

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AYDINLATMA TASARIMINDA KULLANILAN
BİLGİSAYAR PROGRAMLARI ÜZERİNE BİR
İNCELEME

Mimar Zeynep ÇELEBİ

FBE Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Fiziği Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof Dr. Rengin ÜNVER, Y.T.Ü

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMA LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
GİRİŞ	1
1. AYDINLATMA TASARIMI SÜRECİ.....	2
1.1 Aydınlatma Tasarımı Sunum Teknikleri	4
1.2 Görsel Algılama, Işığın Davranışı.....	8
1.3 Kapalı Hacimlerde Işığın Davranışı	10
1.3.1 Aydınlık Düzeyi Hesabı.....	12
1.3.2 Kapalı Hacimlerde Aydınlık Düzeyi Hesabı	15
1.4 Işık Simülasyonu	18
1.4.1 Işığın Davranışlarını Modellemede Kullanılan Yöntemler.....	18
1.4.2 Işın İzleme (Ray tracing) Yöntemi	18
1.4.3 Yayınım (Radiosity) Yöntemi.....	22
2. AYDINLATMAYA YÖNELİK BİLGİSAYAR PROGRAMLARI	23
2.1 Basit Görselleştirme Yapan Aydınlatma Programları	24
2.2 İleri Görselleştirme Yapan Aydınlatma Programları	24
2.3 Işık Modellemede Kullanılan Fotometrik Aygıt Formatları	25
3. DIALux 4.3 PROGRAMI.....	26
3.1 DIALux 4.3 Programının Genel Özellikleri	27
3.2 DIALux Programının Bilgi Girişi Özellikleri	32
3.4 DIALux Programının Bilgi Çıkışı Özellikleri.....	35
3.5 3 Boyutlu Görselleştirme ve Animasyon Özellikleri	36
4. Relux 2007 PROFESSIONAL PROGRAMI.....	41
4.1 Relux Professional Programının Genel Özellikleri	42
4.2 Relux Professional Programının Bilgi Girişi Özellikleri.....	46
4.3 Relux Professional Programının Bilgi Çıkışı Özellikleri	48
4.4 3 Boyutlu Görselleştirme ve Animasyon Özellikleri	49
5. DESKTOP RADIANCE PROGRAMI.....	50
5.1 Desktop Radiance Beta 2.0 Programının Genel Özellikleri	51
5.2 Desktop Radiance Beta 2.0 Programının Kapsamı ve Bilgi Girişi Özellikleri.....	52
5.3 Desktop Radiance Beta 2.0 Programının Bilgi Çıkışı Özellikleri.....	58
5.4 3 Boyutlu Görselleştirme ve Animasyon Özellikleri	59
6. LIGHTSCAPE R3.2 PROGRAMI.....	60
6.1 Lightscape R3.2 Programının Genel Özellikleri	61

6.2	Lightscape R3.2 Programının Kapsamı ve Bilgi Girişi Özellikleri.....	64
6.3	Lightscape R3.2 Programının Bilgi Çıkışı Özellikleri	67
6.4	3 Boyutlu Görselleştirme ve Animasyon Özellikleri	69
7.	ULUSLARARASI AYDINLATMA KOMİSYONU'NUN TESTLERİ.....	71
7.1	Ölçmeye dayalı (deneysel) testler	71
7.2	Hesaba dayalı (analitik) testler.....	75
8.	CIE TESTLERİNİN UYGULANDIĞI AYDINLATMA PROGRAMLARI	81
8.1	Relux ve Lightscape Programlarının CIE Testleri Sonuçları.....	82
8.2	DIALux Programının Doğruluğunu Sınamaya Yönelik Çalışmalar	92
8.2.1	DIALux 2006 CIE Test Sonuçları.....	92
8.2.2	DIAL Laboratuvarlarından Yapılan Ölçmelere Dayalı Testler	95
9.	AYDINLATMA PROGRAMLARI İLE YAPILAN TESTLER.....	98
9.1	Yapay Aydınlik Düzeyi Testleri.....	98
9.1.1	Yapay Aydınlik Düzeyi Testleri Analitik Hesap Yöntemi ve Test Koşulları	98
9.1.2	Yapay Aydınlik Düzeyi Testleri Analitik Hesaplama ve Simülasyon Sonuçları	103
9.1.3	Yapay Aydınlik Düzeyi Testleri Analitik Hesaplama ve Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi	108
9.1.4	Yapay Aydınlik Düzeyi Testleri için Programların Ortalama Aydınlik Düzeyi Test Koşulları, Sonuçları ve Sonuçların Değerlendirilmesi	111
9.2	Doğal Aydınlik Düzeyi Testleri	114
9.2.1	Doğal Aydınlik Düzeyi Testleri Analitik Hesap Yöntemi ve Test Koşulları	115
9.2.2	Doğal Aydınlik Düzeyi Testleri Analitik Hesap ve Simülasyon Sonuçları.....	120
9.2.3	Doğal Aydınlik Düzeyi Testleri Analitik Hesap ve Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi	126
9.2.4	Doğal Aydınlik Düzeyi Testleri için Programların Test Koşulları, Sonuçları ve Değerlendirilmesi	129
9.3	Yapay Işık Kaynağı ve Yüzey Özellikleri Değişiminin Aydınlik Düzeyine Etkisi	132
9.3.1	Yüzey Özelliklerinden Yansıtma Biçimi Değişiminin Aydınlik Düzeyine Etkisi Testleri	134
9.3.2	Yüzey Özelliklerinden Yüzey Rengi Değişiminin Aydınlik Düzeyine Etkisi Testleri	140
9.3.3	Yapay Işık Kaynağı Rengi Değişiminin Aydınlik Düzeyine Etkisi Testleri	144
10.	GENEL DEĞERLENDİRME.....	145
11.	SONUÇ	151
	KAYNAKLAR.....	153
	İNTERNET KAYNAKLARI.....	156
	ÖZGEÇMİŞ.....	157

KISALTMA LİSTESİ

CIBSE	The Chartered Institution of Building Services Engineers
CIE	Commission Internationale de L'éclairage
IESNA	The Illuminating Engineering Society of North America
LBNL	Lawrence Berkeley National Laboratory

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Işık huzmelerinin beyazlaştırılmasıyla hazırlanmış sunum.....	5
Şekil 1.2 Işık huzmelerinin renklendirilmesiyle hazırlanmış sunum.....	5
Şekil 1.3 Plan ve kesit düzleminde çizim örnekleri.....	5
Şekil 1.4 Plan düzleminde aygıt yerlerini gösteren çizim örnekleri.....	6
Şekil 1.5 Eş aydınlık eğrileri ile bir düzlemde aydınlık düzeyi dağılımının gösterilmesi.....	6
Şekil 1.6 Bir iç mekan simülasyonunda aydınlık düzeyi dağılımının renklere göre gösterilmesi.....	6
Şekil 1.7 Aydınlatma tasarımına yönelik bir maket örneği [1].....	7
Şekil 1.8 Aydınlatılmış maket örneği.....	7
Şekil 1.9 Farklı ışık kaynakları altında ışık rengi değişimi.....	9
Şekil 1.10 Kapalı hacimlerde ışığın yüzeylerden yansıması.....	9
Şekil 1.11 Kapalı hacimlerde ışığın davranışı.....	10
Şekil 1.12 İç yüzeyleri türsüz bir mekanın tayfsal özellikleri farklı ışık kaynakları ile aydınlatılması [1].....	11
Şekil 1.13 Farklı nokta sayıları ile alınan hesaplama sonuçları.....	14
Şekil 1.14 Amerikan ve İngiliz yöntemi.....	17
Şekil 1.15 Zijl yöntemi.....	17
Şekil 1.16 İleri yönlü ışın izleme.....	19
Şekil 1.17 Geri yönlü ışın izleme.....	20
Şekil 1.18 Işın izleme yöntemin ve ortam ışığı ilişkisi, [6].....	21
Şekil 1.19 Yayınım yönteminin grafiksel gösterimi.....	22
Şekil 1.20 a’da parlak yeşil duvardan yansıyan ışık zeminde gözlemlenmekte, b’de ise yayınım yöntemi parlak yüzeyi dikkate almamaktadır.....	23
Şekil 3.1 DIALux 4.3 programı dxf formatı arka planda 3 boyutlu görünüm [7].....	27
Şekil 3.2 DIALux programında aydınlık düzeyi hesabı için yüzeylerin bölümlere ayrılması.....	29
Şekil 3.3 DIALux renk düzeninde ışık renkleri.....	30
Şekil 3.4 Renk filtrelerine ait teknik bilgiler.....	30
Şekil 3.5 Aynı filtrenin sodyum buharlı ve metalik halojenürlü lamba ile kullanımından elde edilen sonuçların gösterimi.....	31
Şekil 3.6 Farklı ışık kaynaklarında aynı geçirme çarpanına sahip filtre konulması ile oluşan aydınlıkların gösterimi(Soldan itibaren; akkor lamba, flüoresan 830, D65, yüksek basınçlı sodyum, metalik halojenürlü seramik, metalik halojenürlü kuvars).....	31
Şekil 3.7 DIALux 4.3 programı yüzeylerinin gösterimi.....	33
Şekil 3.8 DIALux 4.3 programı CAD penceresinde oda plan görünümü.....	33
Şekil 3.9 POV-Ray Hızlı ayar / ışın izleme için temel ayarlar.....	37
Şekil 3.10 POV-Ray ile köşe düzleme.....	38
Şekil 3.11 POV-Ray yansıtmış ışık hesaplama.....	39
Şekil 3.12 POV-Ray gri eşliği değeri gösterimi.....	40
Şekil 3.13 Aynı fotoğrafta beyaz eşitliğinin farklı değerlerinin kullanılması.....	40
Şekil 4.1 Relux hesaplama sonuçlarının AutoCAD programında sunulması.....	43
Şekil 4.2 Relux programından bir odanın CAD planına alınması.....	43
Şekil 4.3 AutoCAD programında hazırlanan bir çizimin Relux içine alınması.....	44
Şekil 4.4 AutoCAD ve Relux programlarında 3 boyutlu obje alış veriş [9].....	44
Şekil 4.5 Relux 2007 ışık renkleri.....	45
Şekil 4.6 Relux Professional çalışma yüzeyleri.....	47
Şekil 5.1 Desktop Radiance çalışma yüzeyi.....	53
Şekil 5.2 Bölge tanımlama yüzeyi.....	55
Şekil 5.3 Kamera Simülasyon diyalog kutusu.....	56
Şekil 5.4 “Kamera Simülasyon Düzenleme” diyalog kutusu.....	57

Şekil 5.5 “Çalışma Düzlemi” diyalog kutusu.....	58
Şekil 5.6 Desktop Radiance programı ile renklere göre aydınlık düzeyi dağılımı.....	59
Şekil 5.7 Desktop Radiance programı ile eş aydınlık eğrilerine göre aydınlık düzeyi dağılımı	59
Şekil 6.1 Lightscape R3.2 programı doğal ışık hesabı ayarları.....	62
Şekil 6.2 Lightscape R3.2 programı direkt kontrol ayarları.....	62
Şekil 6.3 Lightscape R3.2 programı aydınlatılmamış dış mekan görselleştirmesi.....	63
Şekil 6.4 Lightscape R3.2 programı doğal ışık ile aydınlatılmış dış mekan.....	63
Şekil 6.5 Lightscape R3.2 programı çalışma yüzeyi.	64
Şekil 6.6 Lightscape R3.2 programı malzeme özellikleri.	65
Şekil 6.7 Lightscape R3.2 programı aygıtların ışık ölçümsel özellikleri.....	66
Şekil 6.8 Lightscape R3.2 programı yüzey özellikleri.....	67
Şekil 6.9 Lightscape R3.2 programı noktada aydınlık düzeyi sonuçları.	68
Şekil 6.10 Lightscape R3.2 programı renklere göre aydınlık düzeyi sonuçları.	68
Şekil 6.11 Lightscape R3.2 programı gri değerlerine göre aydınlık düzeyi sonuçları.	69
Şekil 6.12 Lightscape R3.2 programında ışık kaynağı ve yüzey ayarları.....	70
Şekil 7.1 Test odası planında, aydınlık düzeyi ölçme noktaları ve aygıt konumları.....	72
Şekil 7.2 Yapay nokta kaynak için hesap noktalarının döşemede dağılım planı (A noktası ışık kaynağının altındadır).	77
Şekil 7.3 Mekan geometrisi ve ölçme noktalarının mekanda dağılımı.....	77
Şekil 7.4 Geometri tanımı ve ölçme noktaları.....	79
Şekil 7.5 Test geometrisi ve ölçme noktaları	79
Şekil 7.6 Dış yatay engel testi için mekan geometrisi.	79
Şekil 7.7 Dış yatay engel testi için ölçme noktaları.....	80
Şekil 7.8 Dış düşey engel testi için mekan geometrisi.....	80
Şekil 8.1 Relux ve Lightscape programları Test 3 (kompakt flüoresan ve siyah duvar) ölçme noktası 4’de alınan simülasyon sonuçları.	84
Şekil 8.2 Relux ve Lightscape programları Test1 (kompakt flüoresan ve gri duvar) ölçme noktası 4’de alınan simülasyon sonuçları.	84
Şekil 8.3 Relux ve Lightscape programları İzotrop yayınlık nokta ışık kaynağı ile alınan simülasyon sonuçları.....	85
Şekil 8.4 Relux ve Lightscape programları İzotrop yayınlık düzlem ışık kaynağı ile zemindeki ölçme noktalarında elde edilen simülasyon sonuçları.	85
Şekil 8.5 Relux ve Lightscape programları izotrop yayınlık iç yansımalar testi için simülasyon sonuçları	86
Şekil 8.6 Relux ve Lightscape programları Işık akısı korunumu testi simülasyon sonuçları.	86
Şekil 8.7 Relux ve Lightscape programları Temiz camın doğrultulu geçirme çarpanı testi sonuçları.	87
Şekil 8.8 Relux ve Lightscape programları 1m x 1m camsız tepe açıklığı – CIE açık gök, gök bileşeni simülasyon sonuçları, duvar ölçme noktalarında alınan sonuçlar.	87
Şekil 8.9 Relux ve Lightscape programları 1m x 1m camsız tepe açıklığı – CIE açık gök, gök bileşeni simülasyon sonuçları, zemin ölçme noktalarında alınan sonuçlar.....	88
Şekil 8.10 Relux ve Lightscape programları 4m x 4m camsız tepe açıklığı – CIE açık gök, gök bileşeni zemin ölçme noktalarında alınan simülasyon sonuçları	88
Şekil 8.11 Relux ve Lightscape programları 1m x 1m camlı tepe açıklığı – CIE açık gök, gök bileşeni duvar ölçme noktalarında alınan simülasyon sonuçları	89
Şekil 8.12 Relux ve Lightscape programları 1m x 1m camlı tepe açıklığı – CIE açık gök, gök bileşeni zemin ölçme noktalarında alınan simülasyon sonuçları,	89
Şekil 8.13 Relux ve Lightscape programları 6m yüksekliğinde dış düşey engel ve CIE Açık Gök ile Simülasyon Sonuçları	90
Şekil 8.14 Relux ve Lightscape programları S _{1-Hz} yüzeyindeki 50cm x 50cm mat yüzey ile birlikte izotrop yayınlık yansıma senaryosu için simülasyon sonuçları	90

Şekil 8.15 Relux ve Lightscape programları İç engellerden yayınlık yansıma testi için S1-V yüzeyindeki simülasyon sonuçları.	91
Şekil 8.16 Kompakt flüoresan – gri duvar testi 49 ölçme noktasındaki aydınlık düzeyi sonuçları.	93
Şekil 8.17 Yarı yayınlık yansıtıcı aygıt – gri duvar testi 49 ölçme noktasındaki aydınlık düzeyi sonuçları.	93
Şekil 8.18 Test mekanı koşullarının simülasyonu.	95
Şekil 9.1 H1 mekanında 9 aygıt bulunması durumu için aydınlatma düzeni.	101
Şekil 9.2 Yapay ışık testlerinde kullanılan A1 aygıtının resmi ve ışık yeğnlik diyagramı.	101
Şekil 9.3 Yapay ışık testlerinde kullanılan A1 aygıtın boyutları ve teknik çizimi.	102
Şekil 9.4 Yapay ışık testlerinde kullanılan A2 aygıtının resmi ve ışık yeğnlik diyagramı.	102
Şekil 9.5 Yapay ışık testlerinde kullanılan A2 aygıtının boyutları ve teknik çizimi.	103
Şekil 9.6 A1 tipi asimetrik tek aygıt ile H1 mekanında noktada dolaysız aydınlık düzeyleri.	103
Şekil 9.7 A1 tipi asimetrik 9 aygıt ile H1 mekanında noktada dolaysız aydınlık düzeyleri.	104
Şekil 9.8 A1 tipi asimetrik tek aygıt ile H1 mekanında noktada toplam aydınlık düzeyleri.	104
Şekil 9.9 A1 tipi asimetrik 9 aygıt ile H1 mekanında noktada toplam aydınlık düzeyleri.	105
Şekil 9.10 A2 tipi simetrik tek aygıt ile H1 mekanında noktada dolaysız aydınlık düzeyleri.	105
Şekil 9.11 A2 tipi simetrik 9 aygıt ile H1 mekanında noktada dolaysız aydınlık düzeyleri.	106
Şekil 9.12 A2 tipi simetrik tek aygıt ile H1 mekanında noktada toplam aydınlık düzeyleri.	106
Şekil 9.13 A2 tipi simetrik 9 aygıt ile H1 mekanında noktada toplam aydınlık düzeyleri.	107
Şekil 9.14 H2 mekanında 20 aygıt bulunması durumu için aydınlatma düzeni.	112
Şekil 9.15 H3 mekanında 36 aygıt bulunması durumu için aydınlatma düzeni.	112
Şekil 9.16 H4 mekanında 121 aygıt bulunması durumu için aydınlatma düzeni.	113
Şekil 9.17 H5 mekanında 242 aygıt bulunması durumu için aydınlatma düzeni.	113
Şekil 9.18 H6 mekanında 19 aygıt bulunması durumu için aydınlatma düzeni.	114
Şekil 9.19 Gözleme noktasından görülen gök parçasının tanımlayan açılar.	117
Şekil 9.20 H1 mekanında 21 Aralık 09:00’da noktada toplam aydınlık düzeyleri (Ediş, Kittler formülü).	120
Şekil 9.21 H1 mekanında 21 Aralık 12:00’de noktada toplam aydınlık düzeyleri (Ediş, Kittler formülü).	121
Şekil 9.22 H1 mekanında 21 Aralık 16:00’da noktada toplam aydınlık düzeyleri (Ediş, Kittler formülü).	121
Şekil 9.23 H1 mekanında 21 Haziran 09:00’da noktada toplam aydınlık düzeyleri (Ediş, Kittler formülü).	122
Şekil 9.24 H1 mekanında 21 Haziran 12:00’de noktada toplam aydınlık düzeyleri (Ediş, Kittler formülü).	122
Şekil 9.25 H1 mekanında 21 Haziran 16:00’da noktada toplam aydınlık düzeyleri (Ediş, Kittler formülü).	123
Şekil 9.26 H1 mekanında 21 Aralık 09:00’da noktada toplam aydınlık düzeyleri (Ediş, Krochmann formülü).	123
Şekil 9.27 H1 mekanında 21 Aralık 12:00’de noktada toplam aydınlık düzeyleri (Ediş, Krochmann formülü).	124
Şekil 9.28 H1 mekanında 21 Aralık 16:00’da noktada toplam aydınlık düzeyleri (Ediş, Krochmann formülü).	124
Şekil 9.29 H1 mekanında 21 Haziran 09:00’da noktada toplam aydınlık düzeyleri (Ediş, Krochmann formülü).	125
Şekil 9.30 H1 mekanında 21 Haziran 12:00’de noktada toplam aydınlık düzeyleri (Ediş, Krochmann formülü).	125
Şekil 9.31 H1 mekanında 21 Haziran 16:00’da noktada toplam aydınlık düzeyleri (Ediş, Krochmann formülü).	126

Şekil 9.32 H1 mekanında aydınlatma düzeni ve yüzey özellikleri testi.	133
Şekil 9.33 H1 mekanında yüzey isimleri	133
Şekil 9.34 DIALux programında POV-RAY ile 1 no'lu yüzeyde parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi.....	135
Şekil 9.35 DIALux programında POV-RAY ile 1 ve 3 no'lu yüzeyde parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi.....	136
Şekil 9.36 DIALux programında POV-RAY ile 1, 2, 3 ve 4 no'lu yüzeyde parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi.....	136
Şekil 9.37 DIALux programında POV-RAY ile 5 no'lu tavan yüzeyinin parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi.....	137
Şekil 9.38 DIALux programında POV-RAY ile 6 no'lu döşeme yüzeyinin parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi.....	137
Şekil 9.39 DIALux programında POV-RAY ile tüm yüzeylerde parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi.....	138
Şekil 9.40 Relux programında Relux Vision 1.1 ile 1 no'lu duvarda parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi.....	138
Şekil 9.41 Relux programında Relux Vision 1.1 ile 1 ve 3 no'lu duvarda parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi.....	139
Şekil 9.42 Relux programında Relux Vision 1.1 ile 1, 3 ve 4 no'lu duvarda parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi.....	139
Şekil 9.43 Relux programında Relux Vision 1.1 ile tavanda parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi.....	140
Şekil 9.44 Relux programında Relux Vision 1.1 ile döşemede parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi.....	140
Şekil 9.45 DIALux programında POV-RAY ile 1 no'lu duvarda türlü malzeme etkisinin görselleştirilmesi.....	141
Şekil 9.46 Relux programında Relux Vision 1.1 ile 1 no'lu duvarda türlü malzeme etkisinin görselleştirilmesi.....	142
Şekil 9.47 DIALux programında POV-RAY ile türlü yüzeyli döşeme görselleştirilmesi (Döşeme Kırmızı RGB 255, r=%20).	142
Şekil 9.48 Relux programında Relux Vision 1.1 ile türlü yüzeyli döşeme görselleştirilmesi (Döşeme Kırmızı RGB 255, r=%20).	143
Şekil 9.49 Lightscape programında türlü r=%20 türlü yüzeyli döşeme görselleştirilmesi (Döşeme Kırmızı RGB 255, r=%20).	143
Şekil 9.50 DIALux programı ile lamba renk sıcaklığının 3000K'den 20000 K'e değiştirilmesiyle oluşan görselleştirme.....	144
Şekil 9.51 Relux programı ile lamba renk sıcaklığının 3000K'den 20000 K'e değiştirilmesiyle oluşan görselleştirme.	145

Çizelge 1.1 Yer indisi hesabının çeşitli formüllere göre değişimi(b:en, l:boy, h:aygıt-düzlem arası uzaklık) (Ünver, Karakoç 2000).....	17
Çizelge 1.2 Işın İzleme yönteminin genel özellikleri.	21
Çizelge 1.3 Yayınım yönteminin genel özellikleri.	23
Çizelge 3.1 CIE 110:1994'e göre gökyüzü tipleri.	28
Çizelge 3.2 DIALux 4.3 programının özellikleri	41
Çizelge 4.1 Relux programı özellikleri	50
Çizelge 5.1 Desktop Radiance programı özellikleri	60
Çizelge 6.1 Lightscape programı özellikleri.	70
Çizelge 7.1 Yapay aydınlatma için ölçmeye dayalı (deneysel) test koşulları.	73
Çizelge 7.2 Ölçmeye bağlı hata tahmini yüzdeleri.....	74
Çizelge 7.3 Beklenen toplam hata yüzdeleri	74
Çizelge 7.4 Yapay aydınlatma için hesaba dayalı (analitik) test koşulları.	76
Çizelge 7.5 Doğal aydınlatma için hesaba dayalı (analitik) test koşulları.	78
Çizelge 8.1 Relux programı için aydınlatma hesabı parametreleri ayarları.	83
Çizelge 8.2 Lightscape programı için Radiosity parametreleri ayarları.	83
Çizelge 8.3 "Işığın mat yüzeylerden yansması" testi 50cm x 50cm S ₂ yüzeyi için S1-V yüzeyi üzerindeki ölçüm sonuçları.	94
Çizelge 8.4 "Işığın mat yüzeylerden yansması" testi 50cm x 50cm S ₂ yüzeyi için S1-Hz yüzeyi üzerindeki ölçüm sonuçları.	94
Çizelge 8.5 Gün ışık faktörü, 1m x 1m tepe ışıklığı, yayınlık gök testi sonuçları	94
Çizelge 8.6 DIALux 2006 ölçmelere dayalı test sonuçları.	96
Çizelge 8.7 Relux, DIALux ve Lightscape programlarının CIE ölçmeye dayalı (deneysel) test sonuçları (+:uygun).	96
Çizelge 8.8 Relux, DIALux ve Lightscape programlarının CIE hesaplamaya dayalı (analitik) test sonuçları (+:uygun, -: uygun değil, *: yapılmamış).	97
Çizelge 9.1 Yapay aydınlık düzeyi testleri analitik hesaplamalar için test koşulları.	100
Çizelge 9.2 H1 hacminde döşemedeki ortalama toplam ve dolaysız aydınlık düzeyleri, Eort ve Ed (lm/m ²)	107
Çizelge 9.3 Noktada dolaysız yapay aydınlık düzeyi sonuçlarının değerlendirilmesi.	108
Çizelge 9.4 Noktada toplam yapay aydınlık düzeyi sonuçlarının değerlendirilmesi.	109
Çizelge 9.5 Ortalama dolaysız yapay aydınlık düzeyi sonuçlarının değerlendirilmesi.	110
Çizelge 9.6 Ortalama toplam yapay aydınlık düzeyi sonuçlarının değerlendirilmesi.	110
Çizelge 9.7 Programlar ile yapılan ortalama aydınlık düzeyi test koşulları.	111
Çizelge 9.8 Belli mekan boyutlarında asimetrik ve simetrik aygıtlar ile döşemedeki ortalama aydınlık düzeyleri, Eort (lm/m ²)	114
Çizelge 9.9 Doğal aydınlık düzeyi testleri analitik hesaplamalar için test koşulları.	119
Çizelge 9.10 Noktada toplam doğal aydınlık düzeyi sonuçlarının değerlendirilmesi.	127
Çizelge 9.10 Noktada toplam doğal aydınlık düzeyi sonuçlarının değerlendirilmesi (Devam).	128
Çizelge 9.11 Doğal Aydınlık Düzeyi Testleri için programlar ile yapılan ortalama aydınlık düzeyi test koşulları.	129
Çizelge 9.12 H1 mekanında, Açık Gök koşulunda, döşemedeki ortalama aydınlık düzeyleri(lm/m ²)	130
Çizelge 9.13 H2 mekanında, Açık Gök koşulunda, döşemedeki aydınlık düzeyleri(lm/m ²) (pencere boyutları genişlik: 1,73m, yükseklik 1,5).	130
Çizelge 9.14 H3 mekanında, Açık Gök koşulunda, döşemedeki aydınlık düzeyleri(lm/m ²) (pencere boyutları genişlik: 3,46m, yükseklik 1,5).	131
Çizelge 9.15 H4 mekanında, Açık Gök koşulunda, döşemedeki aydınlık düzeyleri(lm/m ²) (pencere boyutları genişlik: 6,93m, yükseklik 1,5).	131

Çizelge 9.16 H5 mekanında, Açık Gök koşulunda, döşemedeki aydınlık düzeyleri(lm/m2) (pencere boyutları genişlik: 13,86m, yükseklik 1,5).	131
Çizelge 9.17 H6 mekanında, Açık Gök koşulunda, döşemedeki aydınlık düzeyleri(lm/m2) (pencere boyutları genişlik: 13,86m, yükseklik 1,5).	132
Çizelge 9.18 Yapay ışık kaynağı ve yüzey özellikleri değişiminin aydınlık düzeyine etkisi ile ilgili test koşulları.	134
Çizelge 9.19 H1 mekanında yüzeylerin yansıtma biçiminin değiştirilmesiyle döşemede elde edilen ortalama aydınlık düzeyi sonuçları.....	135
Çizelge 9.20 H1 mekanında yüzey renklerinin değiştirilmesiyle elde edilen sonuçlar.	141
Çizelge 10.1 DIALux, Relux, Radiance, Lightscape programlarının özellikleri.	147
Çizelge 10.1 DIALux, Relux, Radiance, Lightscape programlarının özellikleri (Devam) ...	148

Bu çalışmadaki değerli katkı ve yardımlarından dolayı, tez danışmanım Prof. Dr. Rengin Ünver ve YTÜ Mimarlık Fakóltesi Yapı Fiziği Bilim Dalı öğretim üyelerine içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Canım anneme, babama, kardeşime ve çok sevdiğim Emre'ye bana verdikleri destek için minnetarım.

ÖZET

Bu çalışmada, genel olarak aydınlatma tasarımında kullanılan bilgisayar programları ve özellikleri ele alınmış, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun (CIE, Commission Internationale de L'Eclairage, 1913), bu alandaki çalışmalarından bahsedilmiş, programlar ile çeşitli testler yapılmış, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma genel olarak,

- Aydınlatma Tasarımı,
- Aydınlatmaya Yönelik Bilgisayar Programları
- Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun Testleri
- Aydınlatma Programları ile Yapılan Testler

biçiminde dört ana bölümde toplanabilir.

Aydınlatma tasarımı bölümünde, aydınlatma düzeni kurma aşamaları ve aydınlatma tasarımı sunum teknikleri incelenmiştir.

Aydınlatmaya yönelik bilgisayar programları bölümünde, ışığın modellenmesi ile ilgili yöntemler tanımlanmış, çeşitli örnekler verilmiştir. DIALux 4.3, Relux 2007, Desktop Radiance Beta 2.0, Lightscape R3.2 programları ile ilgili özellikler, kullandıkları yöntemler ortaya konmuştur.

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun Testleri bölümünde, CIE'nin programların sınanmasına yönelik testleri ve test koşulları incelenmiş, DIALux 2006, Lightscape R3.2, Relux 2004 programlarının CIE'nin önerdiği testlere göre sonuçları verilmiştir.

Aydınlatma Programları ile Yapılan Testler Bölümünde, DIALux 4.3, Relux 2007, Desktop Radiance Beta 2.0, Lightscape R3.2 programları ile yapay ışık, doğal ışık ve yüzey ve ışık kaynağı özelliklerine göre çeşitli testler yapılmıştır. Belli test koşulları için, yapay ve doğal ışık testleri analitik hesaplamalar ile yapılmış, analitik sonuçlar ile programlardan alınan sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aydınlatma tasarımı, bilgisayar programları, CIE testleri, tez testleri

ABSTRACT

In this study, generally, the features of the computer programmes which are used in lighting design are taken into consideration, the studies of International Lighting Commtee (CIE, Commission Internationale de L'Eclairage, 1913), about that domain are mentioned, a group of tests with programmes are made and the results are compared. The study can be classified into 4 groups as,

- Lighting Design,
- Lighting Orientated Computer Programmes,
- CIE Tests
- The Test Made with Lighting Programmes.

In the Lighting Design division, the stages of lighting installation and the methods of the lighting desing presentations are analyzed.

In the Lighting Orientated Computer Programmes division, the methods about light simulation are described, examples are given. The features of DIALux 4.3, Relux 2007, Desktop Radiance Beta 2.0, Lightscape R3.2 and their methods are introduced.

In the CIE Tests division, CIE test cases to asses the accuracy of lighting programmes are analyzed, the results of the tests which are proposed by CIE from DIALux 2006, Lightscape R3.2, Relux 2004 programmes are given.

In the Test Made with Lighting Programmes division, a group of tests about artificial lighting, daylighting and features of surface and light source are made with DIALux 4.3, Relux 2007, Desktop Radiance Beta 2.0, Lightscape R3.2 programmes. For specific test conditions, artificial an daylight tests are made with analytical computations, analytical results and programmes' results are compared.

Keywords: Lighting design, computer programmes, CIE tests, thesis tests.

GİRİŞ

Aydınlatma tasarımı, aydınlatma tekniğine uygun ve belli bir konu için oluşturulan aydınlık düzeni kurma çalışmasıdır. Aydınlatma tasarımı kapsamında yer alan çalışmaların, hem gerçekleşmesi de hem de sunulması için çeşitli araçlar bulunmaktadır. Bu araçlardan biri de bilgisayar programlarıdır.

Aydınlatmaya yönelik bilgisayar programları, çeşitli özelliklerde hazırlanmış, birbirinden bağımsız konuları içeren, değişik hesap yöntemleri ve varsayımları dikkate alan araçlardır. Programlar arasındaki farkları belirlemek ve programların doğruluğunu sınamak amacıyla Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE, Commission Internationale de L'Eclairage, 1913), bir yayın hazırlamış ve kimi testler önermiştir.

Bu çalışmanın amacı, günümüzde yaygın olarak kullanılan belli programlarla, belirli koşullar için testler yapmak ve sonuçlarını değerlendirmektir. Söz konusu hedefe yönelik olarak tezin yöntemi ve kapsamı,

- Aydınlatmaya yönelik bilgisayar programlarının temel özelliklerini aktarmak ve günümüzde yaygın olarak kullanılan DIALux 4.3, Relux Professional 2007, Desktop Radiance Beta 2.0, Lightscape R 3.2 programlarının genel özelliklerini ve hesap yöntemlerini vermek,
- CIE'nin hazırladığı “Aydınlatma Programlarının Doğruluğunu Değerlendirmeye Yönelik Testler (Test Cases to Assess the Accuracy of Lighting Programs)” yayınında yer alan testlerin genel yapısını açıklamak,
- Uluslararası Enerji Ajansı'nın (International Energy Agency; IEA) 31 numaralı çalışma grubunun, CIE yayınındaki testleri kullanarak hazırladığı raporda yer alan, DIALux 2006, Relux 2004, Lightscape R 3.2 programlarından elde edilen test sonuçlarından değinmek,
- DIALux 4.3, Relux 2007, Desktop Radiance Beta 2.0, Lightscape R 3.2 programlarının CIE'nin önerilerinin dışında hazırlanan belli özellikteki testler ile değerlendirmek

olarak belirlenmiştir.

Böylece aydınlatma tasarımında kullanılan bilgisayar programları konusunda temel ve güncel bilgiler verilerek, programlar arasındaki farklıklar hem CIE testleri, hem de çalışma kapsamında yapılan analitik testler ile örneklenerek program kullanıcılarına program seçiminde yardımcı olabilecek veriler sağlanmış olacaktır.

1. AYDINLATMA TASARIMI SÜRECİ

Aydınlatma, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE, Commission Internationale de L'Eclairage, 1913) tarafından “nesnelere, bunların çevrelerine, ya da bir bölgeye, bir kent bölgesine görülebilmeleri amacıyla ışık uygulaması” olarak tanımlanır (Sirel 1984, Ünver 2005). Aydınlatmanın amacı, sadece karanlığı ortadan kaldırıp, görünürlüğü sağlamak için rastgele bir ışık uygulaması yapmak değil, insanların çeşitli gereksinimlerine yardımcı olmak, görsel algılamaya için gerekli koşulları sağlamak ve aydınlatma konusunun özelliklerine göre mimari ve sanatsal anlamda da iyi görüntüler oluşturmaktır.

Aydınlatma tasarımı belli bir konu için, aydınlatma tekniğine uygun oluşturulmuş bir aydınlık düzeni kurma çalışmasıdır ve mimari tasarıma bağlı olarak gelişir, ilerler. Aydınlatma tasarımı yapılırken, öncelikle mimari tasarım incelenerek, mekan kullanıcılarının gereksinimleri, çevresel ve mali açıdan istekler/zorunluluklar belirlenmeli, mekanın estetik ve mimari özellikleri ortaya konmalıdır. Bu bağlamda, aydınlatma tasarımı sürecinin aşamaları,

- mekan ve kullanıcıya ilişkin çeşitli veriler toplanması,
- elde edilen veriler bağlamında, aydınlatma konseptinin oluşturulması ve aydınlatma tekniği ölçütleri bakımından ilkesel kararlar verilmesi,
- ilkesel kararlar doğrultusunda aydınlatma düzeninin kesinleştirilmesi ve aydınlatma projesinin hazırlanması

olarak sıralanabilir.

Aydınlatma tasarımı sürecinin veri toplama aşamasında,

1. mekanın işlevsel özellikleri
 - gerçekleşen eylemin türü,
 - eylemin sıklığı,
 - eylem sırası ve biçimi,
2. kullanıcı özellikleri, yaş ve çeşitli gereksinimleri,
3. mekanın mimari özellikleri,
 - mekanın geometrik boyutları,

- mekan iç yüzeylerinin özellikleri (renk, doku, yansıtma çarpanı, yansıtma biçimleri gibi),
 - iç mekanın tefrişi,
4. mekanda oluşturulmak istenen mimari atmosfer,

v.b konularda verilerin elde edilmesine ilişkin incelemeler yapılır.

Yapılan incelemelerden elde edilen veriler doğrultusunda kavramsal bir aydınlatma tasarımı ya da bir başka deyişle, aydınlatma konsepti ortaya konur. Aydınlatma konsepti aşamasında, mekanın açık ya da kapalı olması durumlarına göre değişen, ışık kaynağı türü, niteliksel ve niceliksel belirlemeler ile ilgili ilkesel kararlar alınır. Bu bağlamda, mekanda ışık kaynağı türü olarak doğal, yapay ya da bütünleşik aydınlatma türlerinden hangisinin kullanılacağı belirlenir. Doğal aydınlatmada, pencere ve iç ya da dış engeller v.b, yapay aydınlatmada ise lamba, aygıtlar v.b öğeler önem kazanır. Mekanda oluşacak aydınlığın niteliği ile ilgili, aydınlığı oluşturan ışığın renksel özellikleri, ışığın doğrultusal yapısı, aydınlıkta oluşan gölgelerin niteliği, aydınlık düzeyi dağılımları ile ilgili kararlar belirlenir. Elde edilen verilerin özelliklerine göre bir mekanda nasıl bir aydınlatma düzeni oluşturulacağı bu niteliksel belirlemeler doğrultusunda gerçekleşir. Aydınlatma konsepti oluşturulurken yukarıda bahsedilen konulardan elde edilen verilere bağlı olarak, her mekanda gereksinim duyulan aydınlık düzeyleri belirlenerek, aydınlığın niceliği ile ilgili ilkesel kararlar verilir.

Aydınlatma tasarımı sürecinde son aşama, elde edilen veriler ve aydınlatma konsepti doğrultusunda alınan ilkesel kararların kesinleşmesi ve aydınlatma projesinin oluşturulması aşamasıdır. Bu aşamada doğal aydınlatma açısından niceliksel ve niteliksel belirlemelere bağlı olarak gün ışığı açısından gerekli önlemler ortaya konur, pencere boyutları, konumları, yönü, yerleştirilme düzenleri ve pencerelerde kullanılacak malzemenin ışık geçirime çarpanları kesinleştirilir. Yapay aydınlatma açısından ise, mekanda oluşacak aydınlığın niceliği ve niteliği ile ilgili kararlara bağlı olarak, lamba ve aygıtların seçimleri yapılır. Bunların tipi, gücü, renksel ve ışıksal özellikleri ile ilgili belirlemeler yapılır, ilk yatırım ve kullanım giderleri değerlendirilir. Seçilen lamba ve aygıtların yerleri ve düzenleri belirlenir. Örneğin, iç mekan için ısı ve ses denetimi, taşıyıcı sistem, asma tavan gibi mimari öğelerin fiziksel boyutlarına ilişkin veriler doğrultusunda lamba ve aygıtların tespit koşulları ortaya konur.

1.1 Aydınlatma Tasarımı Sunum Teknikleri

Açık ya da kapalı bir mekanda, aydınlatma düzeni kurma çalışmalarının gerek aydınlatma konseptinin oluşturulması, gerekse kesinleştirme/projelendirme aşamalarında,

- aydınlatma tasarımının aydınlatma tekniği ölçütleri bağlamında sınanmasını ve görselleştirilmesini sağlamak,
- aydınlatma tasarımı sonuçlarını kullanıcıya gösterebilmek,
- aydınlatma tasarımına ilişkin projeyi oluşturabilmek

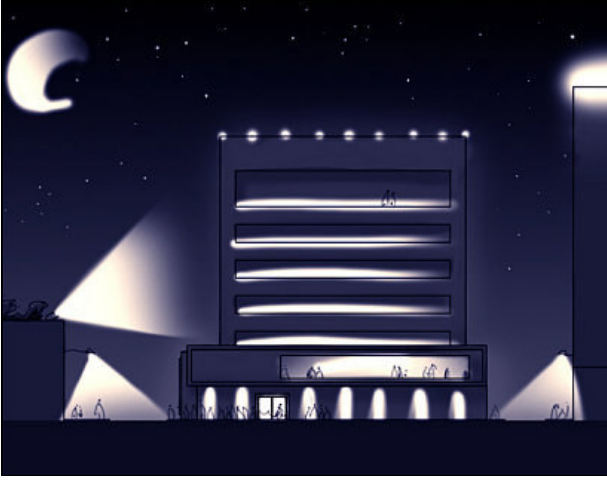
gibi değişik amaçlarla, çeşitli sunum teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknikler sayesinde aydınlatma tasarımı kararlarının denetlenmesi ve uygulamadan önce görülebilmesine olanak sağlanır.

Söz konusu sunum teknikleri, ilkesel olarak,

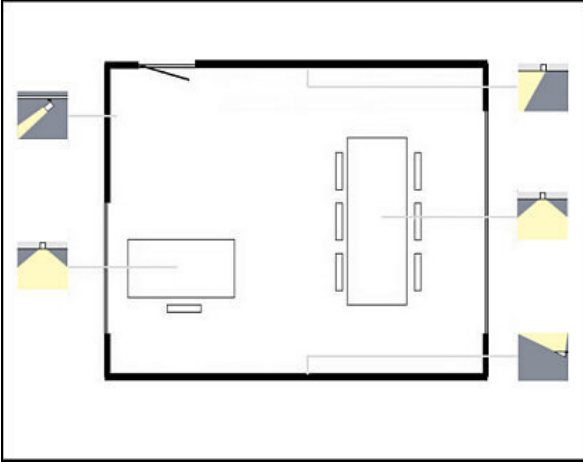
- Çizim teknikleri kullanarak yapılan 2 ve 3 boyutlu çalışmalar,
 - elle yapılan çalışmalar,
 - bilgisayar programları kullanarak yapılan çalışmalar
- Maket teknikleri kullanarak yapılan 3 boyutlu çalışmalar,

gibi iki grupta toplanabilir.

Aydınlatma tasarımlarını sunmak amacıyla hazırlanan çizimlerde, ışık huzmelerinin kontur şeklinde gösterilmesi (Şekil 1.1) ya da renklendirmesi (Şekil 1.2) biçimindeki teknikler kullanılabilir. Ayrıca tavan planları, kesit ve görünüşlerde ışık kaynaklarının konumları ve düzenleri gösterilebilir ve aygıt tipi, gücü ve kullanılan lamba ile ilgili bilgiler verilebilir (Şekil 1.3, 1.4). Çizim teknikleri kullanarak, eş aydınlık eğrileri (Şekil 1.5) ile bir mekandaki aydınlık düzeyi dağılımlarını göstermek, mekan perspektiflerinde renklere göre aydınlık düzeyi ve ışıklılık dağılımlarını ifade etmek olanaklıdır (Şekil 1.6).



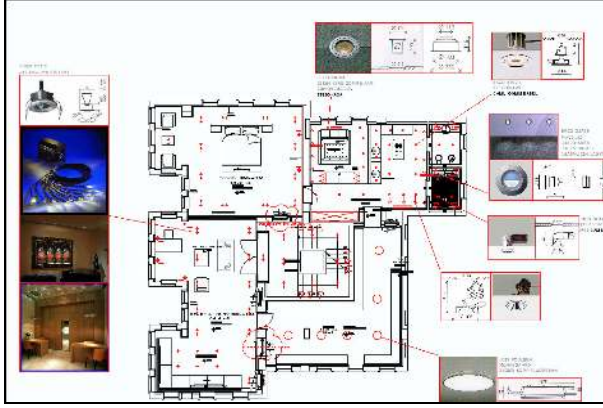
Şekil 1.1 Işık huzmelerinin beyazlaştırılmasıyla hazırlanmış sunum.



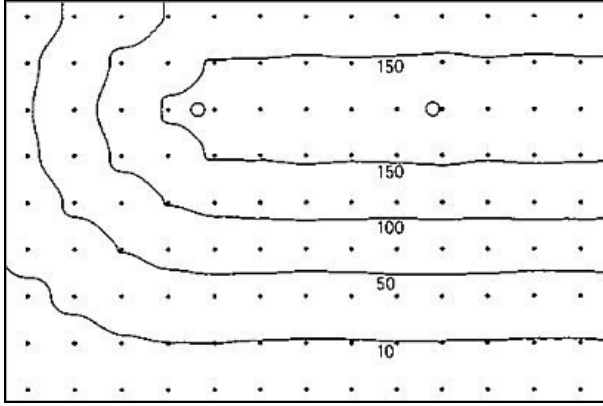
Şekil 1.2 Işık huzmelerinin renklendirilmesiyle hazırlanmış sunum.



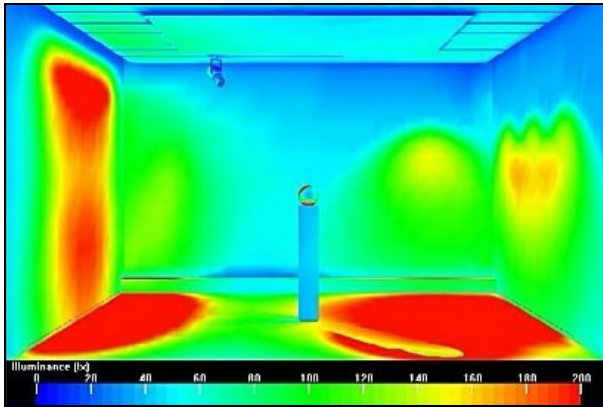
Şekil 1.3 Plan ve kesit düzleminde çizim örnekleri.



Şekil 1.4 Plan düzleminde aygıt yerlerini gösteren çizim örnekleri.



Şekil 1.5 Eş aydınlık eğrileri ile bir düzlemde aydınlık düzeyi dağılımının gösterilmesi.



Şekil 1.6 Bir iç mekan simülasyonunda aydınlık düzeyi dağılımının renklere göre gösterilmesi.

Aydınlatma tasarımına yönelik sunumlarda bilgisayar programlarının kullanımı, hesaplama ve çizimler için gerekli süreyi kısaltmaktadır. Ancak, sunumların gerçeğe uygunluğu, kullanılan programın özelliklerine bağlıdır.



Şekil 1.7 Aydınlatma tasarımına yönelik bir maket örneği [1].

Aydınlatma tasarımını sınamak, görselleştirmek v.b amaçlarla kullanılan bir diğer teknik ise aydınlatılacak mekanın maketini hazırlamaktır. Genelde, doğal ışığın etkisini modelleyebilmek için 1:100 ve 1:200, yapay ışığın etkisini gösterebilmek için ise 1:20, 1:10 ve 1:1 ölçekleri kullanılmaktadır.

Yapay aydınlatma tasarımlarında, küçük ölçekli maketlerin kullanılması durumunda, aygıt boyutları da küçüleceğinden, bu bağlamda aygıtların ışık yeğirlik dağılımlarındaki olası hataların, yüzeylerdeki aydınlık dağılımlarında değişimlere yol açacağı dikkate alınmalıdır.



Şekil 1.8 Aydınlatılmış maket örneği.

Aydınlatma tasarımında, büyük ölçekli maket kullanımının ise daha sağlıklı sonuçlar vereceği açıktır. Örneğin bir mağaza aydınlatması için hazırlanmış belli bir test mekanına, mağazada kullanılacak raflar, raflardaki ürünlerin ve konumu/açısı belirlenen aygıtların yerleştirilmesi ile ışık testi gerçekleştirilebilir. Ürünlerin ışık altındaki rengi, aygıtların konumu, yönlenme açısı, yüksekliği, raftan uzaklığı gibi aydınlatmanın nasıl olması gerektiğini belirleyen etkenler değerlendirilebilir.

1/1 gibi büyük ölçekte maket yapımı, aydınlatma tasarımının sınanması ve aydınlatmanın kullanıcı ve/ya da tasarımcıya gösterilmesi açısından en doğru ve etkin yöntemdir. Ancak maket yöntemi hem diğer yöntemlere göre daha pahalı olması, hem de oluşturulma aşamasında, daha fazla emek ve vakit gerektiren bir yöntem olduğu da açıktır.

1.2 Görsel Algılama, Işığın Davranışı

Görsel algılama öğeleri, aydınlatan ışık, aydınlanan nesne ve görme organıdır. Bir başka anlatımla, bir kaynaktan yayımlanan ışığın, aydınlanan nesneden yansıyarak/geçerek, görme organına gelmesiyle görsel algılama gerçekleşir.

Konu tek kaynak ve tek yüzey ölçeğinde ele alındığında, ışığın davranışı, kaynak, nesne ve görme organı sırasını izler. Görme organına gelen ışığın nicelik ve niteliği, ışık kaynağı ve nesnenin ışıksal özelliklerine bağlı olacaktır. Söz konusu ışıksal özellikleri belirleyen değişkenler;

- ışık kaynağından yayımlanan ışığın,
 - niceliği (yeğinliği),
 - tayfsal yapısı (rengi),
 - yüzeye geliş açısı
- yüzeyin
 - ışık yansıtma çarpanı,
 - tayfsal ışık yansıtma çarpanı (rengi),
 - ışık yansıtma biçimi (matlık-parlaklık)

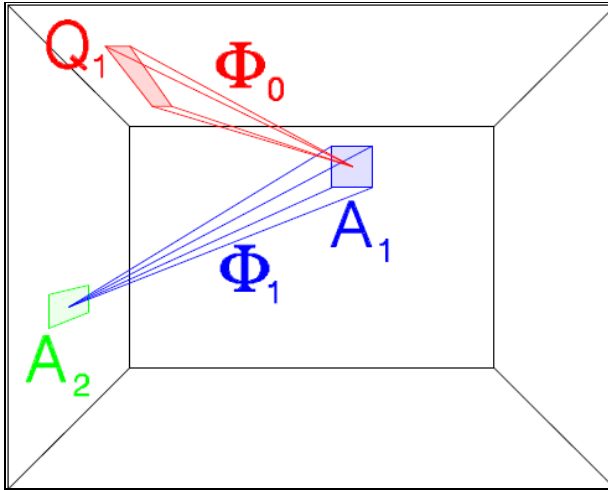
olarak sıralanabilir. Bu değişkenlerin karşılıklı ilişkileri (etkileşimi) sonucu, görme organına gelen ışığın özellikleri değişecektir.

