

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**STADYUM AYDINLATMA PROJELERİNİN  
PARAMETRİK BENZETİMİ İLE TASARIMI VE  
ÖRNEK UYGULAMALAR**

**DOKTORA TEZİ**

**Nazım İMAL**

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Yılmaz UYAROĞLU**

**Kasım 2007**

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**STADYUM AYDINLATMA PROJELERİNİN  
PARAMETRİK BENZETİMİ İLE TASARIMI VE  
ÖRNEK UYGULAMALAR**

**DOKTORA TEZİ**

**Nazım İMAL**

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK- ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK**

**Bu tez 08/11/2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Yrd.Doç.Dr.Yılmaz UYAROĞLU**

**Jüri Başkanı**

**Prof.Dr.Nurettin ABUT**

**Üye**

**Prof.Dr.Abdullah FERİKOĞLU**

**Üye**

**Yrd.Doç.Dr.Canan PERDAHÇI**

**Üye**

**Yrd.Doç.Dr.Ahmet TEŞNELİ**

**Üye**

## ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında çalışmalarımı yönlendirerek beni destekleyen, başlangıcından bitimine kadar yardımlarını ve katkılarını esirgemeyen değerli hocam, Yrd. Doç. Dr. Yılmaz UYAROĞLU'na, tüm içtenlikleri ile çalışmama katkılarını esirgemeyen, Yrd. Doç. Dr. Fahri VATANSEVER'e ve Arş. Gör. Cenk YAVUZ'a, Beşiktaş Kulübü Elektrik Mühendisi Derviş BOZ beye, çalışmalarımın bu aşamaya gelmesinde güven ve desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. M. Uğur ÜNVER'e, Prof. Dr. Mehmet Ali YALÇIN'a, Prof. Dr. Abdullah FERİKOĞLU'na, Prof. Dr. Osman ÇEREZCİ'ye, Prof. Dr. Ertan YANIKOĞLU'na, ve desteğini gördüğüm tüm arkadaşlara sonsuz teşekkürler....

Adapazarı, Kasım 2007

Nazım İMAL

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
STADYUMLAR VE STADYUMLARIN GELİŞİMİ .....	8
2.1. Futbol .....	10
2.1.1. Futbolun sektörleşmesi .....	13
2.2. Stadyumlarda Modernleşme .....	14
2.3. Stadyumların Aydınlatılması .....	16
2.3.1. Stadyum aydınlatmasına TV yayıncılığının etkileri .....	19
BÖLÜM 3.	
STADYUM AYDINLATMA TASARIMI .....	21
3.1. Direk Sayısı .....	22
3.2. Direk Yerleri .....	24
3.3. Projektör Grupları .....	25
3.4. Direk Yüksekliği ve Projektörlerin Odaklanması .....	26
3.5. Aydınlık Düzeyi .....	30

3.6. Parlaklık ve Kamaşma.....	32
3.7. Renk Sıcaklığı ve Renksel Geriverim .....	33
3.8. Metal Halide Lambalar .....	36
3.9. Tasarımda Kullanılan Projektörler .....	37
3.10. Hesaplama da Kullanılan Metot .....	42
3.10.1 Matlab programı .....	43
3.10.2 Matlab programında kullanılan matematiksel eşitlikler .....	44
3.10.3 Matematiksel eşitliklerin stadyum aydınlatmasına uyarlanmaları .....	49
3.11. Parıltı .....	53

#### BÖLÜM 4.

##### TEMEL PARAMETRELERİN AYDINLATMA DÜZEYİ VE

DAĞILIMINA ETKİLERİ .....	55
4.1. Hesaplamalarda Referans Alınan Parametre Değerleri .....	56
4.2. Direk Yüksekliği Değişiminin Aydınlatma Düzeylerine Etkileri ...	57
4.3. Direk-Taç Çizgisi Aralığı Değişiminin Aydınlatma Düzeylerine Etkileri .....	65
4.4. Direk-Aut Çizgisi Aralığı Değişiminin Aydınlatma Düzeylerine Etkileri .....	74
4.5. Asimetrik Aydınlatma .....	85
4.6. Geometrik Yapıları Farklı Projektörlerin Kullanılması .....	95
4.7. Programın Standart Saha Ölçülerinden Farklı Bir Stadyuma Uygulanması .....	111

#### BÖLÜM 5.

ÖRNEK STADYUMLARDAKİ AYDINLATMALARIN İNCELENMESİ ...	115
5.1. Beşiktaş İnönü Stadyumu .....	116
5.1.1. Beşiktaş İnönü Stadyumu için ölçülen değerler .....	116
5.1.2. Beşiktaş İnönü Stadyumu için hesaplanan değerler .....	119
5.2. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu .....	121
5.2.1. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu için ölçülen değerler .....	121
5.2.2. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu için hesaplanan değerler .....	124

5.3. Sakarya Atatürk Stadyumu .....	127
5.3.1. Sakarya Atatürk Stadyumu için ölçülen değerler .....	127
5.3.2. Sakarya Atatürk Stadyumu için hesaplanan değerler .....	129
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	132
KAYNAKLAR .....	136
EKLER .....	143
ÖZGEÇMİŞ .....	154

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

E	: Aydınlık düzeyi
Ed	: Düşey aydınlık düzeyi
Ey	: Yatay aydınlık düzeyi
Edor	: Ortalama düşey aydınlık düzeyi
Eyor	: Ortalama yatay aydınlık düzeyi
Ed <sub>min</sub>	: Minimum düşey aydınlık düzeyi
Ey <sub>min</sub>	: Minimum yatay aydınlık düzeyi
Ed <sub>max</sub>	: Maksimum düşey aydınlık düzeyi
Ey <sub>max</sub>	: Maksimum yatay aydınlık düzeyi
$\Phi$	: Işık akısı
I	: Işık şiddeti
L	: Parıltı
Zh	: Direk yüksekliği
Zx	: Çalışma yüksekliği
Z	: Gerçek yükseklik
X	: Saha boyu
Y	: Saha eni
S	: Alan
D	: Direk taç çizgisi aralığı
G	: Direk aut çizgisi aralığı
Ra	: Renksel geri verim
FİLa	: Kamera arkası projektörlerin ışık akısı
FİLb	: Kamera karşısı projektörlerin ışık akısı
U1	: E <sub>min</sub> /E <sub>max</sub>
U2	: E <sub>min</sub> /E <sub>or</sub>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Nysa (Aydın-Sultanhisar) .....	9
Şekil 2.2.	FIFA normlarına uygun standart saha ölçüleri .....	11
Şekil 2.3.	Beşiktaş, İnönü Stadyumu üst profil görüntüsü .....	12
Şekil 2.4.	Headingley Stadium, Leeds, 1890 .....	15
Şekil 2.5.	Crosley Stadyumu 24 Mayıs 1935, Cincinnati, Ohio. Deşarj lambalarıyla yapılan ilk aydınlatma .....	17
Şekil 2.6.	Panathinakos Stadyumu .....	18
Şekil 2.7.	Amsterdam Arena Stadyumu .....	20
Şekil 3.1.	8 Direkli sistem .....	23
Şekil 3.2.	6 Direkli sistem .....	23
Şekil 3.3.	4 Direkli sistem .....	24
Şekil 3.4.	Direklerin yerleştirilebileceği kısımlar (Uygun yerler yeşil, uygun olmayan yerler kırmızı renk ile gösterilmiştir) .....	25
Şekil.3.5.	Grup projektörlerin dağılımı .....	26
Şekil 3.6.	Direklerde konumlanan projektör grupları .....	27
Şekil 3.7.	Tribün çatı yüksekliğinin fazla olduğu durumda projektörlerin yakın noktalara odaklanmaları: a) Direk yüksekliğinin yetersiz olduğu durum b) Aşırı yüksek direk kullanılması .....	28
Şekil 3.8.	Projektörlerin karşı tribün önündeki noktalara odaklanması .....	29
Şekil 3.9.	Çalışmada dikkate alınan stadyum şeması ve projektörlerin odak noktaları .....	30
Şekil 3.10.	Renk sıcaklıkları .....	34
Şekil 3.11.	Stadyum aydınlatmasında kullanılan metal halide lamba türlerinden biri .....	37
Şekil 3.12.	Stadyum aydınlatmasında kullanılan projektörler ve eksenleri .....	38
Şekil 3.13.	Dar açılı, yuvarlak ve simetrik projektör ışık dağılım eğrisi .....	39



Şekil 3.14. Normal açılı, yuvarlak ve simetrik projektör ışık dağılım eğrisi ...	39
Şekil 3.15. Geniş açılı, yuvarlak ve simetrik projektör ışık dağılım eğrisi .....	40
Şekil 3.16. Normal açılı, dikdörtgen ve simetrik projektör ışık dağılım eğrisi (AA' eksenli değişim düz çizgi ile, BB' eksenli değişim kesik çizgi ile gösterilmiştir.) .....	40
Şekil 3.17. Geniş açılı, dikdörtgen ve simetrik projektör ışık dağılım eğrisi (AA' eksenli değişim düz çizgi ile, BB' eksenli değişim kesik çizgi ile gösterilmiştir.) .....	41
Şekil 3.18. Dikdörtgen ve asimetric projektör ışık dağılım eğrisi (AA' eksenli değişim düz çizgi ile, BB' eksenli değişim kesik çizgi ile, CC' eksenli değişim ise noktalı çizgi ile gösterilmiştir.) .....	41
Şekil 3.19. Stadyum aydınlatma tasarımında kullanılan programların akış şeması .....	44
Şekil 3.20. $Z_h$ , $Z_x$ ve $Z$ yükseklikleri.....	45
Şekil 3.21. Bir lamba ve $r$ yarıçaplı küre .....	45
Şekil 3.22. Bir lamba ve $r$ yarıçaplı küre .....	46
Şekil 3.23. $h$ yüksekliğinde asılı bir lamba .....	47
Şekil 3.24. $h$ yüksekliğinde asılı lambadan $X$ uzaklığında ve $\alpha$ açısında bulunan noktada yatay aydınlık düzeyi .....	47
Şekil 3.25. $h$ yüksekliğinde asılı lambadan $X$ uzaklığında ve $\alpha$ açısında bulunan noktada düşey aydınlık düzeyi .....	48
Şekil 3.26. $E_y$ ve $E_d$ hesaplamalarında kullanılan geometrik üçgen .....	50
Şekil 3.27. Aydınlık düzeyleri hesaplanan noktalar .....	54
Şekil 4.1. “ $Z_h$ ” direk yüksekliği, “ $D$ ” direk-taç çizgisi aralığı ve “ $G$ ” direk – aut çizgisi aralığı değişimi .....	56
Şekil 4.2. Direk yüksekliği değişiminin düşey aydınlık düzeyine etkisi .....	58
Şekil 4.3. Direk yüksekliği değişiminin yatay aydınlık düzeyine etkisi .....	58
Şekil 4.4. Direk yüksekliği değişiminin düşey aydınlık düzeyi dağılımına etkileri: a) $U_{1d}$ b) $U_{2d}$ .....	59
Şekil 4.5. Direk yüksekliği değişiminin yatay aydınlık düzeyi dağılımına etkileri: a) $U_{1y}$ b) $U_{2y}$ .....	60

Şekil 4.6.	Direk yüksekliğindeki değişimlerin düşey aydınlatma dağılımına etkileri: a) $Z_h=20$ m, b) $Z_h=30$ m, c) $Z_h=40$ m, d) $Z_h=50$ m .....	63
Şekil 4.7.	Direk yüksekliğindeki değişimlerin yatay aydınlatma dağılımına etkileri a) $Z_h=20$ m, b) $Z_h=30$ m, c) $Z_h=40$ m, d) $Z_h=50$ m .....	65
Şekil 4.8.	Direk-taç çizgisi aralığı değişiminin düşey aydınlık düzeyine etkisi .....	66
Şekil 4.9.	Direk-taç çizgisi aralığı değişiminin yatay aydınlık düzeyine etkisi .....	66
Şekil 4.10.	Direk-taç çizgisi aralığı değişiminin düşey aydınlık düzeyi dağılımına etkileri: a) $U_{1d}$ b) $U_{2d}$ .....	67
Şekil 4.11.	Direk-taç çizgisi aralığı değişiminin yatay aydınlık düzeyi dağılımına etkileri: a) $U_{1d}$ b) $U_{2d}$ .....	68
Şekil 4.12.	Direk-Taç çizgisi aralığı değişiminin düşey aydınlatma düzeyi dağılımına etkileri: a) $D=10$ m, b) $D=20$ m, c) $D=30$ m, $D=40$ m, e) $D=50$ m .....	71
Şekil 4.13.	Direk-Taç çizgisi aralığı değişiminin düşey aydınlatma düzeyi dağılımına etkileri: a) $D=10$ m, b) $D=20$ m, c) $D=30$ m, $D=40$ m, e) $D=50$ m .....	74
Şekil 4.14.	Direk-aut çizgisi aralığı değişiminin düşey aydınlık düzeyine etkisi .....	75
Şekil 4.15.	Direk-aut çizgisi aralığı değişiminin yatay aydınlık düzeyine etkisi .....	75
Şekil 4.16.	Direk-aut çizgisi aralığı değişiminin düşey aydınlık düzeyi dağılımına etkileri: a) $U_{1d}$ b) $U_{2d}$ .....	76
Şekil 4.17.	Direk-aut çizgisi aralığı değişiminin yatay aydınlık düzeyi dağılımına etkileri: a) $U_{1d}$ b) $U_{2d}$ .....	77
Şekil 4.18.	Direk-Aut çizgisi aralığı değişiminin düşey aydınlatma dağılımına etkileri: a) $G=-30$ m, b) $G=-20$ m, c) $G=-10$ m, d) $G=0$ m, e) $G=10$ m, f) $G=20$ m, g) $G=30$ m .....	81

Şekil 4.19. Direk-Aut çizgisi aralığı değişiminin düşey aydınlatma dağılımına etkileri: a) $G=-30$ m, b) $G=-20$ m, c) $G=-10$ m, d) $G=0$ m, e) $G=10$ m, f) $G=20$ m, g) $G=30$ m .....	85
Şekil 4.20. Asimetrik değişimin düşey aydınlık düzeyine etkisi .....	86
Şekil 4.21. Asimetrik değişimin yatay aydınlık düzeyine etkisi .....	86
Şekil 4.22. Asimetrik değişimin düşey aydınlık düzeyi dağılımına etkileri: a) $U1d$ b) $U2d$ .....	87
Şekil 4.23. Asimetrik değişimin yatay aydınlık düzeyi dağılımına etkileri: a) $U1y$ b) $U2y$ .....	88
Şekil 4.24. Asimetrik değişimin düşey aydınlık düzeyine etkileri .....	92
Şekil 4.25. Kamera tarafı lehine asimetrik artışın yatay aydınlık düzeyine etkisi .....	95
Şekil 4.26. Parametre değişimleri sonucu elde edilen aydınlatma düzeyleri: a) $E_d$ b) $E_y$ .....	96
Şekil 4.27. Parametre değişimleri sonucu elde edilen üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a) $E_d$ b) $E_y$ .....	97
Şekil 4.28. Dar açılı, yuvarlak ve simetrik projektör için hesaplanan aydınlık düzeyleri .....	99
Şekil 4.29. Dar açılı, yuvarlak ve simetrik projektör için üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a) $E_d$ b) $E_y$ .....	100
Şekil 4.30. Geniş açılı, yuvarlak ve simetrik projektör için hesaplanan aydınlık düzeyleri .....	101
Şekil 4.31. Geniş açılı, yuvarlak ve simetrik projektör için üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a) $E_d$ b) $E_y$ .....	102
Şekil 4.32. Normal açılı, dikdörtgen ve simetrik projektör için hesaplanan aydınlık düzeyleri: a) $E_d$ b) $E_y$ .....	103
Şekil 4.33. Normal açılı, dikdörtgen ve simetrik projektör için üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a) $E_d$ b) $E_y$ .....	104
Şekil 4.34. Geniş açılı, dikdörtgen ve simetrik projektör için hesaplanan aydınlık düzeyleri: a) $E_d$ b) $E_y$ .....	106
Şekil 4.35. Geniş açılı, dikdörtgen ve simetrik projektör için üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a) $E_d$ b) $E_y$ .....	107

Şekil 4.36. Dikdörtgen ve asimetric projektör için hesaplanan aydınlık düzeyleri: a) Ed b) Ey .....	108
Şekil 4.37. Dikdörtgen ve asimetric projektör için üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a) Ed b) Ey .....	109
Şekil 4.38. Standart ölçülerden farklı saha için aydınlık düzeyleri: a) Ed b) Ey..	112
Şekil 4.39. Standart ölçülerden farklı saha için üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a) Ed b) Ey .....	113
Şekil 5.1. Beşiktaş İnönü Stadyumu için ölçülen aydınlatma düzeyleri: a) Ed b) Ey .....	117
Şekil 5.2. Beşiktaş İnönü Stadyumu için ölçülen üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a) Ed b) Ey .....	118
Şekil 5.3. Beşiktaş İnönü Stadyumu için hesaplanan aydınlatma düzeyleri: a) Ed b) Ey .....	120
Şekil 5.4. Beşiktaş İnönü Stadı için hesaplanan üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a) Ed b) Ey .....	121
Şekil 5.5. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu için ölçülen aydınlatma düzeyleri: a) Ed b) Ey .....	123
Şekil 5.6. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu için ölçülen üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a) Ed b) Ey .....	124
Şekil 5.7. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu için hesaplanan aydınlatma düzeyleri: a) Ed b) Ey .....	125
Şekil 5.8. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu için hesaplanan üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a) Ed b) Ey .....	126
Şekil 5.9. Sakarya Atatürk Stadyumu için ölçülen yatay aydınlatma düzeyleri .	128
Şekil 5.10. Sakarya Atatürk Stadyumu için için ölçülen üç boyutlu yatay aydınlatma dağılımları .....	128
Şekil 5.11. Sakarya Atatürk Stadyumu için hesaplanan aydınlatma düzeyleri: a) Ed b) Ey .....	130
Şekil 5.12. Sakarya Atatürk Stadyumu için hesaplanan üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a) Ed b) Ey .....	131

## TABLolar LİSTESİ

Tablo.3.1. Stadyumlar için aranan minimum aydınlık düzeyi değerleri.....	31
Tablo.3.2. Stadyumlar için aranan minimum aydınlık düzeyi oranları.....	32
Tablo 3.3. Renk sıcaklığı.....	34
Tablo 3.4. Renk sıcaklığı ve renksel geri verim seçimi .....	35
Tablo 3.5. Matlab programında kullanılan temel parametreler.....	43
Tablo 4.1. Hesaplamalarda referans alınan stadyum parametreleri.....	57
Tablo 4.2. Parametre değişimlerinin etkileri.....	110
Tablo 4.3. Standart saha ölçülerinden farklı bir stadyuma ait parametreler.....	111
Tablo 5.1. Beşiktaş İnönü Stadyumu parametreleri.....	116
Tablo 5.2. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu parametreleri.....	122
Tablo 5.3. Sakarya Atatürk Stadyumu parametreleri.....	127

## ÖZET

Anahtar Kelimeler : Stadyum, Düşey Aydınlatma, Yatay Aydınlatma, Parıltı, HDTV, Metal Halide, Renk Sıcaklığı, Renksel Geri Verim

Stadyum aydınlatma tasarımı olarak gerçekleştirilen bu çalışma, mevcut stadyumlarda yapılan tasarım uygulamalarının bir taklidi değil, farklı bir çalışmanın sonucu olarak ortaya çıkartılan yeni bir hesaplama metodunun detaylı açıklaması şeklinde olmaktadır. Takdim edilen metotta projektörler, odak noktaları ve aydınlık düzeyi hesaplanan noktalar arasındaki sanal üçgenler dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada gerekli hesaplamalar geliştirilen matlab programı ile gerçekleştirilmektedir. Matlab programı ile birçok parametre değiştirilerek, sağlanan aydınlatma düzeyine etkileri ele alınabilmektedir. Çalışmanın bu aşamasında yapılan hesaplamalarla elde edilen değerler ve grafiklerden, 4 direkli aydınlatmada, projektörler sahaya yaklaştıkça sağlanan aydınlatma düzeyinin büyüdüğü, dolayısıyla aydınlatma veriminin arttığı görülmektedir. Buna karşılık bu artışla ters orantılı olarak, projektörlerin sahaya yaklaşmasından kaynaklanan aydınlatma düzeyi arttıkça, saha üzerinde sağlanan aydınlatma düzeyi dağılımının bozulduğu görülmektedir.

