi yapmak mümkündür. Aydınlatma değerlendirmesinde kullanılacak yüzeylerin ve malzemelerin ışık yansıtma, geçirme ve yutma özelliği malzeme editöründen kesin olarak girilebilmektedir. Işık analiz panelinden istenen seçim noktasındaki aydınlık düzeyi ve parıltı okunabilir (30 günlük trial versiyonundan yararlanılmıştır).

Photoshop CS4 her türlü dijital fotoğraf formatını destekleyen ve işleyebilen bir programdır (30 günlük trial versiyonundan yararlanılmıştır).

4.4. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi' nin Aydınlatma Planlamasının Değerlendirilmesi

"Atrium" bölümünde binayı çatıda çepeçevre dolaşan cam bir tonozdan içeri alınan doğal ışık hakimdir. Bunun dışında, yan duvarlarda kolonlar arasında pencereler bulunmaktadır. Tonoz açıklığı içeriye çok yüksek düzeyde ışık alınmasına neden olduğundan, mekan sıcaklığının özellikle yaz aylarında arttığı görülmüştür. Doğal ışığın etkisini azaltmak için TOBB ETÜ yönetimi, tavana fileler gererek özellikle güneşli günlerde doğal ışığın etkisini kesmek istemiştir. Doğal ışığın bu yöntemle kesilmesi yüzünden zaman zaman yetersiz kalan aydınlık düzeyi, tepede oluşturulmuş ızgaraya ve yan duvarlara yerleştirilen spot lambalarla artırılmaya çalışılmaktadır (Resim 4.2). Yapay aydınlatmayı sağlayan spotlar, tavanda oluşturulan metal ızgaraya, yaklaşık 450 cm aralıkla iki kolon aksında bir spot şekilde sıra sıra yerleştirilmiştir. "Arasta" bölümünde doğal aydınlatmadan gerektiği oranda yararlanmak yerine, ilk maliyet, bakım onarım ve işletim gideri daha fazla olan yapay aydınlatmayı kullanma yoluna gitmek ekonomik olmamaktadır. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi haftanın 7 günü açıktır.



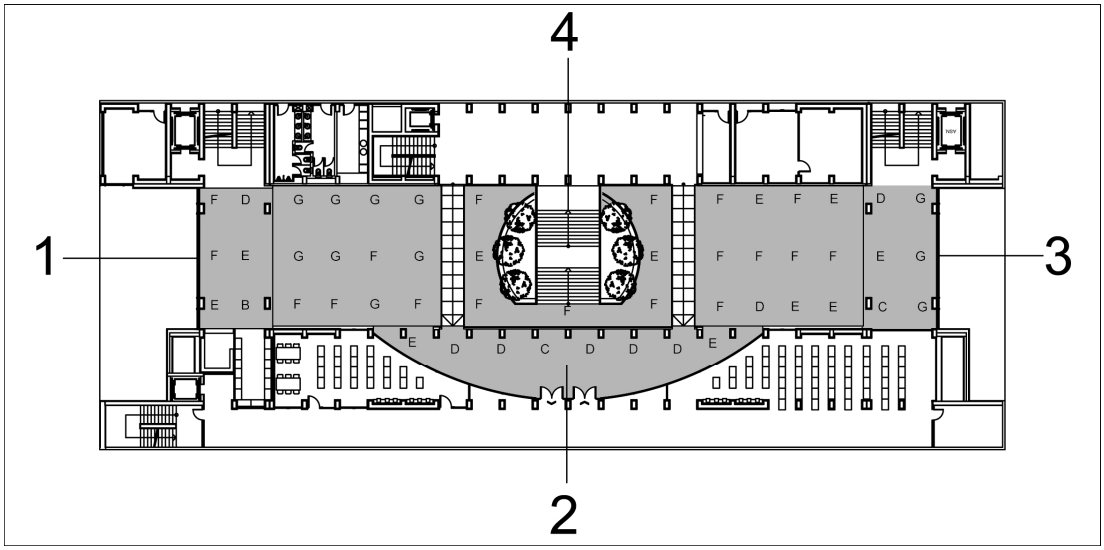
Resim 4.2. Çatı ışıklığının file ile kapatılması ve yapay aydınlatma aygıtları

4.4.1. Yerinde yapılan ölçümler

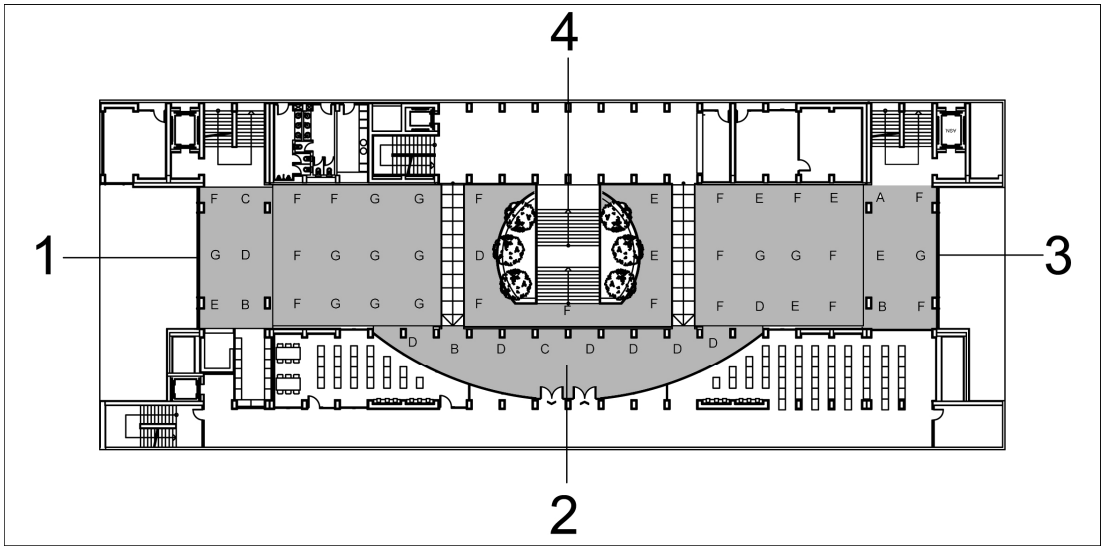
Bilgisayar programları ile yapılacak olan simülasyonlar ile karşılaştırmak üzere mevcut doğal aydınlık düzeylerinin saptanması için gündüz yerinde aydınlık düzeyi ölçümleri alınmıştır, ancak ölçüm değerleri alınırken tavandaki filelerin sökülmesi mümkün olamadığından fileli halindeki ölçümler değerlendirmeye alınmıştır. Ölçüm TOBB ETÜ' nin "Arasta" bölümü x ve y düzleminde çalışma düzlemi olarak 30cm yükseklik alınarak, yaklaşık 300 cm' lik ızgaralardaki ölçülen değerler not edilmiştir.

Doğal aydınlatma ölçümü yapmak için mekanda bulunan tüm yapay aydınlatma aygıtları söndürülmüştür. Ölçüm, 9 Kasım günü öğlen saatlerinde yapılmıştır (Şekil 4.2). Ölçümün yapıldığı zaman diliminde gökyüzü parçalı bulutludur. Ölçüm boyunca üniversite dışında bahçede engellenmemiş gün ışığı 49 000 - 90 000 lüks arası değişim göstermiştir. Bu durum içeriye giren gün ışığı miktarını etkilediği için

ölçüm değişkendir. Parçalı bulutlu gökyüzü koşullarında günışığı faktörü kullanılamadığından, mekana ilişkin aydınlık düzeyi oranlarını ifade etmek üzere günışığı oranı adı verilen yeni bir bağıntı kullanılmıştır. İçeride ölçülen aydınlık düzeyinin her türlü hava koşulunda dışarıdaki yatayda ölçülen engellenmemiş günışığı aydınlık düzeyine oranına "Günışığı Oranı" (Daylight Ratio - DR) adı verilmiştir. Mevcut doğal aydınlatma düzeni, mekanda bazı bölümlerde aşırı aydınlanmaya ve ısı kazancına neden olurken bazı bölümlerde ise tek başına yeterli değildir. Doğal aydınlatma ile ilgili eğitim yapısında yapılacak yeni çatı formu düzenlemeleri "Atrium" un standartlara uygun, daha düzgün ve daha ekonomik olarak aydınlatılıp aydınlatılamayacağını gösterecektir. Bunun için bir dizi çalışma yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.2. 9 Kasım günü 12:00' de bulutlu gökyüzü için mevcut çatı ışıklığından ve pencerelerden giren toplam doğal ışık miktarının yerinde yapılan ölçümleri.



Şekil 4.3. 9 Kasım günü 12:00’ de bulutlu gökyüzü için mevcut çatı ışıklığından ve pencerelerden giren toplam doğal ışık miktarının simülasyon ölçümleri.

Yerinde yapılan ölçümlerle, bilgisayar ortamında yapılan simülasyon ölçümleri karşılaştırıldığında ki sonuç Çizelge 4.1’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1. 9 Kasım günü için mevcut ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın simülasyon sonucuna göre uygunluğu

Çatı Işıklık Tipi	Gün	Gökyüzü Koşulları	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan (D-E)	Yetersiz (A-B-C)	Fazla (F-G-H)	Uygun Olmayan	D.A.U* (%)
Mevcut	9 Kasım	Gerçek Bulutlu	12:00	1	18	3	1	14	16	17
				2	8	7	1	0	1	88
				3	18	7	1	10	11	39
				4	7	2	0	5	3	29
		TOPLAM			53	19	3	29	31	43
		Simülasyon Bulutlu	12:00	1	18	2	1	15	16	11
				2	8	6	2	0	2	75
				3	18	5	2	11	13	28
				4	7	3	0	4	4	43
		TOPLAM			53	16	5	30	35	39

* Doğal aydınlatmanın standartlara uygun düzeyde olduğu ölçüm noktalar

4.5. Simülasyon Yöntemi

Tezin bu bölümünde TOBB ETÜ' nin Arasta bölümünde kullanılan tonoz biçimli çatı formu doğal aydınlatma açısından incelenmiş, bilgisayar ortamında modellenerek Arasta bölümünde uygulanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Değerlendirilen bulgular sonucunda Arasta bölümünün doğal aydınlatmadan en uygun biçimde yararlanabilmesine yönelik yeni çatı önerisi sunulmuştur. Yapılan çalışmalar başlık olarak şu şekildedir:

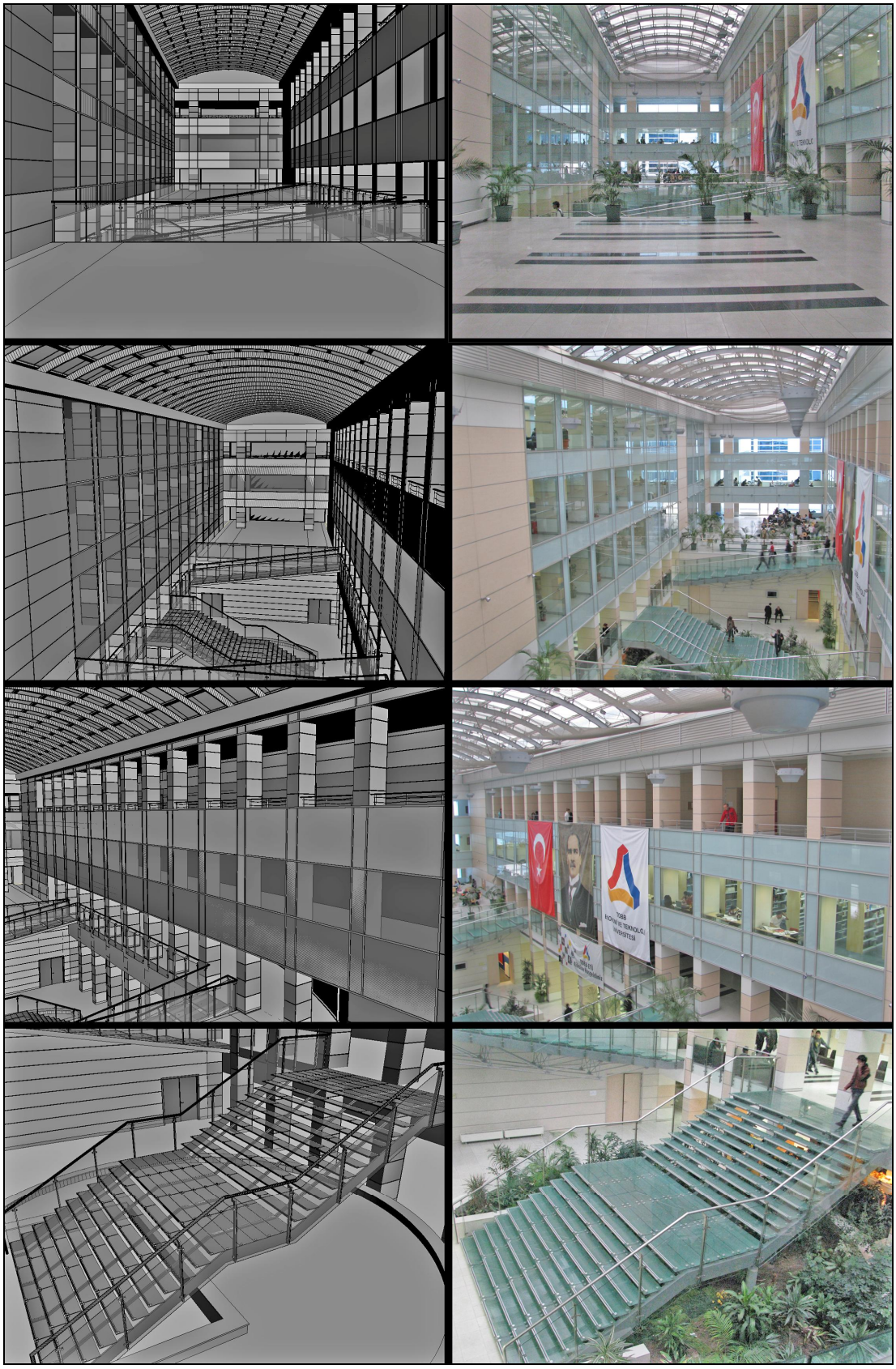
- Mevcut uygulamaya ilişkin simülasyonlar
- Tek katmanlı çatı ışıklık formlarının analizi
- Çift katmanlı çatı ışıklık formlarının analizi
- Öneri sistemin analizi

4.5.1. Verilerin elde edilmesi, plan ve kesitlerin hazırlanması

Üniversiteye ilişkin plan ve kesitlerin dijital ortama aktarılabilmesi için A Tasarım, Mimarlık Uygulama, Danışmanlık İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti.' den Yüksek Mimar Ali Osman Öztürk' ten Autocad projeleri alınarak Arasta' nın plan ve kesitleri yeniden çizilmiştir. Üniversite' nin iç mekan ölçüleri yerinde ölçülerek planlara ve kesitlere işlenmiştir.

4.5.2. Üniversitenin üç boyutlu olarak modellenmesi ve simülasyon yöntemi

Autocad ile çizilmiş olan plan ve kesitler 3dstudio Max programına aktarıldıktan sonra "Arasta" bölümü üç boyutlu olarak modellenmiştir (Resim 4.3).

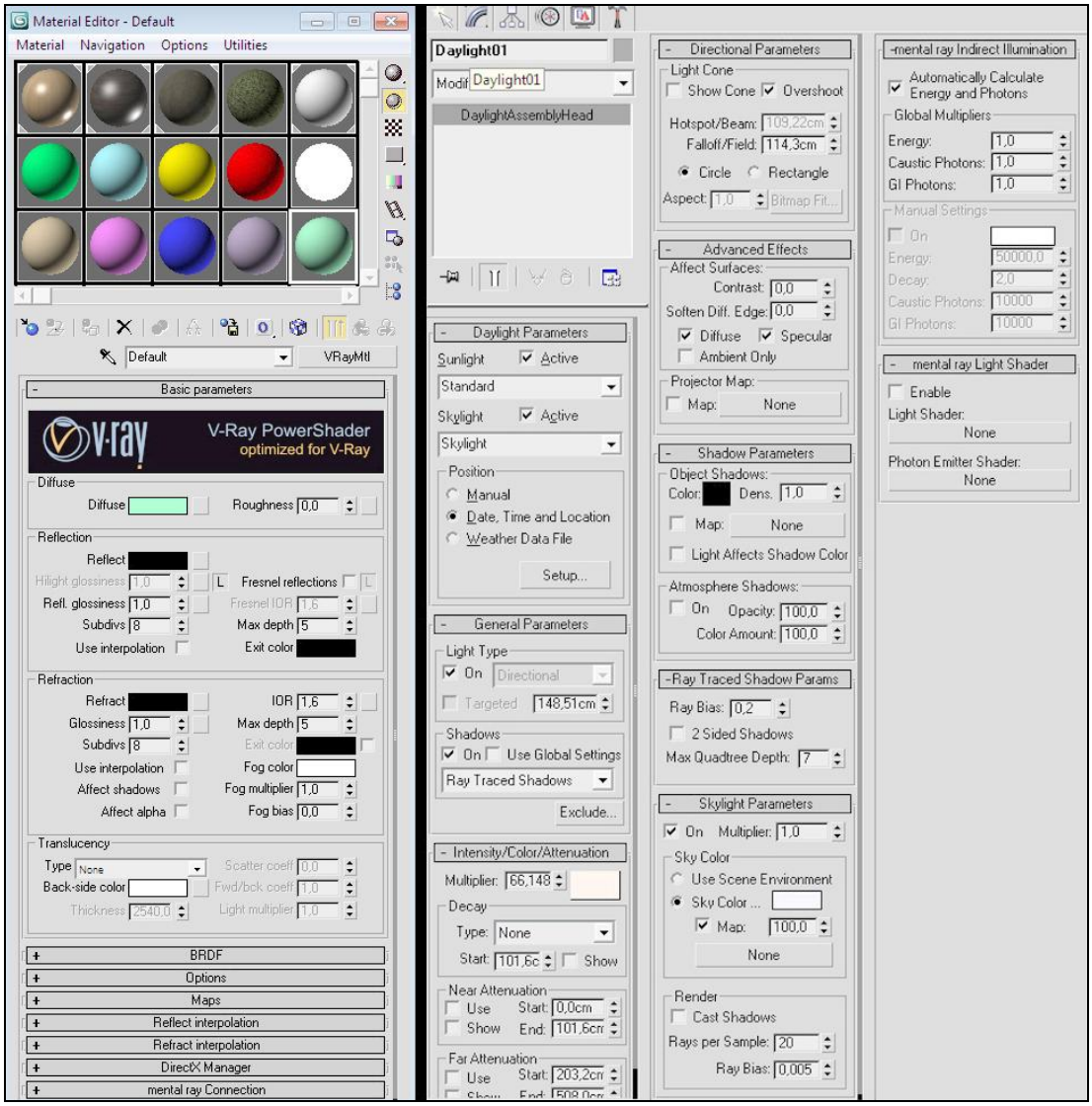


Resim 4.3. Üç boyutlu olarak modellenen üniversiteden iç görünüşler



Resim 4.3. (Devam) Üç boyutlu olarak modellenen üniversiteden iç görünüşler

Modellenen yüzeylere ilişkin malzeme ve tekstür özellikleri, dijital fotoğraf makinesinden elde edilen görünüşlerden yola çıkarak ve malzemelerin doğal özellikleri göz önünde bulundurularak girilmiştir. Dijital fotoğraflar Photoshop programına aktarılarak yüzeylerin birkaç açıdan çekilmiş farklı fotoğrafları üzerinden (RGB) renk değerlerinin ortalaması alınmış, yüzey rengi olarak bu ortalama değer verilmiş ve malzeme tipine göre yüzey yansıtma katsayısı yaklaşık olarak seçilerek malzeme editörüne girilmiştir (Şekil 4.2). Yer döşemesi, ahşap duvar kaplamaları gibi yüzeyler için malzeme editörünün resim kanalına (diffuse channel) gerçek fotoğraflar atanmıştır.



Şekil 4.4. 3dsmax malzeme editörü ve gün ışığı sistemi menüsü

Taş duvar, sıva+boya, tuğla duvar, mermer, cam, ahşap gibi malzeme özellikleri girildikten sonra gün ışığı hesabı yapılmak istenen gün, saat ve Ankara için koordinatlar programa girilmiş ve sahne içerisinde ışık ölçümü alınması istenen yüzeye light meter (ışık ölçer) yerleştirilmiştir. Program açık ve bulutlu gök koşulları için gün ışığı miktarını otomatik olarak IES verilerine dayanarak vermektedir [50].

4.5.3. Modelin gerçeğe yakınlığının değerlendirilmesi

Günümüzde kullanılan aydınlık analizi simülasyon programlarının sonuçları yerinde alınan ölçümlerle tutmamaktadır. Üniversitenin üç boyutlu olarak modellenmesi başlığında anlatılan malzeme atama yöntemi ile kuşkusuz yüzeye ilişkin yüzde yüz doğru malzeme, tekstür ve ışık yansıtma katsayısı bilgisini girmek mümkün olamaz. Ancak, yapılacak simülasyon çalışmalarında model yüzeyleri ve özelliklerinde herhangi bir değişiklik olmayacağı ve sadece ışıklık formlarında değişiklikler yapılacağı için söz konusu değerlerde yaklaşık %80 oranında gerçekliğin yeterli olabileceği düşünülmüştür. Daha önceki benzer çalışmalarda, mekanda aydınlık ölçerile yerinde aydınlık düzeyleri ölçülmüş ve mekandaki yapay ışık kaynaklarına ilişkin gerçek fotometrik değerlerin programa girilmesinin sonrasında yapılan simülasyonda, belirtilen yöntem ile verilen malzeme bilgilerindeki hata payının %10' u geçmediği saptanmıştır [51].

Dünyanın hiçbir bölgesinde herhangi bir günde gün ışığına ait verileri kesin olarak bilmenin olanağı yoktur. Yılın bir günü tamamen açık olan gökyüzü, takip eden yılın aynı gününde bulutlu olabilmektedir. Hatta aynı gün içerisinde gün ışığı sürekli farklılık göstermektedir. Dolayısıyla, yapılan hesaplarda genellikle görülen, gökyüzünün tamamen bulutlu olma durumunun (cloudy) esas alınması ve simülasyonun uygulanmasıdır. Bazı simülasyon çalışmalarında ise hem bulutlu gökyüzü hem de tamamen açık gökyüzü koşulları değerlendirilmiştir. Bulutlu gökyüzü koşulları (partly cloudy) ile sınırlı alışılagelmiş gün ışığı simülasyon araçlarının önüne geçmek mümkündür ve gereklidir [52]. Bu yüksek lisans çalışmasında yöntem olarak, her simülasyon için gökyüzünün tamamen bulutlu (cloudy) veya tamamen açık olduğu (clear) iki ayrı çeşitleme uygulanmıştır. Sonuçlar bu iki çeşitlemeye göre değerlendirilmiştir. Gelecekte ihtiyaç duyulursa, ara değerler için gökyüzündeki bulut oranı göz önüne alındıktan sonra korelasyon yapılabilir. Program tarafından IES verilerine göre yılın gününe ve coğrafi bölgeye göre otomatik olarak atanan gün ışığı miktarı da kuşkusuz %100 gerçekçi olmayabilir.

Modelin gerçeğe yakınlığını etkileyen iç mekansal faktörler de bulunmaktadır. Üniversitenin yerinde ölçüm yapıldığı zaman bile, aynı noktaya ilişkin aydınlık düzeyi sürekli değişim göstermektedir. Üniversitede gezen insanların oluşturduğu gölgeler, parlak yüzeylerden yansıyan ışık da değişkenliğin farklı nedenleridir.

4.6. Mevcut Tasarımın Simülasyonu (A)

4.6.1. Simülasyon (A-1) – yan pencerelerden alınan doğal ışığın etkisi

"Arasta" bölümünde yan duvarlarda pencereler bulunmaktadır. Duvardaki pencerelerin tüm mekan aydınlatmasına etkisinin incelenebilmesi için bilgisayarda sadece bu pencerelerden içeri giren ışık hesaplanmıştır. Bu hesap için tepe ışıklıkları tamamen yok sayılmış ve binanın üzeri tonoz yerine düz, duvarlarla aynı renk boyalı malzemeye ve ışık yansıtma katsayısına sahip asma bir tavanla kapatılmıştır.

Yan pencerelerin etkisini saptamak amacıyla yapılan simülasyon için Haziran ayının 21' inci günü bulutsuz gök seçilmiştir. Bunun nedeni, 21 Haziranın yıl içinde aydınlık düzeyinin en yüksek olduğu yaz günlerinden biri ve gün dönümü oluşudur. Bu dönem için yapılan simülasyon sonucuna göre gerekirse diğer aylar için de hesap yapılması tasarlanmıştır. 09:00, 12:00 ve 15:00 saatleri için yapılan hesaplar değerlendirilmiştir.

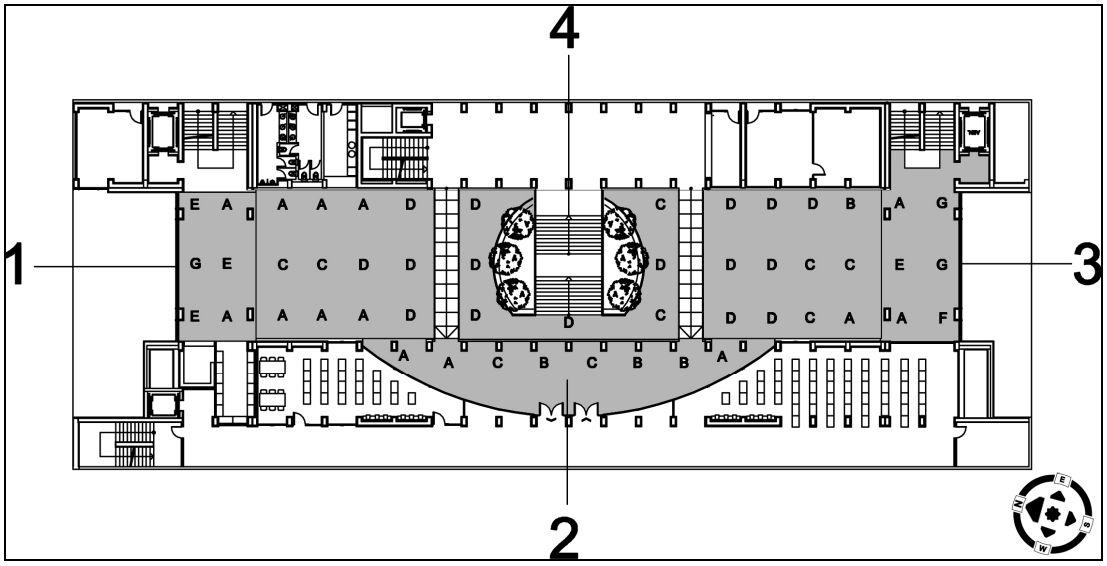
Hesaplama sonuçlarına göre üniversitenin "Arasta" bölümünde oluşan aydınlık düzeyleri plan üzerine işlenmiştir (Şekil 4.3). Planda her bir koridora bir rakam verilmiştir. Aydınlık düzeyi aralıklarının daha duyarlı olarak verilebilmesi için bazı değişiklikler yapılmıştır. Aralıklar Çizelge 4.1' de görülebilir. Bu çizelge bundan sonraki tüm simülasyonlar için de geçerlidir.

Çizelge 4.2. Simülasyon değerlendirmelerinde kullanılan aydınlık düzeyi aralıkları.

A	0-30 lüks	E	300-500 lüks
B	30-50 lüks	F	500-1000 lüks
C	50-100 lüks	G	1000-5000 lüks
D	100-300 lüks	H	+5000 lüks

Bu aralıklar göz önünde bulundurulduğunda D ve E kategorileri uygun aydınlık düzeylerini kapsayan aralıklardır. Dolayısıyla ölçüm yapılan alanda aydınlık düzeylerinin standartlara uyum sağlaması için, tüm simülasyonlarda ölçüm alınan noktaların 100-500 lüks (D ve E) aralığında aydınlık düzeyine ulaşılması amaçlanmıştır.