Örneğin, ışık yansıtma çarpanı düşük olan bir nesne ışığı az yansıtacak ve koyu görünecek; türlü (renkli) bir ışıkla aydınlanan nesne, kendi öz renginden farklı bir renkte görünecek (Şekil 1.9); mat bir yüzey üzerine geliş açısından bağımsız olarak ışığı tüm doğrultularda yansıtacaktır.



Şekil 1.9 Farklı ışık kaynakları altında ışık rengi değişimi.

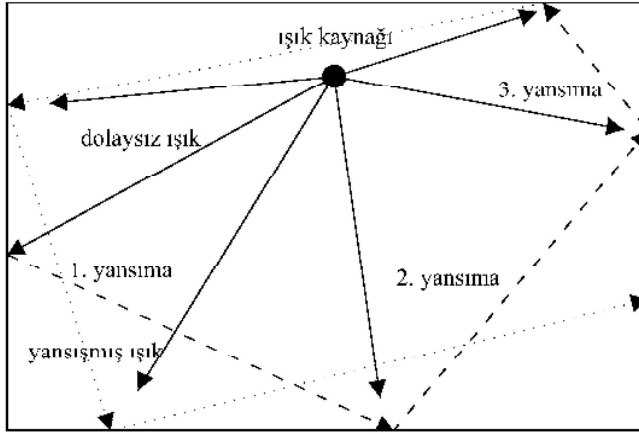
Kapalı hacimler gibi birbirini gören yüzeylerin yer aldığı ortamlarda ışığın davranışı, tek kaynak ve tek nesne ölçeğine göre daha karmaşık bir yapıdadır. Bu tür ortamlarda, birincil kaynaklardan yayımlanan ışık, yüzeyler arasında peşpeşe yansıyor ve her yansımada hem nicelik hem de nitelik bakımından değişikliğe uğrayacaktır (Ünver, 1985), (Şekil 1.10). Bu konu “Kapalı Hacimlerde Işığın Davranışı” başlığı altında Bölüm 1.3’de ele alınmıştır.



Şekil 1.10 Kapalı hacimlerde ışığın yüzeylerden yansması.

1.3 Kapalı Hacimlerde Işığın Davranışı

Aydınlatılmış kapalı bir mekanda yer alan yüzeyler ve nesneler üzerindeki aydınlık, dolaysız ve yansımış aydınlık gibi iki bileşenin toplamından oluşur (A_{top}). Bu eşitlikte yer alan, dolaysız aydınlık (A_d), birincil ışık kaynaklarından çıkarak, doğrudan doğruya yüzeye gelen “dolaysız ışığın” oluşturduğu aydınlıktır. Yansımış aydınlık ise (A_y), birincil ışık kaynaklarından yayımlanan dolaysız ışığın, iç yüzeylerde peşpeşe yansması sonucu meydana gelen “yansımış ışığın” oluşturduğu aydınlıktır ($A_{top} = A_d + A_y$). (1.1)



Şekil 1.11 Kapalı hacimlerde ışığın davranışı.

Dolaysız ışığın özellikleri, aydınlatıldığı yüzeylerdeki aydınlığın nicelik ve niteliğinin belirleyicisidir. Örneğin yapay aydınlatma için dolaysız ışığın özelliklerini belirleyen değişkenler,

- aydınlatma düzeninde yer alan kaynakların sayısı, konumu, ışık yeğnilik diyagramları, tayfsal özellikleri (rengi),
- lamba verimi, aygıt geriverimi

v.b olarak sıralanabilir.

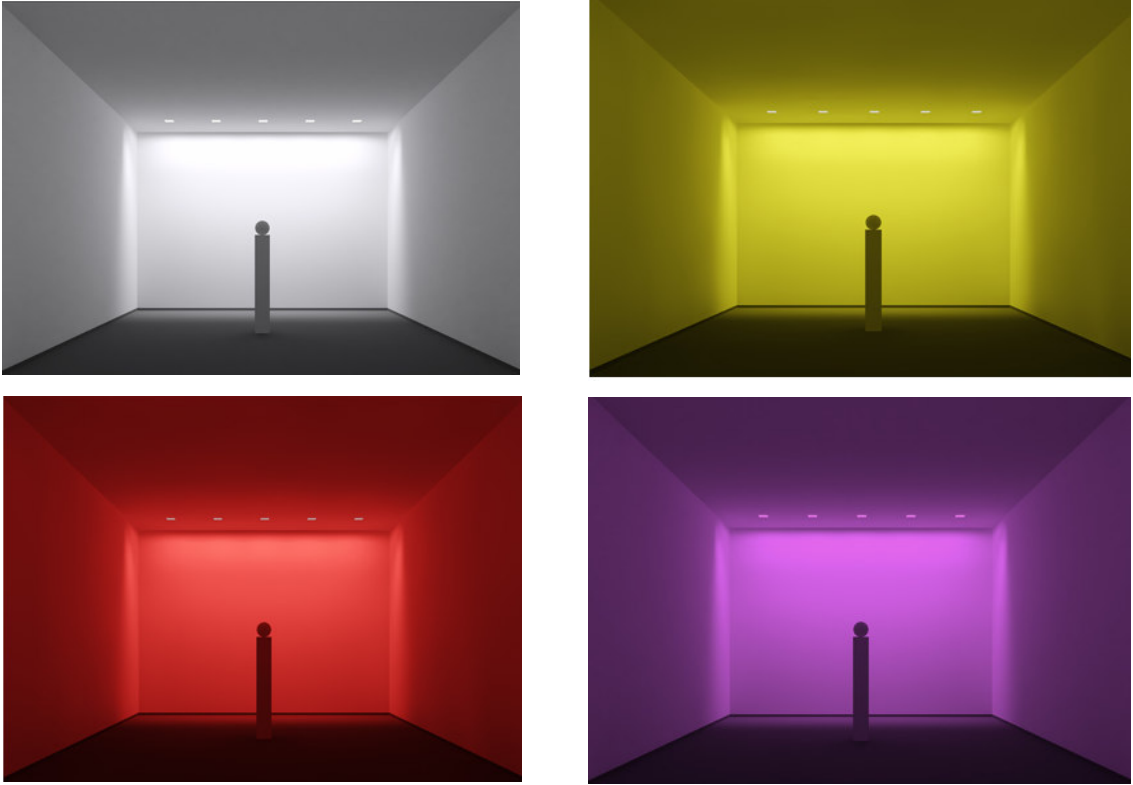
Doğal aydınlatma için, dolaysız ışığın özellikleri, göğün ışıklılık dağılımı, güneşin var olup olmaması, pencere boyutları ve konumları, gün ışığının tayfsal yapısı v.b etkenlere bağlı olarak değişir.

Yansımış ışığın özellikleri ise, hem dolaysız ışığın özelliklerine hem de ortamda yer alan her yüzeyin,

- ışık yansıtma çarpanı,
- ışık yansıtma biçimi ve
- tayfsal ışık yansıtma çarpanı (rengi)

gibi özelliklerine bağlı olarak değişim gösterir.

Örneğin, iç yüzeylerin tümüyle mat olması durumunda, yüzeyler ışığı tüm doğrultulara yansıtacak ve hacimde yayınık ışık alanı oluşmasına katkıda bulunacaktır. İç yüzeylerin yansıtma çarpanının koyu olması durumunda, yansımış ışık enerjisi, yüzeylerin açık olması durumuna göre daha çok yutulacak ve yansımış ışığın oluşturduğu aydınlık düzeyi azalacaktır. İç yüzeylerin renkli olduğu durumlarda ise, dolaysız ışık türsüz bile olsa, yansımış ışık renklenecek ve yüzeyler kendi öz renklerinden farklı görünecektir.



Şekil 1.12 İç yüzeyleri türsüz bir mekanın tayfsal özellikleri farklı ışık kaynakları ile aydınlatılması [1].

Bu nedenle kapalı hacimler gibi birbirini gören yüzeylerin yer aldığı ortamlarda, ışığın davranışları yalnızca tek kaynak ve tek nesne ölçeğinde değil, aydınlığın bileşenleri olan hem dolaysız ışığın hem de yansımış ışığın özellikleri bağlamında ele alınmalıdır. Bu olgu, özellikle bilgisayar programları aracılığıyla yapılan sunum/hesap v.b işlemler için büyük önem taşımaktadır.

1.3.1 Aydınlık Düzeyi Hesabı

Aydınlık düzeyi hesaplamaları, aydınlatma düzeninin sağlayacağı aydınlık düzeyi hakkında bilgi edinebilmek amacıyla yapılan matematiksel işlemleri kapsamaktadır. Bu hesaplamalar, ışığın davranışı ile ilgili karmaşık ve fiziksel olayların matematiksel formülasyonlarından oluşur.

Aydınlık düzeyi, bir yüzeyin bir noktasını çevreleyen sonsuz küçük bir parçacığının aldığı ışıksal akının, bir yüzey parçacığı alanına bölümü olarak tanımlanmakta ve aşağıdaki 1.2 numaralı eşitlikle hesaplanmaktadır (CIE 1987, Sirel 1997).

$$E_v = d\Phi_v / dA \quad (1.2)$$

Burada;

E_v = Işıksal aydınlık,

Φ_v = Işık akısı,

A = Yüzey parçacığının alanını (m^2)

olarak gösterilmiştir.

1.3 numaralı eşitlikte verilen yüzey alanının,

- geometrik olarak bir nokta (boyutsuz) olması durumunda noktada aydınlık düzeyi,
 $E_p = \Phi / S \text{ lm/m}^2$, (1.3)

Burada;

E_p = Noktada aydınlık,

Φ = Işık akısı,

S = Yüzey parçacığının alanını (m^2)

olarak gösterilmiştir.

- geometrik olarak noktadan daha büyük olması durumunda ortalama aydınlık düzeyi,

$$E_{ort} = [(E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n)/N] \quad (1.4)$$

hesaplarından söz edilir.

Burada,

E_{ort} = Ortalama aydınlık düzeyi (lm/m^2),

E_1 = Düzlemin 1. noktasındaki aydınlık düzeyi (lm/m^2),

E_2 = Düzlemin 2. noktasındaki aydınlık düzeyi (lm/m^2),

E_n = Düzlemin n. noktasındaki aydınlık düzeyi (lm/m^2),

N = nokta sayısı

olarak verilmiştir.

Noktada aydınlık düzeyi hesaplamalarında, yüzeye gelen ışık yeğinliği bilindiğinde 1.5 ve 1.6 numaralı eşitliklerden yararlanılır (IESNA 2000, Ünver 2005).

- ışığın yüzeye dik gelmesi durumunda,

$$E_o = I_o / d^2 \quad (1.5)$$

Burada,

E_o = düzlem üzerindeki noktada aydınlık düzeyi (lm/m^2),

I_o = kaynağın yüzey normali doğrultusundaki ışık yeğinliği (cd),

d = nokta-kaynak uzaklığı (m),

olarak verilmiştir.

- ışığın yüzeye eğik gelmesi durumunda,

$$E_a = (I_o / d^2) \times \cos \alpha \quad (1.6)$$

Burada,

E_a = düzlem üzerindeki noktada aydınlık düzeyi (lm/m^2),

α = ışığın geliş doğrultusu ile yüzey normali arasındaki açı,

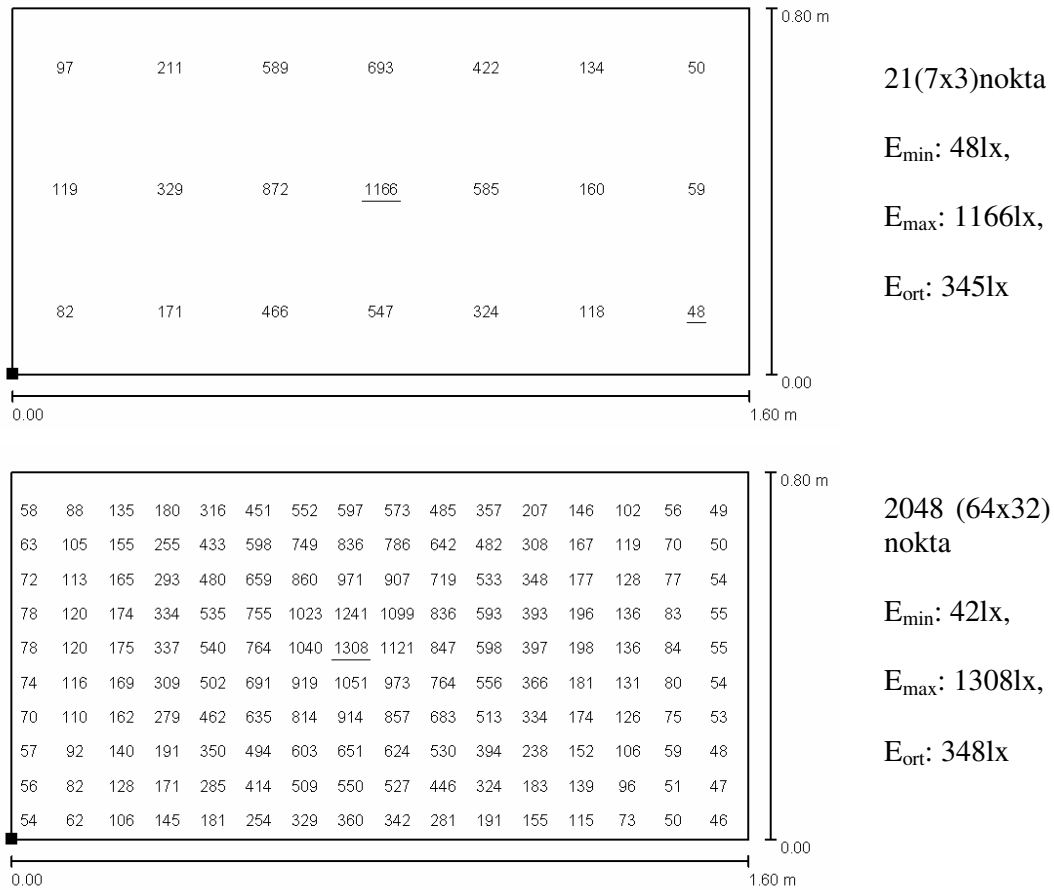
I_o = kaynağın yüzey normali doğrultusundaki ışık yeğinliği (cd),

d = nokta-kaynak uzaklığı (m),

olarak verilmiştir.

Belirli bir büyüklükte alan üzerindeki değişik noktalarındaki aydınlık düzeyinin hesaplanması ile hem o alandaki ortalama aydınlık düzeyinin hem de o alandaki aydınlık dağılımının belirlenmesi olanaklıdır.

Bir alandaki, gerek ortalama aydınlık düzeyi hesaplanırken, gerekse aydınlık dağılımı belirlenirken, alandaki hesap noktalarının sayısı arttıkça, elde edilen sonuçların duyarlılığı artacaktır. Şekil 1.13’de belli bir yapay ışık kaynağı ile aydınlatılan 1,6m x 0,8m boyutlarında, 1,28 m² ‘lik bir alanda 21 (7x3) ve 2048 (64x32) nokta ile yapılan noktada aydınlık düzeyi hesabı bağlamında elde edilen Emin, Emax ve Eort değerleri ve aydınlık dağılımı örneklenmiştir. Bu örneklerden görüleceği üzere, hesap noktası sayısı arttıkça aydınlık düzeyi değerleri değişmekte ve aydınlık dağılımı daha duyarlı olarak belirlenebilmektedir.



Şekil 1.13 Farklı nokta sayıları ile alınan hesaplama sonuçları.

1.3.2 Kapalı Hacimlerde Aydınlık Düzeyi Hesabı

Kapalı hacimlerde belirli bir düzlem üzerindeki aydınlık düzeyi hesabı hem noktada hem de ortalama olarak yapılabilir. Dolaysız ışığın düzlemin bir noktasında oluşturduğu aydınlığın hesaplanmasında genelde 1.3. Bölümde verilen 1.3, 1.5 ve 1.6 numaralı eşitliklerden yararlanılır.

Kapalı hacimlerde, hacim boyutları alışılmış mimari ölçüleri aşmadığı sürece, yansımış ışığın oluşturduğu aydınlığın düzgün yayılmış, yani yansımış aydınlığın iç yüzeylerin tüm noktalarında aynı değerde olduğu kabul edilir (Ünver 1985, Ünver 2005). Bu bağlamda yansımış ışığın oluşturduğu aydınlığın hesaplanmasında ise genel olarak 1.7 numaralı eşitlik kullanılmaktadır.

$$E_v = \frac{\Phi_v}{(S)} \cdot \frac{r}{(1-r)} \quad (1.7)$$

Burada;

E_v = Işıksal aydınlık,

Φ_v = Işık akısı,

S = Toplam yüzey alanı (m^2)

r = yüzeyin ortalama yansıtma çarpanı

olarak gösterilmiştir.

Kapalı hacimlerde, doğal ve yapay ışık kaynakları kullanılması durumunda, ortalama aydınlık düzeyi hesaplarında değişik yöntemlerden yararlanılabilir. Aşağıda yalnızca yapay ortalama aydınlık düzeyi hesap yöntemi ilkesel olarak açıklanmıştır.

Ortalama Yapay Aydınlik Düzeyi Hesabı

Kapalı hacimlerde, yatay düzlem üzerindeki ortalama yapay aydınlık düzeyinin hesaplanmasına ilişkin Zijl, IES, CIBSE gibi çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler temel olarak,

$$E = \frac{\Phi}{S} \times \eta \times d \quad (1.8)$$

eşitliğine dayanmaktadır.

Burada,

E = yatay düzlem üzerindeki ortalama aydınlık düzeyi (lm/m^2),

Φ = hacimdeki lambalardan çıkan toplam ışık akısı (lm),

S = yatay düzlem alanı (m^2),

η = kullanma çarpanı,

d = değer düşme çarpanı (bakım çarpanı)

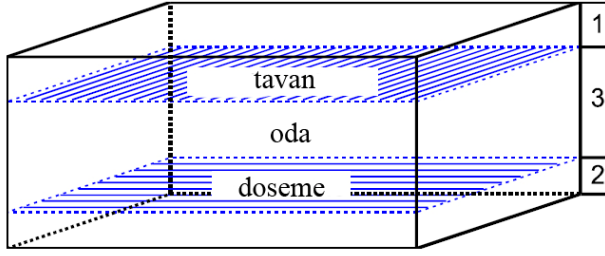
olarak gösterilmiştir.

Eşitlikte yer alan kullanma çarpanı (η), yatay düzleme gelen ışık akısının (dolaysız + yansımış ışık akısının), hacimde bulunan lambalardan çıkan ışık akısına oranını belirler. Kullanma çarpanını etkileyen etkenler,

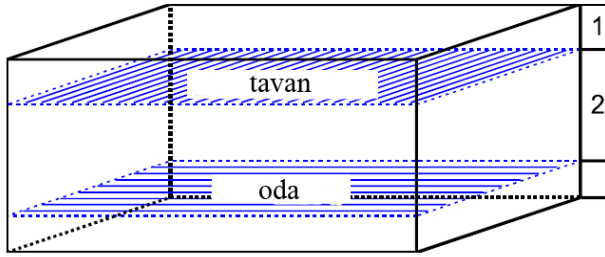
- Aygıt özellikleri (yansıtıcısız, yansıtıcı, yayıcı, ızgaralı),
- Aydınlatma biçimi (dolaylı, yarı dolaysız, yayınık, yarı dolaylı, dolaylı),
- Hacmin geometrik özellikleri (yer indisi),
- Aygıt geriverimi (ν , aygıttan çıkan ışık akısının, lambadan çıkan ışık akısına oranı.),
- İç yüzey yansıtma çarpanları (r),
- Değer düşme çarpanı (d),

biçiminde sıralanabilir (Ünver 1991).

Kullanma çarpanını etkileyen etkenler, ortalama yapay aydınlık düzeyi hesap yöntemlerinde, değişik biçimlerde ele alınabilmekte ve değişik varsayımlara dayandırılabilir. Örneğin, hacmin geometrik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yer indisi (k), Çizelge 1.1’de belirtildiği gibi farklı eşitliklerle hesaplanabilmektedir. Yine Çizelge 1.1 ve Şekil 1.15’de görüldüğü gibi, Zijl yönteminde çalışma düzleminin altında kalan bölümden yansıyan ışıkların katkısı dikkate alınmadığı için hacim iki bölüme ayrılmaktadır. Amerikan ve İngiliz yöntemlerinde ise çalışma düzlemi altında kalan bölüm dikkate alındığından hacim üç bölüme ayrılarak işlem yapılmaktadır.



Şekil 1.14 Amerikan ve İngiliz yöntemi.



Şekil 1.15 Zijl yöntemi.

Çizelge 1.1 Yer indisi hesabının çeşitli formüllere göre değişimi (b:en, l:boy, h:aygıt-düzlem arası uzaklık) (Ünver, Karakoç 2000).

YÖNTEM	BENZERLİKLER	AYRIMLAR		
		Hacim Boşluk Sayısı	Yer İndisi (k)	Değer Düşme Çarpanı (d)
ZİJL	Hacimler dikdörtgenler prizması biçiminde ve boştur.	2 (tavan, oda)	$k = \frac{8b + 2l}{10h}$	Kullanma çarpanı çizelgesine bağlı bir sayısal sabit değer
AMERİKAN	Hacim yüzeyleri ışık yansıtma biçimleri izotrop yayınlık yansımadır.	3 (tavan, oda, döşeme)	$k = 5h \frac{1+b}{1xb}$	Çeşitli değişkenlere bağlı olarak hesaplanır
İNGİLİZ	Hacim yüzeylerinin yansıtma çarpanı tekdüzedir. Aygıtlar düzgün yayılmış aydınlık oluşturacak biçimde yerleştirilir.	3 (tavan, oda, döşeme)	$k = \frac{1xb}{(1+b).xh}$	Çeşitli değişkenlere bağlı olarak hesaplanır

1.4 Işık Simülasyonu

1.2. Bölümde açıklandığı gibi, ışığın davranışı, mekanda yer alan, hem ışık kaynakları hem de yüzeylerin ışıksal özelliklerine göre değişim gösterir. Bu değişimin gerçekçi biçimde hesaplanabilmesi için çoğu zaman karmaşık matematiksel formüllerin kullanımı gereklidir. Bu formüllerin kısa sürelerde hesaplanabilmesi ise bilgisayar teknolojileri ile olanaklı olmuştur. Bu bağlamda, bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi ile belli hesaplamalara dayanan ışık simülasyonu görselleştirmeleri gündeme gelmiş, mekanlarda ışığın davranışının görselleştirilmesi olanaklı olmuştur.

1.4.1 Işık Davranışlarını Modellemede Kullanılan Yöntemler

Işığın gerçekçi biçimde görselleştirilebilmesi yani ışığın davranışlarının modellenmesine yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde matematiksel denklemler kullanılarak, yüzey üzerinde oluşan aydınlığın niceliğinin hesaplanması hedeflenmektedir.

Bir mekanda ışığın davranışına bağlı olarak, tüm ışık-nesne etkileşimlerini yakalayabilmek ya da bunları uygun süreler içinde hesaplayabilmek oldukça zordur. Bu bağlamda, analitik hesaplara dayanan ve bazı ışık etkileşimlerinin göz ardı edilmesi ile elde edilmiş değişik yöntemler geliştirilmiştir. Günümüzde, 3 boyutlu modelleme ve aydınlatma programlarında yaygın olarak kullanılan yöntemler,

- Işın İzleme (Ray Tracing) ve
- Yayınlım (Radiosity)

gibi iki grupta ele alınabilir.

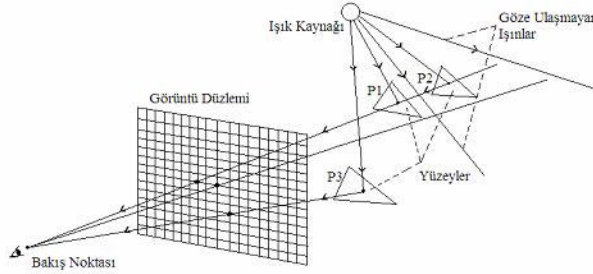
1.4.2 Işın İzleme (Ray tracing) Yöntemi

3. Bölüm’de bahsedildiği gibi, birbirini gören yüzeylerin olduğu ortamlarda, ışık kaynağından çıkan ışıklar, bir yüzeyden yansıdıktan sonra, mekan içindeki diğer nesne ve yüzeylerle de etkileşime girer ve ortamda yansımış ışık oluşur. Gerçekçi görselleştirmelerin oluşturulabilmesi için, ışığın davranışı hem dolaysız ışık hem de yansımış ışık açısından ele alınmalıdır. Bilgisayar terminolojisi açısından, bu etkilerin tamamı toplam (dolaysız +

yansıymış) aydınlık (global illumination) ile tanımlanır. Toplam aydınlık modeli ile sadece dolaysız ışık hesabı yapan (direct illumination) yöntemlere göre çok daha gerçekçi sonuçlar elde edilmektedir.

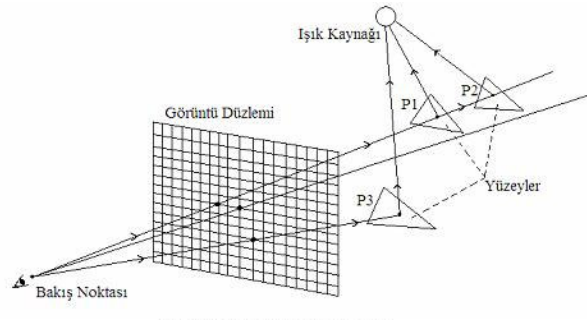
1980 yılında, Turner Whitted tarafından ortaya konan Işın izleme yöntemi, kaynak ile alıcı arasındaki akı transferinin matematiksel olarak tanımlanması biçiminde açıklanabilir. Işın izleme yöntemi, ileri yönlü ve geri yönlü ışın izleme olarak iki ayrı biçimde yapılabilir.

İleri yönlü ışın izleme (Forward ray tracing) yöntemi, ışık kaynağından yayımlanan ışınların nesnelerden yansıması ya da kırılması sonucu göze ulaşması ile yapılan modellemeye verilen ad olup, ışınların davranışı, gerçek dünyadaki görme olayına uygun biçimde gerçekleşmektedir. Ancak gerçek bir mekanda, ışık kaynaklarından yayımlanan ışınların, bir bölümü göze ulaşmaktadır. Bu nedenle ileri yönlü ışın izleme yöntemi kullanıldığında göze ulaşmayan ışınlar için gereksiz hesaplama yapılabilir.



Şekil 1.16 İleri yönlü ışın izleme.

Geri yönlü ışın izleme (Backward ray tracing) yönteminde, ileri yönlü ışın izlemenin tersine, ışınların gözden çıkarak, nesneler üzerinden yansıdıktan sonra kaynağa ulaştıkları kabul edilmektedir. Bu sayede ışık kaynağından çıkan tüm ışınlar değil, yalnızca göze ulaşabilen ışınlar hesaba katılmaktadır.



Şekil 1.17 Geri yönlü ışın izleme.

Işın izleme yöntemi hem dolaysız, hem de yansımış ışığın hesabı ve görselleştirilmesinde kullanılır. Yansımış ışık için, ortam ışığı (ambient light) olarak adlandırılan bir başka bileşen kullanılması gereklidir. Ortam ışığı her yüzeyi eşit yeğinlikte aydınlatır ve yeğinlik isteğe bağlı olarak değiştirilebilir. Ortam ışığı yeğniliğinin niceliğinin az olması durumunda, yansımış ışığın oluşturduğu aydınlık düzeyi azalacaktır.

Dolaysız ışık ile yapılan görselleştirme ve hesaplamalarda, mat ve parlak yüzeylerde hesaplama yapılırken, ortam ışığı kullanıldığında, yüzeyler yalnızca Lambert yüzeyi (mat) kabul edilir. Yalnızca ortam ışığı kullanılarak yapılan görselleştirmelerde ise, özellikle gölgeler ortadan kalkacağı için boyutsuzluk etkisi olacağı açıktır.

Şekil 1.18’de sağ üst resimde yalnızca ortam ışığı kullanılmıştır. Ortadaki şekilde ise, yalnızca dolaysız ışık için ışın izleme yöntemi kullanılmıştır, bu nedenle yansımış ışık görüntülenememektedir. Sol alttaki resimde ise ışın izleme yöntemine ortam ışığı da eklendiğinden, hem dolaysız ışık hem de yansımış ışığı görüntülemek olanaklı olmuştur.

Işın izleme yöntemi, bakış açısına bağlı bir yöntem olduğundan, mekan farklı açılardan gözlemlenmek isteniyorsa, her sahne için hesaplama tekrarlanmalıdır. Işın izleme yöntemi genel özellikleri Çizelge 1.2’de verilmiştir.



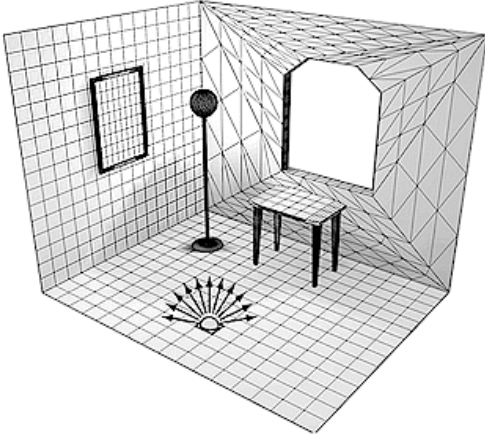
Şekil 1.18 Işın izleme yöntemin ve ortam ışığı ilişkisi, [6].

Çizelge 1.2 Işın İzleme yönteminin genel özellikleri.

PARAMETRELER			IŞIN İZLEME(RAYTRACING)
Global aydınlatma	Dolaysız ve yansımış ışık		+
	Yüzey/nesne özellikleri	saydam	+
		parlak	+
		mat	+
Ortam ışığı	Yansımış ışık		+
	Yüzey/nesne özellikleri	saydam	-
		parlak	-
		mat	+
Gölge hesabı			+
Sonuçların bakış açısına bağlı olması durumu			Bakış açısına bağımlı
Hafıza gereksinimi			Normal
Süre gereksinimi			Normal

1.4.3 Yayınım (Radiosity) Yöntemi

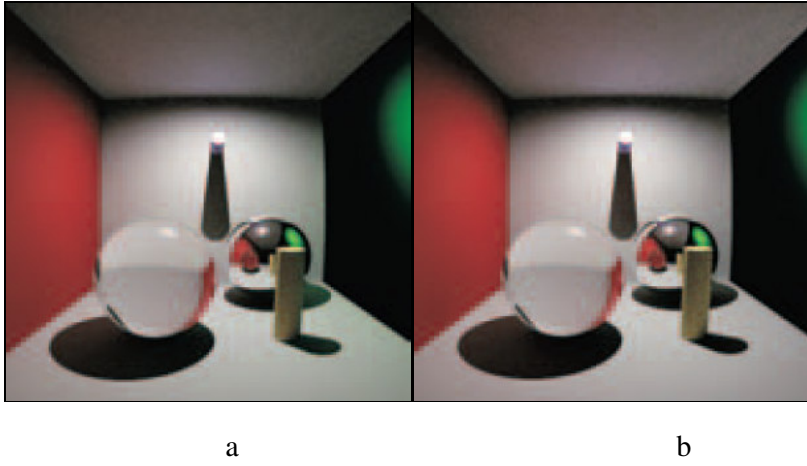
Yayınım (Radiosity) yöntemi, 1984 yılında Cornell Üniversitesi'nde Cindy Goral tarafından tanıtılmıştır. Yöntem, ısı dağılımı simülasyonu için geliştirilmiş “sonlu elemanlar analizi” yönteminin, aydınlatmaya uyarlanmış şeklidir. Radiosity hesaplaması, ışık kaynaklarından çıkan ve mekandaki her yüzeye gelen enerjinin, yansıyan ve yutulan kısmının belirlenmesi ve ışık alan her yüzeyin kendi üzerine düşen enerji miktarına göre yine bir ışık kaynağı gibi davranıp tüm sahnenin gerçek hayatta olduğu biçimde aydınlanması ilkesine dayanır.



Şekil 1.19 Yayınım yönteminin grafiksel gösterimi.

Yayınım yönteminde, tüm yüzeyler, izotrop yayınlık yansıtma yapan, yani mat yüzeyler olarak kabul edilir ve her yüzeyin düzgün yayılmış bir renge ve aydınlığa sahip olduğu var sayılır. Hesaplama ve görselleştirmelerde düzgün yansıma yapan parlak yüzeyler dikkate alınmamaktadır (Şekil 1.19).

Şekil 1.20’de sağdaki duvar yeşil parlak malzeme ile kaplıdır. Yüzey gerçekte düzgün yansıma yapar ve parlak algılanır, ancak yayınım yönteminde, yüzeyin mat olduğu kabul edildiğinden, düzgün yansıma bağlı etkiler hesaplanamaz.



Şekil 1.20 a’da parlak yeşil duvardan yansıyan ışık zeminde gözlemlenmekte, b’de ise yayılım yöntemi parlak yüzeyi dikkate almamaktadır.

Yöntemde, ışık dağılımı bir kez hesaplandıktan sonra, sahne bakış açısından bağımsız olarak hareket ettirilebilir. Yayılım yönteminin genel özellikleri Çizelge 1.3’de verilmiştir.

Çizelge 1.3 Yayılım yönteminin genel özellikleri.

PARAMETRELER		YAYINIM (RADIOSITY)
Dolaysız ışık hesabı		+
Yansıymış ışık hesabı		+
Yüzey/nesne özellikleri	saydam	-
	parlak	-
	mat	+
Sonuçların bakış açısına bağlı olması durumu		Bakış açısından bağımsız
Hafıza gereksinimi		Yüksek
Süre gereksinimi		Yüksek

2. AYDINLATMAYA YÖNELİK BİLGİSAYAR PROGRAMLARI

Günümüzde bilgisayar teknolojileri, her alanda olduğu gibi aydınlatma alanında da hesaplamaların yapılması ve ışığın davranışlarının görselleştirilmesinde, oldukça etkin biçimde kullanılmaktadır. Böylece, aydınlık düzeyi hesapları çok daha kolay ve hızlı şekilde

yapılabilmekte, sayısal olarak iki boyutlu ortamda sunulabilmekte, grafik tabanlı programlar kullanılarak sonuçlar 3 boyutlu sanal ortamda görselleştirilebilmektedir.

Sayısı her geçen gün artan aydınlatma programları,

- Basit Görselleştirme Yapan Aydınlatma Programları,
- İleri Görselleştirme Yapan Aydınlatma Programları

olmak üzere iki grupta ele alınabilir.

2.1 Basit Görselleştirme Yapan Aydınlatma Programları

Basit görselleştirme yapan aydınlatma programları, oda boyutları, yararlı düzlem yüksekliği, yüzeylerin yansıtma çarpanları, kaynağın ışık yeğinlik diyagramı vb. etkenleri dikkate alarak belli bir biçim ve formüllere göre, döşeme, yararlı düzlem, tavan, duvar vb. yüzeyler üzerindeki aydınlık düzeyi hesabı yapabilmektedir. Hesaplama sonuçları, eş aydınlık eğrileri, noktada aydınlık düzeyi gösteren tablolar, renklere göre aydınlık düzeyi değişimini gösteren şekiller v.b biçimlerde sunulmaktadır. Bu tür programlar ile ortamın 3 boyutlu sanal görüntülerini oluşturmak ve ışığın yüzeylerdeki dağılımını görüntülemek olanaklıdır (Ünver, Çelebi, 2006). Bu gruba örnek olarak gösterilen Relux, DIALux programlarının özellikleri 3 ve 4. bölümlerde ele alınmıştır.

2.2 İleri Görselleştirme Yapan Aydınlatma Programları

Aydınlatma simülasyonu yapan ileri düzey programlar, yukarıda değinilen basit görselleştirme yapan aydınlatma programları gibi, değişik etkenleri göz önüne alarak aydınlık düzeyi hesabı yapabilmekte, hesap sonuçlarını değişik biçimlerde verebilmektedir. Bu gruptaki programlar sanal görüntü oluşturmadaki gelişmişlik düzeyi, 3 boyutlu grafik algoritmalarının gelişmesiyle paralellik göstermektedir. Gerçekçi modeller üzerinde, ışığın yayılımını gerçekçi şekilde modellemeyi hedefleyen bu programlar, 3 boyutlu modelleme programlarıyla veri alışverişi yaparak, nesnelere gerçekçi malzemeler atayarak, karmaşık geometri ve nesnelerde çalışma olanağı sağlayan simülasyon programlarıdır (Ünver, Çelebi,

2006). Lightscape, Radiance, gibi bu gruba örnek programlar 5 ve 6. bölümlerde ele alınmıştır.

2.3 Işık Modellemede Kullanılan Fotometrik Aygıt Formatları

Bir yüzeye gelen ışığın oluşturduğu aydınlık düzeyi hesapları yapılırken, kullanılacak yapay ışık kaynaklarının, ışık yeğnlik dağılımlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu ışık yeğnlik dağılımlarının bilgisayar ortamında kullanılabilmesi için, dağılımın sayısal değerlerinin belirli bir düzen içinde sıralanması gereklidir. Günümüzde yapay ışık kaynaklarının 3 boyutlu ışık yeğnlik dağılımına ilişkin sayısal veri formatları, Eulumdat, IES, CIBSE, CIE olarak dört ayrı grupta toplanmaktadır.

Eulumdat Formatı

Eulumdat, Avrupa ülkelerinde kullanılan ışık yeğnlik dağılımı formatıdır. Bu formatta ışık kaynağının, 3 boyutlu ışık yeğnlik dağılımının sayısal değerleri “kandela/kilolümen” olarak verilir. Değerlerin cd/klm olarak verilmesi aynı aygıt içinde değişik özellikte lambalar kullanılması durumunda da hesaplamayı olanaklı kıldığından, iyi planlanmış bir metin dosyası olarak tanımlanabilir. Eulumdat formatının dosya uzantısı “ldt” dir.

IES LM-63

IES, Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisliği Birliği (Illuminating Engineering Society of North America, IESNA), tarafından desteklenen ve yaygın olarak Amerika’da kullanılan formattır. Bu formatta ışık kaynağının, 3 boyutlu ışık yeğnlik dağılımının sayısal değerleri kandela olarak verilir. Değerlerin “kandela” olarak verilmesi aynı aygıtta farklı lambalar kullanılması durumunda, her değişik lamba için ayrı bir format gerektirdiğinden, iyi planlanmamış bir metin dosyası olarak tanımlanır. Üç farklı teknik özellikte hazırlanmış olan formatın, en yaygın olarak kullanılanı IES LM-63 olup dosya uzantısı “IES” dir.

CIBSE TM 14

CIBSE TM 14, CIBSE (İngiliz Chartered Institution of Building Service Engineers) tarafından geliştirilen ve ağırlıklı olarak İngiltere’de kullanılan bir formattır. Bu formatta ışık kaynağının, 3 boyutlu ışık yeğnlik dağılımının sayısal değerleri kandela olarak verilir. Değerlerin kandela olarak verilmesi aynı aygıtta farklı lambalar kullanılması durumunda, her

değişik lamba için ayrı bir format gerektirdiğinden, iyi planlanmamış bir metin dosyası olarak tanımlanır. Format IES formatına benzer özelliktedir, ancak aygıtın ürün bilgileri konusunda çok daha kesin bir tanımlamaya sahiptir. Aygıtı yerleştirilen lambanın ışık akısını doğru bir biçimde kodlamak bu formatta olanaklı değildir. Bu durumda üreticiler, bu bilgiyi ürün bilgisi bölümü içinde standart dışı bir yorumlama ile kodlamaktadırlar. Bu sınırlama nedeniyle, CIBSE TM 14 formatının kullanımı kolay olmayan bir format olduğu söylenebilir.

CIE

CIE'nin 1993 yılında yayımlanan 102 numaralı yayınında tanımlanan format, aygıt ışık yeghnlüğünü CIE'nin önerdiği kandela değerlerinde saklayan bir formattır. Bu format, aygıt endüstrisi alanında, bölgelere ait farklılıkları ortadan kaldırmak üzere, bir “aygıt fotometrik verisinin elektronik transferi için, bir format önerisi hazırlamak” amacıyla yapılmış bir denemedir.

3. DIALux 4.3 PROGRAMI

DIALux programı, Almanya'da, DIAL GmbH firması tarafından, 1994 yılında, aydınlatma alanına yönelik hazırlanmış bir programdır. DIALux 3.0 versiyonu ile gündeme gelen programın temel özelliği, her aygıt üreticisi firmanın, kendi ürünlerinin teknik özelliklerini bu programa katabilmesidir.

Program www.dialux.com sitesinden ücretsiz olarak yüklenebilmektedir. Bu çalışmada, programın 2007 yılında kullanıma sunulan, Türkçe dahil olmak üzere 22 farklı dil için hazırlanan 4.3 versiyonunun,

- genel özellikleri,
- bilgi girişi özellikleri,
- bilgi çıkışı özellikleri
- 3 boyutlu görselleştirme ve animasyon özellikleri

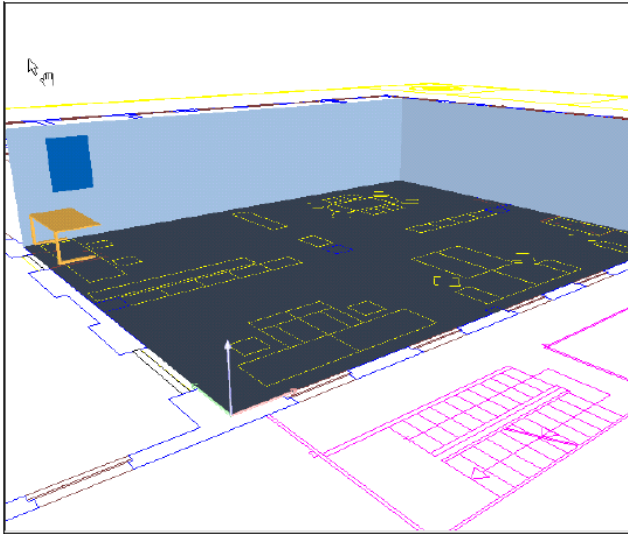
ele alınmıştır (DIALux Version 4.3, 2006).

3.1 DIALux 4.3 Programının Genel Özellikleri

DIALux 4.3 programı için bilgisayarların sistem gereksinimleri açısından, Pentium III ya da daha yüksek işlemci, 800 MHz ya da daha yüksek frekans, 256 MB RAM bellek, Open GL uyumlu grafik kartı ve 1280x1024 ekran çözünürlüğü gereklidir. Program Windows 2000, Windows XP Home Edition, Windows XP Professional işletim sistemleri altında çalışmaktadır.

Program, iç mekan, dış mekan, yol aydınlatması ve acil aydınlatma gibi aydınlatma konularına yöneliktir. Örneğin iç mekan için dikdörtgen, L ve çokgen plan seçenekleri bulunmaktadır. Bu çalışmada, genel olarak iç mekan seçeneği için yapılan ayarlar ve parametrelerden bahsedilecektir.

DIALux programında CAD tabanlı programlarla veri alışverişi yapabilmekte ve dxf ya da dwg formatlarında kaydedilmiş dosyaları yapılacak çizimler için altlık kullanılabilmektedir. Ayrıca SAT dosyası biçiminde hazırlanmış mekanları programa atayarak doğrudan aydınlatma tasarımı yapmak olanaklıdır.



Şekil 3.1 DIALux 4.3 programı dxf formatı arka planda 3 boyutlu görünüm [7].

Bu programda, hem doğal hem de yapay ışık kaynaklarının oluşturduğu dolaysız ve yansımış aydınlık düzeyi hesabı için “yayınım (radiosity) yöntemi”nden yararlanılarak geliştirilen RadiCal isimli bir model kullanılmıştır. Enerji korunumu prensibine bağlı olarak işlem yapan

yöntemde, tüm ışık bir yüzeye gönderilmekte, yüzeyde yutulmayan ışık diğer yüzeylere yansıtılmaktadır. Ayrıca, bir yüzey kendiliğinden ışıklı olabilmektedir. Yayınım yöntemi ile

her yüzey için bir hesap eşitliği oluşturulur. Bu eşitlik, diğer yüzeylerden yayımlanan ışığı ve eğer varsa bir yüzeyin kendi ışıklılığını tanımlar. Tüm yüzeyler izotrop yayınık yansıma yapan mat yüzeyler olarak kabul edilir.

DIALux programında DIALux 4 versiyonu itibariyle doğal aydınlığı hesaplamak olanaklı olmuştur. CIE Açık Gök, CIE Kapalı Gök, CIE Ortalama Gök tipleri için hesaplama yapan programda, dolaysız güneş ışığı açık gök tipi için hesaba katılabilirken, kapalı gök ve ortalama gök tipi için hesaba katılmamaktadır (Çizelge 3.1). Gök tiplerinden her biri, kendi ışıklılık dağılımlarına göre tanımlanmıştır. Her birinin Zenit ışıklılıkları, birbirinden farklıdır ve farklı olanlar için bir model seçilmiştir. Açık ve Kapalı gök için DIALux programı, Krochmann'ın Zenit formülünü kullanmakta ve günışığı çarpanını hesaplayabilmektedir.

Programda doğal ışık hesaplaması yapılırken, kılavuz bölümünden gün ışığı çevresi eklenir. Gün ışığı çevresinde tarih, saat ve gök tipi belirlenir. Hesaplamanın yapılacağı yerin coğrafi konumu (enlem, boylam) ve zaman verileri, ayrıca kuzey yönü ile ilgili ayarlamalar yapılabildiği gibi ayrıca, programın kütüphanesinden de dünyanın birçok kentine ait coğrafi konum ve zaman dilimi verileri seçilebilmektedir.

Çizelge 3.1 CIE 110:1994'e göre gökyüzü tipleri.

Gök tipi	CIE Kapalı gök (Overcast sky)	CIE Ortalama gök (Average sky)	CIE Açık gök (Clear sky)
Tanım	Gök tamamen bulularla kaplı, dönel (rotasyonel) simetrik ışıklılık dağılımı	Gün batımından, gün doğumuna kadar olan sürede bir ortalama değer elde edilerek bulunur.	Bulutsuz gökyüzü
Dolaysız güneş ışığı	Yok	Yok	Var
Zenit ışıklılığı/ufuk ışıklılığı	3	1	8
DIALux'de kullanılan Zenit ışıklılığı	Krochmann		Krochmann



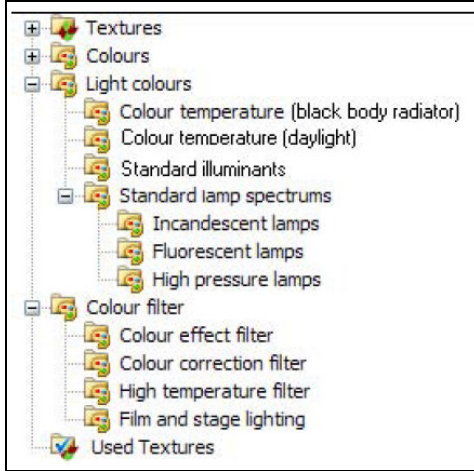
Şekil 3.2 DIALux programında aydınlık düzeyi hesabı için yüzeylerin bölümlere ayrılması.

1.2. Bölüm’de belirtildiği gibi birbirini gören yüzeylerde oluşan aydınlığın nicelik ve niteliği, dolaysız ve yansımış ışığın renksel özellikleri bağlamında değişim gösterir. DIALux programının 4.3’den önceki versiyonlarındaki hesaplamalarda hem birincil kaynaklardan yayımlanan ışığın renksel özellikleri türsüz (standart E), hem de yüzeylerin türsüz olduğu kabul edilmiştir. DIALux 4.3’de ise, ışık kaynağının, ışık kaynağı renk filtresinin ve aydınlatılan yüzeyin tayfsal ışık yansıtma çarpanları eğrisini dikkate almaktadır.

Programda, ışık renkleri dosyasında,

- renk sıcaklıklarına göre,
 - kara cisim için 2000K’den 25000 K’e 29 adet,
 - günışığı için 4000K’den 25000 K’e 18 adet,
 - CIE standart E ve D65 ışığı,
- Lamba tiplerine göre,
 - akkor (standart lamba, yüksek ve alçak gerilim halojen lamba),
 - flüoresan (640, 827, 830, 840, 930, 940, 950 ışık renkleri),
 - yüksek basınçlı (civa buharlı, metalik halojenürlü 830 ve 942, sodyum buharlı standart ve sodyum buharlı profesyonel)

ışık tayfı seçenekleri bulunmaktadır (Şekil 3.3).



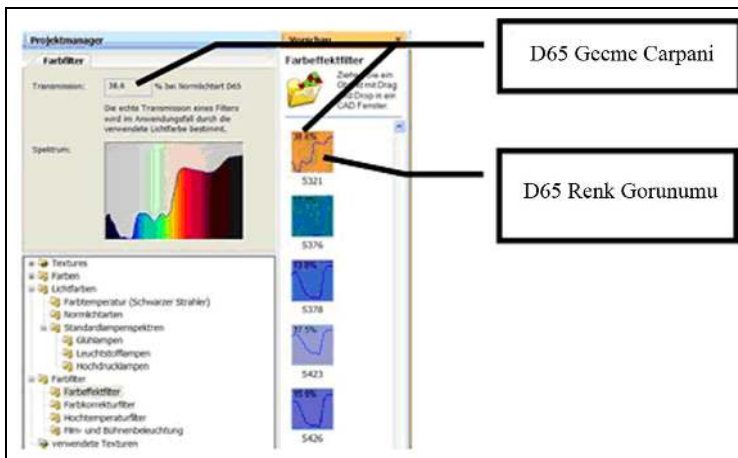
Şekil 3.3 DIALux renk düzeninde ışık renkleri.

Renk filtreleri dosyasında, DIAL fotometri laboratuvarlarında, tayfsal geçirme çarpanları ölçülmüş düzgün geçme yapan filtreler yer almaktadır.