Aydınlatma düzeyleri hem yatay hem de düşey olarak ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Geçmişte yatay aydınlatmanın ön planda tutulduğu yaklaşım tarzı yerine, günümüzde yüksek çözünürlüklü HDTV yayıncılığına uygunluk prensibi dikkate alınmaktadır. Televizyon çekimi yapılmayan stadyumlarda bile, tribünlerdeki seyircilerin görsel algılamalarına yönelik olarak düşey aydınlatmanın önemli bir rolü vardır.

Spor sahalarında, renklerin doğru olarak algılanması, hem oyuncuların forma renklerinin gerçek renginde algılanması, hem de renkli televizyon çekimi için çok önemli olduğundan, renksel geriverimi yüksek ışık kaynakları seçmek gerekmektedir. Bu sebeple özellikle uluslararası maçların oynandığı stadyum aydınlatmalarında yüksek çözünürlüklü HDTV yayıncılığına uygun olan renk sıcaklığı yüksek ve yüksek renksel geri verimli Metal Halide ( $R_a > 90$ ) projektör deşarj lambaları kullanılmalıdır.

# **STADIUM LIGHTING PROJECTS WITH PARAMETRIC SIMULATIONS AND APPLICATION EXAMPLES**

## **SUMMARY**

Keywords : Stadium, Vertical Lighting, Horizontal Lighting, Brightness, HDTV, Metal Halide, Colour Temperature, Colour Rendering.

This work of stadium lighting design, is not a copying of design applications in the existing stadiums, but it introduces a new method as result of a different working. In this method, imaginary triangles between floodlights, focus points and lighting level calculation points are taken into consideration. In this work, the required calculations are realized by developing a matlab programme. By varying many different parameters in the matlab programme, the effects to lighting levels were investigated.

Lighting levels are separately calculated as both horizontal and vertical. Instead of horizontal lighting approach that had been done in the past, an appropriate principle for high definition HDTV broadcasting is adopted.

Since the correct perception of colours is essential both for players to be seen in true colours and for color television broadcasting, high color rendering lamps are chosen.. Therefore, in the stadium lightings, particularly for international games, metal halide floodlights discharge lamps possessing high color temperature and color rendering and suitable for high definition HDTV broadcasting must be used.

In this work, from the obtained values for four poles lighting, it was seen that the obtained vertical and horizontal lighting levels and cosequently lighting productivity are increased as floodlights approach to field. On the other hand, as inversely proportional with this increasing, deterioration of lighting level dispersion is observed. At the same time, passing over acceptable limits of brightness values are understood as floodlights approach to field.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Stadyumlar tarihten günümüze, sosyal ve toplumsal açıdan, insanlığın spor, eğlence ve kültürel mimari yapıları olarak yer almış ve almaya devam etmektedirler. Toplum psikolojisi içerisinde hareket etmekten hoşnut olan insanoğlu için stadyumlar, stresten uzaklaşma, heyecan ve sevincin kaynaştığı mekanlar olarak sosyalleşmede önemli bir rol oynamaktadır [1].

Stadyumların bu önemi, onlar için yapılan mimari ve mühendislik çalışmalarını da etkilemektedir. Stadyumlar, akustik ve görsel etkilerinin etkileyici olabilmesi için büyük masraflardan kaçınılmayan mimari ve görsel yapılardır [2]. Bu amaçlarla, giderek daha mükemmele yaklaşan sanatsal ve görsel mimariye sahip stadyumlar inşa edilmeye devam etmektedir. Yeni inşa veya restore edilerek mükemmel bir seremoni alanı haline dönüşen stadyumlar için, büyük masraflardan kaçınılmamaktadır.

Tarihte günışığının aydınlattığı saatlerde stadyumları kullanmaya zorunlu olan insanoğlu, günümüzde gündüz saatlerinde stadyumlarda yer almayı çoğunlukla tercih etmemektedir [3-4]. Bu durum, özellikle güneş ışığını fazla alan ve hava sıcaklığının gündüz aşırı yükseldiği bölgelerde ayrıca bir zorunluluk haline dönüşmektedir. Gecenin ve gece yapılan aydınlatmanın cazibeli etkisi de insanların bu tercihinde önemli bir yer tutmaktadır [5-7].

İlk uygulamaları 20. yy başlarında ortaya çıkan aydınlatılmış stadyumlar [8], özellikle futbol v.b. oyunların bu yüzyılın sonlarına doğru giderek popülerleşmesinin de etkisiyle sayıca artmış ve günümüzde de artmaya devam etmektedir [9-10]. Aydınlatılmış stadyum sayısındaki artışa paralel olarak aydınlatma düzeyi büyüklüğü, aydınlatma dağılımı ve renksel geri verim kalitesi de artmaktadır [11]. Yüksek ışık verimliliğine ve renksel geri verime sahip metal halide lambaların



geliştirilmesi [12-13], stadyumların aydınlatmasına çok büyük katkıda bulunmuştur. Bu sayede daha önceki yıllarda aydınlatılmış olsa bile, aydınlatma düzeyinin yetersizliği, düşük renksel geri verime bağlı görsel etkinin yetersizliği gibi nedenlerle geceleri pek de tercih edilmeyen stadyumlar, bu olumsuzlukların ortadan kalkmasıyla beraber, önceki durumun aksine gündüzleri pek tercih edilmeyen, gecelerin popüler spor ve eğlence ortamları haline gelmişlerdir [14-16].

Stadyumların aydınlatma kalitesindeki bu artışa önemli bir sebep de TV ve TV yayıncılığı kalitesinde meydana gelen teknolojik gelişmelerdir [17-18]. Ayrıca gündüz saatlerinde yapılan TV çekimlerinde, kameraların gölgeli alan ve güneşli alanlara adaptasyon gücü [19-20], stadyumlarda gerçekleştirilen sosyal ve sportif faaliyetlerin çoğunlukla gece saatlerinde yapılmasını gerektirmektedir. Yüksek çözünürlüklü HDTV yayıncılığının kullanılmaya başlanması, TV yayıncılığında önemli bir yer tutan stadyumların da mümkün olduğunca kaliteli aydınlatılmasını gerektirmektedir [21-22].

Yapılan çalışmada 4 direğin her biri üzerinde yer alan projektörler, 16 grup olarak ele alınarak, toplam 64 projektör grubu saha üzerinde 64 ayrı bölgeye odaklanmıştır [23-24]. Projektör gruplarına bağlı olarak gerek projektör güçleri, gerekse projektör sayıları değişebilmektedir. Bütün projektör gruplarının saha üzerinde oluşturmuş olduğu düşey ve yatay aydınlatma düzeyleri, MATLAB dilinde hazırlanan bir bilgisayar programı ile hesaplanabilmekte ve saha üzerindeki aydınlatma düzeylerinin dağılımı üç boyutlu bir grafik ile gösterilmektedir.

Bir stadyumun aydınlatma tasarımı gerçekleştirilirken, projektörler tribün çatısı kenarlarına dizilebileceği gibi çoğunlukla yapıldığı gibi direkler üzerine de monte edilebilir [25-26]. Her iki sistemin de kendisine göre avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Stadyum etrafını komple çevreleyen yüksek tribünlere sahip stadyumlarda projektörleri tribün çatısı kenarlarına dizerek iyi bir aydınlatma elde edilebilir [29-30]. Çoğu stadyum için bu şart sağlanamadığından direk kullanarak aydınlatma zaruri olmaktadır. Direk kullanarak yapılan aydınlatma sisteminde çok sayıda direk kullanılabilmeyle beraber, gerek maliyeti, gerekse stadyum mimarisine

uygunluğu açısından çoğunlukla dört direk tercih edilmektedir. Bu sebeple bu çalışma, dört direkli sistem dikkate alınarak hazırlanmıştır [31-34].

Sağlanan düşey ve yatay aydınlık düzeyleri için direk yüksekliklerinin azaltılması, aydınlık düzeylerinde artmaya yol açarken, aydınlatma dağılımlarını olumsuz etkilemektedir. Direk yüksekliklerinin artırılması, aydınlık düzeylerinde azalmaya yol açarken, aydınlatma dağılımlarını olumlu etkilemektedir. Direklerin taç çizgisine yaklaştırılmaları, aydınlık düzeylerinde artmaya yol açarken, aydınlatma dağılımlarını olumsuz etkilemektedir [35-36]. Direklerin taç çizgisinden uzaklaştırılmaları, aydınlık düzeylerinde azalmaya yol açarken, aydınlatma dağılımlarını olumlu etkilemektedir. Direkler aut çizgisi hizasında, dışında veya içerisinde yerleştirilebilir. Direklerin aut çizgisinden çok içeride, yani yedek kulübelerine yakın yerleştirilmeleri, aydınlık düzeylerinde artmaya yol açarken, aydınlatma dağılımlarını olumsuz etkilemektedir. Direklerin aut çizgisinden dışarıda, yerleştirilmeleri, aydınlık düzeylerinde azalmaya yol açarken, aydınlatma dağılımlarını bir noktaya kadar olumlu etkilemektedir [35-40].

Eşdeğer projektörlerin direklerde eşit sayıda, benzer konumda ve benzer noktalara odaklı olmaları, stadyumda gerçekleştirilen aydınlatmanın simetrik olması sonucunu verir. Kameraların bulunduğu taraf lehine projektör sayılarında ve güçlerinde artışa gidilerek, stadyumun boyuna eksenine göre asimetrik aydınlatma tercih edilebilmektedir. Bu duruma, özellikle stadyumdaki seyirci kitlesinden çok, daha fazla TV seyircisini hedefleyen yüksek yayın gelirleri neden olmaktadır. [41-42] Aynı zamanda, kameraların bulunduğu taraftaki tribünlerde yer alan, diğer tribünlerdekilere göre daha fazla ücret ödeyen seyircilere, daha kaliteli bir ürün sunumu gerçekleştirilmiş olmaktadır [43, 46].

Stadyum aydınlatmasında kullanılan lambaların mümkün olduğunca yüksek ışık verimliliğine sahip olması gerekmektedir [47-48]. Bu şart, gerçekleştirilen aydınlatmanın ekonomik verimliliği açısından zorunludur. Verimliliği yüksek olan lamba, değiştirme işleminin güçlüğü ve yüksek güvenilirlik gereksinimi nedeniyle aynı zamanda uzun ömürlü olmalıdır [49-50].

Bu şartların yanı sıra kullanılan lamba, % 60'ın altında olmayan yüksek renksel geri verime sahip olmalıdır [51-55]. Renksel geri verimin yüksekliği, gerek seyirciler, gerekse kameralar açısında görüntü kalitesini artırıcı bir rol oynamaktadır [56-57]. Gerek sıcak renklerin, gerekse soğuk renklerin mümkün olduğunca iyi algılanabildiği, aydınlatma düzeyinin yeterli olduğu, mümkün olduğunca düzgün dağıtılmış bir stadyum aydınlatması temel amaç olmalıdır. Soğuk renkli lambaların kullanıldığı bir aydınlatmada kırmızı ve kırmızıya yakın tonlardaki renkler çok iyi algılanamayacağı gibi, sıcak renkli lambaların kullanıldığı bir aydınlatmada mavi ve maviye yakın renk tonları iyi algılanamayacaktır [59-60].

Yukarıda belirtilen kriterlerden verimliliğin yüksek olması şartına lamba türleri içerisinde deşarj lambaları uyum sağlayabilmektedir. Deşarj lambaları içerisinde ise verimlilikte en üst sıraları sodyum buharlı ve metal halide lambalar paylaşmaktadırlar. [61-62] Sodyum buharlı lambalar verimlilikte küçük bir oranda önde de olsa, renksel geri verimlerinin aşırı düşük olması nedeniyle, stadyum aydınlatmalarında kullanılmaları imkansızdır. Verimlilikte sodyum buharlı lambalara yaklaşan metal halide lambalar [13], renksel geri verimlerinin yüksekliği nedeniyle stadyum aydınlatmaları için tercih edilen lamba türüdür.

Lambanın verimliliği, renksel geri verimi ve ömrünün yanı sıra diğer bir önemli faktör yerleştirilmiş olduğu armatürdür. Armatür yapının lambayla birlikte sağladığı ışık dağılım eğrisinin şekli, simetrik yada asimetrik olması, stadyum aydınlatma düzeyi ve dağılımı hesaplanırken dikkate alınması gereken çok önemli bir etkidir [63-67]. Yapılan çalışmada farklı firmalara ait değişik projektörler incelenerek, verilen ışık dağılım eğrilerinin birçoğunun tutarlı olmadığı görülmüştür. Bu incelemelerden ve tutarlı bulunan eğrilerden yararlanılarak stadyum aydınlatmasında kullanılabilecek projektörlere ait optimum ışık dağılım eğrileri elde edilmiştir.

Armatürler içerisinde yer alan lamba ile birlikte “projektör” olarak adlandırılırlar. Projektörler, sayıları da dikkate alınarak dar açılı, normal açılı ve geniş açılı olarak tercih edilebilirler. Projektör açısı ile odaklandığı noktada sağladığı aydınlık düzeyi ters orantılı iken, saha üzerinde sağlanan aydınlatma düzeyinin düzgünlüğü doğru orantılıdır [68-72].

Bu çalışmada tasarımı gerçekleştirilen matlab programında, simetrik yada asimetrik ışık dağılım eğrilerine sahip yuvarlak, kare veya dikdörtgen şeklindeki projektörler kullanılarak [30], stadyumların aydınlık düzeyleri hesaplanabilmektedir [73-75]. Kullanılan projektörün asimetrik olması durumunda, aydınlık düzeyi hesaplanan nokta için en uygun olan değişim eğrisi program tarafından dikkate alınmaktadır. Her bir projektör grubunun her bir nokta için oluşturduğu sanal üçgenler ve parametre büyüklükleri, program tarafından ayrı ayrı dikkate alınarak ve hesaplanarak her noktanın toplam düşey ve toplam yatay aydınlatma düzeyleri bulunmaktadır. Böylece 64 noktaya 64 grup projektörün sağladığı aydınlık düzeyleri program tarafından ayrı ayrı hesaplanarak, bu noktalar için toplam aydınlık düzeyleri bulunmaktadır.

Hesaplamalarda, üç boyutlu ortam içerisinde yer alan projektör, odaklandığı nokta ve aydınlatma düzeyi hesaplanan noktalar arasında sanal üçgenler oluşturularak, bu üçgenlerden yararlanılmaktadır. Bu üçgenlere, kullanılan projektörlerin ışık dağılım eğrileri dikkate alınarak “point-point” (nokta-nokta) metodu uygulanmaktadır [76, 82].

Düşey ve yatay aydınlatma için bulunan değerlerin minimum, maksimum ve ortalama değerleri ile U1 ve U2 dağılım katsayıları hesaplanarak FIFA normlarına uygun olması hedeflenmektedir [23-24, 83-85].

Programda saha boyutları, direklerin yüksekliği, direklerin taç çizgisine uzaklığı, direklerin aut çizgisine uzaklığı projektör güçleri ve projektör tipleri değişken büyüklüklerdir [86-90]. Projektör sayıları ise, 16 grup içerisinde düzgün bir dağılım sağlaması şartı ile değişkendir. Programın sabiteleri ise 4 adet direk kullanılması ve 64 projektör grubunun 64 ayrı noktaya odaklanmış olmasıdır. Bu faktörlerin dışındaki parametreler değiştirilerek, düşey ve yatay aydınlatma düzeyleri üzerindeki etkileri incelenebilir. Direk yüksekliği, direk taç çizgisi aralığı ve direk aut çizgisi aralıkları değişimlerinin düşey ve yatay aydınlatma düzeylerine etkileri detaylı olarak ele alınmaktadır. Bu etkilerdeki değişimler şekiller ve üç boyutlu grafikler ile gösterilmektedir.

Çalışmada tasarlanılan matlab programı ile, standart saha ölçülerine sahip stadyumlar dışında, çok farklı ölçülere sahip stadyumların, sahaların, hatta alanların aydınlık düzeyleri hesaplanabilmektedir.

Saha üzerinde aydınlık düzeyi hesaplanan noktaların parlaklık değerleri de program tarafından hesaplanmaktadır. Yapılan hesaplamalarda, bu değerlerin FIFA tarafından belirlenen limit değerleri aşmaması amaçlanmaktadır. Direk yüksekliğinin yetersiz olduğu durumlarda, düşey parlaklık değerleri kabul edilebilir limiti aşabilmektedir.

Yapılan bu çalışma ile stadyum aydınlatmasına yeni bir yorum ve uygulama imkanı getirilmektedir. Aydınlatma alanında faaliyet gösteren büyük firmalara ait bilgisayar programları mevcut olmasına karşın, bu programlarda o firmaya ait yada o firmanın tercih ettiği projektör ve armatürlerin seçimi zorunlu olmaktadır [91-94]. Çoğunlukla saha ebatları ve direk yerlerinin değişimi için çok sınırlı seçenekler mevcut olmaktadır [95-98]. Burada gerçekleştirilen çalışmada ise, ebatları ne olursa olsun, büyük yada küçük bir herhangi bir stadyumun, istenilen projektörler ile, istenilen noktalara istenilen yükseklikte direkler yerleştirilerek aydınlatma hesapları yapılabilmektedir. Hesaplama kullanılan sanal üçgenler, stadyum aydınlatma düzeyinin hesaplamasında farklı bir metot oluşturmaktadır.

Bu amaçlar doğrultusunda, tezin İkinci Bölümü'nde stadyumlar ve stadyumların gelişimi futbol ile ilişkilendirilerek açıklanmıştır.

Üçüncü Bölüm'de, geliştirilen stadyum aydınlatma tasarım metodu açıklanmıştır. Tasarım metodunun dayandığı temel aydınlatma ilkeleri, tasarım için gerekli stadyum ve aydınlatma parametreleri, tasarımın uyması gereken uluslararası norm değerler, tasarım için geliştirilen sanal üçgen metodu ve bu metodun dayandığı matematiksel dönüşümler gösterilmiştir.

Dördüncü Bölüm'de, direklerin yüksekliği, direklerin taç çizgisine uzaklığı, direklerin aut çizgisine uzaklığı değişimleri ile asimetrik değişim ve farklı projektör kullanımları değişimlerinin aydınlatma düzeyleri ve dağılımlarına etkileri

incelenmiştir. Tüm bu incelemelerin etkileri, şekillerle ve üç boyutlu grafiklerle gösterilmiştir. Ayrıca standartlara uymayan ölçülere sahip bir stadyumun aydınlatma tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Beşinci Bölüm'de geliştirilen tasarım metodu ve matlab programı Beşiktaş İnönü Stadyumu, Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu ve Sakarya Atatürk Stadyum'larına uygulanarak, bu stadyumlar için ölçülen değerler ile hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır. Ölçülen ve hesaplanan tüm değerler şekillerle ve üç boyutlu grafiklerle gösterilmiştir.

Altıncı Bölüm sonuç ve önerilerdir.

## **BÖLÜM 2. STADYUMLAR VE STADYUMLARIN GELİŞİMİ**

Stadyumlar, antik çağlardan günümüze, spor ve spor dışı sosyal aktiviteler için insanoğluna hizmet eden mimari yapılardır. Bu sebeple stadyumların mimari yapıları, hizmet ettikleri topluluğun kültürel ve sosyal özelliklerine göre sürekli değişerek günümüze gelinmiştir.