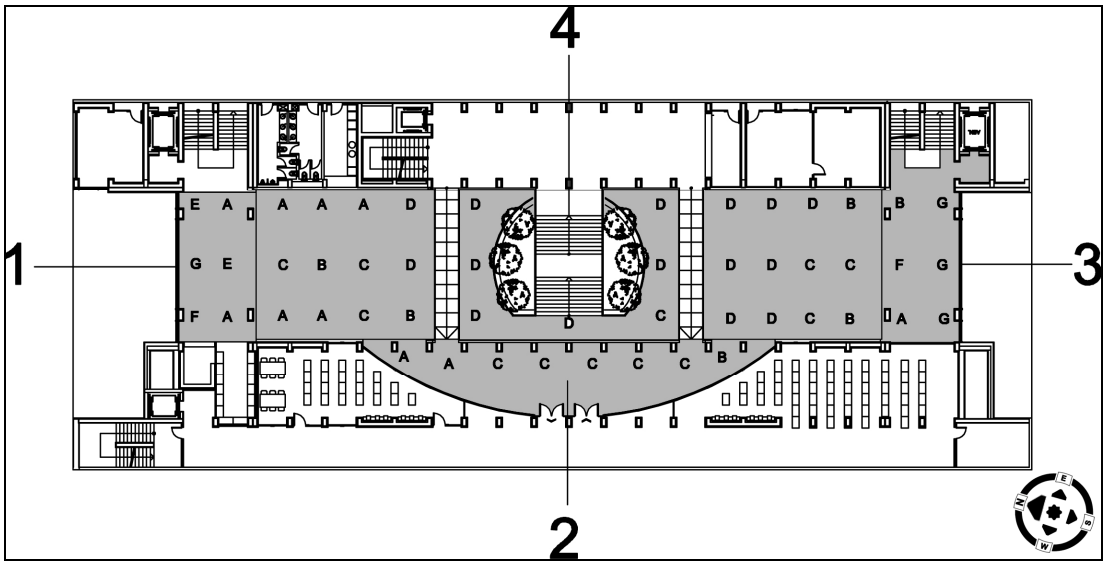
21 Haziran' da yan pencerelerden alınan doğal ışığın etkisi: 21 Haziran' da saat 09:00' da, güneş ışınları, 1 ve 3 numaralı, kısmen de üst kat pencerelerinden 4 numaralı alana vurmaktadır. 1 numaralı alanda, dış duvarlarda pencereler olduğu için bu bölgelerde 300-500 lüks arası yeterli bir doğal aydınlık düzeyi oluşmaktadır. 3 numaralı alanda ise pencereler güneşin doğduğu yönde olduğu için bu bölgelerde 1000-5000 lüks arası gerektiğinden fazla bir doğal aydınlık düzeyi oluşmaktadır. 2 numaralı alanda herhangi bir pencere bulunmadığı için buradaki aydınlık düzeyi 0-50 lüks arası son derece yetersizdir. Duvar diplerinde ve pencerelere uzak kalan bölgelerde ise aydınlık düzeyi yetersizdir (Şekil 4.3).



Şekil 4.5. 21 Haziran günü 09:00' da yan pencerelerden alınan doğal ışık miktarı

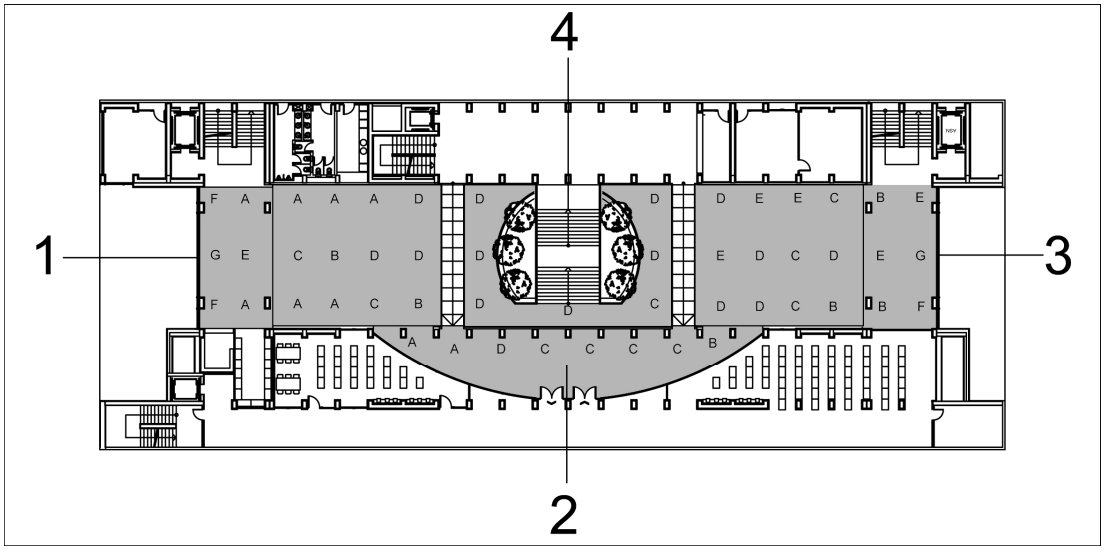
12:00' da güneş, güneyden, yataya daha dik açıda ve daha fazla ışık gönderir. 3 numaralı alana düşen doğal aydınlık düzeyi bu saatlerde bir nebze azalmıştır. 1 numaralı alan ise güneşin parlaklığını artması sonucunda burada da özellikle pencere

yakınındaki bölgelerde 500-1000 lüks arası değerler ölçülmüştür. Ortalardaki kısımlarda aydınlık düzeyi artışları saptanmıştır. Duvar diplerinde ve pencerelere uzak kalan bölgeler ise aydınlık düzeyi yine yetersizdir (Şekil 4.4).



Şekil 4.6. 21 Haziran günü 12:00’ da yan pencerelerden alınan doğal ışık miktarı

Öğleden sonra 15:00’ da güneşin batıya doğru yönelerek açılması sonucu özellikle 1 numaralı alanda pencereye yakın bölgelerde 500-1000 lükse varan oldukça yüksek aydınlık düzeyleri hesaplanırken, iç kısımlardaki ölçüm noktalarında 100-300 lüks arası düzeyler görülmektedir. Bu alanlarda güneş daha iç kısımlara etki etmektedir. Ancak pencereye bakmayan yüzeyler çoğunlukla 0-50 lüks arası değerlere sahiptir. 2 numaralı alanın penceresi olmadığı için yine gün ışığından tamamen yoksundur. (Şekil 4.5). Direkt güneş ışığı etkisini artırdığı için özellikle 1 numaralı ölçüm alanlarında gölgeler daha keskinleşmiştir.



Şekil 4.7. 21 Haziran günü 15:00’ da yan pencerelerden alınan doğal ışık miktarı

Yan pencerelerden 1, 2, 3 ve 4 numaralı alanlara gelen doğal aydınlatma değerlendirildiğinde birtakım olumsuzluklar göze çarpmaktadır. Eğer “Arasta”, üzeri kapatılıp sadece yan pencerelerden doğal ışık verilerek aydınlatılırsa, hiç penceresi olmayan 2 ve 4 numaralı alan dışında kalan 1 ve 2 numaralı alanlarda pencereye bakan kısımlarında günün büyük bölümünde yeterli aydınlık düzeyi oluşacak, ancak iç kısımlara doğru ilerledikçe yüzeye düşen ışık miktarı gittikçe azalmaktadır.Sadece yan pencerelerden aydınlatılan Arasta büyük bölümü ihtiyaç duyulanın çok altında 0-30 lüks arasında aydınlık düzeyleri oluşması nedeniyle işlevi gerçekleştiremez. Mekanlar bazı noktalarda yürümeyi zorlaştıracak kadar loştur. Aydınlatmada düzgünlük sağlanamaz. Bu olumsuzlukları tavana yerleştirilecek yapay aydınlatma aygıtları ile bir ölçüde çözmek mümkündür; ancak bu çözüm ekonomik olmayacak. Amaç üniversitenin mümkün olduğunca doğal ışık ile aydınlatılmasıdır; o halde yan pencerelerin tek başına kullanılması yeterli değildir. Çalışma A-1 ile ilgili olarak hazırlanan uygunluk değerlendirme tablosu Çizelge 4.2’ de görülmektedir.

Çizelge 4.3. Yan pencerelerden giren doğal ışığın uygunluğu

Çatı Işıklık tipi	Gün	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan	Az	Fazla	Uygun Olmayan	Uygunluk (%)
Yan Pencere	21 Haziran	9:00	1	18	7	10	1	11	39
			2	8	0	8	0	7	0
			3	18	8	8	2	10	44
			4	7	5	2	0	2	71
		12:00	1	18	4	12	2	6	22
			2	8	0	8	0	8	0
			3	18	7	7	4	11	39
			4	7	6	1	0	1	85
		15:00	1	18	4	11	3	14	22
			2	8	1	7	0	7	12
			3	18	10	6	2	8	55
			4	7	6	1	0	1	85

4.6.2. Simülasyon (A-2) – yan pencerelerden ve mevcut tonozdan alınan toplam doğal ışığın etkisi

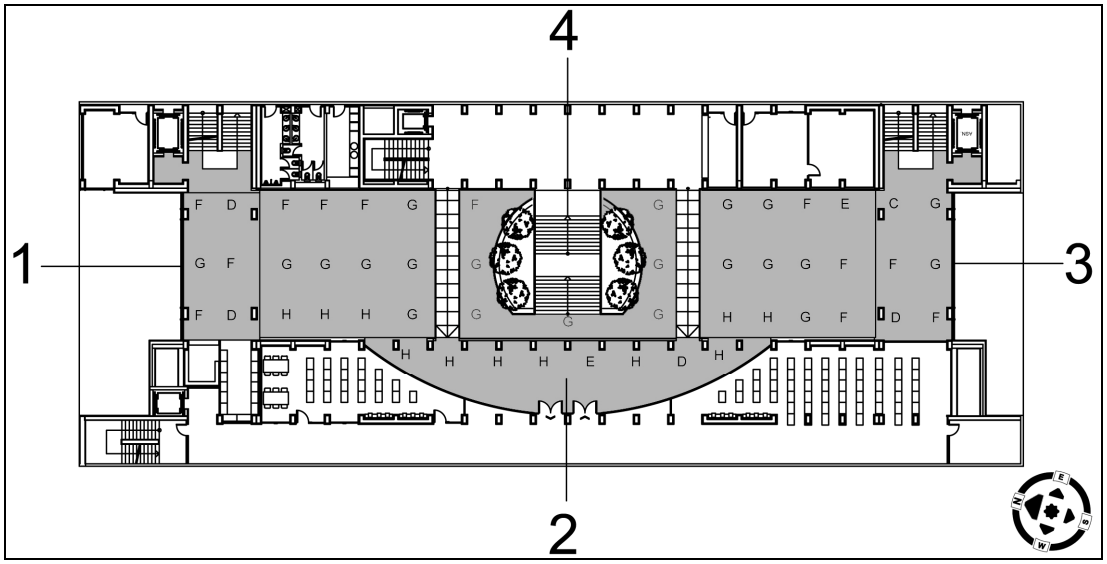
Yapının “Arasta” bölümü cam tonozlar ile aydınlanmaktadır. Tavandaki fileler gereğinden fazla aydınlanmayı engellemek için sonradan konulmuştur (Resim 4.4). Bu fileler ışığı bir oranda kesmekte ancak yine de yerinde yapılan doğal aydınlık düzeyi ölçümlerinde saptanan, ihtiyacın oldukça üzerinde oluşan aydınlık düzeylerini ve ısı kazancını engelleyememektedir. Haziran ayının 21’ inde öğlen saatlerinde yapılan ölçümde dolaşım alanlarının büyük bölümünde aydınlık düzeyi 1000 lüksün üzerinde ölçülmüştür (Çizelge 4.3).



Resim 4.4. Tavandaki fileler

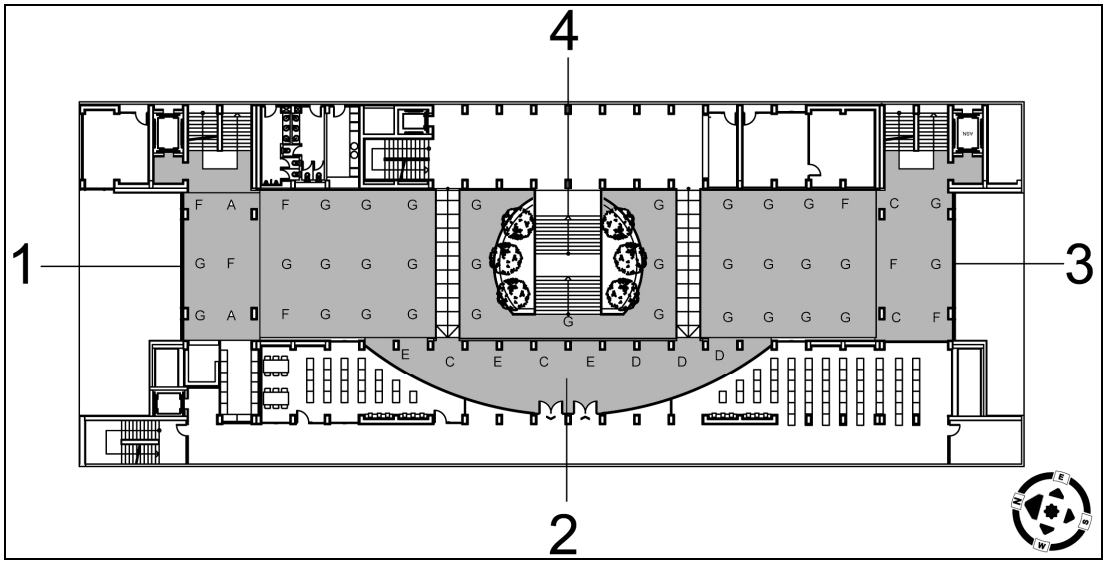
File olmaksızın yapının doğal formunu aydınlık düzeyi açısından değerlendirmek için ışıklık ve yan pencerelerin beraberce kullanıldığı form modellenmiş ve test edilmiştir. Coğrafi ve iklimsel durumuna göre Türkiye, dört derece gün bölgesine ayrıldığında, Ankara ili, üçüncü derece gün bölgesinde yer almaktadır. Bu yüzden yapılarda enerji korunumu açısından kullanılacak pencereler çift camlı veya çift camlı Low-e kaplamalı olmalı ve pencerenin (U) değeri 2,6W/m2K' dan düşük olmalıdır [52]. Buna göre üniversitenin çatısında bulunan tonozda kullanmak için, bu şartları sağlayan ve ülkemizde üretilen cam tiplerinin gün ışığı geçirme katsayısı %59 ile %73 arasında değişmektedir [53]. Yapılan simülasyonda kullanılan ışıklık camı için bu değerlerin ortalaması alınarak, gün ışığı geçirme katsayısı %66 olarak kabul edilmiştir.

21 Haziran 09:00 açık gök koşullarında yan pencerelerden ve mevcut tonozdan alınan toplam doğal ışığın etkisi: Yaz aylarında mevcut çatı ışıklığının dolaşım alanlarına etkisini incelemek üzere yapılan simülasyon, açık gök koşullarında, 21 haziran günü saat 09:00 için Şekil 4.6' daki sonucu vermiştir. Bu sonuca göre, güneş tam tepede olmamasına karşın, dolaşım alanlarında ölçülen aydınlık düzeyleri çoğu kez 1000 lüksün üzerindedir. Güneş ışığının tonozdan geçip direkt olarak etkilediği yüzeylerde bu değer 5000 lüksün üzerine çıkmaktadır. Zeminde direkt gün ışığına maruz kalan bölümlerde 5000 lüksün üzerinde (bazı noktalarda 9800 lükse kadar) aydınlık düzeyi ölçülmüştür (Şekil 4.6). Bu değerler kuşkusuz iç mekanda kullanıma uygun değerler değildir ve önlem almayı gerektirmektedir.



Şekil 4.8. 21 Haziran günü 09:00' da açık gökyüzü için mevcut çatı ışıklığı ve pencerelerden giren toplam doğal ışık miktarı

21 Haziran 09:00 bulutlu gökyüzü koşullarında yan pencerelerden ve mevcut tonozdan alınan toplam doğal ışığın etkisi: Yaz aylarında mevcut çatı ışıklığının ölçüm alanlarına etkisini incelemek üzere yapılan simülasyon, kapalı gök koşullarında, 21 haziran günü saat 09:00 için Şekil 4.7' deki sonucu vermiştir. Kapalı gök koşullarında bile bu çatı formunda konforsuzluk ve yüksek aydınlık düzeyi oluşmaktadır.



Şekil 4.9. 21 Haziran günü 09:00’ da bulutlu gökyüzü için mevcut çatı ışıklığından ve pencerelerden giren toplam doğal ışık miktarı

Çizelge 4.3’ de görülebileceği gibi, herhangi bir gölgeleme elemanı kullanmadan, mevcut çatı ışıklığından doğal ışık alınırsa, içeride ihtiyacın çok üzerinde aydınlık düzeyi oluşmaktadır. Ölçümler diğer aylar için de sonucun benzer olacağını göstermektedir. Doğal ışıktan yararlanmak üzere çok daha farklı bir çatı ışıklık formu tasarlanmalıdır. Pencere alanı azaltılarak doğal ışığı istenilen oranda tutmak mümkündür. Bu yapılırsa mekandaki soğutma yükü de hissedilir biçimde azalacaktır [54].

Çizelge 4.4. Mevcut çatı ışıklığından ve yan pencerelerden giren doğal ışığın uygunluğu

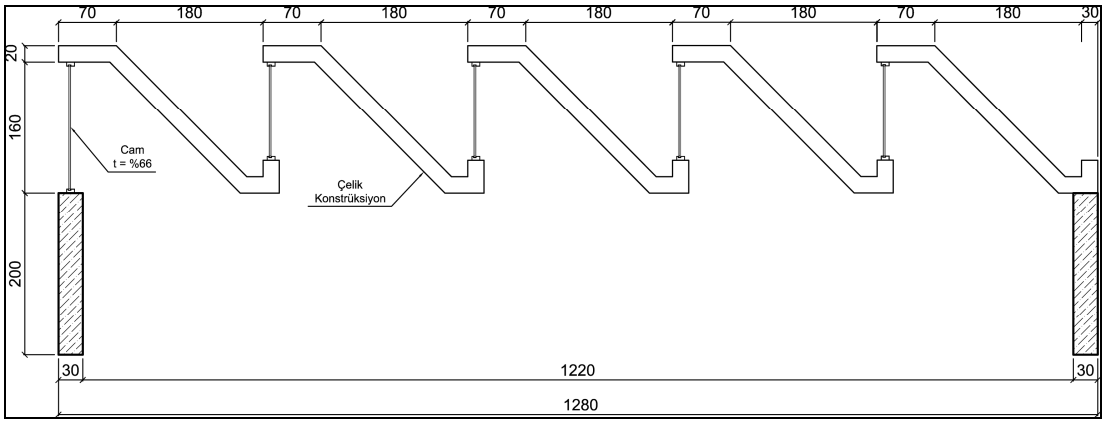
Çatı Işıklık tipi	Gün	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan	Az	Fazla	Uygun Olmayan	Uygunluk (%)
Tonoz (Açık Gökyüzü)	21 Haziran	9:00	1	18	2	0	16	16	11
			2	8	2	0	6	6	25
			3	18	2	1	15	16	11
			4	7	0	0	7	7	0
Tonoz (Kapalı Gökyüzü)			1	18	0	2	16	18	0
			2	8	6	2	0	2	75
			3	18	0	2	16	18	0
			4	7	0	0	7	7	0

4.7. Tek Katmanlı Çatı Işıklık Formlarının Analizi (B)

Tek katmanlı çatı sistemleri, iç mekan ile dış mekan arasında tek bir ayırıcı katmana sahip çatı sistemleridir. Doğal ışık şeffaf ya da yarı şeffaf malzemeler kullanılarak içeriye alınır. Cam, phlexiglass, polikarbonat en sıklıkla kullanılan malzemelerdir. Almanya' da bulunan Wallraf Richardz Müzesi, Portekiz' de, Lisbon' daki Modern Sanat Merkezi ve Fransa' da bulunan Grenoble Müzesi bu tip çatı ışıklık formları ile aydınlatılan yapı örnekleridir [55].

4.7.1. Simülasyon (B-1)– tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklığının doğal aydınlatmaya olan etkisi

"Arasta" da yapılan simülasyonlar arasında incelenen tek katmanlı tek yönlü çatı sistemi için, Grenoble Müzesi' nde 20.yy tablolarının sergilendiği salonun ışıklık kesiti örnek alınmış ve TOBB ETÜ' ne uyarlanmıştır (Şekil 4.8). Yan pencereler aynı mevcut durumda olduğu gibi bırakılmıştır. Işıklık, camlardan içeri gün ışığını güneydoğu ve güneybatıdan alacak biçimde üç boyutlu modele yerleştirilmiştir.



Şekil 4.10. Tek katmanlı tek yönlü ışıklık kesiti

Uygulanan sistem, mevcut kirişlerin üzerinde kalan tonoz kaldırılarak, yerine üzeri çelik konstrüksiyonla örtülmüş, çift katmanlı, hava boşluklu, %66 ışık geçirme katsayısına sahip camlarla tek bir yönden ışık alan, su geçirimsizliği için üzeri metal levha örtü ile kaplanmış; altı, duvarlarda kullanılan beyaz renkli boya ile boyalı asma

tavan ile kapatılmış bir çatı konstrüksiyonudur. Çatı suyu, yatayda alın duvarına kadar taşınıp, buradan oluklara aktarılmaktadır. Örnek çatı formunun, Mart, Haziran, Eylül ve Aralık aylarının 21’ nci günleri için simülasyonu yapılmış ve ulaşılan sonuçlar değerlendirilmiştir.

21 Mart gününde tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklığının doğal aydınlatmaya etkisi: Söz konusu çatı ışıklık tipi için yapılan simülasyon sonucunda Mart’ ın 21’ inci gününde açık gökyüzü koşullarında alanlar üzerine düşen doğal ışık oranı analiz edildiğinde; saat 09:00 ’ da 4, numaralı alan dışındaki tüm alanlarda ihtiyaç duyulanın üzerinde aydınlık düzeyleri ölçülmüştür (100-500 lüks). Saat 12:00 ve 15:00’ da 4 numaralı alanda ihtiyaç duyulan aydınlık düzeyleri ölçülürken 1, 2, ve 3, numaralı alanlarda ihtiyaç duyulanın altında aydınlık düzeyleri ölçülmüştür (0-100 lüks). Bulutlu gökyüzü koşullarında ise gün boyunca 4 numaralı alanda genel olarak 100- 500 lüks arası yeterli aydınlık düzeyleri oluştuğu gözlenirken, diğer alanlarında yetersiz düzeyler oluşmaktadır. Doğal ışık uygunluk tablosu Çizelge 4.4’ den takip edilebilir.

Çizelge 4.5. 21 Mart günü için tek katmanlı tek yönlü ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu

Çatı Işıklık Tipi	Gün	Gökyüzü Koşulları	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan (D-E)	Yetersiz (A-B-C)	Fazla (F-G-H)	Uygun Olmayan	D.A.U* (%)
Tek Katmanlı Tek Yönlü	21 Mart	Açık	09:00	1	18	6	1	11	12	33
				2	8	4	4	0	4	50
				3	18	7	4	7	11	39
				4	7	7	0	0	0	100
			12:00	1	18	9	7	2	9	50
				2	8	3	5	0	5	37
				3	18	10	3	5	8	55
				4	7	6	1	0	1	85
			15:00	1	18	10	6	2	8	55
				2	8	6	2	0	2	75
				3	18	9	5	4	9	50
				4	7	7	0	0	7	100
		Bulutlu	09:00	1	18	4	11	3	14	22
				2	8	0	8	0	8	0
				3	18	10	5	3	8	55
				4	7	6	1	0	1	85
			12:00	1	18	6	8	4	12	33
				2	8	0	8	0	8	0
				3	18	11	4	3	7	61
				4	7	7	0	0	0	100
			15:00	1	18	4	11	3	14	22
				2	8	0	8	0	8	0
				3	18	10	5	3	8	55
				4	7	5	2	0	2	71

* Doğal aydınlatmanın standartlara uygun düzeyde olduğu ölçüm noktalar

Çizelge' de genel olarak %80' in üzerindeki uygunluk oranları gri renk ile ifade dilmiştir. Bu ve bundan sonraki simülasyon uygunluk çizelgelerinde görülen D.A.U(%); yalnızca doğal ışığın alanlar üzerinde oluşturduğu aydınlık düzeyinin uygunluğu (D ve E aralığı) kabul edilmiştir. Buna göre çatı sistemi 21 Mart' da bulutlu ve açık bir günde ekonomik yapay aydınlatma uygunluğunu tüm alanlar için sağlamıştır.

Çizelge 4.6. 21 Haziran günü için tek katmanlı tek yönlü ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu

Çatı Işıklık Tipi	Gün	Gökyüzü Koşulları	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan (D-E)	Yetersiz (A-B-C)	Fazla (F-G-H)	Uygun Olmayan	D.A.U* (%)
Tek Katmanlı Tek Yönlü	21 Haz.	Açık	09:00	1	18	7	3	8	11	39
				2	8	3	5	0	5	37
				3	18	5	4	9	13	27
				4	7	4	0	3	3	57
			12:00	1	18	8	8	2	10	44
				2	8	3	5	0	5	37
				3	18	10	4	4	8	55
				4	7	7	0	0	0	100
			15:00	1	18	7	3	8	11	39
				2	8	6	2	0	2	75
				3	18	13	2	3	5	73
				4	7	7	0	0	0	100
		Bulutlu	09:00	1	18	6	9	3	12	33
				2	8	0	8	0	8	0
				3	18	11	4	3	7	61
				4	7	7	0	0	0	100
			12:00	1	18	7	8	3	11	39
				2	8	2	6	0	6	25
				3	18	8	4	6	10	44
				4	7	7	0	0	0	100
			15:00	1	18	6	9	3	12	33
				2	8	0	8	0	8	0
				3	18	10	5	3	8	55
				4	7	7	0	0	0	100

* Doğal aydınlatmanın standartlara uygun düzeyde olduğu ölçüm noktalar

21 Haziran gününde tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklığının doğal aydınlatmaya etkisi: Uygunluk tablosu Çizelge 4.5' den takip edilebilecek olan simülasyonda, açık gökyüzü koşullarında içeri giren doğal ışığın mevsimsel yoğunluğuna ve açısına bağlı olarak 1, 3, 4 numaralı alanlar genellikle 500-1000 lüks arası bir aydınlık düzeyine sahiptir. Özellikle 1 ve 3 numaralı alanlarda pencere kenarlarında oluşan aydınlık düzeyi 1000-5000 lüks arasıdır. Bu dönemde aşırı ısı kazancını engellemek için gölgeleme elemanlarının kullanılmasında yarar vardır [56].

Bulutlu gökyüzü koşullarında iç mekanda genellikle oluşan aydınlık düzeyleri yeterlidir. Yalnızca 2 numaralı alanda sabah ve öğleden sonraki saatlerde bazı noktalarda 100 lüks aydınlık düzeyinin altında olduğu gözlenmiştir. Ancak bu dönemde gökyüzünün tamamen bulutlarla kaplı olma ihtimali zayıf olduğundan değerlendirme açık gökyüzü değerlerine göre yapılmalıdır.