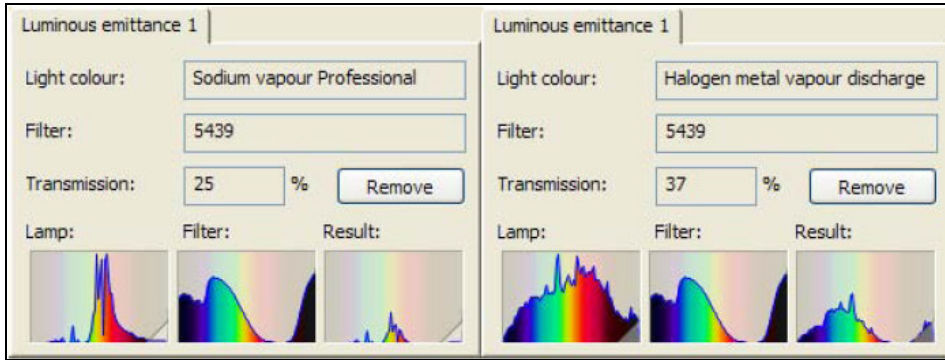
Renk filtreleri (süzgeç),

- renk etkisi filtresi,
- renk düzeltme filtresi,
- yüksek sıcaklık filtresi, film ve
- sahne aydınlatması

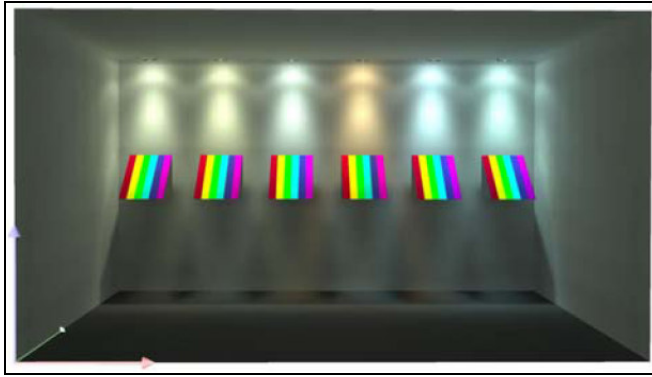
olarak 4 ana gruba ayrılmakta ve her grupta kendi içinde çok sayıda filtre yer almaktadır. Örneğin Standart D65 ışığı gibi filtreler kullanıldığında, ekranda renk görüntüsü ve geçme çarpanı görülebilir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Renk filtrelerine ait teknik bilgiler.



Şekil 3.5 Aynı filtrenin sodyum buharlı ve metalik halojenürlü lamba ile kullanımından elde edilen sonuçların gösterimi



Şekil 3.6 Farklı ışık kaynaklarında aynı geçirme çarpanına sahip filtre konulması ile oluşan aydınlıkların gösterimi (Soldan itibaren; akkor lamba, flüoresan 830, D65, yüksek basınçlı sodyum, metalik halojenürlü seramik, metalik halojenürlü kuvars).

DIALux programında yapay ışık kaynakları için 2.3 numaralı bölümde tanımlanan ışık yeğirlik dağılımı formatlarından,

- Eulumdat
- CIBSE
- TM 14
- IES

formatları kullanılmaktadır. Program kütüphanesinde bulunan aygıtlar yanı sıra belirtilen formatlarda hazırlanmış farklı aygıtlar programa dışardan atanabilmektedir.

Programda bakım çarpanı

- genel,
- genişletilmiş, EN 12464

olarak iki biçimde belirlenebilir.

Genel seçeneğinde, kullanıcı istediği bakım çarpanı değerini girebildiği gibi, program mekanın kullanım süresine göre de bir değer vermektedir. Genişletilmiş seçeneğinde ise, ortam koşulları ve bakım aralığı belirlendikten sonra, program EN12464 standardına göre bir bakım çarpanı değeri ön görmektedir.

3.2 DIALux Programının Bilgi Girişi Özellikleri

DIALux 4.3 programı, DIALux 4.3 ve DIALux Işık Asistanı olarak iki ayrı biçimde kullanılabilir.

DIALux Işık Asistanı, iç mekan aydınlatmasında, yapay aydınlık düzeyi hesapları ve görselleştirilmesinin hızlandırılması için hazırlanmış bir bölümdür. DIALux Işık Asistanı ile DIALux programının içine girmeden, hızlı ve basit biçimde bir iç mekanda yapay aydınlık düzeyi hesabı yapılabilir ve çeşitli biçimlerde sonuçlar elde edilebilir.

Bu bölümde açılan pencerelerde sırasıyla,

- proje bilgileri girilir,
- oda geometrisi, hesaplama parametreleri, aygıt seçimi yapılır,
- ışık kaynağı konumu ve yerleştirilme düzeni belirlenir, hesaplama yapılır
- çıktı seçenekleri düzenlenir ve çıktı alınır.

DIALux 4.3 programı açıldığında ise çıkan pencerede öncelikle,

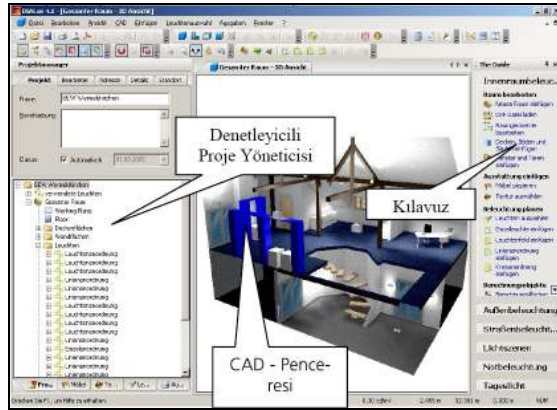
- İç mekan (dikdörtgen, L, çok köşeli oda),
- Dış mekan,
- Yol projesi,

seçenekleri çıkar. Kullanıcı bunlardan kendi konusuna uygun olanı seçer ve programın içine girilir.

DIALux programı çalışma yüzeyi tıpkı Windows XP yüzeyine benzemektedir, oldukça dinamik ve rahat bir kullanıma sahiptir. Genel olarak bilgisayar kullanıcılarının rahatlıkla işlem yapabileceği bir düzendedir. DIALux çalışma yüzeyi,

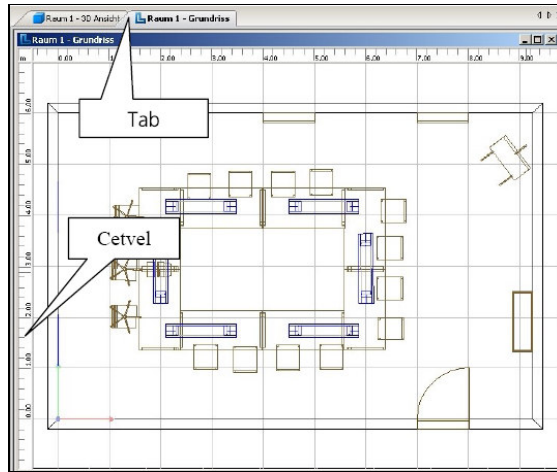
- CAD penceresi
- Denetleyicili Proje Yöneticisi
- Kılavuz

biçiminde 3 ana başlıkta toplanabilir. Bunlara ek olarak sayfanın üst kısmında menü ve araç çubukları da yer alır.



Şekil 3.7 DIALux 4.3 programı yüzeylerinin gösterimi.

- CAD penceresi**, ile mekanın ve mekanda yer alan nesnelerin çeşitli görüntülerini, aydınlatma düzeni ile ilgili işlemleri görmek olanaklıdır.



Şekil 3.8 DIALux 4.3 programı CAD penceresinde oda plan görünümü.

- b) **Proje yöneticisi** bölümünde, aydınlatma ile ilgili tüm fonksiyonlar denetlenmekte, özellikleri belirlenmektedir. Bu bölüm, proje, mobilya, doku, aygıt seçimi ve çıktı alt bölümlerini kapsamaktadır.
- **Proje** alt bölümünde, projenin genel bilgileri ve projeye işlenenlere ait bilgiler yer alır. (Mekan yüzeylerini malzeme özellikleri, kullanılan ışıklık özellikleri v.b). Bu bölümde, proje ile ilgili proje adı, genel bilgiler, yer bilgileri girilirken, mekan ile ilgili genel bilgiler, bakım çarpanı, oda yüzeylerinin yansıtma çarpanı, malzeme ve renk özellikleri, mekanın yönü belirlenir.
 - **Mobilya** alt bölümünde, standart elemanlar, oda elemanları, pencere ve kapılar, dış çevre elemanları, hesap yüzeyi ve hesap noktaları, ayrıca da farklı mobilya kütüphaneleri içeren dosyalar bulunmaktadır. Seçilen eleman, “sürükle ve bırak” işlemi ile projeye getirilebilir. Programın kütüphanesinde mevcut bulunan mobilyalar projede kullanılabilir. 4.3 versiyonu ile birlikte SAT formatı yanı sıra mobilyalar m3d formatıyla da mevcut bulunmaktadır. Bu format sayesinde mobilya verilerinin, diğer programlarla alışverişi kolaylaşmıştır.
 - **Doku** alt bölümünde, program kütüphanesinde çeşitli dokular ve RAL renkleri bulunmaktadır. Seçilen doku tıpkı mobilyada olduğu gibi “sürükle bırak” yöntemiyle istenilen yüzeye ya da mobilyaya atanabilmektedir. Kullanıcının isteğine bağlı olarak kişisel dokular da oluşturulabilmektedir. Proje için seçilen doku, istenilen yüzey ya da mobilyaya atandıktan sonra, yansıtma çarpanı dokudaki RGB değerleriyle belirlenebilmektedir. Yüzeylere istenilen ışık yansıtma çarpanı değeri verilebilir.
 - **Aygıt** alt bölümünde, çeşitli firmalara ait ürün kütüphaneleri bulunmaktadır. Bu bölümde ayrıca kütüphanede olmayan aygıtları programa atayabilmek için işlem yapmak olanaklıdır.
 - **Çıktı** alt bölümü ise proje ile ilgili sonuç dosyalarını düzenleyen bölümdür. Bu dosyaların belli bir kısmı hesaplamadan önce görülebilirken, belli bir kısım yalnızca hesaplama işlemi yapıldıktan sonra elde edilebilmektedir.

- c) **Kılavuz** bölümünde, iç mekan aydınlatması, dış aydınlatma, yol aydınlatması, ışık ayarları, acil aydınlatma ve günışığı bölümleri yer alır. Bu bölümde projenin özelliğine göre denetimler yapılır. Örneğin bir iç mekan projesinde, yalnızca doğal aydınlık düzeyi hesabı için, Kılavuz bölümünde gün ışığı alt başlığında proje ile coğrafi bilgiler, açıklık ve pencere özellikleri, gün ışığı hesabı parametreleri ile ilgili ayarlar yapılır. Tüm bu ayarlar yukarıda bahsedilen proje bölümünde görülecektir.

3.4 DIALux Programının Bilgi Çıkışı Özellikleri

DIALux programı, hesaplama sonuçlarını çeşitli biçimlerde göstermektedir. Tüm sonuç çıktıları, proje yöneticisi kısmında yer alan, çıktı bölümünden yönetilebilir. Çıktı bölümü,

- a) Proje
- b) Aygıt ismi,
- c) Oda bilgileri

olarak 3 gruba ayrılır.

- a) proje bölümü proje adı, tarih gibi genel bilgilerin olduğu bölümdür.
- b) aygıt bölümünde ise, aygıtı ait çizim, resim gibi detaylar, aygıt ışık yeğinlik diyagramları ve çizelgeleri, koni diyagramı, kamaşma verileri, acil aydınlatma verileri yer alır.
- c) oda bölümünde ise, mekan ve aydınlatma düzeni bilgileri, ışıklılık, mobilya, oda elemanları koordinat ve konum planları, hesap yüzeyleri ve mekanın 3 boyutlu görselleştirmesi ve mekanda renklere göre aydınlık düzeyini gösteren 3 boyutlu görselleştirme, aydınlatma tekniği sonuçları yer alır. Oda bölümü altında bulunan oda yüzeyleri bölümünde sonuçlar mekandaki yüzeyler ve çalışma düzlemi üzerindeki aydınlık düzeyleri ve ışıklılıkları göstermeye yöneliktir. Genel olarak her yüzeyde alınan aydınlık düzeyi ve ışıklılık sonuçları,
 - Nuktada aydınlık düzeylerini gösteren tablo,
 - Eş aydınlık düzeyi eğrileri ile aydınlık düzeyini gösteren tablo,
 - Gri değerlerine göre aydınlık düzeylerini gösteren tablo
 biçiminde sunulmaktadır.

Çıktı bilgileri, PDF dosyası biçiminde kaydedilebilmekte ve oluşturulan grafikler, başka programlara aktarılabilir. Tüm çıkış bilgileri, projeye girilen veriler doğrultusunda hazırlanır. Projeye girilen bilgi ne kadar detaylı ise, alınan sonuçlar da o kadar doğru ve detaylı olacaktır.

3.5 3 Boyutlu Görselleştirme ve Animasyon Özellikleri

DIALux 4.3 programı yayınlam yöntemine dayalı aydınlık düzeyi hesabı ve mekan görselleştirmeleri yapabilmektedir. Bu görselleştirmeler Bölüm 3.2’de verilen bilgiler bağlamında gerçekleşir. Ancak Bölüm 1.4.3’de belirtildiği üzere yayınlam yöntemi yüzeyler hesaplama ve görselleştirmelerde mat kabul edilmektedir. Mat yüzeylerin yanı sıra parlak yüzeylerin de görselleştirilebilmesi için, ışın izleme yöntemine gereksinim vardır. Bu nedenle ışın izleme yöntemini kullanan ve genel bir program olan POV-RAY programı DIALux programı içinde seçenek olarak sunulmaktadır. Böylelikle programda parlak yüzeylerin de görselleştirilmesi olanaklı olmuştur. Ancak POV-RAY ile oluşturulan görselleştirmeler ışın izleme yöntemi özelliklerinden dolayı bakış açısına bağımlı olarak hazırlanır. Aşağıda POV-RAY programının kullanımına ait bilgiler verilmiştir.

POV- RAY programını kullanmak için, Menü’den *Dosya-Export* seçilmeli ve alt menüden “*CAD görünümli POV-Ray hesapla sekmes*”i seçilmelidir. POV – RAY ayarları bölümünde,

- Hızlı ayarlama
- Resim ayarları
- Yansımış ışık hesaplama
- Işıklılık ayarları

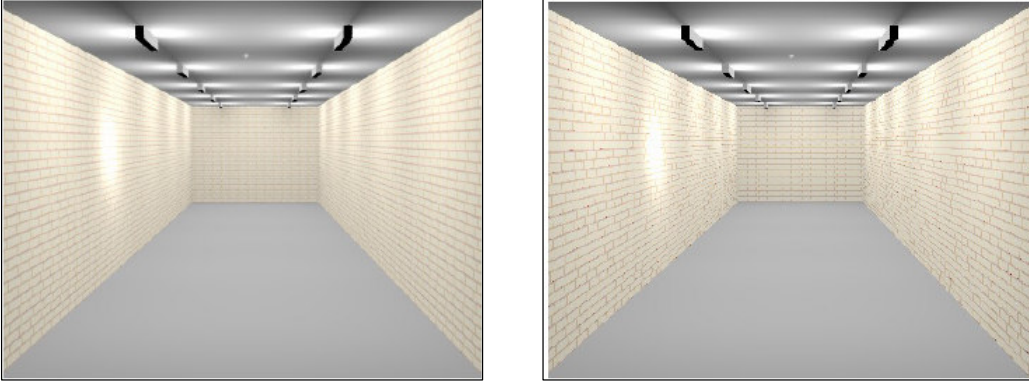
bölmeleri yer alır.



Şekil 3.9 POV-Ray Hızlı ayar / ışın izleme için temel ayarlar.

“Hızlı Ayarlama” bölümünden **“Resim Özellikleri”** ile ilgili görselleştirmenin uzunluk ve genişlik ayarlarını yapmak olanaklıdır. Çözünürlük arttıkça resim boyutu da büyüyecektir. Ancak büyük bir görselleştirme hesaplama zamanını uzatır. **“Kenar düzleme”** fonksiyonunda ise, resimdeki köşeler düzeltilmektedir. Örneğin, duvar gibi yüzeylerde, tuğla, kiremit, kaldırım dokuları gibi çizgileri olan dokular kullanıldığında bu fonksiyon aktive edilmelidir. Bu fonksiyon oldukça fazla hesap gücü gerektirdiğinden bitmiş olan resimlerde kullanılmalıdır. Sadece dokular değil, aynı zamanda geometrinin köşeleri de düzeltilir.

“Doku kaplama (Autobumpmaps)” komutu, yüzeyler üzerinde ahşap, kiremit gibi dokular uygulandığında 3 boyutta gerçekçi görselleştirmeler elde etmek için kullanılır. Doku kaplama için yüzeyin renk değerleri esas alınır.



Şekil 3.10 POV-Ray ile köşe düzleme.

“Resim ayarlarında”, resmin pikseller halinde boyutu tanımlanır. Her istenen boyut ayarlanabilir. İlk resim için her zaman çözünürlük 640 x 480 piksel seçilmelidir.

“Yansıtmış ışık hesaplama” bölümünde ise, yansıtmış ışığın sonuç üzerindeki etkisi belirlenir. Yansıtmış ışığın olduğu alan ne kadar büyükse, hesaplama süresi o kadar uzun olacaktır. Bu fonksiyon basit bir “yayınım” işlemi üzerinden gerçekleşir. Yansıtmış ışık hesabı olmadığında, ışığı dolaysız olarak almayan nesneler siyah olacaktır. Yansıtmış ışık hesaplama bölümleri,

- Sayaç (count),
- hata sınırı (error band)
- ön izleme (pretrace) ve
- gri eşiği (grey threshold)

olarak sıralanabilir.



Şekil 3.11 POV-Ray yansımış ışık hesaplama.

Hesaplanan ışın sayısı-sayaç (Count) fonksiyonuna yazılan değer, Radiosity fonksiyonu kullanılarak yapılan bir hesaplama için gönderilen ışınların tam sayı değerini verir. Programda verilen değer 35 olmakla beraber en yüksek 1600 değeri girilebilir. Bu değer düşük ayarlandığında yüzeylerde oluşan aydınlıklar bir leke gibi gözükecek ve yüzeylerde hafif bir eğrilme etkisi oluşacaktır.

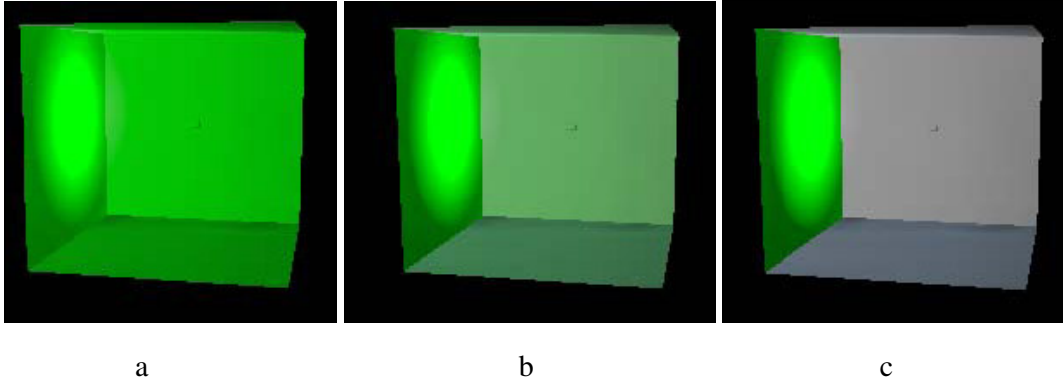
Hata sınırı (Error bound) parametresi ise hesaplama hızı ve görselleştirmenin kalitesi arasındaki ayarı sağlayan bir parametredir. Değer üst üste olan hesaplamaları tolare eder. Bu nedenle değer ne kadar düşük olursa görüntü o kadar tam ancak bir o kadar da yavaş olur.

Ön izleme (Pretrace) değeri yüzeyler üzerinde aydınlık düzeyi hesabı yapılırken, yüzeylerin alt bölümlere ayrılması için alt ve üst değerleri gösterir.

Gri eşiği (Grey Threshold) değeri yansımış ışığın renksel özelliklerini değiştirmek üzere kullanılır. İç yüzeylerin renkli olması durumunda, yüzeyin büyüklüğüne ve ışığın yansıma sayısına bağlı olarak, yüzeylerin görünen renklerinde (tür, değer, doymuşluk) değişiklikler olacaktır. Bu değişiklikler gri eşiği ile ayarlanabilmektedir.

- Gri eşiğinin 0 olması, yansımış ışığın maksimum doymuşlukta olduğunu,
- gri eşiğinin 1 olması ise, yansımış ışığın minimum doymuşlukta olduğunu gösterir.

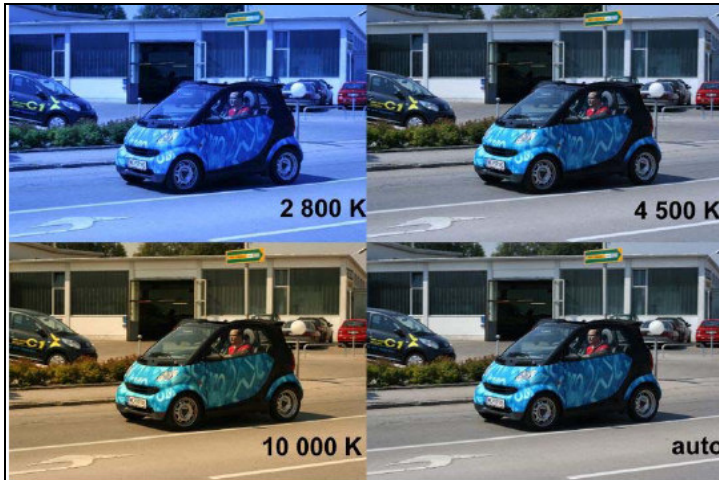
Şekil 3.12’de yeşil bir duvara, beyaz ışık yayımlayan bir ışık kaynağı doğrultulmuştur. Resim a’da gri eşiği değeri 0, b’de 0,5 ve c resminde ise 1’dir.



Şekil 3.12 POV-Ray gri eşiği değeri gösterimi.

“Işıklılık ayarları” bölümünde ise ışıklılık için düzeltme katsayısı girilebilmektedir. Değer 0 ile 10 arasında değişir. 0 ile 1 arasında sahne karanlıklaşırken, 1’in üzerindeki değerlerde sahne aydınlanır, karanlık bölgelerde daha fazla ayrıntı görülür.

POV-RAY ile beyaz eşitlemesi yapılarak, monitör gösteriminde görselleştirme ışıklarının renk sıcaklıklarına uyması da sağlanır.



Şekil 3.13 Aynı fotoğrafta beyaz eşitliğinin farklı değerlerinin kullanılması.

Çizelge 3.2 DIALux 4.3 programının özellikleri

Program adı	DIALux
Program başlangıç yılı/firma/yükleme	1994/DIAL GmbH www.dialux.com
İşletim sistemleri	Windows 2000, Windows XP Home Edition, Windows XP Professional
Doğal aydınlık hesabı gök koşulları	CIE Kapalı(Krochmann) , CIE Açık(Krochmann), CIE Ortalama gök
Doğal ışık ayarları	Kuzey yönü, coğrafi konum, zaman dilimi
Yapay aydınlık hesabı yöntemleri	Yayınım / ışın izleme
Yüzey bölümlleme	Yüzeylerde hesap noktaları belirlenebilir
Işık rengi kullanımı	Aygitların tayfsal yansıtma çarpanları değiştirilebilir / renk filtreleri atanabilir
Özel aydınlatma konuları	İç mekan, yol aydınlatması, dış mekan, acil aydınlatma
Mobilya/doku	Kütüphanede mevcut
Mobilya/doku formatı	SAT, m3d
Doku özellikleri	Mat yüzeyler
Kullanılan renk dizgeleri	RGB, HSV
Aygıt ışık yeğnlik formatı	Eulumdat, CIBSE, TM 14, IES
Dwg/dxf dosyaları ile çalışabilme	Açılan dosyalara altlık olarak çalışır. Sat formatı doğrudan kullanılır.
Aydınlık düzeyi ve ışıklılık sonuçları	Noktada aydınlık düzeylerini gösteren tablo, Eş aydınlık düzeyi eğrileri ile aydınlık düzeyini gösteren tablo, Gri tonlara göre aydınlık düzeylerini gösteren tablo. 3 boyutlu görselleştirmeler
3 boyutlu görselleştirme özellikleri	Pov-Ray programı ile ışın izleme uygulanır
Dil sayısı	Türkçe dahil 22
Yardım dili	Türkçe dahil 6 dil

4. Relux 2007 PROFESSIONAL PROGRAMI

Relux programı, 1998 yılında, Almanya’da, Regent AG, Fluora AG ve Tulux AG aydınlatma firmaları tarafından kurulan Relux Informatik AG kapsamında 1.0 versiyonuyla kullanıma

sunulmuştur. Programın temel özelliği, 3. Bölümde bahsedilen DIALux programında olduğu gibi, her aygıt üreticisi firmanın, kendi ürünlerini bu programa katabilmesidir.

www.relux.biz sitesinden ücretsiz olarak yüklenebilen program, Türkçe hariç 17 farklı dilde hazırlanmıştır. Bu çalışmada programın 2007 yılında kullanıma sunulan, Relux Professional 2007 versiyonunun,

- genel özellikleri,
- bilgi girişi özellikleri,
- bilgi çıkışı özellikleri
- 3 boyutlu görselleştirme ve animasyon özellikleri

ele alınmıştır (Relux Informatik AG, 2006, 2007).

4.1 Relux Professional Programının Genel Özellikleri

Relux programı için bilgisayarların sistem gereksinimleri açısından, Pentium II ya da daha yüksek işlemci, 1 GB RAM bellek, 800 MHz ya da daha yüksek frekans, Open GL uyumlu grafik kartı ve 1024x768 ekran çözünürlüğü gerekmektedir. Program Windows 2000, Windows XP Home Edition, Windows Vista işletim sistemleri altında çalışmaktadır.

Program, iç mekan, dış mekan, yol aydınlatması ve acil aydınlatma gibi aydınlatma konularına yöneliktir. Örneğin iç mekan için,

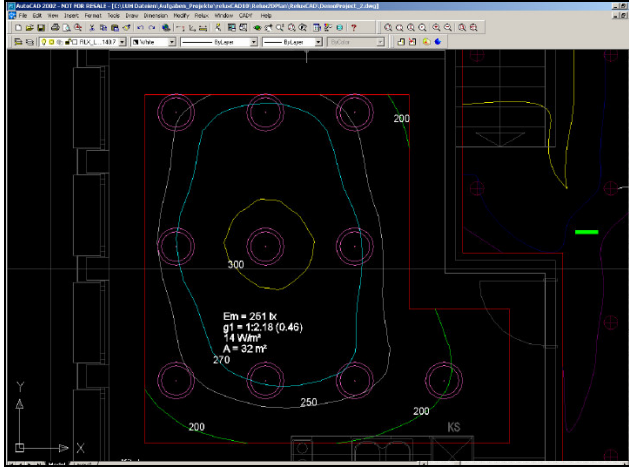
- beşik çatılı oda
- L oda
- çokgen
- dikdörtgen
- yarım daire oda
- yamuk oda

seçenekleri bulunmaktadır. Bu çalışmada, genel olarak iç mekan seçeneği için yapılan ayarlar ve parametrelerden bahsedilecektir.

Relux programında, CAD tabanlı programlarla alışverişi sağlayan Windows metafile, dxf, 3ds, ASCII formatında dosyaları kullanılabilir. Ancak gelen çizim, 2 boyutlu bir altlık olarak

kullanılabilmektedir. Öte yandan www.relux.biz sitesinden yüklenebilen ReluxCAD 1.0 programı ile Relux programında, CAD çizimleri ile çalışma olanağı sağlanmaktadır.

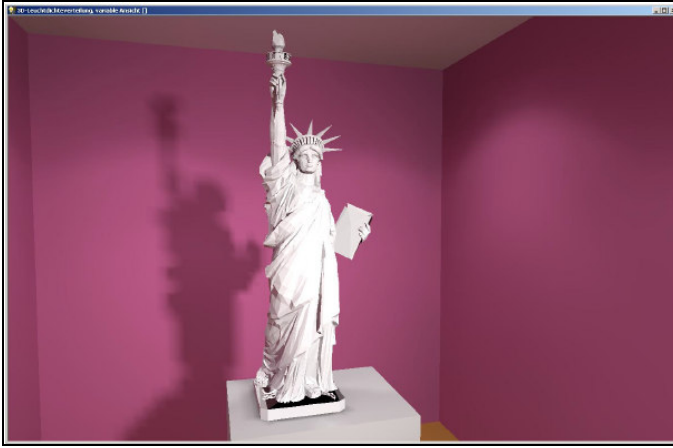
ReluxCAD 1.0, AutoCAD 2000–2007 versiyonlarında çalışabilen, çizimleri AutoCAD programında oluşturup, hesaplamalar için Relux programına geçişi sağlayan, bir ek programdır. ReluxCAD yüklendiğinde AutoCAD programı içinde, ayrı bir menü olarak yer alır. Menüde, proje, aygıt seçimi ve yerleşimi, sembol oluşturulması ve oda ile ilgili denetimlerin yapılması sağlanmaktadır. AutoCAD programı içinde, Relux program komutlarıyla oda çizimi yapılır, yine Relux kütüphanesinden aygıtlar seçilir ve yerleştirilir. Hesaplama için “Relux Başlat” komutunun seçilmesiyle, proje Relux programına atılır ve burada hesaplama yapılır. Sonuçlar kaydedilip, tekrar AutoCAD programında açılarak sunulabilir.



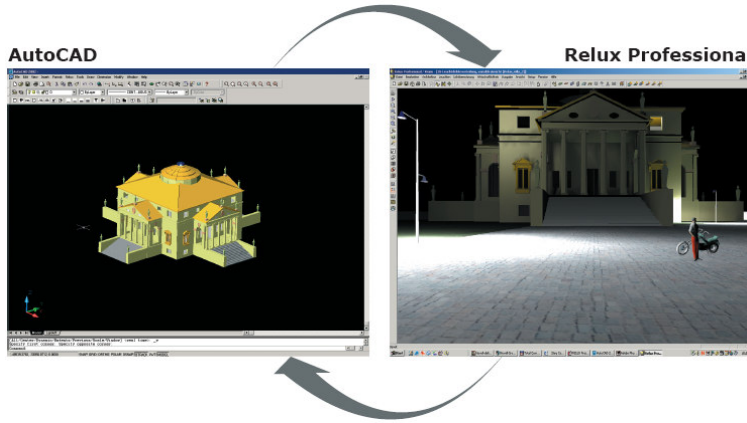
Şekil 4.1 Relux hesaplama sonuçlarının AutoCAD programında sunulması.



Şekil 4.2 Relux programından bir odanın CAD planına alınması.



Şekil 4.3 AutoCAD programında hazırlanan bir çizimin Relux içine alınması.



Şekil 4.4 AutoCAD ve Relux programlarında 3 boyutlu obje alış verişi [9].

Relux programında, hem yapay, hem de doğal aydınlık düzeyi hesaplamaları için yayılım (radiosity) yöntemi kullanılmakta, iç yüzeyler mat kabul edilmektedir. Relux 2007 versiyonunda ayrıca, ışın izleme yöntemini kullanan Relux Vision 1.1 programı kullanıma sunulmuştur. Relux Vision, Relux Professional altında çalışabilen ayrı bir programdır. İlk versiyonu Vision 1.0 olan Işın izleme (ray tracing) yöntemi kullanan program, Lozan Federal Politeknik Okulu EPDFL (Ecole Polytechnique Federale de Lausanne) tarafından geliştirilmiştir. Vision 1.1 programı ile mat yüzeylerin yanı sıra parlak yüzeylerin, saydam ve yarı saydam malzemelerin görselleştirilmeleri oluşturulabilmektedir.

Relux programında bir yapay aydınlık ya da/doğal aydınlık düzeyi hesabı yapılırken,

- Sadece dolaysız ışık,

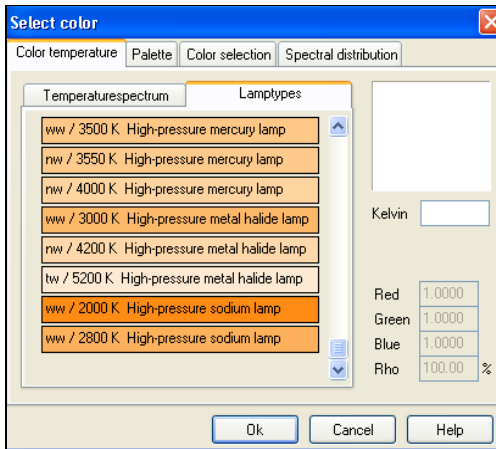
- Yansıymış ışık
 - Düşük sayıda yansıma
 - Ortalama sayıda yansıma
 - Yüksek sayıda yansıma

algoritmaları kullanılmaktadır

Relux 2007 programında, doğal aydınlık hesabı için, CIE Kapalı Gök ve CIE Açık Gök tipleri kullanılmakta, hesaplama yapılacak kentin enlem ve boylam değerleri ile tarih, zaman ve zaman dilimi değerleri, kuzey yönü belirlenmektedir. Program kütüphanesinde yalnızca Basel şehri bulunmaktadır. Ancak kullanıcı istediği şehrin coğrafi bilgilerini ve zaman bilgilerini girerek kendi kütüphanesini oluşturabilmektedir.

Ayrıca Relux Vision 1.1 programı ile CIE ortalama gök, ve DIN 5034 tek düze kapalı gök tiplerine (uniform overcast sky) göre hesaplama yapılabilmektedir. Böylelikle programın doğal aydınlık hesabı için gök tipi seçenekleri çoğaltılmıştır.

Relux Professional 2007 versiyonunun önceki versiyonlarındaki hesaplamalarda hem birincil kaynaklardan yayımlanan ışığın renksel özellikleri türsüz (standart E), hem de yüzeylerin türsüz olduğu kabul edilmiştir. Relux 2007 ise, ışık kaynağının, ışık kaynağı renk filtresinin ve aydınlatılan yüzeyin tayfsal ışık yansıtma çarpanları eğrisini dikkate almakta, ışık kaynaklarının ışık tayflarını değiştirebilmektedir. Programda yapay ışık kaynakları için 19 adet lamba ışık tayfı, 2000 K'den 20000 K'e renk sıcaklığı vardır. Ayrıca lamba ışık rengi RGB renk dizgesine göre değiştirilebilmektedir.



Şekil 4.5 Relux 2007 ışık renkleri.

Relux 2007 programında yapay ışık kaynakları için Bölüm 2.3’de tanımlanan ışık yeğinlik dağılımı formatlarından,

- Eulumdat
- CIBSE
- TM 14
- IES
- CIE

formatları kullanılmaktadır.

Yapay aydınlık düzeyi hesaplamasında bakım çarpanı,

- Genel
- Genişletilmiş (EN 12464)

olarak iki biçimde belirlenebilir.

Bakım çarpanı, genel yöntemle istenilen değer girilerek belirlenirken, genişletilmiş yöntemle EN 12464 standardına göre belirlenmektedir. Bu standarda göre program oda koşulları, bakım zamanı, lamba ve aygıtı bağlı özelliklerine göre bir bakım çarpanı oluşturur. Programda bakım çarpanı için,

- CIE ,”Maintenance of indoor electric lighting systems”, 2005,
- ZVEI, “Lebensdauerverhalten von Entladungslampen für Beleuchtung” (Service life behaviour of discharge lamps for lighting), Kasım 2005,
- Philips OEM Kataloğu 2003/4

yayınlarına bağlı veriler kullanılmaktadır (Relux Informatik AG, 2006).

4.2 Relux Professional Programının Bilgi Girişi Özellikleri

Relux Professional programı açıldığında, çıkan pencerede,

- Relux Express (iç mekanda)
- Projeler
 - İç mekan (beşik çatılı oda, L oda, çok köşeli oda, dikdörtgen, yarım daire biçiminde oda, yamuk biçiminde oda),

- Dış mekan,
- Yol projesi

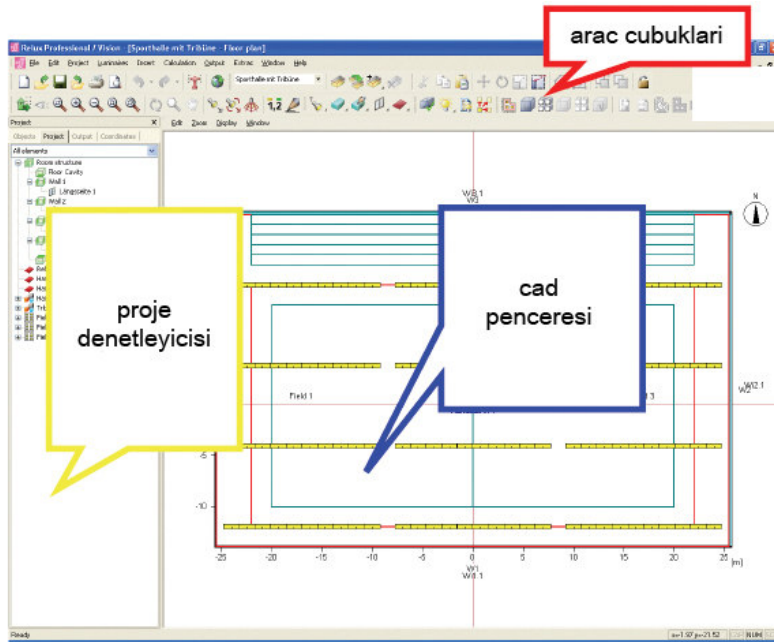
seçenekleri yer alır.

Relux Express, DIALux programındaki Işık Asistanı gibi hızlı biçimde iç mekanda yapay aydınlık düzeyini hesaplamaya yönelik hazırlanmıştır.

Projeler bölümünden ise kullanıcı uygun olan seçeneği belirledikten sonra ise programın içine girilir. Relux programı çalışma sayfası temel olarak,

- a) Proje denetleyici
- b) CAD penceresi

yüzeylerinden oluşur. Ayrıca CAD penceresi üzerinde çeşitli işlemleri yapmaya yarayan araç çubukları yer alır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Relux Professional çalışma yüzeyleri

- a) Proje denetleyicisi bölümünde,

- i. Proje,
- ii. Nesne ve
- iii. Çıktı bilgileri

ile ilgili denetlemeleri yapmak olanaklıdır.

- i. **Proje** bölümünde, mekan yüzeyleri ve çalışma düzlemi ile ilgili işlemleri yapmak olanaklıdır. Burada yüzeylerin renksel özellikleri RGB değerlerine göre değiştirilebilir ve yansıtma çarpanı değeri verilebilir. Her yüzey üzerindeki hesaplama noktalarının sayısı belirlenebilir.
 - ii. **Nesneler** bölümünde, aygıtlar, 3 boyutlu nesneler, oda elemanları, basit nesneler, ölçme elemanları ve malzeme/doku dosyaları yer alır. 3 boyutlu ve basit nesneler, malzeme ve doku elemanları program kütüphanesinden seçilebilir. Jpeg, Bitmap gibi resim formatlarında oluşturulan malzemeler programa dışardan atanabilir, yansıtma ve geçirme çarpanları değiştirilebilir. Benzer şekilde dışardan SAT dosyası biçiminde 3 boyutlu nesneler alınabilir.
 - iii. **Çıktı bilgileri** bölümünde ise aydınlatma düzeni ile ilgili bilgiler, tüm aydınlık düzeyi sonuçları ile ilgili denetimler yapılmaktadır.
- b) **CAD penceresi**, ise DIALux programında olduğu gibi mekanı etkili olarak kullanmaya olanak sağlar. Bu pencerede, mekanın ve mekana atanan nesne, aygıt v.b çeşitli bakış açılarından görüntüleri izlenebilir, yerleri değiştirilebilir.

4.3 Relux Professional Programının Bilgi Çıkışı Özellikleri

Relux programı, hesaplama sonuçlarını çeşitli biçimlerde göstermektedir. Tüm sonuç çıktıları, proje denetleyicisi kısmında yer alan, çıktı bölümünden yönetilebilir. Çıktı bölümü,

- a) Proje
- b) Aygıt fotometrik veri bilgileri,
- c) Oda bilgileri

olarak 3 gruba ayrılır.

- a) proje bölümü proje adı, tarih gibi genel bilgilerin olduğu bölümdür.
- b) aygıt bölümünde ise, aygıta ait çizim, resim gibi detaylar, ışıklılık ve ışık yeğinlik diyagramları, söllner diyagramı gibi bilgiler yer alır.

- c) oda bölümünde ise, mekan ve aydınlatma düzenini gösteren görselleştirmeler, aygıt ve nesnelerin koordinatlarını içeren proje tanımı bölümü, genel olarak çalışma düzlemi üzerindeki aydınlık düzeyi sonuçlarının veren sonuçlar bölümü yer alır. Son olarak da tüm aydınlık düzeyi sonuçları bulunur. Bu bölümde oda yüzeyleri ve çalışma düzlemi üzerindeki aydınlık düzeyi ve ışıklılığı gösteren sonuç çıktıları bulunur. Genel olarak aydınlık düzeyi ve ışıklılık sonuçları;

- Nuktada aydınlık düzeylerini ve ışıklılıkları gösteren tablo,
- Eş aydınlık düzeyi eğrileri ile aydınlık düzeyini gösteren tablo,
- Renkler göre aydınlık düzeylerini ve ışıklılık değerlerini gösteren tablo,
- Aydınlık düzeyi değişimlerini gösteren grafikler,
- Aydınlık düzeyi ve ışıklılıkları gösteren 3 boyutlu görselleştirmeler

biçiminde sunulmaktadır.

4.4 3 Boyutlu Görselleştirme ve Animasyon Özellikleri

Relux 2007 programında, 3 boyutlu görselleştirmeler yayılım yöntemi ile oluşturulmaktadır. Buna ek olarak, Relux Vision 1.0 programı ile hazırlanan görselleştirmelere ışın izleme (ray tracing) yöntemi uygulamak olanaklıdır. Relux Vision ile yapılan görselleştirmeler 1.4.2. Bölüm'de bahsedilen ışın izleme yönteminin özelliklerine bağlı olarak, mat yüzeylerin yanı sıra düzgün yansıma yapan, saydam ya da yarı saydam malzemeleri de hesaba katılacaktır. Ancak görselleştirmeler, ışın izleme yönteminden dolayı, belli bir bakış açısına bağlı olarak yapılacaktır.

Relux Vision programında ayrıca metal, ahşap, kiremit çeşitleri aynalar ve cam gibi malzemeleri içeren genişletilmiş bir katalog da yer almaktadır. Programın genel özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Relux programı özellikleri

Program	RELUX
Program başlangıç yılı/firma/yükleme	1998/Regent AG, Fluora AG ve Tulux AG www.relux.biz
İşletim sistemleri	Windows 2000, Windows XP Home Edition, Windows Vista
Doğal aydınlık hesabı gök koşulları	CIE Kapalı Gök ve CIE Açık Gök Relux Vision ile CIE açık gök, CIE ortalama gök, CIE kapalı gök ve DIN 5034 tek düze kapalı gök
Doğal ışık ayarları	Kuzey yönü, coğrafi konum, zaman dilimi
Yapay aydınlık hesabı yöntemleri	Yayınım / ışın izleme
Yüzey bölümlendirme yöntemleri	Yüzey üzerinde hesap noktalarının sayısı belirlenebilir
Işık rengi kullanımı	Aygıtların tayfsal yansıtma çarpanları değiştirilebilir / renk filtreleri atanabilir
Özel aydınlatma konuları	İç mekan, yol aydınlatması, dış mekan, acil aydınlatma
Mobilya/doku	Kütüphanede mevcut
Mobilya/doku formatı	SAT, m3d
Doku özellikleri	yüzeyler mat kabul edilir, Relux Vision ile Parlak ve saydam yüzeylerde dikkate alınmaktadır.
Kullanılan renk dizgeleri	RGB, RAL
Aygıt ışık yeğlilik formatı	CIE, Eulumdat, IES, CIBSE TM 14
Dwg/dxf dosyaları ile çalışabilme	Açılan dosyalara altlık olarak çalışır. ReluxCAD ile CAD programı çizimleri Relux içinde aydınlatılabilir
Aydınlık düzeyi ve ışıklılık sonuçları	Noktada aydınlık düzeyi tablosu, Eş aydınlık düzeyi eğrileri ile Renkler göre tablolar, Aydınlık düzeyi değişimlerini gösteren grafikler, 3boyutlu görselleştirmeler
3 boyutlu görselleştirme özellikleri	Vision programı ile ışın izleme yöntemi uygulanır
Dil sayısı	Türkçe hariç 17 dil
Yardım dili	İngilizce, Almanca

5. DESKTOP RADIANCE PROGRAMI

Desktop Radiance programı, Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı'nda (**Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)**), Çevresel Enerji Teknolojileri Bölümü'nün (Environmental Energy Technologies Division), Bina Teknolojileri Bölümü (Building Technologies Department) tarafından geliştirilmiştir. Program, Kaliforniya Enerji Verimliliği

Enstitüsü (**California Institute for Energy Efficiency (CIEE)**) aracılığı ile Pasifik Gaz & Elektrik Şirketi (**Pacific Gas & Electric Company (PG&E)**) tarafından desteklenmiş ve MarinSoft, Inc ile işbirliği içinde hazırlanmıştır.

Günümüzde, versiyon 1.02 ve versiyon 2.0 Beta isimli iki versiyonu olan Desktop Radiance programı, <http://floyd.lbl.gov/misc/download20B.html> web sitesinden yüklenerek kullanılabilir. Bu çalışmada yalnızca İngilizce hazırlanan programın Desktop Radiance Beta 2.0 versiyonunun,

- genel özellikleri,
- bilgi girişi özellikleri,
- bilgi çıkışı özellikleri
- 3 boyutlu görselleştirme ve animasyon özellikleri

ele alınmıştır (LBNL, 2000).

5.1 Desktop Radiance Beta 2.0 Programının Genel Özellikleri

Desktop Radiance programı için bilgisayarların sistem gereksinimleri açısından, önerilen donanım Pentium II ya da daha yüksek işlemci, 48 MB RAM bellek, 17" ya da daha geniş RGB renkli 24-bit monitör kullanımı ve 1024x768 ekran çözünürlüğü gerekmektedir. Program Windows 95, Windows 98, Windows 2000, Windows NT işletim sistemleri altında çalışmaktadır. Desktop Radiance programının kullanılabilmesi için, AutoCAD R14 ya da AutoCAD 2000 programlarından birinin yüklü olması gereklidir.

Programda kullanılan mekanlar AutoCAD programı içinde istenilen her form ve biçimde oluşturulmakta, ayrıca modelleme yapan çeşitli programlardan alınan mekanlarda programa atanabilmektedir.

Desktop Radiance programı, bir mekanın 3 boyutlu görselleştirmelerini oluşturmak ve belli noktalardaki yapay ve/ya da doğal aydınlık düzeyi hesaplamalarını gerçekleştirmek üzere geri yönlü ışın izleme yöntemini (backward ray tracing) kullanarak işlem yapar. Bu yöntemde, ışınlar kamera konumundan, bir sahnede görünen tüm yüzeylere doğru izlenir. Böylece, göze ulaşmayan ışınların getireceği yükten kurtulmak amacıyla, sadece göze ulaşan hesaplamalar dikkate alınmaktadır. Programda mat yüzeyler yanı sıra parlak yüzeyler ve yüzey renkleri dikkate alınmaktadır.

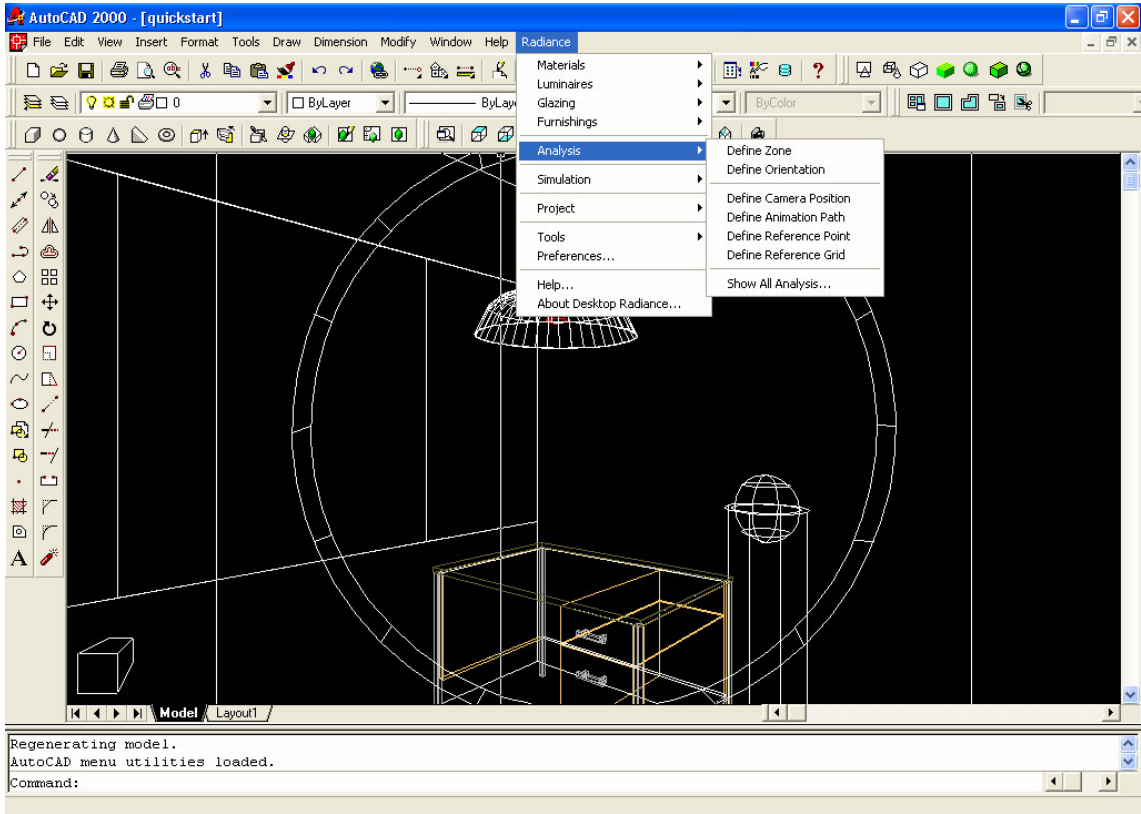
Doğal aydınlık düzeyi hesaplamaları için, CIE Açık Gök, CIE Kapalı Gök, CIE Ortalama Gök, tek düze kapalı gök tiplerine göre hesaplama yapılırken, aynı zamanda, şehir, ülke, zaman dilimi, enlem, boylam değerleri de girilebilir. Ayrıca bazı şehirlerin coğrafi konumları program kütüphanesinde hazır olarak bulunmaktadır.

Desktop Radiance programında *mkillum* komutu kullanılarak, bir pencere açıklığı, ışık yayan bir düzlem ya da ışık kaynağı olarak düşünülebilmektedir. Programda, camlı malzeme özellikleri bölümünde yer alan “simülasyon kontrol” kısmında, “ışık kaynağı olarak” seçimi yapılmaktadır. Bu seçim yapıldığında, dışarıdan gelen tüm ışık, öncelikle pencere yüzeyinde analiz edilir, bir alan içerisinden günışığı dağılımını belirleyebilmek için pencere yüzeyine 1 cd yeğinliğinde ışık atanır. Bu sayede pencere bir aygıt gibi davranır (Mistrick 2000).