Antik çağlarda inşa edilen stadyumlara bakıldığında, müsabaka veya gösteri alanı olarak adlandırılabilen alanların sınırlı olduğu görülmektedir. Çünkü bu zamanlarda stadyumlarda yapılan birçok müsabaka, gösteri yada toplumsal olaylar çok az sayıda kişi yada kişilerce gerçekleştiriliyordu. Bu tür stadyumların mimari yapıları incelendiğinde çoğunun dairesel, oval, yarı dairesel veya yarı oval yapıda oldukları görülmektedir. (Şekil 2.1.) Sahne alanı etrafında çevrelenen seyirci tribünleri kat kat yükselerek, günümüz stadyumlarındakine benzer şekilde, bir seyircinin diğerinin görüş açısını etkilemesi engellenmektedir. Bu tür mimari yapıya sahip olmalarının diğer bir avantajı da, sadece doğal insan sesinin kullanılabilmesi nedeniyle akustik açıdan ses yayılımının en iyi sağlandığı şekil olmasıdır.

İnsanoğlunun stadyumlara ilgisi çok eskilere dayanmakla beraber, bu ilgiyi asıl meydana getiren etkinin barış ve huzur ortamı olduğu söylenebilir. Çünkü geçmişte stadyum inşa eden uygarlıklar incelendiğinde, bu toplumların sosyal ve siyasi sorunlarının birçoğunu gidermiş topluluklar olduğu anlaşılmaktadır.

Daha sonraki asırlara bakıldığında, stadyum ve stadyum aktivitelerinde büyük bir azalma olduğu görülecektir. Çünkü onlarca asrı bulan bu zaman dilimlerinde insanoğlu, dünyanın birçok yerinde açlık, hastalık ve savaşlarla uğraştığından spor ve sosyal aktivitelerden büyük ölçüde uzaklaşmıştır.

Stadyumların tekrar aktivitelerini kazanmaya başlamaları 19. yüzyıl başlarında Avrupa ve özellikle İngiltere’de gerçekleşmeye başlamıştır. Stadyumların hızlı bir tarihsel dönüşüm geçirdiği son iki asırda atletizm gibi diğer spor dallarının da bir ölçüde etkisi olmasına rağmen, stadyumların gelişimine asıl ivme veren etki futbolun tarihsel gelişimidir. Futbolun gerek amatör, gerekse profesyonel olarak oynadığı bu zaman diliminde birçok yeni stadyum inşa edildiği gibi, mevcut stadyumlar da büyük bir değişim ve gelişim göstermiştir.



Şekil 2.1. Nysa (Aydın-Sultanhisar)

Geçmişte birkaç bin metrekarelik arazinin yeterli olduğu stadyumlar, yalnızca futbol oyun sahasının 7000 metrekare gibi büyük alan gerektirmesi ve bu alana tribünler için de gerekli alanının ilavesi ile minimum 10000 metrekare alan gereken mimari yapılar haline gelmişlerdir.

Çoğunlukla bir şehrin en kıymetli ve merkezi yerine yerleştirilen stadyumlar için yapılan masraflar da, stadyumlara verilen önem sebebiyle giderek artmıştır. Sadece futbol ve benzeri müsabaka sporlarına hizmet eden stadyumlar olmakla



beraber, genellikle stadyumların çoğu birer spor kompleksi olarak tasarlanmakta ve inşa edilmektedir.

## 2.1. Futbol

Futbol, dünyada en yaygın takım sporudur. Başta Avrupa ve Güney Amerika ülkeleri olmak üzere hemen tüm ülkelerde çok sevilir ve geniş bir izleyici kitlesi tarafından izlenir. İngilizce football'dan türetilen futbol, "ayak topu" anlamına gelir. Daha ilköğretimde futbolu andıran oyunlar oynandığı bilinmektedir. Avrupa'da İ.Ö. 2. yüzyılda Romalılarca yaygınlaştırılan bir oyun, futbola çok benziyordu. Bu oyun bugünkü futbolun öncüsü sayılır. Bu eski Roma oyunu, İngiltere'de öylesine sevilmişti ki, karşılaşmalar kentler arasında çatışmaya bile yol açmıştı. Bundan dolayı bu oyun 12. yüzyılda yasaklandı.

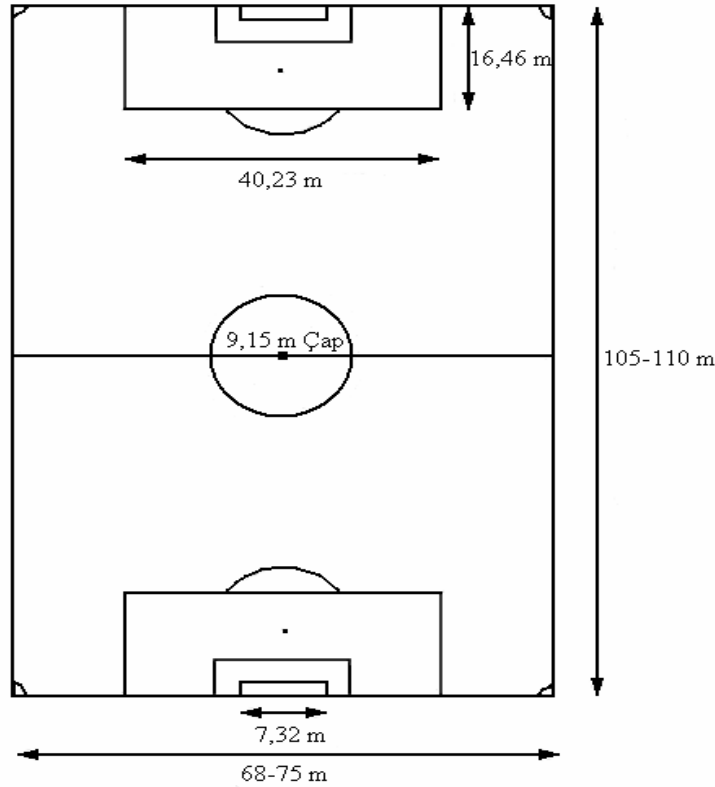
Günümüzde oynanan futbol, İngiltere'de 19. yüzyılın sonlarında kurallara bağlandı. 1863'te İngiltere'de kurulan Futbol Birliği bu kuralları belirledi. Oyunda sert, acımasız ve kırıcı hareketler yasaklandı. Bu anlayışı sürdürenler ise, futbolun değişik biçimi sayılan ragbiyi geliştirdiler. Futbol, 19. yüzyılın sonlarında İngiltere'den Avrupa'ya yayıldı. Kısa bir süre içinde de dünyanın birçok ülkesinde oynanan bir spor haline geldi. 1904'te Uluslararası Futbol Federasyonu (FIFA) kuruldu. FIFA'nın yönetiminde 1930'da ilk Dünya Kupası karşılaşmalarını düzenledi. Futbol 17 kuraldan oluşur. Bunlar:

Oyun Alanı, top, oyuncuların sayısı, oyuncuların giysisi ve gereçleri, hakem, yardımcı hakemler, oyunun süresi, oyunun başlaması ve tekrar başlaması, topun oyunda ve oyun dışında olması, gol yapma yöntemi, ofsayt, fauller ve fena hareketler, serbest vuruşlar, penaltı vuruşu, taç atışı, kale vuruşu, köşe vuruşu'dur

Futbol 11'er kişilik iki takım arasında oynanır ve kendine özgü kuralları vardır. Oyunun amacı, ayakla topu rakip kaleye sokmaktır. Topu elle ve kolla oynamak kesinlikle yasaktır, ama kafa ile ya da kurallara uygun olarak bedenin herhangi bir yeriyle topa vurulabilir. Yalnızca kaleciler belirlenmiş bir alan içinde topu elle tutabilir. Futbolcular kendi takımının simgesi olan forma giyerler. Her oyuncunun forması üzerinde farklı bir numara yazılıdır. Yalnızca kaleciler, öbür oyuncuların

kolayca ayırt edilebilmesi için farklı renkte forma giyer. Bütün futbolcular, bu oyun için uygun biçimde üretilmiş özel ayakkabılar kullanırlar.

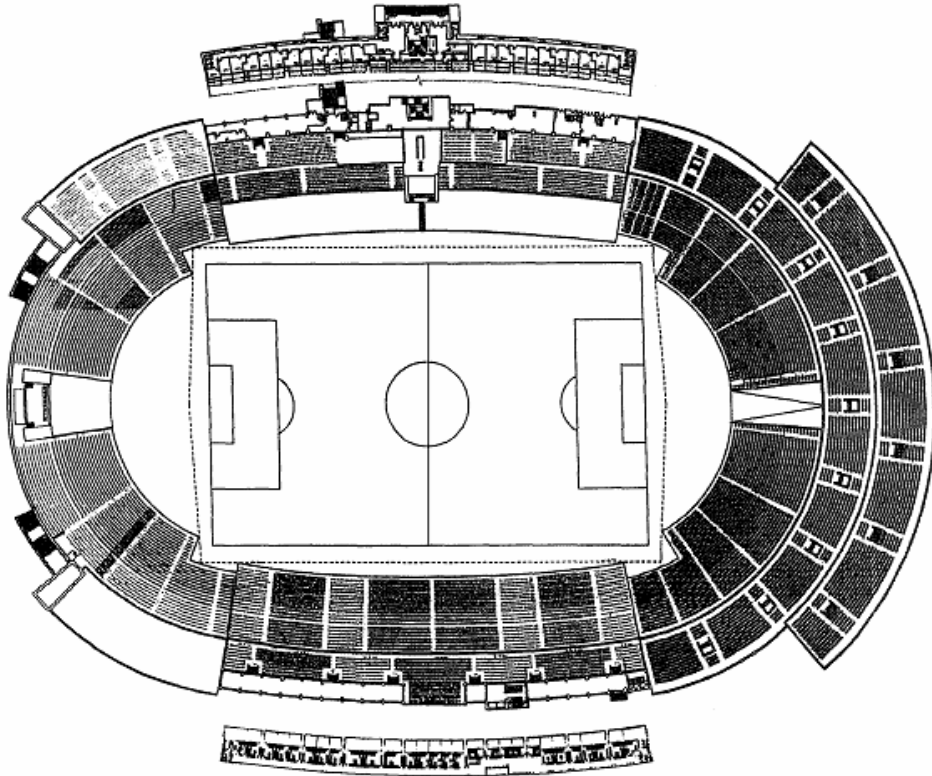
Futbol alanı dikdörtgen biçimindedir ve uzunluğu 90-120 metre, genişliği ise 45-90 metredir, ancak uluslararası maçlarda bu ölçüler uzunluk 105-110 metre, genişlik 68-75 metredir. (Şekil 2.2.) Uzun kenarlara taç çizgisi, kısa kenarlara aut çizgisi denir. İki taç çizgisi arasında uzanan ve alanı tam ortasından ikiye bölen çizgiye ise orta çizgi adı verilir. Orta çizginin tam ortasında 9,15 metre yarıçapında bir çember bulunur ve bu çembere de orta yuvarlak ya da santra yuvarlağı denir. Karşılaşma bu çemberin içinden yapılan vuruşla başlar. Karşılaşma başlamadan önce oyuncular, kendi yarı alanlarında yer alırlar. Kale çizgilerinin tam ortasında birer kale bulunur. Kale iki kale direği ve bir üst direkten oluşur. İki direk arası 7,32 metre, üst direğin yerden yüksekliği ise 2,44 metredir. Futbol topunun çevresi 68-70 cm, oyunun başlangıcındaki ağırlığı ise 410-450 gram arasında değişir.



Şekil 2.2. FIFA normlarına uygun standart saha ölçüleri

Kale önlerinde kale çizgisine bitişik olmak üzere 40,32 x 16,46 metre boyutlarında ceza alanı bulunur. Bu alan içinde, kalenin hemen önünde 18,32 x 5,5 metre boyutlarındaki başka bir alana da kale alanı denir.

Stadyumlar sadece sahalardan ibaret olmayıp, atletizm pistleri ve tribünlere de sahip olabilirler. Stadyumların türüne göre, tipleri ve büyüklükleri farklılıklar gösterir. Şekil 2.3.'de atletizm pisti önce mevcut olmasına rağmen, sonradan kaldırılan, Beşiktaş İnönü Stadyumu'na ait üst profil görüntüsü görülmektedir.



Şekil 2.3. Beşiktaş, İnönü Stadyumu üst profil görüntüsü

Bütün ülkelerin futbol federasyonları FIFA'ya bağlıdır ve FIFA'nın merkezi Züriç'tedir. Ayrıca Avrupa Futbol Federasyonları Birliği (UEFA) gibi beş tane de kıta konfederasyonu vardır. (AFC, CAF, CONCACAF, CONMEBOL, OFC)

Ulusal futbol karşılaşmaları, her ülkenin kendi futbol federasyonunun yönetiminde yapılır. Olimpiyat Oyunları'ndaki futbol karşılaşmaları ile Dünya Kupası gibi karşılaşmalar ise FIFA düzenler. Ayrıca her kıta konfederasyonu da kendi yetki

alanında karşılaşmalar düzenler. UEFA'nın düzenlediği, Şampiyonlar Ligi, UEFA Kupası, İntertoto Kupası ve Kupa Galipleri Kupası bu tür turnuvalardır.

### **2.1.1. Futbolun sektörleşmesi**

Genel kanı futbolun fazla hırçın ve erkeksi bir spor olduğu ve ticarileşmenin bu sporun medenileşmesine katkıda bulunacağı idi. Buna karşılık futbolun geleneksel kurumsal yapısı bu dönüşüme uygun ve eğilimli görünmüyordu. Sponsorluk ve yayın anlaşmaları futbolun beklenenin çok ötesinde bir ticari potansiyeli olduğunu ortaya koydu. Futbol federasyonları başlangıçta bu tür ticari girişimlere karşı koydular. Fakat büyük kulüpler ve bunların iş adamı yöneticileri politik ve ekonomik güçlerini devreye sokarak formalara reklam alınabilmesini ve diğer sponsorluk anlaşmalarını onaylatabildiler.

Bu ise sponsorların büyük kulüplere eğilim göstermesi nedeniyle büyük kulüpler ve diğerleri arasındaki ekonomik fay hattının derinleşmesine neden oldu. Böylece büyük kulüpler kendilerini lig formatından giderek daha bağımsız olarak algılamaya ve yeni inisiyatifler oluşturmaya başladılar.

Profesyonel futbola serbest pazar ilkelerinin girişi genellikle 1960'ların başında "maksimum ücret" uygulanmasına son verilmesi olarak düşünülür. Bu uygulamanın kaldırılması ile oyuncu ücretlerinde gözlenen olağanüstü artış eğilimi genellikle büyük kulüplerin başa çıkabildiği bir enflasyonist ortamın doğmasına yol açtı. Büyük kulüplerin ekonomik çıkarları giderek onların ligin geri kalan bölümünden kopmalarına yol açtı. Profesyonel futbol artık kapı girişinden elde edilen gelirle kendini sürdürüyor ve yeni gelir türlerinin bulunması gerekiyordu.

1980'lerde forma sponsorluğu ve ilk TV sözleşmeleri aranan alternatif gelirlerin bir kısmını oluşturdu. TV ler daha fazla reklam çekeceğini düşündükleri büyük kulüplere daha fazla ilgi gösterdiler. Büyük kulüpler de bu yeni kavuştukları finansal olanaklar ile ligin geri kalan kısmından ekonomik olarak giderek kopuk hale geldiler.

1990’larda 1. ligler giderek daha bir seçkinler ligi haline dönüştüler. 1980’lerdeki bazı stadyum faciaları da hükümetleri futbol sahaları konusunda bazı önlemler almaya sürükledi. Artık futbol sektörü de diğer sektörlerdeki ticarileşme ve küreselleşme eğilimlerine paralel davranmalı idi. Yeni kurallara uygun tamamen oturmalı ve alış-veriş merkezli statlar inşa edilmeye başlandı. Bu gelişmeler toplumlara egemen olan ticarileşme eğilimleri ile uyum halinde idi ve futbol sektörü de giderek daha ticari bir görünüm kazandı. Bu gelişmeler aynı zamanda kulüplerin yönetimini de geleneksel formlardan daha fazla girişimcilik ve finans yönetimli bir hale dönüştürdü. Bu iki fonksiyonun birleşimi; “İyi Yönetişim-Good Governance” olarak bilinmektedir.

Futbol sektörünün bir kamu alanı olayı olmaktan çıkarak kar amaçlı bir ticari faaliyet haline dönüşmüş olması, stadyumları daha önemli mimari yapılar haline getirmiştir. Stadyumların daha önemli hale gelmeleri ile birlikte, yeni yapılan stadyumlarda, eski stadyumlara göre önemli yapısal değişikliklere gidilmektedir.

## **2.2. Stadyumlarda Modernleşme**

19. yüzyılda futbolun kitlesel izlenmesine yönelik stadyumlar inşa edilmeye başlanmakla beraber, bu stadyumlar 20. yüzyılda inşa edileceklerine nazaran basit mimari yapılara ve düşük seyirci kapasitelerine sahipti. Örneğin İngiltere ‘de Leeds kentinde 1890 yılında inşa edilen Headingley stadyumu sadece 5300 kişilik seyirci kapasitesine sahipti. (Şekil 2.4.) Günümüzde de bu stadyuma benzer yapıda seyirci kapasitesi sınırlı sayıda olan stadyumlar mevcut olmakla beraber, bu tür stadyumlara ancak küçük yerleşim merkezlerinde rastlanılabilmektedir.

Futboldaki en önemli dönüşümlerden biri herkesin oturma durumunda olduğu stadyumların mecburi hale getirilmesidir. Bu durum kalabalıkların daha etkin kontrolünü sağlamakta ve gerilimlerin şiddete dönüşmesini önlemektedir. Stadyumların aynı zamanda ticari merkezlere dönüştürülmesi ile, futbol daha sosyal bir yüz kazanmıştır. Ticarileşme bir anlamda şiddetin ve zorbalığın hoş görülmediği pazar ahlakının futbola yansımasıdır. Futbolun daha çok tüketiciye yönelik bir anlayışla sunulması ile taraftarlar ve kulüpler yeni bir ilişki kalıbı içinde yer almaya

başlamışlardır. Böylece toplumun daha varlıklı kesimleri futbola çekilirken yoksul ve daha öfkeli kesimler ticari olarak dışlanmış olmaktadır.

Yeni ticari model, futbolun yoksul emekçi kesimlerden gelen taraftarlarını, daha varlıklı beyaz-yakalı orta-sınıf müşteriler ile değiştirme sürecindedir. Eski model ekonomik olarak herkesin bütçesi için uygundu. Yeni model ile taraftarın kulübü ile sosyal bağı yeniden tanımlandı ve taraftarlık bir anlamda meydan okuma ile karşı karşıya kaldı. Artık taraftarın geleneksel gönül desteği değil müşterinin parasal desteği anlamlı hale geldi. Yeni müşteri-taraftar daha disiplinli, daha uyumlu ve kulübün ticari ürünleri için de potansiyel müşteridir. Önceki geleneksel erkek egemen yapısına karşılık, kadınların daha fazla görüldüğü bir karışımı yansıtır.



Şekil 2.4. Headingley Stadium, Leeds, 1890

Bu değişimlere karşı bazı direnişler gözlenmekte ise de ticari modellerin kuralları ve uygulaması duruma tamamen hakim görülmektedir. Buna karşılık yeni taraftar külesinin yarattığı futbol iklimi eski sadık taraftarların yarattığı coşkulu ve ateşli iklimin oldukça uzağındadır. Bu da futbolu sıcak ve satılabilir bir ürün olmaktan gittikçe uzaklaştırmaktadır.