Çizelge 4.7. 21 Eylül günü için tek katmanlı tek yönlü ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu

Çatı Işıklık Tipi	Gün	Gökyüzü Koşulları	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan (D-E)	Yetersiz (A-B-C)	Fazla (F-G-H)	Uygun Olmayan	D.A.U* (%)
Tek Katmanlı Tek Yönlü	21 Eylül	Açık	09:00	1	18	9	1	8	9	50
				2	8	3	2	3	5	37
				3	18	9	4	5	9	50
				4	7	6	0	1	1	85
			12:00	1	18	11	5	2	7	61
				2	8	4	4	0	4	50
				3	18	10	4	4	8	55
				4	7	6	1	0	1	85
			15:00	1	18	10	6	2	8	55
				2	8	6	2	0	2	75
				3	18	9	5	4	9	50
				4	7	7	0	0	0	100
		Bulutlu	09:00	1	18	5	10	3	13	27
				2	8	0	8	0	8	0
				3	18	10	5	3	8	55
				4	7	6	1	0	1	85
			12:00	1	18	5	9	4	13	27
				2	8	0	8	0	8	0
				3	18	11	4	3	7	61
				4	7	7	0	0	0	100
			15:00	1	18	5	11	2	13	27
				2	8	0	8	0	8	0
				3	18	10	5	3	8	55
				4	7	3	4	0	4	42

* Doğal aydınlatmanın standartlara uygun düzeyde olduğu ölçüm noktalar

<u>21 Eylül gününde tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklığının doğal aydınlatmaya etkisi:</u> Uygunluk çizelgesinde (Çizelge 4.6) görüleceği gibi bu dönemde açık gökyüzü koşulları oluştuğu zaman sabah saatlerinde 1 ve 2 numaralı alanlarda ihtiyacın üzerinde 1000 lüks üzeri doğal ışık tespit edilmiştir. Bulutlu gökyüzü koşullarında ise sabah ve öğle saatlerinde uygun aydınlık düzeyleri sağlanırken, saat 15:00’ dan itibaren ölçülen aydınlık düzeyi yetersizdir ve yapay aygıtlarla desteklenmelidir.

Çizelge 4.8. 21 Aralık günü için tek katmanlı tek yönlü ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu

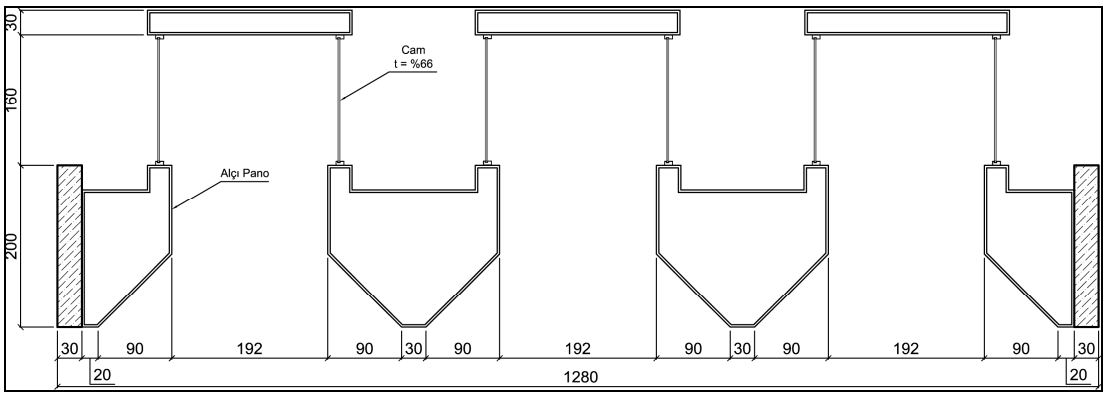
Çatı Işıklık Tipi	Gün	Gökyüzü Koşulları	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan (D-E)	Yetersiz (A-B-C)	Fazla (F-G-H)	Uygun Olmayan	D.A.U* (%)
Tek Katmanlı Tek Yönlü	21 Aralık	Açık	09:00	1	18	13	1	4	5	72
				2	8	1	6	1	7	12
				3	18	7	3	8	11	39
				4	7	6	1	0	1	85
			12:00	1	18	10	6	2	8	55
				2	8	3	5	0	5	16
				3	18	9	2	7	9	50
				4	7	6	1	0	1	85
			15:00	1	18	9	8	1	9	50
				2	8	4	4	0	4	50
				3	18	11	4	3	7	61
				4	7	6	1	0	1	85
		Bulutlu	09:00	1	18	4	13	1	14	22
				2	8	0	8	0	8	0
				3	18	8	9	1	10	44
				4	7	0	7	0	7	0
			12:00	1	18	6	10	2	12	33
				2	8	0	8	0	8	0
				3	18	9	6	3	9	50
				4	7	3	4	0	4	42
			15:00	1	18	3	14	1	15	16
				2	8	0	8	0	8	0
				3	18	5	12	1	13	27
				4	7	0	7	0	7	0

* Doğal aydınlatmanın standartlara uygun düzeyde olduğu ölçüm noktalar

21 Aralık gününde tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklığının doğal aydınlatmaya etkisi: Kış aylarında tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklığı kullanımında, açık gök koşullarında genellikle Arasta içinde uygun aydınlık düzeyleri oluşmuştur. Fakat kış aylarındaki açık gökyüzü imkanlarının kısıtlılığı göz önünde bulundurulmalı. Bulutlu günlerde ise doğal aydınlatma iç mekanda 100 lüksün altında değerler oluşturduğundan tek başına yeterli olmamaktadır. Uygun koşulları sağlamak üzere kullanılan yapay aydınlatma gereçleri ekonomik elektrik harcamasının üzerinde harcama yapacaktır (Çizelge 4.7).İlgili simülasyon sonucu ulaşılan aydınlık düzeyleri ölçüm şemaları EK-2' de görülebilir.

4.7.2. Simülasyon (B-2) – tek katmanlı çift yönlü çatı ışıklığının doğal aydınlatmaya olan etkisi

İncelenen tek katmanlı çift yönlü çatı sistemi için, Grenoble Müzesi' nde 18.yy eserlerinin sergilendiği salonun ışıklık kesiti örnek alınmış ve TOBB ETÜ' ne uyarlanmıştır (Şekil 4.9). Yan pencereler aynı mevcut durumda olduğu gibi bırakılmıştır.



Şekil 4.11. Tek katmanlı çift yönlü ışıklık kesiti

Işıklık, camlardan içeri gün ışığını kuzeydoğu, kuzeybatı, güneydoğu ve güneybatıdan alacak biçimde üç boyutlu modele yerleştirilmiştir. Uygulanan sistem, kirişlerin üzerinde kalan tonoz kaldırılarak, yerine üzeri çelik konstrüksiyonla geçilmiş, çift katmanlı, hava boşluklu, %66 ışık geçirme katsayısına sahip camlarla iki yönden ışık alan, su geçirimsizliği için üzeri, metal levha örtü ile kaplanmış; altı, duvarlarda kullanılan beyaz renkli boya ile boyalı asma tavan ile kapatılmış bir çatı konstrüksiyonudur. Çatı suyu yine bir önceki örnekte olduğu gibi yatayda kubbelerin bulunduğu alın duvarına kadar taşınıp, buradan çörtenlere aktarılmaktadır.

Çizelge 4.9. 21 Mart günü için tek katmanlı çift yönlü ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu

Çatı Işıklık Tipi	Gün	Gökyüzü Koşulları	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan (D-E)	Yetersiz (A-B-C)	Fazla (F-G-H)	Uygun Olmayan	D.A.U* (%)
Tek Katmanlı Çift Yönlü	21 Mart	Açık	09:00	1	18	8	1	9	10	44
				2	8	4	4	0	4	50
				3	18	11	1	6	7	61
				4	7	7	0	0	0	100
			12:00	1	18	14	2	2	4	77
				2	8	4	4	0	4	50
				3	18	11	1	6	7	61
				4	7	7	0	0	0	100
			15:00	1	18	9	1	8	9	50
				2	8	8	0	0	0	100
				3	18	3	2	13	15	16
				4	7	4	0	3	3	57
		Bulutlu	09:00	1	18	8	8	2	10	44
				2	8	0	8	0	8	0
				3	18	9	6	3	9	50
				4	7	6	1	0	1	85
			12:00	1	18	8	3	7	10	44
				2	8	1	7	0	7	12
				3	18	11	3	4	7	61
				4	7	7	0	0	0	100
			15:00	1	18	8	3	7	10	44
				2	8	2	6	0	6	25
				3	18	9	3	6	9	50
				4	7	6	1	0	1	85

* Doğal aydınlatmanın standartlara uygun düzeyde olduğu ölçüm noktalar

21 Mart gününde tek katmanlı çift yönlü çatı ışıklığının doğal aydınlatmaya etkisi: Örnek ışıklık tipi için yapılan simülasyonda 21 Mart tarihinde açık gökyüzü koşullarında genel olarak ihtiyacın üzerinde, bulutlu gök koşullarında genel olarak gün boyunca yetersiz 100 lüksten az, doğal aydınlık düzeyi saptanmıştır (Çizelge 4.8).

Açık günlerde sabah ve öğlen saatlerinde 3 numaralı alanın pencere kenarlarında, 35000 lüks değeri ölçülmüştür. Bulutlu günlerde ise yalnızca 2 numaralı alanın dışında uygun düzeyler ölçülmüştür. Sabah saatlerinde 3 numaralı alan güneş ışığını tam anlamıyla direkt olarak almaktadır.

Çizelge 4.10. 21 Haziran günü için tek katmanlı çift yönlü ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu

Çatı Işıklık Tipi	Gün	Gökyüzü Koşulları	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan (D-E)	Yetersiz (A-B-C)	Fazla (F-G-H)	Uygun Olmayan	D.A.U* (%)
Tek Katmanlı Çift Yönlü	21 Haz.	Açık	09:00	1	18	8	1	9	10	44
				2	8	1	0	8	8	12
				3	18	8	3	7	10	44
				4	7	6	0	1	1	85
			12:00	1	18	9	7	2	9	50
				2	8	4	4	0	4	50
				3	18	10	5	3	8	55
				4	7	7	0	0	0	100
			15:00	1	18	9	1	8	9	50
				2	8	7	1	0	1	87
				3	18	3	2	13	15	16
				4	7	6	1	0	1	85
		Bulutlu	09:00	1	18	8	7	3	10	44
				2	8	2	6	0	6	25
				3	18	11	3	4	7	61
				4	7	7	0	0	0	100
			12:00	1	18	7	7	4	11	39
				2	8	3	5	0	5	37
				3	18	9	2	7	9	50
				4	7	7	0	0	0	7
			15:00	1	18	8	7	3	10	44
				2	8	2	6	0	6	25
				3	18	11	3	4	7	61
				4	7	7	0	0	0	100

* Doğal aydınlatmanın standartlara uygun düzeyde olduğu ölçüm noktalar

21 Haziran gününde tek katmanlı çift yönlü çatı ışıklığının doğal aydınlatmaya etkisi: uygunluk çizelgesinde görüleceği gibi (Çizelge 4.9) 21 Haziran günü tek katmanlı çift yönlü ışıklık için yapılan simülasyonda güneşli bir günde ölçüm alanında ihtiyacın üzerinde (500-5000 lüks) aydınlık düzeyleri oluşmaktadır.

Çizelge 4.11. 21 Eylül günü için tek katmanlı çift yönlü ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu

Çatı Işıklık Tipi	Gün	Gökyüzü Koşulları	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan (D-E)	Yetersiz (A-B-C)	Fazla (F-G-H)	Uygun Olmayan	D.A.U* (%)
Tek Katmanlı Çift Yönlü	21 Eylül	Açık	09:00	1	18	11	1	6	7	61
				2	8	5	3	0	3	62
				3	18	9	3	6	9	50
				4	7	5	0	2	2	71
			12:00	1	18	14	2	2	4	77
				2	8	4	4	0	4	50
				3	18	10	3	5	8	55
				4	7	5	0	2	2	71
			15:00	1	18	10	1	7	8	55
				2	8	8	0	0	0	100
				3	18	6	2	10	12	33
				4	7	6	0	1	1	85
		Bulutlu	09:00	1	18	8	4	6	10	44
				2	8	2	6	0	6	25
				3	18	9	6	3	9	50
				4	7	7	0	0	0	100
			12:00	1	18	8	7	3	10	44
				2	8	2	6	0	6	25
				3	18	11	4	3	7	61
				4	7	7	0	0	0	100
			15:00	1	18	9	7	2	11	50
				2	8	2	6	0	6	25
				3	18	9	6	3	9	50
				4	7	6	1	0	1	85

* Doğal aydınlatmanın standartlara uygun düzeyde olduğu ölçüm noktalar

<u>21 Eylül gününde tek katmanlı çift yönlü çatı ışıklığının doğal aydınlatmaya etkisi:</u> Bu tarihte güneşli gökyüzü ortamında 9:00’ da 1 numaralı alanın batı yönündeki duvarda ölçülen değerler güneşin direk çarpmasından ötürü yüksektir (10000 lüks). Öğle saatlerinde 4 numaralı alanını etkileyen direkt güneş ışığı dikkate değer oranda rahatsız edicidir (Çizelge 4.10).

3 numaralı ölçüm alanında diğerlerine göre daha uygun aydınlık düzeyleri gözlenmektedir. Bulutlu gök koşullarında ise tam tersi olarak 12:00’ da 1, 3 ve 4 numaralı alanlarda istenilen düzeyde (yaklaşık 300 lüks dolayı) aydınlık oluşmakta, fakat 2 numaralı alanda ise çoğunlukla doğal aydınlatma tek başına yetersiz kalmaktadır (100 lüksün altında).

Çizelge 4.12. 21 Aralık günü için tek katmanlı çift yönlü ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu

Çatı Işıklık Tipi	Gün	Gökyüzü Koşulları	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan (D-E)	Yetersiz (A-B-C)	Fazla (F-G-H)	Uygun Olmayan	D.A.U* (%)
Tek Katmanlı Çift Yönlü	21 Aralık	Açık	09:00	1	18	15	2	1	3	83
				2	8	3	4	1	5	37
				3	18	8	3	7	10	44
				4	7	6	1	0	1	85
			12:00	1	18	11	1	6	7	61
				2	8	5	3	0	3	62
				3	18	8	3	7	10	44
				4	7	6	0	1	1	85
			15:00	1	18	12	5	1	6	66
				2	8	7	1	0	1	87
				3	18	12	3	3	6	66
				4	7	7	0	0	0	100
		Bulutlu	09:00	1	18	7	10	1	11	39
				2	8	1	7	0	7	12
				3	18	10	7	1	8	55
				4	7	1	6	1	7	14
			12:00	1	18	8	8	2	10	44
				2	8	2	6	0	6	25
				3	18	9	6	3	9	50
				4	7	6	1	0	1	85
			15:00	1	18	5	12	1	13	27
				2	8	0	8	0	8	0
				3	18	6	11	1	12	33
				4	7	0	7	0	7	0

* Doğal aydınlatmanın standartlara uygun düzeyde olduğu ölçüm noktalar

21 Aralık gününde tek katmanlı çift yönlü çatı ışıklığının doğal aydınlatmaya etkisi: Kış aylarında söz konusu çatı formu için güneşli günlerde sabah saatleri pencere kenarları dışında uygun aydınlık düzeyleri (100-500 lüks) göze çarparken, genellikle bu dönemde oluşması beklenen bulutlu hava koşullarında doğal ışıktan hemen hemen hiç yararlanılamadığı gözlenmiştir (100 lüks altında) (Çizelge 4.11).

İlgili simülasyon sonucu ulaşılan aydınlık düzeyleri ölçüm şemaları EK-3' de görülebilir.

4.8. Çift Katmanlı Çatı Işıklık Formlarının Analizi (C)

Çift katmanlı çatı sistemleri, iç mekan ile dış mekan arasında iki yüzeye sahip çatı sistemleridir. Bu iki yüzey genellikle cam, phlexiglass, polikarbonat gibi şeffaf veya yarı şeffaf malzemeler ile giydirilmiş konstrüksiyondan oluşmaktadır. Gün ışığının zararlı etkilerini giderebilmek için bu kabuklar kendi içlerinde çeşitli filtrelere sahip olabilirler.

Çift katmanlı sistemlerde de aynı tek katmanlı sistemlerde olduğu gibi gün ışığının direkt etkisini kesebilmek için güneş kırıcı elemanlar kullanılabilir. İlk katmandan geçen güneş ışığı, bu sayede ikinci katmana daha homojen olarak ulaştırılabilir. Soğuk dönemlerde, iki yüzey arasındaki ayırıcı hava katmanı ısı yalıtımı sağlayan bir bölüm olarak çalıştırılabilir. Sıcak mevsimlerde ise bu bölüm aşırı ısı kazançlarına neden olabileceğinden havalandırılması gereklidir [26].

Fransa, Paris' de bulunan Louvre Müzesi' ne ait "Sept Metres" sergi odası örneğinde, gün ışığından daha uygun biçimde yararlanabilmek için çift katmanlı ışıklık sistemi tasarlanmıştır. Üst kabuk cam, alt kabuk ise cam+polikarbonat katmandan oluşmuştur. Üst katmanda dış hava koşullarının neden olduğu, kirden, tozdan, eskimeden kaynaklı lekeler, alt katman sayesinde içeriden algılanmamaktadır. Her iki katmanın ışık geçirgenliği, içeriye uygun oranda ışığın girebilmesini sağlayacak biçimde ayarlanmıştır. Birinci katman, ışık dağıtıcı filme sahip, 3 mm kalınlığında çift lamine camlı malzemeden oluşurken; altta kalan ikinci katman, 6mm kalınlığında, kumlu cam ve polikarbonat paneldir [56].

Yenilenen çatı ışıklık sisteminde, çatı arasında kullanılan yapay aydınlatma aygıtları ile gün ışığı desteklenmektedir. Yarı şeffaf alt tavanın üzerinde alttan görülmeyecek biçimde fluoresanlar yerleştirilmiştir [56].

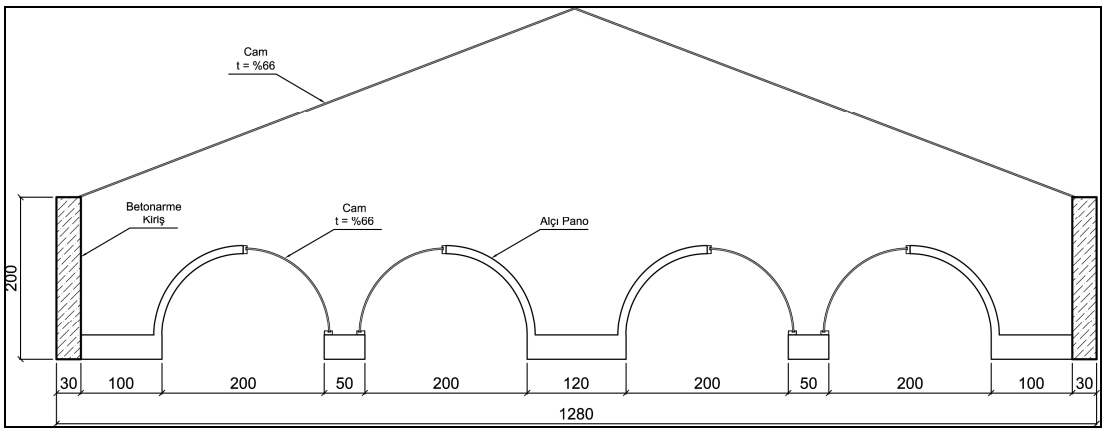
Belçika, Brüksel' de bulunan, günümüzde çizgi romanların sergilendiği bir müze olarak kullanılan "Waucquez Binası" yine çift katmanlı çatı sistemine sahip bir yapıdır. Üstteki katman ışık geçirgenliği %76 olan camlı eğik yüzeyli bir çatı, altta

kalan katman ise ışık geçirgenliği %52 olan yarı şeffaf polikarbonat panellerden oluşan yatay yüzeyli bir katmandır. Işık bu sayede içeriye homojen bir biçimde dağıtılmaktadır. İki katman arasında kalan boşluk havalandırılmasına rağmen yaz aylarında 35 dereceye varan sıcaklık sistemin olumsuzluğudur [55].

1850' li yılların başlarında galeri aydınlatması üzerinde ilk teoriyi geliştiren Cockerell'in teorisi de bir çift katmanlı çatıdır [58]. Cockerell' in "National Gallery" için önerdiği sistemde; çatıdan alınan gün ışığının, iki yöne ayrılarak duvarda sergilenen nesnelerin üzerine mümkün olduğu kadar dike yakın bir açıyla düşürülmesi amaçlanmıştır. Bunun için çatı penceresinin altında ikinci bir yatay kabuk oluşturulmuştur. Bu kabukta oluşturulan, duvar boyunca uzanan tonozlar kısmen, ışığın uygun açıyla mekan içerisine alınmasını sağlayacak biçimde şeffaf bırakılmıştır. Bu şeffaf kısımdan gün ışığı iç mekana alınır.

4.8.1. Simülasyon (C-1) – sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatıların doğal aydınlatmaya olan etkisi

"Arasta" da yapılan simülasyonlarda incelenen sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı sistemi için, Cockerell' in "National Gallery" için önerdiği ışıklık kesiti örnek alınmış ve TOBB ETÜ' sine uyarlanmıştır (Şekil 4.10). Yan pencereler aynı mevcut durumda olduğu gibi bırakılmıştır.



Şekil 4.12. Sabit güneş kırıcıya sahip çift katmanlı çatı kesiti

Bu çatı formunda üstteki katman “Tonoz” örneğindeki gibi ışık geçirgenlik çarpanı %66 olan cam bir beşik çatıdır. Alt katmanın yarısı, şekilde görüldüğü gibi ışık geçirgenliği %66 olan cam malzeme ile şeffaflaştırılmış, gün ışığını kısmen engelleyen iki tonozdan meydana gelmektedir. Bu ışıklık formu, yılın dört mevsimi için sabah, öğle ve akşam saatlerinde analiz edilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

Çizelge 4.13. 21 Mart günü için sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu

Çatı Işıklık Tipi	Gün	Gökyüzü Koşulları	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan (D-E)	Yetersiz (A-B-C)	Fazla (F-G-H)	Uygun Olmayan	D.A.U* (%)
Güneş Kırıcılara Sahip Çift Katmanlı	21 Mart	Açık	09:00	1	18	13	2	3	5	72
				2	8	1	7	0	7	12
				3	18	12	5	1	6	66
				4	7	7	0	0	0	100
			12:00	1	18	7	2	9	11	39
				2	8	4	4	0	4	50
				3	18	10	1	7	8	55
				4	7	7	0	0	0	100
			15:00	1	18	12	2	4	6	66
				2	8	7	1	0	1	87
				3	18	9	2	7	9	50
				4	7	7	0	0	0	100
		Bulutlu	09:00	1	18	13	2	3	5	72
				2	8	1	7	0	7	12
				3	18	12	2	4	6	66
				4	7	7	0	0	0	100
			12:00	1	18	9	2	7	9	50
				2	8	1	7	0	7	12
				3	18	7	2	9	11	39
				4	7	6	1	0	1	85
			15:00	1	18	13	2	3	5	72
				2	8	1	7	0	7	12
				3	18	13	2	3	5	72
				4	7	7	0	0	0	100

* Doğal aydınlatmanın standartlara uygun düzeyde olduğu ölçüm noktalar

21 Mart gününde sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatıların doğal aydınlatmaya etkisi: Sistem güneşi engelleyen elemanlara sahip olmasına rağmen, bu elemanların sabit oluşu, açık gök koşulları için sabah ve öğlen saatlerinde her bir alan için beklenen aydınlık düzeyi oluşmasına neden olmuştur. Öğleden sonra 2 nolu alanında ölçüm değeri beklenen 100-500 lüks arası değerler ölçülse de genel olarak gün boyu 100 lüksün altında aydınlık düzeyleri ölçülmüştür. Bulutlu bir günde ise diğer çatı tiplerine oranla ulaşılan düzeyler 100-500 lüks arasıdır (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.14. 21 Haziran günü için sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu

Çatı Işıklık Tipi	Gün	Gökyüzü Koşulları	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan (D-E)	Yetersiz (A-B-C)	Fazla (F-G-H)	Uygun Olmayan	D.A.U* (%)
Güneş Kırıcılara Sahip Çift Katmanlı	21 Haz.	Açık	09:00	1	18	13	2	3	5	72
				2	8	1	7	0	7	12
				3	18	13	1	4	5	72
				4	7	7	0	0	0	100
			12:00	1	18	7	2	9	1	39
				2	8	3	5	0	5	38
				3	18	8	2	8	10	44
				4	7	3	0	4	1	85
			15:00	1	18	12	2	4	6	66
				2	8	6	2	0	2	75
				3	18	9	0	9	9	50
				4	7	6	1	0	1	85
		Bulutlu	09:00	1	18	9	7	2	9	50
				2	8	1	7	0	7	12
				3	18	7	2	9	11	39
				4	7	6	1	0	1	85
			12:00	1	18	8	2	8	10	44
				2	8	1	7	0	7	12
				3	18	4	2	12	14	22
				4	7	3	4	0	4	42
			15:00	1	18	10	2	6	8	55
				2	8	1	7	0	7	12
				3	18	11	2	5	7	61
				4	7	6	1	0	1	85

* Doğal aydınlatmanın standartlara uygun düzeyde olduğu ölçüm noktalar

21 Haziran gününde sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatıların doğal aydınlatmaya etkisi: Bu dönemde, açık gökyüzü koşullarında, söz konusu çatı ışıklığı, sabah saatlerinde 1, 3 ve 4 nolu alanlara ihtiyacı kadar aydınlık düzeyleri oluşmasına neden olmuştur. Öğle ve öğleden sonra 1, 3 ve 4 nolu alanlarda kısmen ihtiyacın üzerinde aydınlık değerlerine sahip olmaktadır.

Aynı çatı formunda aynı dönemde gökyüzü bulutlu olduğunda ise, bir iki nokta hariç, tüm ölçüm noktalarında son derece uygun aydınlık düzeyleri ölçülmüştür (100-500 lüks arası). Sistem bulutlu gökyüzü ortamında Arasta aydınlatması için standartlara uygun aydınlık düzeyleri oluşturmaktadır (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.15. 21 Eylül günü için sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu

Çatı Işıklık Tipi	Gün	Gökyüzü Koşulları	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan (D-E)	Yetersiz (A-B-C)	Fazla (F-G-H)	Uygun Olmayan	D.A.U* (%)
Güneş Kırıcılara Sahip Çift Katmanlı	21 Eylül	Açık	09:00	1	18	13	2	3	5	72
				2	8	4	2	2	4	50
				3	18	12	2	4	6	66
				4	7	7	0	0	0	100
			12:00	1	18	8	2	8	10	44
				2	8	4	4	0	4	50
				3	18	10	2	6	8	55
				4	7	7	0	0	0	100
			15:00	1	18	13	2	3	5	72
				2	8	7	1	0	1	87
				3	18	9	2	7	9	50
				4	7	6	1	0	1	85
		Bulutlu	09:00	1	18	13	2	3	5	72
				2	8	1	7	0	7	12
				3	18	12	2	4	6	66
				4	7	7	0	0	0	100
			12:00	1	18	9	2	7	9	50
				2	8	1	7	0	7	12
				3	18	7	2	9	11	39
				4	7	6	0	1	1	85
			15:00	1	18	14	2	2	4	78
				2	8	1	7	0	7	12
				3	18	13	2	3	5	72
				4	7	7	0	0	0	100

* Doğal aydınlatmanın standartlara uygun düzeyde olduğu ölçüm noktalar

21 Eylül gününde sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatıların doğal aydınlatmaya etkisi: 21 Eylül ölçümleri açık hava koşullarındaki aydınlık düzeyleri ihtiyaç duyulan düzeydedir (100-500 lüks). Yalnızca 2 numaralı alanında öğleden sonra 15:00 saatlerinde uygun değerlendirmesi yapılabilir (100-500 lüks arası). Bulutlu gökyüzü şartları iç ortam doğal aydınlığı için idealdir (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.16. 21 Aralık günü için sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu

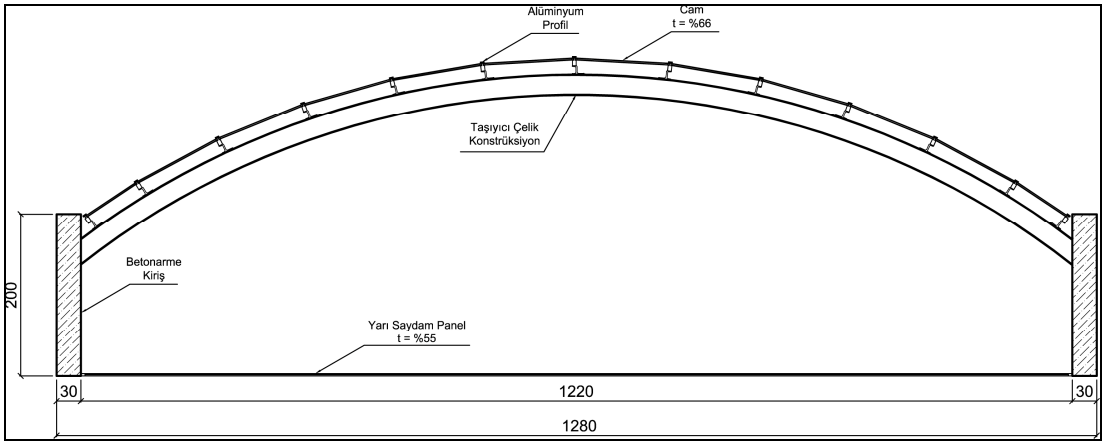
Çatı Işıklık Tipi	Gün	Gökyüzü Koşulları	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan (D-E)	Yetersiz (A-B-C)	Fazla (F-G-H)	Uygun Olmayan	D.A.U* (%)
Güneş Kırıcılara Sahip Çift Katmanlı	21 Aralık	Açık	09:00	1	18	15	0	3	3	83
				2	8	0	7	1	8	0
				3	18	11	2	5	7	61
				4	7	7	0	0	0	100
			12:00	1	18	13	2	3	5	72
				2	8	2	6	0	6	25
				3	18	10	1	7	8	55
				4	7	7	0	0	0	100
			15:00	1	18	14	3	1	4	78
				2	8	6	2	0	2	75
				3	18	13	2	3	5	72
				4	7	7	0	0	0	100
		Bulutlu	09:00	1	18	11	6	1	7	61
				2	8	0	8	0	0	0
				3	18	15	2	1	3	83
				4	7	7	0	0	0	100
			12:00	1	18	14	2	2	4	78
				2	8	0	8	0	8	0
				3	18	13	2	3	5	72
				4	7	7	0	0	0	100
			15:00	1	18	7	10	1	11	39
				2	8	0	8	0	8	0
				3	18	14	3	1	4	78
				4	7	6	1	0	1	85

* Doğal aydınlatmanın standartlara uygun düzeyde olduğu ölçüm noktalar

21 Aralık gününde sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatıların doğal aydınlatmaya etkisi: Söz konusu çatı ışıklığı kış ayları için uygun bulunmamıştır. Diğer mevsimlerden farklı olarak açık gökyüzü koşullarında nispeten daha elverişli sonuçlara ulaşılsa da (100-300 lüks arası) bu dönemde genellikle bulutlu gökyüzü hakimdir ve bu şartlarda aydınlık düzeyleri genellikle yetersizdir (100 lüksün altında). Yapay aydınlatmanın daha fazla kullanılması gerekecektir (Çizelge 4.15). İlgili simülasyon sonucu ulaşılan aydınlık düzeyleri ölçüm şemaları EK-4' de görülebilir.