Aygıt ışık yeğinlik dağılımı için IES formatı kullanılan programda, yalnızca kütüphanede yer alan aygıtlar kullanılabilenekte, dışarıdan yeni aygıtlar programa alınamamaktadır. Mevcut durumdaki aygıtların ışık tayfları değiştirilememekte, bakım çarpanı değeri dikkate alınmamaktadır.

5.2 Desktop Radiance Beta 2.0 Programının Kapsamı ve Bilgi Girişi Özellikleri

Desktop Radiance programı, “Basit Görselleştirme Yapan” DIALux ve Relux Programından oldukça farklı bir program olup, AutoCAD programı içerisinde çalışmaktadır. Radiance yazılımı sadece AutoCAD programı araç çubukları yanında “Radiance” araç çubuğu olarak yer alır. Yani hesaplama ya da görselleştirme için mekan oluşturulması, nesne çizimi ve yerleştirilmesi gibi tüm işlemler AutoCAD programı komutları ile yapılabilir (Şekil 9.1). Program ilk açıldığında “seçenekler” (preferences) penceresi açılacak ve çizim birimi ve ölçeği ile ilgili bazı ayarlamalar yapmak olanaklı olacaktır.



Şekil 5.1 Desktop Radiance çalışma yüzeyi.

Daha sonra AutoCAD programı komutları ile mekan 3 boyutlu olarak oluşturulmalıdır. AutoCAD programı ile çalışan Radiance programında, oluşturulan mekanların tanınması için, mekan yüzeylerinin poligonlar, 3 boyutlu yüzeyler, kalınlığı olan çizgiler v.b biçimde oluşturulması gereklidir. Bu durumda bir yüzey atanan malzeme ya da renksel özellikler hem içte hem de dışta aynı olacaktır. Her türlü yapıda ya da formda hazırlanan mekanlar programda kullanılabilmektedir.

Radiance araç çubuğunda sırasıyla,

1. Bölüm

- Malzemeler
- Aygıtlar
- Camlı malzemeler
- Mobilya

2. Bölüm

- Analizler
 - Bölge tanımlama
 - Yön tanımla
 - Kamera konumu tanımla
 - Animasyon yolu tanımla
 - Referans nokta tanımla
 - Referans grid tanımla
 - Tüm analizleri göster

3. Bölüm

- Simülasyon
 - Kamera
 - Referans nokta
 - Referans grid

4. Bölüm

- Proje
 - Proje dosyası
 - Proje düzenleme
 - Projeyi çoğaltma

5. Bölüm

- Araçlar
 - Yüzey normali
 - Malzeme kaplama
 - Kütüphane denetleyicisi
 - Simülasyon denetleyicisi
 - Görüntü analizi
- Seçenekler

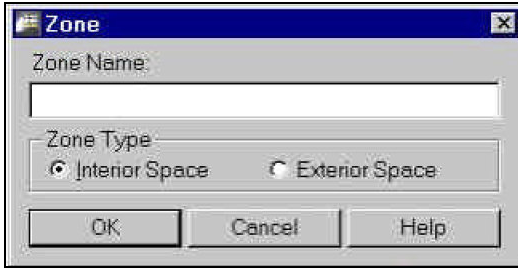
bölmeleri yer alır.

1. bölümde yer alan “**malzeme**” menüsünden, mekana program kütüphanesinden çeşitli malzemeler atanabildiği gibi yeni malzeme de oluşturulabilir. Oluşturulan yeni malzeme için malzeme tipi metal ya da plastik seçilebilir. Malzeme rengi RGB değerlerine göre belirlenir. Ayrıca parlaklık, pürüzlülük ve yansıtma çarpanı değerleri de girilebilir. Sonuçta görünümü de oluşan malzeme program kütüphanesine belirli bir isimle eklenebilir.

“**Aygıt**” menüsünden seçim yapılırken, malzeme seçimi gibi programa ait kütüphane kullanılır. Ancak program IES formatında oluşturulmuş aygıtları desteklemesine rağmen henüz dışardan aygıt atanması olanaklı olmamıştır. Aygıt kütüphanesinde yer alan aygıtlara ilişkin aygıtın ismi, aygıt üreticisi, üretici kodu, lamba tipi, gücü, ışık akısı ve kullanılan lamba sayısı bilgileri yer almaktadır.

“**Cam malzemeler**” kısmında yine program kütüphanesinden yansıtma ve geçirme çarpanı, kalınlığı ve rengi belli olan malzemeler seçilebilir. Programda çeşitli açıklıklar tasarlanırken, oluşturulan yüzeylerde açıklık kısmı AutoCAD programı komutları ile kesilir ve kesilen bölüm boyutlarında ve geometrisinde oluşturulan yeni bir yüzey açıklık kısmına yerleştirilir. Atanan cam malzemesi ile pencere ya da açıklık oluşturulmuş olur. Kütüphane dışından bir cam malzeme seçimi yapılmak istenirse “cam malzeme sihirbazı” komutuyla işlem gerçekleştirilebilir ancak bu durumda Optics5 programı daha önceden indirilmiş olmalıdır. Eğer program indirilmemişse <http://windows.lbl.gov/materials/optics5/download.htm> internet sitesinden yüklenebilir.

2. Bölümde yer alan komutlar, bir mekan oluşturulduktan, çeşitli malzeme ve aygıt seçimleri yapıldıktan sonra aydınlık düzeyi hesabına yönelik işlemleri denetler. “**Analizler**” kısmında, aydınlık düzeyi hesaplamaları yapılmadan önce, aydınlatma düzeninin analizlerine yönelik araçlar bulunmaktadır. “**Bölge tanımlama**” (Define zone) komutunun amacı, oluşturulan mekanda belli bir bölgenin ele alınması durumunda, istenilen bölgeyi tanımlamayı ve o bölgeye ait incelemelerin yapılmasıdır. Örneğin bir ofis binası tasarımında, yalnızca bir odayı analiz etmek için kullanılır.



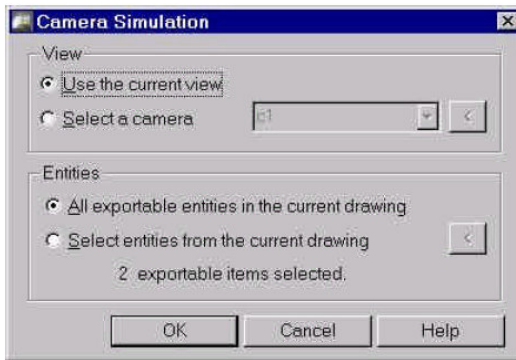
Şekil 5.2 Bölge tanımlama yüzeyi.

Şekil 5.2’de gösterilen kutuda, bölge ismi girilerek iç mekan ya da dış mekan seçimi yapılır. Eğer bir bölge seçimi yapılmazsa program kendiliğinden iç mekanda simülasyon işlemini gerçekleştirecektir.

“Yön tanımlama” komutu ile kuzey yönü belirlenebilir. Yön ismi girildikten sonra, çıkan ok istenilen kuzey yönüne yerleştirilir. Bir çizimde parametrik çalışmalara olanak sağlaması için birden fazla kuzey yönü kullanmak olanaklıdır.

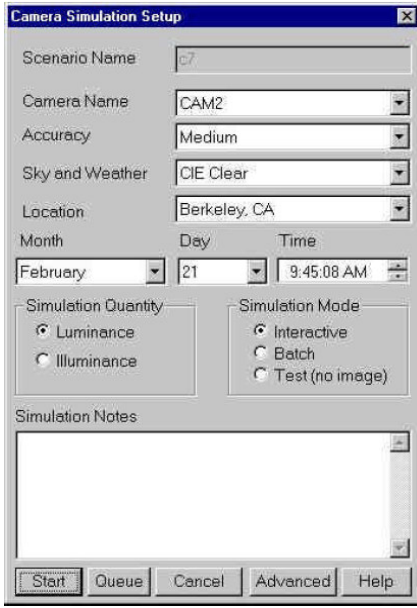
2. bölümde bulunan **“kamera konumu”** ve **“animasyonun izleyeceği yol”** komutları ile sonuçların 3 boyutlu görselleştirmeler biçiminde alınması sağlanacaktır. Eğer yalnızca aydınlık düzeyi hesapları belirlenmek isteniyorsa, mekana kamera yerleştirmeye gerek yoktur. Bu bölümde yer alan **“referans nokta tanımlama”** ve **“referans grid”** tanımlama ile belirlenen nokta ya da gride aydınlık düzeyi hesabı sonuçları alınacaktır.

3. bölümdeki “Simülasyon” menüsünden, aydınlatma düzeninin oluşturduğu aydınlık düzeyi sonuçlarının, kamera konumu, referansa nokta ya da referans grid seçeneklerinden birine göre alınması sağlanır. Eğer bir görselleştirme oluşturulacaksa **“kamera”** seçimi yapılır. Kameraya bir isim verilir ve senaryo ismi tanımlanır. Ayrıca kamera görüntüsü yerine, o anda CAD yüzeyindeki görüntü de simülasyon için kullanılabilir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 Kamera Simülasyon diyalog kutusu.

Senaryo isminin tanımlanmasının ardından, **“Kamera Simülasyonu Düzenleme”** kutusu çıkar. Bu kutuda seçilen kamera, simülasyonun doğruluk derecesi, gök tipi, şehir, gün, ay, yıl, simülasyonun niceliği gibi alanlarda bilgiler girilir ve bu girilen bilgilere göre simülasyon başlatılır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 “Kamera Simülasyon Düzenleme” diyalog kutusu.

Eğer aydınlık düzeyi hesap sonuçları belli bir nokta ya da gridde elde edilmek istenirse **“referans nokta”** ya da **“referans grid”**’den biri seçilir, senaryo ismi tanımlanır, o nokta ya da gridde alınan aydınlık düzeyi hesaplamaları alınır. Bu sonuçlar noktaların nokta ya da noktaların koordinatlarının veren aydınlık düzeyi değerleri biçiminde olacaktır.

4. bölümde projenin kaydedileceği yer ve proje dosyası ile ilgili ayarlar yer alır. Yapılan her proje için program kendiliğinden bir dosya oluşturur.

5. bölüm olan “Araçlar” bölümünde yüzey, malzeme, mobilya, cam malzeme, aygıt özelliklerine ait denetimler yapılmaktadır. “Malzeme kaplama” ile çizimlerin yapıldığı katmanlar ve malzemeler arasında ilişkiler kurulur. Renk, malzeme ve yüzeylerin ayarları yapılır. “Kütüphane Denetleyicisi” ile Desktop Radiance programı kütüphanelerinin tamamını kontrol etmek olanaklıdır. “Simülasyon Yöneticisi” ise simülasyon yapıldıktan sonra oluşan simülasyon sonuçlarını incelemek için kullanılır. Simülasyon yapıldıktan sonra “Görüntü Analizi” ile sonuçları irdelenir ve ışıklılık ve aydınlık düzeyi sonuçları için detaylı analizler yapılır.

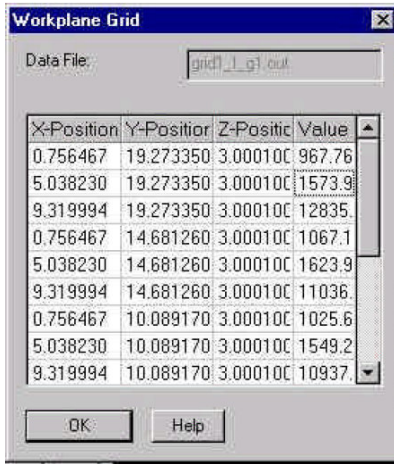
5.3 Desktop Radiance Beta 2.0 Programının Bilgi Çıkışı Özellikleri

Desktop Radiance programında temel olarak yapılan hesaplamalara göre sonuçlar

- Referans gridda (belli noktalarda) aydınlık düzeyi dağılımı,
- Referans noktada (belli bir noktada) aydınlık düzeyi,
- 3 boyutlu görselleştirme

biçimde alınabilmektedir.

“Referans grid” kullanılarak yapılan hesaplama sonuçları belirlenen noktalardaki aydınlık düzeyi dağılımını, nokta koordinatları ile birlikte sayısal olarak vermektedir (Şekil 5.5).

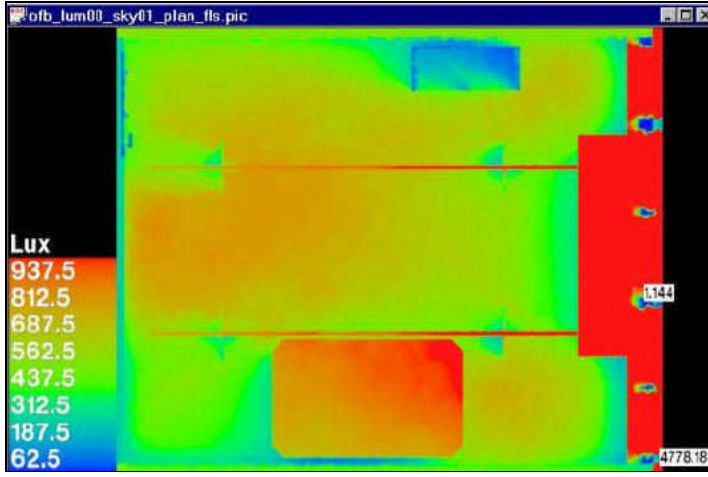


X-Position	Y-Position	Z-Position	Value
0.756467	19.273350	3.000100	967.76
5.038230	19.273350	3.000100	1573.9
9.319994	19.273350	3.000100	12835.
0.756467	14.681260	3.000100	1067.1
5.038230	14.681260	3.000100	1623.9
9.319994	14.681260	3.000100	11036.
0.756467	10.089170	3.000100	1025.6
5.038230	10.089170	3.000100	1549.2
9.319994	10.089170	3.000100	10937.

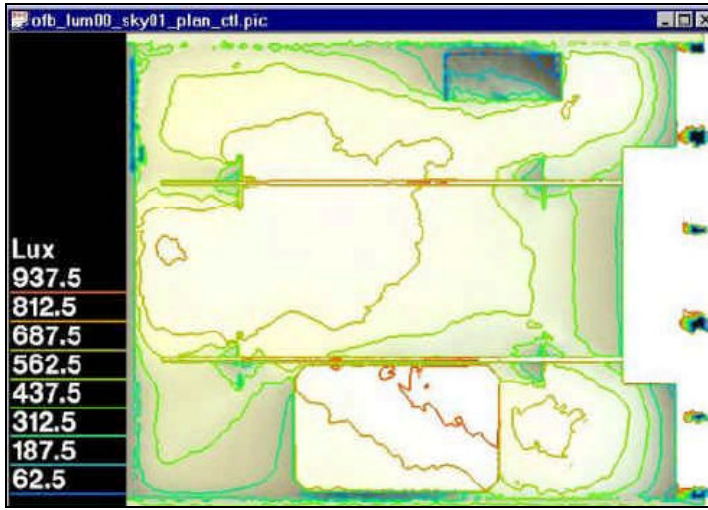
Şekil 5.5 “Çalışma Düzlemi” diyalog kutusu.

“Referans nokta” ile hesaplama yapıldığında ise yalnızca o noktadaki aydınlık düzeyi değeri ve noktanın konumu sayısal olarak elde edilebilir.

Mekana belli bir konumda kamera tanımlamak yoluyla, kamera bakışına bağlı olarak mekanın 3 boyutlu görselleştirmesi oluşturulabilir. Ancak program ışın izleme yöntemi kullandığından, görüntünün bakışı değiştirilmek istenirse, yeni bir kamera konumu tanımlanmalı ve hesap tekrarlanmalıdır. Yapılan görselleştirme “görüntü analizi” kısmından tekrar açılarak renklere ve eş aydınlık eğrilerine göre ifade edilebilir. 3 boyutlu görselleştirme üzerinde belli noktalara tıklayarak o noktadaki aydınlık düzeyi gösterilebilir.



Şekil 5.6 Desktop Radiance programı ile renklere göre aydınlık düzeyi dağılımı



Şekil 5.7 Desktop Radiance programı ile eş aydınlık eğrilerine göre aydınlık düzeyi dağılımı

5.4 3 Boyutlu Görselleştirme ve Animasyon Özellikleri

Radiance programında görselleştirme oluşturmanın koşulu, ilgili mekan kamera tanımlama ile olanaklıdır. 5.1. Bölüm’de bahsedildiği gibi programda ışın izleme yöntemi kullanılarak belli açı ve konumda mekana yerleştirilen kameraya bağlı görselleştirmeler ortaya çıkar. Kamera açısı değiştiğinde hesaplama tekrarlanacak ve yeni bir görselleştirme oluşturulacaktır. Radiance programında mat yüzeylerde hesap yapabilmek için, ışın izleme yöntemine, izotrop yayınık yansıma bileşeni eklenmiştir. Programın genel özellikleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Desktop Radiance programı özellikleri

Program	RADIANCE
Program başlangıç yılı/firma/yükleme	LBNL / 2002/ http://floyd.lbl.gov/misc/download20B.html
İşletim sistemleri	Windows 95, Windows 98, Windows 2000, Windows NT
Doğal aydınlık hesabı gök koşulları	CIE Açık Gök, CIE Kapalı Gök, CIE Ortalama Gök, tek düze kapalı gök
Doğal ışık ayarları	Kuzey yönü, coğrafi konum, zaman dilimi
Yapay aydınlık hesabı yöntemleri	Geri yönlü ışın izleme
Yüzey bölümlendirme yöntemleri	Nokta sayısı verilebilir.
Işık rengi kullanımı	Aygıt ışık yansıtma çarpanları değiştirilemez
Özel aydınlatma konuları	-
Mobilya/doku	Kütüphanede mevcut
Mobilya/doku formatı	SAT, CAD programında oluşturulabilir
Doku özellikleri	Mat, parlak ve saydam
Kullanılan renk dizgeleri	RGB
Aygıt ışık yeğinlik formatı	IES
Dwg/dxf dosyaları ile çalışabilme	Program AutoCAD 2000 ile çalışır
Aydınlık düzeyi ve ışıklılık sonuçları	Belli bir gridde aydınlık düzeyi dağılımı, Belli bir noktada aydınlık düzeyi, 3 boyutlu görselleştirme
3 boyutlu görselleştirme özellikleri	Işın izleme
Dil sayısı	Yalnızca İngilizce
Yardım dili	Yalnızca İngilizce

6. LIGHTSCAPE R3.2 PROGRAMI

Lightscape programı Autodesk Inc. Discreet bölümü tarafından, temelde mekanların gerçekçi görselleştirmelerini hazırlamak amacıyla oluşturulmuş, ileri düzey görselleştirme yapan bir aydınlatma programıdır. Bu çalışmada yalnızca İngilizce olarak hazırlanan Lightscape R3.2 versiyonunun,

- genel özellikleri,
- bilgi girişi özellikleri,
- bilgi çıkışı özellikleri
- 3 boyutlu görselleştirme ve animasyon özellikleri

ele alınmıştır (Autodesk Inc., 1999).

6.1 Lightscape R3.2 Programının Genel Özellikleri

Lightscape R3.2 programı için bilgisayarların sistem gereksinimleri açısından Pentium II ya da daha yüksek işlemci, 64 MB RAM bellek, 1024x768 ekran çözünürlüğü gereklidir. Program Windows 95, Windows 98, Windows 2000, Windows NT işletim sistemleri altında çalışmaktadır.

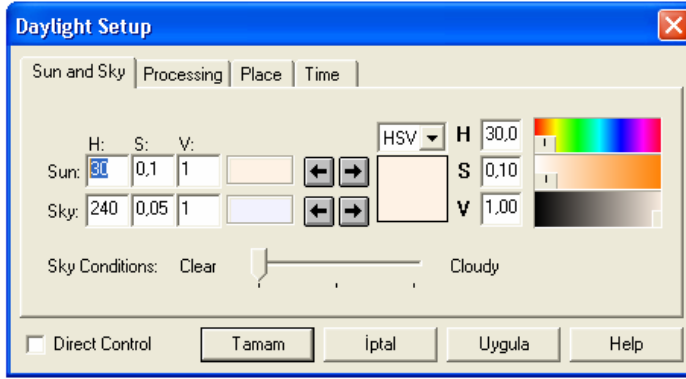
Lightscape programı modelleme, doku kaplama ya da animasyon programı değildir. Ancak CAD tabanlı programlarda hazırlanan mekanlar üzerinde, ışığı modellemeye ve bu mekanlara doku atamaya ve 3 boyutlu animasyon yapmaya olanak sağlar. Bu nedenle mekanları AutoCAD, 3d Studio VIZ, 3d Studio MAX gibi programlarda oluşturmak gereklidir. Bu programlar her tür geometrik ya da geometrik olmayan biçimde mekanlar hazırlayabildikleri için, Lightscape programı ile oldukça farklı biçim ve formda nesne ya da mekanlar kullanmak olanaklıdır.

Lightscape programında, görselleştirme ve doğal ve/ya da yapay aydınlık düzeyi sonuçları için yayılım yöntemi kullanılır, yüzeyler mat kabul edilir. Işın izleme yöntemi ise, görselleştirmeler üzerine uygulanabilir. Uygulanan bölgedeki parlak yüzeyler görüntülenebilir, ancak hesaplamalar mat yüzey üzerinden yapılır. Programda yapay ve doğal aydınlık açısından noktada ve ortalama aydınlık düzeyi hesapları yapabilmek olanaklıdır.

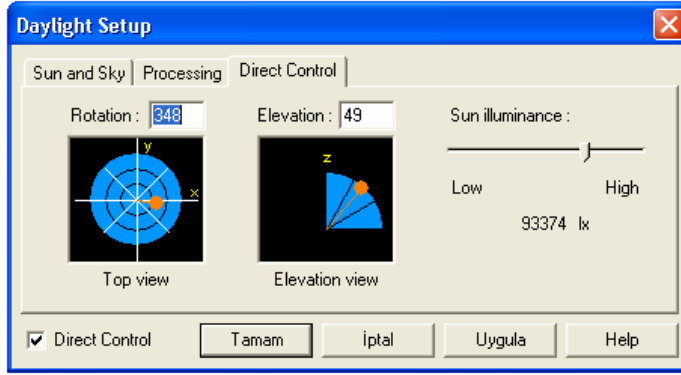
Lightscape programında, doğal ışık ile aydınlatma yapılması durumunda hesaplama için bazı ayarlar yapılmalıdır. “Işık(Light)”-“Güneş(gi)(daylight)” menüsü ile ulaşılan ayarlarda güneş ve gök, işlem, direkt kontrol alt bölümleri yer alır. Bu menüde,

- gök ve güneş ışığının renksel özellikleri (HSV ya da RGB renk dizgeleri),
- Gök tipi (açık-kapalı arasında),
- İşlem bölümünde gölge ve ray tracing ile ilgili ayarlar,
- Direkt kontrol bölümünden ise,
 - güneşin azimut ve altitüt açısı değerleri,
 - güneşin ışıklılığı (0 – 12247 fc)

belirlenebilir.



Şekil 6.1 Lightscape R3.2 programı doğal ışık hesabı ayarları.

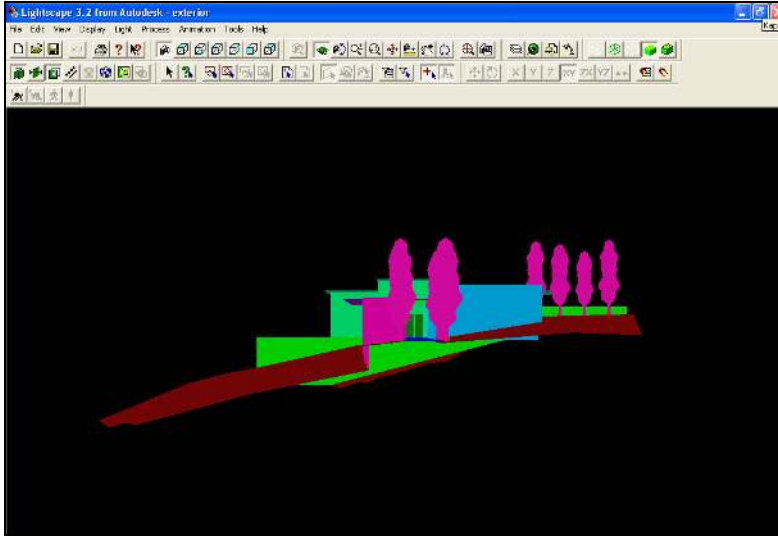


Şekil 6.2 Lightscape R3.2 programı direkt kontrol ayarları.

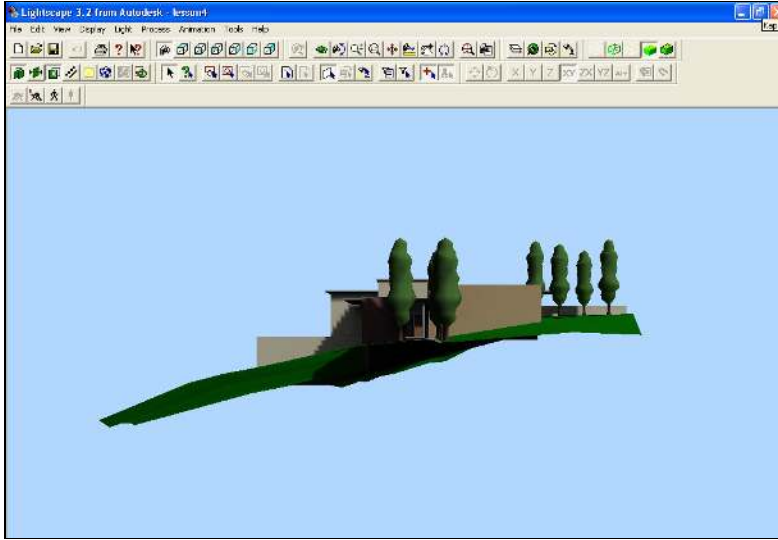
Bu ayarların ardından, doğal aydınlık hesabı için,

- yalnızca açıklıklar ve pencerelerden gün ışığı ile aydınlatılan iç mekan,
- dış mekanda yer alan yapı ya da nesne aydınlatması,
- hem iç ve hem dış mekan

seçeneklerinden biri seçilmelidir. Program tüm bu bilgileri göz önünde bulundurarak doğal aydınlatma hesabı yapmaktadır.



Şekil 6.3 Lightscape R3.2 programı aydınlatılmamış dış mekan görselleştirmesi.



Şekil 6.4 Lightscape R3.2 programı doğal ışık ile aydınlatılmış dış mekan.

Aygıt ışık yeğlilik dağılımı için IES formatı kullanılan programda, kütüphanede yer alan aygıtlar yanı sıra dışarıdan yeni aygıtlarda programa alınabilmektedir. Ancak bu aygıtların programda kullanılabilmesi için “blok” adı verilen dosyalarının olması gereklidir. Programda ışık kaynağı tipi (nokta, düzlem, doğrusal) değiştirilebilirken, aygıtların için,

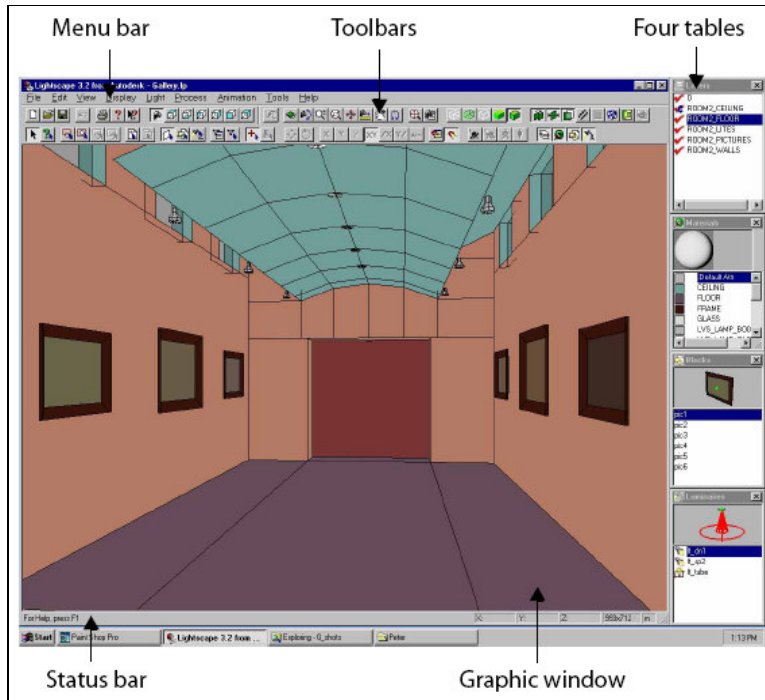
- standart D65 ışığı,
- flüoresan,
- beyaz flüoresan,
- gün ışığı flüoresan,

- akkor,
- zenon metalik halojenürlü,
- yüksek ve alçak basınçlı sodyum

lamba seçenekleri bulunur. Renk filtresi ise RGB ya da HSV renk dizgelerine göre belirlenebilir. Bakım çarpanı değeri dikkate alınmamaktadır.

6.2 Lightscape R3.2 Programının Kapsamı ve Bilgi Girişi Özellikleri

Program açıldığında çalışma yüzeyi üstünde menü çubuğu, araç çubukları, altında durum çubuğu ve çalışmanın izlendiği grafik penceresi açılır, sağda, malzeme, aygıt, blok ve katmanlara ait tablolar çıkar (Şekil 6.5). Programda yapılacak tüm işlemlere bu araçlardan ulaşılmaktadır. Sonuçlar ise eş zamanlı olarak grafik penceresinden denetlenebilir.



Şekil 6.5 Lightscape R3.2 programı çalışma yüzeyi.

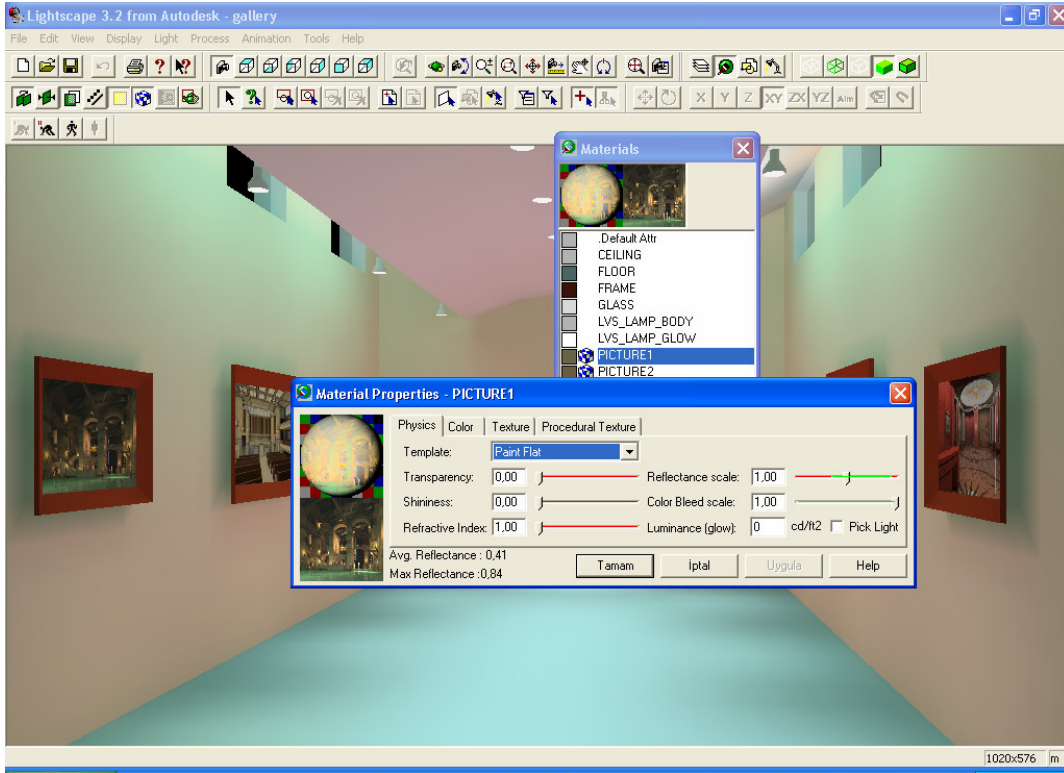
Lightscape programına dışarıdan bir mekan alındığında, gelen çizim katmanları ve blok olarak hazırlanmış elemanları ile birlikte gelir. Belli katmanlarda bulunan yüzeyler,

birbirinden bağımsız olarak çalışabilir, blok olarak hazırlanmış nesneler yine blok olarak programda işlem görebilir.

Programın çalışma sayfasında yer alan tablolardan “**malzeme tablosunda**”, yeni malzeme oluşturmak, program kütüphanesinde yer alan malzemeleri kullanmak olanaklıdır. Bir malzeme için yapılacak ayarlar,

- Fiziksel özellikler
- Renk
- Doku
- Doku tanımlama

biçiminde sıralanır (Şekil 6.6).



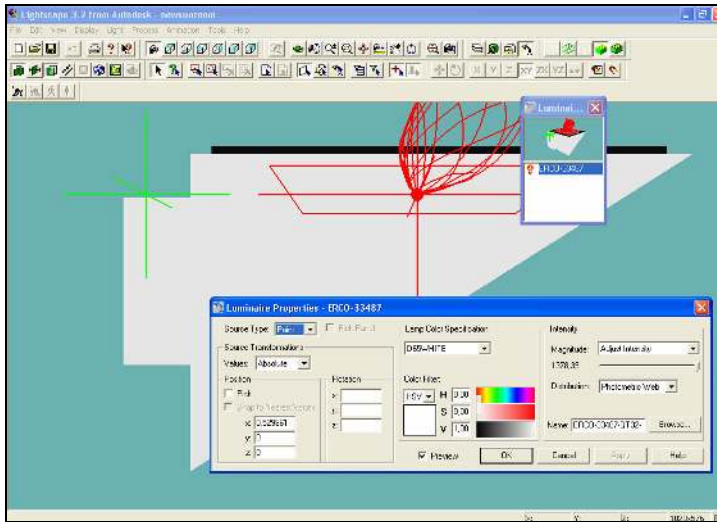
Şekil 6.6 Lightscape R3.2 programı malzeme özellikleri.

- Fiziksel özellikler bölümünde tanımlı malzemeler seçilebildiği gibi, geçirme çarpanı, parlaklık, kırılma indisi, yansıtma çarpanı, ışıklılık değerleri girilebilir.
- Renk bölümünde ise RGB ya da HSC renk dizgelerine göre renk belirlenir.
- Doku bölümünde dışardan programa doku atanabilir
- Doku tanımlama bölümünde, dokuya pürüzlülük atanabilir, bu dokunun kabartma ve çukurlukları belirlenebilir.

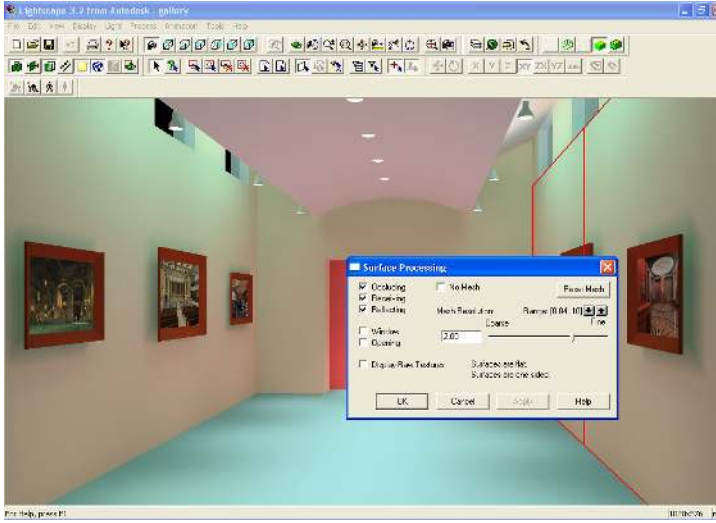
“Aygıt tablosunda” ise dışardan atanan ya da programın kendi kütüphanesindeki aygıtlar ile ilgili işlemler yapılır. Aygıt tablosuna yüklenen aygıt ile ilgili,

- Işık kaynağı özellikleri (nokta, doğrusal, düzlem),
- Lamba özellikleri (flüoresan, D65, akkor v.b),
- Renk filtresi,
- Işık yeğirlik dağılımı,
- Işık dağılımı özelliği

ayarları yapılabilir.



Şekil 6.7 Lightscape R3.2 programı aygıtların ışık ölçümsel özellikleri.

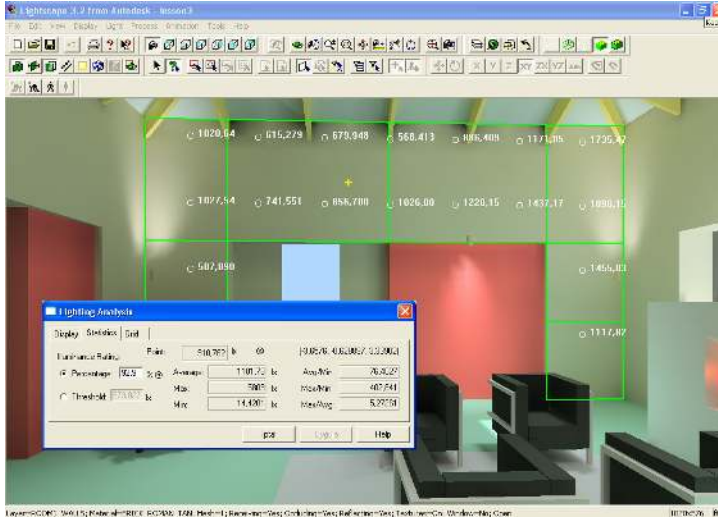


Şekil 6.8 Lightscape R3.2 programı yüzey özellikleri.

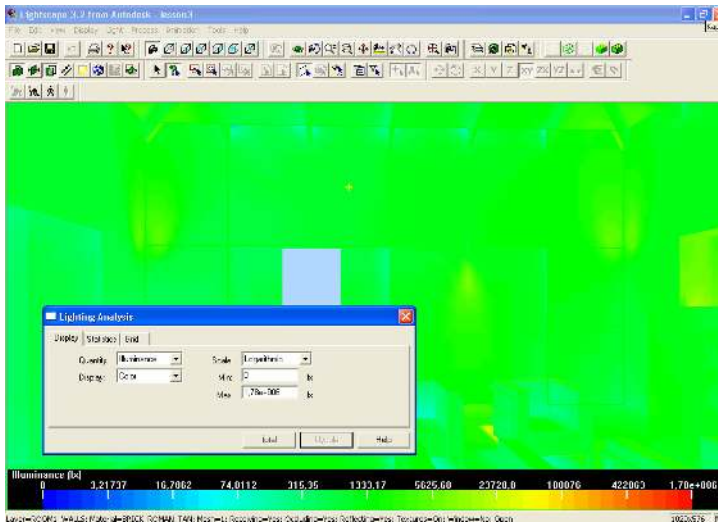
6.3 Lightscape R3.2 Programının Bilgi Çıkışı Özellikleri

Lightscape R3.2 programında, doğal ya da yapay ışık modellenirken oluşan aydınlıklar eş zamanlı olarak görülebilir. Hesaplama istenilen zamanda durdurulabilir ve o ana kadar yapılan hesaplamalara bağlı görselleştirme ve aydınlık düzeyi sonuçları alınabilir.

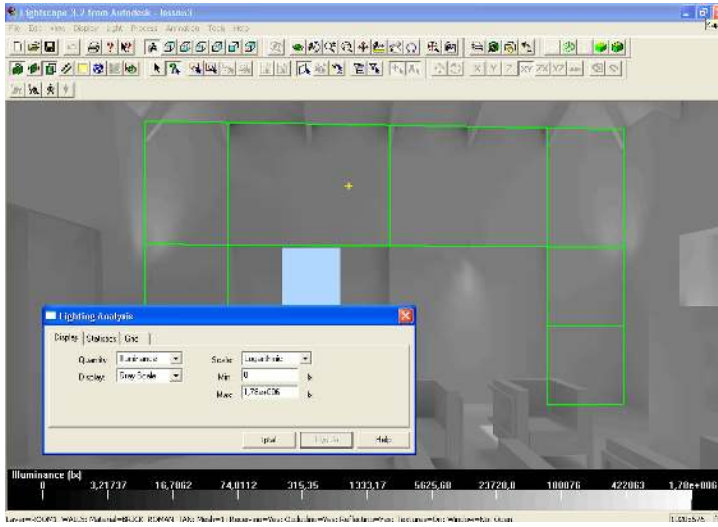
Programda menü çubuğunda “Işık (light)”-“Analizler (analysis)” bölümünden hesaplama sonuçlarına ulaşılmaktadır. Belirli bir noktadaki aydınlık düzeyi ve ışıklılık değerlerini hem 3 boyutlu görselleştirme hem de menü üzerinde görmek olanaklıdır. Belirlenen bir noktadaki aydınlık düzeyi, ortalama aydınlık düzeyi ve bu noktanın konumu eş zamanlı olarak okunabilir (Şekil 6.9). Program sonuçları renklere göre ve gri değerlerine göre aydınlık düzeyi ve ışıklılığı gösteren 3 boyutlu görselleştirmeler biçiminde oluşturmaktadır (Şekil 6.10, 6.11).



Şekil 6.9 Lightscape R3.2 programı noktada aydınlık düzeyi sonuçları.



Şekil 6.10 Lightscape R3.2 programı renklere göre aydınlık düzeyi sonuçları.

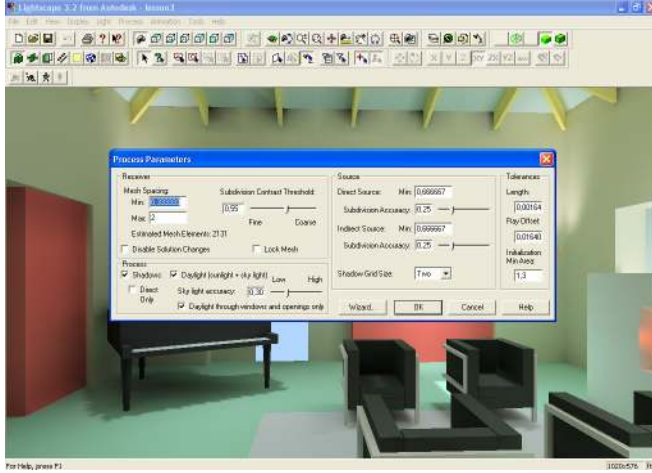


Şekil 6.11 Lightscape R3.2 programı gri değerlerine göre aydınlık düzeyi sonuçları.

6.4 3 Boyutlu Görselleştirme ve Animasyon Özellikleri

Lightscape programında temelde yayılım yöntemi kullanılarak gerçekçi 3 boyutlu görselleştirmeler oluşturulur. Program hesaplama yaparken aynı anda görselleştirme de oluşmaktadır, daha sonra görselleştirmeye ışın izleme yöntemi uygulamak da olanaklıdır.

Radiosity yöntemi ile bir ışık kaynağından yayımlanan ışığın bir ortamdaki yüzeylerde yutulma ve yansımalar sonucu hesaplanması sağlanır. Işığın diğer yüzeylerde yansımaları, nesne ve renk etkileşimleri, yumuşak gölge etkileri elde edilir. Radiosity işlemi istenilen yerde durdurulup, mekan her açıdan gözlemlenebilir ve işlem yine kaldığı yerden devam ettirilebilir. “Process”–“parametres” menüsünden alıcı yüzeyler ve kaynakla ilgili ayarlar, yüzeylerdeki alt bölümlere ayrılma değerleri gibi ayarlamalar yapılabilir.



Şekil 6.12 Lightscape R3.2 programında ışık kaynağı ve yüzey ayarları.

“Display” menüsünden ışın izleme (ray tracing) ile ilgili ayarlar yaparak bu yöntemi de görselleştirmeye katmak olanaklıdır. Işın izleme yöntemi ile mekana ait parlama, yansıma ve gölgeler etkileri eklenebilir. Programın genel özellikleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Lightscape programı özellikleri.

Özellikler	LIGHTSCAPE
Program başlangıç yılı/firma/yükleme	Autodesk Inc
İşletim sistemleri	Windows 95, Windows 98, Windows 2000, Windows NT
Doğal aydınlık hesabı gök koşulları	Açık – kapalı gök Güneş ve gök rengi RGB ve HSV dizgelerine göre verilir.
Doğal ışık ayarları	Kuzey yönü, coğrafi konum, zaman dilimi / direkt kontrol
Yapay aydınlık hesabı yöntemleri	Yayınım / ışın izleme
Yüzey üzerinde hesap nokta sayısı	Nokta sayısı verilebilir
Işık rengi kullanımı	Aygitların tayfsal yansıtma çarpanları değiştirilebilir / renk filtreleri atanabilir
Özel aydınlatma konuları	-
Mobilya/doku	Kütüphanede mevcut
Mobilya/doku formatı	SAT, CAD programında oluşturulabilir
Doku özellikleri	Mat yüzeyler
Kullanılan renk dizgeleri	RGB, HSV
Işıklık formatı	IES
Dwg/dxf dosyaları ile çalışabilme	mekanlar dwg, dxf, 3ds formatında olmalıdır.
Aydınlık düzeyi ve ışıklık sonuçları	renklere göre ve gri değerlerine göre aydınlık düzeyi ve ışıklılığı gösteren 3 boyutlu görselleştirmeler
3 boyutlu görselleştirme özellikleri	Yayınım ve ışın izleme
Dil sayısı	Yalnızca İngilizce
Yardım dili	Yalnızca İngilizce

7. ULUSLARARASI AYDINLATMA KOMİSYONU’NUN TESTLERİ

2. bölümde sözü edilen, gerek basit gerekse ileri düzeyde görselleştirme yapan ve birbirinden bağımsız olarak geliştirilen aydınlatma programlarında, farklı formatlar, değişik hesap yöntemleri/ formüller ve grafik modellerin kullanılması nedeniyle, hem aydınlık düzeyi hem de görüntü bakımından elde edilen sonuçlarda ayrımlar ortaya çıkması kaçınılmazdır. Bu durum, doğal olarak kullanıcılarda programlardan elde edilen sonuçların doğruluğu ile ilgili endişeler yaratmaktadır. Söz konusu endişeleri gidermeye yardımcı olmak amacıyla, CIE, 2006 yılında, aydınlatma programlarının, aydınlık düzeyi hesabı bakımından doğruluğunu sınamaya yönelik değişik testler içeren, 171:2006 numaralı bir teknik rapor yayınlamıştır (Ünver, Çelebi, 2006).

Raporda, önerilen testlerin, programların kimi alanlardaki doğruluğunu belirlemeye yönelik olduğu, sonuçların olumlu olmasının, o programın ancak sınanan koşullar için yeterli olduğunu göstereceği, incelenen programın en iyi program olduğunu göstermeyeceği vurgulanmaktadır.

CIE’nin TC 3–33 numaralı komitesi tarafından hazırlanan “Aydınlatma Programlarının Doğruluğunu Değerlendirmeye Yönelik Testler (Test Cases to Assess the Accuracy of Lighting Programs)” başlıklı raporda, kapalı hacimlerde ışığın dağılımını sınamaya yönelik, biri ölçmeye, diğeri ise hesaplamaya dayalı 2 ayrı grup test yöntemi ve sonuçları yer almaktadır. Ölçmeye dayalı testler yalnızca yapay ışık, hesaplamaya dayalı testler ise hem yapay hem de doğal ışık için hazırlanmıştır. Testlerin hazırlanma ilkesi, değişik hacim ve ışık kaynağı/kaynakları özellikleri için, hacimde oluşan aydınlık düzeylerinin belirlenmesine dayanır.

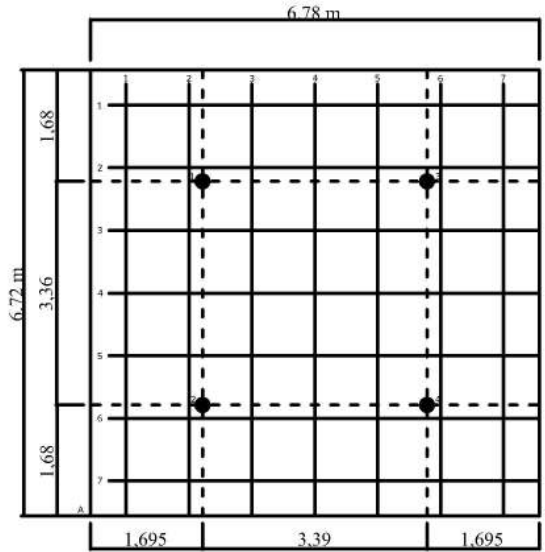
7.1 Ölçmeye dayalı (deneysel) testler

Deneysel testler, yapay ışığın yatay düzlem üzerinde oluşturduğu aydınlık düzeyi hesap değerlerinin, raporda verilen ölçme yoluyla belirlenen değerlere uygunluğunun sınanmasına yöneliktir. Bu amaçla oluşturulan, belli bir büyüklükteki bir test hacminde (en (x)=6.72m, boy

(y)=6.78m, yükseklik (h)=3.24m), yüzey yansıtma çarpanları, ışık kaynağı özellikleri ve konumu değiştirilerek elde edilen,

1. Kompakt flüoresan, gri duvar
2. Yayıcı (Opal) aygıt, gri duvar
3. Yarı yayıncı yansıtıcı aygıt, gri duvar
4. Kompakt flüoresan, siyah duvar
5. Yayıcı (Opal) aygıt, siyah duvar
6. Yarı yayıncı yansıtıcı aygıt, siyah duvar

biçiminde 6 ayrı test durum için, döşemeden 0,80m yükseklikteki yatay düzlem üzerindeki 49 noktadaki aydınlık düzeyi ölçülmüştür. Söz konusu 6 test durumuna ilişkin kısaltılmış bilgiler Çizelge 7.1’de, test hacminin planı, aygıtların konumu ve ölçme noktaları ise Şekil 7.1’de verilmiştir.



Şekil 7.1 Test odası planında, aydınlık düzeyi ölçme noktaları ve aygıt konumları

Çizelge 7.1 Yapay aydınlatma için ölçmeye dayalı (deneysel) test koşulları.