Futbol izlemekten keyif alınan bir tiyatro veya opera olayı değildir. Seyircilerin de bir türlü katkı sağladığı bir çatışma ritüelidir. Sadece sahadaki futbolcular değil tribünlerdeki veya TV'lerini başındaki izleyiciler de bu rekabeti yaşamaktadır. Sonuç kazanmak veya kaybetmek olsa bile, bir tür sosyal boşalmaya yol açmaktadır. Bu da ücreti karşılığı satın alınabilecek sıradan bir ticari ürün değildir. Bir kollektif performans olayıdır.

Futbol oyunu için yararsız olan atletizm pistinin iptal edilmesi, seyircinin kendi perspektifinden mekân ve mesafeyi daha iyi algılamasına yaradığı gibi, genel görüşlü bir kameranın yerini alacak bütünlüklü bir 'zoom'un kullanılmasına hizmet eder.

### **2.3. Stadyumların Aydınlatılması**

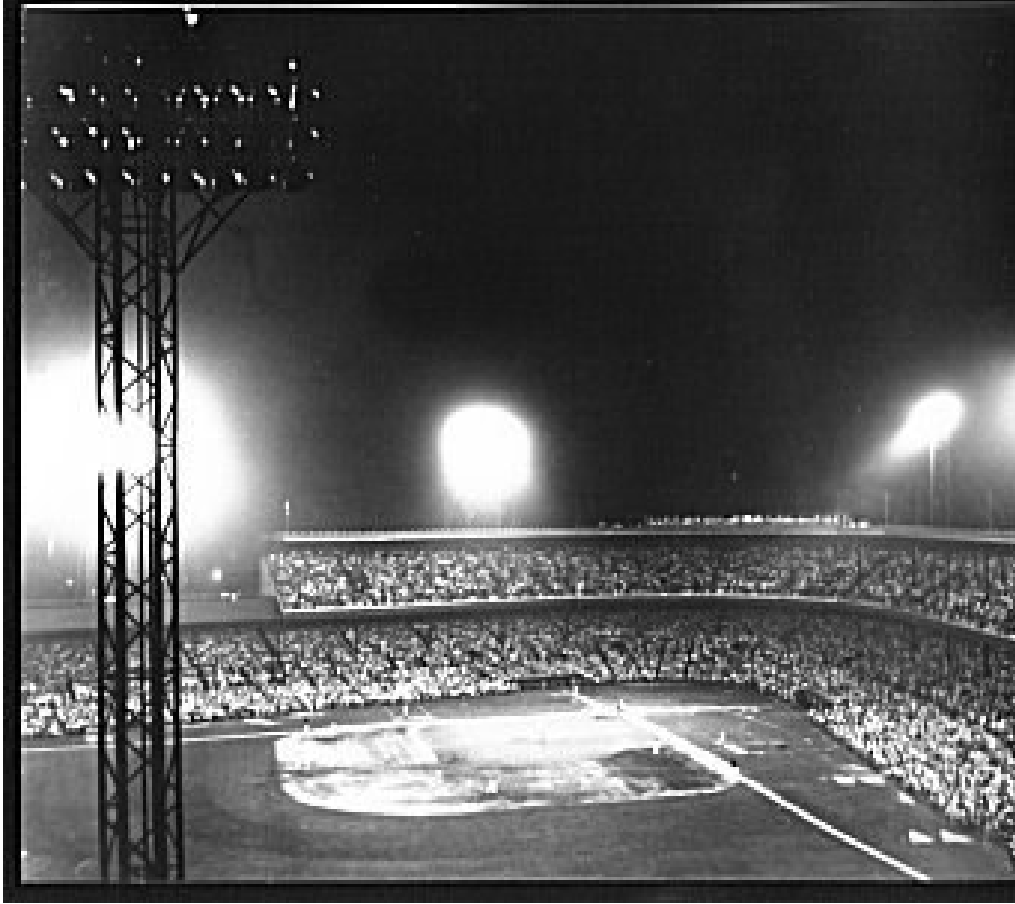
Stadyumlar, elektriğin yoğun kullanılmaya başladığı 20. yüzyıl başlarından itibaren aydınlatılmaya başlanmakla beraber, ilk aydınlatma sistemleri, ışık verimi düşük, enkandesan projektörler ile düşük aydınlık seviyeleri için gerçekleştirilmekte idi. Dünyada günümüzdekine yakın gerçekleştirilen ilk stadyum aydınlatması 24 Mayıs 1935'de Amerika'nın Ohio eyaletinin Cincinnati kentinde Reds Victorious ile Phillies beyzbol takımları arasında oynanan karşılaşmada gerçekleştirilmiştir. (Şekil 2.5.)

Yapılan bu aydınlatmada, 8 metal direk üzerine monte edilmiş toplam 632 adet, o zamanlar için dünyada elektronik lambalar da üreten Ken Rad firması ürünü 1500 W'lık Metal Buharlı deşarj lambalı armatür kullanılmıştır. Sağlanan aydınlık düzeyi ile ilgili net bir ölçüm değeri bulunmamakla beraber, bu karşılaşma için ertesi gün yorum yazan muhabirlerden Edgar G. Brands ilgili yazısında yapılan aydınlatmanın gün ışığına yakın olduğunu ve her bir oyuncunun rahatlıkla görülebildiğini belirtmektedir.

Avrupa'nın en önemli stadyumlarından Manchester United takımının Old Trafford Stadyumunun 1957'de ortalama 200 lüks aydınlık şiddetinde aydınlatıldığı ve bu aydınlatma için enkandesan halojen projektör kullanıldığı düşünüldüğünde, 1935 yılında Crosley Stadyumu'nu dolduran seyircilerin ne kadar büyük bir teknolojik gelişmeye tanık olduğu kaçınılmazdır. Bu gelişmeyi takiben 1940 ve 1950'li yıllarda

Amerika'da ki birçok ünlü stadyum aydınlatılmıştır. Avrupa'da ise II. Dünya savaşının yıkıcı etkileri sebebiyle geciken stadyum aydınlatmaları, 1960 ve 1970'li yıllarda ivme kazanarak giderek artmıştır.

1980'li yıllara kadar öncelikle seyircilere yönelik olarak gerçekleştirilen stadyum aydınlatmaları, bu yıllardan sonra giderek medyanın taleplerine doğru yönlendirilmeye başlamıştır. Daha nceki yıllarda bazı stadyumlarda ekonomikliği nedeniyle tercih edilen cıva buharlı, sodyum buharlı yada düşük kaliteli metal buharlı projektör lambalar, yüksek kaliteli metal halide projektörler ile yer değiştirmiştir. Projektör kalitesinin yüksekliliği sadece ışık akısının fazlalığından değil, renksel geri veriminin yksekliliğinden de kaynaklanmaktadır.



şekil 2.5. Crosley Stadyumu 24 Mayıs 1935, Cincinnati, Ohio. Deşarj lambalarıyla yapılan ilk aydınlatma



1990'lı yılları takiben yüksek çözünürlüklü HDTV televizyon yayıncılığının giderek önem kazanması sebebiyle, kameralar stadyumlarda daha sık ve daha çok sayıda yer almaya başlamışlardır. Daha önceki yıllarda sodyum, cıva veya düşük kaliteli metal buharlı projektörler ile gerçekleştirilen düşük renksel geri verimli stadyum aydınlatmaları, bu dönemde hızla iyileştirilmiş ve iyileştirilmeye devam edilmektedir. Bu dönemin gerektirdiği modern tarzda aydınlatılmış Panathinakos Stadyumu şekil 2.6.'da görülmektedir.



Şekil 2.6. Panathinakos Stadyumu

Gerek yalnız enkandesan halojen projektörlerin kullanıldığı, gerekse cıva ve sodyum buharlı projektörler ile enkandesan halojen projektörlerin birlikte kullanıldığı alternatif çözümler, renk ve görüntü kalitesindeki olumlu etkilerine rağmen tercih edilmezler. Çünkü tesis masrafını azaltan bu tür çözümler, işletme maliyetini kat kat arttırmaktadır. Yüksek ışık verimliliğine sahip, metal buharlı projektörlerle yapılan bir stadyum aydınlatması, en düşük limitler için bile çoğu kez 200 Kw'dan daha az güçle gerçekleştirilememektedir.

### 2.3.1. Stadyum aydınlatmasına TV yayıncılığının etkileri

1871 yılındaki İngiltere ve İskoçya arasındaki ilk karşılaşmadan bu yana, futbol birçok değişiklikler göstermiştir. Milyarlarca insan, amatör düzeyden profesyonel düzeye kadar gerek oyuncu, gerek seyirci ve gerekse de izleyici olarak futbol ile ilgilidir. Medya özellikle son yıllarda TV yayın teknolojisinde meydana gelen ilerlemelere bağlı olarak, futbolun günümüzde oynadığı baskın rolün giderek daha çok farkına varmaktadır. TV yayıncılığı, futbol endüstrisi için önemli olmakla beraber, bu önem yüksek çözünürlüklü (HDTV) kamera ve televizyonların kullanılması ile giderek artmıştır [17].

İlk olarak 1990 İtalya Dünya Kupası'nda uygulanan yüksek çözünürlüklü TV yayıncılığı büyük beğeni toplamıştır. Futbol aktivesinde son yıllarda meydana gelen hızlı gelişmeler, stadyum ve saha kalitelerinin artışına paralel olarak resim kalitesi yüksek ve büyük ölçekli televizyonlar izleyiciye farklı bir izleyiş ve futbol ziyafeti sunmuştur.

Futbolun günümüz dünyasındaki baskın rolünün farkında olan medya bu etkiyi giderek sınırları daha da zorlayıcı tarzda kullanmak istemektedir. Futbolun günümüzdeki popülaritesi televizyon yayıncılığı açısından bulunmaz bir faaliyet alanı olmaktadır. Geçmişte bir maçın sadece TV'de yayınlanmış olması bile insanları mutlu etmek için yeterli olurken günümüzde bu yeterli olmamaktadır. Günümüz toplumu birçok alanda olduğu gibi seyrettiği müsabakaların ses ve görüntülerinde de mükemmeli aramaktadır. Bu mükemmelliğin fazlasıyla sağlandığı stadyumlardan biri olan Amsterdam Arena Stadyumu'ndan bir enstantane şekil 2.7.'de görülmektedir.

Elektronik alanındaki büyük ilerlemeler, görüntüleme aygıtlarını yüksek çözünürlükte görüntü elde edebilecek ve tekrar görüntüleyebilecek düzeye erişirmiştir. Futbolun bu derece medyatik bir spor haline gelmesi onu giderek daha da fantastik hale getirmektedir. Bunların sonucu olarak bu kadar popüler bir spor olan futbolun, büyük paraların döndüğü ekonomik bir sektör olması da kaçınılmazdır.

Futbolun ekonomik ve sosyal açıdan daha da popüler hale gelmesi, gece maçlarını ve stadyumların gece aydınlatılmasını giderek daha önemli hale getirmektedir. Birçoğu gece oynanan FIFA Dünya Kupası, Avrupa Şampiyonası, Şampiyonlar Ligi ve Amerika Kupası gibi karşılaşmalar, hemen hemen herkesin dikkatini çekmektedir. Bu sebeplerle stadyumları geçmişte olduğu gibi sadece aydınlatmak günümüzde yeterli olmamaktadır. Yapılan aydınlatmanın kalite ve yeterlilik standartları FIFA standartlarını taşımadığında, o statta gece maçı oynanmasına federasyonlarca çoğunlukla izin verilmemektedir.



Şekil 2.7. Amsterdam Arena Stadyumu

### **BÖLÜM 3. STADYUM AYDINLATMA TASARIMI**

Yapılan bu çalışmada ölçüleri küçük orta veya büyük olabilecek bütün stadyumlara uyum sağlayabilecek bir tasarım programı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu programda saha üzerinde aydınlık düzeyi hesaplanan her bir nokta için 4 direk üstünde yer alan 64 adet grup projektörün sağladığı aydınlık düzeylerinin toplamı dikkate alınmaktadır. Programda saha boyutları, direk yükseklikleri, direklerin taç çizgisine uzaklığı, direklerin aut çizgisine uzaklığı, projektör güçleri ve projektör tipleri değişken büyüklüklerdir. Projektör sayıları ise, 16 grup içerisinde düzgün bir dağılım sağlaması şartı ile değişken olabilmektedir. Programın sabiteleri ise 4 adet direk kullanılması ve 64 projektör grubunun 64 ayrı noktaya odaklanmış olmasıdır.

Stadyum mimari engelinin aşılma zorunluluğu ve yeterli düşey aydınlatma düzeyinin sağlanabilmesi nedenleriyle her direk üzerinde yer alan grup projektörler, yer aldıkları yarı saha tarafındaki, kendilerine uzak olan bölgeye yönlendirilmişlerdir., Direk yüksekliklerinin büyük oranda arttırılması, aydınlatma verimliliğinin düşmesi ve yatay aydınlatma düzeyinin yetersizliği gibi sakıncalar nedeniyle farklı bölgelere yönlendirme yapılmamıştır.

Tasarlanmış olan programda kullanılan projektörlerin dar, normal yada geniş açılı olması tercihe bağlıdır. Projektör tipi de benzer şekilde simetrik yada asimetric olarak seçilebilir. Projektörler içerisinde yer alan lambaların, yüksek verimlilik, yüksek renk sıcaklığı ve yüksek renksel geri verim gibi özellikleri bir arada topladığından metal halide deşarj lambası olması gerekmektedir.

Gerçekleştirilen program aydınlatma sistemi tasarlanan bir stadyumun gerek kendi parametresel büyüklüklerini, gerekse tercih edilen ve uygulanan diğer parametresel büyüklükleri kullanarak düşey ve yatay aydınlık düzeylerini, hesaplayabilmektedir. Hesaplanan aydınlık düzeylerinin istenilen aydınlık düzeylerini sağlayıp sağlamadığı

kullanıcı tarafından kontrol edilerek, mümkün olan parametrelerde değişikliğe gidilebilmektedir.

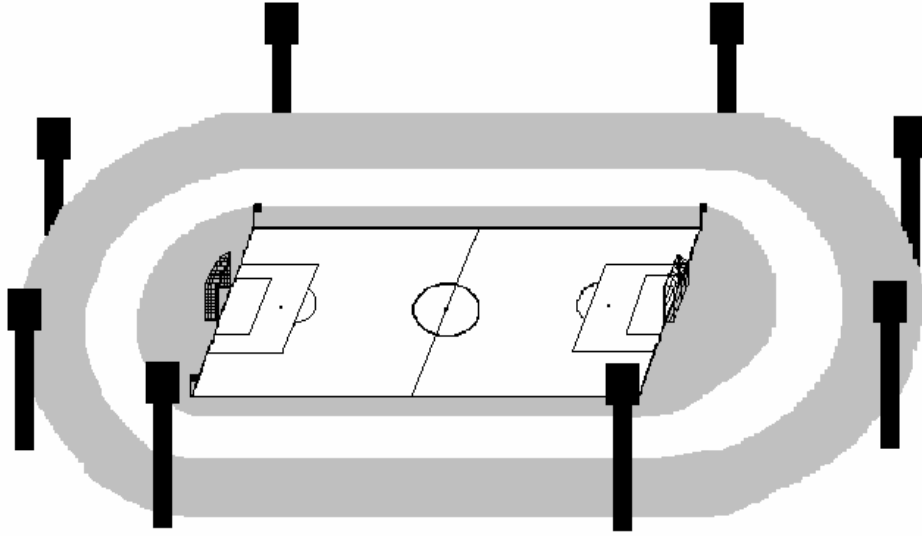
### 3.1. Direk Sayısı

Herhangi bir stadyumun aydınlatılması düşünöldüğünde, ilk dikkate alınması gereken konu, gerçekleştirilecek aydınlatmanın direkli yada direksiz olmasına karar verilmesidir. Direksiz olması durumunda, projektörlerin yerleştirileceği stat tribün çatı yüksekliği FIFA standartlarına göre [23-24] minimum 30 m olmalıdır ki, bu şartı ancak büyük stadyumlar sağlayabilmektedir. Bu şartı sağlamamasına rağmen, FIFA'nın bu şartı getirmesinden önce yapılmış olmalarından ötürü, hem 30 m'nin altında tribün yüksekliğine, hem de direksiz aydınlatmaya sahip stadyum aydınlatmaları mevcuttur. Örneğin Ali Sami Yen Stadı 24 m çatı yüksekliğine sahip olmasına rağmen aydınlatma sistemi direksizdir.

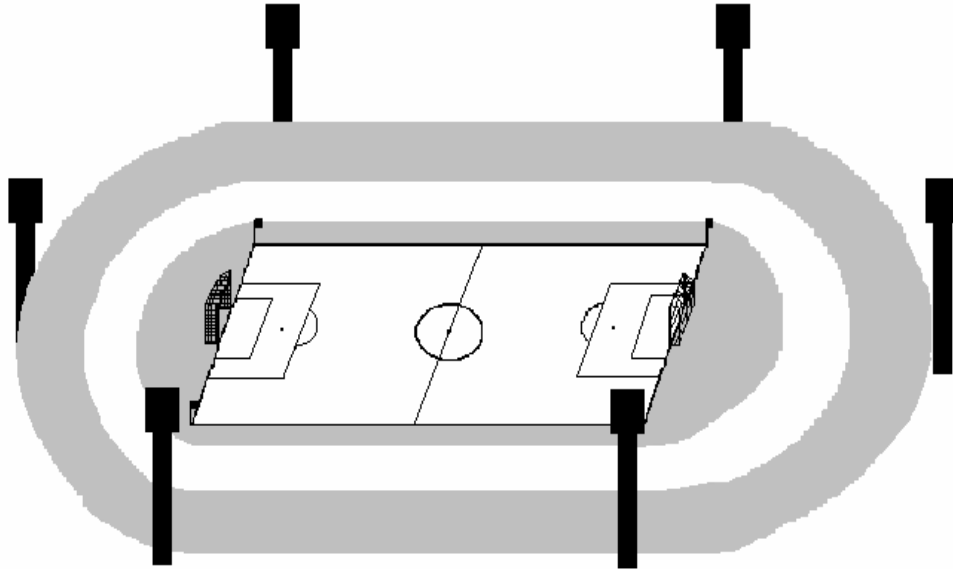
Düşey aydınlatma düzeyindeki büyük artışa rağmen, düşey aydınlatmanın sebep olduğu parlaklık ve kamaşma değerlerinin kabul edilebilir sınırların üzerine çıkması, yatay aydınlatma düzeyinin büyük miktarda düşmesi, FIFA'nın düşük tribün yüksekliği için direksiz aydınlatmayı önermemesinin başlıca sebepleridir. Küçük ve orta büyüklükteki stadyumlar ele alındığında direkli aydınlatma sistemi kullanılmasının zorunlu bir uygulama olduğu anlaşılmaktadır. Çatı yüksekliği 30 m'yi aşan büyük, hatta çok büyük stadyumlar için de, direkli aydınlatma sistemi kullanılabilir. Birçok büyük, hatta çok büyük stadyumda direkli aydınlatma sistemi halen kullanılmaktadır.

Direk sayısı şekil 3.1., şekil 3.2. ve şekil 3.3.'de göröldüğü gibi 8, 6, 4 gibi sayılarda olabilir. Dünyada direkli tip aydınlatmaya sahip stadyumların geneli 4 direklidir. Direk sayısının 4'ten fazla olması, aydınlatma düzeyi dağılımlarının daha düzgün olmasına yardımcı olan bir etkidir. Fakat direk sayısının fazlalığı, stadyum aydınlatma sisteminin kurulum ve işletme maliyetini çok fazla arttıracığı için tercih edilen bir uygulama türü değildir. Stadyum estetiği ve direklerin işgal ettiği alan açısından bakıldığında da direk sayısının fazla olması bir dezavantaj oluşturmaktadır.