4.8.2. Simülasyon (C-2) – güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı çatıların doğal aydınlatmaya olan etkisi

"Arasta" da yapılan simülasyonlar arasında incelenen çift katmanlı çatı sistemi için, Waucquez Binası ışıklık kesiti örnek alınmış ve TOBB ETÜ' ne uyarlanmıştır (Şekil 4.11). Yan pencereler aynı mevcut durumda olduğu gibi bırakılmıştır.



Şekil 4.11. Güneş kırıcıya sahip olmayan çift katmanlı çatı kesiti

Ankara iklimi ile Brüksel iklimi karşılaştırıldığında, özellikle yaz aylarında Ankara' da güneş ışığının ve sıcaklığın daha etkili olduğu görülür. Bu yüzden modelde uygulanan sistemde üst katmanın ışık geçirgenliği %66 olarak seçilmiştir. Bu değer; Bölüm 4.5.2' de belirtildiği gibi ülkemizde üretilen cam tiplerinin gün ışığı geçirme katsayısı ortalamasıdır ve yüksek lisans çalışması boyunca kullanılan tüm sistemlere ait cam katmanları için aynı oran kullanılmıştır. Alttaki yarı şeffaf panelli yüzeyin ışık geçirgenlik katsayısı ise yarı transparan cam için ortalama bir değer olan %55' dir [34].

Çizelge 4.17. 21 Mart günü için güneş kırıcıya sahip olmayan çift katmanlı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu

Çatı Işıklık Tipi	Gün	Gökyüzü Koşulları	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan (D-E)	Yetersiz (A-B-C)	Fazla (F-G-H)	Uygun Olmayan	D.A.U* (%)
Güneş Kırıcılara Sahip Olmayan Çift Katmanlı	21 Mart	Açık	09:00	1	18	5	1	12	13	27
				2	8	2	0	6	6	25
				3	18	8	1	9	10	44
				4	7	5	0	2	2	71
			12:00	1	18	0	1	17	18	0
				2	8	7	1	0	1	87
				3	18	5	1	12	13	27
				4	7	4	0	3	3	57
			15:00	1	18	8	1	9	10	44
				2	8	7	1	0	1	87
				3	18	5	1	12	13	27
				4	7	4	0	3	3	57
		Bulutlu	09:00	1	18	6	2	10	12	33
				2	8	5	3	0	3	62
				3	18	5	2	11	13	27
				4	7	5	2	0	2	71
			12:00	1	18	3	2	13	15	16
				2	8	6	2	0	2	75
				3	18	3	2	13	15	16
				4	7	0	0	7	7	0
			15:00	1	18	5	2	11	13	27
				2	8	4	4	0	4	50
				3	18	5	2	11	13	27
				4	7	6	1	0	1	85

* Doğal aydınlatmanın standartlara uygun düzeyde olduğu ölçüm noktalar

21 Mart gününde güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı çatıların doğal aydınlatmaya etkisi: Çizelge 4.16' da görüldüğü gibi güneşli hava koşullarında vitrinler üzerindeki aydınlık düzeyleri genellikle 1000 lüks üzerindedir. Bulutlu havalarda dahi ancak öğleden sonra bazı bölgelerde uygun düzeyler ölçülebilmiştir.

Çizelge 4.18. 21 Haziran günü için güneş kırıcıya sahip olmayan çift katmanlı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu

Çatı Işıklık Tipi	Gün	Gökyüzü Koşulları	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan (D-E)	Yetersiz (A-B-C)	Fazla (F-G-H)	Uygun Olmayan	D.A.U* (%)
Güneş Kırıcılara Sahip Olmayan Çift Katmanlı	21 Haz.	Açık	09:00	1	18	5	0	13	13	27
				2	8	1	0	7	7	12
				3	18	6	1	11	12	33
				4	7	3	0	4	4	42
			12:00	1	18	2	1	15	16	11
				2	8	7	1	0	1	87
				3	18	3	2	13	15	16
				4	7	1	0	6	6	14
			15:00	1	18	7	1	10	11	39
				2	8	7	1	0	1	87
				3	18	5	0	13	13	27
				4	7	2	0	5	5	28
		Bulutlu	09:00	1	18	3	2	13	15	16
				2	8	6	2	0	2	75
				3	18	3	2	13	15	16
				4	7	0	0	7	7	0
			12:00	1	18	1	2	15	17	5
				2	8	7	1	0	1	87
				3	18	0	2	16	18	0
				4	7	0	0	7	7	0
			15:00	1	18	3	2	13	15	16
				2	8	6	2	0	2	75
				3	18	3	2	13	15	16
				4	7	0	0	7	7	0

* Doğal aydınlatmanın standartlara uygun düzeyde olduğu ölçüm noktalar

21 Haziran gününde güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı çatıların doğal aydınlatmaya etkisi: Bu dönemde, hem açık hem de bulutlu gökyüzü koşullarında, çift katmanlı olarak tasarlanan çatı ışıklığı, güneş kırıcılara sahip olmadığında tüm ölçüm alanlarında, ihtiyacın üzerinde aydınlık düzeyleri oluşmasına (500 lüksten fazla) neden olmuştur (Bkz. Çizelge 4.17). Çoğu zaman oluşan 1000 lüksün üzerindeki aydınlık düzeyleri algıyı zorlaştırabilir.

Çizelge 4.19. 21 Eylül günü için güneş kırıcıya sahip olmayan çift katmanlı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu

Çatı Işıklık Tipi	Gün	Gökyüzü Koşulları	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan (D-E)	Yetersiz (A-B-C)	Fazla (F-G-H)	Uygun Olmayan	D.A.U* (%)
Güneş Kırıcılara Sahip Olmayan Çift Katmanlı	21 Eylül	Açık	09:00	1	18	5	1	12	13	27
				2	8	4	0	4	4	50
				3	18	9	1	8	9	50
				4	7	5	2	0	2	71
			12:00	1	18	3	1	14	15	16
				2	8	7	1	0	1	87
				3	18	5	1	12	13	27
				4	7	3	0	4	4	42
			15:00	1	18	11	1	6	7	61
				2	8	7	1	0	1	87
				3	18	5	2	11	13	27
				4	7	4	3	0	3	57
		Bulutlu	09:00	1	18	5	2	11	13	27
				2	8	5	3	0	3	62
				3	18	4	2	12	14	22
				4	7	3	0	4	4	42
			12:00	1	18	3	2	13	15	16
				2	8	6	2	0	2	75
				3	18	3	2	13	15	16
				4	7	0	0	7	7	0
			15:00	1	18	9	2	7	9	50
				2	8	3	5	0	5	37
				3	18	5	2	11	13	27
				4	7	6	0	1	1	85

* Doğal aydınlatmanın standartlara uygun düzeyde olduğu ölçüm noktalar

21 Eylül gününde güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı çatıların doğal aydınlatmaya etkisi: Haziran ayında olduğu gibi Eylül ayı için yapılan simülasyonda da açık gökyüzü şartlarında gün boyu bu çatı ışıklık tipinin içeride çok yüksek aydınlık düzeylerin oluşturduğu oluşmasına (500 lüksten fazla) gözlenmektedir. Sabah saatlerinden başlayarak öğleden sonraya kadar genellikle 1, 3 ve 4 nolu alanlarda 500-5000 lüks arası oluşmasına aydınlık düzeyleri saptanmıştır. Sabah 09:00' da 2 nolu alanda 500-2000 lüks dolayında değerler ölçülmüştür ki bu değerler kabul edilebilir değerlerin üzerindedir. Bulutlu bir günde bile ancak öğleden sonra akşamüstüne doğru oluşan doğal aydınlık düzeyleri verilmiş standartlara uygundur (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.20. 21 Aralık günü için güneş kırıcıya sahip olmayan çift katmanlı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu

Çatı Işıklık Tipi	Gün	Gökyüzü Koşulları	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan (D-E)	Yetersiz (A-B-C)	Fazla (F-G-H)	Uygun Olmayan	D.A.U* (%)
Güneş Kırıcılara Sahip Olmayan Çift Katmanlı	21 Aralık	Açık	09:00	1	18	15	1	2	3	83
				2	8	1	6	1	7	12
				3	18	10	0	8	8	55
				4	7	7	0	0	0	100
			12:00	1	18	6	1	11	12	33
				2	8	5	3	0	3	62
				3	18	8	1	9	10	44
				4	7	5	0	2	2	71
			15:00	1	18	15	2	1	3	83
				2	8	5	3	0	3	62
				3	18	11	2	5	7	61
				4	7	7	0	0	0	100
		Bulutlu	09:00	1	18	15	2	1	3	83
				2	8	0	8	0	8	0
				3	18	15	2	1	3	83
				4	7	7	0	0	0	100
			12:00	1	18	10	2	6	8	55
				2	8	3	5	0	5	37
				3	18	7	2	9	11	39
				4	7	6	0	1	1	85
			15:00	1	18	15	2	1	3	83
				2	8	0	8	0	8	0
				3	18	15	2	1	3	83
				4	7	7	0	0	0	100

* Doğal aydınlatmanın standartlara uygun düzeyde olduğu ölçüm noktalar

21 Aralık gününde güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı çatıların doğal aydınlatmaya etkisi: Kış aylarında güneş ışınlarının geliş açılarının azalması yüzünden diğer mevsimlere göre açık gökyüzü koşullarında bazı alanlarda daha uygun aydınlık düzeyleri (100-500 lüks arası) oluşmaktadır. Gökyüzünün bulutlarla kaplı olması durumunda içeride oluşan aydınlık düzeyleri de tatminkardır (100-500 lüks arası) (Çizelge 4.19). İlgili simülasyon sonucu ulaşılan aydınlık düzeyleri ölçüm şemaları EK-5' de görülebilir.

4.9. Öneri Sistem - Hareketli Güneş Kırıcılara Sahip Çift Katmanlı Çatı Işıklığının Analizi (D)

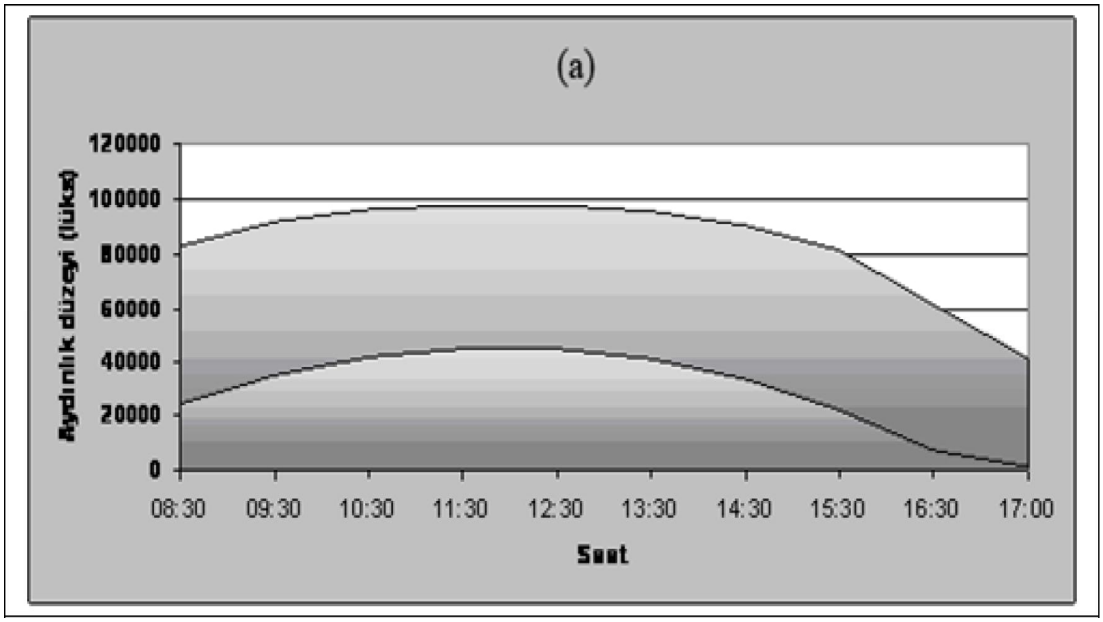
Yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde TOBB Ekonomi ve Teknoloji üniversitesi Arasta bölümü için simüle edilmiş hiçbir çatı ışıklığı tipi doğal aydınlatma açısından yılın her günü ve günün her saati için tamamen uygun sonuç vermemiştir. Üniversite yapısı için tasarlanacak yeni ışıklık tipinin, aydınlatmaya bağlı elektrik giderlerini azaltmak için, iç mekandaki konfor sıcaklığını değiştirmeden doğal aydınlatmadan olabildiğince yararlanacak biçimde kurgulanması gereklidir. Yeni planlama, mevsimlere ve günün saatlerine göre sürekli değişen gök koşullarına otomatik olarak uyum sağlayarak iç ortamda ölçüm alanları için gerekli aydınlık düzeyini arzulanan sınırlar içinde tutmalıdır. Bu şartları sağlamak üzere üniversite binası için yeni bir çatı ışıklık sistemi önerilmiştir.

4.9.1. Öneri çatı sisteminin oluşturulmasındaki yöntem

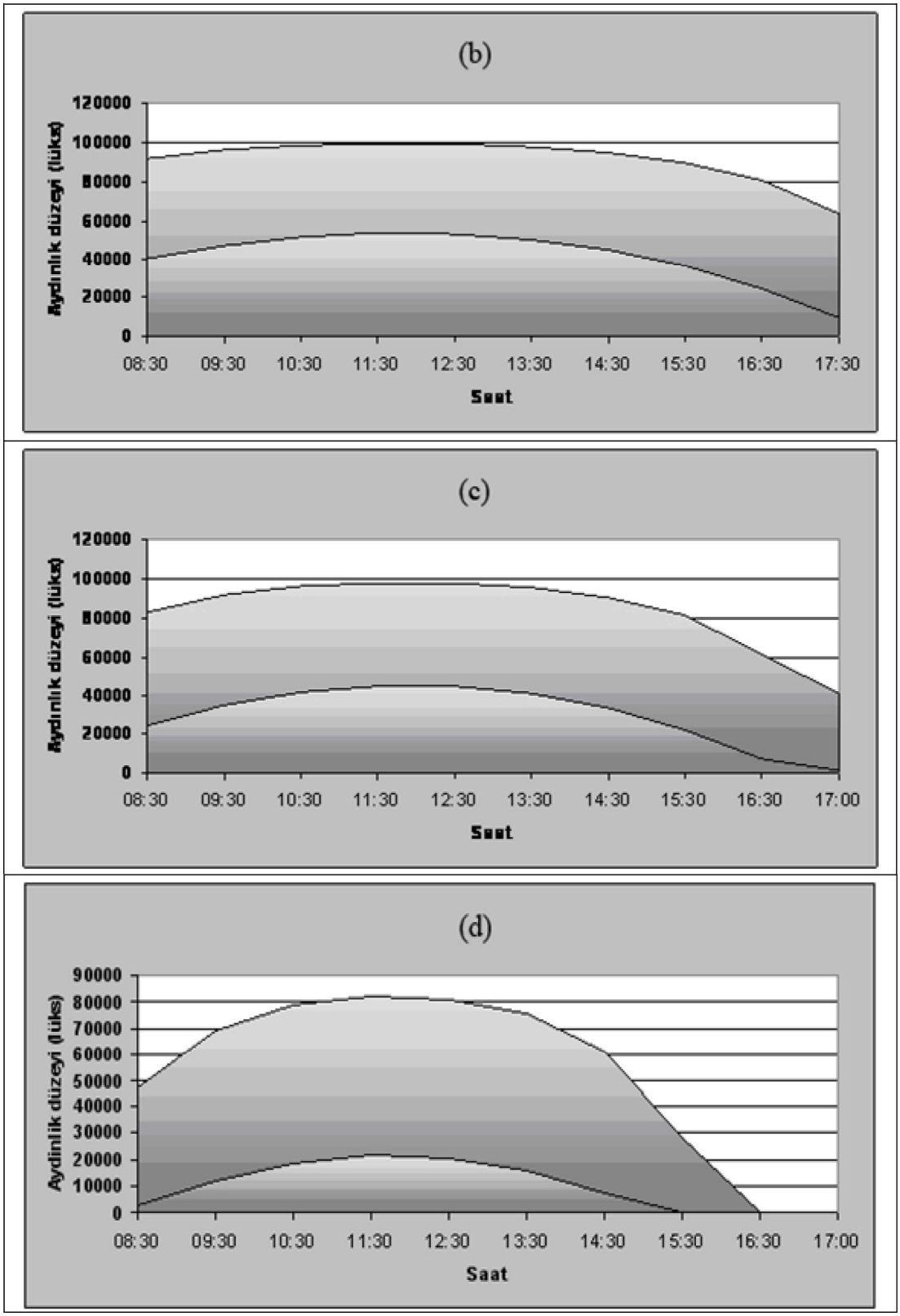
Tepe ışıklığından doğal ışığı en uygun biçimde alabilmek için ilk etapta çözülmesi gereken sorunun güneş ışığını direkt olarak iç mekana alınmaması olduğu önceki analizlerden yola çıkarak gözlenmiştir. Bu sorunu yalnızca cam veya pleksiglass gibi geçirgen veya yarı geçirgen elemanların kalınlıkları, yansıtıcılıkları veya geçirgenlik dirençleri ile çözmek uygun değildir. Çünkü örneğin Haziran ayında öğle saatlerinde oluşan güneş ışığının etkisini azaltmak için kullanılan malzeme özellikleri, kış aylarında iç mekana alınmak istenen ışık düzeyini de etkileyecektir. Kontrol edilebilir geçirgenliğe sahip malzeme üretimi oldukça pahalıdır. Buradan yola çıkarak sistemde yarı geçirgen elemanların yanı sıra güneşin direkt bileşenini kesen ve bunu istenilen doğrultuda ve büyüklükte aktaran güneş kırıcıların kullanımı tercih edilmiştir. Güneşi engelleyen elemanlar sabit olduğunda günün bazı saatlerinde güneş ışığının direkt bileşeni engellenemezken, kimi zaman da güneş ışığından yeterli ölçüde yararlanılamadığı görülmüştür. Bu yüzden güneş kırıcılar güneş açısına bağlı olarak hareket edecek biçimde tasarlanmıştır.

Güneş açılarının tespit edilmesi; güneş kırıcılarının uygun açılarda yerleştirilebilmesi için güneş ışınlarının belirli saatlerde hangi açılarda geldiğinin saptanması gereklidir. Bu yüzden hesaplamalar aynı kabullerle yapıldığı için 3dstudio Max programı içerisindeki Ankara verileri dikkate alınmıştır. Bu verilere göre güneş ışınlarının yükseklik ve güney açısı üniversitenin açık olduğu saatler için ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinin dönüm günleri olan 21 Mart, 21 Haziran, 21 Eylül ve 21 Aralık tarihleri için plan, güneybatı görünüşü ve güneydoğu görünüşü baz alınarak belirlenmiştir (EK-7).

Güneşin dönemsel olarak oluşturduğu engellenmemiş dış ortam aydınlığına ilişkin Bilgiler; Ankara için günümüze dek yıllık gün ışığı değerleri ölçümü yapılmadığı için, bu çalışmadaki tüm simülasyonlarda 3ds Max programının Ankara için otomatik olarak verdiği dış ortam aydınlık düzeyi verileri dikkate alınmıştır. Çalışmanın gereği tüm simülasyonlarda aynı değerler kullanıldığından sapmaların da aynı olacağı ve sonuçları etkilemeyeceği düşünülmüştür. Buna göre Ankara için hesaplamaların yapıldığı tarih ve saatlerde geçerli olan gün ışığı bilgileri Şekil 4.12' deki gibidir.



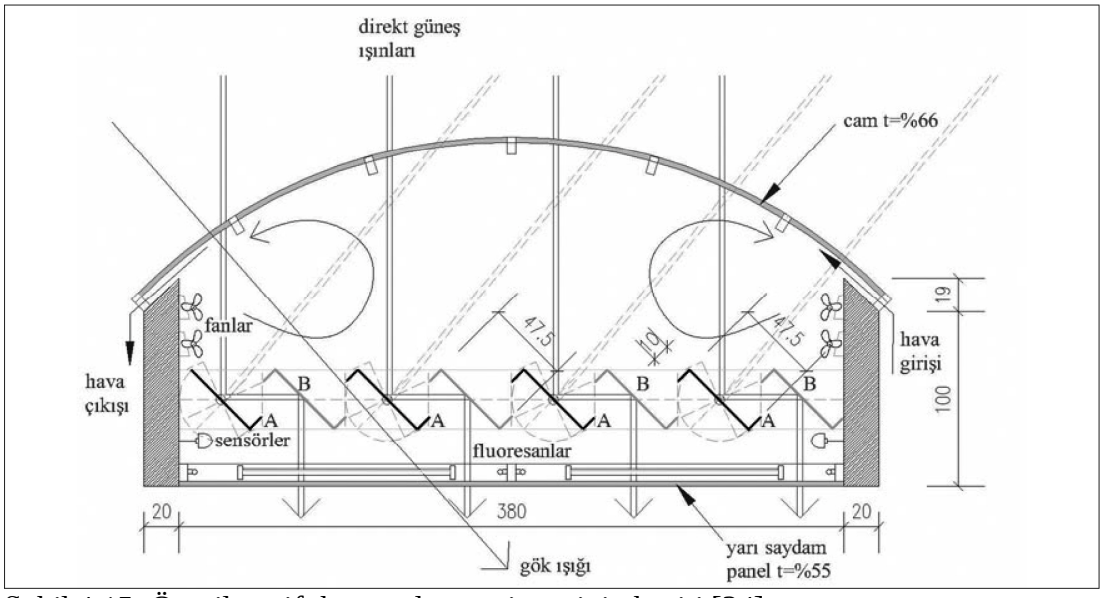
Şekil 4.14. 3dsmax programına göre Ankara için dönemsel engellenmemiş dış ortam aydınlık düzeyleri a) 21 Mart, b) 21 Haziran, c) 21 Eylül, d) 21 Aralık [34].



Şekil 4.14. (Devam) 3dsmax programına göre Ankara için dönemsel engellenmemiş dış ortam aydınlık düzeyleri a) 21 Mart, b) 21 Haziran, c) 21 Eylül, d) 21 Aralık [34].

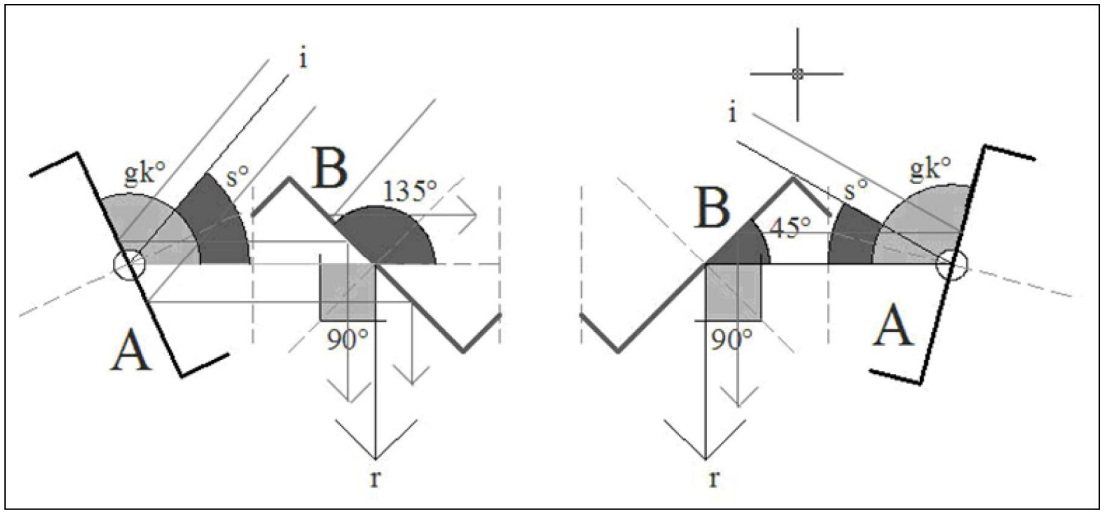
4.9.2. Öneri çatı sisteminin işleyişi

Önerilen çift katmanlı çatı ışıklığı, direkt güneş ışığını geçirmeyecek ancak gök ışığını içeri alacak biçimde, Arasta bölümü için özel olarak tasarlanmıştır. Kabuğun gün ışığını ara katmana ileten üst yüzeyi ışık geçirgenlik katsayısı %66 olan ısıcamdan, en alt yüzeyi ise ışık geçirgenlik çarpanı %55 olan yarı saydam panellerden oluşmaktadır. Sistemde A ve B tipi olmak üzere iki tip güneş kırıcı bulunmaktadır (Şekil 4.13 ve Şekil 4.14). Bu güneş kırıcılar; birbirlerinden farklı fazlarda hareket etmektedirler. Sistemde, ara katmanda bulunan fanlar ısınan durgun havayı hava çıkış deliklerine yönlendirerek, sıcak günlerde iç mekanda oluşabilecek aşırı ısı kazancını engellemektedir. Buna karşın soğuk günlerde hava çıkış delikleri kapatılarak iç mekan sıcaklığı artırılmaktadır. Yan pencerelerden gelen ışığın yarattığı kamaşmanın önüne geçebilmek için tüm yan pencereler ışık geçirmeyecek biçimde karartılmıştır.



Şekil 4.15. Önerilen çift katmanlı çatı sisteminin kesiti [34].