Özellikler		TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 4	TEST 5	TEST 6
Oda boyutları		En= 6.72m; Boy= 6.78m; Yükseklik= 3.24m					
İç yüzey (mat) yansıtma çarpanları	tavan	r= 0.70	r= 0.70	r= 0.70	r= 0.03	tr= 0.03	r= 0.03
	döşeme	r=0.06	r= 0.06	r=0.06	r=0.06	r=0.06	r=0.06
	duvar	r= 0.41	r= 0.52	r= 0.52	r= 0.04	r= 0.04	r= 0.04
Işık kaynağı özellikleri	aygıt	-	Yayıcı (opal)	Yarı- yayınık yansıtıcılı	-	Yayıcı (opal)	Yarı- yayınık yansıtıcılı
	lambda	Kompakt flüoresan; 32 W; 840	Kompakt flüoresan 38 W; 840	Flüoresan; 3x18W; 840	Kompakt flüoresan; 32 W;840	Kompakt flüoresan 38W;840	Flüoresan; 3x18W;840
Aygıt yüksekliği (h_{et})		3.14m	3.20m	3.20m	3.14m	3.20m	3.20m
Aygıt sayısı		4	4	4	4	4	4
Aygıt konumu		Aygıt 1 sol üst (X=1,695m Y=1,680m) Aygıt 2 sol alt (X=1,695m Y=1,680m) Aygıt 3 sağ üst (X=5,085m Y=1,680m) Aygıt 4 sağ alt (X=5,085m Y=5,040m)					
Işık akısı çıktısı (lm)		1: 2182 2: 2196 3: 2203 4: 2182	1:1850 2:1830 3:1870 4:2110	1: 4087,7 2: 4174,7 3: 4135 4: 4114,3	Test 1 ile aynı	Test 2 ile aynı	Test 3 ile aynı
Ölçme noktaları		Döşemeden 0,80cm uzaklıkta yatay düzlem üzerinde 49 nokta (duvarlardan yarım ızgara boşluğu bırakılarak 7x7 ızgara düzeninde (Şekil 7.1).					
Eort üst - alt limiti (lm/m ²)		112 – 88	67,5 –53,1	254,2 - 199,8	37,5 – 29,5	51,1– 40,1	228,5 – 179,5
Aygıt ışık yeğinlik dağılımı veri formatı		CIBSE TM14 formatında olup, raporda Ek A 1’de tanımlanmıştır.					

Çizelge 7.2 Ölçmeye bağlı hata tahmini yüzdeleri

Ölçme hataları		Eort üzerindeki etki %	Ep üzerindeki etki %
Sensörler	Kosinüs doğruluğu	0,5	2
	Renk doğruluğu	1	1
	Kalibrasyon	2	3
	Pozisyon tekrarlanabilirliği	0	3
	Düzeltilme	0	2
Ölçümleri etkileyen ışık ölçümsel faktörler	Işık akısı çıktısı - sıcaklık	2	2
	Işık akısı çıktısı - güç	1	1
Oda etkenleri	Boyutlar ve düzensiz özellikler	0,5	0,5
	Aygıt konumları	0	2
	Ölçme konumları	0	2
	Yüzey yansıtma çarpanları	2	2
Total ölçme hatası		3,8	6,7

Çizelge 7.3 Beklenen toplam hata yüzdeleri

Simülasyon hataları		Eort üzerindeki etki %	Ep üzerindeki etki %
Simülasyonları etkileyen ışık ölçümsel faktörler	Çıktı dağılımı	0	5
	Işık akısı çıktısı	5	5
Çıktı fotometrisi gerçek durum	CIBSE TM 14 formatındaki aralıklar	0	4
Total beklenen hata		6,3	10,5

Testlerdeki hata tahmini, Çizelge 7.2, Çizelge 7.3’de görüleceği gibi, hesaplanan ölçümlere bağlı toplam hata,

- +/- % 6,7 noktada aydınlık düzeyi
- +/- % 3,8 ortalama aydınlık düzeyi

olası simülasyon hatalarını içeren hesaplanmış toplam beklenen hata ise,

- +/- % 10,5 noktada aydınlık düzeyi için;
- +/- % 6,3 ortalama aydınlık düzeyi için.

olarak belirlenmiştir.

Rapora göre, program kullanıcısı, belirtilen deneysel test koşullara ilişkin referans koşul ve verileri kullanarak, aydınlık düzeyi hesaplamalarını yapmalıdır. Hesaplanan aydınlık düzeyi değerlerinin, raporda verilen limitler arasında olması, programın deneysel testler bakımından doğru olduğunu gösterir.

Raporda yapılan deneysel test sonuçları dikkate alınarak, testlerin bir programın doğruluğunu sınamak açısından yetersiz bulunması sonucu, bir grup hesaba dayalı analitik test yapılmasının uygun olacağı belirtilmiştir.

7.2 Hesaba dayalı (analitik) testler

Analitik testler, hem yapay ışığın, hem de doğal ışığının belirli bir düzlem üzerinde oluşturduğu aydınlık düzeyi hesap değerleri sınamasına yöneliktir. Bu amaçla, 13 temel ve 13 ek olmak üzere toplam 26 test oluşturulmuştur.

Analitik temel testler:

Raporda analitik temel testler,

- Yapay aydınlatma için,
 1. Nokta ışık kaynağı simülasyonu
 2. Düzlem ışık kaynağı simülasyonu
 3. Mat yüzeyler için iç yansımış bileşeni – yansımış ışık
- Doğal aydınlatma için,
 1. Işık akısı korunumu
 2. Temiz camın doğrultulu geçirme çarpanı
 3. İç engellerden izotrop yayınık yansıma – yansımış ışık
 4. Işığın mat yüzeylerden yansıması – yansımış ışık
 5. Camsız Tepe Işıklığı için Gök Bileşeni ve CIE Genel Gök Tipleri
 6. Camlı Tepe Işıklığı için Gök Bileşeni
 7. Camsız Cephe Açıklığı için Gök ve Dış Yansımış Bileşeni
 8. Camlı Cephe Açıklığı için Gök ve Dış Yansımış Bileşeni
 9. Sürekli Dış Yatay Engel ile Camsız Cephe Açıklığı için Gök ve Dış Yansımış Bileşeni – dolaysız ışık

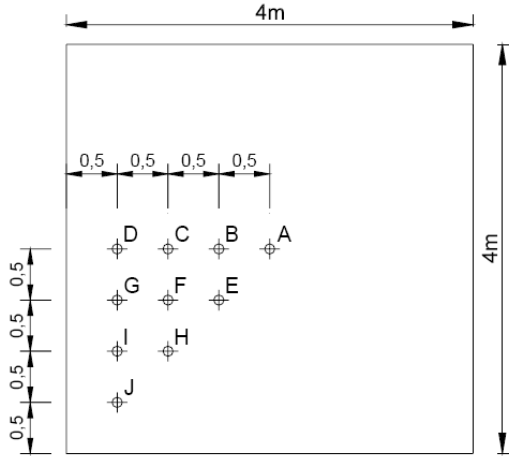
10. Sürekli Dış Düşey Engel ile Camsız Cephe Açıklığı için Gök ve Dış Yansıymış Bileşeni – dolaysız ışık

olarak 13 grupta toplanmıştır.

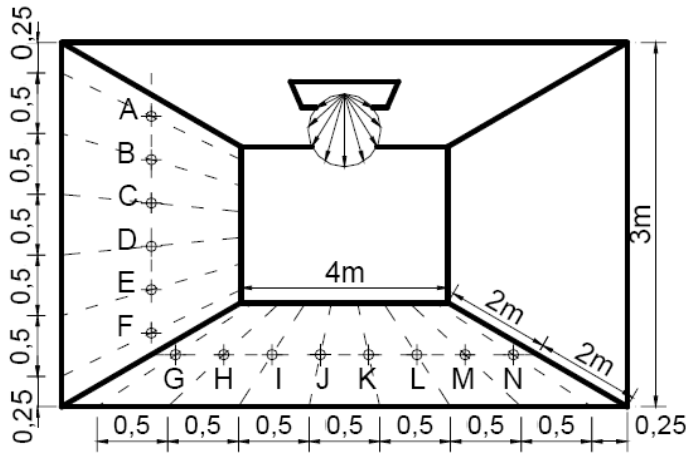
Yapay aydınlatma testlerine ilişkin kısaltılmış bilgiler Çizelge 7.4’de, ilgili şekiller ise Şekil 7.2 ve 7.3’de verilmiştir. Yapay ışık için oluşturulan testlerde, ışık ölçümsel (fotometrik) özellikleri tanımlanmış nokta ve düzlem kaynakların, iç yüzeyleri mat ve siyah olan dikdörtgenler prizması biçimindeki bir hacimde, iç engel bulunması ve bulunmaması durumları için, iç yüzeylerin değişik noktalarında oluşturdukları aydınlık düzeylerine ilişkin hesap yöntemleri ve sonuçları verilmiştir.

Çizelge 7.4 Yapay aydınlatma için hesaba dayalı (analitik) test koşulları.

Özellikler		Dolaysız ışık	Yansıymış ışık
Oda boyutları		En=4m; Boy= 4m; Yükseklik= 3m	En=4m; Boy= 4m; Yükseklik= 3m
İç yüzey özellikleri		Mat; $r=0$	Mat; $r=0.00 - 0.95$
Işık kaynağı özellikleri	Nokta kaynak	İzotrop; $I_{max}=1000cd$ $\Phi=3142\text{ lm}$	İzotrop; $\Phi=10\,000\text{ lm}$; hacim merkezinde
		İzotrop olmayan CIE T9	
	Düzlem kaynak (1m x 1m; simetrik konum)	İzotrop; $I_{max}=1000cd$; $\Phi=3142\text{ lm}$	
		İzotrop olmayan CIE T9; $I_o=1000cd$; $\Phi=3459\text{ lm}$	
Hesap noktaları	Nokta kaynak	0.5m aralıklarla ızgara düzeninde döşeme üzerinde 10 nokta (Şekil 7.2).	
	Düzlem kaynak	0.5m aralıklarla ızgara düzeninde döşeme ve duvar üzerinde 10 nokta (Şekil 7.3).	



Şekil 7.2 Yapay nokta kaynak için hesap noktalarının döşemede dağılım planı (A noktası ışık kaynağının altındadır).

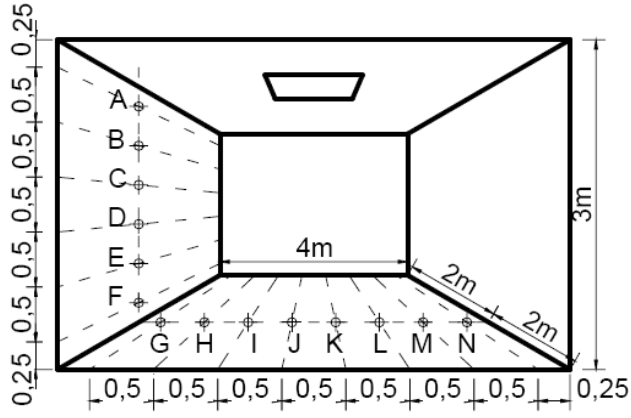


Şekil 7.3 Mekan geometrisi ve ölçme noktalarının mekanda dağılımı

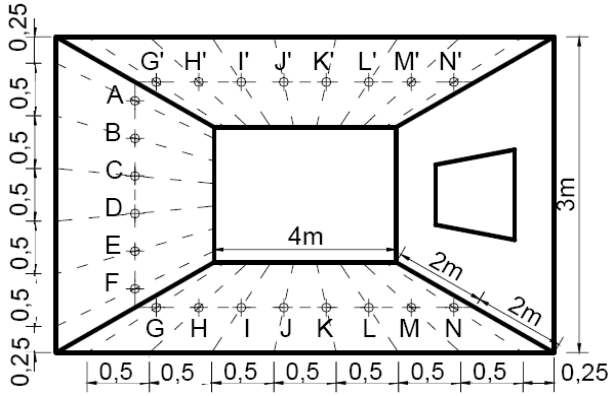
Doğal ışık için oluşturulan testlerde ışık kaynağı olarak, özellikleri CIE'nin 2003 yılında yayımladığı 16 adet Standart Genel Gök tanımları (CIE, 2003) kullanılmıştır. Raporda, söz konusu 16 değişik gök koşulunun, iç yüzeyleri mat ve siyah olan dikdörtgenler prizması biçimindeki bir hacimde, yatay tepe pencerelerinin (camlı-düzgün geçme-ve camsız) yapı dışında engel bulunmaması, yan pencerelerin (camlı-düzgün geçme-ve camsız) yapı dışında engel bulunması ve bulunmaması durumları için, iç yüzeylerin değişik noktalarında oluşturdukları aydınlık düzeylerine ilişkin hesap yöntemleri ve sonuçları verilmiştir. Doğal aydınlatma testlerine ilişkin bilgiler, Çizelge 7.5'de, ilgili şekiller ise Şekil 7.4, Şekil 7.5, Şekil 7.6, Şekil 7.7, Şekil 7.8'de verilmiştir.

Çizelge 7.5 Doğal aydınlatma için hesaba dayalı (analitik) test koşulları.

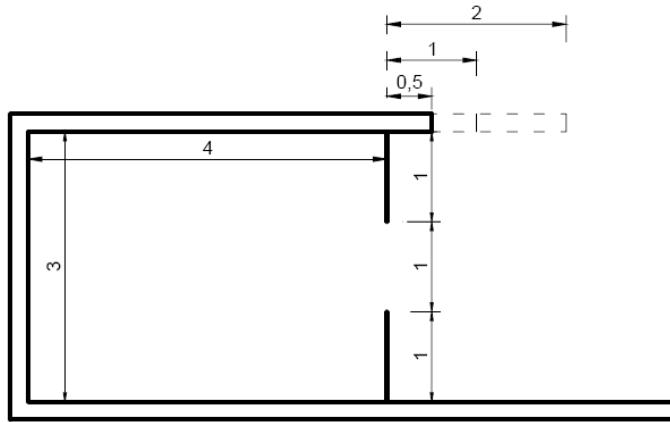
Özellikler	TEPE PENCERESİ • dış engel yok • camsız • camlı (6mm) Gök bileşeni	YAN PENCERE • dış engel yok • camlı (6mm) • camsız Gök bileşeni ve dış yansıma bileşeni	YAN PENCERE • pencere duvarına paralel, düşey ve sürekli dış engel • camsız Gök bileşeni ve dış yansıma bileşeni	YAN PENCERE • pencere duvarına dik, yatay ve sürekli dış engel • camsız Gök bileşeni ve dış yansıma bileşeni
Oda boyutları	En: 4m; Boy: 4m; Yükseklik: 3m	En: 4m; Boy: 4m; Yükseklik: 3m	En: 4m; Boy: 4m; Yükseklik: 3m	En: 4m; Boy: 4m; Yükseklik: 3m
İç yüzeyler	Mat; $r=0$	Mat; $r=0$	Mat; $r=0$	Mat; $r=0$
Pencere duvar kalınlığı	0	0	0	0
Pencere konumu; boyutları	Tavan; simetrik; 1mx1m; 4mx4m (Şekil 7.4)	Güney duvarı; simetrik; 2mx1m; 4mx3m (Şekil 7.5)	Simetrik; 2mx1m (Şekil 7.6)	Simetrik; 2mx1m (Şekil 7.8)
Işık kaynağı	Gök; dolaysız güneş ışığı yok; güneş konumu: $\alpha=180^\circ$; $\gamma=60^\circ$	Gök; dolaysız güneş ışığı yok; güneş konumu: $\alpha=180^\circ$; $\gamma=60^\circ$	Gök; dolaysız güneş ışığı yok; güneş konumu: $\alpha=180^\circ$; $\gamma=60^\circ$	Gök; dolaysız güneş ışığı yok; güneş konumu: $\alpha=180^\circ$; $\gamma=60^\circ$
Engel boyutları			Yükseklik=3m Genişlik= 0.5m; 1m; 2m	Uzaklık=6m Yükseklik=3m; 6m; 9m
Hesap noktaları	0.5m aralıkla döşeme ve duvar üzerinde 14 nokta	0.5m aralıkla döşeme tavan ve duvar üzerinde 22 nokta	Döşeme üzerinde pencere normalinde 0.5m aralıklı 8 nokta (Şekil 7.7)	



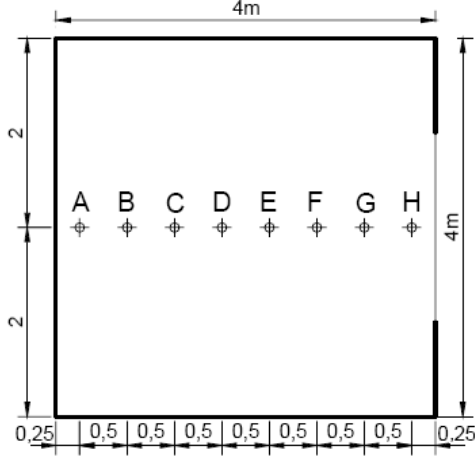
Şekil 7.4 Geometri tanımı ve ölçme noktaları.



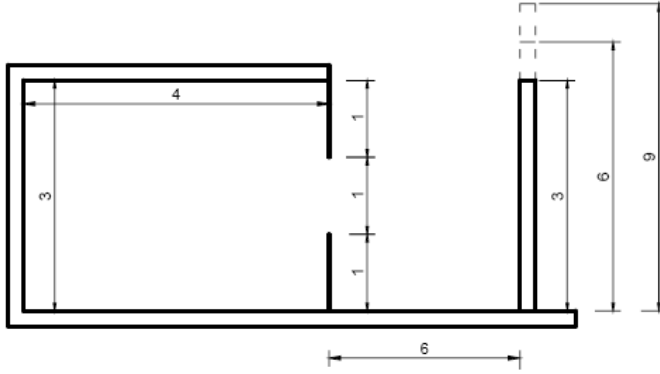
Şekil 7.5 Test geometrisi ve ölçme noktaları



Şekil 7.6 Dış yatay engel testi için mekan geometrisi.



Şekil 7.7 Dış yatay engel testi için ölçme noktaları



Şekil 7.8 Dış düşey engel testi için mekan geometrisi

Analitik ek testler:

Yukarıdaki açıklamalardan ve örnek olarak verilen Çizelge 7.4 ve 7.5’de görüldüğü gibi, “temel analitik testler” oldukça sınırlı koşullar için verilmiştir. Örneğin, temel testlerin tümünde, hacim dikdörtgenler prizması biçiminde olup, iç yüzeyleri siyah ve mattır. Doğal ışık hesaplarında, güneşin devinimi, dolaysız güneş ışığının katkısı, pencere camının değişik ışık geçirime biçimleri vb. konular dikkate alınmamıştır. Bu nedenle, raporda, temel testlerin eksikliklerinin giderilmesine yönelik,

1. Güneş lekeleri
2. Düzgün yansımalar
3. İzotrop yayınlık özellikte camdan ışığın geçmesi
4. Doğrultulu camdan ışığın geçmesi

5. Doğrultulu yüzeylerden düzgün yansıma
6. Tayfsal hesaplamalar
7. Dış aydınlık düzeyi değişimleri
8. Dış aydınlık düzeyinin günlük ve aylık değişimleri
9. Etrafı kapalı alanlarda ışığın dışarı sızması
10. Oda yüzeyi simetrisi
11. Işık kaynağı simetrisi
12. Işık kaynağı doğrultusu
13. İç mekanda oluşan gölgeler

biçiminde sıralanmış 13 testin daha yapılması önerilmiştir.

Ancak, raporda, ek testlerle ilgili, temel testlerde olduğu gibi, ayrıntılı koşullar, referans veriler ve aydınlık düzeyi sonuçları yer almamaktadır.

Ek testlerin konuları, doğal aydınlatma ile ilgili olarak, dolaysız güneş ışığının katkısı, izotrop ve yayınık geçme yapan camdan geçen ışık, parlak ve yayınık yansıma yapan yüzeyler, yüzeylerin renksel özellikleri, güneşin devinimine bağlı olarak dış yatay aydınlık düzeyinin değişimi, yapay nokta kaynak için hesap noktalarının artırılması, iç engellerin oluşturdukları gölgeler vb. olarak sıralanabilir (Ünver, Çelebi).

8. CIE TESTLERİNİN UYGULANDIĞI AYDINLATMA PROGRAMLARI

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun önerdiği testlerin sayısı az olsa da, kullanımda olan programların önerilen testler bakımından sınama sonuçlarının yayınlanmasının, aydınlatma tasarımcıları için programların güvenilirliğinin belgelenmesi bakımından büyük önem taşıdığı açıktır. Bu çalışmada,

- Relux 2004,
- Lightscape R3.2,
- DIALux 2006

programlarının CIE testlerine ilişkin yayımlanmış sonuçları ele alınmıştır.

8.1 Relux ve Lightscape Programlarının CIE Testleri Sonuçları

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (International Energy Agency; IEA) 31 numaralı çalışma grubu, CIE yayınındaki testleri kullanarak "Relux Professional 2004" ve "Lightscape 3.2" programlarını sınamaya yönelik çalışmalar yapmış, elde edilen hesaplama sonuçlarını, CIE sonuçlarıyla karşılaştıran bir rapor hazırlamıştır (IEA, 2005). Söz konusu raporda, çalışma grubu, Relux ve Lightscape programları için,

- Bölüm 7.1'de verilen ölçmeye dayalı deneysel testlerin tamamını,
- Bölüm 7.2'de verilen analitik testlerden,
 - A. Yapay aydınlatma açısından,
 - Nokta ışık kaynağı simülasyonu
 - Düzlem ışık kaynağı simülasyonu
 - Mat yüzeyler için iç yansımış bileşeni – yansımış ışık
 - B. Doğal aydınlatma açısından,
 - Işık akısı korunumu
 - Temiz camın doğrultulu geçirme çarpanı
 - Camsız Tepe Işıklığı için Gök Bileşeni ve CIE Genel Gök Tipleri – dolaysız ışık
 - Camlı Tepe Işıklığı için Gök Bileşeni ve CIE Genel Gök Tipleri – dolaysız ışık
 - Sürekli Dış Yatay ve Düşey Engel ile Camsız Cephe Açıklığı için Gök ve Dış Yansımış Bileşeni – dolaysız ışık
 - Işığın mat yüzeylerden yansımaları – yansımış ışık
 - İç engellerden izotrop yayınık yansıma – yansımış ışık

isimli testleri yapmıştır. Yayınlanan raporda, öncelikle programlarla ilgili genel özelliklerden bahsedilmiş, ardından hesaplama için kullandıkları yöntemler ortaya konmuştur. Programlarda testler yapılmadan önce çeşitli parametrelerin değerleri belirlenmiştir (Çizelge 8.1, 8.2). Ardından yapılan testler ve alınan sonuçlar çeşitli grafikler ve çizelgeler biçiminde yayınlanmıştır.

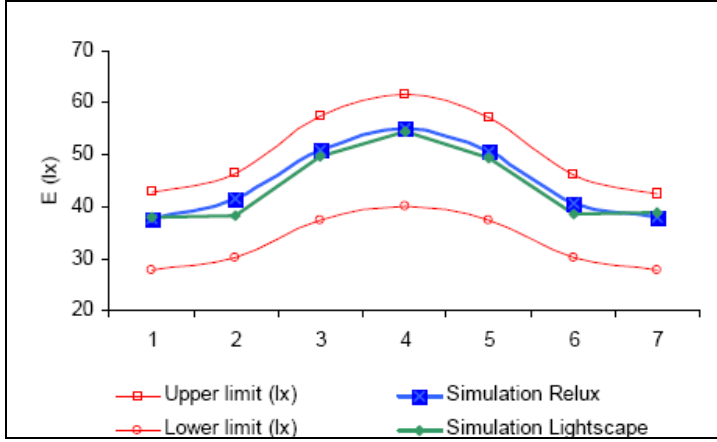
Çizelge 8.1 Relux programı için aydınlatma hesabı parametreleri ayarları.

Grup	Parametre	Değer
Duyarlılık	Yalnız dolaysız ışık algoritması	Açık
	Yüksek yansımış ışık algoritması (mat yüzey)	Açık
Grid	Grid aralığı	0,05
	Dinamik grid(dynamic raster)	Açık, iyi

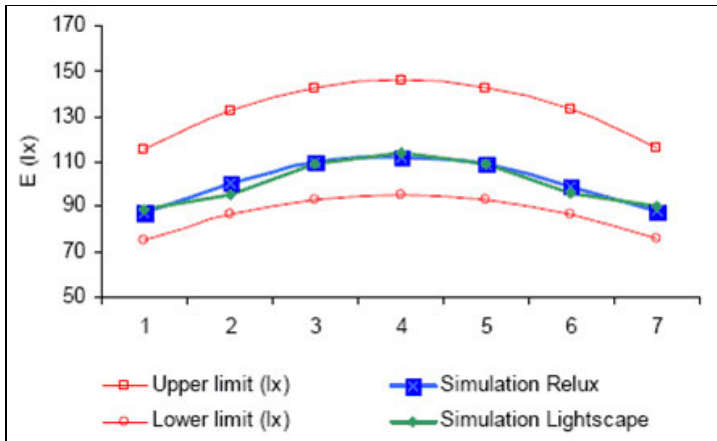
Çizelge 8.2 Lightscape programı için Radiosity parametreleri ayarları.

Grup	Parametre	Değer
Alıcı	Ağ aralığı (mesh spacing) min	0,05m
	Ağ aralığı (mesh spacing) max	0,5m
	Alt bölümlene karşıtlık eşiği	0,3
Kaynak	Dolaysız kaynak, min	0,05
	Dolaysız kaynak, alt bölümlene doğruluğu	1
	Yansımış kaynak, min	0,05
	Yansımış kaynak, alt bölümlene doğruluğu	1
	Gölge grid boyutu	9
Süreç (process)	Gölgeler	açık
	Gün ışığı	açık
	Sadece dolaysız	kapalı
	Gök ışığı doğruluğu	1
	Gün ışığı sadece açıklık ve pencerelerden	kapalı

Relux ve Lightscape programları için, Bölüm 7.1’de verilen ölçmeye dayalı deneysel testlerden alınan sonuçlar Şekil 8.1 ve Şekil 8.2’de verilmiştir.



Şekil 8.1 Relux ve Lightscape programları Test 3 (kompakt flüoresan ve siyah duvar) ölçme noktası 4’de alınan simülasyon sonuçları.

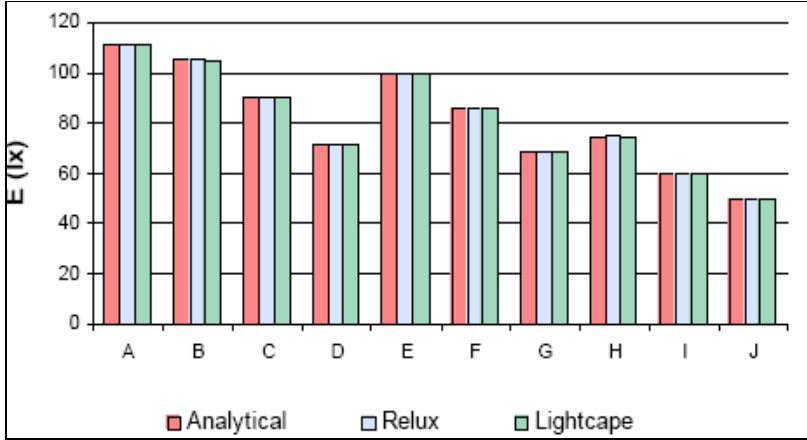


Şekil 8.2 Relux ve Lightscape programları Test1 (kompakt flüoresan ve gri duvar) ölçme noktası 4’de alınan simülasyon sonuçları.

Şekil 8.1 ve Şekil 8.2’de gösterilen grafiklere göre her iki program da, üst ve alt limitler arasında aydınlık düzeyi sonuçları hesaplayabilmiştir. Ancak programların dolaysız ışık hesabında alt limite (siyah duvarlı testler), iç yansımaların da dikkate alındığı gri duvarlı testler de ise üst limite daha yakın sonuçlar vermesi dikkate alınmalıdır. Benzer sonuçlar diğer ölçmeye dayalı test senaryoları için de alınmıştır.

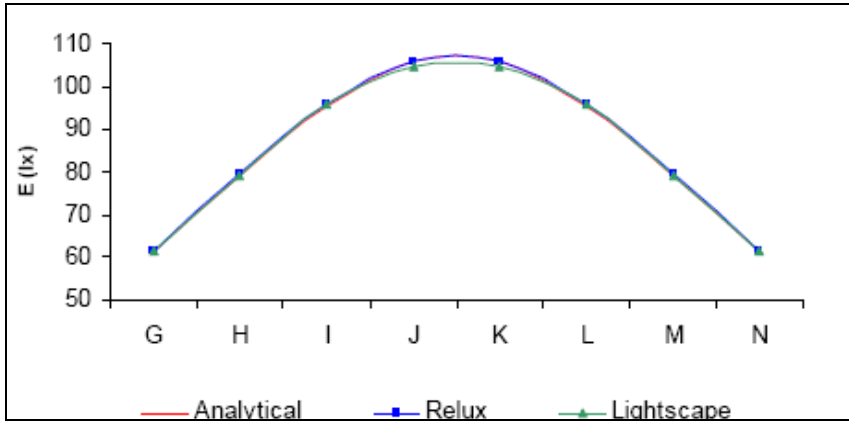
Bölüm 7.2’de verilen analitik testlerden, Yapay aydınlatma,

Nokta ışık kaynağı simülasyonu testi sonuçları Şekil 8.3’de verilmiştir.



Şekil 8.3 Relux ve Lightcape programları İzotrop yayınlık nokta ışık kaynağı ile alınan simülasyon sonuçları.

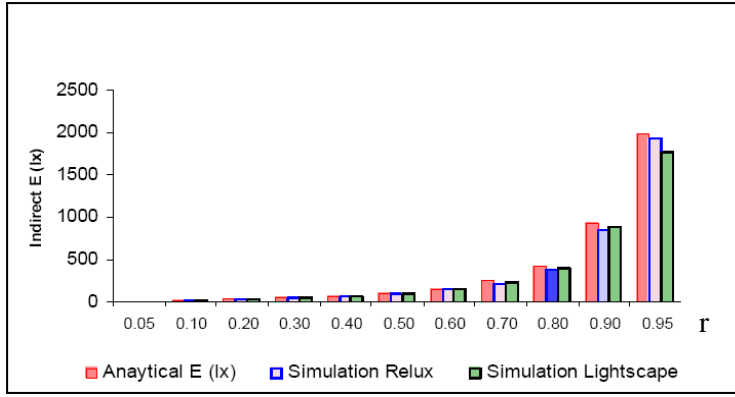
Düzlem ışık kaynağı simülasyonu testi sonuçları Şekil 8.4’de verilmiştir.



Şekil 8.4 Relux ve Lightcape programları İzotrop yayınlık düzlem ışık kaynağı ile zemindeki ölçme noktalarında elde edilen simülasyon sonuçları.

Nokta ışık kaynağı testinde olduğu gibi düzlem kaynak testinde de programlar CIE testleri ile uyum göstermektedir. Her iki program için ortalama hata % 0,5’in altındadır. En yüksek hata Lightcape programı için J ve K noktalarında saptanmıştır ve %1.25’in altındadır.

Mat yüzeyler için iç yansımış bileşeni – yansımış ışık testi sonuçları Şekil 8.5’de verilmiştir.

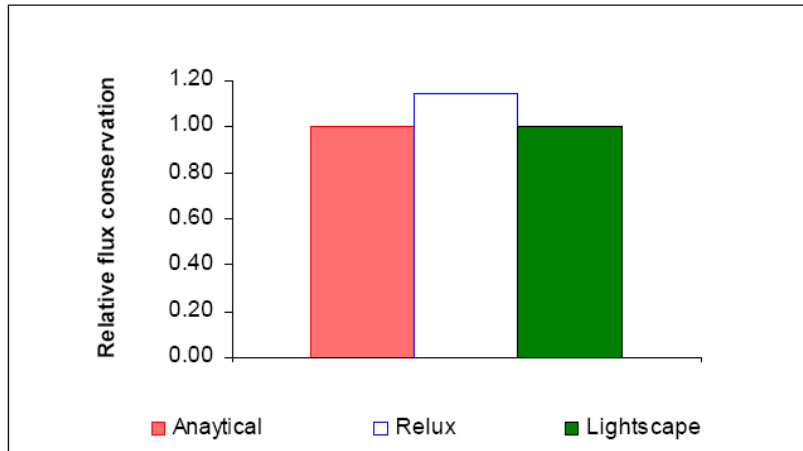


Şekil 8.5 Relux ve Lightscape programları izotrop yayınlık iç yansımalar testi için simülasyon sonuçları

Şekil 8.5’de grafik üzerinde gösterilen sonuçlarda, Lightscape programında $r=0.7$ üzeri yansıtma çarpanları değerlerinde hata görülmektedir, en yüksek hata oranı ise $r=0.95$ değerinde gözlemlenmiştir.

Doğal aydınlatma testlerinden,

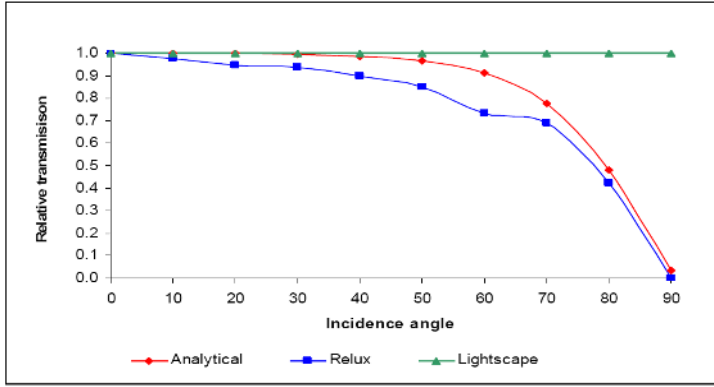
Işık akısı korunumu testi sonuçları Şekil 8.6’da verilmiştir.



Şekil 8.6 Relux ve Lightscape programları Işık akısı korunumu testi simülasyon sonuçları.

Şekil 8.6'daki test sonucunda Relux programı ışık kaynağı ile mekan iç yüzeyleri arasındaki ışık akısı korunumu açısından oldukça başarılı bulunmuştur. Ancak Lightscape programında, çatı ışıklılığı kullanımı durumunda %16 ışık akısı kaybı, düşey yüzey ışıklılığı kullanımı durumunda ise %14 oranında ışık akısı kaybı gözlenmiştir.

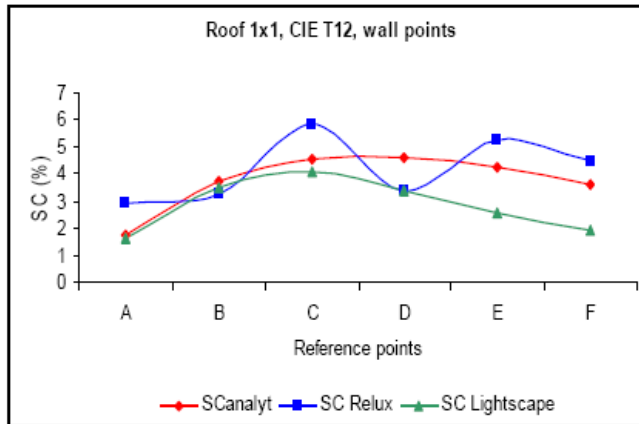
Temiz camın doğrultulu geçirme çarpanı testi sonuçları Şekil 8.7'de verilmiştir.



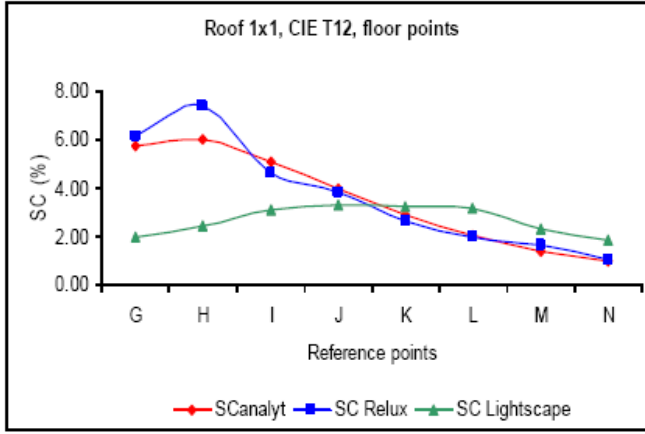
Şekil 8.7 Relux ve Lightscape programları Temiz camın doğrultulu geçirme çarpanı testi sonuçları.

Şekil 8.7'de verilen sonuçlara göre, Lightscape programının Relux programı aksine camın doğrultusal geçme çarpanını dikkate almadığı görülmektedir. Ancak Relux programı da analitik sonuçlarla tam anlamıyla uyum göstermemektedir.

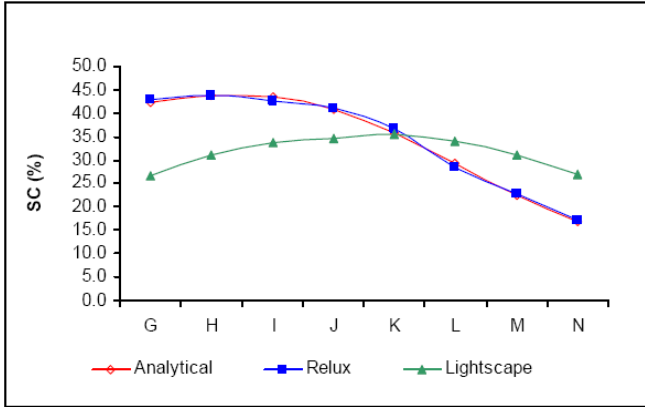
Camsız Tepe Işıklığı için Gök Bileşeni ve CIE Genel Gök Tipleri – dolaysız ışık testi sonuçları Şekil 8.8, 8.9, 8.10'da verilmiştir.



Şekil 8.8 Relux ve Lightscape programları 1m x 1m camsız tepe açıklığı – CIE açık gök, gök bileşeni simülasyon sonuçları, duvar ölçme noktalarında alınan sonuçlar.

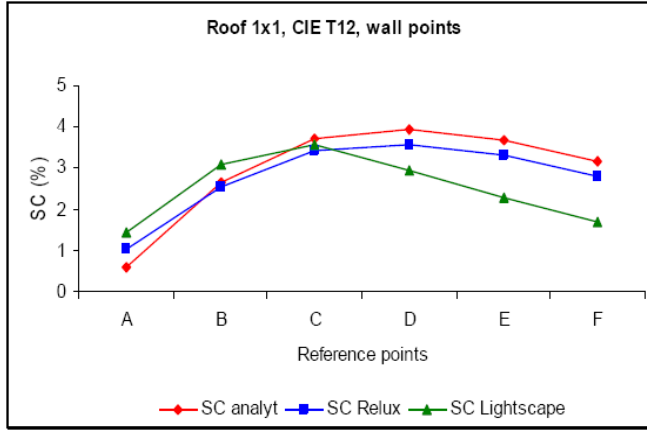


Şekil 8.9 Relux ve Lightscape programları 1m x 1m camsız tepe açıklığı – CIE açık gök, gök bileşeni simülasyon sonuçları, zemin ölçme noktalarında alınan sonuçlar

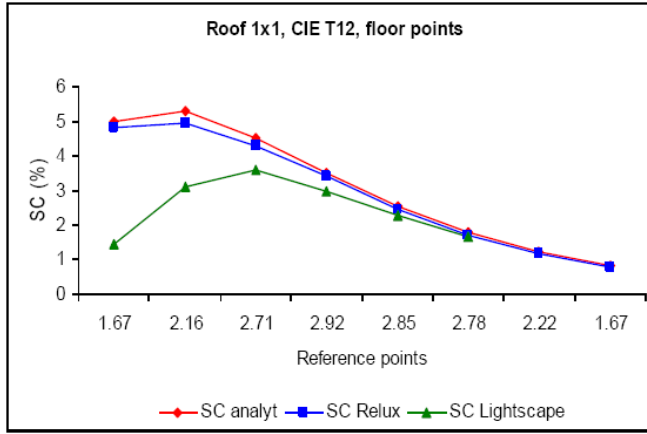


Şekil 8.10 Relux ve Lightscape programları 4m x 4m camsız tepe açıklığı – CIE açık gök, gök bileşeni zemin ölçme noktalarında alınan simülasyon sonuçları

Camlı Tepe Işıklığı için Gök Bileşeni ve CIE Genel Gök Tipleri – dolaysız ı ışık testi sonuçları Şekil 8.11, 8.12’de verilmiştir.

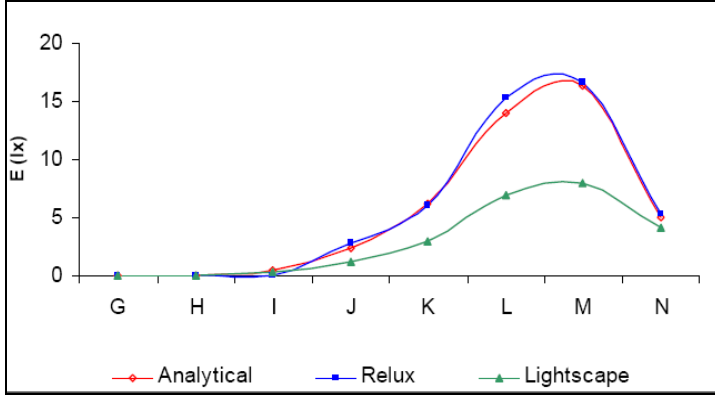


Şekil 8.11 Relux ve Lightscape programları 1m x 1m camlı tepe açıklığı – CIE açık gök, gök bileşeni duvar ölçme noktalarında alınan simülasyon sonuçları



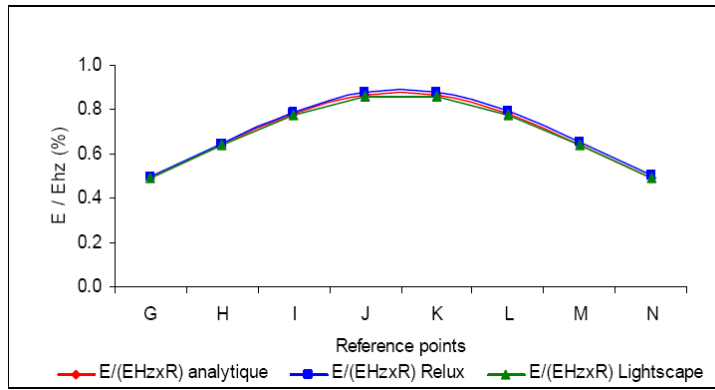
Şekil 8.12 Relux ve Lightscape programları 1m x 1m camlı tepe açıklığı – CIE açık gök, gök bileşeni zemin ölçme noktalarında alınan simülasyon sonuçları,

Sürekli Dış Yatay ve Düşey Engel ile Camsız Cephe Açıklığı için Gök ve Dış Yansımış Bileşeni – dolaysız ışık testi sonuçları Şekil 8.13’de verilmiştir.



Şekil 8.13 Relux ve Lightscape programları 6m yüksekliğinde dış düşey engel ve CIE Açık Gök ile Simülasyon Sonuçları

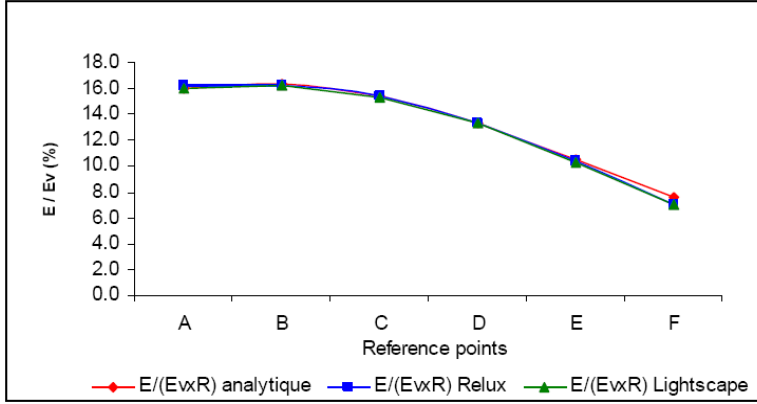
Işğın mat yüzeylerden yansıması testi sonuçları Şekil 8.14’de verilmiştir.



Şekil 8.14 Relux ve Lightscape programları S_{1-Hz} yüzeyindeki 50cm x 50cm mat yüzey ile birlikte izotrop yayınlık yansıma senaryosu için simülasyon sonuçları

Yapılan test sonucunda her iki program CIE testlerinin analitik sonuçları ile oldukça iyi bir uyum göstermiştir (Şekil 8.14). Programlarda S_2 yüzeyinin diğer boyutları için de aynı uyum gözlemlenmiştir.

İç engellerden izotrop yayınlık yansıma testi sonuçları Şekil 8.15’de gösterilmiştir.



Şekil 8.15 Relux ve Lightscape programları İç engellerden yayınlık yansıma testi için S1-V yüzeyindeki simülasyon sonuçları.

Genelde alınan sonuçlara göre programlar değerlendirildiğinde, Lightscape R 3.2 programının CIE teknik raporundaki test sonuçları,

A. Programın Yeterli Olduğu Alanlar

- Yayınlık yansıma ve iç yansımalarda yüksek derecede doğruluk
- Yapay aydınlatma simülasyonlarında yüksek derecede doğruluk

B. Programın Yetersiz Olduğu Alanlar

- Gün ışığı simülasyonlarında akı korunumu konusunda hatalı sonuçlar
- Gök bileşeni hesaplamalarında hatalı sonuçlar
- Camın doğrultulu geçme çarpanı özelliğini simüle edememe
- Doğrultululuk etkeninin dikkate alınmaması

biçiminde ortaya konulmuştur.

Bu sonuçlar bağlamında, Lightscape programının yapay aydınlatma hesaplamalarında doğru bir program olmasına karşın, gün ışığı hesaplamalarında aynı doğrulukta olmadığı belirlenmiştir. Tepe penceresi ya da cephe açıklığı kullanımında dolaysız aydınlık düzeyi hesabında ve cam malzemelerin doğrultulu geçirme çarpanı simülasyonundan elde edilen sonuçların, CIE raporunda belirtilen hata sınırlarının dışında kaldığı vurgulanmıştır.

Relux programı ise, genel olarak yapılan tüm testlerde CIE testlerinin sonuçlarıyla uyum göstermiştir. Programın analitik sonuçlara göre en düşük doğruluğu, camın doğrultulu geçme çarpanı testinde ortaya konmuştur. Ancak camlı açıklık kullanılarak yapılan gün ışığı

simülasyonlarında, doğrultulu geçme çarpanında gözlemlenen farkın, mekan içinde hesaplanan aydınlık düzeyleri üzerinde kısıtlı bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Relux programı 1m x 1m boyutlarında camsız çatı ışıklığı testinde de düşük doğrulukta hesaplama yapmıştır. Ancak camlı olarak yapılan testte program doğru sonuçlar vermiştir. IEA raporunda bu iki test arasında alınan sonuçlardaki farkın geometrinin tanımlanma biçiminden ileri geldiği öne sürülmektedir. Camlı malzeme testi için, mekan geometrisi programda modellenmiştir. İç mekan projesi bölümünde Relux programının kendi boyut parametreleri kullanılmıştır. Ancak camsız malzeme testi için test mekanı başka bir programda dış mekan sahnesinde oluşturularak Relux programına aktarılmıştır. Bu nedenle program sırlanmamış malzeme tanımlarını algılamamıştır. İki test arasındaki bu doğruluk farkı da 3 boyutlu model tiplerini hesaplama yöntemlerindeki fark ile açıklanmaktadır (IEA, 2005).

8.2 DIALux Programının Doğruluğunu Sınamaya Yönelik Çalışmalar

DIAL firması, DIALux programının yeterli olduğu alanları belirlemek amacıyla çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalar “Hesaplamanın Hassasiyeti (Preciness of Calculation)” ve “Hesaplamanın Doğruluğu (Accuracy of Calculation)” isimli raporlarla yayınlanmıştır.

Raporda programı sınamak amacıyla,

- CIE’nin 171:2006 numaralı teknik raporunda yer alan testler kullanılarak yapılan çalışmalar dikkate alınarak program ile ilgili çeşitli sonuçlara varılmıştır.
- DIAL laboratuvarlarından yapılan deneysel ölçmelere dayalı testler

olmak üzere 2 ayrı çalışma gerçekleştirilmiş ve bu sonuçlara göre DIALux programı değerlendirilmiştir.

8.2.1 DIALux 2006 CIE Test Sonuçları

Raporlarda, DIALux 2006 programı, Bölüm 7.1’de anlatılan CIE’nin önerdiği ölçmeye dayalı deneysel testlerden 1 ve 3 numaralı,

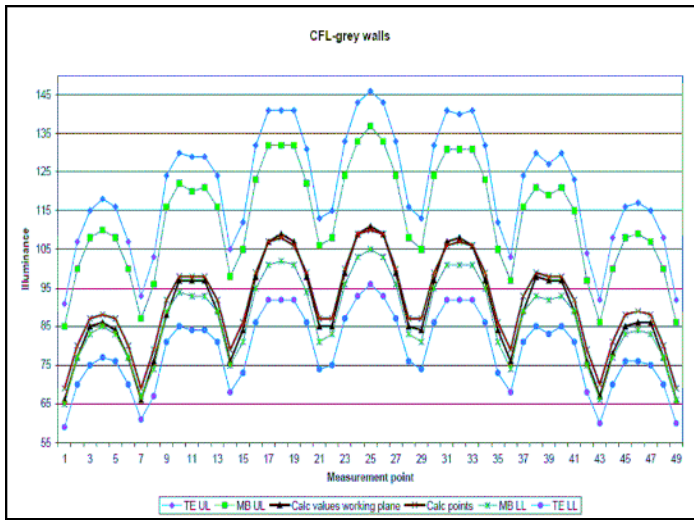
- Gri duvar, kompakt flüoresan testi
- Gri duvar, yarı yayınlık yansıtıcı aygıt testi ve

Bölüm 7.2’de anlatılan hesaplamaya dayalı analitik testlerden 4 ve 7 numaralı

- “ışığın mat yüzeylerden yansıması”
- “camsız tepe ışıklığı için gök bileşeni”

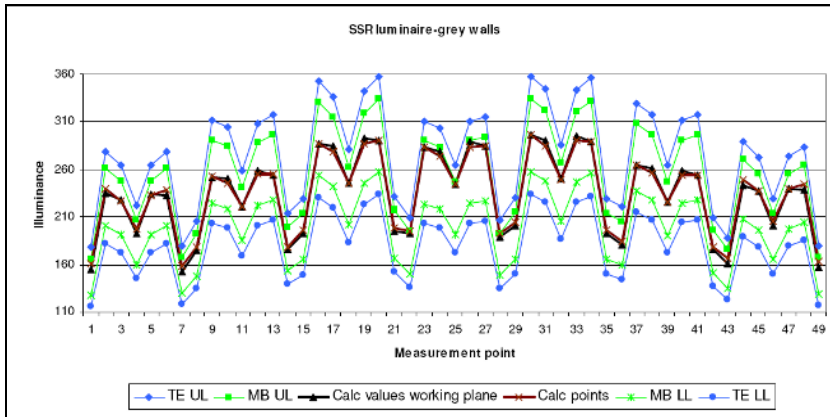
testleri için sınınmıştır.