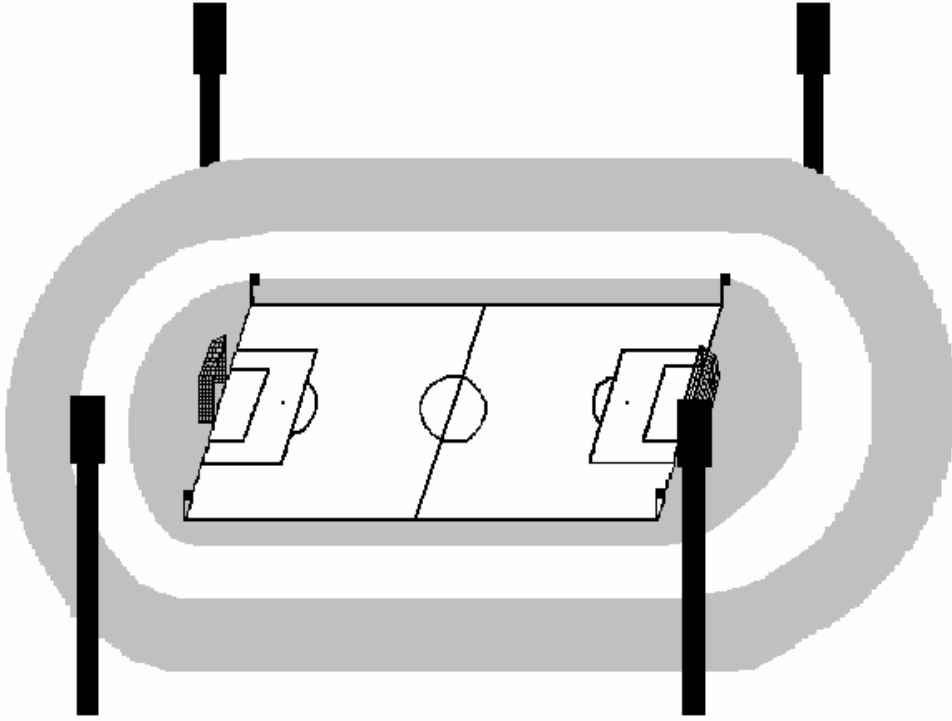
Direk sayısının tespiti tercihe bağlı olmakla beraber, gerek ekonomikliği, gerekse stadyum mimarisini çok fazla rahatsız etmemesi açısından 4 direkli sistem çoğunlukla tercih edilen sistem olmaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilen stadyum aydınlatma tasarımımda da Şekil 3.3.'de görülen 4 direkli sistem esas alınmıştır.



Şekil 3.1. 8 Direkli sistem



Şekil 3.2. 6 Direkli sistem



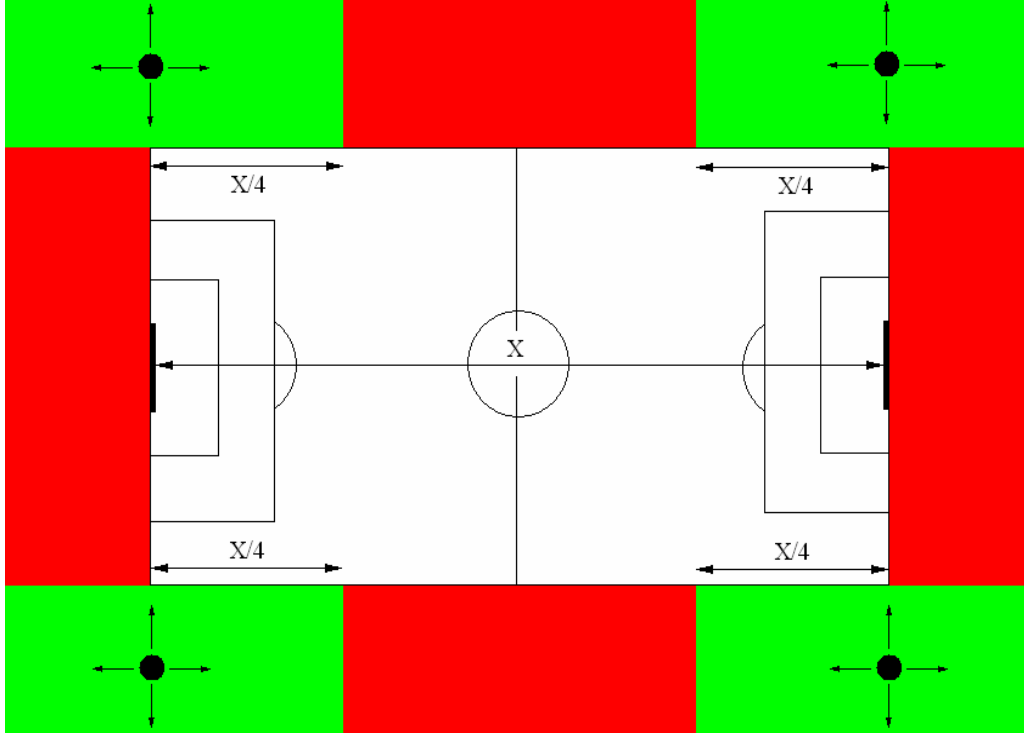
Şekil 3.3. 4 Direkli sistem

### 3.2. Direk Yerleri

Yapılan çalışma sonucu hazırlanmış olan Matlab programında saha etrafında konumlanan direk yerlerinin gerek taç çizgisinden uzaklığı, gerekse aut çizgisinden uzaklığı değiştirilebilmektedir. Taç çizgisine göre değişimde, taç çizgisi referans alınacak minimum sınırı meydana getirirken, aut çizgisine göre olan değişimde aut çizgisinin gerek dışına gerekse içine doğru değişim imkanı vardır. Şekil 3.4.'de görüleceği gibi, direk yerleri yeşil renk ile gösterilmiş olan bölgeler içerisinde serbestçe seçilebilme imkanına sahiptir.

Sahanın aydınlatmasında, direk yerleri mevcut uygulamalar ve FİFA standartları dikkate alınarak belirlenmiştir. Gerçekleştirilen “Matlab Programı”nın bir özelliği olarak, sahanın boyutları, projektör direklerinin yükseklikleri ve yerleri, projektör tipleri, büyüklükleri ve sayıları uygulanacağı stadyuma bağlı olarak değiştirilebilmektedir. Örneğin bazı stadyumlarda mevcut olup, bazılarında bulunmayabilen atletizm pisti şekil 3.3.'de gösterilmiş olmakla beraber,

bulunmadığında programda ilgili parametre yardımıyla dikkate alınmamaktadır. Bu çalışmada atletizm pistinin mevcut olup olmaması önemli olmayıp, direklerin sahaya uzaklıklarının bilinmesi yeterli olmaktadır.



Şekil 3.4. Direklerin yerleştirilebileceği kısımlar (Uygun yerler yeşil, uygun olmayan yerler kırmızı renk ile gösterilmiştir)

### 3.3. Projektör Grupları

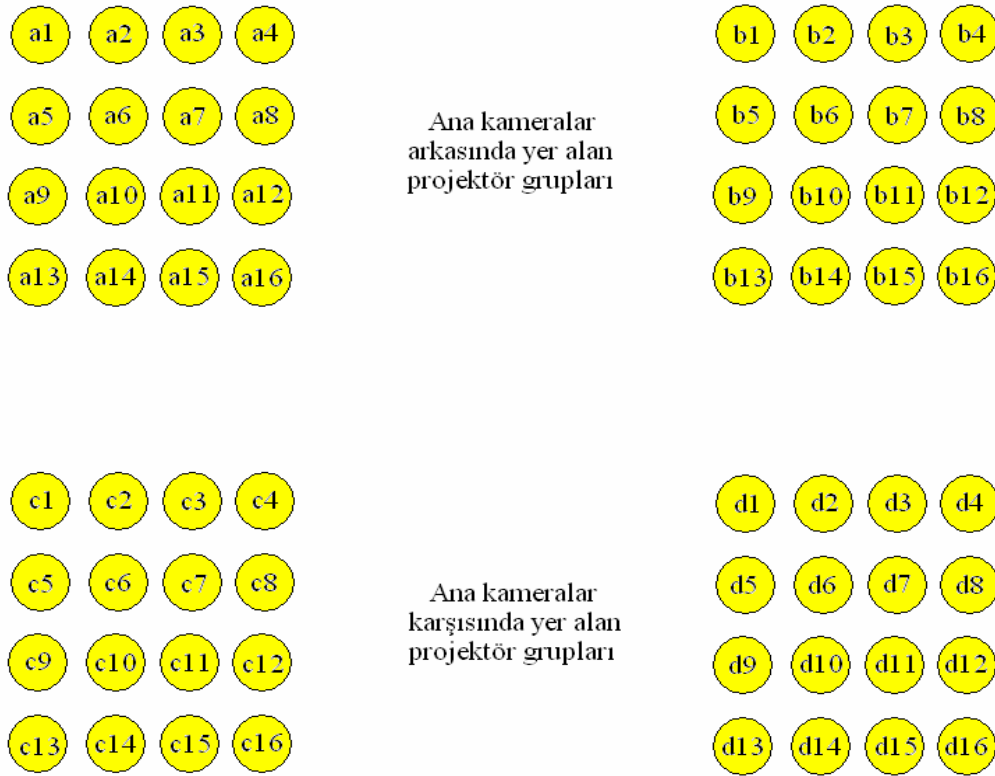
4 direğe uygun olarak yapılan çalışmada, şekil 3.5.'de görüldüğü gibi her bir direkte 16 projektör grubu olduğu kabul edilmiştir. Projektörler mümkün olduğunca fazla grup sayısında, ele alınarak stadyum aydınlatma tasarımında en iyi sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır.

Projektör sayıları, her bir projektör grubu içerisinde 1, 2, 3, 4 veya 5 adet olabilmektedir. Buna bağlı olarak kullanılan toplam projektör sayısı, stadyumun



büyüklüğüne, istenilen aydınlatma düzeylerine ve projektör güçlerine bağlı olarak 64’den 320’ye kadar değişebilmektedir.

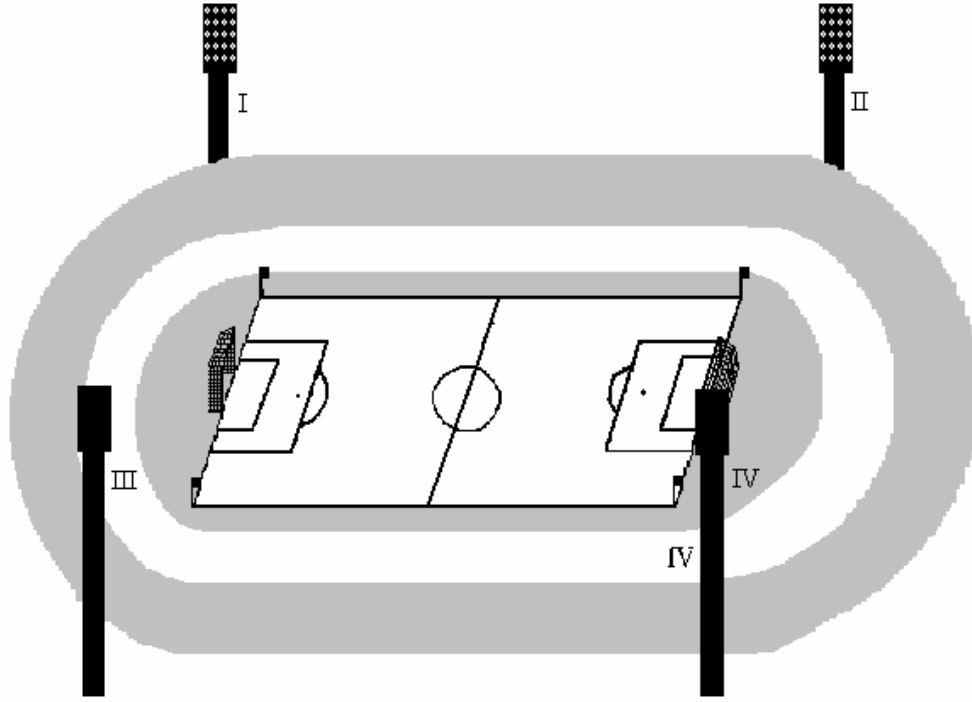
Projektörler, tasarımda kullanılan matlab programında, yazılımın kolaylaştırılması amacıyla gruplandırılmış olup, grup içerisindeki her bir projektörün aydınlık düzeylerine sağladığı katkı dikkate alınmaktadır.



Şekil.3.5. Grup projektörlerin dağılımı

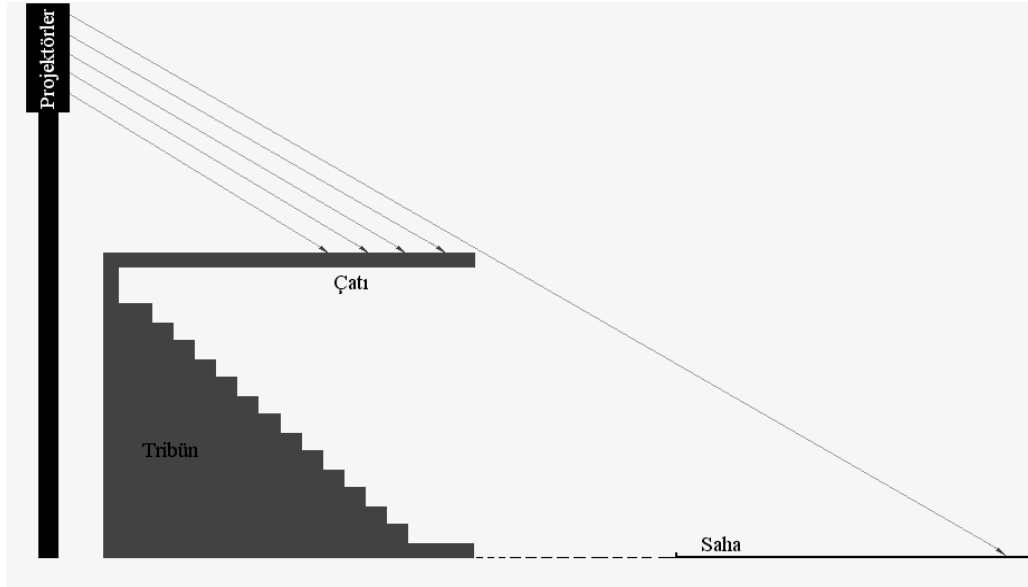
### 3.4. Direk Yüksekliği ve Projektörlerin Odaklanması

Bu çalışmada gerçekleştirilmekte olan stadyum aydınlatma tasarımında, şekil 3.5. ve şekil 3.6.’da görüldüğü gibi 4 direk ve her bir direk üzerinde konumlandırılmış 16 projektör grubu temel alınmaktadır. Her direk üzerinde yer alan grup projektörlerin saha üzerinde odaklanacağı bölge belirlenirken öncelikle stadyumun mimari yapısı dikkate alınmak zorundadır.

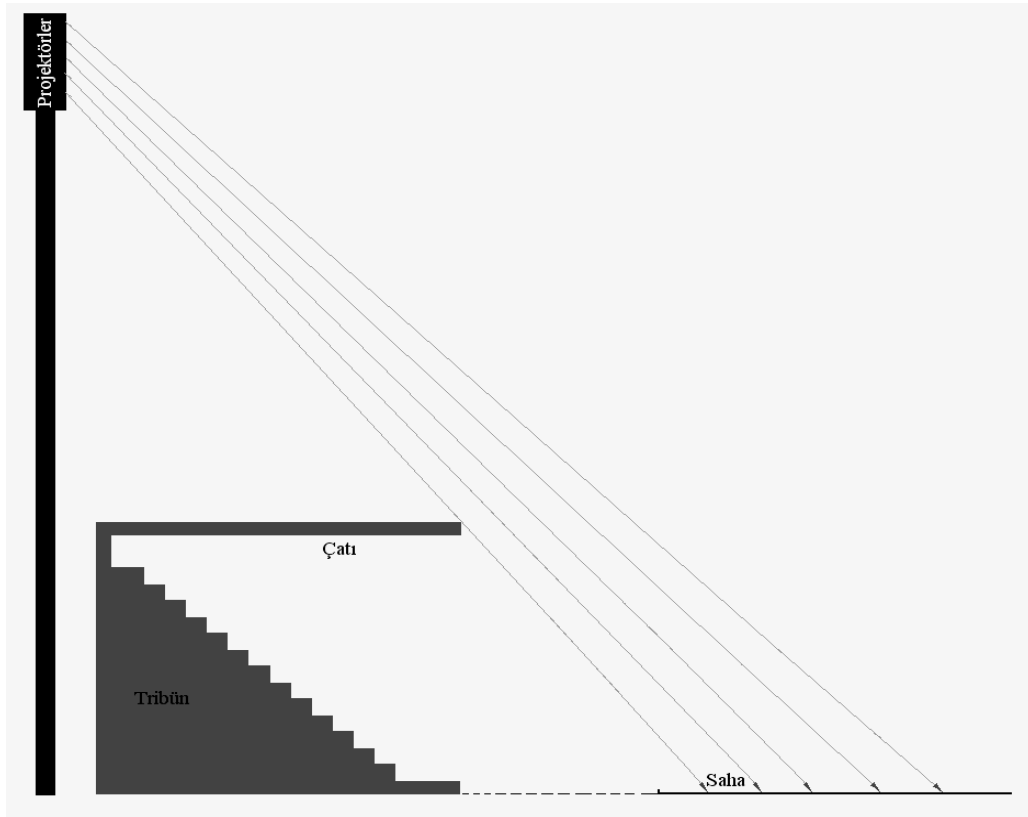


Şekil 3.6. Direklerde konumlanan projektör grupları

Tribünlerin yeterince alçak olmadığı veya yüksek olduğu bir stadyumda, grup projektörlerin saha üzerinde kendilerine yakın noktalara odaklanmaları, tribün çatısının projektörlerden çıkan ışınlar engel olması nedeniyle çoğunlukla mümkün değildir. (Şekil 3.7.a) Tribün çatı yüksekliği küçük olmayan stadyumlarda, projektörler ile de kendilerine yakın olan bölgelere odaklanmak istenirse direk yüksekliğinin büyük oranda artırılması gerekmektedir. (Şekil 3.7.b) Bu durum ise ilk kurulum ve işletme masraflarını olumsuz etkilemektedir. Tribün çatı yüksekliğinin fazla olduğu durumda, aşırı yüksek direk kullanılarak projektörler yakın noktalara odaklandığında, projektörlerden çıkan ışınların sahaya daha büyük açılarla vurması sebebiyle yatay aydınlatma düzeyinin büyümesi bir avantaj olarak görülebilir [30]. Buna karşılık aydınlatma mesafesindeki artma sebebiyle, aydınlatma verimliliği düşmektedir. Sahaya projektörler üzerinden gelen ışınların yatay ile yaptıkları açıları büyüdüğünden, seyircilerin ve kameraların görsel algılamaları için önemli olan düşey aydınlatma düzeyi de büyük oranda azalmaktadır. Tüm bu sakıncalar sebebiyle projektörlerin yakın noktalara odaklanması stadyum aydınlatmasında tercih edilmez.



a)