Uygulamada bu karartma perdeler ya da filmleme yardımıyla yapılabilir. Gün ışığının dolaşım alanlarını aydınlatmakta yetersiz kaldığı gökyüzü koşullarında ve saatlerde güneş kırıcılar ile yarı saydam paneller arasında kalan bölüme yerleştirilen loşlaştırılabilen fluoresanlar aydınlık düzeyini algılayıcı sensörler yardımıyla devreye girmektedir. Şekil 4.13' de öneri sisteme ilişkin detay kesit olarak verilmektedir.



Şekil 4.16. A ve B tip güneş kırıcı açıları ve farklı açılarda alınan güneş ışığının yansıtılma biçimi [34].

Burada (i) güneş ışınlarının geliş doğrultusunu, (r) güneş ışınlarının güneş kırıcılardan yansıdıktan sonra iç mekana giriş doğrultusunu, (gk_o) A tipi güneş kırıcıların yatayla yaptığı açıyı, (s_o) güneş ışınlarının yatayla yaptığı açıyı ifade etmektedir. A tipi güneş kırıcılar yataya göre 45^o ve 135^o'' lik açılar arasında kalmak şartıyla her konumda hareket yeteneğine sahipken, B tipi kırıcılar yataya göre yalnızca 45^o, 90^o ve 135^o açılarında üç konumda hareket etmektedir. A tipi güneş kırıcıların açıları için aşağıdaki eşitlik oluşturulmuştur[34].

$$gk^o = (s^o/2) + 90$$

Bu eşitlik kullanılarak yapılan hesaplamalarda ulaşılan sonuçlara göre yılın belli günleri ve saatleri için güneşin açılarına göre elde edilen güneş kırıcı açıları Çizelge 4.20'' deki gibidir. Böylelikle güneş ışınlarının hacme direkt girişi engellenirken, yansımış güneş ışığı ve gök ışığı içeri alınarak fonksiyona uygun doğal aydınlatma sağlanmaya çalışılmıştır.

Çizelge 4.21. Yılın çeşitli günleri ve saatleri için öneri sistemde kullanılan güneş kırıcıların konumu [34].

21.Ara			
	gk açısı		s açısı
Saat	A	B	
830	96	135	12
900	98	135	16
930	100	135	20
1000	102	135	23
1030	104	135	27
1100	105	135	30
1130	107	135	33
1200	109	135	37
1230	111	135	41
1300	113	135	45
1330	116	135	51
1400	119	135	58
1430	125	135	69
1502	90	90	90
1530	90	90	123
1600	90	90	162
1620	günbatımı		
1700	gece		

*gk açısı : güneş kırıcıların yatayla yaptığı açı.
*s açısı : güneş ışınlarının yatayla yaptığı açı.

21.Mar			
	gk açısı		s açısı
Saat	A	B	
830	105	135	30
900	107	135	34
930	109	135	38
1000	111	135	42
1030	113	135	46
1100	116	135	51
1130	118	135	55
1200	120	135	60
1230	123	135	66
1300	126	135	72
1330	130	135	80
1405	45	45	90
1430	50	45	99
1500	56	45	111
1530	62	45	124
1600	69	45	138
1630	76	45	151
1700	81	45	162

21.Haz			
	gk açısı		s açısı
Saat	A	B	
830	113	135	45
900	115	135	49
930	116	135	52
1000	118	135	56
1030	120	135	59
1100	121	135	62
1130	123	135	66
1200	125	135	70
1230	128	135	75
1300	130	135	80
1330	133	135	85
1355	45	45	90
1430	49	45	97
1500	52	45	104
1530	56	45	112
1600	60	45	120
1630	64	45	128
1700	68	45	136
1730	72	45	144

*gk açısı : güneş kırıcıların yatayla yaptığı açı.
*s açısı : güneş ışınlarının yatayla yaptığı açı.

21.Eyl			
	gk açısı		s açısı
Saat	A	B	
830	102	135	23
900	104	135	28
930	106	135	32
1000	109	135	37
1030	111	135	41
1100	113	135	45
1130	115	135	49
1200	117	135	53
1230	119	135	58
1300	122	135	63
1330	125	135	69
1400	128	135	76
1430	132	135	84
1450	45	45	90
1530	52	45	104
1600	59	45	117
1630	65	45	130
1700	72	45	144
1730	78	45	156

Çizelge' de açık gri ile belirtilen saatler gün dönümünü ifade etmektedir. Sistem otomatik olarak çalışacaktır. Gün ışığının yetersiz olduğu sensörler tarafından tespit edilince fluoresan lambalar devreye girecektir. Öneri çatı ışıklık sistemi, bilgisayar simülasyonuna dahil edilerek, yılın dört mevsimi için sabah, öğle ve akşam saatlerinde analiz edilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

Çizelge 4.22. 21 Mart günü için önerilen çatı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu

Çatı Işıklık Tipi	Gün	Gökyüzü Koşulları	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan (D-E)	Yetersiz (A-B-C)	Fazla (F-G-H)	Uygun Olmayan	D.A.U* (%)
Öneri	21 Mart	Açık	09:00	1	18	16	0	2	2	89
				2	8	7	1	0	1	88
				3	18	17	0	1	1	94
				4	7	7	0	0	0	100
			12:00	1	18	17	0	1	1	94
				2	8	8	0	0	0	100
				3	18	16	1	1	2	89
				4	7	7	0	0	0	100
			15:00	1	18	15	2	1	3	84
				2	8	7	1	0	1	88
				3	18	16	2	0	2	89
				4	7	7	0	0	0	100
		Bulutlu	09:00	1	18	12	5	1	6	66
				2	8	5	3	0	3	62
				3	18	12	6	0	6	66
				4	7	6	1	0	1	85
			12:00	1	18	13	5	0	5	72
				2	8	7	1	0	1	87
				3	18	13	5	0	5	72
				4	7	7	0	0	0	100
			15:00	1	18	12	6	0	6	66
				2	8	6	2	0	2	75
				3	18	12	6	0	6	66
				4	7	6	1	0	1	87

* Doğal aydınlatmanın standartlara uygun düzeyde olduğu ölçüm noktaları

21 Mart gününde önerilen sistemin doğal aydınlatmaya etkisi: Çizelge 4.21' den uygunluk durumu izlendiğinde bu tarihte güneşli bir günde tüm saatlerde 100-500 lüks arası yeterli aydınlık düzeyi oluşmaktadır Bulutlu bir günde ise gün boyu az bir yapay aydınlatma desteği (0-50 lüks arası) dolaşım alanlarının en iyi biçimde aydınlatılması için yeterlidir.

Çizelge 4.23. 21 Haziran günü için önerilen çatı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu

Çatı Işıklık Tipi	Gün	Gökyüzü Koşulları	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan (D-E)	Yetersiz (A-B-C)	Fazla (F-G-H)	Uygun Olmayan	D.A.U* (%)
Öneri	21 Haz.	Açık	09:00	1	18	16	1	1	2	89
				2	8	7	1	0	1	88
				3	18	17	0	1	1	94
				4	7	7	0	0	0	100
			12:00	1	18	17	0	1	1	94
				2	8	8	0	0	0	100
				3	18	18	0	0	0	100
				4	7	7	0	0	0	100
			15:00	1	18	17	1	0	1	94
				2	8	7	1	0	1	88
				3	18	16	1	1	2	89
				4	7	7	0	0	0	100
		Bulutlu	09:00	1	18	13	4	1	5	72
				2	8	5	3	0	3	62
				3	18	14	4	0	4	78
				4	7	6	1	0	1	85
			12:00	1	18	15	3	0	3	84
				2	8	7	1	0	1	87
				3	18	15	3	0	3	84
				4	7	7	0	0	0	100
			15:00	1	18	13	5	0	5	72
				2	8	7	1	0	1	87
				3	18	14	4	0	4	78
				4	7	7	0	0	0	100

* Doğal aydınlatmanın standartlara uygun düzeyde olduğu ölçüm noktaları

21 Haziran gününde önerilen sistemin doğal aydınlatmaya etkisi: Çizelge 4.22' de görüldüğü gibi güneşli bir 21 Haziran gününde simülasyon sonuçları sistemin mükemmel işlediğini göstermektedir. Hemen hemen tüm ölçüm noktalarında 100-500 lüks arası aydınlık düzeyi değerlerine ulaşılmıştır. Az bir ihtimal olarak ortaya çıkan bulutlu bir günde de 50 lüksü geçmeyecek düzeyde yapay aydınlatma desteği ile ölçüm alanlarında tam istenilen kalitede aydınlatma sağlanacaktır.

Çizelge 4.24. 21 Eylül günü için önerilen çatı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu

Çatı Işıklık Tipi	Gün	Gökyüzü Koşulları	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan (D-E)	Yetersiz (A-B-C)	Fazla (F-G-H)	Uygun Olmayan	D.A.U* (%)
Öneri	21 Eylül	Açık	09:00	1	18	16	1	1	2	89
				2	8	7	1	0	1	88
				3	18	16	2	0	2	89
				4	7	7	0	0	0	100
			12:00	1	18	17	0	1	1	94
				2	8	8	0	0	0	100
				3	18	17	1	0	1	94
				4	7	7	0	0	0	100
			15:00	1	18	17	1	0	1	94
				2	8	7	1	0	1	88
				3	18	16	1	1	2	89
				4	7	7	0	0	0	100
		Bulutlu	09:00	1	18	13	4	1	5	72
				2	8	5	3	0	3	62
				3	18	14	4	0	4	78
				4	7	6	1	0	1	85
			12:00	1	18	15	3	0	3	84
				2	8	7	1	0	1	87
				3	18	15	3	0	3	84
				4	7	7	0	0	0	100
			15:00	1	18	13	5	0	5	72
				2	8	7	1	0	1	87
				3	18	14	4	0	4	78
				4	7	7	0	0	0	100

* Doğal aydınlatmanın standartlara uygun düzeyde olduğu ölçüm noktaları

21 Eylül gününde önerilen sistemin doğal aydınlatmaya etkisi: Gökyüzü koşulları ne olursa olsun, 21 Eylül gününde üniversite ekonomik (50 lüksü geçmeyecek) yapay aydınlatma desteği ile son derece uygun biçimde aydınlatılmaktadır. Güneşli bir günde günün tamamında yapay aydınlatmaya hemen hemen hiç gereksinim duyulmamaktadır (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.25. 21 Aralık günü için önerilen çatı ışıklık formunda ölçülen doğal ışığın uygunluğu

Çatı Işıklık Tipi	Gün	Gökyüzü Koşulları	Saat	Işık Ölçüm Yapılan Alanı	Ölçüm Sayısı	Uygun Olan (D-E)	Yetersiz (A-B-C)	Fazla (F-G-H)	Uygun Olmayan	D.A.U* (%)
Öneri	21 Aralık	Açık	09:00	1	18	14	3	1	4	89
				2	8	6	2	0	2	88
				3	18	15	3	0	3	89
				4	7	7	0	0	0	100
			12:00	1	18	16	1	1	2	94
				2	8	7	1	0	1	100
				3	18	15	3	0	3	100
				4	7	7	0	0	0	100
			15:00	1	18	15	3	0	3	94
				2	8	7	1	0	1	88
				3	18	15	3	0	3	89
				4	7	7	0	0	0	100
		Bulutlu	09:00	1	18	12	5	1	6	66
				2	8	4	4	0	4	50
				3	18	12	5	1	6	66
				4	7	6	1	0	1	85
			12:00	1	18	13	3	0	3	72
				2	8	6	2	0	2	75
				3	18	13	4	1	5	72
				4	7	7	0	0	1	100
			15:00	1	18	12	6	0	6	66
				2	8	4	4	0	4	50
				3	18	11	7	0	7	55
				4	7	6	1	0	1	86

* Doğal aydınlatmanın standartlara uygun düzeyde olduğu ölçüm noktaları

21 Aralık gününde önerilen sistemin doğal aydınlatmaya etkisi: Kış günlerinde az görülen güneşli bir gün için sabah ve öğle saatlerinde 2 numaralı ölçüm alanı dışında kalan alanlara yalnızca doğal aydınlatma ile yeterli ışık (100-500 lüks arası, alınmıştır ve tüm gün için ekonomik yapay aydınlatma sağlanabilmiştir. Ancak kapalı gökyüzü koşullarında yapay aydınlatma desteği 100 lüks ve üzerinde katkı sağlamalıdır. (Çizelge 4.24). İlgili simülasyon sonucu ulaşılan aydınlık düzeyleri ölçüm şemaları EK-6' da görülebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, TOBB ETÜ' nin Arasta bölümünün çatı ışıklığı doğal aydınlatma açısından değerlendirilmiş uygun bulunmamıştır. Mevcut çatı ışıklığı yerine dolaşım alanında doğal aydınlatmadan daha uygun biçimde yararlanabilmek için, üniversitenin çatısında uygulanabilme olanağı bulunan, çeşitli dünya yapılarında doğal aydınlatmadan yararlanmak üzere tasarlanmış dört farklı çatı ışıklık formu (tek katmanlı tek yönlü, tek katmanlı çift yönlü, güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı, sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı) ve yeni geliştirilen öneri çatı ışıklık sistemi (hareketli güneş kırıcılara sahip çift katmanlı), bilgisayarda aydınlatma simülasyonu yapılarak incelenmiş ve Mart, Haziran, Eylül ve Aralık aylarının 21' nci günlerinde (mevsim dönümleri) 09:00, 12:00 ve 15:00 saatlerinde (sabah, öğle, öğleden sonra) elde edilen aydınlık düzeyi ve gün ışığı faktörleri karşılaştırılmıştır. Değerlendirmede; Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü' nün Ankara için aylık ortalama güneşlenme süreleri [59] ve 3ds Max bilgisayar programının Ankara için doğal aydınlık düzeyi verileri kullanılarak, aylık güneşlenme katsayısı çizelgesi oluşturulmuş, çizelgedeki katsayıların tüm yıla oranı saptanmış ve simülasyon sonucunda ölçülen aydınlık düzeyi uygunluk değerleri, saptanan bu rakama göre analiz edilmiştir (EK-8, EK-9). Analizin nasıl yapıldığına ilişkin örnek EK-10' da görülebilir.

5.1. Doğal Aydınlatma Uygunluğu Açısından Değerlendirme

Tüm çatı formlarına ilişkin doğal aydınlatma uygunluğunun gösterildiği Çizelge 5.1 incelendiğinde; karşılaştırılan çatı formlarının arasında yıl boyunca elde edilen ortalama aydınlık düzeyleri bakımından en avantajlı koşulu sağlayanının, üniversite için tasarlanmış olan "hareketli güneş kırıcılara sahip öneri çatı ışıklık sistemi" olduğu görülmektedir. %87' lik yıllık ortalama doğal aydınlatma uygunluğu ölçülmüştür. Bulutlu gök koşullarında, diğer sistemlerle kıyaslandığında, % 79' luk yıllık ortalama doğal aydınlatma uygunluğu ölçülmüştür.

Simülasyon sonuçlarına göre en dezavantajlı doğal aydınlatma koşulunu %41’ lik yıllık ortalama oranı ile “Güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı çatı ışıklık formu” oluşturmuştur. Elde edilen sonuçlar bu dönemlerde gereksinim duyulandan çok daha fazla ışık kazancının oluştuğunu göstermektedir. Yıl boyunca bu çatı tipi yalnızca kapalı gök koşullarında aralık ayı için %64’ lük oranla uygun sonuç vermektedir.

“Güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı ışıklık formu”; açık gökyüzü koşullarında haziran ayı içerisinde çoğu zaman (%24 oranında) ihtiyaç fazlası doğal ışık kazancı sağlamakta (500 lüks üzeri), kapalı gökyüzü koşullarında yine haziran ayında dolaşım alanlarında çoğunlukla (%57 oranında) yetersiz doğal ışık düzeyi (100 lüksten az) oluşturmaktadır. Her türlü gökyüzü koşulu için yıllık ortalamada ise %59’ lik doğal aydınlatma uygunluğuna sahiptir ve önerilen sistemden sonraki en uygun çatı ışıklık tipidir.

“Tek katmanlı çift yönlü çatı ışıklık formu” için yapılan simülasyonlarda açık gök koşullarında aralık ayında %68 oranında, kapalı gök koşullarında ise Mart, Haziran ve Eylül aylarında %49 - %55’ in üzerindeki oranlarda, 100- 500 lüks arası uygun aydınlık düzeyleri ölçülmüştür. Bunun dışında kalan durumlarda oluşan aydınlık düzeyleri ya yetersiz ya da aşırıdır. “Tek katmanlı çift yönlü çatı ışıklık formu”; tüm gökyüzü koşulları için yıllık ortalama değerlendirmesinde, üniversite için doğal aydınlatma açısından beş tip arasında üçüncü uygun tiptir.

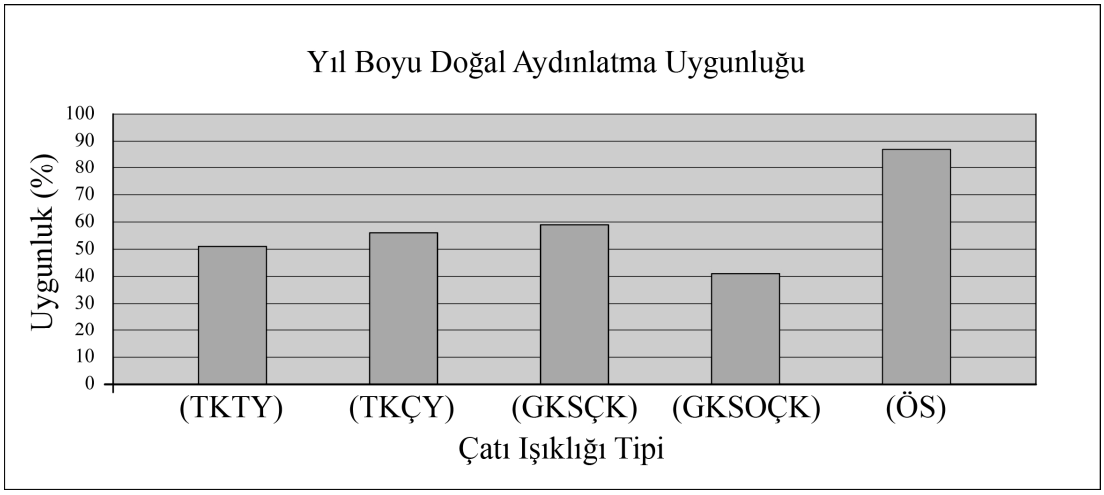
“Tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklık formu”, 21 Eylül Ankara için açık gök koşulu söz konusu olduğunda %63’ lük doğal aydınlatma uygunluğuna sahiptir. Bunun dışındaki dönemlerde ve gök koşullarında uygunluk %63’ i hiç geçememektedir. Bu tespitler sonucunda “tek katmanlı çift yönlü çatı ışıklık formu”; doğal aydınlatma bakımından ikinci dezavantajlı çatı tipi olarak göze çarpmıştır.

Simülasyon sonuçlarına göre en dezavantajlı doğal aydınlatma koşulunu %41’ lik yıllık ortalama oranı ile “güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı” oluşturmuştur (Şekil 5.1). Elde edilen sonuçlar bu dönemlerde gereksinim duyulandan çok daha

fazla ışık kazancının oluştuğunu göstermektedir. Yıl boyunca bu çatı tipi yalnızca açık gök koşullarında aralık ayı için %64' lük oranla uygun sonuç vermektedir.

Çizelge 5.1. Örnek çatı formlarının doğal aydınlatma açısından karşılaştırılması

Doğal Aydınlatmaya Uygunluğu (%)	Açık Gökyüzü				Açık Gökyüzü Ortalaması	Bulutlu Gökyüzü				Bulutlu Gökyüzü Ortalaması	Yıl Ortalaması
	21 Mar.	21 Haz.	21 Eyl.	21 Ara		21 Mar.	21 Haz.	21 Eyl.	21 Ara		
Tek Katmanlı Tek Yönlü (TKTY)	61	57	63	55	60	42	49	40	20	42	51
Tek Katmanlı Çift Yönlü (TKÇY)	64	57	64	68	62	50	49	55	32	50	56
Güneş Kırıcılara Sahip Çift Katmanlı (GKSÇK)	66	62	69	68	66	58	43	58	58	52	59
Güneş Kırıcılara Sahip Olmayan Çift Katmanlı (GKSÇK)	46	35	50	64	45	40	26	38	62	36	41
Öneri Sistem - Hareketli Güneş Kırıcılara Sahip (ÖS)	93	95	94	94	94	75	82	82	70	79	87



Şekil 5.1. Çatı ışıklığı tipine göre yıl boyunca her türlü gök koşulunda, iç mekanda ölçülen doğal aydınlık düzeylerinin uygunluğu

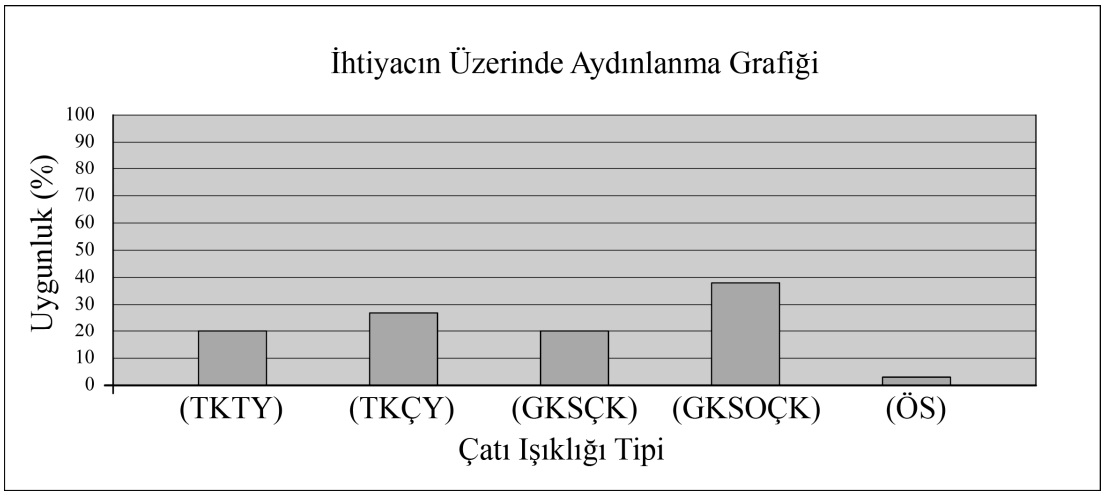
5.2. İhtiyacın Üzerinde Aydınlanma Açısından Değerlendirme

Simülasyonlar sonucunda özellikle açık gök koşullarında "Güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı çatı tipi"nin dolaşım alanının üzerinde %48' lik ihtiyacın üzerinde (>500 lüks) doğal aydınlık düzeyi ölçülmüştür. Çatı tipleri bu açıdan değerlendirildiğinde Çizelge 5.2' de görülen sonuçlarla karşılaşılmıştır.

Çizelge 5.2 ve Şekil 5.2' de görüldüğü gibi, öneri sistemde gök koşulları ve mevsim ne olursa iç ortam sıcaklığında artışa neden olabilecek düzeyde aydınlık (>500 lüks) oranı %4' i geçmemekte yani hemen hemen hiç oluşmamaktadır. Öneri sistemden sonra bu açıdan en avantajlı çatı tipi olan "Güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı tipi" ve "Tek katmanlı tek yönlü çatı tipi"nin %20' lik oranlara sahip olduğu düşünüldüğünde, aradaki fark çok belirgin biçimde ortaya çıkmaktadır. %20' lik yıllık ihtiyaç fazlası aydınlanma oranı ile "Güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı tipi" ve "tek katmanlı çift yönlü" çatı tipi ikinci sıradadırlar. "Tek katmanlı çift yönlü" çatı tipi %27' lik bir oranda yıllık ihtiyaç fazlası aydınlanmaktadır ve bu oran ile üçüncü sıradadır. Aralık ayında bile %25'lik orana sahip "Güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı" çatı tipi, gün boyunca dolaşım alanlarında ihtiyacın çok üzerinde aydınlık düzeyleri oluşturmaktadır (çoğu kez 1000 lüks üzeri) ve üniversite için uygun değildir.

Çizelge 5.2. Örnek çatı formlarının ihtiyacın üzerinde oluşan doğal aydınlık düzeyi açısından karşılaştırılması

İhtiyacın Üzerinde Aydınlatma Tablosu (%)	Açık Gökyüzü				Yıl Ortalaması (%)
	21 Mar	21.Haz	21.Eyl	21.Ara	
Tek Katmanlı Tek Yönlü (TKTY)	20	24	19	18	20
Tek Katmanlı Çift Yönlü (TKÇY)	31	33	27	18	27
Güneş Kırıcılara Sahip Çift Katmanlı (GKSÇK)	20	24	22	15	20
Güneş Kırıcılara Sahip Olmayan Çift Katmanlı (GKSOÇK)	56	63	46	25	48
Öneri Sistem - Hareketli Güneş Kırıcılara Sahip (ÖS)	4	3	2	1	3



Şekil 5.2. Çatı ışıklığı tiplerinin ihtiyacın üzerinde aydınlatma açısından karşılaştırılması

5.3. İhtiyacın Altında Aydınlanma Açısından Değerlendirme

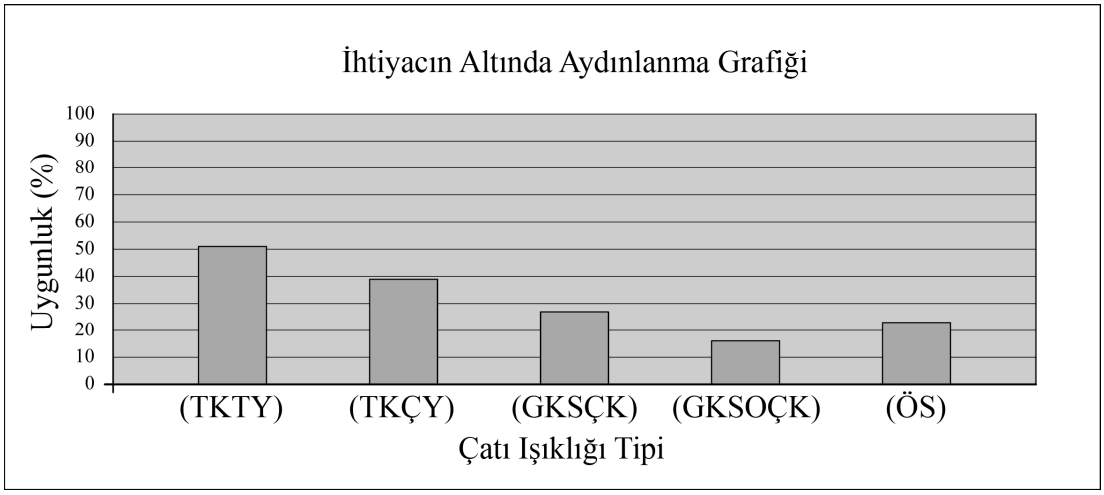
Genel olarak; üniversitede bulutlu gök koşullarında, yılın bazı dönemlerinde, sabah saatlerinde (09:00) ve akşamüstüne doğru (15:00) ölçüm alanlarının yalnızca doğal aydınlatma ile aydınlatılması yeterli olmamaktadır. Böyle dönemlerde yeterli aydınlık düzeyi oluşturmak için yapay aydınlatma desteği gereklidir. Çizelge 5.3 ve Şekil 5.3' de örnek çatı tipleri için, doğal aydınlatma desteğinin oranı karşılaştırılmıştır. Değerlendirme yapılırken standartlara uygun olarak, 100-500 lüks

arasında ölçülen doğal aydınlık düzeyleri, dolaşım alanlarında yapay aydınlatma desteğine ihtiyaç göstermediği için uygun sayılmış, 0-100 lüks arası değerler, istenen düzeye çekilmek için yapay aydınlatma yükünü artırdığından, uygun bulunmamıştır. Tüm sistemlerde genel olarak; bulutlu gök koşullarında yapay aydınlatma desteğine gereksinim duyulduğundan değerlendirme yalnızca kapalı gök koşulu için yapılmıştır.