Ölçmeye dayalı test sonuçları Şekil 8.16 ve 8.17’de, hesaplamaya dayalı analitik test sonuçları Çizelge 8.3, 8.4, 8.5’de verilmiştir.



Şekil 8.16 Kompakt flüoresan – gri duvar testi 49 ölçme noktasındaki aydınlık düzeyi sonuçları.

(TE-Toplam hata, LL-En düşük limit, MB-Ölçme bandı).



Şekil 8.17 Yarı yayınlık yansıtıcı aygıt – gri duvar testi 49 ölçme noktasındaki aydınlık düzeyi sonuçları.

Çizelge 8.3 “Işığın mat yüzeylerden yansımaları” testi 50cm x 50cm S₂ yüzeyi için S1-V yüzeyi üzerindeki ölçüm sonuçları.

	S1-V yüzeyi üzerindeki ölçüm sonuçları					
	A	B	C	D	E	F
E/E _h x ρ	0,246	0,580	0,644	0,556	0,433	0,325
DIALux	0,245	0,577	0,646	0,558	0,431	0,323
Hata (%)	0,4	0,52	0,31	0,36	0,46	0,62

Çizelge 8.4 “Işığın mat yüzeylerden yansımaları” testi 50cm x 50cm S₂ yüzeyi için S1-Hz yüzeyi üzerindeki ölçüm sonuçları.

	S1-Hz yüzeyi üzerindeki ölçüm sonuçları							
	G	H	I	J	K	L	M	N
E/E _h x ρ	0,491	0,639	0,778	0,864	0,864	0,778	0,639	0,491
DIALux	0,489	0,636	0,783	0,861	0,861	0,783	0,636	0,489
Hata (%)	0,4	0,47	0,64	0,34	0,34	0,64	0,47	0,4

Çizelge 8.5 Gün ışığı faktörü, 1m x 1m tepe ışıklığı, yayınlık gök testi sonuçları

Ölçme noktası	A	B	C	D	E	F
CIE sonuçları	0,56	1,78	2,32	2,20	1,82	1,43
DIALux	0,56	1,91	2,35	2,09	1,81	1,37

Ölçme noktası	G	H	I	J	K	L	M	N
CIE sonuçları	2,29	3,07	3,82	4,29	4,29	3,82	3,07	2,29
DIALux	2,39	3,19	3,76	4,22	4,35	3,91	2,92	2,31

Raporda DIALux programı yapılan deneysel ve analitik CIE test sonuçları hata sınırları arasında kaldığından, program yapılan testler alanında doğru bulunmuştur (DIALux GmbH, 2006, 2007).

Genel olarak DIALux, Relux ve Lightscape programlarının, ölçmeye dayalı deneysel test sonuçları Çizelge 8.7’de, hesaplama dayalı analitik hesaplama sonuçları ise Çizelge 8.8’de verilmiştir.

8.2.2 DIAL Laboratuvarlarından Yapılan Ölçmelere Dayalı Testler

DIAL firması tarafından yayımlanan raporda, ölçmelere dayalı testlerde kullanılan mekan için,

- L şeklinde, maksimum dış boyutları 6m x 4,5m olan tavan yüksekliği 2,75
- Düzgün ahşap yüzeyli,
- Türsüz, yansıtma çarpanları tavan %70, duvarlar %50, döşeme %20,
- Ölçme noktaları 25cm aralıklı dörtgen grid

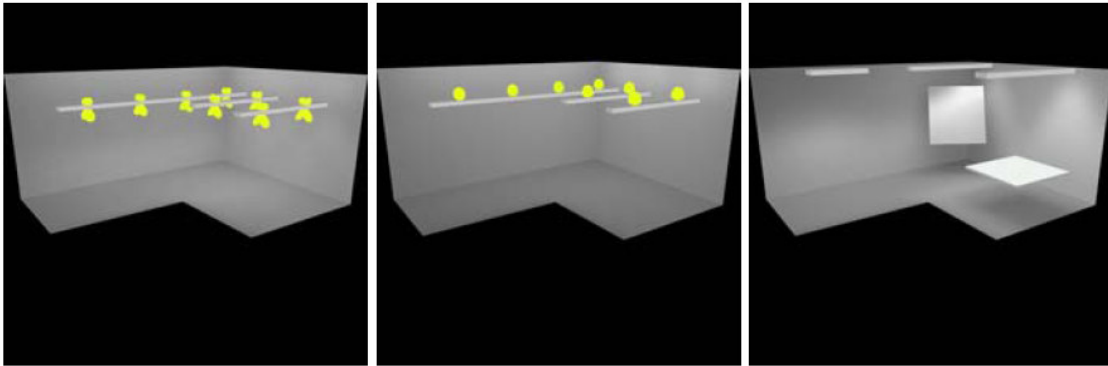
koşulları verilmiştir.

Bu koşullarda hazırlanan bir mekanda aydınlık düzeyi ölçmeleri yapılmış, aynı mekan DIALux programında oluşturulmuş ve hesaplama sonuçları alınmıştır.

Ölçme ve hesaplama sonuçları,

- Dolaysız – yansımış ışık, doğrusal asılı aygıtlar
- Yansımış ışık, doğrusal asılı aygıtlar
- Yansımış ışık, doğrusal asılı aygıtlar, tefrişli oda

durumlarına göre değerlendirilmiştir (Şekil 8.18). Ölçme ve hesaplama sonuçları ise Çizelge 8.6’da gösterilmiştir.



Şekil 8.18 Test mekanı koşullarının simülasyonu.

Çizelge 8.6 DIALux 2006 ölçmelere dayalı test sonuçları.

Çalışma düzlemi üzerindeki ortalama aydınlık düzeyi	Dolaysız ve yansımış aydınlık	Yansımış aydınlık	Tefriş ile birlikte dolaysız aydınlık
Toplam hata en yüksek limiti	763 lx	352 lx	688 lx
Ölçme hatası en yüksek limiti	745 lx	344 lx	672 lx
Ölçülen değer	718 lx	331 lx	647 lx
Hesaplanan değer	691 lx	318 lx	633 lx
Ölçme hatası en düşük limiti	691 lx	318 lx	622 lx
Toplam hata en düşük limiti	673 lx	298 lx	603 lx

Tüm bu yapılan çalışmalar sonucunda yayımlanan raporda, DIALux programı yapay ve doğal aydınlatma hesabı açısından yeterli bulunmuştur. Program kullanılarak yapılan hesaplamaların, doğru olduğu ileri sürülmüştür.

Relux 2004, DIALux 2006 ve Lightscape R3.2 programlarının CIE'nin önerdiği ölçmeye dayalı deneysel test sonuçları karşılaştırmalı olarak Çizelge 8.7'de, hesaplamalara dayalı analitik test sonuçları ise Çizelge 8.8'de verilmiştir.

Çizelge 8.7 Relux, DIALux ve Lightscape programlarının CIE ölçmeye dayalı (deneysel) test sonuçları (+:uygun).

Ölçmeye dayalı testler	CIE Eort	DIALux	RELUX	LIGHTSCAPE
Kompakt flüoresan-gri duvar	88 lx–112 lx	+	+	+
Opal aygıt-gri duvar	53,1 lx–67,5 lx	+	+	+
Yarı yayınlık yansıtıcılı aygıt-gri duvar	199,8 lx–254,2 lx	+	+	+
Kompakt flüoresan-siyah duvar	29,5 lx–37,5 lx	+	+	+
Opal aygıt-siyah duvar	40,1 lx–51,1 lx	+	+	+
Yarı yayınlık yansıtıcılı aygıt-siyah duvar	179,5 lx–228,5 lx	+	+	+

Çizelge 8.8 Relux, DIALux ve Lightscape programlarının CIE hesaplamaya dayalı (analitik) test sonuçları (+:uygun, -: uygun değil, *: yapılmamış).

Hesaplamaya dayalı testler	DIALux	RELUX	LIGHTSCAPE
Nokta ışık kaynağı simülasyonu	*	+	+
Düzlem ışık kaynağı simülasyonu	*	+	+
Işık akısı korunumu	*	+	çatı ışıklılığı kullanımında %16 ışık akısı kaybı, düşey yüzey ışıklılığı kullanımında ise %14 oranında ışık akısı kaybı
Temiz camın doğrultulu geçirme çarpanı	*	+	-
Işığın mat yüzeylerden yansımaları	+	+	+
İç engellerden izotrop yayınık yansıma	*	+	+
Mat yüzeyler için iç yansıymış bileşeni	*	+	+(0,95hata)
Camsız Tepe Işıklılığı için Gök Bileşeni ve CIE Genel Gök Tipleri	*	+	-
Camlı Tepe Işıklılığı için Gök Bileşeni	+	+	-
Camsız Cephe Açıklığı için Gök ve Dış Yansıymış Bileşeni	*	*	
Camlı Cephe Açıklığı için Gök ve Dış Yansıymış Bileşeni	*	*	
Sürekli Dış Yatay Engel ile Camsız Cephe Açıklığı için Gök ve Dış Yansıymış Bileşeni	*	+	-
Sürekli Dış Düşey Engel ile Camsız Cephe Açıklığı için Gök ve Dış Yansıymış Bileşeni	*	+	-

9. AYDINLATMA PROGRAMLARI İLE YAPILAN TESTLER

Bu çalışma kapsamında 7, 8, 9 ve 10. Bölümlerde anlatılan DIALux 4.3, Relux 2007, Lightscape R3.2, Desktop Radiance Beta 2.0 programları ile aydınlık düzeyi ve ışık-nesne ilişkisi ile ilgili testler yapılmıştır. Bunlar,

- Yapay Aydınlık Düzeyi Testleri
- Doğal Aydınlık Düzeyi Testleri
- Yapay Işık Kaynağı ve Yüzey Özellikleri Değişiminin Aydınlık Düzeyine Etkisi Testleri

biçiminde 3 grupta sıralanabilir. Desktop Radiance programına dışarıdan aygıt atanmadığından, program yalnızca doğal aydınlık düzeyi testlerinde kullanılabilmiştir.

9.1 Yapay Aydınlık Düzeyi Testleri

Yapay Aydınlık Düzeyi testleri, değişik hacim ve aygıt özellikleri için,

- Bölüm 1.3.1’de verilen ışık ölçümsel ilişkilere dayanan analitik hesaplamalar,
- Programların kullanımı

gibi iki ayrı bölümde gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

9.1.1 Yapay Aydınlık Düzeyi Testleri Analitik Hesap Yöntemi ve Test Koşulları

Yapay aydınlık düzeyi testleri için yapılan analitik hesaplamalarda; noktada aydınlık, yansımış aydınlık, toplam aydınlık ve ortalama aydınlık düzeyi hesapları aşağıda verilen eşitlikler aracılığıyla yapılmıştır.

Noktada aydınlık düzeyi 9.1 numaralı eşitlik kullanılarak yapılmıştır.

$$E\alpha = (I\alpha \cdot \cos\alpha^3) / h^2 \quad (9.1)$$

Burada,

E = yatay düzlem üzerindeki noktada aydınlık düzeyi (lm/m^2),

α = ışığın geliş doğrultusu ile yüzey normali arasındaki açı,

$I\alpha$ = kaynağın yüzey normali doğrultusundaki ışık yeğirliği (cd),

h = nokta-kaynak uzaklığı (m),
olarak verilmiştir.

Yansıymış aydınlık düzeyi hesabı için 9.2, 9.3, 9.4 numaralı eşitlikler kullanılmıştır.

$$\Phi_0/\Phi_{rtop}=(1-r_{ort})/r_{ort} \quad (9.2)$$

$$E_y = \Phi_{rtop} / S \quad (9.3)$$

$$r_{ort} = (S_{duvar} \times r_{duvar}) + (S_{tavan} \times r_{tavan}) + (S_{döşeme} \times r_{döşeme}) / S_{top} \quad (9.4)$$

Burada,

Φ_0 = hacimdeki lambalardan çıkan toplam ışık akısı (lm),

r_{ort} = ortalama yansıtma çarpanı,

E_y = yansıymış aydınlık düzeyi (lm/m²),

S = yatay düzlem alanı (m²),

S_{duvar} = toplam duvar alanı (m²),

S_{tavan} = toplam tavan alanı (m²),

$S_{döşeme}$ = toplam döşeme alanı (m²),

olarak verilmiştir.

Toplam aydınlık düzeyi 9.5 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_{top} = (E_d + E_y) \cdot d \quad (9.5)$$

Burada,

E_{top} = Toplam aydınlık düzeyi (lm/m²),

E_d = dolaysız aydınlık düzeyi (lm/m²),

E_y = yansıymış aydınlık düzeyi (lm/m²),

d = değer düşme çarpanı (bakım çarpanı)

olarak verilmiştir.

Ortalama aydınlık düzeyi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_{ort} = [(E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n) / N] \quad (9.6)$$

Burada,

E_{ort} = Ortalama aydınlık düzeyi (lm/m²),

E_1 = Düzlemin 1. noktasındaki aydınlık düzeyi (lm/m²),

E_2 = Düzlemin 2. noktasındaki aydınlık düzeyi (lm/m²),

E_n = Düzlemin n. noktasındaki aydınlık düzeyi (lm/m^2),

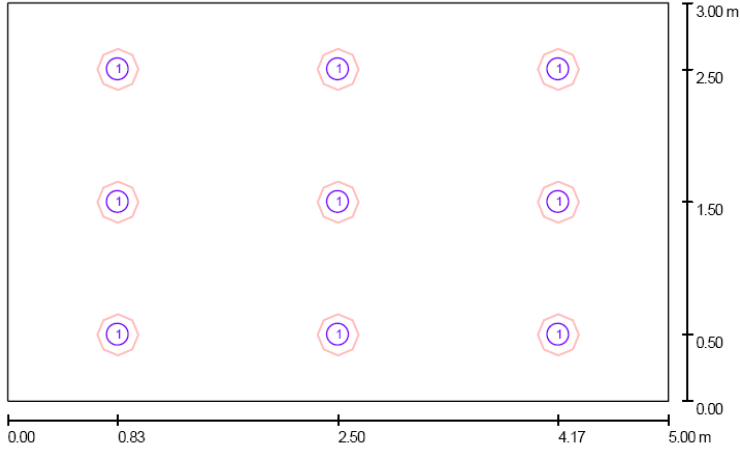
N = nokta sayısı

olarak verilmiştir.

Eni 3m, boyu 5m, yüksekliği 2,6m olan bir H1 hacmindeki belli bir aydınlatma düzeninin, döşeme üzerinde oluşturduğu aydınlığın, analitik hesaplamalarına ilişkin koşullar Çizelge 9.1’de verilmiştir.

Çizelge 9.1 Yapay aydınlık düzeyi testleri analitik hesaplamalar için test koşulları.

Boyut	Hacim boyutları, H1	En : 3m	Boy: 5m	Yükseklik: 2.6m
İç yüzey özellikleri	İç yüzey yansıtma çarpanı	Toplam aydınlık		$r_{\text{tavan}} \%70, r_{\text{duvar}} \%50, r_{\text{zemin}} \%20$
		Dolaysız aydınlık		$r_{\text{tavan}} \%0, r_{\text{duvar}} \%0, r_{\text{zemin}} \%0$
	İç yüzey ışık yansıtma biçimi		Mat	
	İç yüzey renksel özellikler		Türsüz	
Aygıt	Aygıt ışık yeğnlik diyagramı		Asimetrik A1 ve Simetrik A2	
	Aygıt sayısı		1, 9	
	Lamba sayısı ve özellikleri		2 adet 26 W kompakt flüoresan lamba, $\Phi=1800\text{lm}$, $\Phi_{\text{top}}=3600\text{lm}$, 3000 K	
	Yerleşim		Tek aygıt tavan merkezinde, 9 aygıt ise düzgün yayılmış aydınlık oluşturacak biçimde yerleştirilmiştir (Şekil 9.1).	
Hesaplama	Aydınlık düzeyi türü		Noktada aydınlık, ortalama aydınlık düzeyi hesabı	
	Hesap düzlemi		Döşeme	
	Grid aralığı		50x50 cm	

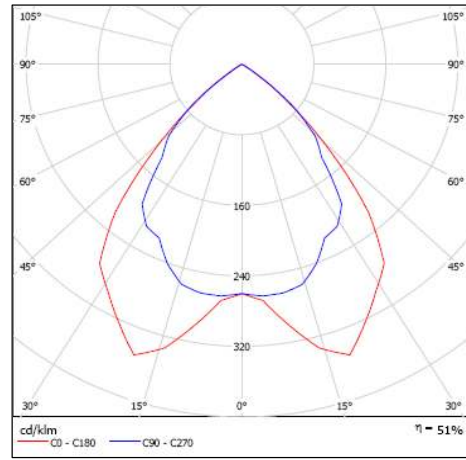


Şekil 9.1 H1 mekanında 9 aygıt bulunması durumu için aydınlatma düzeni.

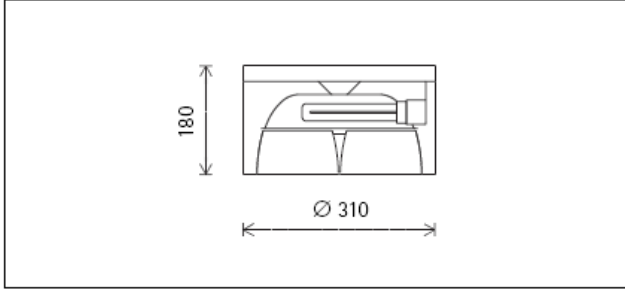
Tavana tespit edilen, asimetrik ışık yeğinlik dağılımı olan A1 aygıtının özellikleri,

- Yükseklik, 180mm, çap 310mm,
- Aygıt sınıfı CIE 100,
- CIE akı kodu 84 100 100 94 50,

biçimindedir. Aygıtın özellikleri Şekil 9.2, 9.3’de gösterilmiştir.



Şekil 9.2 Yapay ışık testlerinde kullanılan A1 aygıtının resmi ve ışık yeğinlik diyagramı.

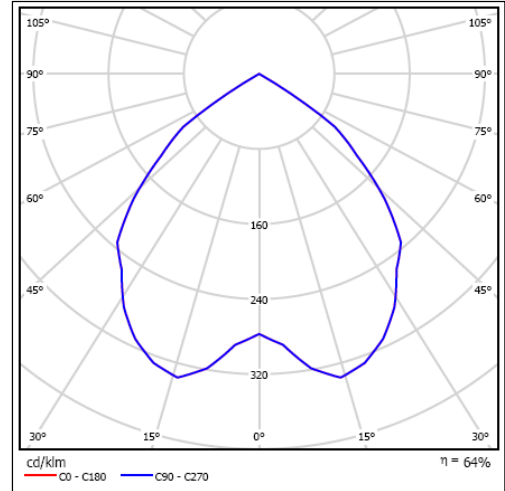


Şekil 9.3 Yapay ışık testlerinde kullanılan A1 aygıtın boyutları ve teknik çizimi.

Tavana tespit edilen, simetrik ışık yeğinlik dağılımı olan A2 aygıtının özellikleri,

- Yükseklik, 230mm, çap 260mm ,
- Aygıt sınıfı CIE 100,
- CIE akı kodu 78 100 100 87 66,

biçimindedir. Aygıtın özellikleri Şekil 9.4, 9.5’de gösterilmiştir.



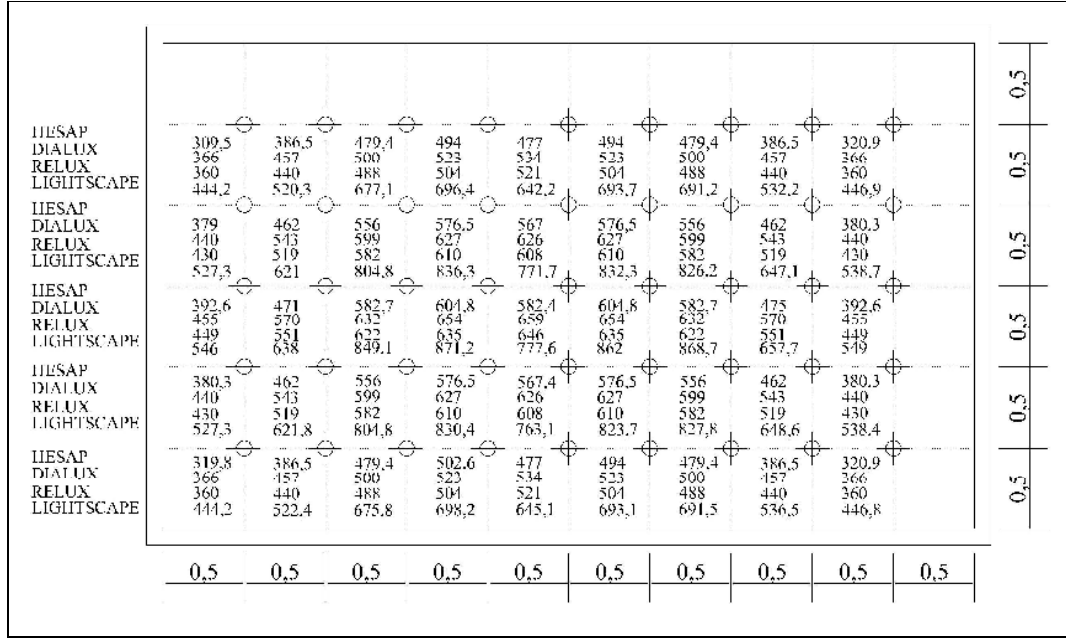
Şekil 9.4 Yapay ışık testlerinde kullanılan A2 aygıtının resmi ve ışık yeğinlik diyagramı

9.1.2 Yapay Aydınlik Düzeyi Testleri Analitik Hesaplama ve Simülasyon Sonuçları

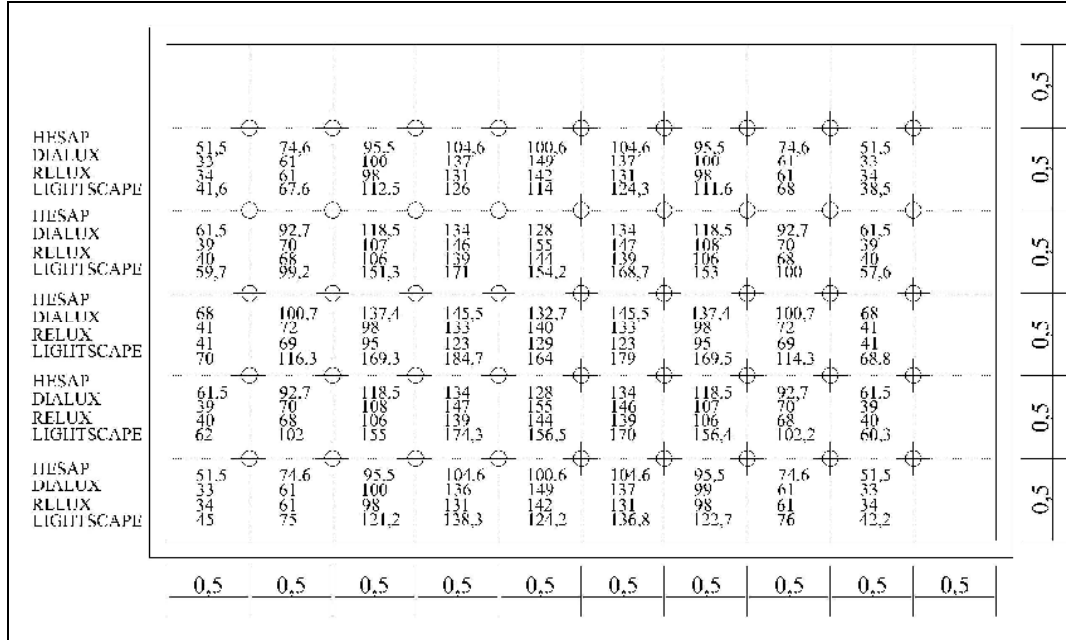
- Bölüm 3, 4, 5’de verilen DIALux 4.3, Relux 2007, Lightscape R3.2 programları ve
- Bölüm 9.1.1’de belirtilen analitik eşitliklerle,

	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
IESAP	29,5	52,6	73,5	82,6	78,6	82,6	73,5	52,6	29,5	
DIALUX	24	31	86	120	132	120	86	31	24	
RELUX	26	52	86	117	127	117	86	52	26	
LIGHTSCAPE	35,5	63	108,7	122,6	111,2	122	109,5	66,4	37,1	
IESAP	39,5	70,7	96,5	112	106	112	96,5	70,7	39,5	
DIALUX	30	61	97	135	143	135	96	61	30	
RELUX	32	59	96	128	132	128	96	59	32	
LIGHTSCAPE	52,2	93,4	146,5	166,9	150,6	165,5	150,1	97,8	55,7	
IESAP	46	78,7	115,4	123,5	110,7	123,5	115,4	78,7	46	
DIALUX	32	63	88	122	129	122	88	63	32	
RELUX	33	61	85	113	118	113	85	61	33	
LIGHTSCAPE	61,5	109,3	163,1	179,2	159,1	174,4	165,8	111,2	66,3	
IESAP	39,5	70,7	96,5	112	106	112	96,5	70,7	39,5	
DIALUX	30	61	97	135	143	135	96	61	30	
RELUX	32	59	96	128	132	128	96	59	32	
LIGHTSCAPE	52,2	93,4	146,5	165,8	148,8	162,8	150,5	97,7	57,1	
IESAP	29,5	52,6	73,5	82,6	78,6	82,6	73,5	52,6	29,5	
DIALUX	24	31	86	120	132	120	86	31	24	
RELUX	26	52	86	117	127	117	86	52	26	
LIGHTSCAPE	35,5	64	107,6	122,7	111,2	121,1	109,7	67,9	37,6	

Şekil 9.6 A1 tipi asimetrik tek aygıt ile H1 mekanında noktada dolaysız aydınlık düzeyleri.



Şekil 9.7 A1 tipi asimetrik 9 aygıt ile H1 mekanında noktada dolaysız aydınlık düzeyleri.



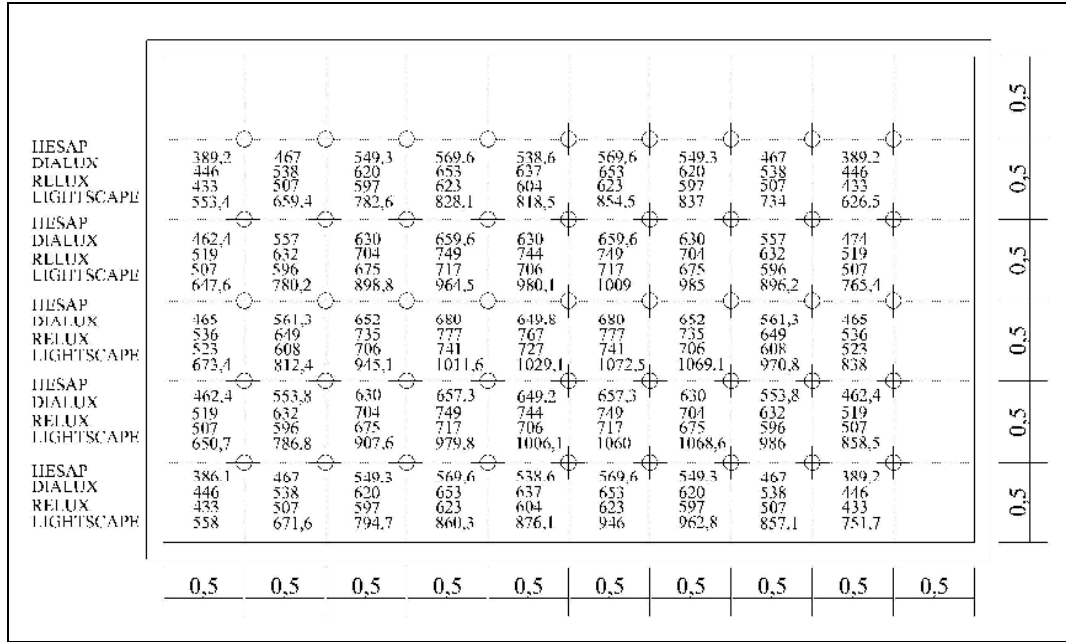
Şekil 9.8 A1 tipi asimetrik tek aygıt ile H1 mekanında noktada toplam aydınlık düzeyleri.

										0,5
IIESAP	508,3	585,3	678,2	692,9	675,8	692,9	678,2	585,3	519,7	0,5
DIALUX	483	576	619	643	651	644	620	576	483	0,5
RELUX	469	553	603	619	636	619	601	553	468	0,5
LIGHTSCAPE	544,3	592,5	731,4	739	677	722,8	715,6	552,6	463,6	0,5
IIESAP	577,7	661	754,7	775,3	765,7	775,3	754,7	661	579,1	0,5
DIALUX	559	659	713	741	740	741	713	659	559	0,5
RELUX	643	631	693	721	719	720	693	630	543	0,5
LIGHTSCAPE	653	713,3	874,3	891,6	817,4	870,6	858,6	673,9	560	0,5
IIESAP	591,4	670	781,5	803,6	781,2	803,6	781,5	673,8	591,4	0,5
DIALUX	574	685	746	766	771	760	746	685	574	0,5
RELUX	563	665	732	745	756	745	732	665	562	0,5
LIGHTSCAPE	687,8	745,6	934,7	942,3	838,1	913,9	912,6	693,6	576,7	0,5
IIESAP	579,1	661	754,7	775,3	766,2	775,3	754,7	661	579,1	0,5
DIALUX	559	659	713	741	739	740	713	659	559	0,5
RELUX	544	631	693	721	719	720	693	630	543	0,5
LIGHTSCAPE	678,6	745,2	911,6	925	846,4	897	890,2	698,8	575,6	0,5
IIESAP	518,6	585,3	678,2	701,4	675,8	692,6	678,2	585,3	519,7	0,5
DIALUX	483	576	619	642	653	642	619	576	483	0,5
RELUX	469	553	603	620	636	618	602	552	468	0,5
LIGHTSCAPE	600,2	665,8	811	824,8	761,1	799,3	785,3	612,3	499,6	0,5
	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	

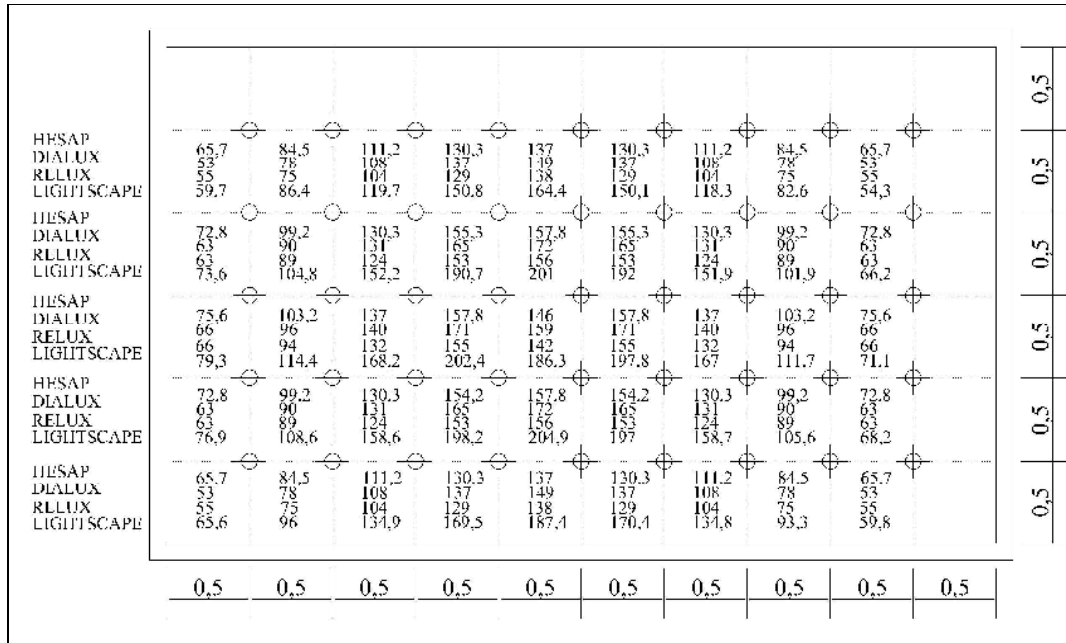
Şekil 9.9 A1 tipi asimetrik 9 aygıt ile H1 mekanında noktada toplam aydınlık düzeyleri.

										0,5
IIESAP	37,7	56,5	83,2	102,3	109,1	102,3	83,2	56,5	37,7	0,5
DIALUX	46	63	91	117	128	117	91	63	46	0,5
RELUX	42	62	88	110	119	110	88	62	42	0,5
LIGHTSCAPE	49,5	79,4	114	146	160,1	146,4	115,2	80	52,1	0,5
IIESAP	44,8	71,2	102,3	127,3	129,8	127,3	102,3	71,2	44,8	0,5
DIALUX	50	77	116	149	156	149	116	77	50	0,5
RELUX	50	76	110	137	140	137	110	76	50	0,5
LIGHTSCAPE	60,8	95,8	144,8	184,3	195,4	187,1	147,7	98,4	63,4	0,5
IIESAP	47,6	75,2	109	129,8	118	129,8	109	75,2	47,6	0,5
DIALUX	53	83	126	156	144	156	126	83	53	0,5
RELUX	53	82	119	140	127	140	119	82	53	0,5
LIGHTSCAPE	65,3	104	159	193,8	178,4	191,2	161,1	107	67,5	0,5
IIESAP	44,8	71,2	102,3	126,2	129,8	126,2	102,3	71,2	44,8	0,5
DIALUX	50	77	116	149	156	149	116	77	50	0,5
RELUX	50	76	110	137	140	137	110	76	50	0,5
LIGHTSCAPE	60,8	95,8	144,8	183,7	191	183,8	148,1	99	63,5	0,5
IIESAP	37,7	56,5	83,2	102,3	109,1	102,3	83,2	56,5	37,7	0,5
DIALUX	46	63	91	117	128	117	91	63	46	0,5
RELUX	42	62	88	110	119	110	88	62	42	0,5
LIGHTSCAPE	49,5	79	113	145,2	159,5	146,3	115,1	80,5	52,7	0,5
	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	

Şekil 9.10 A2 tipi simetrik tek aygıt ile H1 mekanında noktada dolaysız aydınlık düzeyleri.



Şekil 9.11 A2 tipi simetrik 9 aygıt ile H1 mekanında noktada dolaysız aydınlık düzeyleri.



Şekil 9.12 A2 tipi simetrik tek aygıt ile H1 mekanında noktada toplam aydınlık düzeyleri.

IESAP DIALUX RELUX LIGHTSCAPE											0,5
	626,4	704	786,5	806,8	775,8	806,8	786,5	704	626,4		0,5
	600	695	778	812	796	814	778	695	600		0,5
	570	654	747	775	758	775	747	654	570		0,5
IESAP DIALUX RELUX LIGHTSCAPE	683,3	751,4	843,2	866,5	836,1	849,2	812,1	696,3	584,9		0,5
	699,6	794	867	896,8	867	896,8	867	794	711,2		0,5
	677	785	855	900	891	900	856	785	677		0,5
	657	745	824	865	854	864	823	745	656		0,5
IESAP DIALUX RELUX LIGHTSCAPE	810,2	893,5	975,2	1010,7	994,4	990,2	938	829,4	693,9		0,5
	702,3	798,5	889,2	917	887	917	889,2	798,5	702,3		0,5
	694	802	885	926	916	925	883	801	694		0,5
	674	757	853	887	873	887	853	757	673		0,5
IESAP DIALUX RELUX LIGHTSCAPE	857	943,9	1039,7	1060,9	1043,4	1043,8	993,4	862,6	722,9		0,5
	699,6	791	867	894,5	886,4	894,5	867	791	699,6		0,5
	677	785	855	900	894	899	855	785	677		0,5
	657	746	824	864	851	864	823	745	657		0,5
IESAP DIALUX RELUX LIGHTSCAPE	846,7	939,2	1027,6	1060	1038,9	1033,3	978,5	861,7	717,4		0,5
	623,3	704	786,5	806,8	775,8	806,8	786,5	704	626,4		0,5
	604	695	778	811	795	811	777	695	600		0,5
	578	655	747	775	756	774	747	654	576		0,5
IESAP DIALUX RELUX LIGHTSCAPE	762,1	851,2	951,7	979,9	949,9	952,8	904,3	773,8	637		0,5
	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		0,5

Şekil 9.13 A2 tipi simetrik 9 aygıt ile H1 mekanında noktada toplam aydınlık düzeyleri.

Çizelge 9.2 H1 hacminde döşemedeki ortalama toplam ve dolaysız aydınlık düzeyleri, Eort ve Ed (lm/m²)

Programlar	Aygıt sayısı							
	1 aygıt				9 aygıt			
	Toplam aydınlık		Dolaysız aydınlık		Toplam aydınlık		Dolaysız aydınlık	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
Analitik hesaplama	98	134	76,3	106	683,1	790	475,4	552,4
DIALux	93	112	82	97	646	785	529	630
Relux	90	106	80	92	626	751	514	603
Lightscape	98,8	115	93,1	106,2	683,1	816,4	618,5	803

9.1.3 Yapay Aydınlık Düzeyi Testleri Analitik Hesaplama ve Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

H1 hacminde yapılan analitik hesaplamalar ve simülasyon sonuçlarına ilişkin olarak döşemede alınan, Şekil 9.6-9.13’de ve Çizelge 9.2’de verilen

- a) Noktada dolaysız aydınlık düzeyi
- b) Noktada toplam aydınlık düzeyi,
- c) Ortalama dolaysız aydınlık düzeyi,
- d) Ortalama toplam aydınlık düzeyi

sonuçlarının genel değerlendirilmesi Çizelge 9.3-9.6’daki gibi yapılabilir.

Çizelge 9.3 Noktada dolaysız yapay aydınlık düzeyi sonuçlarının değerlendirilmesi.

	Aygıt Sayısı	Aygıt Tipi	Değerlendirme
a) Döşemede Noktada Dolaysız Aydınlık Düzeyi	1	A1	Sonuçların yüksekten düşüğe doğru sıralaması Lightscape, DIALux, Relux ve analitik sonuçlar biçimindedir. En yüksek sonuçlar Lightscape programı ile alınmıştır. Analitik hesaplamalardan %30-%50 oranında fazladır. DIALux ve Relux programları genelde birbirleri ile uyumlu sonuçlar vermektedir. DIALux sonuçları analitik sonuçlardan %0,5 - %45 arası, Relux sonuçlarından ise %1,15 - %61 arası değişen değerlerde yüksektir.
		A2	Sonuçların yüksekten düşüğe doğru sıralaması Lightscape, DIALux, Relux ve analitik sonuçlar biçimindedir.
	9	A1	Sonuçların yüksekten düşüğe doğru sıralaması Lightscape, DIALux, Relux ve analitik sonuçlar biçimindedir. Lightscape programı, analitik sonuçlardan %30-%44, DIALux sonuçları %7 - %18, Relux sonuçları ise %4 - %12 oranında değişen değerlerde yüksektir.
		A2	Sonuçların yüksekten düşüğe doğru sıralaması Lightscape, DIALux, Relux ve analitik sonuçlar biçimindedir. Lightscape sonuçları analitik sonuçlardan, yaklaşık %50, DIALux sonuçları, %15, Relux ise %10 yüksektir.

Çizelge 9.4 Nuktada toplam yapay aydınlık düzeyi sonuçlarının değerlendirilmesi.

	Aygıt Sayısı	Aygıt Tipi	Değerlendirme
b) Döşemede Nuktada Toplam Aydınlık Düzeyi	1	A1	Lightscape 1, 9, 18, 28, 36, 37, 38, 44, 45 noktalarında analitik sonuçlardan %2 - %14 daha düşüktür ve sıralama analitik sonuçlar, Lightscape sonuçları, Relux, DIALux sonuçları biçimindedir. Relux ve DIALux ise 3, 4, 5, 6, 7, 13, 14, 15, 31, 32, 33, 39, 40, 41, 42, 43 noktalarında analitik sonuçlardan %15 - %60 oranında yüksektir. Sıralama Lightscape, DIALux, Relux sonuçları biçimindedir. Nokta 23’de ise DIALux analitik sonuçlardan yüksek, Relux ise daha düşük sonuç vermiştir.
		A2	Lightscape 1, 9, 18, 27, 36, 37, 44, 45 noktalarında analitik sonuçlardan %1 - %10 daha düşüktür ve sıralama analitik sonuçlar, Lightscape sonuçları, Relux, DIALux sonuçları biçimindedir. 9, 18, 27 noktalarında Relux ve DIALux eşit sonuçlar vermiş, 44. nuktada DIALux, Relux sonuçlarından yüksek çıkmıştır. Diğer noktalarda, genelde sıralama Lightscape, DIALux, Relux sonuçları ve analitik sonuçlar biçimindedir.
	9	A1	Sonuçlar yüksekten, düşüğe doğru sırasıyla, Lightscape, analitik sonuçlar, DIALux, Relux sonuçları biçimindedir. Lightscape sonuçları, analitik sonuçlardan %7 - %19 daha yüksek, analitik sonuçlar ise DIALux sonuçlarından %3 - %10, Relux sonuçlarından ise %3 - %12 daha yüksektir.
		A2	Nuktada toplam aydınlık testinde tüm noktalarda en yüksek değerleri Lightscape programı vermiştir. 4, 5, 6, 13, 14, 15, 20, 22, 23, 24, 26, 31, 32, 33, 40, 41, 42 noktalarında sıralama Lightscape, DIALux, analitik sonuçlar ve Relux sonuçları biçimindedir. Diğer noktalarda ise, sıralama Lightscape, analitik sonuçlar, DIALux, Relux sonuçları biçimindedir.

Çizelge 9.5 Ortalama dolaysız yapay aydınlık düzeyi sonuçlarının değerlendirilmesi.

	Aygıt Sayısı	Aygıt Tipi	Değerlendirme
c) Döşemede Ortalama Dolaysız Aydınlık	1	A1	Döşemedeki ortalama dolaysız aydınlık düzeyi testleri sonucunda sırasıyla en yüksek sonuçlar, Lightscape, DIALux, Relux ve analitik sonuçlar biçimindedir.
		A2	Testler sonucunda döşemedeki en yüksek ortalama aydınlık düzeyi, Lightscape programından, analitik hesaplardan, DIALux ve Relux'den elde edilmiştir. Analitik sonuçlar DIALux sonuçlarından %8, Relux sonuçlarından %15 fazladır.
	9	A1	Sonuçlar yüksekten düşüğe doğru sırasıyla, Lightscape, DIALux, Relux ve analitik sonuçlar biçimindedir. Lightscape programı analitik sonuçlara göre %30, DIALux %11, Relux sonuçları ise %8 fazladır.
		A2	Sonuçlar yüksekten düşüğe doğru sırasıyla, Lightscape, DIALux, Relux ve analitik sonuçlar biçimindedir. Lightscape programı analitik sonuçlara göre %45, DIALux %14, Relux sonuçları ise %9 fazladır.

Çizelge 9.6 Ortalama toplam yapay aydınlık düzeyi sonuçlarının değerlendirilmesi.

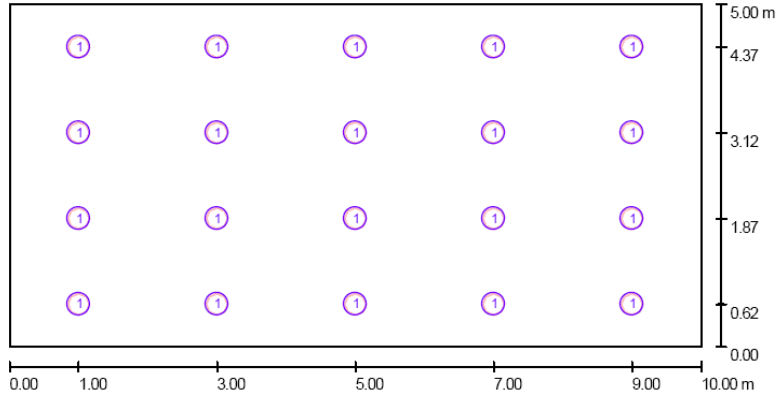
d) Ortalama Toplam Aydınlık	1	A1	Testler sonucunda en yüksek Eort Lightscape programından, daha sonra analitik hesaplardan, DIALux ve Relux'den elde edilmiştir. Sonuçlar arasında çok büyük farklar yoktur. Analitik sonuçlar DIALux sonuçlarından %5, Relux sonuçlarından %8 fazladır.
		A2	Testler sonucunda en yüksek Eort Lightscape programından, daha sonra analitik hesaplardan, DIALux ve Relux'den elde edilmiştir.
	9	A1	Testler sonucunda en yüksek ve aynı aydınlık düzeyi Lightscape programından ve analitik hesaplardan, daha sonra DIALux ve Relux'den elde edilmiştir. Analitik sonuçlar ve lightscape sonuçları DIALux sonuçlarından %5, Relux sonuçlarından %9 daha yüksektir.
		A2	Sonuçlar yüksekten düşüğe doğru sırasıyla, Lightscape, analitik sonuçlar, DIALux ve Relux biçimindedir.

9.1.4 Yapay Aydınlık Düzeyi Testleri için Programların Ortalama Aydınlık Düzeyi Test Koşulları, Sonuçları ve Sonuçların Değerlendirilmesi

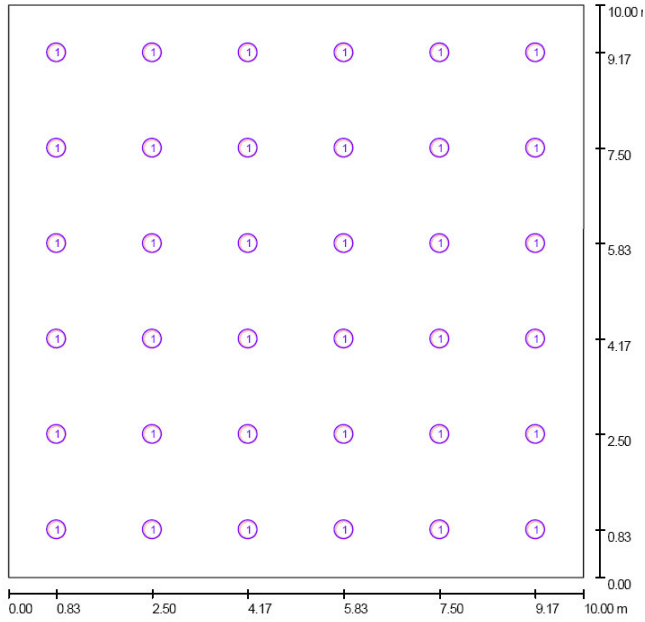
DIALux 4.3, Relux 2007 ve Lightscape 3.2 programları ile yapay ışığın döşeme üzerinde oluşturduğu ortalama aydınlık düzeyi hesaplamaları için, 5 dikdörtgen ve bir L biçiminde oda kullanılmıştır. Programlar ile yapılan test koşulları Çizelge 9.7’de verilmiştir.

Çizelge 9.7 Programlar ile yapılan ortalama aydınlık düzeyi test koşulları.

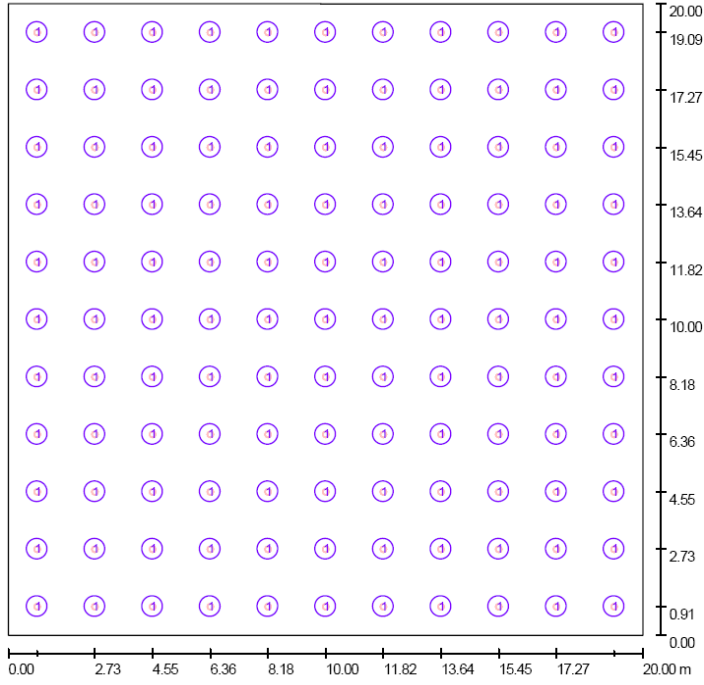
Boyut	Hacim tipleri	H1	H2	H3	H4	H5	H6-L tipi
	En	3m	5m	10m	20m	40m	10m
	Boy	5m	10m	10m	20m	40m	7x3m
	Yükseklik	2,6m	2,6m	2,6m	2,6m	2,6m	2,6m
Aygıt	Aygıt sayısı	9	20	36	121	242	19
	Aygıt ışık yeğinlik diyagramı	Asimetrik A1 ve Simetrik A2					
	Lamba sayısı ve özellikleri	2 adet 26 W kompakt flüoresan lamba, $\Phi=1800\text{lm}$, $\Phi_{\text{top}}=3600\text{lm}$, 3000 K					
	Yerleşim	Aygıtlar, düzgün yayılmış aydınlık oluşturacak biçimde yerleştirilmiştir. Yerleşim düzenleri Şekil 9.14-9.18’de verilmiştir.					
İç yüzey özellikleri	İç yüzey yansıtma çarpanları	$r_{\text{tavan}} \%70$, $r_{\text{duvar}} \%50$, $r_{\text{zemin}} \%20$					
	İç yüzey yansıtma biçimi	Mat					
	İç yüzey rengi	Türsüz					
Hesaplama	Aydınlık düzeyi türü	Ortalama aydınlık düzeyi hesabı					
	Hesap düzlemi	Döşeme					



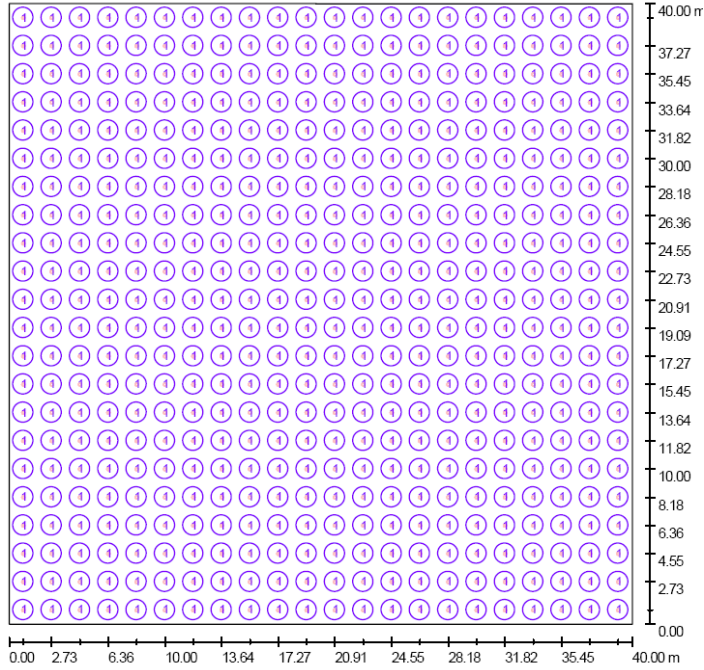
Şekil 9.14 H2 mekanında 20 aygıt bulunması durumu için aydınlatma düzeni.