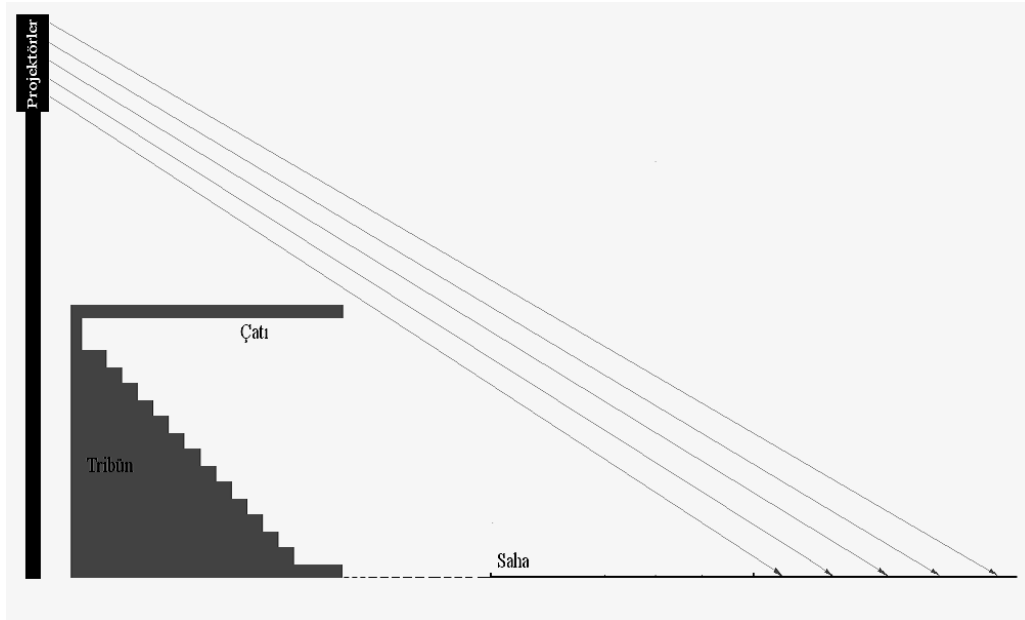


b)

Şekil 3.7. Tribün çatı yüksekliğinin fazla olduğu durumda projektörlerin yakın noktalara odaklanmaları: a) Direk yüksekliğinin yetersiz olduğu durum b) Aşırı yüksek direk kullanılması

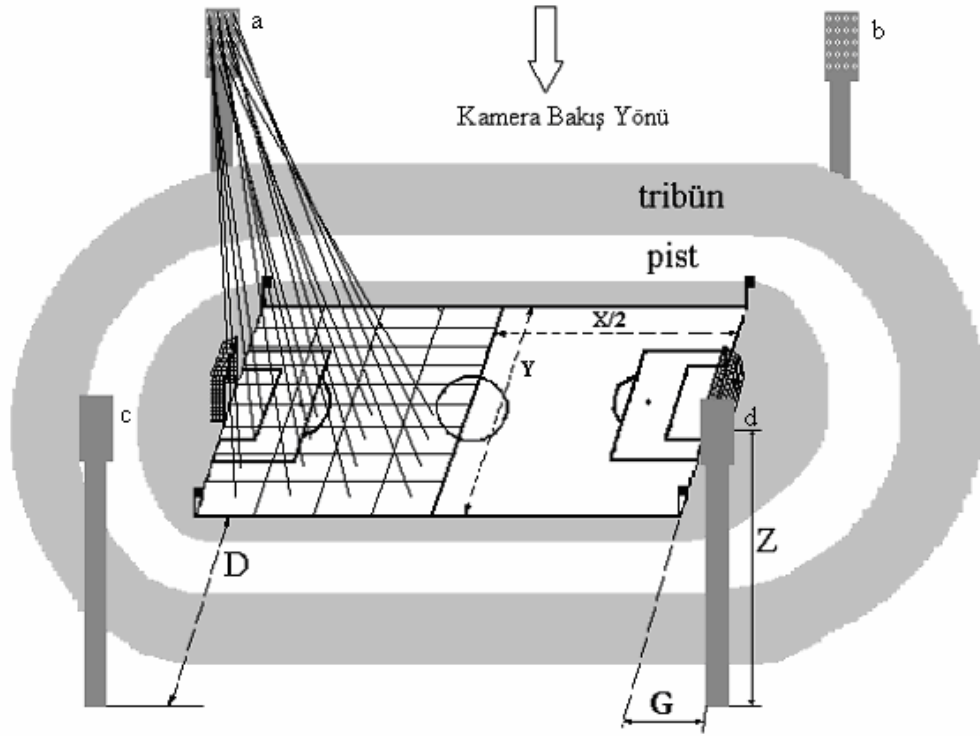
Burada gerçekleştirilen çalışmada, şekil 3.8.'de görüldüğü gibi yukarıdaki açıklamalar göz önüne alınarak her bir direkte yer alan grup projektörlerin tümü, saha üzerinde buldukları yarı alan tarafındaki kendilerine uzak olan karşı tribün önündeki noktalara odaklanmışlardır. Böylece hem direk yüksekliğinin çok fazla olması zorunluluğu ortadan kalkarken, projektörlerden çıkan ışınların yatayla yaptığı açı azalarak düşey aydınlatma düzeyinde artma sağlanmaktadır.

Hazırlanan matlab programında direk yükseklikleri değiştirilerek, düşey ve yatay aydınlık düzeyleri hesaplanabilmektedir. Direk yüksekliği, projektörlerin yüksekliğine direkt olarak etki eden bir parametre olduğundan büyük önem taşımaktadır [36-37].



Şekil 3.8. Projektörlerin karşı tribün önündeki noktalara odaklanması

Şekil 3.9.'da şeklin anlaşılır olması için sadece a grubu projektörlerin saha üzerinde odaklandığı noktalar gösterilmiştir. Diğer projektör grupları b, c ve d'de benzer şekilde saha üzerinde kendilerine yakın olan noktalara değil, karşı tribün önündeki uzak olan noktalara odaklanmışlardır. Bu durum özellikle, yüksek çözünürlüklü HDTV yayıncılığı için, oyuncuların kameralarca daha iyi algılandığı yüksek değerlerde "düşey aydınlık şiddeti" değerinin sağlanması için gerekmektedir [49-51].



Şekil 3.9. Çalışmada dikkate alınan stadyum şeması ve projektörlerin odak noktaları

### 3.5. Aydınlık Düzeyi

Ortalama yatay aydınlık düzeyi, gerekli göz adaptasyonunu sağlamak ve saha üzerinde oyuncuların ve topun yerinin çabuk ve rahat bir şekilde görülebilmesi esas alınarak belirlenen bir değerdir. Ortalama düşey aydınlık düzeyi ise, kamera doğrultusunda oyuncuların yüzlerinin ve bedenlerinin net bir şekilde görülebilmesi için belirlenen değerdir. Hesaplamalar ve ölçümler, saha yüzeyinden 1.5 m yükseklik için yatay ve düşey olmak üzere ayrı ayrı gerçekleştirilmektedir. Bulunan bu değerlerin FIFA standartlarına uygunluğu kontrol edilerek, gerekli görülmesi durumlarında program girişindeki değişkenler ile sonuçlardaki değişim gözlemlenebilmektedir. Tablo 3.1.'de FIFA normlarına uygun minimum aydınlık düzeyi değerleri verilmiştir. Bu tabloda da görüleceği gibi  $E_d$  değeri, kameranın yer almadığı antrenman ortamı için aranmaz [23-24, 85].

Seyir zevki, televizyon ve fotoğraf çekimi için uygun koşulların sağlanması amacıyla, saha yüzeyinde mümkün olduğunca homojen bir aydınlatma olması

gerekmektedir. Başka bir deyişle, yüzey üzerindeki aydınlık düzeyi değerleri arasında abartılı farklılıklar olmamalıdır. Bununla birlikte, özellikle uluslararası karşılaşmaların oynandığı veya oynanabileceği stadyumlarda asimetrik aydınlatma gerekmektedir. Çünkü yüksek çözünürlüklü HDTV yayıncılığı gerçekleştirilen bu tür stadyumlarda, ana kameraların mümkün olan en iyi görüntü kalitesini elde etmesi amaçlanmaktadır [30-31].

Tablo.3.1. Stadyumlar için aranan minimum aydınlık düzeyi değerleri

Seviye	Stadyumun Türü-Aktivite	$E_y$ (Lüks)	$E_d$ (Lüks)
Amatör	Antrenman, Kültür-Fizik	50	-
	Antrenman Futbolu	100	-
	Ulusal Futbol	200	500
Profesyonel	Antrenman	100	-
	Ulusal Futbol	1000-2000	1000
	Uluslararası Futbol (HDTV)	1500-3000	1400

Ana kameralara yönelik olarak gerçekleştirilen bu asimetrik aydınlatma nedeniyle, bu kameraların bulunduğu tribünde oturan seyirciler, karşı tribündeki seyircilere göre aydınlık düzeylerini daha fazla algırlar. Bu durum bir eşitsizlik gibi görülse de, kameraların bulunduğu taraftaki seyircilerin karşı tribündeki seyircilere göre en az 2 kat ücret ödediği unutulmamalıdır.

Bu asimetriklik, saha boyuna ikiye bölündüğünde, ana kameraların olduğu taraftaki “a” ve “b” grup projektörlerin güçleri ve ışık akılarının, ana kameraların karşı tarafındaki “c” ve “d” grup projektörlerinden büyük olması ile sağlanır.

Aydınlatma düzeyinin düzgünlüğünün kontrolü için ise, tablo 3.2.’de olabilecek minimum değerleri görülen  $U_1$  ve  $U_2$  oranlarına bakılır [23-24].  $U_1$ , saha üzerinde insanların ve kameranın görsel adaptasyonu sağlayarak, görsel performansa katkıda

bulunan bir değerdir ve saha üzerindeki en düşük aydınlık düzeyi değerinin, en yüksek aydınlık düzeyine oranı olarak ifade edilir (Emin/Emax). U2 ise, gözün adapte olduğu ortalama değerle saha üzerindeki en karanlık nokta arasındaki farkla ilgili olup, görsel konfora katkıda bulunur. Bu değer, saha üzerindeki en düşük aydınlık düzeyi değerinin, ortalama aydınlık düzeyine oranı olarak ifade edilir (Emin/Eor).

Tablo.3.2. Stadyumlar için aranan minimum aydınlık düzeyi oranları

Seviye	Aktivite	Yatay		Düşey	
		U1	U2	U1	U2
Amatör	Antrenman, Kültür Fizik,	0,3	0,5	-	-
	Antrenman Futbolu	0,4	0,6	-	-
	Ulusal Futbol	0,5	0,7	-	-
Profesyonel	Antrenman, Kültür Fizik	0,4	0,6	-	-
	Ulusal Futbol	0,5	0,7	-	-
TV	Ulusal Futbol	0,5	0,7	0,3	0,5
	Uluslararası Futbol	0,6	0,7	0,4	0,6
	HDTV	0,7	0,8	0,6	0,7

### 3.6. Parlaklık ve Kamaşma

İnsanların işlerinden evlerine döndüğü saatlerde gece maçlarının sıklıkla oynanması, televizyon yayıncılığı açısından futbol maçlarını en yüksek izlenme düzeylerine çıkarmış, bu da oynanan sahada çok iyi yatay ve düşey aydınlatma olması gerekliliğini doğurmuştur. Çünkü zemin üzerinde sağlanan yatay aydınlatmanın yanı sıra oyuncular üzerinde de mükemmel bir düşey aydınlatma olmalıdır. Çünkü gerek izleyiciler, gerekse TV kameraları oyunu ve futbolcuları yatay aydınlatma seviyesinden çok düşey aydınlatma seviyesine göre algılamaktadırlar. Burada dikkat edilmesi gereken önemli özellik, seyirci ve kameraların görüntü kaliteleri artırılırken sahada oyuncular ve seyirciler için görmeyi engelleyici zararlı etkiler oluşturmamak gerekir. Yani, oyuncuların ve hayranların hoşlanabilecekleri optimum görsel etkiyi

kamaşma yaratmadan sağlamak gerekir. Parlaklığın sembolü “L”, birimi “Nit” olup, ışık şiddetinin alana bölümü ( $I / S$ ) ile bulunur [42].

Kamaşma, görüş alanı içindeki objelerin parıltısının, saha parıltısına oranıdır. (GR) Bu oran çok yüksek olduğunda rahatsız edici ya da görmeyi engelleyici kamaşmaya neden olmaktadır. Kamaşmayı engellemenin en etkili yollarından bir tanesi uygun armatür montaj yükseklikleri ve direk konumlarının belirlenmesidir. Kamaşmanın kabul edilebilir değerlerde kalabilmesi için, hiçbir pozisyonda GR (Parlaklık Kamaşma Sınırı) değeri "50" 'yi geçmemelidir [24].

### 3.7. Renk Sıcaklığı ve Renksel Geriverim

İnsan gözü ışığı parlaklığı ile algıladığı gibi rengiyle de algılamaktadır. Işığın farklı renkleri, elektromanyetik yapıdan kaynaklandığı düşünülen farklı ışık frekanslarından dolayı meydana gelmektedir ki, bu frekanslar aşırı derecede yüksek bir değere sahip olup, en büyük değerdeki dalga boyu bile TV yayınları dalga boyundan çok küçüktür.

Sıradan güneş ışığı beyaz olarak görünürken, gerçekte çok sayıda renkten meydana gelmiştir. 1666 yılında bir ışık ışınını bir prizma içerisinden geçiren Sir Isaac Newton, onun gökkuşağındaki gibi bütün renkleri içerdiğini görmüştür. Kırmızı, mavi ve yeşil üç ana rengi meydana getirmesine rağmen karışımları sarı, turuncu, kahverengi, siyah gibi diğer renkleri meydana getirmektedir. Bu renklerden maviye bakan renkler soğuk renkler olarak tanımlanırken, kırmızıya bakan renkler sıcak renkler olarak tanımlanır. (Şekil 3.10.)

Beyaz yada günışığı genellikle aydınlatma için en çok arzulanan ışık şeklidir. Fakat bu ışığın görünen rengi gerçekte beyaz olmasın rağmen, güneş ışığında olduğu gibi belirli sayıdaki birçok rengi içermelidir. Çünkü birçok rengin bileşimi olan beyaz ışık değişik objelere çarpıp, onlardan gözlerimize yansıtıldığında onları fark edebildiğimiz gibi, objelerden yansıtılırken dalga boylarında meydana gelen değişmelerden dolayı, objeleri bu dalga boyunun gerektirdiği renklerde görürüz. Belli yüzeyler ve materyaller bir renk ve frekanstaki ışığı absorbe ederken bir diğer



renkteki ışığı yansıtırlar. Bu farklılık bize görünen çeşitli objeler arasında renk ayırımı yapabilmeyi sağlar. Beyaz ve açık tonlu yüzeyler koyu tonlu yüzeylere nazaran daha fazla ışık yansıtırlar [19-21].



Soğuk Renkler

Sıcak Renkler

Şekil 3.10. Renk sıcaklıkları

Halojen yapıda tungsten flamanlı enkandesan bir elektrik lambası beyaz yakın verdiği ışıkla iyi bir örnek olup, çoğu uygulamalar için rahatlıkla kullanılabilir. Bir elektrik akımı uygulandığında ısı üretilmekte ve tungsten tel kızarılarak düşük renk sıcaklığında ışık vermeye başlamaktadır. Tungsten tel, üzerinden yeterince elektrik akımı geçirildiğinde (halojen çalışma), yüksek renk sıcaklığına sahip, beyaz ışık yayan akkor (enkandesan) flaman haline gelmektedir. Tungsten flamanın sıcaklığının azaltılıp çoğaltılması, elde edilen rengin soğuk yada sıcak olması ile ilgili değildir. Flamanın sıcaklığı, renk sıcaklığının azaltılıp çoğaltılmasına yol açmaktadır.

Tablo 3.3. Renk sıcaklığı

Renk Sıcaklığı	Işık Kaynağı	Beyaz Ayarı	
		3200 K	5600 K
1700-1800 K	Kibrit Ateşi		
1850-1930 K	Mum Alevi		
2000-3000 K	Gün Doğumu, Gün Batımı		
2500-2900 K	Lamba Işığı		
3000 K	Tungsten Lamba 1 Kw		
3200-3500 K	Quartz Işık		
3200-7500 K	Floresan Işığı		
3275 K	Enkandesan Lamba 2 Kw		
3380 K	Enkandesan Lamba 5, 10 Kw		
5000-5400 K	Öğlen Işığı		
5500-6500 K	Güneş Işığı ve Gökyüzü		
5500- 6500 K	Bulutların Arasından		
6000-7500 K	Bulutlu Gökyüzü		
6500 K	Monitör Işığı		
7000-8000 K	Gölgedeki Işık		
8000-10000 K	Parçalı Bulutlu Gökyüzü		

Gerek cıva, gerekse sodyum buharlı lambaların stadyum aydınlatmasında kullanılmasının getirdiği temel eksiklik, renk kalitelerinin düşük olmalarıdır. Cıva buharlı lambalarda kırmızı v.b. tonlarda renk yetersizliği mevcut iken, sodyum buharlı lambalarda mavi v.b. tonlarda renk yetersizliği mevcuttur.

Renksel geriverim değerleri ise yaklaşık olarak cıva ve düşük kaliteli metal buharlı lambalar için % 50, sodyum buharlı lambalar için % 30 oranlarındadır. Bu sebeple bu lambaların aydınlattığı stadyumda gerek seyirciler, gerekse kameralar stadyumdaki oyuncuların gerçekte olduğundan farklı renk tonunda görürler.

Dış mekânlardaki spor faaliyetlerinde, 2000K ve 6500K arasında renk sıcaklığına sahip deşarj lambaları kullanılabilir. (Tablo 3.3.) Gün ışığından yapay aydınlatmaya geçişte ve kamera çekimlerinde en iyi sonucu veren renk sıcaklığı ise 5600K'dir. Görsel etkinin mümkün olduğunca etkili sağlanabilmesi açısından renk sıcaklığının mümkün olduğunca 4000 K'in altına düşmemesi gerekir [27-29].

Tablo 3.4. Renk sıcaklığı ve renksel geri verim seçimi

Seviye	Aktivite	Renk Sıcaklığı (K)	Renksel Geri Verim (Ra)
Amatör	Antrenman, Kültür Fizik,	>2000	≥20
	Antrenman Futbolu	>2000	≥20 *
	Ulusal Futbol	>4000	≥65
Profesyonel	Antrenman, Kültür Fizik	>2000	≥65
	Ulusal Futbol	>4000	≥65
TV	Ulusal Futbol	>4000	≥65
	Uluslararası Futbol	>5500	≥65 **
	HDTV	>5500	≥90

\* : ≥65 Önerilir.

\*\* : ≥90 Önerilir.

Spor sahalarında, renklerin doğru olarak algılanması hem oyuncuların forma renklerinin gerçek renginde görülmesinde hem de renkli televizyon çekimi için çok önemli olduğundan, renksel geri verimi yüksek ışık kaynakları seçmek gerekmektedir. Bu sebeple tablo 3.4.'de görüldüğü gibi özellikle uluslararası maçların oynandığı stadyum aydınlatmalarında yüksek çözünürlüklü HDTV yayıncılığına uygun olan yüksek kaliteli Metal Halide ( $Ra > 90$ ) projektör deşarj lambaları kullanılmalıdır.

### 3.8. Metal Halide Lambalar

Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısında metal halide lambaların kullanımının yaygınlaşması, bütün dış aydınlatma için olduğu gibi stadyum aydınlatması için de bir çığır açmıştır. Metal buharlı lambalarda önceleri cıva buharlı lambalara ( $\cong 50$ ) yakın olan renksel geri verim oranları, teknolojik gelişmelere bağlı olarak % 90'lı oranlara ulaşmıştır. Bu sayede aydınlatma tasarımı gerçekleştirilen stadyumlarda, yüksek verime ve ışık akısına sahip projektörler kullanılmakla kalmamış, yüksek renk kalitesine de ulaşılmıştır.

Günüşiğinin en kaliteli olduğu hafif bulutlu ortama benzer aydınlık seviyesi ve renk kalitesi, metal halide lambalar ile sağlanabilmiştir. Düşük renk kalitesine sahip projektörler, televizyon yayıncılığında kalitenin de artmasına paralel olarak, yüksek maliyetlerine rağmen, yüksek kaliteli metal halide projektörler ile yer değiştirmiştir. Yani geçmişte gerek siyah beyaz, gerekse ilk renkli televizyonlar için çok fazla gösterilmeyen hassasiyet, 1990'lı yıllardan sonra fazlasıyla gösterilmeye başlanmıştır.