Çizelge 5.3. Örnek çatı formlarının ihtiyacın altında oluşan doğal aydınlık düzeyi açısından karşılaştırılması

İhtiyacın Altında Aydınlatma Tablosu (%)	Bulutlu Gökyüzü				Yıl Ortalaması (%)
	21 Mar	21.Haz	21.Eyl	21.Ara	
Tek Katmanlı Tek Yönlü (TKTY)	46	40	48	69	51
Tek Katmanlı Çift Yönlü (TKÇY)	31	30	35	58	39
Güneş Kırıcılara Sahip Çift Katmanlı (GKSÇK)	22	30	21	33	27
Güneş Kırıcılara Sahip Olmayan Çift Katmanlı (GKSOÇK)	16	11	14	22	16
Öneri Sistem - Hareketli Güneş Kırıcılara Sahip (ÖS)	27	19	19	27	23

Çizelge 5.3’ de görüldüğü gibi, “sabit güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı çatı tipi” bulutlu gökyüzü koşullarında, %84 oranında yapay aydınlatmaya ihtiyaç duymaksızın, dolaşım alanlarını, 100-500 lüks arasındaki istenen aydınlık düzeyinde aydınlatabilmektedir ve bu açıdan en avantajlı konumdaki çatı tipidir. İkinci sırada %77’ lik oran ile “öneri sistem” bulunurken; Güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı ışıklık tipi” %73’ lük oranla üçüncü sıradadır. “Tek katmanlı çift yönlü çatı tipi”; %61’ lık oranla dördüncü sırada değerlendirilebilir. “Tek katmanlı tek yönlü çatı tipi” ise %49 oranında yapay aydınlatmaya ihtiyaç duymaksızın, dolaşım alanlarını, 100-500 lüks arasındaki istenen aydınlık düzeyinde aydınlatabilmektedir ve bu açıdan en dezavantajlı konumdaki çatı tipidir.



Şekil 5.3. Çatı ışıklığı tiplerinin ihtiyacın altında aydınlatma açısından karşılaştırılması

5.4. Genel Değerlendirme

Yukarıda yorumlanan tüm kriterler göz önüne alındığında, TOBB ETÜ' nin Arasta bölümü için önerilen "Güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı tipi" bulutlu gökyüzü koşullarında ve yapay aydınlatmaya duyduğu gereksinim bakımından diğer çatı tiplerine oranla orta düzeyde avantaja sahip olsa da, bir üniversite yapısında, değişken tüm gökyüzü koşulları ve mevsimsel farklılıklara karşın, sürekli düzgün (uniform) aydınlatma sağlamasıyla diğer dört çatı tipine göre üstündür. Bu çalışmada elde edilen bulgular sonucu, aydınlatmanın dışında, çatı sisteminin ekonomi açısından yararları olacağı düşünülmektedir. Çalışma bu boyutu ile ele alınıp, mekandaki soğutma yükünün ve elektrik harcamasının azaltılmasına hangi oranda etki ettiği ve uygulanması sonucu uygulama maliyetini kaç yılda karşılayacağı çalışma konusu olarak devam ettirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Atiş, S., "Eğitim kurumlarında aydınlatma sistemi", ***1. Uluslararası Türkiye Eğitim Araştırmaları Kongresi,*** İstanbul, 1-9 (2008).

2. İnternet : The American Society of Interior Designer ASID "The impact of interior design on the bottom line". http://www.asid.org/NR/rdonlyres/ 8754A717-FCB1-4E69-AC77-69251ABB44 FC/0/asid_productive_solutions.pdf (1997)

3. Boyce, P.R., Veitch, J.A., Newsham, G.R., Myer, M., Hunter, C., "Lighting quality and office work: a field simulation study", ***Pacific Northwest National Laboratory***, 156-162 (2003).

4. İnternet : Cornell University, "A Summary of the Cornell University Study: Lighting the Computerized Office", http://ergo.human.cornell.edu/lighting/ lilstudy/ lilstudy.htm (1990).

5. Laurentin, C., Berrutto, V., Fontoynont, M., "Effect of thermal conditions and light source type on visual comfort appraisal", ***Lighting Res.Technol.*** 32 (4): 223-233 (2000).

6. J A Veitch, J.A., and McColl, S.L., "Modulation of fluorescent light. Flicker rate and light source effects on visual performance and visual comfort", ***Lighting Res. Technol.***, 27 (4): 243-256 (1995).

7. Bommel, W.J.M., Beld G.J., "Lighting for work: a review of visual and biological effects", ***Lighting Res. Technol.*** 36 (4): 255-269 (2004).

8. McCloughan, C.L.B., Aspinall P.A., Webb, R.S., "The impact of lighting on mood", ***Lighting Res.Technol.***, 31: 81-88 (1999).

9. Veitch, J.A., Newsham, G.R., "Lighting quality and energy efficiency effects on task performance,mood, health, satisfaction and comfort", ***J. Illum. Eng. Soc.*** 27: 29, 107 (1998).

10. Stone, P.T., "The effects of environmental illumination on melatonin, bodily rhythms and mood states. a review ", ***Lighting Res. Technol.***, 31 (3): 71-79 (1999).

11. Pellegrino, A., "Assessment of artificial lighting parameters in a visual comfort perspective", ***Lighting Res. Technol.***, 31 (3): 107-115 (1999).

12. GR Newsham, G.R, Richardson, C., Blanchet, C., Veitch, J.A., "Lighting quality research using rendered images of offices", ***Lighting Res. Technol.***, 37 (2): 93-115 (2005).

13. Moeck, M., "Lighting design based on luminance contrast", ***Lighting Res. Technol.***, 32 (2): 55-63 (2000).

14. Lupton, M.Y., Leung, A.S.M., Carter, D.J., "Advances in lighting design methods for non-empty interiors", ***Lighting Res. Technol.***, 28 (1): 29-41 (1996).

15. Jay, P.A., "The art and science of lighting. A strategy for lighting design", ***Lighting Res. Technol.***, 29(3): 158-159 (1997).

16. Jay, P., "Subjective criteria for lighting design", ***Lighting Res. Technol,***. 34 (2): 87-99 (2002).

17. Aizlewood, M E., "Innovative daylighting systems. an experimental evaluation", ***Lighting Res. Technol.***, 25(4): 141-152 (1993).

18. McEvoy, M.E., "Window construction incorporating trickle vents. Implications for the quality of daylighting in houses", **Lighting Res. Technol.**, 28 (1): 19-28, (1996).

19. Littlefair, P., "Daylighting design and research", ***Lighting Res. Technol.***, 32 (3): 101 (2000).

20. Mardaljevic, J., "Simulation of annual daylighting profiles for internal illuminance", ***Lighting Res. Technol.***, 32 (3): 111-118 (2000).

21. Kıschkoweit-Lopin, M., "An overview of daylighting systems", ***Solar Energy.***, 73 (2): 77-82 (2002).

22. Cheung, G.H.W., Li, D.H.W., "Average daylight factor for the 15 CIE standard skies", ***Lighting Res. Technol.***, 38 (2): 137-152 (2006).

23. Khee, E., Ng., Poh, L., Wu, W., "The application of computer simulation techniques to the design and preservation of a national monument", ***IBPSA Building Simulation Conference and Exhibition,*** Kyoto, Japan, 13-15 (1999).

24. Ng, E.Y., Poh, L.K., Wei, W., Nagakura, T., "Advanced lighting simulation in architectural design in the tropics", ***Automation in Construction,*** 10 (3): 365-379 (2001).

25. Wong, A. D. I., "Effect of external shading devices on daylight penetration in residential buildings", ***Lighting Research and Technology***, 36 (4): 317-333 (2004).

26. Sarawgi, T., "Determining the suitability of computer – aided daylight simulation method in the design process", ***International Journal of Architectural Computing***, 2 (2): 155-175 (2004).

27. Cabeza, J. M., Almodovar, J. M., Pulido, G., "Simulation of baroque religious buildings – the church of saint louis of the frenchmen", ***Environmentally friendly cities, proceedings of PLEA '98***, Lizbon, Portekiz, 421-424 (1998).

28. Walkenhorst, O., Luther, J., Reinhart, C., Timmer, J., "Dynamic annual daylight simulations based on one-hour and one-minute means of ırradiance data", ***Solar Energy***, 72 (5): 385-395 (2002).

29. Athienitis, A. K., Tzempelikos, A., "A methodology for simulation of daylight room ılluminance distribution and light dimming for a room with a control shading device", ***Solar Energy***, 72 (4): 271-281 (2002).

30. Reinhart, C. F., Walkenhorst, O., "Validation of dynamic radiance – based daylight simulations for a test office with external blinds", ***Energy and Buildings***, 33 (7): 683-697 (2001).

31. Simpson, J. R., McPherson E. G., "Simulation of tree shade ımpacts on residential energy use for space conditioning in Sacramento", ***Atmospheric Environment***, 32 (1): 69-74 (1998).

32. Traverso, G., Vighy, P., "Daylight control system for a new pavillion for modern art exhibition in the biennale of venice", ***Environmentally friendly cities, proceedings of PLEA '98***, Lizbon, 441-444 (1998).

33. Moeck M., Selkowitz, S. E., "A computer based daylight systems design tool", ***Automation in Construction***, 5 (3): 193-209 (1996).

34. Aybar, U., "Anadolu Medeniyetleri Müzesi Arasta bölümünde doğal aydınlatma alternatiflerinin değerlendirilmesi ve bir sistem önerisi", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 23-40, 93-94 (2007).

35. Sirel, Ş., "Müzelerde ve bürolarda aydınlatma", ***Yapı Fiziği Uzmanlık Enstitüsü Yayınları***, 8: 1-7 (1997).

36. Ander, G. D., "Daylighting performance and design", ***Van Nostrand Reinhold***, 5-10 (1995).

37. Anon, "Ankara için günlük ortalama bulutluluk tablosu" T.C Çevre ve Orman Bakanlığı, ***Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Araştırma ve Bilgi İşlem Daire Başkanlığı***, (1975-2005).

38. Demirdeş, H., "Uygun aydınlatma bileşenleri", ***Kaynak Elektrik Dergisi***, 6: 68-70 (1993).

39. Güney, İ., Kocabey, S., Oğuz, Y., "Aydınlatmanın öğrenme sürecindeki katkısının incelenmesi", ***4.Ulusal Aydınlatma Kongresi***, İstanbul, 54-59 (2002).

40. Kesten, D., Yener, A.K., "İlköğretim binalarında enerji etkin aydınlatma sistemi tasarımına ilişkin bir çalışma", ***6. Ulusal Aydınlatma Kongresi***, İstanbul, 143-151 (2006).

41. İnternet : Office of Energy Efficiency and Renewable Energy - U.S. Department ofEnergy, "National best practices manual for building high performance schools", http://www.p2pays.org/ref/20/19494.pdf (2007).

42. İnternet : Heschong Mahone Group, "Daylighting in schools - an investigation into the relationship between daylighting and human performance," http://www.eric.ed.gov/ERICDocs/data/ericdocs2sql/content_storage_01/0000019b/80/16/66/41.pdf (1999).

43. İnternet : Heschong Mahone Group, "Re-analysis summary: daylighting in schools, additional analysis." February http://www.eric.ed.gov/ERICDocs/data/ericdocs2sql/content_storage_01/0000019b/80/1a/96/9c.pdf (2002).

44. Kishkoweit-Lopin, M., "An overview of daylighting systems", ***Solar Energy, Elsevier Science Ltd.***, 73 (2): 77-82 (2002).

45. Sirel, Ş., "Aydınlatma sözlüğü", ***Yem Yayın***, 92 (1997).

46. Matusiak, B., "Lighting systems in smart energy-efficient buildings a state of the art", ***A report within the research program : Smart Energy-Effficient Buildings at NTNU and SINTEF 2002-2006***, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 4-18 (2002).

47. Kishkoweit-Lopin, M., "An overview of daylighting systems", Solar Energy, ***Elsevier Science Ltd***., 73 (2): 77-82 (2002).

48. İnternet : TOBB ETÜ "Tarihçe" http://www.etu.edu.tr/index.php?page=78&lang=trTR (2004).

49. Laiserin, J., "Software resources for lighting design", ***Architectural Record***, 281-282 (2001).

50. Murdock K. L., "3dsmax 8 bible", ***Wiley Publishing Inc.***, Indiana, 712-725 (2006).

51. Kurtay, C. (Proje yürütücüsü), Aybar, U., Ulukavak, G., "Gazi Üniversitesi, Rektörlük binasındaki, mimar Kemaleddin salonunun yapay aydınlatma ve akustik açıdan irdelenmesi", ***G.Ü. Bilimsel Araştırma Projesi***, 20-30 (2004).

52. Cabeza, J.M., Almodovar, J.M., Pulido, G., "Simulation of baroque religious buildings, the church of saint louis of the frenchmen", ***Environmentally friendly cities, proceedings of PLEA '98,*** Lizbon, Portekiz, 421-424 (1998).

53. Akyürek, Y., Camtaş Teknik Danışmanlık, "Uygun cam seçimi, daha az enerji daha çok kazanç", Bildiri, ***İzoder Yalıtım Seminerleri***, Mart, 5-10 (2001).

54. Akyürek, Y., "Yetenekli camlar akıllı çözümler", ***Enerji İşleri Gn.Md. ETK Ulusal Enerji Verimliliği Kongresi***, İzmir, 2-8 (1999).

55. Dobrin, M., "Daylighting in over-glazed educational buildings", ***Environmentally friendly cities, proceedings of PLEA '98,*** Lizbon, Portekiz, 437-440 (1998).

56. Fontoynont, M., "Daylight performance of buildings", ***Ecole Nationale des Travaux Publics de l' Etat***, Lyon, 71-110 (1999).

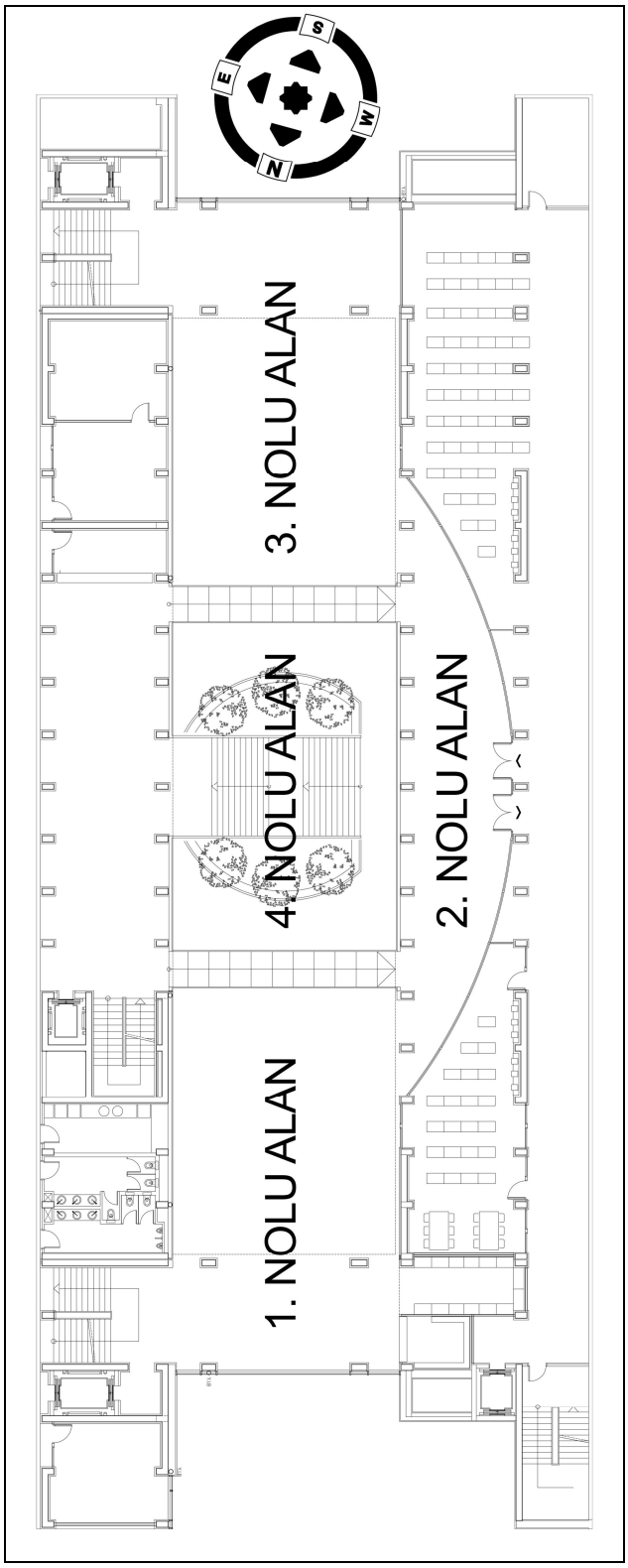
57. Krstic, A., "Possibilities for daylighting and direct solar heat gain in attics intended for dwelling", ***Environmentally friendly cities, proceedings of PLEA '98,*** Lizbon, Portekiz, 445-448 (1998).

58. Anon., "CIBS lighting guide museums and art galleries", ***The Chartered Institution Services,*** Balham High Road, London, 14: 7-30 (1980).

59. Anon., "Ankara için aylık ortalama güneşlenme süresi tablosu" T.C Çevre ve Orman Bakanlığı, ***Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü,*** Elektronik Bilgi İşlem Müdürlüğü, (1975-2006).

EKLER

EK-1 TOBB ETÜ yerleşim planı



Şekil 1.1. Çatı ışıklıkları için yapılan bilgisayar simülasyonlarında aydınlık düzeyleri ölçüm değerleri alınan üniversitenin planı

EK-2 Tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklığı

Çizelge 2.1. 21. Mart açık gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Mart–Saat 09:00 Açık Gökyüzü		Tek Katmanlı Tek yönlü 21 Mart–Saat 12:00 Açık Gökyüzü		Tek Katmanlı Tek yönlü 21 Mart–Saat 15:00 Açık Gökyüzü	
1 Nolu Alan	F	G	G	D	G	D
	F	G	F	D	F	D
	F	E	E	C	E	D
	F	E	E	C	E	C
	F	E	E	B	E	B
	F	D	D	A	E	A
	F	D	D	A	E	A
	F	D	D	A	D	A
	G	C	D	A	D	A
2 Nolu Alan	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		C		D	
	B		C		D	
	B		B		D	
	A		B		C	
	A		B		C	
3 Nolu Alan	H	E	H	D	G	E
	H	E	H	D	G	D
	G	D	G	D	F	D
	G	D	G	D	F	D
	F	D	G	D	F	D
	F	D	E	D	E	C
	F	B	E	B	E	C
	F	B	D	B	E	C
	F	B	D	B	E	A
4 Nolu Alan	E		D		E	
	E		D		E	
	E		D		E	
	D		D		E	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		C		D	

EK-2 (Devam) Tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklığı

Çizelge 2.2. 21. Mart bulutlu gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Mart–Saat 09:00 Bulutlu Gökyüzü		Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Mart–Saat 12:00 Bulutlu Gökyüzü		Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Mart–Saat 15:00 Bulutlu Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	C	G	D	G	C
	F	C	G	C	F	C
	F	B	F	B	F	B
	E	B	F	B	E	B
	D	A	E	A	D	A
	D	A	D	A	D	A
	D	A	D	A	D	A
	C	A	D	A	C	A
	C	A	D	A	C	A
2 Nolu Alan	B		C		C	
	B		C		C	
	B		C		B	
	B		C		B	
	B		B		A	
	A		B		A	
	A		A		A	
	A		A		A	
3 Nolu Alan	G	D	G	D	G	D
	F	D	F	D	F	D
	F	D	F	D	F	D
	E	D	E	D	E	D
	E	C	E	D	E	C
	E	B	E	B	D	B
	D	A	E	B	D	A
	D	A	D	B	D	A
	D	A	D	A	D	A
4 Nolu Alan	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		C	
	B		D		C	

EK-2 (Devam) Tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklığı

Çizelge 2.3. 21. Haziran açık gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Haziran–Saat 09:00 Açık Gökyüzü		Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Haziran–Saat 12:00 Açık Gökyüzü		Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Haziran–Saat 15:00 Açık Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	E	G	D	G	D
	F	E	F	C	F	C
	F	E	E	C	F	C
	F	D	E	C	E	C
	F	D	E	B	E	B
	F	D	D	A	D	A
	F	C	D	A	D	A
	F	C	D	A	D	A
	E	A	D	A	D	A
2 Nolu Alan	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	C		C		D	
	C		C		D	
	C		B		D	
	C		B		C	
	B		B		C	
3 Nolu Alan	G	F	G	D	G	E
	G	E	G	D	F	D
	F	D	G	D	F	D
	F	D	F	D	E	D
	F	D	E	D	E	D
	F	C	D	C	E	D
	F	B	D	B	E	D
	F	A	D	B	E	C
	F	A	D	A	E	A
4 Nolu Alan	F		D		E	
	F		D		E	
	F		D		D	
	E		D		D	
	E		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	

EK-2 (Devam) Tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklığı

Çizelge 2.4. 21. Haziran bulutlu gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Haziran–Saat 09:00 Bulutlu Gökyüzü		Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Haziran–Saat 12:00 Bulutlu Gökyüzü		Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Haziran–Saat 15:00 Bulutlu Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	D	G	D	G	D
	G	C	G	D	F	C
	F	B	F	C	F	B
	F	B	F	C	F	B
	E	A	E	A	E	A
	D	A	D	A	D	A
	D	A	D	A	D	A
	D	A	D	A	D	A
	D	A	D	A	D	A
2 Nolu Alan	C		D		C	
	C		D		C	
	C		C		C	
	C		C		C	
	B		C		B	
	B		B		B	
	A		B		A	
	A		B		A	
3 Nolu Alan	G	D	G	D	G	D
	F	D	G	D	F	D
	F	D	G	D	F	D
	F	D	F	D	E	D
	E	D	F	D	E	C
	E	B	F	C	E	B
	E	B	E	B	D	B
	E	B	E	B	D	A
	D	A	E	A	D	A
4 Nolu Alan	D		E		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	

EK-2 (Devam) Tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklığı

Çizelge 2.5. 21. Eylül açık gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Eylül–Saat 09:00 Açık Gökyüzü		Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Eylül–Saat 12:00 Açık Gökyüzü		Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Eylül–Saat 15:00 Açık Gökyüzü	
1 Nolu Alan	H	E	G	D	G	D
	H	E	F	D	F	D
	H	E	E	D	E	D
	H	E	E	C	E	C
	G	D	E	B	E	B
	F	D	D	A	E	A
	F	D	D	A	D	A
	F	D	D	A	D	A
	E	A	D	A	D	A
2 Nolu Alan	H		D		D	
	H		D		D	
	F		D		D	
	F		D		D	
	E		C		D	
	D		C		D	
	C		C		C	
	B		C		C	
3 Nolu Alan	H	D	H	D	G	E
	H	D	H	D	G	D
	H	D	G	D	F	D
	F	D	F	D	F	D
	F	D	E	D	F	D
	E	B	E	B	E	C
	D	B	D	B	E	C
	D	B	D	B	E	C
	D	A	D	B	E	A
4 Nolu Alan	E		D		E	
	E		D		E	
	E		D		E	
	E		D		E	
	E		D		D	
	D		D		D	
	D		C		D	

EK-2 (Devam) Tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklığı

Çizelge 2.6. 21. Eylül bulutlu gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Eylül–Saat 09:00 Bulutlu Gökyüzü		Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Eylül–Saat 12:00 Bulutlu Gökyüzü		Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Eylül–Saat 15:00 Bulutlu Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	C	G	D	G	C
	F	C	G	C	F	C
	F	B	F	B	E	A
	E	B	F	B	E	A
	D	A	E	A	D	A
	D	A	D	A	D	A
	D	A	D	A	D	A
	D	A	D	A	C	A
	C	A	D	A	C	A
2 Nolu Alan	C		C		C	
	C		C		C	
	C		C		B	
	B		C		B	
	B		B		A	
	A		B		A	
	A		B		A	
	A		B		A	
3 Nolu Alan	G	D	G	D	G	D
	F	D	F	D	F	D
	F	D	F	D	F	D
	E	D	E	D	E	D
	E	C	E	D	E	C
	E	B	E	B	D	B
	D	A	E	B	D	A
	D	A	D	B	D	A
	D	A	D	A	D	A
4 Nolu Alan	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		C	
	D		D		C	
	D		D		C	
	C		D		C	

EK-2 (Devam) Tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklığı

Çizelge 2.7. 21. Aralık açık gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Aralık–Saat 09:00 Açık Gökyüzü		Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Aralık–Saat 12:00 Açık Gökyüzü		Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Aralık–Saat 15:00 Açık Gökyüzü	
1 Nolu Alan	F	E	F	D	F	D
	F	E	F	D	E	C
	F	E	E	D	D	C
	E	E	E	C	D	C
	E	D	D	B	D	A
	E	D	D	A	D	A
	E	D	D	A	D	A
	E	C	D	A	D	A
	E	C	D	A	D	A
2 Nolu Alan	F		D		D	
	D		D		D	
	C		C		D	
	C		C		D	
	C		C		C	
	B		B		C	
	B		B		C	
	B		B		C	
3 Nolu Alan	H	E	H	D	H	D
	H	D	H	D	H	D
	H	D	G	D	F	D
	H	D	G	D	E	D
	H	D	F	D	E	D
	G	D	F	D	E	C
	F	C	E	C	D	B
	F	B	E	B	D	B
	E	A	E	B	D	B
4 Nolu Alan	E		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	C		C		C	

EK-2 (Devam) Tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklığı

Çizelge 2.8. 21. Aralık bulutlu gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Aralık–Saat 09:00 Bulutlu Gökyüzü		Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Aralık–Saat 12:00 Bulutlu Gökyüzü		Tek Katmanlı Tek Yönlü 21 Aralık–Saat 15:00 Bulutlu Gökyüzü	
1 Nolu Alan	F	B	G	C	F	B
	E	A	F	B	E	A
	D	A	E	A	D	A
	D	A	E	A	D	A
	D	A	D	A	C	A
	C	A	D	A	C	A
	C	A	D	A	C	A
	B	A	C	A	B	A
	B	A	C	A	B	A
2 Nolu Alan	B		C		A	
	B		C		A	
	A		B		A	
	A		B		A	
	A		A		A	
	A		A		A	
	A		A		A	
	A		A		A	
3 Nolu Alan	F	C	G	D	F	C
	E	C	F	D	D	C
	E	C	F	D	D	C
	D	C	D	C	D	B
	D	B	D	C	D	A
	D	A	D	A	D	A
	D	A	D	A	C	A
	D	A	D	A	C	A
	D	A	D	A	C	A
4 Nolu Alan	C		D		C	
	C		D		C	
	C		D		B	
	C		C		B	
	C		C		B	
	C		C		B	
	B		C		B	

EK-3 Tek katmanlı çift yönlü çatı ışıklığı

Çizelge 3.1. 21. Mart açık gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Mart–Saat 09:00 Açık Gökyüzü		Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Mart–Saat 12:00 Açık Gökyüzü		Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Mart–Saat 15:00 Açık Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	E	G	D	G	E
	F	E	F	D	F	E
	F	E	E	D	F	E
	F	E	E	D	F	E
	F	D	E	D	F	E
	F	D	E	D	F	D
	F	D	E	D	F	D
	F	D	D	C	F	D
	F	A	D	A	E	A
2 Nolu Alan	D		D		E	
	D		D		E	
	D		D		E	
	D		D		D	
	C		C		D	
	C		C		D	
	C		C		D	
	B		B		D	
3 Nolu Alan	H	D	H	D	G	F
	H	D	H	D	G	F
	G	D	G	D	G	F
	F	D	G	D	G	F
	F	D	G	D	G	E
	F	D	E	D	F	E
	E	D	E	D	F	E
	E	D	E	C	F	C
	E	B	E	B	F	C
4 Nolu Alan	E		D		F	
	E		D		F	
	E		D		F	
	E		D		E	
	E		D		E	
	D		D		E	
	D		D		D	