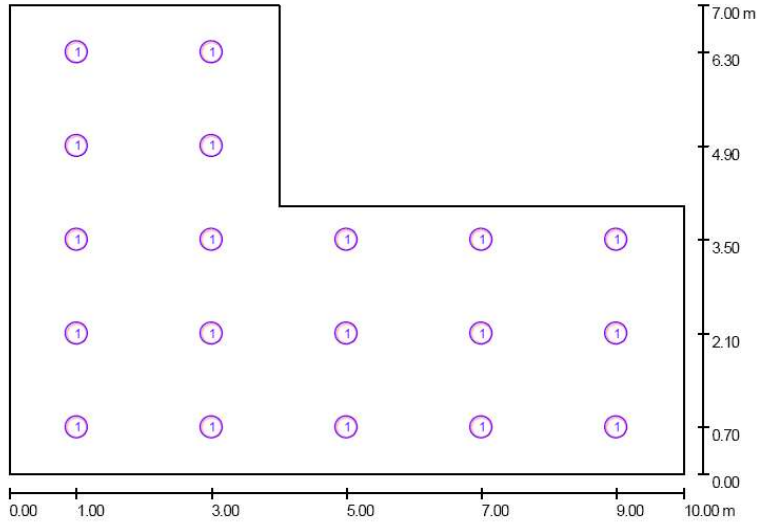
Şekil 9.15 H3 mekanında 36 aygıt bulunması durumu için aydınlatma düzeni.



Şekil 9.16 H4 mekanında 121 aygıt bulunması durumu için aydınlatma düzeni.



Şekil 9.17 H5 mekanında 242 aygıt bulunması durumu için aydınlatma düzeni.



Şekil 9.18 H6 mekanında 19 aygıt bulunması durumu için aydınlatma düzeni.

Çizelge 9.8 Belli mekan boyutlarında asimetrik ve simetrik aygıtlar ile döşemedeki ortalama aydınlık düzeyleri, Eort (lm/m^2)

Programlar	H2, 5 x 10		H3, 10 x 10		H4, 20 x 20		H5, 40 x 40		H6, L tipi	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
DIALux	511	637	507	635	285	586	294	615	456	565
Relux	490	615	501	626	467	589	483	613	443	547
Lightscape	770	748,8	612	767,7	544,4	687,9	580	688,5	518,7	639,1

Çizelge 9.8’de programlardan döşeme üzerinde elde edilen ortalama aydınlık düzeyleri verilmiştir. Genelde, A1 ya da A2 aygıtı kullanılması durumlarında, en düşük sonuçlar Relux programında, en yüksek sonuçlar ise Lightscape programında hesaplanmıştır. Ancak 20mx20m ve 40mx40m testlerinde DIALux programı aydınlık düzeyi sonuçları en düşük değerdedir. Bu nedenle sonuçlarda tutarlılık gözlemlenmemektedir.

9.2 Doğal Aydınlık Düzeyi Testleri

Doğal Aydınlık Düzeyi testleri, değişik hacim ve gök koşulları, farklı saat, gün ve yönler için,

- Analitik hesaplamalar,
- Programların kullanımı

gibi iki ayrı bölümde gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Döşeme ve çalışma düzlemi üzerindeki doğal aydınlık düzeyi testleri için DIALux 4.3, Relux 2007, Lightscape R3.2 programları yanı sıra, Desktop Radiance Beta 2.0 programı da kullanılmıştır.

9.2.1 Doğal Aydınlık Düzeyi Testleri Analitik Hesap Yöntemi ve Test Koşulları

Kapalı bir hacimde, engelsiz durumda, doğal ışığın döşemeden 85 cm yükseklikteki çalışma düzlemi üzerinde oluşturduğu noktada aydınlık düzeyinin, CIE Kapalı gök koşulu dikkate alınarak hesaplanması için Güneşli Çarpanından yararlanılmıştır. Güneşli Çarpanı,

- gökten dolaysız olarak, pencereyi geçtikten sonra, gözleme noktasına gelen güneşli; yani, gök bileşeni (GB; sky component; D_s),
- dış yüzeyler ve engellerden yansıdıktan sonra, pencereyi geçerek gözleme noktasına dolaylı olarak gelen güneşli; yani, dış yansımış bileşen (DYB; externally reflected component; D_e),
- pencereyi geçtikten sonra iç yüzeylerden yansıyarak, gözleme noktasına gelen güneşli; yani iç yansımış bileşen (İYB; internally reflected component; D_i)

olmak üzere üç bileşenin toplamından oluşur ve hesaplanmasında 9.7-9.10 numaralı eşitlikler kullanılır.

$$G\check{C}_{gd} = E_i / E_d \quad (9.7)$$

$$E_i = E_d \times G\check{C}_{gd} \quad (9.8)$$

$$G\check{C}_{gd} = G\check{C}_{td} \times DK\check{C} \times IG\check{C} \times CK\check{C} \quad (9.9)$$

$$G\check{C}_{td} = GB + DYB + İYB \quad (9.10)$$

Burada;

$G\check{C}_{gd}$: Güneşli çarpanı gerçek değeri,

E_i : İç aydınlık düzeyi (gözleme noktasında – lm/m^2),

E_d : Gögün yeryüzünde yatay düzlemde oluşturduğu (dış yatay) aydınlık düzeyi (lm/m^2),

$G\check{C}_{td}$: Güneşli çarpanı tasar değeri,

DKÇ : Pencere doğraması çarpanı,

IGÇ : Pencere camı ışık geçirme çarpanı,

CKÇ : Pencere camı kirlilik çarpanı,

GB : Güneş ışığı çarpanının gök bileşeni,

DYB : Güneş ışığı çarpanının dış yansımış bileşeni,

İYB : Güneş ışığı çarpanının iç yansımış bileşeni,

olarak gösterilmiştir.

Çalışmada,

Kapalı gök güneş ışığı çarpanının gök bileşeni değeri, Seshadri tarafından geliştirilen ve aşağıda verilen 9.11-9.12 numaralı eşitlikler kullanılarak belirlenmiştir.

$$GB_k = \frac{3}{14\pi} (\emptyset - \emptyset_1 \cos \theta) + \frac{2}{7\pi} \sin^{-1} (\sin \emptyset \sin \theta) - \frac{1}{7\pi} (\sin 2\theta \sin \emptyset_1) 100\% \quad (9.11)$$

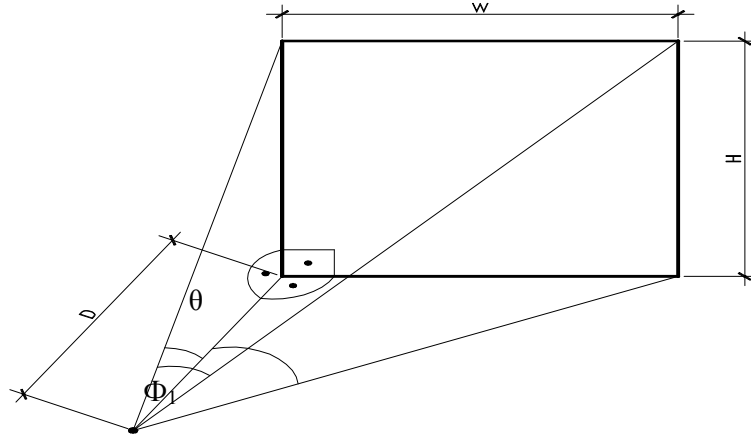
$$GB_k = \frac{3}{14\pi} \operatorname{atg} \frac{W}{D} - \operatorname{atg} \left(\frac{W}{\sqrt{D^2 + H^2}} \right) \frac{D}{D^2 + H^2} r + \frac{2}{7\pi} \operatorname{atg} \frac{H \times W}{D \sqrt{W^2 + D^2 + H^2}} r - \frac{2}{7\pi} \operatorname{atg} \frac{D \times H \times W}{(D^2 + H^2) \sqrt{W^2 + D^2 + H^2}} r 100\% \quad (9.12)$$

Burada; π

$\emptyset$: Gözleme noktasından görülen gök parçasının genişlik açısı (alt sınırı pencerenin alt kenarının başlangıcı; üst sınırı pencerenin alt kenarının sonu),

$\emptyset_1$: Gözleme noktasından görülen gök parçasının genişlik açısı (alt sınırı pencerenin üst kenarının başlangıcı; üst sınırı pencerenin üst kenarının sonu),

θ : Gözleme noktasından görülen gök parçasının yükseklik açısı (alt sınırı pencere alt kenarı; üst sınırı pencere üst kenarı) olarak gösterilmiştir (Şekil 9.19).



Şekil 9.19 Gözleme noktasından görülen gök parçasının tanımlayan açılar.

Güneş ışığı çarpanı kapalı gök iç yansımış bileşenin hesaplanmasında, 9.13 numaralı **“BRS İç Yansımaya Eşitliği”** kullanılmıştır.

$$\text{İYB} = \frac{PA}{A(1-R)} (C1.R_{fw} + C2.R_{cw}) \times \text{BKK} \quad 100\% \quad (9.13)$$

Burada;

PA : Pencere alanı (m^2),

R : İç yüzeylerin ortalama yansıtma çarpanı,

C1 : Pencere yüksekliğinin yarısından geçen yatay düzlemin üst bölümünden hacme giren ışık akısına bağlı bir çarpan,

C2 : Pencere yüksekliğinin yarısından geçen yatay düzlemin alt bölümünden hacme giren ışık akısına bağlı bir çarpan,

R_{fw} : Pencere yüksekliğinin yarısından geçen yatay düzlemin alt bölümünde kalan iç yüzeylerin ortalama yansıtma çarpanı (pencere duvarı dışındaki iç yüzeyler),

R_{cw} : Pencere yüksekliğinin yarısından geçen yatay düzlemin üst bölümünde kalan iç yüzeylerin ortalama yansıtma çarpanı (pencere duvarı dışındaki iç yüzeyler),

BKK : İç yüzeylerin kirlenmesine ilişkin düzeltme çarpanı

olarak gösterilmiştir.

İç yansımış bileşen eşitliğinde yer alan C1 ve C2 değişkenlerinin hesaplanmasında aşağıdaki 9.14-9.16 numaralı eşitliklerden yararlanılmıştır.

$$C1 = 0.3188 - 0.1822 \sin \alpha + 0.0773 \cos 2\alpha \quad (9.14)$$

$$C2 = 0.03286 \cos \alpha' - 0.03638 \alpha'/\text{rad} + 0.01819 \sin (2 \alpha') + 0.06714 \quad (9.15)$$

Burada;

α : pencere yüksekliğinin yarısından geçen yatay düzlemin üstünde kalan engel yüksekliğine ilişkin engel açısı,

$$\alpha' = \arctan (2 \tan \alpha) \quad (9.16)$$

olarak hesaplara katılmıştır.

CIE Standart Kapalı Göğü'nün oluşturduğu dış yatay aydınlığın belirlenmesinde önce Kittler'in geliştirdiği 9.17 Numaralı eşitlikten yararlanılmış, bu göğün başucu (zenit) mutlak ışıklılık değeri yine Kittler'in geliştirdiği 9.18 Numaralı eşitlik ile hesaplanmıştır. Ardından Krochmann'ın başucu ışıklılığı ve yatay düzlemde oluşan aydınlığın hesabı için geliştirdiği 9.19-9.20 numaralı eşitlikler ile hesaplama yapılmıştır.

$$E_{dk} = (7 / 9) \pi L_{zoc} (\gamma_s) \quad (9.17)$$

$$L_{zk} = 3990 [1 + (3/2) \sin \gamma_s] \sin \gamma_s \quad (9.18)$$

$$E_{dk} = (300 + 21000 \sin \gamma_s) \quad (9.19)$$

$$L_{zk} = 0,123 + 8,6 \sin (\gamma_s) \quad (9.20)$$

Burada;

E_{dk} : Kapalı göğün oluşturduğu dış yatay aydınlık düzeyi (lm/m^2),

L_{zk} : Kapalı göğün başucu (zenith) ışıklılığı (cd/m^2).

γ_s : güneşin yükseklik açısı

olarak gösterilmiştir.

Eni 3m, boyu 5m, yüksekliği 2,6m olan H1 hacminde, yerden 85 cm yükseklikteki çalışma düzlemi üzerinde, CIE Kapalı Gök koşulunda oluşan, noktada doğal aydınlık düzeyi analitik hesaplamalarına ilişkin koşullar Çizelge 9.9’da verilmiştir.

Çizelge 9.9 Doğal aydınlık düzeyi testleri analitik hesaplamalar için test koşulları.

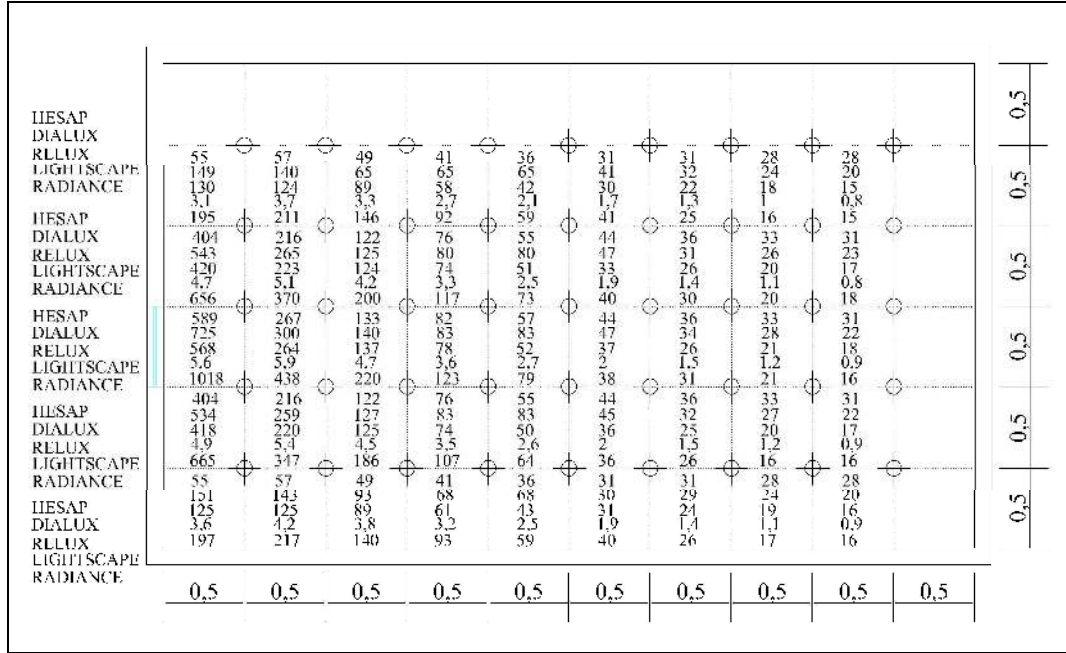
Boyut	Hacim boyutları, H1		En : 3m	Boy: 5m	Yükseklik: 2.6m
İç yüzey özellikleri	İç yüzey yansıtma çarpanı	Toplam aydınlık	$r_{\text{tavan}} \%70, r_{\text{duvar}} \%50, r_{\text{zemin}} \%20$		
	İç yüzey ışık yansıtma biçimi		Mat		
	İç yüzey renksel özellikler		Türsüz		
Pencere özellikleri	Pencere boyutu		genişlik: 1,00m, yükseklik 1,5m		
	Pencere konumu		4 numaralı duvarda, simetrik yerleştirilmiş, parapet yüksekliği 0,85m.		
	Cam ışık geçirme çarpanı		%90		
	Camın kirlilik çarpanı		1		
	Doğrama kalınlık çarpanı		1		
	Pencere yönü		Güney		
Coğrafi Konum	Enlem		41°		
	Boylam		29°		
	Şehir		İstanbul		
Zaman Koşulları	Saat		09:00, 12:00, 16:00		
	Gün		21 Haziran 21 Aralık		
Gök Koşulları	Gök tipi		CIE Kapalı Gök		
Hesaplama	Aydınlık düzeyi türü		Noktada aydınlık düzeyi hesabı		
	Hesap düzlemi		Çalışma düzlemi 85 cm		
	Grid aralığı		50x50 cm		
	Dış yatay aydınlık hesabı (analitik hesaplar için).		Kittler formülü Krochmann formülü		

9.2.2 Doğal Aydınlik Düzeyi Testleri Analitik Hesap ve Simülasyon Sonuçları

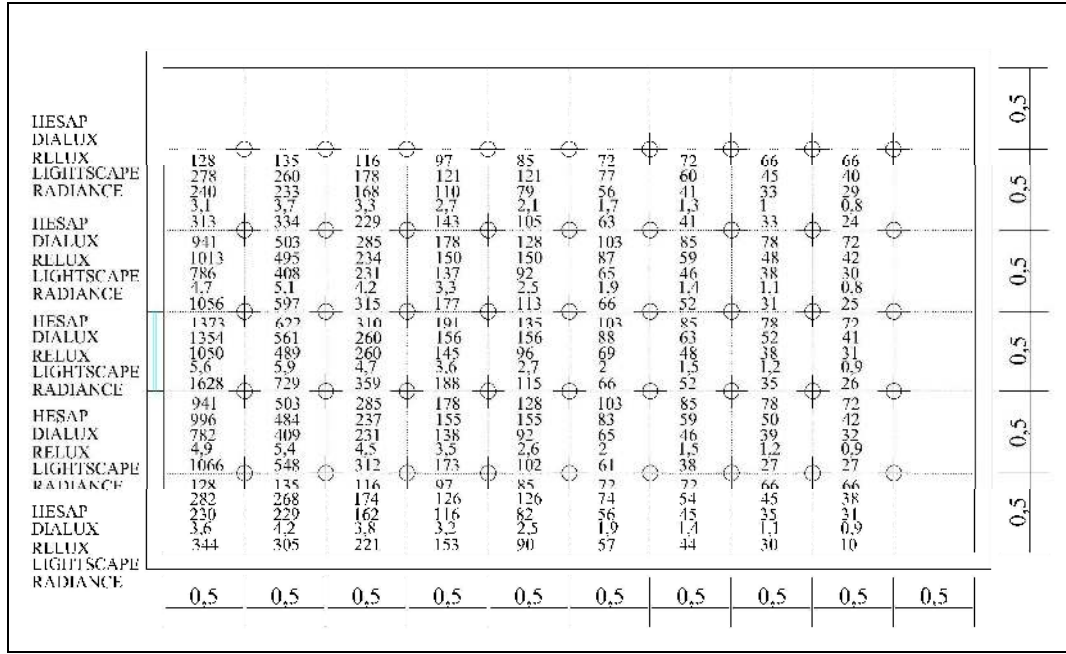
H1 hacminde Bölüm 9.2.1’de verilen test koşulları dikkate alınarak, 21 Aralık ve 21 Haziran tarihlerinde ve 09:00, 12:00, 16:00 saatlerinde,

- Bölüm 3, 4, 5, 6’da verilen DIALux 4.3, Relux 2007, Lightscape R3.2, Desktop Radiance Beta 2.0 programları ve
- Bölüm 9.2.1’de belirtilen analitik eşitliklerle,

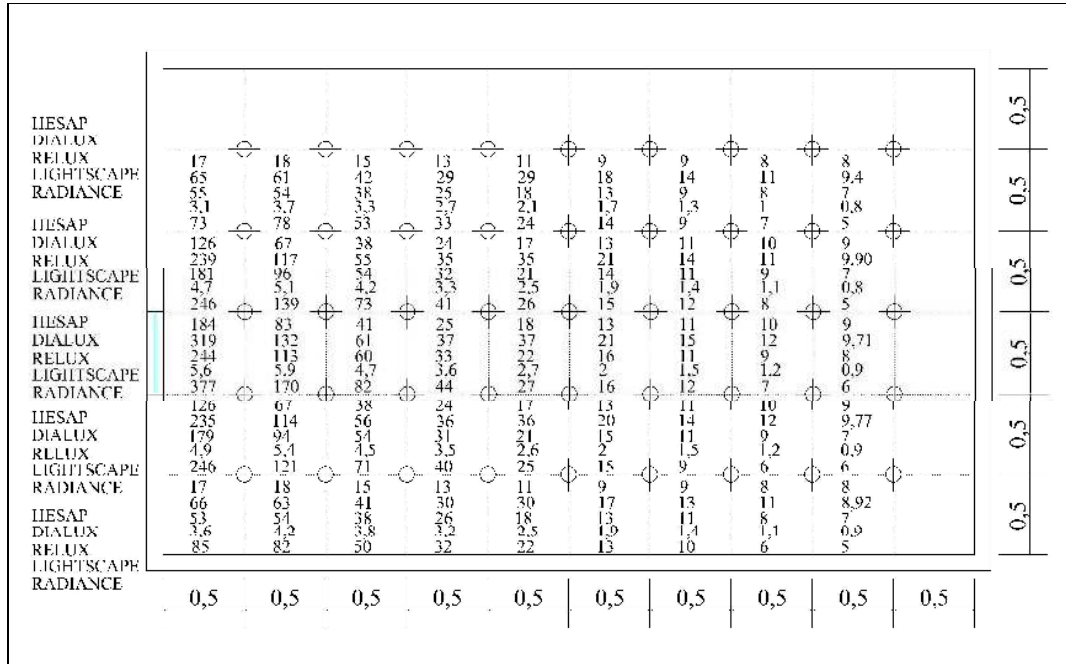
döşemeden 85 cm yükseklikteki çalışma düzlemi üzerinde 50x50 cm gridde 45 noktadaki toplam aydınlık düzeyi sonuçları hesaplanmış ve dış yatay aydınlık düzeyi hesabı Kittler eşitliklerine göre elde edilen sonuçlar Şekil 9.20 – 9.25’de, Krochmann eşitliklerine göre elde edilen sonuçlar Şekil 9.26-9.31’de verilmiştir.



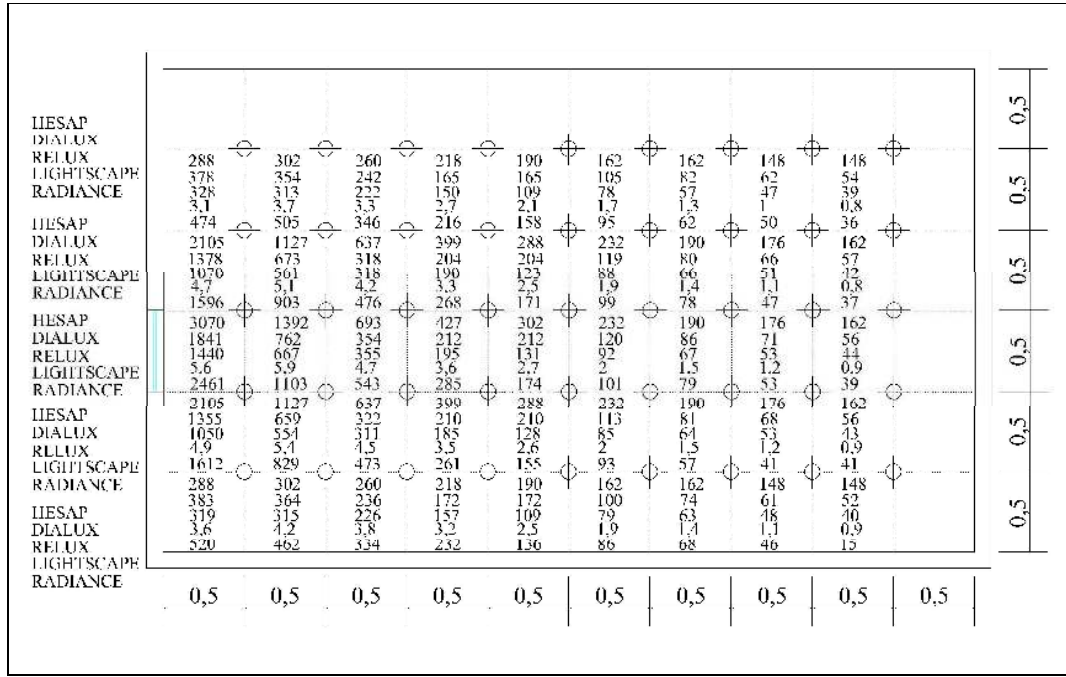
Şekil 9.20 H1 mekanında 21 Aralık 09:00’da noktada toplam aydınlık düzeyleri (Ediş, Kittler formülü).



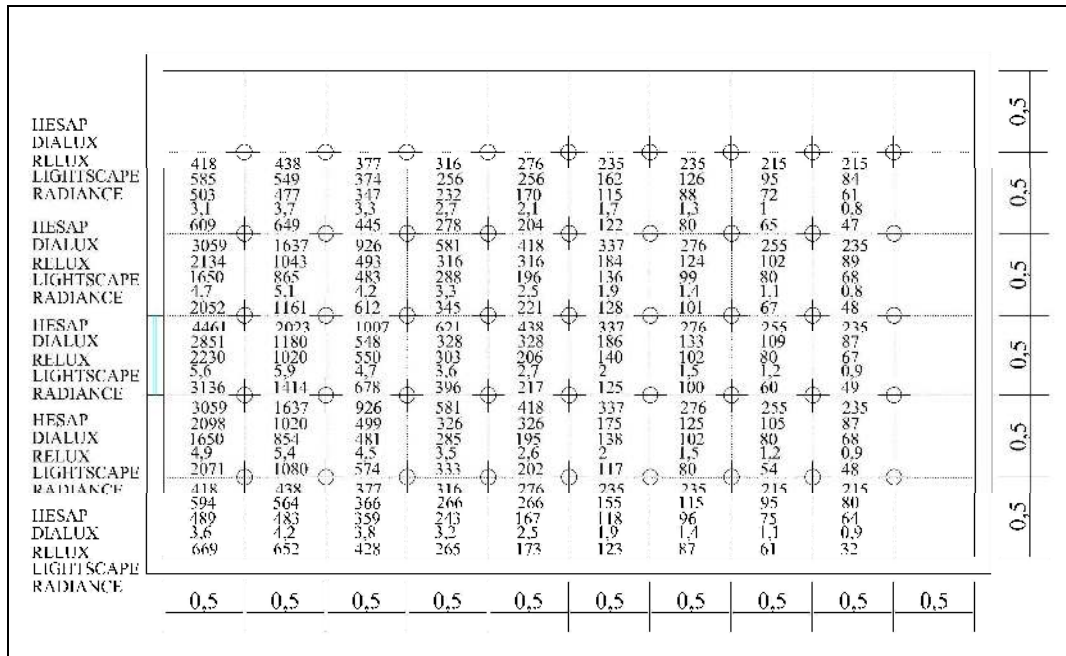
Şekil 9.21 H1 mekanında 21 Aralık 12:00’de noktada toplam aydınlık düzeyleri (Ediş, Kittler formülü).



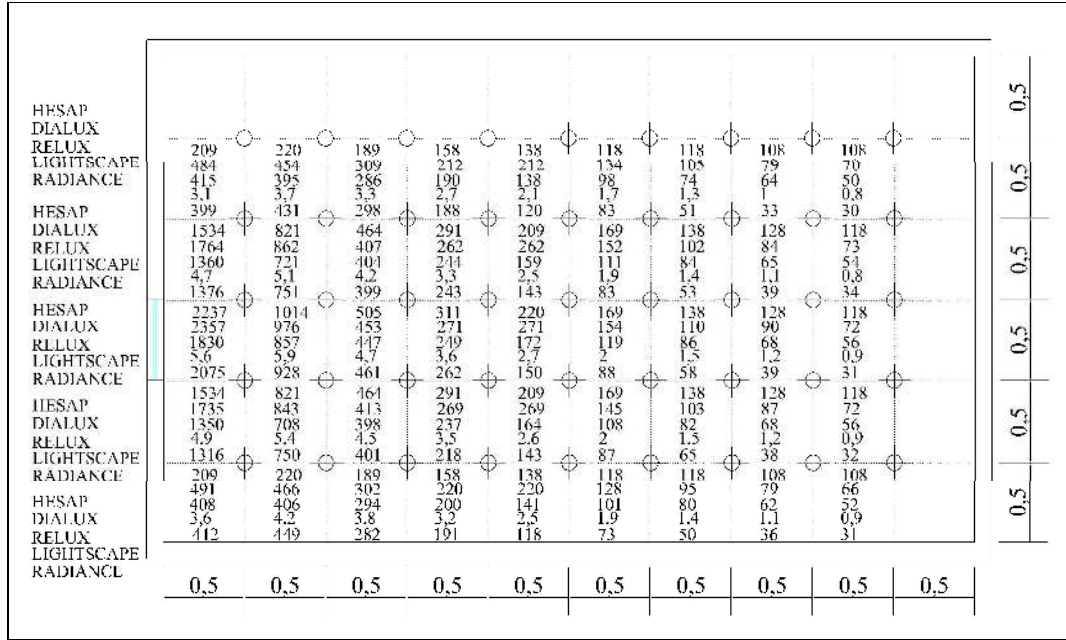
Şekil 9.22 H1 mekanında 21 Aralık 16:00’da noktada toplam aydınlık düzeyleri (Ediş, Kittler formülü).



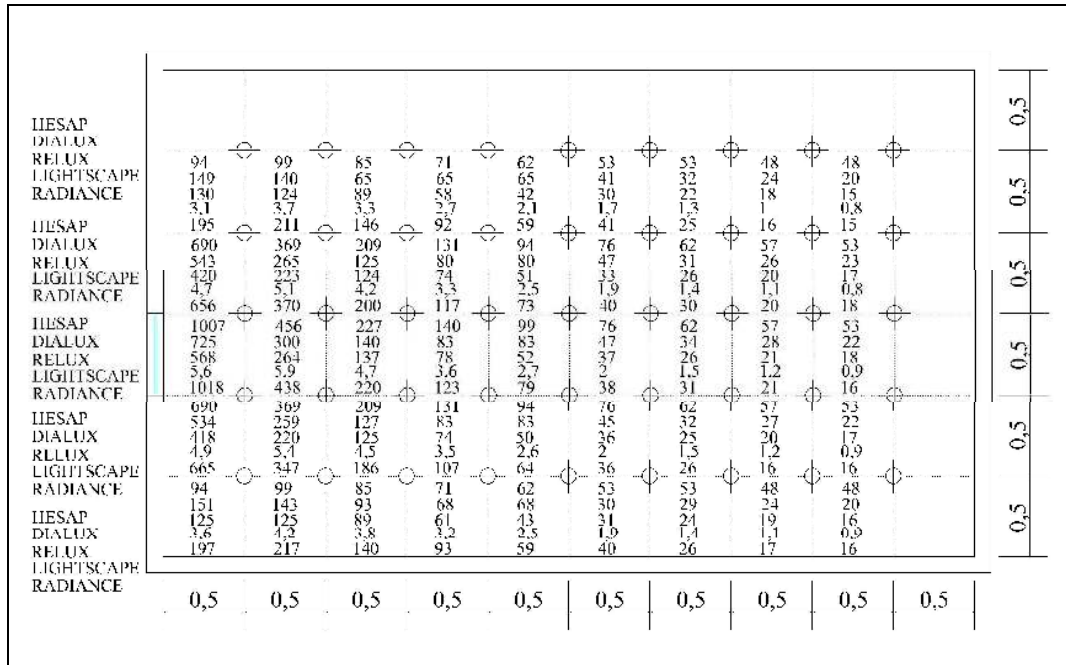
Şekil 9.23 H1 mekanında 21 Haziran 09:00'da noktada toplam aydınlık düzeyleri (Ediş, Kittler formülü).



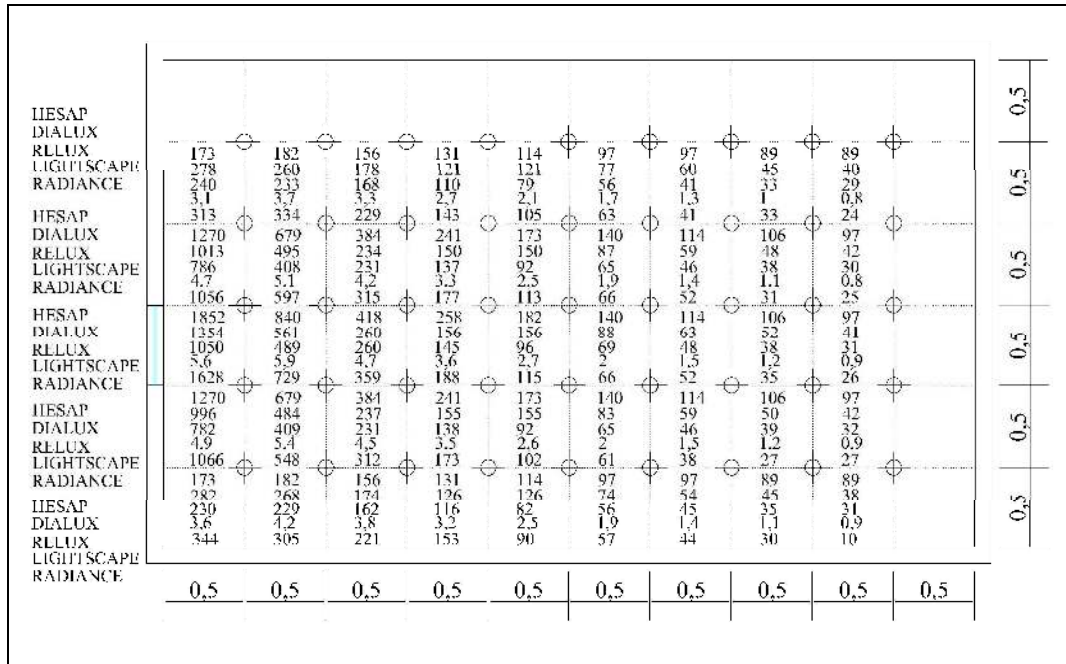
Şekil 9.24 H1 mekanında 21 Haziran 12:00'de noktada toplam aydınlık düzeyleri (Ediş, Kittler formülü).



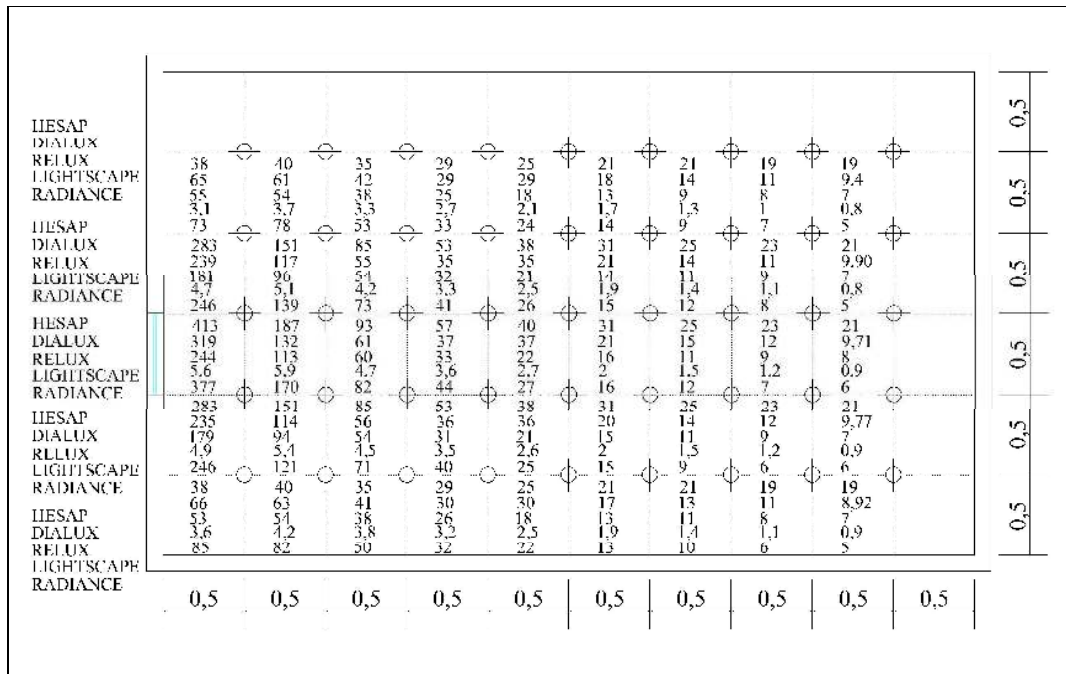
Şekil 9.25 H1 mekanında 21 Haziran 16:00'da noktada toplam aydınlık düzeyleri (Edış, Kittler formülü).



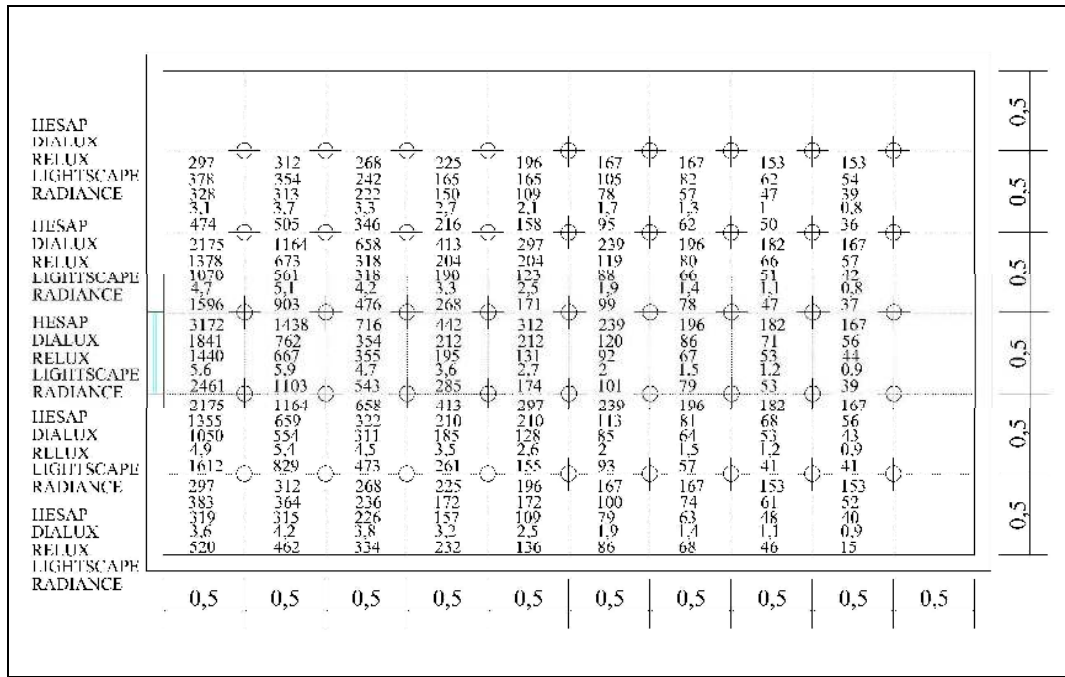
Şekil 9.26 H1 mekanında 21 Aralık 09:00'da noktada toplam aydınlık düzeyleri (Edış, Krochmann formülü).



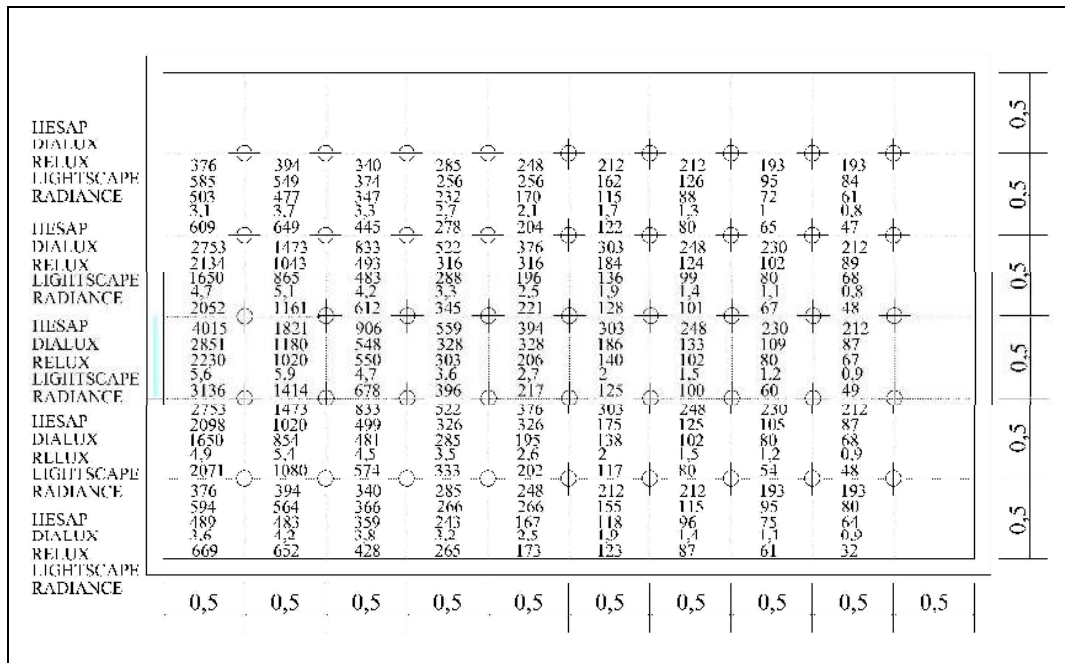
Şekil 9.27 H1 mekanında 21 Aralık 12:00'de noktada toplam aydınlık düzeyleri (Edış, Krochmann formülü).



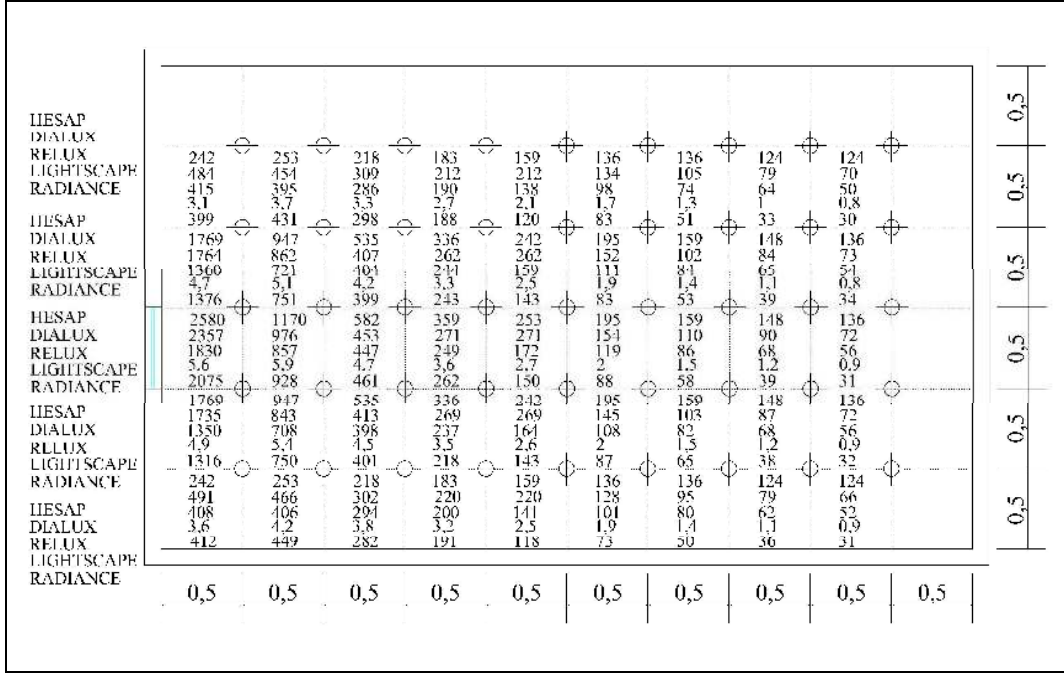
Şekil 9.28 H1 mekanında 21 Aralık 16:00'da noktada toplam aydınlık düzeyleri (Edış, Krochmann formülü).



Şekil 9.29 H1 mekanında 21 Haziran 09:00’da noktada toplam aydınlık düzeyleri (Ediş, Krochmann formülü).



Şekil 9.30 H1 mekanında 21 Haziran 12:00'de noktada toplam aydınlık düzeyleri (Ediş, Krochmann formülü).



Şekil 9.31 H1 mekanında 21 Haziran 16:00'da noktada toplam aydınlık düzeyleri (Edış, Krochmann formülü).

9.2.3 Doğal Aydınlık Düzeyi Testleri Analitik Hesap ve Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

H1 hacminde yapılan analitik hesaplamalar ve simülasyon sonuçlarına ilişkin olarak döşemede alınan, Şekil 9.20-9.31'de verilen, Kittler ve Krochmann formüllerine göre değişen

- 21 Aralık 09:00'da noktada toplam aydınlık düzeyleri,
- 21 Aralık 12:00'de noktada toplam aydınlık düzeyleri,
- 21 Aralık 16:00'da noktada toplam aydınlık düzeyleri,
- 21 Haziran 09:00'da noktada toplam aydınlık düzeyleri,
- 21 Haziran 12:00'de noktada toplam aydınlık düzeyleri,
- 21 Haziran 16:00'da noktada toplam aydınlık düzeyleri

sonuçlarının genel değerlendirilmesi Çizelge 9.10'daki gibi yapılabilir.

Çizelge 9.10 Nuktada toplam doğal aydınlık düzeyi sonuçlarının değerlendirilmesi.

Tarih	Saat	Ed formülü	Değerlendirme
21 Aralık	09:00	Kittler	Çalışma düzlemi üzerinde belli noktalarda alınan aydınlık düzeyi sonuçları yüksekten düşüğe doğru sıralandığında, 5-9, 14-18, 24-27, 32- 36-45 noktalarında DIALux, Radiance, analitik hesap, Relux ve Lightscape biçimindedir. Diğer noktalarda Radiance programı en yüksek değerleri almaktadır. Radiance programının en yüksek olduğu durumda sonuçlar analitik sonuçlardan %32 ile %72 arasında değişen değerlerde yüksektir.
		Krochmann	11-17, 20-26, 29-35 noktalarında sıralama analitik sonuçlar, Radiance, DIALux, Relux , Lightscape biçimindeyken, diğer noktalarda değişim göstermektedir. Örneğin 19. noktada Radiance sonuçları, analitik sonuçlardan %1 yüksektir, analitik sonuçlar ise, DIALux sonuçlarından %38, Relux sonuçlarından, %77, Lightscape’den %178 daha yüksektir. Ancak bu sıralama 10. noktada analitik sonuçlar, Radiance, DIALux, Relux ve Lightscape biçimindedir.
	12:00	Kittler	Sıralamalar noktalara göre değişim göstermektedir. Örneğin 10. noktada Radiance, Relux, DIALux, analitik sonuçlar biçiminde bir sıralama varken, 19. noktada Radiance, analitik sonuçlar, DIALux, Relux sıralaması, 28. noktada Radiance, DIALux, analitik hesap sonuçları, Relux biçimindedir.
		Krochmann	10, 19, 28. noktalarda sıralama analitik sonuçlar, Radiance, DIALux, Relux, Lightscape biçimindedir. Aynı sıralama 11-36 noktalarında da geçerlidir. Diğer noktalarda ise kimi durumlarda Radiance birinci sıradadır.
	16:00	Kittler	Aydınlık düzeyleri yüksekten düşüğe 1-4, 10-13, 19-22, 28-31, 37-40 noktalarında Radiance, DIALux, Relux, analitik sonuçlar biçimindedir. Diğer noktalarda genelde DIALux sonuçları en yüksek değeri alırken diğer sıralamalar değişim göstermektedir.
		Krochmann	En yüksek değerler Radiance, DIALux ve analitik sonuçlar arasında değişmektedir.

Çizelge 9.10 Noktada toplam doğal aydınlık düzeyi sonuçlarının değerlendirilmesi (Devam).

21 Haziran	09:00	Kittler	10-13, 19-22, 28-31 noktalarında sıralama analitik sonuçlar, Radiance, DIALux, Relux biçimindedir. Diğer noktalarda ise Radiance değerleri düşmekte ve DIALux değerleri yükselmektedir.
		Krochmann	1-9, 38-45 noktalarında Radiance, DIALux, analitik sonuçlar, Relux ve Lightscape biçiminde bir sıralama söz konusudur. 10-18, 19-27, 28-36 noktalarında ise en yüksek değerleri analitik sonuçlar almaktadır.
	12:00	Kittler	Genelde en yüksek değerler analitik sonuçlarda alınmıştır. 27-30 noktalarında analitik sonuçlardan sonra sıralama, Radiance, DIALux, Relux, Lightscape biçimindedir. 1-3, 28-30 noktalarında ise en yüksek değer Radiance programında alınmaktadır.
		Krochmann	27-30 noktalarında sıralama analitik sonuçlar, Radiance, DIALux, Relux ve Lightscape biçimindedir. 1-3, 28-30 noktalarında ise en yüksek değer Radiance programında alınmaktadır.
	16:00	Kittler	10, 19, 28 noktalarında aydınlık düzeylerinin yüksekken düşük değerlere sıralaması DIALux, analitik sonuçlar, Radiance, Relux ve Lightscape biçimindedir. Genelde DIALux programı en yüksek değerleri alırken, kimi noktalarda analitik sonuçlar en yüksek değeri almaktadır.
		Krochmann	10, 19, 28 noktalarında aydınlık düzeylerinin yüksekken düşük değerlere sıralaması analitik sonuçlar, DIALux, Radiance, Relux ve Lightscape biçimindedir. Genelde analitik sonuçlar en yüksek değerleri alırken, kimi noktalarda DIALux programı en yüksek değeri almaktadır.

9.2.4 Doğal Aydınlik Düzeyi Testleri için Programların Test Koşulları, Sonuçları ve Değerlendirilmesi

DIALux 4.3, Relux 2007, Lightscape 3.2, Desktop Radiance Beta 2.0 programları ile doğal ışığın CIE Açık Gök koşulunda, döşeme üzerinde oluşturduğu ortalama aydınlık düzeyi hesaplamaları için, 5 dikdörtgen ve bir L biçiminde oda kullanılmıştır. Programlar ile yapılan test koşulları Çizelge 9.11’de verilmiştir.

Çizelge 9.11 Doğal Aydınlik Düzeyi Testleri için programlar ile yapılan ortalama aydınlık düzeyi test koşulları.