Geçmiş yıllarda kameraların çekim yeteneğinin sınırlı olması sebebiyle, fazla özen gösterilmeden gerçekleştirilen stadyum aydınlatmaları, kameraların ve televizyonların her ayrıntıyı yakalayabilecek ve gösterebilecek elektronik kaliteye giderek daha fazla sahip olmaları sebebiyle (HDTV) hassas ve önemli bir konu haline gelmiştir.

Televizyon çekimi yapılmayan stadyumlarda bile, aydınlatmanın yine çok önemli bir rolü vardır. Bu tür sahalarda televizyon çekimi için gerekli değerlerden belirgin

ölçüde daha düşük bir aydınlık düzeyi olmasına rağmen, aydınlatmanın homojen olmasına, görsel konforun sağlanmasına, özellikle de yerleşim alanlarına yakın olan yerlerde ışık kirliliğinin sınırlandırılmasına dikkat edilmesi gerekmektedir.

Yüksek verimlilik ve yerleştirilebilecekleri armatür sayılarına bağlı olarak, kullanılan metal halide lambaların 1000 W, 1500 W, 1800 W ve 2000 W gibi yüksek güçlerde olmaları gerekmektedir. Şekil 3.11.'de Beşiktaş İnönü Stadyumu aydınlatmasında kullanılan 2000 W'lık metal halide lamba görülmektedir. Lamba ve armatürün birlikte oluşturduğu yapılanma, projektör olarak adlandırılmaktadır[12-14].



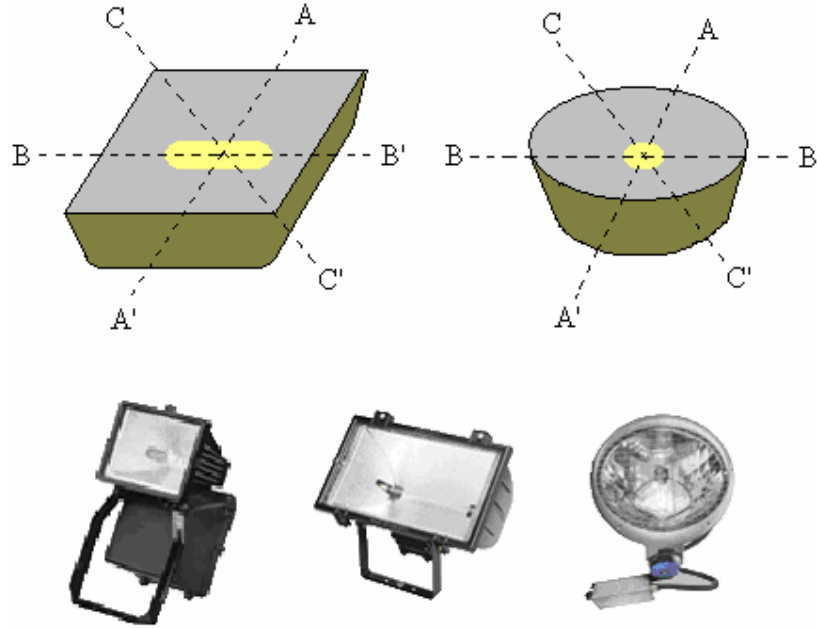
Şekil 3.11. Stadyum aydınlatmasında kullanılan metal halide lamba türlerinden biri

### 3.9. Tasarımda Kullanılan Projektörler

Gerçekleştirilen stadyum aydınlatma tasarımında, simetrik veya asimetrik yapıda istenilen projektör kullanılabilir. Bu projektörlerin armatür şekli dairesel, kare veya dikdörtgen olabilmektedir. Aydınlatma hesaplamalarının gerçekleştirilebilmesi için kullanılan projektörün ışık dağılım eğrisi gereklidir. Bu çalışmada kullanılan projektörlere ait şekiller ve bu projektörler için ışık dağılım eğrileri için dikkate alınacak eksenler şekil 3.12.'de görülmektedir. Projektör üreticisi ve armatür üreticisi firmalardan elde edilen ve matlab programında kullanılabilen ışık dağılım eğrileri şekil 3.13., şekil 3.14., şekil 3.15., şekil 3.16., şekil 3.17. ve şekil 3.18.'de gösterilmektedir. Bu ışık dağılım eğrileri, farklı formatlarda olmalarına rağmen daha anlaşılabilir olmaları için açı-değer değişimleri korunarak yeniden çizilmiştir.

Şekil 3.13.'de dar açılı, yuvarlak ve simetrik projektör ışık dağılım eğrisi, şekil 3.14.'de normal açılı, yuvarlak ve simetrik projektör ışık dağılım eğrisi, şekil 3.15.'de geniş açılı, yuvarlak ve simetrik projektör ışık dağılım eğrisi, şekil 3.16.'da normal açılı, dikdörtgen ve simetrik projektör ışık dağılım eğrisi, şekil 3.17.'de geniş açılı, dikdörtgen ve simetrik projektör ışık dağılım eğrisi, şekil 3.18.'de ise

dikdörtgen ve asimetrik projektör ışık dağılım eğrisi görülmektedir. Bu eğrilerden yuvarlak ve simetrik olanlarda AA' aksenal ışık dağılımı, gösterilmektedir. Dikdörtgen ve simetrik olanlarda AA' ve BB' aksenal ışık dağılımları gösterilmektedir. Dikdörtgen ve asimetrik olan projektörün ise, AA' ve BB' aksenleri ile birlikte CC' köşe akseni dağılımları gösterilmektedir [51-56].

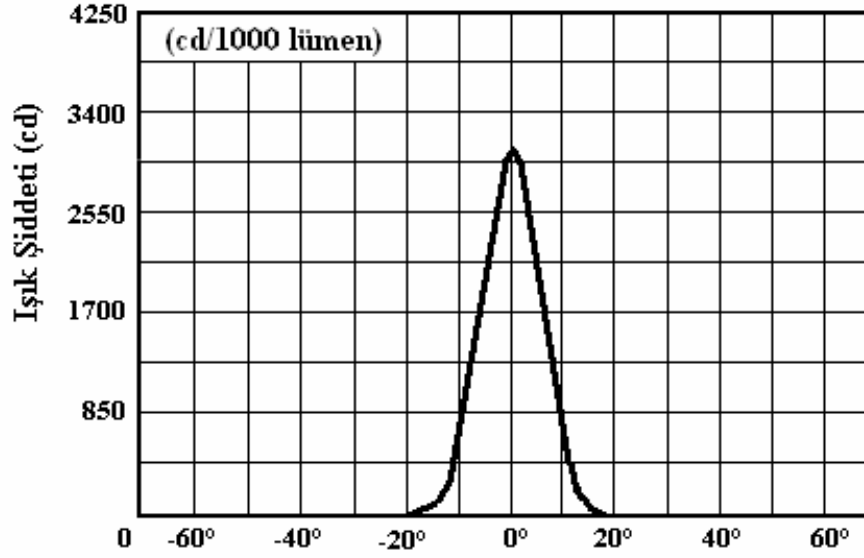


Şekil 3.12. Stadyum aydınlatmasında kullanılan projektörler ve aksenleri

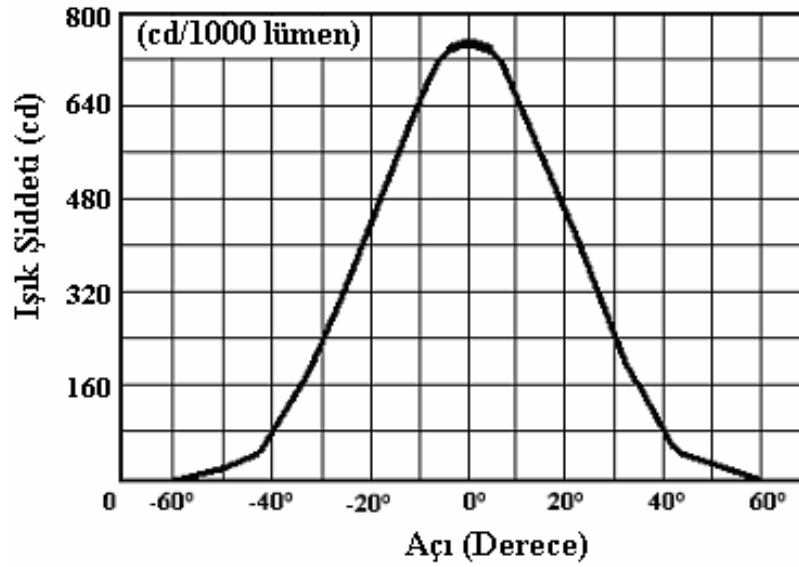
Kullanılan projektörün açısının dar, normal veya geniş olarak seçilmesi kullanılan projektör sayısına bağlıdır. Kullanılan projektör ve odaklanılan nokta sayısı arttıkça, projektör açılarının düşürülmesi, kullanılan projektör ve odaklanılan nokta sayısı azaldıkça, projektör açılarının artırılması gerekmektedir. Başka bir ifadeyle kullanılan projektörlerin açıları, projektör sayısı ile ters orantılıdır. Ne kadar çok sayıda projektör, ne kadar çok sayıda noktaya odaklanırsa, projektör açısı daralırken, ne kadar az sayıda projektör, ne kadar az sayıda noktaya odaklanırsa projektör açısı genişlemektedir.

Projektör sayısını mümkün olduğunca artırarak, mümkün olan en fazla noktaya odaklamak ilk bakışta ideal bir çözüm gibi gözükse de, montaj ve işletim güçlüğü, montaj ağırlığının ve maliyetinin çok fazla artması gibi sakıncalarla sınırlı bir çözüm

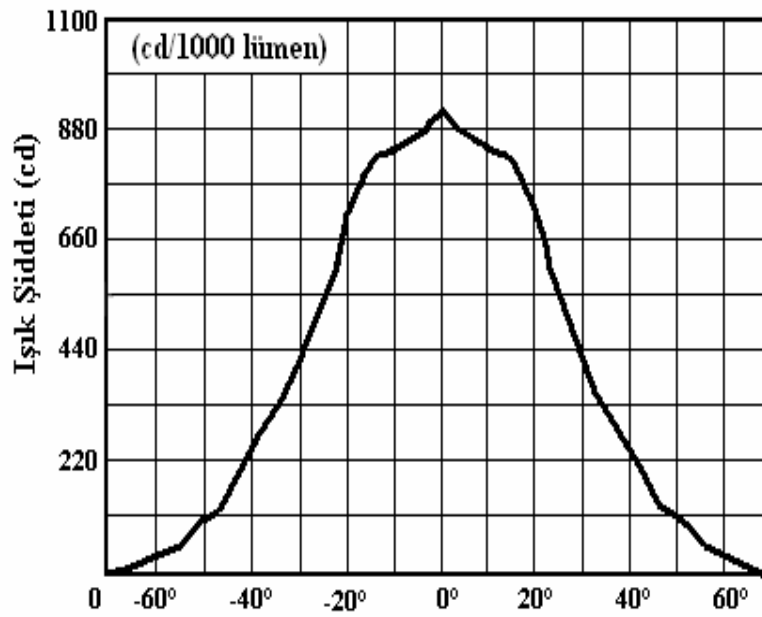
olmaktadır. Günümüzde yüksek güç ve verime sahip metal halide lambaların üretiliyor olması, daha az sayıda ve geniş açılı projektörlerin kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır [65-66].



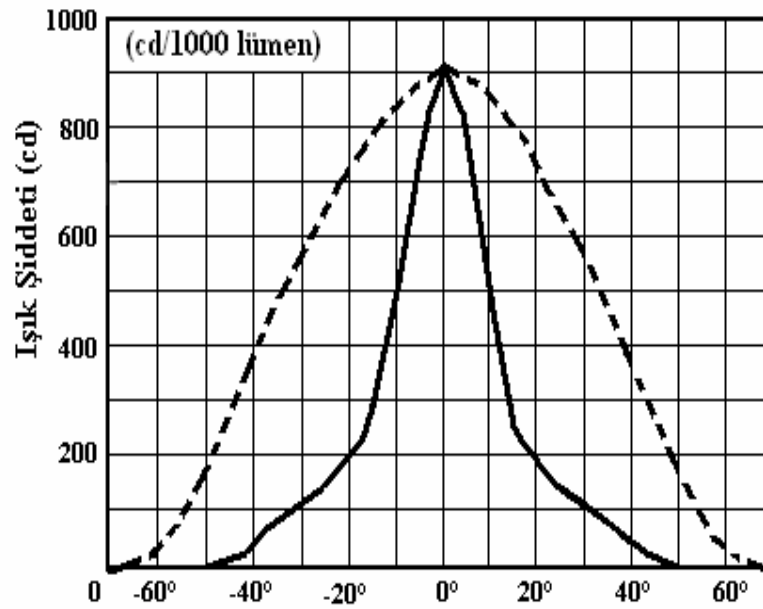
Şekil 3.13. Dar açılı, yuvarlak ve simetrik projektör ışık dağılım eğrisi



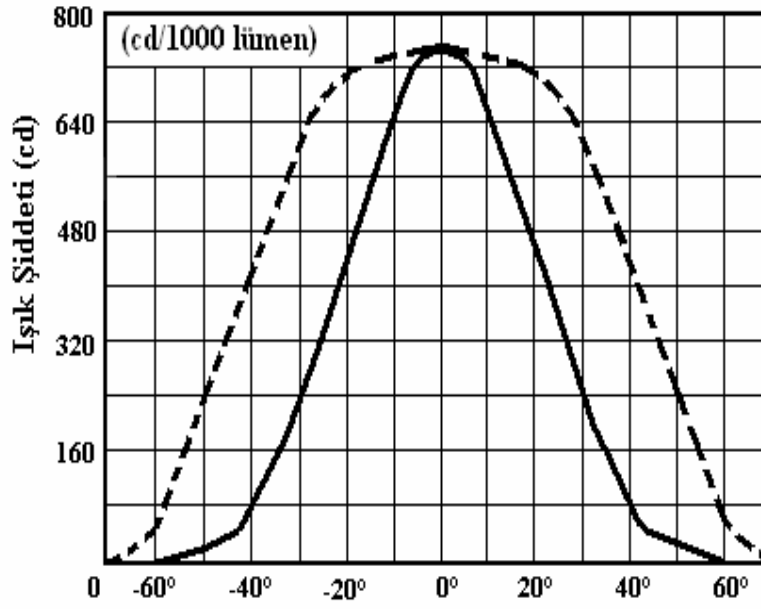
Şekil 3.14. Normal açılı, yuvarlak ve simetrik projektör ışık dağılım eğrisi



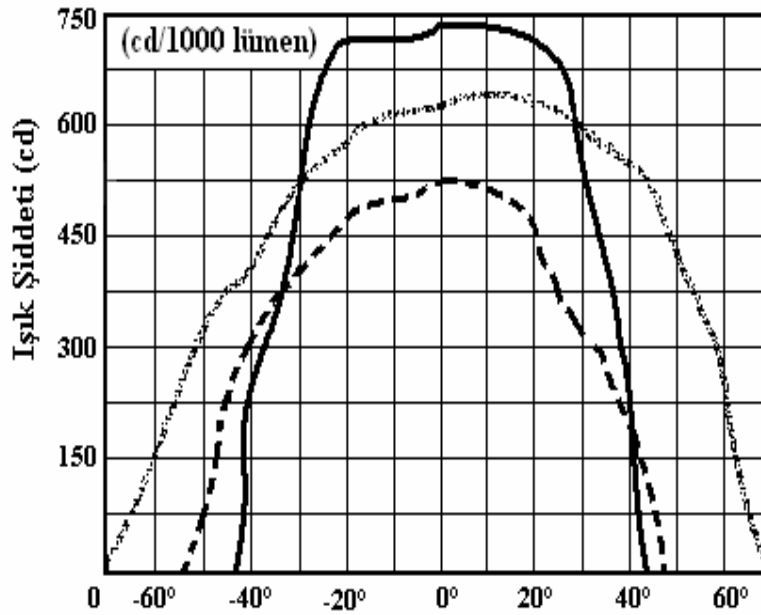
Şekil 3.15. Geniş açılı, yuvarlak ve simetrik projektör ışık dağılım eğrisi



Şekil 3.16. Normal açılı, dikdörtgen ve simetrik projektör ışık dağılım eğrisi (AA' eksenli değişim düz çizgi ile, BB' eksenli değişim kesik çizgi ile gösterilmiştir.)



Şekil 3.17. Geniş açılı, dikdörtgen ve simetrik projektör ışık dağılım eğrisi (AA' eksenli değişim düz çizgi ile, BB' eksenli değişim kesik çizgi ile gösterilmiştir.)



Şekil 3.18. Dikdörtgen ve asimetrik projektör ışık dağılım eğrisi (AA' eksenli değişim düz çizgi ile, BB' eksenli değişim kesik çizgi ile, CC' eksenli değişim ise noktalı çizgi ile gösterilmiştir.)



### 3.10. Hesaplama Kullanılan Metot

Aydınlık düzeyleri hesaplanan düzlem üzerine düşen düşey ışık ışınlarının oluşturduğu yatay aydınlık düzeyi değeri  $E_y$  ile gösterilirken, oyunculara yatay olarak çarpan ışık ışınlarının oluşturmuş olduğu düşey aydınlık düzeyi değeri ise  $E_d$  ile gösterilmektedir.

Eski ve klasik stadyum aydınlatma sistemleri  $E_y$  'ı esas alarak tasarlanmıştır. Özellikle 80'li yıllardan sonra stadyumların popüler sporu olan futbolun gündemi ve özellikle görsel medyayı daha çok ilgilendirmesi  $E_y$  'ın yanı sıra  $E_d$  'in de dikkate alınmasını zaruri kılmıştır.

1990'lı yıllar sonrası HDTV yayıncılığının giderek daha önem kazanmaya başlaması,  $E_d$  'in  $E_y$  'a göre daha çok ön plana çıkmasını sağlamıştır. Burada yapılacak olan çalışmada da öncelikli olarak standart  $E_y$  ve  $E_d$  değerlerini sağlayacak aydınlatma yapmak amaçlanmaktadır.

Müsabakalarda televizyon yayıncılığı giderek daha da profesyonelleştiğinden, bu çalışmada mevcut birçok uygulamanın ötesinde, kameraların yoğun olduğu tribünler tarafındaki projektör güç ve ışık akı değerleri artırılarak, ana kameraların bakış açılarındaki  $E_d$  değerlerinin daha yüksek tutulması sağlanabilmektedir. Bu yapılırken karşı tribündeki seyircilerin mümkün olduğunca bu işlemde en az derecede etkilenmeleri hedeflenmektedir. Kısacası istenirse aydınlatma sistemi simetrik tasarım yerine asimetric olarak tasarlanabilmektedir.

Bir stadyumun aydınlatılmasında saha üzerindeki her noktanın yaklaşık olarak, arzu edilen ve standartlara uygun aydınlık düzeyinde olması gerekmektedir. Burada yapılan aydınlatma tasarımında Şekil 10.'da görüldüğü gibi, 4 adet direk üzerinde bulunan 16'şar adet projektör grubuyla bir stadyumun aydınlatıldığı kabul edilmektedir.