EK-3 (Devam) Tek katmanlı çift yönlü çatı ışıklığı

Çizelge 3.2. 21. Mart bulutlu gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Mart–Saat 09:00 Bulutlu Gökyüzü		Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Mart–Saat 12:00 Bulutlu Gökyüzü		Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Mart–Saat 15:00 Bulutlu Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	D	G	D	G	D
	F	D	G	D	F	D
	F	B	F	C	F	B
	E	B	E	B	E	A
	D	A	E	A	D	A
	D	A	E	A	D	A
	D	A	D	A	D	A
	D	A	D	A	D	A
	D	A	D	A	D	A
2 Nolu Alan	D		E		D	
	D		E		D	
	C		C		C	
	C		C		C	
	B		B		B	
	A		B		A	
	A		B		A	
	A		B		A	
3 Nolu Alan	G	D	G	E	G	D
	F	D	F	D	F	D
	F	D	F	D	F	D
	E	C	F	D	E	C
	E	C	E	D	E	C
	E	C	E	D	E	C
	E	C	E	C	E	C
	D	A	E	B	D	A
	D	A	E	A	D	A
4 Nolu Alan	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	C		D		C	

EK-3 (Devam) Tek katmanlı çift yönlü çatı ışıklığı

Çizelge 3.3. 21. Haziran açık gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Haziran–Saat 09:00 Açık Gökyüzü		Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Haziran–Saat 12:00 Açık Gökyüzü		Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Haziran–Saat 15:00 Açık Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	E	G	D	G	E
	G	E	F	D	F	E
	F	E	E	C	F	E
	F	D	E	C	F	E
	F	D	E	B	F	D
	F	D	E	B	F	D
	F	D	D	A	F	D
	F	D	D	A	F	D
	F	C	D	A	E	A
2 Nolu Alan	H		D		E	
	H		D		D	
	H		D		D	
	H		D		D	
	H		C		D	
	H		C		D	
	G		C		D	
	D		B		C	
3 Nolu Alan	G	E	G	D	G	F
	G	E	G	D	G	F
	G	E	G	D	G	F
	F	D	F	D	G	F
	F	D	E	D	G	D
	F	D	E	C	F	D
	F	C	E	C	F	D
	E	A	E	B	F	C
	E	A	E	A	F	C
4 Nolu Alan	F		D		F	
	E		D		E	
	E		D		E	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	

EK-3 (Devam) Tek katmanlı çift yönlü çatı ışıklığı

Çizelge 3.4. 21. Haziran bulutlu gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Haziran–Saat 09:00 Bulutlu Gökyüzü		Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Haziran–Saat 12:00 Bulutlu Gökyüzü		Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Haziran–Saat 15:00 Bulutlu Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	D	G	D	G	D
	G	D	G	D	F	D
	F	C	F	C	F	C
	E	B	F	C	E	B
	E	A	E	B	E	A
	E	A	E	A	E	A
	D	A	E	A	D	A
	D	A	E	A	D	A
	D	A	E	A	D	A
2 Nolu Alan	E		E		E	
	E		E		E	
	C		D		C	
	C		C		C	
	B		C		B	
	B		C		B	
	B		B		B	
	B		B		B	
3 Nolu Alan	G	E	G	E	G	D
	F	D	G	E	F	D
	F	D	G	E	F	D
	F	D	F	D	F	D
	E	D	F	D	E	D
	E	D	F	D	E	C
	E	C	F	D	E	C
	E	B	E	B	E	A
	E	A	E	A	E	A
4 Nolu Alan	D		E		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	

EK-3 (Devam) Tek katmanlı çift yönlü çatı ışıklığı

Çizelge 3.5. 21. Eylül açık gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Eylül–Saat 09:00 Açık Gökyüzü		Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Eylül–Saat 12:00 Açık Gökyüzü		Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Eylül–Saat 15:00 Açık Gökyüzü	
1 Nolu Alan	H	F	G	D	G	E
	H	E	F	D	F	E
	H	E	E	D	F	E
	H	E	E	D	F	E
	G	E	E	D	F	E
	F	E	E	D	F	D
	F	D	E	D	F	D
	F	D	E	C	E	D
	F	D	D	A	E	A
2 Nolu Alan	D		D		E	
	D		D		E	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		C		D	
	C		C		D	
	C		C		D	
	B		C		D	
3 Nolu Alan	H	D	H	E	G	F
	H	D	H	D	G	E
	G	D	G	D	F	E
	F	D	F	D	F	E
	F	D	F	D	F	E
	F	D	E	D	F	D
	E	C	E	C	F	D
	D	C	E	C	F	C
	D	A	E	B	F	A
4 Nolu Alan	F		H		F	
	F		H		E	
	E		D		E	
	E		D		E	
	E		D		E	
	D		D		E	
	D		D		D	

EK-3 (Devam) Tek katmanlı çift yönlü çatı ışıklığı

Çizelge 3.6. 21. Eylül bulutlu gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Eylül–Saat 09:00 Bulutlu Gökyüzü		Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Eylül–Saat 12:00 Bulutlu Gökyüzü		Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Eylül–Saat 15:00 Bulutlu Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	D	G	D	G	D
	F	D	G	D	F	D
	F	B	F	C	E	B
	E	B	E	B	D	A
	E	A	E	A	D	A
	D	A	E	A	D	A
	D	A	D	A	D	A
	D	A	D	A	D	A
	D	A	D	A	D	A
2 Nolu Alan	D		E		D	
	D		E		D	
	C		C		C	
	C		C		C	
	B		B		B	
	B		B		A	
	A		B		A	
	A		B		A	
3 Nolu Alan	G	D	G	E	H	D
	F	D	F	D	H	D
	F	D	F	D	G	D
	E	C	F	D	E	C
	E	C	E	D	E	C
	E	C	E	D	E	C
	E	C	E	C	D	C
	D	A	E	B	D	A
	D	A	E	A	D	A
4 Nolu Alan	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	C		D		C	

EK-3 (Devam) Tek katmanlı çift yönlü çatı ışıklığı

Çizelge 3.7. 21. Aralık açık gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Aralık–Saat 09:00 Açık Gökyüzü		Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Aralık–Saat 12:00 Açık Gökyüzü		Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Aralık–Saat 15:00 Açık Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	D	G	E	F	D
	F	D	F	E	E	D
	E	D	F	E	E	D
	E	D	F	E	E	D
	E	D	E	E	D	C
	E	D	E	E	D	A
	E	D	E	D	D	A
	E	A	E	D	D	A
	E	A	E	A	D	A
2 Nolu Alan	F		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	C		D		D	
	C		C		D	
	B		C		D	
	B		C		C	
3 Nolu Alan	H	E	H	D	H	D
	H	E	H	D	H	D
	H	D	G	D	F	D
	H	D	G	D	E	D
	H	D	F	D	E	D
	F	D	F	D	E	D
	F	C	F	C	E	C
	E	C	E	C	E	B
	E	C	E	C	D	B
4 Nolu Alan	E		F		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	C		D		D	

EK-3 (Devam) Tek katmanlı çift yönlü çatı ışıklığı

Çizelge 3.8. 21. Aralık bulutlu gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Aralık–Saat 09:00 Bulutlu Gökyüzü		Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Aralık–Saat 12:00 Bulutlu Gökyüzü		Tek Katmanlı Çift Yönlü 21 Aralık–Saat 15:00 Bulutlu Gökyüzü	
1 Nolu Alan	F	C	G	D	F	C
	E	C	F	C	E	B
	D	A	E	B	D	A
	D	A	D	A	D	A
	D	A	D	A	D	A
	D	A	D	A	D	A
	D	A	D	A	C	A
	D	A	D	A	C	A
	C	A	D	A	C	A
2 Nolu Alan	D		D		C	
	D		D		C	
	B		C		A	
	A		B		A	
	A		A		A	
	A		A		A	
	A		A		A	
	A		A		A	
3 Nolu Alan	F	D	G	D	F	C
	E	D	F	D	D	C
	E	C	F	D	D	C
	D	B	E	C	D	B
	D	B	D	C	D	B
	D	B	D	C	D	B
	D	B	D	B	D	A
	D	A	D	A	C	A
	D	A	D	A	C	A
4 Nolu Alan	D		D		C	
	C		D		C	
	C		D		C	
	C		D		C	
	C		D		C	
	C		D		C	
	B		B		B	

EK-4 Sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı ışıklığı

Çizelge 4.1. 21. Mart açık gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	SGKSÇK 21 Mart–Saat 09:00 Açık Gökyüzü		SGKSÇK 21 Mart–Saat 12:00 Açık Gökyüzü		SGKSÇK 21 Mart–Saat 15:00 Açık Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	E	G	E	G	E
	F	E	G	E	F	D
	F	E	F	E	F	D
	E	E	F	E	F	D
	E	D	F	E	E	D
	E	D	F	D	E	D
	E	D	F	D	E	D
	E	C	F	C	E	A
	E	A	F	A	E	A
2 Nolu Alan	D		D		D	
	C		D		D	
	C		D		D	
	C		D		D	
	C		C		D	
	C		C		D	
	B		C		D	
	B		C		C	
3 Nolu Alan	H	D	H	E	G	E
	H	D	H	E	G	E
	G	D	H	D	F	E
	F	D	H	D	F	E
	F	D	G	D	F	D
	E	D	F	D	F	D
	E	D	F	D	F	D
	E	D	E	D	F	C
	D	A	E	B	E	A
4 Nolu Alan	E		E		E	
	E		E		E	
	E		E		E	
	D		E		E	
	D		E		D	
	D		E		D	
	D		D		D	

EK-4 (Devam) Sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı ışıklığı

Çizelge 4.2. 21. Mart bulutlu gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	SGKSÇK 21 Mart–Saat 09:00 Bulutlu Gökyüzü		SGKSÇK 21 Mart–Saat 12:00 Bulutlu Gökyüzü		SGKSÇK 21 Mart–Saat 15:00 Bulutlu Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	D	G	E	G	D
	F	D	G	E	F	D
	F	D	F	E	F	D
	E	D	F	D	E	D
	E	D	F	D	E	D
	E	D	F	D	E	D
	E	D	F	D	E	D
	E	A	E	A	D	A
	D	A	E	A	D	A
2 Nolu Alan	D		D		D	
	C		C		C	
	B		C		B	
	B		C		B	
	B		C		B	
	B		B		A	
	A		B		A	
	A		B		A	
3 Nolu Alan	G	E	G	E	G	E
	F	E	F	E	F	E
	F	D	F	E	F	D
	F	D	F	E	E	D
	E	D	F	E	E	D
	E	D	F	E	E	D
	E	D	F	D	E	D
	E	A	F	B	E	A
	E	A	F	A	E	A
4 Nolu Alan	E		F		E	
	E		E		E	
	E		E		E	
	D		E		D	
	D		E		D	
	D		E		D	
	D		E		D	

EK-4 (Devam) Sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı ışıklığı

Çizelge 4.3. 21. Haziran açık gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	SGKSÇK 21 Haziran–Saat 09:00 Açık Gökyüzü		SGKSÇK 21 Haziran–Saat 12:00 Açık Gökyüzü		SGKSÇK 21 Haziran–Saat 15:00 Açık Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	E	G	E	G	D
	F	E	G	E	F	D
	F	E	G	E	F	D
	E	D	G	E	F	D
	E	D	G	E	E	D
	E	D	G	D	E	D
	E	D	F	D	E	D
	E	C	F	A	E	C
	E	A	F	A	E	A
2 Nolu Alan	D		D		D	
	C		D		D	
	C		D		D	
	C		C		D	
	C		C		D	
	C		C		D	
	B		C		C	
	B		C		C	
3 Nolu Alan	H	D	G	E	G	E
	H	D	G	E	F	E
	G	D	G	E	F	E
	F	D	G	E	F	E
	E	D	G	E	F	E
	E	D	G	D	F	E
	E	D	F	D	F	D
	E	D	F	B	F	D
	D	A	E	A	F	C
4 Nolu Alan	E		G		F	
	E		G		E	
	E		G		E	
	D		G		E	
	D		E		E	
	D		E		E	
	D		D		E	

EK-4 (Devam) Sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı ışıklığı

Çizelge 4.4. 21. Haziran bulutlu gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	SGKSÇK 21 Haziran–Saat 09:00 Bulutlu Gökyüzü		SGKSÇK 21 Haziran–Saat 12:00 Bulutlu Gökyüzü		SGKSÇK 21 Haziran–Saat 15:00 Bulutlu Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	E	G	E	G	E
	G	E	G	E	F	E
	F	E	F	E	F	E
	F	D	F	E	F	D
	F	D	F	E	F	D
	F	D	F	E	F	D
	F	D	F	D	F	D
	E	A	F	A	E	A
	E	A	E	A	E	A
2 Nolu Alan	D		D		D	
	C		C		C	
	C		C		C	
	C		C		C	
	C		C		C	
	B		C		B	
	B		C		B	
	B		C		B	
3 Nolu Alan	G	E	G	F	G	E
	F	E	G	F	F	E
	F	E	G	F	F	E
	F	E	F	E	F	E
	F	E	F	E	F	E
	F	E	F	E	F	E
	F	D	F	E	E	D
	F	B	F	B	E	B
	F	A	F	A	E	A
4 Nolu Alan	F		F		F	
	E		F		E	
	E		F		E	
	E		F		E	
	E		E		E	
	E		E		E	
	E		E		E	

EK-4 (Devam) Sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı ışıklığı

Çizelge 4.5. 21. Eylül açık gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	SGKSÇK 21 Eylül–Saat 09:00 Açık Gökyüzü		SGKSÇK 21 Eylül–Saat 12:00 Açık Gökyüzü		SGKSÇK 21 Eylül–Saat 15:00 Açık Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	E	G	E	G	D
	F	E	F	E	F	D
	F	E	F	E	F	D
	E	E	F	E	E	D
	E	D	F	E	E	D
	E	D	F	D	E	D
	E	D	F	D	E	D
	E	C	F	C	E	C
	E	B	E	A	E	A
2 Nolu Alan	G		D		D	
	G		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		C		D	
	D		C		D	
	C		C		D	
	B		C		C	
3 Nolu Alan	H	D	H	E	G	E
	H	D	H	E	G	E
	G	D	G	D	F	E
	F	D	F	D	F	E
	E	D	F	D	F	D
	E	D	F	D	F	D
	E	D	E	D	F	D
	D	C	E	B	E	C
	D	A	E	B	E	A
4 Nolu Alan	E		E		F	
	E		E		E	
	E		E		E	
	D		E		E	
	D		E		D	
	D		E		D	
	D		D		D	

EK-4 (Devam) Sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı ışıklığı

Çizelge 4.6. 21. Eylül bulutlu gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	SGKSÇK 21 Eylül–Saat 09:00 Bulutlu Gökyüzü		SGKSÇK 21 Eylül–Saat 12:00 Bulutlu Gökyüzü		SGKSÇK 21 Eylül–Saat 15:00 Bulutlu Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	D	G	E	G	D
	F	D	G	E	F	D
	F	D	F	E	E	D
	E	D	F	D	E	D
	E	D	F	D	E	D
	E	D	F	D	E	D
	E	D	F	D	E	D
	E	A	E	A	D	A
	D	A	E	A	D	A
2 Nolu Alan	D		D		D	
	C		C		C	
	B		C		B	
	B		C		B	
	B		C		B	
	B		B		A	
	B		B		A	
	B		B		A	
3 Nolu Alan	G	E	G	E	G	E
	F	E	F	E	F	E
	F	E	F	E	F	D
	F	E	F	E	E	D
	E	D	F	E	E	D
	E	D	F	E	E	D
	E	D	F	D	E	D
	E	A	F	B	E	A
	E	A	F	A	E	A
4 Nolu Alan	E		F		E	
	E		E		E	
	E		E		E	
	E		E		D	
	E		E		D	
	D		E		D	
	D		E		D	

EK-4 (Devam) Sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı ışıklığı

Çizelge 4.7. 21. Aralık açık gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	SGKSÇK 21 Aralık–Saat 09:00 Açık Gökyüzü		SGKSÇK 21 Aralık–Saat 12:00 Açık Gökyüzü		SGKSÇK 21 Aralık–Saat 15:00 Açık Gökyüzü	
1 Nolu Alan	F	D	F	E	F	D
	E	D	F	E	E	D
	E	D	F	E	E	D
	E	D	E	E	E	D
	D	D	E	D	E	D
	D	D	E	D	E	D
	D	C	E	D	D	C
	D	B	E	C	D	B
	D	A	E	A	D	A
2 Nolu Alan	G		D		D	
	C		C		D	
	C		C		D	
	C		C		D	
	B		C		D	
	B		C		D	
	B		C		B	
	B		C		B	
3 Nolu Alan	H	E	H	E	H	D
	H	E	H	D	H	D
	H	D	G	D	F	D
	H	D	G	D	E	D
	H	D	G	D	E	D
	G	D	F	D	E	D
	F	D	F	D	E	C
	E	C	E	D	E	B
	E	C	E	C	E	B
4 Nolu Alan	E		E		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	

EK-4 (Devam) Sabit güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı ışıklığı

Çizelge 4.8. 21. Aralık bulutlu gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	SGKSÇK 21 Aralık–Saat 09:00 Bulutlu Gökyüzü		SGKSÇK 21 Aralık–Saat 12:00 Bulutlu Gökyüzü		SGKSÇK 21 Aralık–Saat 15:00 Bulutlu Gökyüzü	
1 Nolu Alan	F	D	G	D	F	C
	E	D	F	D	E	C
	D	D	E	D	D	C
	D	C	E	D	D	C
	D	C	E	D	D	C
	D	C	E	D	D	C
	D	C	E	D	D	C
	D	A	D	A	D	A
	D	A	D	A	C	A
2 Nolu Alan	C		C		B	
	A		B		A	
	A		B		A	
	A		B		A	
	A		B		A	
	A		A		A	
	A		A		A	
	A		A		A	
3 Nolu Alan	F	D	G	D	F	D
	E	D	F	D	D	D
	E	D	F	D	D	D
	D	D	E	D	D	D
	D	D	E	D	D	D
	D	D	E	D	D	D
	D	D	E	D	D	C
	D	A	E	A	D	A
	D	A	D	A	D	A
4 Nolu Alan	D		E		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		C	

EK-5 Güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı çatı ışıklığı

Çizelge 5.1. 21. Mart açık gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	GKSOÇK 21 Mart–Saat 09:00 Açık Gökyüzü		GKSOÇK 21 Mart–Saat 12:00 Açık Gökyüzü		GKSOÇK 21 Mart–Saat 15:00 Açık Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	F	G	G	G	E
	F	F	G	G	G	E
	F	F	G	F	F	E
	F	E	G	F	F	E
	F	E	G	F	F	E
	F	E	G	F	F	E
	F	E	G	F	F	D
	F	D	G	E	F	D
	F	A	G	B	F	A
2 Nolu Alan	G		D		E	
	G		D		D	
	F		D		D	
	F		D		D	
	F		D		D	
	F		D		D	
	D		D		D	
	D		C		B	
3 Nolu Alan	H	E	H	F	G	F
	H	E	H	F	G	F
	G	E	H	F	G	F
	F	E	G	E	G	E
	F	E	G	E	F	E
	F	D	G	E	F	E
	F	D	G	D	F	D
	F	D	G	D	F	D
	F	C	F	C	F	C
4 Nolu Alan	F		G		F	
	F		G		F	
	E		G		F	
	E		E		E	
	E		E		E	
	D		E		E	
	D		E		E	

EK-5 (Devam) Güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı çatı ışıklığı

Çizelge 5.2. 21. Mart bulutlu gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	GKSOÇK 21 Mart–Saat 09:00 Bulutlu Gökyüzü		GKSOÇK 21 Mart–Saat 12:00 Bulutlu Gökyüzü		GKSOÇK 21 Mart–Saat 15:00 Bulutlu Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	F	G	F	G	F
	F	F	G	F	F	F
	F	E	G	F	F	E
	F	E	F	F	F	E
	F	E	F	E	F	E
	F	E	F	E	F	D
	F	D	F	E	F	D
	F	A	F	A	F	A
	F	A	F	A	F	A
2 Nolu Alan	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		C	
	C		D		C	
	C		C		C	
	B		C		B	
3 Nolu Alan	G	F	G	F	G	F
	F	F	G	F	F	F
	F	E	G	F	F	E
	F	E	G	F	F	E
	F	E	F	E	F	E
	F	E	F	E	F	E
	F	E	F	E	F	E
	F	D	F	B	F	B
	F	A	F	A	F	A
4 Nolu Alan	F		F		F	
	F		F		E	
	E		F		E	
	E		F		E	
	E		F		E	
	E		F		E	
	E		F		E	

EK-5 (Devam) Güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı çatı ışıklığı

Çizelge 5.3. 21. Haziran açık gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	GKSOÇK 21 Haziran–Saat 09:00 Açık Gökyüzü		GKSOÇK 21 Haziran–Saat 12:00 Açık Gökyüzü		GKSOÇK 21 Haziran–Saat 15:00 Açık Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	F	G	G	G	F
	G	F	G	F	G	E
	G	F	G	F	G	E
	G	F	G	F	F	E
	G	E	G	F	F	E
	G	E	G	F	F	E
	F	E	G	E	F	D
	F	D	G	E	F	D
	F	D	G	A	F	A
2 Nolu Alan	G		D		D	
	G		D		D	
	G		D		D	
	G		D		D	
	G		D		D	
	G		D		D	
	F		D		D	
	E		C		C	
3 Nolu Alan	G	F	H	F	G	F
	G	F	H	F	G	F
	G	E	G	F	G	F
	G	E	G	F	G	F
	G	E	G	E	G	E
	F	E	G	E	F	E
	F	D	G	E	F	E
	F	D	F	C	F	D
	F	B	F	B	F	D
4 Nolu Alan	F		G		G	
	F		G		F	
	F		G		F	
	E		G		F	
	E		F		F	
	E		F		E	
	E		E		E	

EK-5 (Devam) Güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı çatı ışıklığı

Çizelge 5.4. 21. Haziran bulutlu gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	GKSOÇK 21 Haziran–Saat 09:00 Bulutlu Gökyüzü		GKSOÇK 21 Haziran–Saat 12:00 Bulutlu Gökyüzü		GKSOÇK 21 Haziran–Saat 15:00 Bulutlu Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	F	G	F	G	F
	G	F	G	F	G	F
	G	F	G	F	F	F
	F	F	G	F	F	F
	F	E	G	F	F	E
	F	E	G	F	F	E
	F	E	G	E	F	E
	F	A	F	A	F	A
	F	A	F	A	F	A
2 Nolu Alan	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	C		D		C	
	C		C		B	
3 Nolu Alan	G	F	G	G	G	F
	G	F	G	F	G	F
	G	F	G	F	G	F
	G	F	G	F	F	F
	F	E	G	F	F	E
	F	E	G	F	F	E
	F	E	G	F	F	E
	F	B	G	C	F	B
	F	A	G	B	F	A
4 Nolu Alan	F		G		F	
	F		F		F	
	F		F		F	
	F		F		F	
	F		F		F	
	F		F		F	
	F		F		F	

EK-5 (Devam) Güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı çatı ışıklığı

Çizelge 5.5. 21. Eylül açık gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	GKSOÇK 21 Eylül–Saat 09:00 Açık Gökyüzü		GKSOÇK 21 Eylül–Saat 12:00 Açık Gökyüzü		GKSOÇK 21 Eylül–Saat 15:00 Açık Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	F	G	F	G	E
	G	F	G	F	F	E
	G	F	G	F	F	E
	G	E	G	F	F	E
	G	E	G	F	F	E
	F	E	G	E	F	D
	F	E	F	E	F	D
	F	D	F	D	E	D
	F	C	F	A	E	A
2 Nolu Alan	G		D		E	
	G		D		E	
	G		D		D	
	G		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		C		B	
3 Nolu Alan	H	E	H	F	G	F
	H	E	H	F	G	F
	G	E	G	F	G	E
	F	E	G	E	G	E
	F	E	G	E	F	E
	F	D	F	E	F	D
	F	D	F	D	F	D
	F	D	F	D	F	C
	E	B	F	C	F	C
4 Nolu Alan	F		G		F	
	F		G		F	
	E		G		F	
	E		G		E	
	E		E		E	
	E		E		E	
	D		E		E	

EK-5 (Devam) Güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı çatı ışıklığı

Çizelge 5.6. 21. Eylül bulutlu gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	GKSOÇK 21 Eylül–Saat 09:00 Bulutlu Gökyüzü		GKSOÇK 21 Eylül–Saat 12:00 Bulutlu Gökyüzü		GKSOÇK 21 Eylül–Saat 15:00 Bulutlu Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	F	G	F	G	E
	F	F	G	F	F	E
	F	E	G	F	F	E
	F	E	F	F	F	E
	F	E	F	E	F	E
	F	E	F	E	F	D
	F	E	F	E	F	D
	F	A	F	A	E	A
	F	A	F	A	E	A
2 Nolu Alan	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		C	
	D		D		C	
	C		D		C	
	C		C		C	
	B		C		B	
3 Nolu Alan	G	F	G	F	G	F
	F	F	G	F	F	F
	F	F	G	F	F	E
	F	E	G	F	F	E
	F	E	F	E	F	E
	F	E	F	E	F	E
	F	E	F	E	F	D
	F	B	F	B	F	B
	F	A	F	A	F	A
4 Nolu Alan	F		F		F	
	F		F		E	
	F		F		E	
	F		F		E	
	E		F		E	
	E		F		E	
	E		F		E	

EK-5 (Devam) Güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı çatı ışıklığı

Çizelge 5.7. 21. Aralık açık gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	GKSOÇK 21 Aralık–Saat 09:00 Açık Gökyüzü		GKSOÇK 21 Aralık–Saat 12:00 Açık Gökyüzü		GKSOÇK 21 Aralık–Saat 15:00 Açık Gökyüzü	
1 Nolu Alan	F	E	G	F	F	D
	F	E	G	F	E	D
	E	D	G	E	E	D
	E	D	G	E	E	D
	E	D	G	E	E	D
	E	D	F	E	E	D
	E	D	F	D	E	D
	E	D	F	D	D	A
	E	B	F	A	D	A
2 Nolu Alan	G		D		D	
	D		D		D	
	C		D		D	
	C		D		D	
	C		D		D	
	C		D		C	
	C		C		C	
	C		C		B	
3 Nolu Alan	H	E	H	E	H	E
	H	E	H	E	H	D
	H	D	G	E	F	D
	H	D	G	E	F	D
	H	D	G	D	F	D
	F	D	F	D	E	D
	F	D	F	D	E	D
	F	D	F	D	E	B
	E	D	F	B	E	B
4 Nolu Alan	E		F		D	
	E		F		D	
	D		E		D	
	D		E		D	
	D		E		D	
	D		E		D	
	D		D		D	

EK-5 (Devam) Güneş kırıcılara sahip olmayan çift katmanlı çatı ışıklığı

Çizelge 5.8. 21. Aralık bulutlu gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	GKSOÇK 21 Aralık–Saat 09:00 Bulutlu Gökyüzü		GKSOÇK 21 Aralık–Saat 12:00 Bulutlu Gökyüzü		GKSOÇK 21 Aralık–Saat 15:00 Bulutlu Gökyüzü	
1 Nolu Alan	F	D	G	E	F	D
	E	D	F	E	E	D
	E	D	F	E	E	D
	E	D	F	E	D	D
	E	D	F	D	D	D
	E	D	F	D	D	D
	E	D	E	D	D	D
	D	A	E	A	D	A
	D	A	E	A	D	A
2 Nolu Alan	C		D		C	
	C		D		C	
	C		D		C	
	C		C		B	
	C		C		B	
	B		C		B	
	A		B		A	
	A		B		A	
3 Nolu Alan	F	D	G	E	F	D
	E	D	F	E	E	D
	E	D	F	E	E	D
	E	D	F	E	D	D
	E	D	F	D	D	D
	E	D	F	D	D	D
	E	D	F	D	D	D
	E	A	F	A	D	A
	E	A	F	A	D	A
4 Nolu Alan	E		F		D	
	D		E		D	
	D		E		D	
	D		E		D	
	D		E		D	
	D		E		D	
	D		E		D	

EK-6 Öneri sistem; Hareketli güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı

Çizelge 6.1. 21. Mart açık gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Öneri Sistem 21 Mart–Saat 09:00 Açık Gökyüzü		Öneri Sistem 21 Mart–Saat 12:00 Açık Gökyüzü		Öneri Sistem 21 Mart–Saat 15:00 Açık Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	E	G	E	F	D
	F	D	E	E	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	C
	E	D	E	D	D	C
2 Nolu Alan	E		E		E	
	E		E		E	
	E		E		E	
	E		E		E	
	E		E		D	
	E		E		D	
	D		E		D	
	C		D		C	
3 Nolu Alan	G	E	G	E	E	D
	E	E	E	E	E	D
	E	D	E	E	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	C
	E	D	E	C	D	B
4 Nolu Alan	E		E		E	
	E		E		E	
	E		E		E	
	E		E		D	
	E		E		D	
	D		E		D	
	D		E		D	

EK-6 (Devam) Öneri sistem; Hareketli güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı

Çizelge 6.2. 21. Mart bulutlu gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Öneri Sistem 21 Mart–Saat 09:00 Bulutlu Gökyüzü		Öneri Sistem 21 Mart–Saat 12:00 Bulutlu Gökyüzü		Öneri Sistem 21 Mart–Saat 15:00 Bulutlu Gökyüzü	
1 Nolu Alan	F	D	E	E	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	D	D
	E	C	E	C	D	C
	E	C	E	C	D	C
	D	C	E	C	D	B
	D	B	E	B	D	B
	D	A	E	B	D	A
2 Nolu Alan	E		E		E	
	E		E		E	
	D		E		D	
	D		E		D	
	D		D		D	
	C		D		D	
	C		D		B	
	B		C		B	
3 Nolu Alan	F	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	C	E	D	E	C
	E	C	E	C	E	B
	E	B	E	C	D	B
	E	B	E	C	D	B
	D	B	E	B	D	A
	D	A	E	B	D	A
4 Nolu Alan	E		E		E	
	E		E		E	
	E		E		D	
	E		E		D	
	D		E		D	
	D		E		D	
	C		D		C	

EK-6 (Devam) Öneri sistem; Hareketli güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı

Çizelge 6.3. 21. Haziran açık gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Öneri Sistem 21 Haziran–Saat 09:00 Açık Gökyüzü		Öneri Sistem 21 Haziran–Saat 12:00 Açık Gökyüzü		Öneri Sistem 21 Haziran–Saat 15:00 Açık Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	E	G	E	E	D
	E	E	E	E	E	D
	E	D	E	E	E	D
	E	D	E	E	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	C	E	C	D	B
2 Nolu Alan	E		E		E	
	E		E		E	
	E		E		E	
	E		E		E	
	E		E		E	
	E		E		D	
	D		E		D	
	C		E		B	
3 Nolu Alan	H	E	E	E	F	D
	E	D	E	E	E	D
	E	D	E	E	E	D
	E	D	E	E	E	D
	E	D	E	E	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	D	C
4 Nolu Alan	E		E		E	
	E		E		E	
	E		E		E	
	E		E		E	
	E		E		D	
	E		E		D	
	D		E		D	

EK-6 (Devam) Öneri sistem; Hareketli güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı

Çizelge 6.4. 21. Haziran bulutlu gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Öneri Sistem 21 Haziran–Saat 09:00 Bulutlu Gökyüzü		Öneri Sistem 21 Haziran–Saat 12:00 Bulutlu Gökyüzü		Öneri Sistem 21 Haziran–Saat 15:00 Bulutlu Gökyüzü	
1 Nolu Alan	F	D	E	E	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	C	E	D	E	C
	E	C	E	D	D	C
	E	B	E	C	D	B
	D	B	E	C	D	B
	D	B	E	B	D	A
2 Nolu Alan	E		E		E	
	E		E		E	
	E		E		D	
	D		E		D	
	D		D		D	
	C		D		D	
	B		D		D	
	B		C		D	
3 Nolu Alan	E	D	E	E	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	C	E	D	D	C
	E	C	E	C	D	B
	D	B	E	C	D	B
	D	B	E	C	D	A
4 Nolu Alan	E		E		E	
	E		E		D	
	E		E		D	
	E		E		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	C		D		D	

EK-6 (Devam) Öneri sistem; Hareketli güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı

Çizelge 6.5. 21. Eylül açık gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Öneri Sistem 21 Eylül–Saat 09:00 Açık Gökyüzü		Öneri Sistem 21 Eylül–Saat 12:00 Açık Gökyüzü		Öneri Sistem 21 Eylül–Saat 15:00 Açık Gökyüzü	
1 Nolu Alan	F	D	G	E	E	D
	E	D	E	E	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	D	D
	E	D	E	D	D	D
	D	B	E	D	D	B
2 Nolu Alan	E		E		E	
	E		E		E	
	E		E		D	
	E		E		D	
	D		E		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	C		D		B	
3 Nolu Alan	E	D	E	E	F	D
	E	D	E	E	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	D	C	E	D	E	D
	D	B	E	C	E	B
4 Nolu Alan	E		E		E	
	E		E		D	
	D		E		D	
	D		E		D	
	D		E		D	
	D		D		D	
	D		D		D	

EK-6 (Devam) Öneri sistem; Hareketli güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı

Çizelge 6.6. 21. Eylül bulutlu gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

Ölçüm Yapılan Alan	Öneri Sistem 21 Eylül–Saat 09:00 Bulutlu Gökyüzü		Öneri Sistem 21 Eylül–Saat 12:00 Bulutlu Gökyüzü		Öneri Sistem 21 Eylül–Saat 15:00 Bulutlu Gökyüzü	
1 Nolu Alan	G	D	E	E	E	D
	E	D	E	E	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	C	E	D	E	D
	E	C	E	C	E	D
	E	C	E	B	E	C
	D	B	E	B	E	B
2 Nolu Alan	E		E		E	
	E		E		E	
	E		E		D	
	D		E		D	
	D		E		D	
	C		D		D	
	C		D		D	
	C		C		B	
3 Nolu Alan	E	D	E	E	E	D
	E	D	E	E	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	C	E	D
	E	C	E	C	D	C
	E	B	E	B	D	B
	D	B	E	B	D	B
	D	B	E	B	D	B
4 Nolu Alan	E		E		E	
	E		E		D	
	E		E		D	
	E		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	C		D		D	

EK-6 (Devam) Öneri sistem; Hareketli güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı

Çizelge 6.7. 21. Aralık açık gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

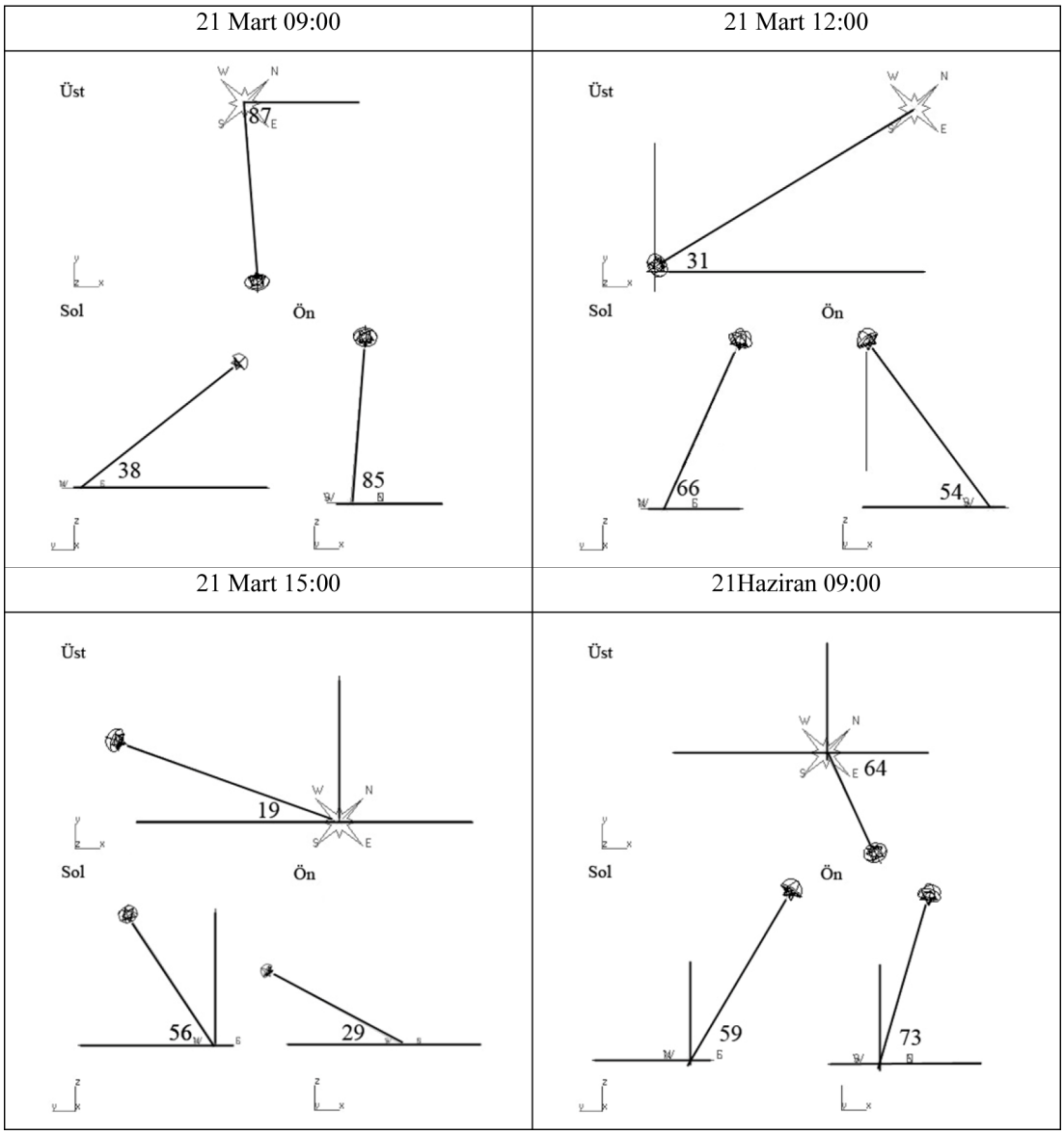
Ölçüm Yapılan Alan	Öneri Sistem 21 Aralık–Saat 09:00 Açık Gökyüzü		Öneri Sistem 21 Aralık–Saat 12:00 Açık Gökyüzü		Öneri Sistem 21 Aralık–Saat 15:00 Açık Gökyüzü	
1 Nolu Alan	F	D	G	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	C	E	D	D	C
	D	B	E	D	D	B
	D	B	E	C	D	B
2 Nolu Alan	E		E		E	
	E		E		E	
	E		E		D	
	D		E		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	C		D		D	
	B		C		B	
3 Nolu Alan	E	D	E	E	E	D
	E	D	E	E	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	C	E	C	D	C
	E	C	E	C	D	B
	D	C	E	C	D	B
4 Nolu Alan	E		E			D
	E		E			D
	D		E			D
	D		E			D
	D		D			D
	D		D			D
	D		D			D

EK-6 (Devam) Öneri sistem; Hareketli güneş kırıcılara sahip çift katmanlı çatı

Çizelge 6.8. 21. Aralık bulutlu gökyüzü için yapılan bilgisayar simülasyonlarında elde edilen aydınlık düzeyi aralıkları

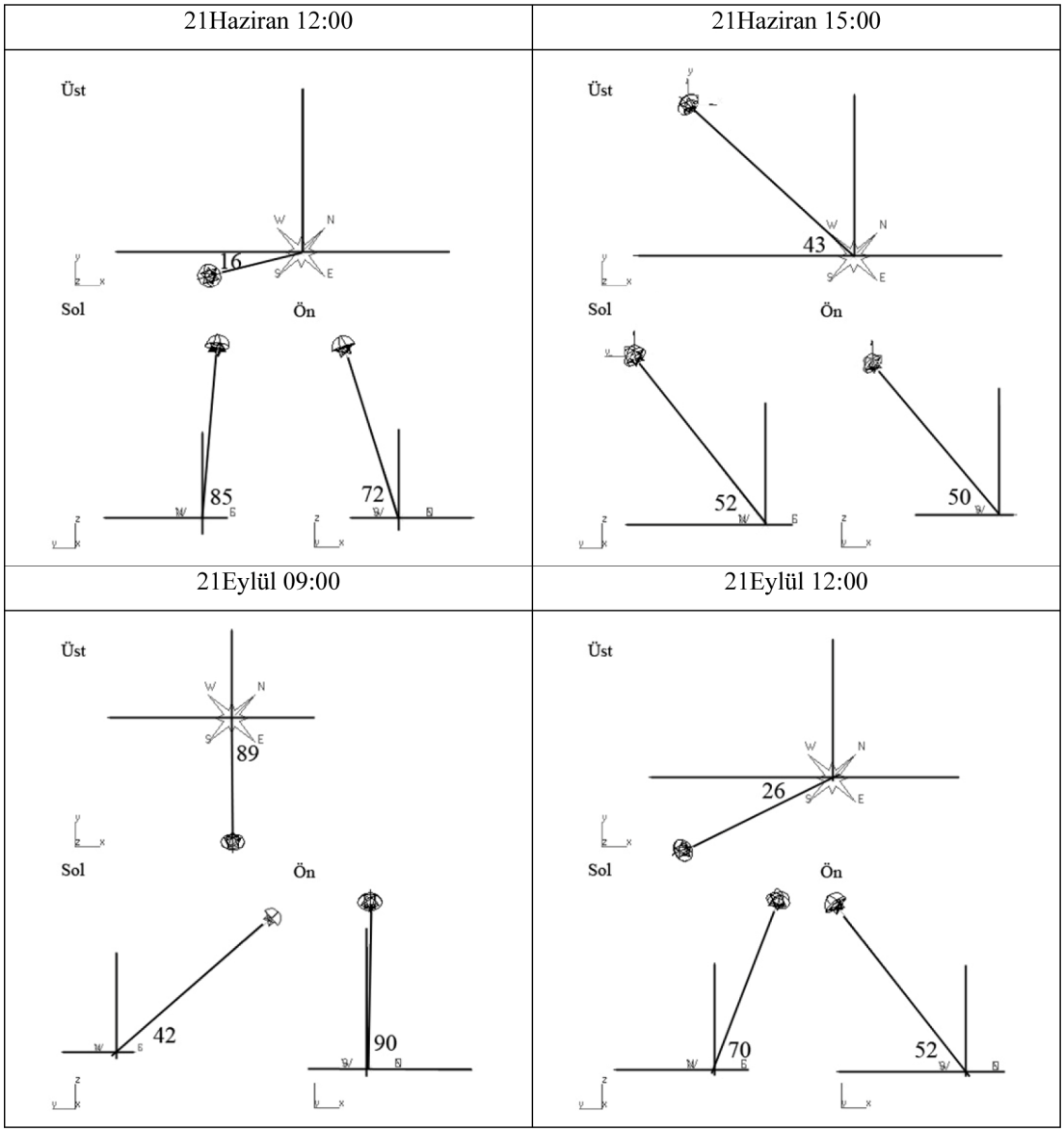
Ölçüm Yapılan Alan	Öneri Sistem 21 Aralık–Saat 09:00 Bulutlu Gökyüzü		Öneri Sistem 21 Aralık–Saat 12:00 Bulutlu Gökyüzü		Öneri Sistem 21 Aralık–Saat 15:00 Bulutlu Gökyüzü	
1 Nolu Alan	F	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	C
	E	D	E	D	D	C
	E	C	E	C	D	B
	D	B	E	C	D	B
	D	B	E	C	D	B
	D	B	E	B	D	B
	D	A	D	B	D	A
2 Nolu Alan	E		E		D	
	D		E		D	
	D		E		D	
	D		D		D	
	C		D		C	
	C		D		B	
	B		C		B	
	A		B		A	
3 Nolu Alan	F	D	G	D	E	D
	E	D	E	D	E	D
	E	D	E	D	E	C
	E	D	E	D	E	C
	E	C	E	D	E	B
	E	C	E	C	D	B
	D	B	E	C	D	B
	D	B	E	B	D	A
	D	A	E	B	D	A
4 Nolu Alan	E		E		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	D		D		D	
	B		D		B	

EK-7 Ankara için belirli gün ve saatler için güneşin gökyüzündeki konumu [15].



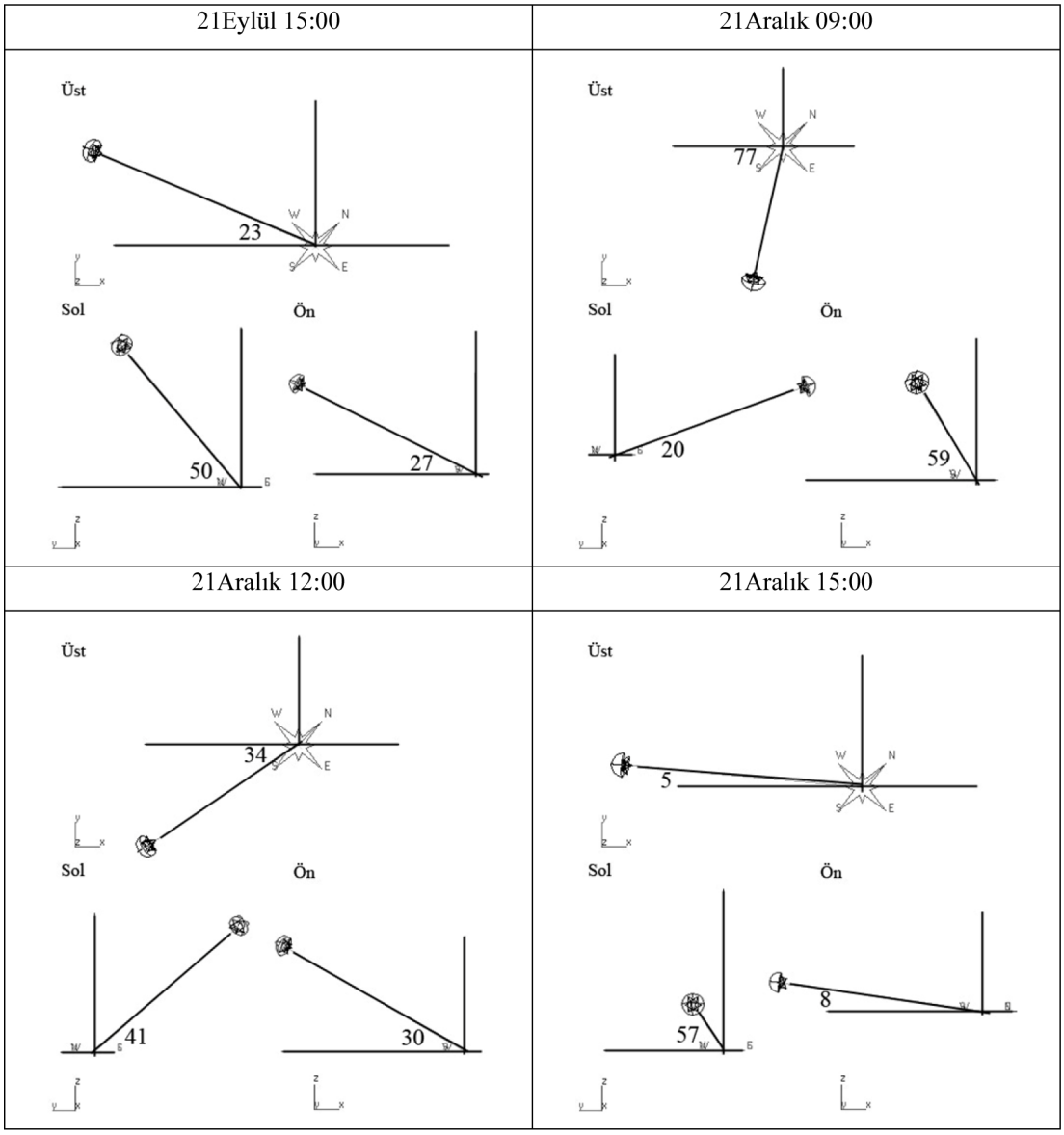
Şekil 7.1. Ankara için güneşin gökyüzündeki konumu [15].

EK-7 (Devam) Ankara için belirli gün ve saatler için güneşin gökyüzündeki konumu [15].



Şekil 7.1. (Devam) Ankara için güneşin gökyüzündeki konumu [15].

EK-7 (Devam) Ankara için belirli gün ve saatler için güneşin gökyüzündeki konumu [15].



Şekil 7.1. (Devam) Ankara için güneşin gökyüzündeki konumu [15].

EK-8 D.M.İ.G.M’ ne göre Ankara için ortalama aylık güneşlenme süreleri [59].

Çizelge 8.1. Ankara için ortalama aylık güneşlenme süreleri [59].

	ocak	şubat	mart	nisan	mayıs	haziran	temmuz	ağustos	eylül	ekim	kasım	aralık
1975	1,9	2,4	6,1	5,6	7,5	9,9	12,0	10,9	10,1	6,8	4,8	2,0
1976	2,1	6,0	5,9	6,4	8,4	10,7	12,4	10,9	9,6	5,6	5,1	2,7
1977	3,7	4,9	5,9	6,5	10,0	10,4	12,4	11,7	8,3	7,4	6,0	3,0
1978	1,7	4,0	4,8	5,7	10,1	12,2	12,5	11,4	9,5	6,7	7,0	2,7
1979	2,3	4,3	6,3	6,6	7,5	11,3	11,9	11,3	9,9	4,8	4,7	3,1
1980	2,7	3,2	4,7	6,1	8,2	10,7	12,2	11,3	9,0	6,5	4,7	2,8
1981	1,9	2,2	6,0	8,0	8,8	10,0	11,5	11,5	10,0	8,3	4,3	1,7
1982	2,8	4,1	5,2	5,8	9,3	10,3	10,1	10,2	9,6	7,3	4,4	2,9
1983	1,6	3,6	5,4	6,2	8,0	10,2	9,4	10,5	9,3	6,3	2,7	2,1
1984	2,0	3,7	3,6	4,8	9,0	10,6	10,3	10,0	10,1	8,5	4,1	2,7
1985	1,9	2,4	5,1	6,3	8,6	11,0	11,4	11,4	10,2	5,7	2,7	2,5
1986	2,0	2,0	7,5	8,7	7,5	9,8	12,0	10,9	9,2	7,7	4,4	2,8
1987	2,6	4,8	4,7	6,3	8,1	10,1	11,6	10,9	10,3	6,2	4,0	1,8
1988	2,8	4,6	4,3	6,3	8,4	9,4	10,6	11,3	9,0	4,4	3,2	2,1
1989	4,3	5,4	6,9	7,5	8,4	10,3	11,1	11,0	9,7	6,4	3,7	1,6
1990	2,7	4,5	8,1	6,3	7,5	9,8	10,6	10,5	8,9	7,2	4,9	3,3
1991	2,8	2,2	5,6	4,3	7,0	9,8	11,0	10,5	8,9	5,2	3,4	1,3
1992	2,4	4,8	4,2	7,5	8,4	8,4	9,8	11,1	9,7	6,8	4,0	1,0
1993	2,1	3,3	5,5	6,4	7,9	10,6	12,5	11,0	10,1	8,3	4,0	2,8
1994	3,2	3,8	6,0	8,4	9,0	12,4	11,3	11,0	9,7	6,3	3,9	1,9
1995	2,9	6,5	5,3	5,9	9,9	10,4	10,2	11,1	9,2	7,0	2,6	2,0
1996	2,1	3,3	3,0	6,1	9,5	11,6	11,8	10,9	8,1	5,9	6,1	1,8
1997	4,0	4,9	6,0	4,7	9,6	9,7	11,7	9,2	9,4	5,1	4,3	2,3
1998	3,7	6,2	5,0	6,1	6,8	10,1	12,4	12,0	8,6	7,9	4,3	1,8
1999	2,7	3,3	5,9	8,3	10,3	8,4	11,7	10,1	9,5	6,0	5,2	3,6
2000	2,2	3,5	7,2	5,7	8,9	10,2	12,9	10,8	9,4	6,9	6,2	2,3
2001	3,3	4,1	6,2	7,9	7,9	12,2	11,1	10,4	9,7	7,5	3,7	1,4
2002	2,2	5,9	6,0	5,6	10,1	9,8	10,2	10,2	8,2	6,9	4,6	2,4
2003	2,1	2,1	5,1	5,9	9,4	12,5	11,6	11,0	8,8	6,4	5,1	2,2
2004	1,7	4,3	6,5	7,1	9,0	10,1	12,1	10,7	10,3	7,2	4,4	3,4
2005	3,0	3,7	5,6	6,6	8,1	10,9	11,7	11,2	9,1	6,6	2,8	2,8
2006	2,4	2,6	5,6	8,0	8,7	10,9	11,7	11,5	7,7	5,7		
ort	**2,6**	**3,96**	**5,6**	**6,49**	**8,62**	**10,46**	**11,43**	**10,89**	**9,35**	**6,61**	**4,36**	**2,3**
yıllık %	**3,09**	**4,79**	**6,77**	**7,85**	**10,43**	**12,65**	**13,82**	**13,17**	**11,31**	**8,00**	**5,28**	**2,84**

EK-9 Simülasyon sonuçlarını değerlendirmede kullanılan aylık güneşlenme katsayısının tüm yıla oranı (%)

Çizelge 9.1. Ankara için aylık güneşlenme katsayısının tüm yıla oranı (%) [59].

AYLAR	Aylık ortalama güneşlenme katsayısının tüm yıla oranı (%)
OCAK	3,09
ŞUBAT	4,79
MART	6,77
NİSAN	7,85
MAYIS	10,43
HAZİRAN	12,65
TEMMUZ	13,82
AĞUSTOS	13,17
EYLÜL	11,31
EKİM	8,00
KASIM	5,28
ARALIK	2,84

EK-10 Simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması için uygulanan örnek analiz yöntemi (tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklığı için yapılmış hesaplama örneği).

Bölüm 5.1, Çizelge 5.1' de görülen simülasyon sonuçlarına göre, tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklığı için 21 Mart' ta açık gök koşullarında saat 09:00, 12:00 ve 15:00' daki tüm değerlerin ortalamasına göre, toplam %61 uygun aydınlık düzeyleri oluşmaktadır. Mart ayı içerisindeki güneşlenmenin yıl boyunca toplam güneşlenmeye oranı % 6,77' dir. Bu iki oran birbirleriyle çarpılıp karşılaştırma sayısına ulaşılmıştır. Tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklığında diğer aylar için aynı işlem uygulanmış, tüm aylar için ulaşılan sonuçların ortalaması alınmıştır. Tüm katsayıların 100 ile çarpımından elde edilen sayıların ortalaması, dolaşım alanlarının % 100 uygunluk değerine sahip olduğu koşuldur. Tek katmanlı tek yönlü çatı ışıklığı için ulaşılan ortalamanın % 100 uygunluk koşuluna oranı bize katsayıya bağlı gerçek uygunluk değerini vermektedir. Yani T.K.T.Y için yapılan işlem;

(61 x 6,77) + (57 x 12,65) + (63 x 11,31) + (55x 3,09)
+
(42 x 6,77) + (49 x 12,65) + (40 x 11,31) + (20 x 3,09) = 3434,89
/ 8 = 429,4

(100 x 6,77) + (100 x 12,65) + (100 x 11,31) + (100 x 3,09)
+
(100 x 6,77) + (100 x 12,65) + (100 x 11,31) + (100 x 3,09) = 6764
/ 8 = 845,5

100 x 429,4 / 845,5 = 51

şeklindedir.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı	: ŞEN, Ahmet
Uyruğu	: T.C.
Doğum tarihi ve yeri	: 15.10.1983 Bulgaristan
Medeni hal	: Bekar
Telefon	: 0 (224) 351 38 21
Faks	: -
e-mail	: ahmetsen19@gmail.com.

Eğitim Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Mobilya ve Dekorasyon Eğt. Böl.	2005
Lise	Mimar Sinan E.M.L.	2000

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-2006	Bilgi-Kaynak Dil ve Bilgisayar Kursu	Bilgisayar Öğr.
2006-……	Işıldak Group İnş. Taah. Tic. Ltd. Şti.	Ar-Ge Proje

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Yıldırım, K., Hidayetoğlu, M.L. ve Şen, A., "Farklı Mimari Biçimlerdeki Kafe/Pastane Mekânlarının Kullanıcıların Algı-Davranışsal Performansı Üzerine Etkisi", ***Politeknik Dergisi,*** 10 (3), (2007).

Hobiler

Futbol, basketbol, sinema, bilgisayar donanımı ve 3d modelleme programları.