Boyut	Hacim tipleri		H1	H2	H3	H4	H5	H6-L
	En		3m	5m	10m	20m	40m	10m
	Boy		5m	10m	10m	20m	40m	7x3m
	Yükseklik		2,6m	2,6m	2,6m	2,6m	2,6m	2,6m
Pencere Özellikleri	Pencere boyutu	Genişlik (m)	1	1,73	3,46	6,93	13,86	13,86
		Yükseklik (m)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Pencere konumu		4 numaralı duvarda, simetrik yerleştirilmiş, parapet yüksekliği 0,85m.					
	Cam ışık geçirme çarpanı		%90					
	Camın kirlilik çarpanı		1					
	Doğrama kalınlık çarpanı		1					
	Pencere yönü		Güney , Kuzey, Doğu, Batı					
İç yüzey özellikleri	İç yüzey yansıtma çarpanları		r _{tavan} %70, r _{duvar} %50, r _{zemin} %20					
	İç yüzey yansıtma biçimi		Mat					
	İç yüzey rengi		Türsüz					
Coğrafi Konum	Enlem		41°					
	Boylam		29°					
	Şehir		İstanbul					
Zaman Koşulları	Saat		09:00, 12:00, 16:00					
	Gün		21 Haziran, 21 Aralık					
Gök Koşulları	Gök tipi		CIE Açık Gök					
Hesaplama	Aydınlık düzeyi türü		Ortalama aydınlık düzeyi hesabı					
	Hesap düzlemi		Döşeme					

Çizelge 9.12 H1 mekanında, Açık Gök koşulunda, döşemedeki ortalama aydınlık düzeyleri(lm/m²)

		DÖŞEMEDEKİ ORTALAMA AYD. 3m x 5m							
Yön	Saat	DIALux		RELUX		LIGHTSCAPE		RADIANCE	
		21 Aralık	21 Haziran	21 Aralık	21 Haziran	21 Aralık	21 Haziran	21 Aralık	21 Haziran
BATI	09:00	122	217	78	128	7,5	14,23	63,89	118,4
	12:00	248	285	155	238	41,04	17,7	108,1	173
	16:00	169	5221	262	3690	25,61	490,621	313,9	4081
GÜNEY	09:00	583	305	428	196	16	18	580,2	184
	12:00	4714	2671	4440	1120	791,5	199,5	4767	2043,69
	16:00	137	864	179	407	81,15	88,3	223,0	134,09
DOĞU	09:00	534	5533	402	4120	29,01	620	502,5	4113
	12:00	252	1936	156	350	47	168,2	105,8	237,5
	16:00	63	235	51,3	166	10,7	13,45	49,30	107,31
KUZEY	09:00	123	316	77	198	7,5	18,36	64,26	136,6
	12:00	191	284	104	225	12,11	15,7	90,30	150,5
	16:00	62	307	50,8	219	10,64	16,9	47,74	132

Çizelge 9.13 H2 mekanında, Açık Gök koşulunda, döşemedeki aydınlık düzeyleri(lm/m²)
(pencere boyutları genişlik: 1,73m, yükseklik 1,5).

		DÖŞEMEDE ALINAN ORTALAMA AYD. 5m x 10m- güney pencere							
Saat		DIALux		RELUX		LIGHTSCAPE		RADIANCE	
		21 aralık	21 haziran	21 aralık	21 haziran	21 aralık	21 haziran	21 aralık	21 haziran
09:00		455	225	420	165	33,5	30	495,12	165
12:00		2669	1419	2590	1240	495,8	143,8	3216,8	1147,2
16:00		104	681	149	216	130,15	77,7	194,37	138,6

Çizelge 9.14 H3 mekanında, Açık Gök koşulunda, döşemedeki aydınlık düzeyleri(lm/m²)
(pencere boyutları genişlik: 3,46m, yükseklik 1,5).

	DÖŞEMEDE ALINAN ORTALAMA AYD. 10m x 10m- güney pencere							
Saat	DIALux		RELUX		LIGHTSCAPE		RADIANCE	
	21 aralık	21 haziran	21 aralık	21 haziran	21 aralık	21 haziran	21 aralık	21 haziran
09:00	787	281	904	237	38	29,1	1028,44	182,24
12:00	2825	1509	2420	643	415,8	144,15	3154,7	1328,6
16:00	132	779	209	306	97,7	34,5	220,9	154,5

Çizelge 9.15 H4 mekanında, Açık Gök koşulunda, döşemedeki aydınlık düzeyleri(lm/m²)
(pencere boyutları genişlik: 6,93m, yükseklik 1,5).

	DÖŞEMEDE ALINAN ORTALAMA AYD. 20m x 20m- güney pencere							
Saat	DIALux		RELUX		LIGHTSCAPE		RADIANCE	
	21 aralık	21 haziran	21 aralık	21 haziran	21 aralık	21 haziran	21 aralık	21 haziran
09:00	531	166	548	124	24,2	14,9	796,36	106,47
12:00	1471	794	1130	1100	166,7	20,6	1303,7	153,1
16:00	84	429	148	186	93,2	17,75	178,54	90,78

Çizelge 9.16 H5 mekanında, Açık Gök koşulunda, döşemedeki aydınlık düzeyleri(lm/m²)
(pencere boyutları genişlik: 13,86m, yükseklik 1,5).

	DÖŞEMEDE ALINAN ORTALAMA AYD. 40m x 40m- güney pencere							
Saat	DIALux		RELUX		LIGHTSCAPE		RADIANCE	
	21 aralık	21 haziran	21 aralık	21 haziran	21 aralık	21 haziran	21 aralık	21 haziran
09:00	280	93	306	161	15,9	7,5	387,6	58,4
12:00	756	410	654	614	88,7	10,3	751	83,85
16:00	54	227	127	222	43,9	8,9	150,85	49,85

Çizelge 9.17 H6 mekanında, Açık Gök koşulunda, döşemedeki aydınlık düzeyleri(lm/m2)
(pencere boyutları genişlik: 13,86m, yükseklik 1,5).

	DÖŞEMEDE ALINAN ORTALAMA AYD. L biçimli oda - güney pencere							
Saat	DIALux		RELUX		LIGHTSCAPE		RADIANCE	
	21 aralık	21 haziran	21 aralık	21 haziran	21 aralık	21 haziran	21 aralık	21 haziran
09:00	1403	470	1390	286	37,5	31,57	1849,5	550
12:00	4379	2539	3540	1140	310,9	165,6	4807,8	1881,3
16:00	201	1337	268	819	68,7	101,9	353,3	271

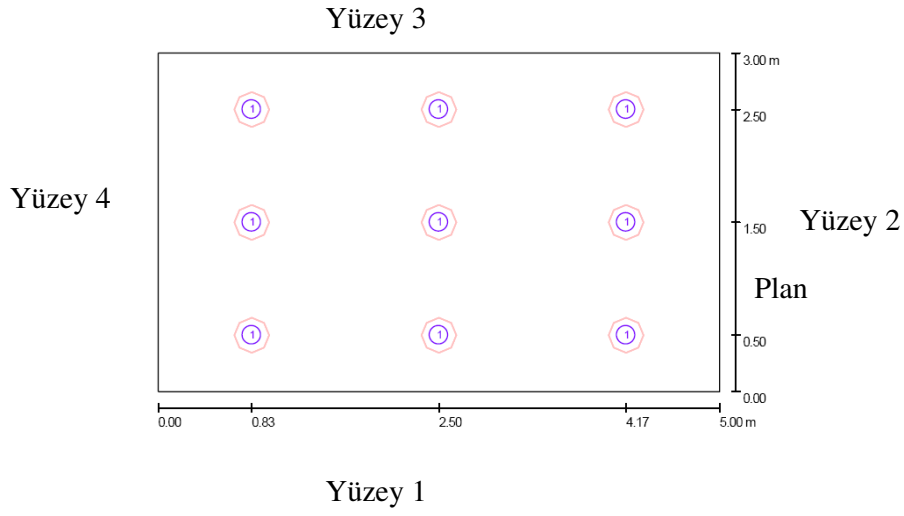
Çizelge 9.12-9.17’de gösterilen sonuçlar yönlere, tarih ve saatlere göre değişim göstermektedir. Örneğin Çizelge 9.12, 21 Haziran tarihinde, batı yönünde saat 12:00’de Lightscape programında en düşük, ikinci Radiance, üçüncü Relux ve en yüksek değer DIALux programında görülmektedir. Ancak güney yönü saat 12:00’de bu sıralama en düşük değerden başlayarak, Lightscape, Relux, DIALux ve Radiance olarak değişmektedir. Bu sonuçlardan anlaşılabileceği gibi genelde en düşük değer Lightscape programında alınırken, diğer sonuçlar tutarlı değildir.

9.3 Yapay Işık Kaynağı ve Yüzey Özellikleri Değişiminin Aydınlık Düzeyine Etkisi

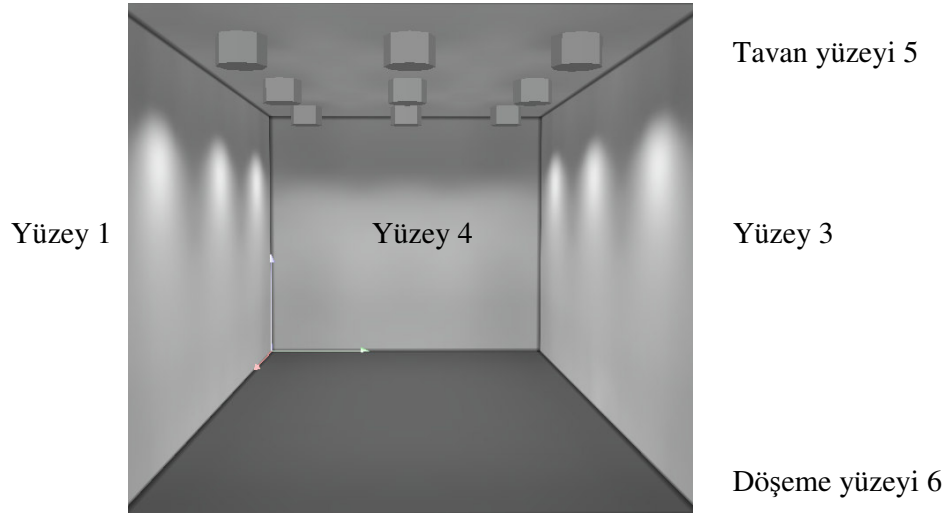
1.3. bölümde bahsedilen kapalı hacimlerde ışığın davranışı ve yüzey-ışık etkileşimini bilgisayar programlarının ne şekilde göz önünde bulundurduğunu test etmek amacıyla,

- Yüzey özellikleri,
 - Yansıtma biçimi,
 - Rengi
- Işık kaynağı rengi

değiştirilerek testler yapılmıştır. Hacmin yüzeyleri Şekil 9.32-9.33’de, test koşulları Çizelge 9.18’de gösterilmiştir.



Şekil 9.32 H1 mekanında aydınlatma düzeni ve yüzey özellikleri testi.



Şekil 9.33 H1 mekanında yüzey isimleri

Çizelge 9.18 Yapay ışık kaynağı ve yüzey özellikleri değişiminin aydınlık düzeyine etkisi ile ilgili test koşulları.

Boyut	Hacim boyutları, H1	En : 3m	Boy: 5m	Yükseklik: 2.6m
İç yüzey özellikleri	İç yüzey yansıtma çarpanı	$r_{\text{tavan}} \%70, r_{\text{duvar}} \%50, r_{\text{zemin}} \%20$		
	İç yüzey ışık yansıtma biçimi	Mat, parlak		
	İç yüzey renksel özellikler	Türsüz, Türlü Kırmızı RGB 255		
Aygıt	Aygıt ışık yeğnlik diyagramı	Asimetrik A1		
	Aygıt sayısı	9		
	Lamba sayısı ve özellikleri	2 adet 26 W kompakt flüoresan lamba $\Phi=1800\text{lm}$ $\Phi_{\text{top}}=3600\text{lm}$ 3000 K		
	Işık rengi	3000 K, 6500 K, 20000 K		
	Yerleşim	Aygıtlar düzgün yayılmış aydınlık oluşturacak biçimde yerleştirilmiştir (Şekil 9.32).		
Hesaplama	Aydınlık düzeyi türü	Ortalama aydınlık düzeyi hesabı		
	Hesap düzlemi	Döşeme		

9.3.1 Yüzey Özelliklerinden Yansıtma Biçimi Değişiminin Aydınlık Düzeyine Etkisi Testleri

Yüzey özelliklerinden **yansıtma biçimi** testinde, önce tüm yüzeylerin mat ve türsüz, ışık kaynağı renk sıcaklığının 3000 K olduğu durumda, döşeme üzerindeki ortalama aydınlık düzeyi hesaplanmış, ardından bu özellikler değiştirilmeden,

- 1 numaralı yüzeye,
- 1 ve 3 no'lu yüzeye,
- 1, 2 ve 3 no'lu yüzeylere
- 1, 2, 3, 4 no'lu yüzeylere,
- yalnızca 5 no'lu tavan yüzeyine,
- yalnızca 6 no'lu döşeme yüzeyine ve
- tüm yüzeylere

düzgün yansıma yapan, parlak malzeme atanmış, sonuçlar Çizelge 9.19’da gösterilmiştir.

Çizelge 9.19 H1 mekanında yüzeylerin yansıtma biçiminin değiştirilmesiyle döşemede elde edilen ortalama aydınlık düzeyi sonuçları

Yüzey özelliği	Döşemede Eort (lm/m^2)			
	DIALux	Relux	Lightscape	Radiance
Mat	646	626	683,1	-
Parlak	646	626	683,1	-

Çizelge 9.19’da görüleceği üzere, DIALux, Relux ve Lightscape programlarında yüzeylerin yansıtma biçimi değişse de Eort değişmemiştir.

Ancak programlarda, ışın izleme yöntemi uygulanarak bu mekanın görselleştirilmesi oluşturulduğunda, parlak malzeme atanan yüzey ve/ya da yüzeylerin düzgün yansıma yaptığı gözlemlenmektedir. DIALux programında çeşitli yüzeylere parlak malzeme atanarak oluşturulan görselleştirmeler Şekil 9.34-9.39’de gösterilmiştir. Relux programında ise 1,2,3,4 no’lu yüzeylere ve tüm yüzeylere parlak malzeme atandığı durumlarda görselleştirme oluşturulamamakta, resmin çok karanlık ya da çok ışıklı olduğu uyarısı verilmektedir. Relux programında parlak malzeme etkisi için oluşturulan diğer görselleştirmeler ise Şekil 9.39-9.44’de verilmiştir.



Şekil 9.34 DIALux programında POV-RAY ile 1 no’lu yüzeyde parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi.



Şekil 9.35 DIALux programında POV-RAY ile 1 ve 3 no'lu yüzeyde parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi



Şekil 9.36 DIALux programında POV-RAY ile 1, 2, 3 ve 4 no'lu yüzeyde parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi.



Şekil 9.37 DIALux programında POV-RAY ile 5 no'lu tavan yüzeyinin parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi



Şekil 9.38 DIALux programında POV-RAY ile 6 no'lu döşeme yüzeyinin parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi.



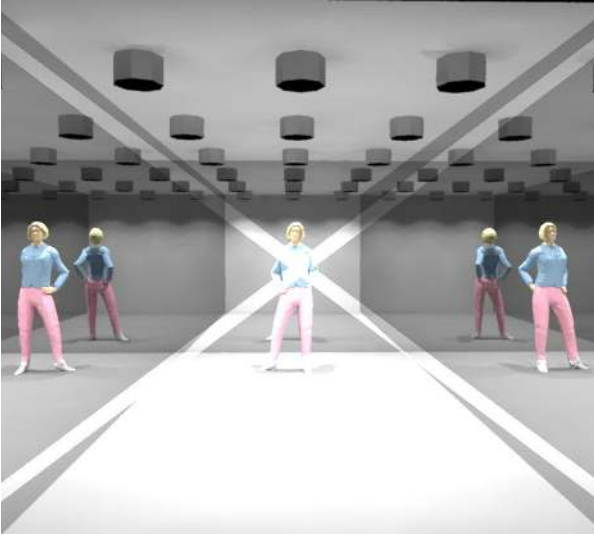
Şekil 9.39 DIALux programında POV-RAY ile tüm yüzeylerde parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi.



Şekil 9.40 Relux programında Relux Vision 1.1 ile 1 no'lu duvarda parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi.



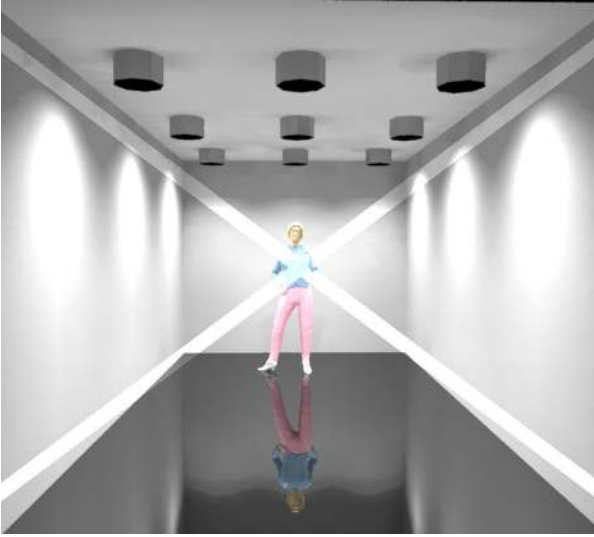
Şekil 9.41 Relux programında Relux Vision 1.1 ile 1 ve 3 no'lu duvarda parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi.



Şekil 9.42 Relux programında Relux Vision 1.1 ile 1, 3 ve 4 no'lu duvarda parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi.



Şekil 9.43 Relux programında Relux Vision 1.1 ile tavanda parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi.



Şekil 9.44 Relux programında Relux Vision 1.1 ile döşemede parlak malzeme etkisinin görselleştirilmesi.

9.3.2 Yüzey Özelliklerinden Yüzey Rengi Değişiminin Aydınlık Düzeyine Etkisi Testleri

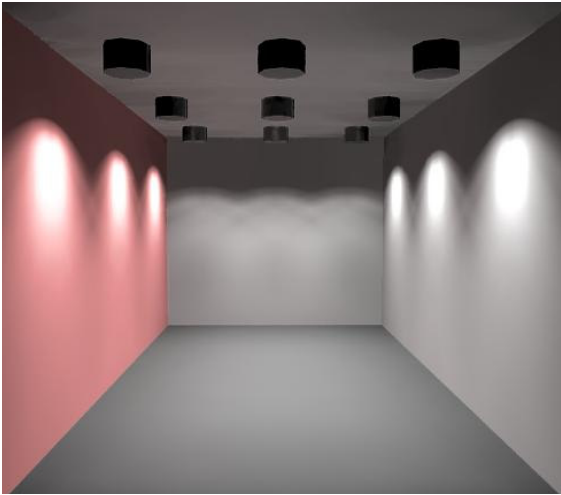
Yüzey özelliklerinden, **yüzey rengi** testlerinde H1 mekanında önce tüm yüzeylerin mat ve türsüz, ışık kaynağı renk sıcaklığının 3000 K olduğu durumda, döşeme üzerindeki ortalama aydınlık düzeyi hesaplanmış, ardından bu özellikler değiştirilmeden,

- 1 numaralı yüzeye,
- 1 ve 3 no'lu yüzeye,
- 1, 2 ve 3 no'lu yüzeylere
- 1, 2, 3, 4 no'lu yüzeylere,
- yalnızca 5 no'lu tavan yüzeyine,
- yalnızca 6 no'lu döşeme yüzeyine ve
- tüm yüzeylere

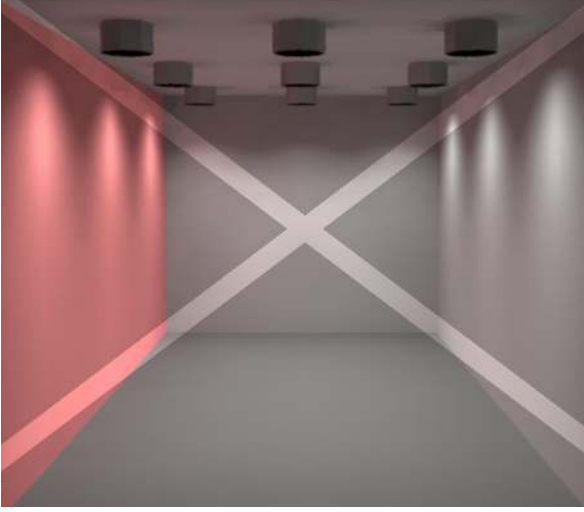
kırmızı, RGB 255 türlü yüzey atanarak hesaplama yapılmış, sonuçlar Çizelge 9.20'de gösterilmiştir.

Çizelge 9.20 H1 mekanında yüzey renklerinin değiştirilmesiyle elde edilen sonuçlar.

Yüzey özelliği	Döşemede Eort (lm/m ²)		
	DIALux	Relux	Lightscape
tüm yüzeyler türsüz	646	626	683,1
1 no'lu yüzey türlü	651	626	683,1
1 ve 3 no'lu yüzey türlü	660	629	649,8
1,2 ve 3 no'lu yüzeyler türlü	668	633	649,8
1, 2, 3 ve 4 no'lu yüzeyler türlü	679	639	635,4
5 no'lu tavan yüzeyi türlü	647	626	683,1
6 no'lu döşeme yüzeyi türlü	662	626	673,5
tüm yüzeyler türlü	899	762	868,8



Şekil 9.45 DIALux programında POV-RAY ile 1 no'lu duvarda türlü malzeme etkisinin görselleştirilmesi.



Şekil 9.46 Relux programında Relux Vision 1.1 ile 1 no'lu duvarda türlü malzeme etkisinin görselleştirilmesi



Şekil 9.47 DIALux programında POV-RAY ile türlü yüzeyli döşeme görselleştirilmesi (Döşeme Kırmızı RGB 255, r=%20).



Şekil 9.48 Relux programında Relux Vision 1.1 ile türlü yüzeyli döşeme görselleştirilmesi (Döşeme Kırmızı RGB 255, r=%20).



Şekil 9.49 Lightscape programında türlü r=%20 türlü yüzeyli döşeme görselleştirilmesi (Döşeme Kırmızı RGB 255, r=%20).

Çizelge 13.20’de görüleceği gibi,

- DIALux programında tüm yüzeylerin türlü olması durumu,
- Relux programında, 1, 5 ve 6 no’lu yüzeylerin türlü olması haricindeki durumlar,
- Lightscape programında, 1 ve 5 no’lu yüzeylerin türlü olması haricindeki durumlar

hesaplanabilmekte ve görselleştirilebilmektedir. Şekil 9.44-9.49’da programlarla ilgili kimi görselleştirme örnekleri verilmiştir.

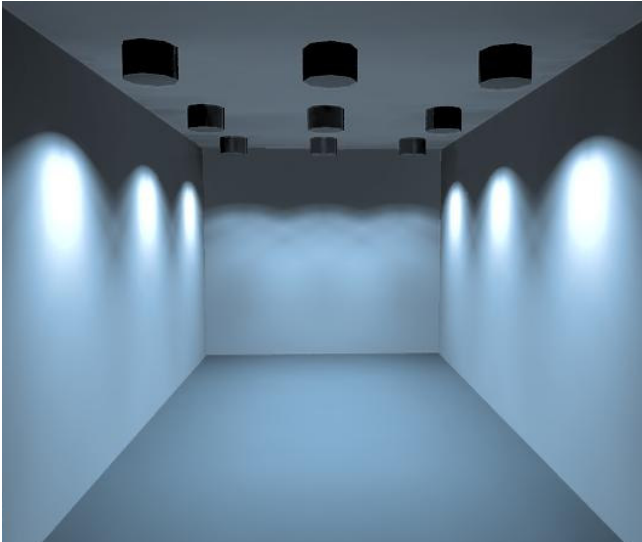
9.3.3 Yapay Işık Kaynağı Rengi Değişiminin Aydınlık Düzeyine Etkisi Testleri

Işık kaynağı rengi testi için, H1 mekanında önce tüm yüzeylerin mat ve türsüz, ışık kaynağı renk sıcaklığının 3000 K olduğu durumda, döşeme üzerindeki ortalama aydınlık düzeyi hesaplanmış, ardından bu özellikler değiştirilmeden, aygıtın ışık renk sıcaklığı 3000 K'den,

- 6500 K,
- 20000 K'e

değiştirilerek hesaplama yapılmıştır.

DIALux ve Relux programlarında aygıtın ışık renk sıcaklığındaki değişime bağlı olarak zemindeki ortalama aydınlık düzeyinde aynı kalmıştır, ancak bu etki 3 boyutlu olarak görüntülenebilmektedir (Şekil 9.50, 9.51). Lightscape programında ise ışık kaynağının renk sıcaklığı değiştirilememiştir.



Şekil 9.50 DIALux programı ile lamba renk sıcaklığının 3000K'den 20000 K'e değiştirilmesiyle oluşan görselleştirme.



Şekil 9.51 Relux programı ile lamba renk sıcaklığının 3000K'den 20000 K'e değiştirilmesiyle oluşan görselleştirme.

10. GENEL DEĞERLENDİRME

Çalışmanın 3-6. bölümlerinde günümüzde yaygın olarak kullanılan DIALux 4.3, Relux 2007, Desktop Radiance Beta 2.0, Lightscape R 3.2 programlarının genel özellikleri ve hesap yöntemleri açıklanmıştır. Programların temel özellikleri Çizelge 10.1'de verilmiştir. Çizelge 10.1'sunulan temel özelliklerin genel değerlendirilmesi aşağıdaki gibi yapılabilir.

- Programların işletim sistemleri genelde birbirleriyle uyumludur.
- En yüksek işletim dili sayısı, Türkçe dahil olmak üzere, 22 dil ile DIALux programındadır. Daha sonra 17 dil ile Relux programı gelir, Radiance ve Lightscape programları yalnızca İngilizce olarak hazırlanmıştır.
- En yüksek yardım dili sayısı Türkçe dahil olmak üzere, 6 dil ile DIALux programındadır. Relux programı yardım dili İngilizce ve Almanca'dır. Diğer programların yardım dili ise İngilizcedir.
- DIALux ve Relux programlarında, iç mekan, yol aydınlatması, dış mekan, acil aydınlatma gibi aydınlatmaya yönelik bölümler bulunmaktadır. Ancak bu hesaplamalar Radiance ve Lightscape programında da yapılabilirken, bu bölümler program içinde, ayrı olarak bulunmamaktadır.
- Programların her birinde dwg ve dxf formatındaki dosyalarla çalışmak mümkündür. DIALux programı SAT dosyasında hazırlanmış mekanları dikkate alırken, diğer programlarda dwg ya da dxf formatındaki mekanlar dışardan atanarak kullanılır.

- Bazı ayrımlar göstermekle birlikte her programın mobilya/doku özellikleri için hazırlanan bir kütüphanesi bulunmaktadır.
- DIALux, Relux, Lightscape programlarında aydınlık düzeyi hesaplarında ve görselleştirme oluşturmak için yayılım ve ışın izleme yöntemi kullanılırken, Radiance programında geri yönlü ışın izleme yöntemi kullanılır.
- Tüm programlarda, aydınlık düzeyi hesaplarında, yüzeyler üzerinde, nokta sayısı vermek olanaklıdır.
- Programlarda aydınlık düzeyi sonuçları çeşitli tablo ve grafikler ile 3 boyutlu görselleştirmeler biçiminde verilmektedir.
- DIALux, Relux programlarında Eulumdat, CIBSE, TM 14, IES gibi ışıklılık formatları kullanılırken, Lightscape ve Radiance programlarında yalnızca IES ışıklılık formatı kullanılır.
- Radiance programında mat ve parlak yüzeyler dikkate alınırken, Lightscape programında yalnızca mat yüzeyler hesaba katılır. Relux ve DIALux programında yüzeyler mat kabul edilmekte ve ek programlar ile parlak yüzeyler dikkate alınmaktadır.
- Programlarda RGB, RAL ve HSV gibi renk dizgeleri kullanılmaktadır.
- DIALux ve Relux programlarında yapay ışık kaynağı rengi değiştirilebilmektedir. Radiance programında ise bu seçenek olanaklı değildir. Lightscape programında ise yapay ışık kaynağı rengi değişimi için bir bölüm bulunsa da işlem yapılamamaktadır.
- Doğal ışık hesabı için DIALux, Relux, Radiance programlarında genelde CIE Açık gök, kapalı gök, ortalama gök gibi gök tipleri kullanılırken, Lightscape programı CIE gök tiplerini dikkate almamaktadır. Programlarda doğal ışık hesabı için kuzey yönü, coğrafi konum, zaman dilimi gibi ayarlar yapılabilmektedir.

Çizelge 10.1 DIALux, Relux, Radiance, Lightscape programlarının özellikleri.

Özellikler	DIALux	RELUX	RADIANCE	LIGHTSCAPE
Program başlangıç yılı/firma/yükleme	1994/DIAL GmbH www.dialux.com (ücretsiz)	1998/Regent AG, Fluora AG ve Tulux AG www.relux.biz (ücretsiz)	LBNL (ücretsiz)	Autodesk Inc (ücretli)
İşletim sistemleri	Windows 2000, Windows XP Home Edition, Windows XP Professional	Windows 2000, Windows XP Home Edition, Windows Vista	Windows 95, Windows 98, Windows 2000, Windows NT	Windows 95, Windows 98, Windows 2000, Windows NT
Dil sayısı	(Türkçe dahil) 22	17 (İng., Alm.)	İngilizce	İngilizce
Yardım Dili	Türkçe/ İngilizce dahil 6 adet	İngilizce, Almanca	İngilizce	İngilizce
Aydınlatma konuları	İç mekan, yol aydınlatması, dış mekan, acil aydınlatma	İç mekan, yol aydınlatması, dış mekan, acil aydınlatma	-	-
Dwg/dxf dosyaları ile çalışabilme	Açılan dosyalar altlık olarak çalışır. Ancak SAT formatında dosyalar programda doğrudan kullanılır.	ReluxCAD ile CAD programı çizimleri Relux içinde aydınlatılabilir	Program AutoCAD 2000 ile çalışır	Programda kullanılan tüm mekanlar dwg, dxf, 3ds gibi formatlarda olmalıdır.
Mekan oluşturma	1. programda oluşturulur. 2. SAT dosyası formatında oluşturulmuş mekanlar kullanılabilir.	1. programda oluşturulur. 2. Relux CAD ile dışarıdan alınabilir.	AutoCAD programında oluşturulur.	AutoCAD, 3ds MAX v.b CAD tabanlı programlarda oluşturulur.
Mobilya/doku özellikleri ve formatı	Kütüphanede mevcut; SAT, m3d	Kütüphanede mevcut; SAT, m3d	Kütüphanede mevcut; SAT	Kütüphanede mevcut; SAT
Aydınlık düzeyi hesap yöntemleri	Yayınım / ışın izleme	Yayınım / ışın izleme	Geri yönlü ışın izleme	Yayınım / ışın izleme
3 boyutlu görselleştirme özellikleri	Pov-Ray programı ile ışın izleme	Vision programı ile ışın izleme	İşın izleme	Yayınım ve ışın izleme
Yüzey üzerinde hesap nokta sayısı	Nokta sayısı verilebilir	Nokta sayısı verilebilir	Nokta sayısı verilebilir	Nokta sayısı verilebilir

Çizelge 10.1 DIALux, Relux, Radiance, Lightscape programlarının özellikleri (Devam)

Özellikler	DIALux	RELUX	RADIANCE	LIGHTSCAPE
Doğal ve yapay aydınlık düzeyi ve ışıklılık sonuçları gösterimi	Noktada aydınlık düzeyi tablosu, Eş aydınlık düzeyi eğrileri, Gri değerlerine göre aydınlık düzeyi tablosu, 3 boyutlu görselleştirme	Noktada aydınlık düzeyi tablosu, Eş aydınlık düzeyi eğrileri, Gri değerlerine göre aydınlık düzeyi tablosu, 3 boyutlu görselleştirme	Belli noktalarda aydınlık düzeyi dağılımı, Belli bir noktada aydınlık düzeyi, 3 boyutlu görselleştirme	Renklere ve gri değerlerine göre aydınlık düzeyi ve ışıklılığı gösteren 3 boyutlu görselleştirmeler
Işıklık formatı	Eulumdat, CIBSE, TM 14, IES	CIE, Eulumdat, IES, CIBSE TM 14	IES	IES
Yüzey özellikleri	Mat yüzeyler POV-RAY ile Parlak ve saydam yüzeylerde dikkate alınmaktadır.	Mat yüzeyler Relux Vision ile Parlak ve saydam yüzeylerde dikkate alınmaktadır.	Mat, parlak ve saydam	Mat
Kullanılan renk dizgeleri	RGB, HSV	RGB, RAL	RGB	RGB, HSV
Işık kaynağının renkli olması	Aygıtların tayfsal yansıtma çarpanları değiştirilebilir / renk filtreleri atanabilir	Aygıtların tayfsal yansıtma çarpanları değiştirilebilir / renk filtreleri atanabilir	Aygıt ışık yansıtma çarpanları değiştirilemez	Aygıtların tayfsal yansıtma çarpanları değiştirilebilir / renk filtreleri atanabilir
Doğal aydınlık hesabı gök koşulları	CIE Kapalı (Krochmann) , CIE Açık (Krochmann), CIE Ortalama gök	CIE Kapalı Gök ve CIE Açık Gök Relux Vision ile CIE açık gök, CIE ortalama gök, CIE kapalı gök ve DIN 5034 tek düze kapalı gök	CIE Açık Gök, CIE Kapalı Gök, CIE Ortalama Gök, Tek düze kapalı gök	Açık – kapalı gök Güneş ve gök rengi RGB ve HSV dizgelerine göre verilir.
Doğal ışık ayarları	Kuzey yönü, coğrafi konum, zaman dilimi	Kuzey yönü, coğrafi konum, zaman dilimi	Kuzey yönü, coğrafi konum, zaman dilimi	Kuzey yönü, coğrafi konum, zaman dilimi / manuel kontrol

Tez kapsamında, DIALux 4.3, Relux 2007, Desktop Radiance Beta 2.0, Lightscape 3.2 programları, doğal aydınlık düzeyi, yapay aydınlık düzeyi, yapay ışık kaynağı ve yüzey özellikleri değişiminin aydınlık düzeyine etkisi konularına yönelik, temel özellikleri aşağıda verilen 3 ayrı grup test aracılığı ile sınanmıştır.

- **Doğal ve yapay aydınlık düzeyi testleri,**
 - Belli özellikteki aydınlatma düzeninin kullanıldığı bir hacim (H1) için analitik hesaplamaların yapılması,
 - Belli özellikteki aydınlatma düzeninin kullanıldığı 6 hacim (H1, H2, H3, H4, H5, H6) için programların kullanılması;
- **Yapay Işık Kaynağı ve Yüzey Özellikleri Değişiminin Aydınlık Düzeyine Etkisi testleri,**
 - Belli özellikteki aydınlatma düzeninin kullanıldığı H1 hacmi için yüzey yansıtma biçimi, yüzey rengi ve yapay ışık kaynağı rengi değiştirilerek programların kullanılması

biçiminde özetlenebilir. Yapılan testlerde sonuçlar ortalama aydınlık düzeyi (dolaysız aydınlık ve toplam aydınlık -dolaysız+yansıymış-), noktada aydınlık düzeyi (dolaysız aydınlık ve toplam aydınlık -dolaysız+yansıymış-) değerlerini veren sayısal sonuçlar biçiminde ifade edilmiştir.

Çalışma kapsamında yapılan testlerden elde edilen sonuçlar genel olarak aşağıdaki gibi değerlendirilebilir:

- **Yapay Aydınlık Testlerinde** aygıt sayısı ve türünden bağımsız olarak, ortalama ve noktada dolaysız aydınlık düzeyi değerleri için yüksekten düşüğe sıralama Lightscape, DIALux, Relux ve analitik sonuçlar biçimindedir. Bir çok durumda, analitik sonuçlar Lightscape sonuçlarından, yaklaşık %50 daha düşük, DIALux sonuçlarından, %15, Relux sonuçlarından ise %10 yüksek değerler almıştır.

Aygıt sayısı ve türünden bağımsız olarak, ortalama ve noktada toplam aydınlık düzeyi değerleri için ise yüksekten düşüğe sıralama Lightscape, analitik sonuçlar, DIALux ve Relux biçimindedir. Bir çok durumda analitik sonuçlar Lightscape sonuçlarından %7 - %19 daha düşük, DIALux sonuçlarından %3 - %10, Relux sonuçlarından ise %3 - %12 daha yüksektir.

- **Doğal Aydınlik Testlerinde,** dış yatay aydınlık düzeyi hesabının Krochmann formülü ile yapılması durumunda elde edilen analitik sonuçlar Kittler formülü ile elde edilen sonuçlara göre aşağıda verilen değerlerden de görüleceği üzere daha yüksek çıkmaktadır.
 - 21 Aralık 09:00'da %70
 - 21 Aralık 12:00'de %34,
 - 21 Aralık 16:00'da %130,
 - 21 Haziran 09:00'da %3,
 - 21 Haziran 12:00'de %11,
 - 21 Haziran 16:00'da %15

DIALux ve Relux programları dış yatay aydınlık düzeyi hesabı için Krochmann formülünü kullanmaktadır. Yapılan doğal aydınlık düzeyi testleri sonucunda, aydınlık düzeyleri genelde en yüksek değerlerini Radiance, DIALux, analitik sonuçlar, Relux, Lightscape sıralamasına göre almaktadır. Ancak tarih, saat ve noktalara göre bu sıralama değişmektedir. Kimi durumlara göre bazı noktalarda analitik sonuçlar, bazı noktalarda DIALux sonuçları yüksek değer almaktadır. Bu nedenle elde edilen değerler arasında bir oran vermek olanaklı değildir. Ancak Lightscape programında genelde en düşük değerler elde edilmekte ve bu sonuçlar analitik sonuçlardan yaklaşık %123 oranında düşük çıkmaktadır.

- **Yapay Işık Kaynağı ve Yüzey Özellikleri Değişiminin Aydınlik Düzeyine Etkisi Testleri**
 - **Yüzey özellikleri testlerinden,**
 - **Yansıtma biçimi testinde,** DIALux, Relux ve Lightscape programlarında yüzeylerin yansıtma biçimi değişse de Eort değişmemiştir. Ancak bir çok durum görselleştirilebilmektedir.
 - **Yüzey Rengi testinde,** DIALux programında tüm yüzeylerin türlü olması durumu, Relux programında, 1 no'lu duvar, 5 no'lu tavan ve 6 no'lu döşeme yüzeylerinin türlü olması haricindeki durumlar, Lightscape programında, 1 no'lu duvar ve 5 no'lu tavan yüzeylerinin türlü olması haricindeki durumlar hesaplanabilmekte ve genelde tüm durumlar görselleştirilebilmektedir.

- **Işık kaynağı rengi testlerinde**, DIALux, Relux ve Lightscape programlarında ışık kaynağı rengi değişse de Eort değişmemiştir. Ancak bir çok durum görselleştirilebilmektedir.

11. SONUÇ

Bu çalışmada, aydınlatma konusuna yönelik bilgisayar programlarının temel özellikleri aktarılmış, CIE'nin önerdiği aydınlatma programlarının doğruluğunu sınamaya yönelik testlere yer verilmiş, günümüzde yaygın olarak kullanılan DIALux 4.3, Relux 2007, Desktop Radiance Beta 2.0, Lightscape R 3.2 programların özelliklerine değinilmiş ve bu programlar CIE'nin önerdiği testler dışındaki bazı testler ile sınanmış ve değerlendirilmiştir.

Relux, DIALux ve Lightscape programlarının CIE'nin önerdiği testler bağlamında sınanmasına yönelik olarak, Uluslararası Enerji Ajansı'nın (International Energy Agency; IEA) 31 numaralı çalışma grubunun yayınladığı rapordaki sonuçlara göre, DIALux 2006, Relux 2004 ve Lightscape R 3.2 programları genelde CIE testlerinin hata sınırları içinde yer aldığından yapılan testler açısından başarılı bulunmuştur. Ancak raporda, Lightscape programının doğal ışık testleri açısından zayıf olduğu belirtilmiştir.

7. bölümde açıklandığı gibi CIE'nin önerdiği testler belirli konularda ve belli bir hacimde, belli aygıtlar ile yapılmış, kısıtlı hesap noktaları dikkate alınmıştır. CIE yayınındaki test koşullarına bağlı olarak elde edilen sonuçlar sayısal olarak hata sınırları biçiminde verilmektedir. Bu nedenle tez çalışmasında, DIALux 4.3, Relux 2007, Desktop Radiance Beta 2.0, Lightscape 3.2 programları,

- Doğal Aydınlik Düzeyi,
- Yapay Aydınlik Düzeyi,
- Yapay Işık Kaynağı ve Yüzey Özellikleri Değişiminin Aydınlik Düzeyine Etkisi

konularında hacim ve aydınlatma düzeni ile ilgili belirli varsayımlar doğrultusunda testler yapılmış ve sonuçlar sayısal olarak verilerek, CIE yayınından farklı biçimde ifade edilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Testlerde farklı sayıda, simetrik ve asimetrik özellikte aygıt kullanılmış, hesap noktaları artırılmış, farklı hacim boyutları dikkate alınmış, DIALux 4.3, Relux 2007, Desktop Radiance Beta 2.0, Lightscape 3.2 programları ile noktada ve ortalama, dolaysız ve toplam aydınlık düzeyi testleri ile yüzey ve ışık kaynağı özelliklerinin değişimine bağlı testler

yapılmıştır. Noktada ve ortalama aydınlık düzeyleri sayısal olarak ifade edilirken, yüzey ve ışık kaynağı özelliklerinin değişimi ile ilgili test sonuçları ayrıca görselleştirmeler biçiminde ifade edilmiştir. Analitik sonuçlar ve simülasyon sonuçları arasında kimi durumlarda büyük ayrımlar ortaya çıkmıştır.

Tez kapsamında yapılan testlerden elde edilen sonuçlardaki ayrımların nedenleri,

- Programların kullandıkları formül ve hesap yöntemleri ile analitik formül ve yöntemler arasındaki farklılıklar,
- Programların yapısal özelliklerinin farklı olması,
- Programlarda kullanılan malzeme ve yüzey özelliklerindeki değişimler vb..

biçiminde sıralanabilir.

Bu çalışma aydınlatmaya yönelik kullanılan bilgisayar programları ve aralarındaki farklılıklar ile ilgili bir ön çalışmadır. Testlerin koşulları değiştirilerek sayısı istenilen biçimde arttırılabilir. Ancak programların sürekli olarak yenilendiği ve hesap yöntemlerinin ışığın davranışına uygun biçimde geliştirildiği unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

Ağcabay, T., (2001), “Bilgisayar Teknolojilerinin Mimaride Aydınlatma Tasarımına Etkileri”, Yıldız Teknik Üniversitesi FBE, YL Tezi, İstanbul.

Autodesk Inc., (1999), Learning Lightscape, LIGS3.2-01, USA.

Bostancı, T., (1996), “Büroların Aydınlatma Düzenleri Açısından İncelenmesi ve Değerlendirilmesi”, F.B.E Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Fiziki Programı, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü, İstanbul.

CIE, (1987), “CIE International Lighting Vocabulary“, 4.Edition, Publication CIE, No 17.

CIE, (2003), “Spatial distribution of daylight - CIE standard general sky“, Publication No: ISO 15469:2004/CIE S 011:2003: Joint ISO/CIE standard, Vienna, Austria.

CIE, (2005), “Test cases to assess the accuracy of lighting programs“, CIE Publication No: 171:2006, Vienna, Austria.

Çetin, A., Gündükbay, U., (2006). "3 Boyutlu Bilgisayar Grafikleri", Türkiye Bilişim Ansiklopedisi, Sayfa 211-220, Editörler: T. Ören, T. Öney, ve R. Çölkesen, Papatya Yayıncılık, İstanbul

http://www.cs.bilkent.edu.tr/~gudukbay/publications/papers/tba/3B_Bilgisayar_Grafikleri.pdf

DIALux Version 4.3, (2006), The software standart for calculating lighting layouts, User manual, DIAL GmbH Gustav-Adolf-Straße 458507 Lüdenscheid,

http://www.dial.de/Manual42_en.

DIAL GmbH, (2006), “Preciness of Calculation“, Gustav-Adolf-Straße 458507 Lüdenscheid, Germany

DIAL GmbH, (2007), “DIALux 4 with new improved calculation kernel“, DIAL GmbH Gustav-Adolf-Straße 458507 Lüdenscheid, Germany.

Erkin, E., Onaygil, S., (2001), “Three Dimensional Lighting Simulation By Using Radiance Ray Tracing Method“, International Lighting Congress proceedings, Vol.2. 508-514, İstanbul.

Ganslandt, R., Hofmann, H., (İlk Baskı 1992), Handbook of Lighting Design, Lüdenscheld/Germany.

<http://www.erco.com/>

IEA, (2005) “Application of the CIE test cases to assess the accuracy of lighting computer programs”, IEA SCH TASK 31/ IEA ECBCS Annex 29: Daylighting Buildings in the 21st Century, France.

IESNA, (2000), The IESNA Lighting Handbook, Reference & Application, Bölüm 9, Ninth Edition, IESNA, NY

Lawrence Berkeley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division, Building Technologies Department, (2000), Desktop Radiance 2.0 BETA, User Manuel, California/USA

<http://radsite.lbl.gov/deskrad/download.htm>

Mistrick, R. G., (2000), Desktop Radiance Overview, The Pennsylvania State University, Pasific Gas & Electric, USA

<http://radsite.lbl.gov/deskrad/download.htm>

Özdaş, C., (2005), “Mimari Render”, Mimarlık Teknik, 2. Sayı, Sayfa 26-31, TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi.

<http://www.mimarlarodasiankara.org/38calrap/13/dosya/teknikbulten-opt.pdf>

Öztürk, Dokuzer L., Bayer, O., (2006) “Yüzeylerin Işık Yansıtma Çarpanlarının ve Görünürlüklerinin Belirlenmesi”, 6. Ulusal Aydınlatma Kongresi, Bildiriler, 17-24, İTÜ, İstanbul

Perry, T., (2006), “Lightscape Version 3.2 Has New Radiosity Tools for Creating Incredibly Realistic Imagery”.

http://www.digitalanimators.com/HTM/Reviews/lightscape_review_page2.htm

Relux Informatik AG, (2006), Relux Manual, Relux Informatik AG, Dornacherstrasse 377, CH-4018 Basel, Switzerland,

http://www.relux.biz/pdf/manual_prof2006_09.

Relux Informatik AG, (2007), Relux Professional Manual, Relux Informatik AG, Dornacherstrasse 377, CH-4018 Basel, Switzerland,

Sirel, Ş., (İlk Baskı 1992), “Aydınlığın Niteliği”, Kitapçık No:4

<http://www.yfu.com/booklet-4.html>

Sirel, Ş., (1997), “Aydınlatma Terimleri Sözlüğü”, Yem Yayın, İstanbul

Strandberg LC, E., (2003), “How To Begin a Lighting Project”, International Lighting Design Lab,

http://www.lightinguniverse.com/articles/past_articles/How_to_Begin_a_Lighting_Project_1_2_03.html

Sözen, Şerefhanoglu M., (2003), “Aydınlatma Tasarımında Mimarın ve Elektrik Mühendisinin Rolü” II. Uluslar arası Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi Bildirileri.

http://www.emo.org.tr/resimler/etkinlikbildirileri/2cf3f7ef9063075_ek.pdf

Ünver, R., (1985), “Yapıların İçinde Işık - Renk İlişkisi”, Doktora Tezi, Y.Ü. FBE, YÜ Matbaası, İstanbul

Ünver, R., (1991), “Kapalı Hacimlerde Lamba Işığının Yatay Düzlemde Oluşturduğu Aydınlığın ve Aygıt Geriveriminin Hesaplanması”, YÜ Mim. Fak., Üniversite Yayın No.223, YÜ Mim Fak., Yayın No: MF-MİM 91.010.

Ünver, R., (1999), “Aydınlatma ve Yüzey Özellikleri İlişkisi”, “Mimari Biçimlendirmede Yüzey Sempozyumu” GÜ SS 348-362 Ankara

Ünver, R., Karakoç, Y., (Eylül –Ekim 2000) “Ortalama Yapay Aydınlik Düzeyi Hesaplarının Değerlendirilmesi”, Elektrokent Perpa 133-136, İstanbul.

Ünver, R., (2002), “Yapı Dışı Engellerin Hacim İçİ Günışığı Aydınlatma Etkisi: İstanbul Örneği”, ISBN: 975-461-327-3, YTÜ.MF.YK-02.0658-MF.MİM-02.001, YTÜ Basım-Yayın Merkezi

Ünver, R., (2005), “Aydınlık Düzenleme I Ders Notları”, Yıldız Teknik Üniversitesi FBE, Yapı Fiziği Bilim Dalı, (Basılmamış).

Ünver, R., (2005), “Aydınlık Düzenleme II Ders Notları”, Yıldız Teknik Üniversitesi FBE, Yapı Fiziği Bilim Dalı, (Basılmamış).

Ünver, R., Celebi, Z., (2006) “Aydınlatma Tasarımında Bilgisayar Programı Kullanımı ve Uluslararası Aydınlatma Komisyonunun Önerileri”, 6. Ulusal Aydınlatma Kongresi, Bildiriler, 9-16, İTÜ, İstanbul.

İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] www.erco.com, (2007)
- [2] <http://www.iald.org/>, (2007)
- [3] <http://www.pld-a.org/>, (2007)
- [4] <http://www.siggraph.org/education/materials/HyperGraph/raytrace/rtrace0.htm>, (2007)
- [5] <http://www.cs.princeton.edu/~funk/radiosity.html>, (2007)
- [6] <http://www.siggraph.org/education/materials/HyperGraph/radiosity/radiosity.htm>, (2007)
- [7] <http://www.dialux.com>, (2007)
- [8] <http://www.relux.biz/> (2007)
- [9] <http://radsite.lbl.gov/deskrad/intro.html>, (2007)
- [10] <http://www.cie.co.at/>, (2007)
- [11] <http://www.iea.org/>, (2007)
- [12] http://ul45.rapidshare.com/files/8855125/Lightscape_3.2.rar, (2006)
- [13] <http://lightingwiki.com/EulumdatFormat>, (2002)

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	15.09.1981
Doğum yeri	Bursa/Karacabey
Lise	1992–1999 Karacabey Anadolu Lisesi
Lisans	2000–2005 Yıldız Üniversitesi Mimarlık Fak. Mimarlık Bölümü
Yüksek Lisans	2005–2007 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Fiziği Programı

Çalıştığı kurum(lar)

06/2005–10/2005	Yenilem Danışmanlık Ticaret A.Ş
06/2006–02/2007	Total Aydınlatma Mümessillik San. Ve Tic. A.Ş.