Her projektör grubu, şekil 3.5.'de görüldüğü gibi değişik konumda yer alıp, konumlarına göre numaralandırılmışlardır. (a1, a12, b16 gibi)

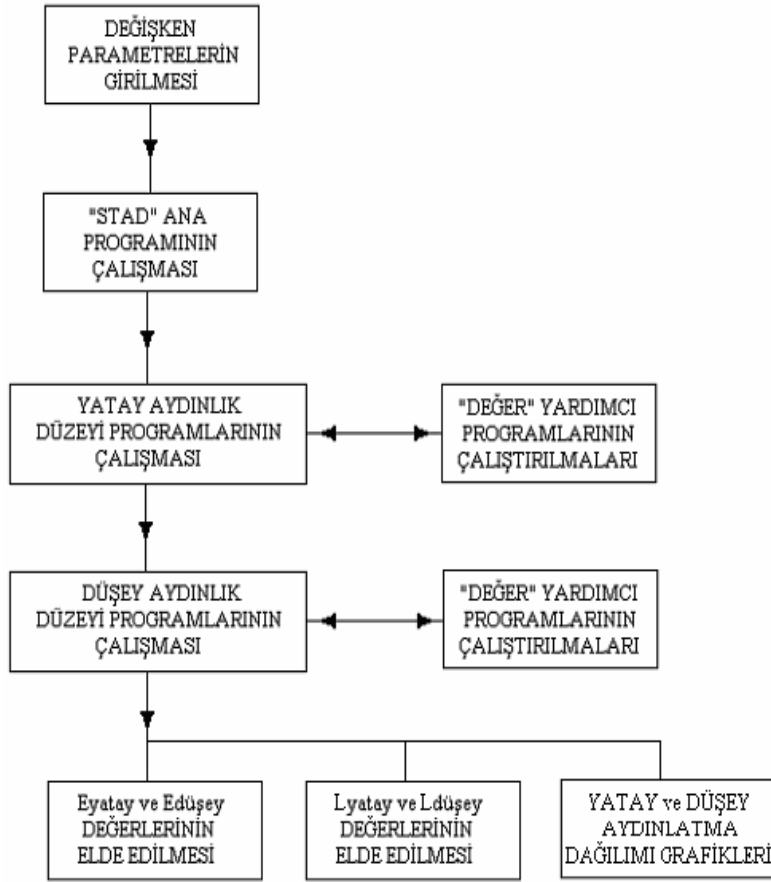
### 3.10.1. Matlab programı

Çalışmada tasarlanan MATLAB PROGRAMI şekil 1.'de gösterilen her nokta için bütün direklerdeki (4 direk) tüm projektörlerin oluşturacağı aydınlık düzeyi değerlerini ayrı ayrı hesaplamaktadır. Elde edilen sonuçlar birleştirilerek her bir noktanın aydınlık düzeyi değerleri bulunabilmektedir. Tasarımda kullanılan Matlab programında aydınlatma hesaplamaları yapılırken “Point-Point” metodu kullanılmaktadır [69-71].

Programda kullanılan temel parametreler ve parametrelerin özellikleri tablo 3.5.'de, programın akış şeması ise Şekil 3.19.'da gösterilmektedir.

Tablo 3.5. Matlab programında kullanılan temel parametreler

Özelliği	Parametre	Açıklaması
Sabit	-	Direk sayısı (4 adet)
Sabit	-	Bir direktteki grup projektör adedi (16 adet)
Değişken	-	Projektörün geometrik şekli (dikdörtgen, yuvarlak)
Değişken	-	Işık dağılım eğrileri
Değişken	X	Sahanın boyu
Değişken	Y	Sahanın eni
Değişken	Zh	Direk yüksekliği
Değişken	Zx	Aydınlık düzeyi hesaplanan noktanın sahadan yüksekliği
Değişken	D	Direklerin taç çizgisine uzaklığı
Değişken	G	Direklerin aut çizgisine uzaklığı
Değişken	FİLa	Kamera arkası projektörlerin ışık akıları
Değişken	FİLb	Kamera karşısı projektörlerin ışık akıları

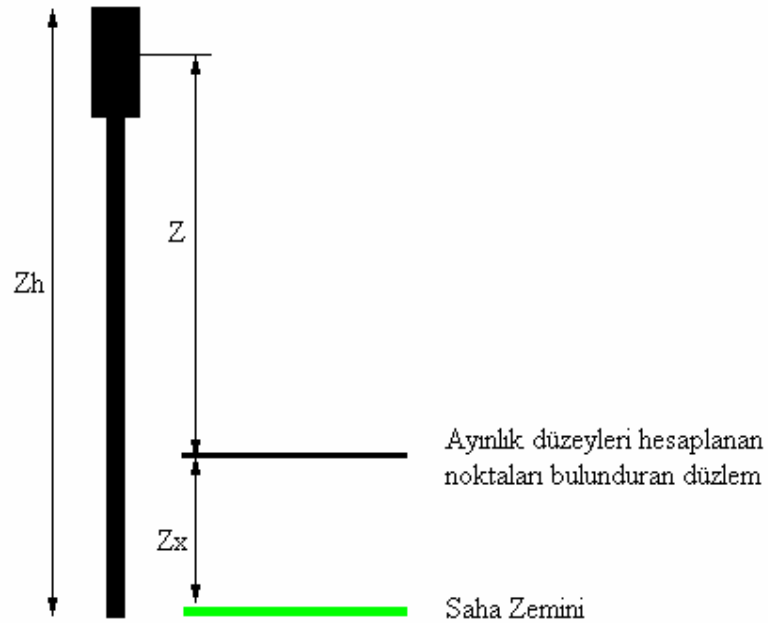


Şekil 3.19. Stadyum aydınlatma tasarımında kullanılan programların akış şeması

Hesaplanan aydınlık düzeyleri uygun olmadığı takdirde programın bir gereği olarak, projektör tiplerinde, projektör güç ve ışık akılarında, direk yüksekliklerinde ve gerekirse direk konumlarında değişikliğe gidilebilmektedir. Saha zemininden seçimi şekil 3.20.'de görüldüğü gibi tercihe bağlı  $Z_x$  kadar yükseklikte yer alan noktaların aydınlık düzeyleri hesaplanmaktadır.  $Z_x$  yüksekliği FIFA kriterlerine uygun olarak bu çalışmada da 1,5 m alınmıştır.

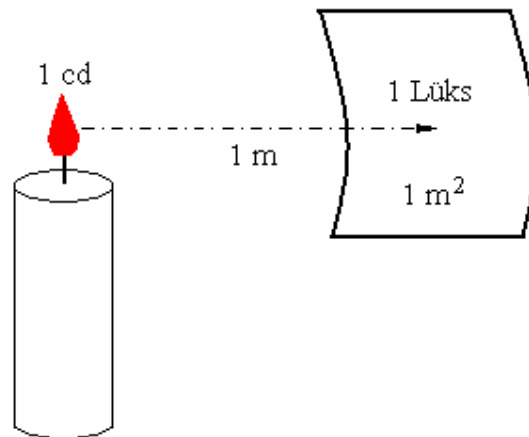
### 3.10.2. Matlab programında kullanılan matematiksel eşitlikler

Direkler üzerindeki projektörlerinin saha üzerinde odaklandıkları noktalara olan uzaklıkları, aydınlatma hesabı yapılan noktalara olan uzaklıkları ve odaklandıkları noktalar ile aydınlatma hesabı yapılan noktalar arası uzaklıklar program tarafından temel geometrik yasalar esas alınarak bulunmaktadır.

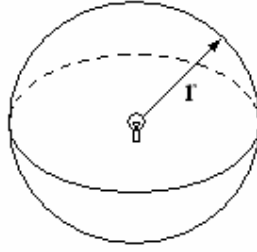


Şekil 3.20.  $Z_h$ ,  $Z_x$  ve  $Z$  yükseklikleri

Bu uzaklıklar, bu uzaklıkların gerektirdiği açılar ve projektörlerin aydınlatma büyüklükleri bir araya getirilerek saha üzerindeki aydınlatma düzeyleri hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalarda point-point (nokta-nokta) metodu kullanılmaktadır. Point-point (nokta-nokta) metodunda temel esas, askı noktalarında asılı olan lambaların tam altında ve tam altından uzaklaşan noktalarda oluşturmuş olduğu aydınlık düzeylerinin hesaplanmasıdır [73].



Şekil 3.21. Bir lamba ve  $r$  yarıçaplı küre



Şekil 3.22. Bir lamba ve r yarıçaplı küre

Şekil 3.21.'de görüldüğü gibi, bir ışık kaynağından çıkan “1 cd ” (kandela)’lik ışık şiddetinin “1 m” uzağında yer alan “1 m<sup>2</sup>” lik yüzeyde oluşturmuş olduğu aydınlık düzeyi “1 Lüks” olup, bu çalışmada hesaplanan aydınlık düzeyleri de “Lüks” olarak hesaplanmaktadır [68].

Işık kaynaklarının sahip olduğu toplam ışık miktarına ışık akısı denir. Bu ışık akısını oluşturan ışınlar küresel bir açıda etrafa yayılırlar. Şekil 3.22.'de görülen “r” yarıçaplı bir küre içerisindeki aydınlık düzeyi,

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (3.1)$$

olur. Toplam ışık akısı,

$$\Phi = 4 \times \pi \times I \quad (3.2)$$

ve küre yüzeyi,

$$S = 4 \times \pi \times r^2 \quad (3.3)$$

ise aydınlık düzeyi,

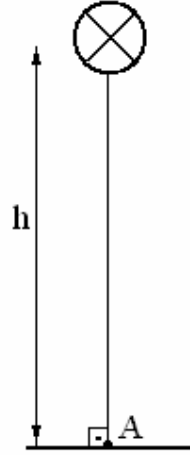
$$E = \frac{I}{r^2} \quad (3.4)$$

elde edilir.

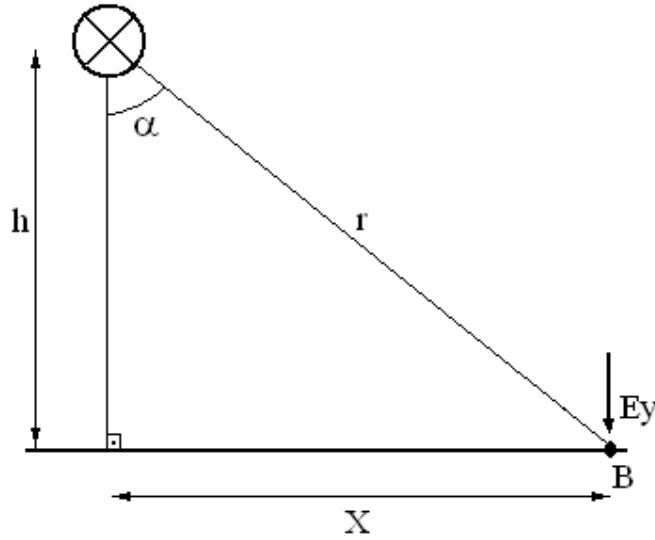
Burada elde edilen eşitlik ile, benzer tarzda şekil 3.23.'de bir lambanın tam alt noktasındaki A noktasının aydınlık düzeyi,

$$E = \frac{I}{h^2} \quad (3.5)$$

olarak bulunur.



Şekil 3.23. h yüksekliğinde asılı bir lamba



Şekil 3.24. h yüksekliğinde asılı lambadan X uzaklığında ve  $\alpha$  açısında bulunan noktada yatay aydınlık düzeyi

Şekil 3.24.'de lambanın tam alt noktası dışında, X açıklığındaki B noktasında yukarıdan gelen ışınların yatay zeminde oluşturduğu aydınlık düzeyi yatay aydınlık düzeyi olarak kabul edilir. B noktasındaki yatay aydınlık düzeyi,

$$E_y = E \times \cos \alpha \quad (3.6)$$

$$E_y = \frac{I}{r^2} \times \cos \alpha \quad (3.7)$$

dir. Burada,

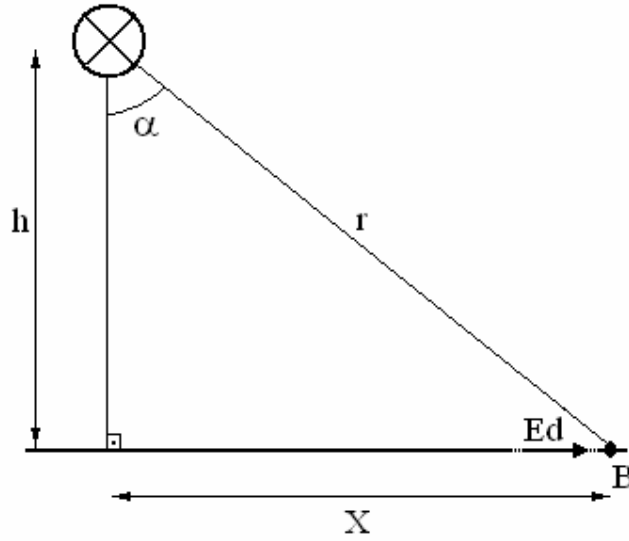
$$r = \frac{h}{\cos \alpha} \quad (3.8)$$

olduğundan,

$$E_y = \frac{I}{\left(\frac{h}{\cos \alpha}\right)^2} \times \cos \alpha \quad (3.9)$$

$$E_y = \frac{I}{h^2} \cos^3 \alpha \quad (3.10)$$

olarak bulunur.



Şekil 3.25.  $h$  yüksekliğinde asılı lambadan  $X$  uzaklığında ve  $\alpha$  açısında bulunan noktada düşey aydınlık düzeyi

Şekil 3.24.'de lambanın tam alt noktası dışında,  $X$  açıklığındaki  $B$  noktasında yandan gelen ışınların yanal zeminde oluşturduğu aydınlık düzeyi düşey aydınlık düzeyi olarak kabul edilir.  $B$  noktasındaki düşey aydınlık düzeyi,

$$E_d = E \times \sin \alpha \quad (3.11)$$

$$E_d = \frac{I}{r^2} \times \sin \alpha \quad (3.12)$$

dir. Burada,

$$r = \frac{h}{\cos \alpha} \quad (3.13)$$

olduğundan,

$$Ed = \frac{I}{\left(\frac{h}{\cos \alpha}\right)^2} \times \sin \alpha \quad (3.14)$$

$$Ed = \frac{I}{h^2} \times \sin \alpha \times \cos^2 \alpha \quad (3.15)$$

olarak bulunur. Elde edilen bu eşitliklerin stadyum aydınlatmasında kullanılması, bazı değişikliklerle mümkün olmaktadır. Bunun en büyük sebebi, stadyumlarda şekil 3.24. ve şekil 3.25.'de görüldüğü gibi, projektörlerin tam alt noktalarına değil, şekil 3.26.'da görüldüğü gibi saha üzerindeki uzak noktalara odaklanmalarıdır [76-77].

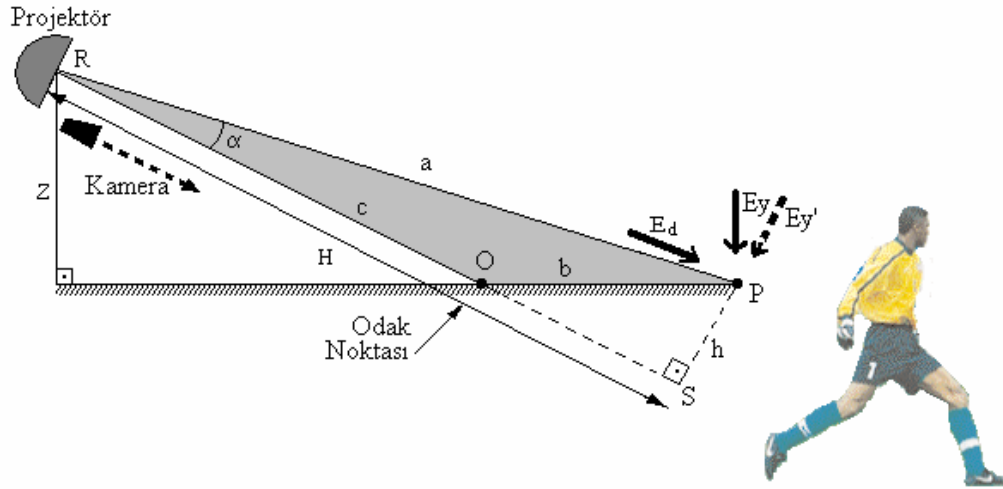
### 3.10.3 Matematiksel eşitliklerin stadyum aydınlatmasına uyarlanmaları

(3.10) ve (3.15) numaralı dış aydınlatma denklemleri direkt olarak stadyum aydınlatmasında kullanıldığında, elde edilen düşey ve yatay aydınlatma düzeylerinin ölçülen değerler ile uyum sağlamadığı görülmüştür. Bunun sebebini incelemek için şekil 3.26.'da görülen geometrik üçgen çizilerek, projektör, odak noktası ve aydınlık düzeyi hesaplanan noktanın meydana getirdiği sanal üçgen dikkate alınmıştır.

Bu sanal üçgen, üç boyutlu ortamda meydana geldiğinden, aydınlık düzeyi hesaplanan her noktada aydınlık düzeyi hesaplanan her projektör için farklı büyüklüklerde ve farklı düzlemlerde, farklı açılara sahip olarak mevcut olup, matlab programı tarafından tümü ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

Matlab programı tarafından hesaplanan sanal üçgenlerin alansal, açısal ve ayrıtsal büyüklükleri dikkate alınarak tüm grup projektörlerin saha üzerinde seçilen noktalarda meydana getirdiği düşey ve yatay aydınlık düzeyleri hesaplanabilmektedir.





Şekil 3.26.  $E_y$  ve  $E_d$  hesaplamalarında kullanılan geometrik üçgen

Saha üzerinde 64 ayrı noktaya odaklanan her bir projektör grubunun, istenilen noktalarda meydana getirdiği aydınlık düzeyi değerlerini bulabilmek için, şekil 3.26.'daki üçgensel alandan yararlanılmaktadır.

Böyle bir üçgenin bir köşesi grup projektörünün direk üzerinde bulunduğu nokta, bir köşesi grup projektörün saha üzerinde odaklandığı nokta, diğer köşesi ise aydınlık düzeyi hesaplanan noktadır.

Şekil 3.26.'da görülen POR üçgeninin alanı:

$$S = \sqrt{d \times (d - a) \times (d - b) \times (d - c)} \quad (3.16)$$

dır. Burada,

$$d = \frac{(a + b + c)}{2} \quad (3.17)$$

dır.  $S$  alanı hesaplanan POR üçgeninin referans alınan  $c$  kenarına göre  $h$  yüksekliği, ve hesaplamalarda kullanılan  $H$  mesafesi değerleri,

$$h = \frac{2 \times S}{c} \quad (3.18)$$

ve

$$H = \sqrt{a^2 - h^2} \quad (3.19)$$

bağıntılardan bulunabilir. Bütün bu değerler yardımıyla  $\alpha$  açısı bulunabilir:

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{H}{a} \quad (3.20)$$

$\alpha$  açısı aydınlık düzeyi hesaplanacak muhtelif noktalar için ayrı ayrı bulunur. Daha sonra kullanılan projektöre ait ışık dağılım eğrisinden faydalanarak bu noktalardaki ışık şiddetleri ( $I_\alpha$ ) bulunur. Bu noktalarda, düşey ışık ışınlarının oluşturduğu yatay aydınlık düzeyleri  $E_y$  ile gösterilirken, yatay ışık ışınlarının oluşturduğu düşey aydınlık düzeyleri  $E_d$  ile gösterilmektedir.

Şekil 3.26.'da görüldüğü gibi projektör lambasından çıkan ışık ışınlarının “a” uzaklığında, P noktasında meydana getirdiği düşey aydınlık düzeyi,

$$E_d = \frac{I_\alpha}{a^2} \times \cos \alpha \quad (3.21)$$

dir. “a” yerine “H” odak uzaklığı kullanılırsa,

$$E_d = \frac{I_\alpha}{\left(\frac{H}{\cos \alpha}\right)^2} \times \cos \alpha \quad (3.22)$$

$$E_d = \frac{I_\alpha}{H^2} \times \cos^3 \alpha \quad (3.23)$$

olarak bulunur. Projektörlerin uzak noktalara odaklanmaları ve kameraların bakış açısına yakın bir açığa sahip olmaları nedenleriyle, yukarıdaki benzeri yatay aydınlatma düzeyi hesaplamasında kullanılan bu eşitlik, stadyum aydınlatma hesabında düşey aydınlık düzeyi için kullanılmaktadır.

P noktasında elde edilen yatay aydınlık düzeyi de benzer şekilde bulunabilir. Şekil 3.26.'da görüldüğü gibi projektör lambasından çıkan ışık ışınlarının “a” uzaklığında, P noktasında meydana getirdiği yatay aydınlık düzeyi,

$$E_y = \frac{I\alpha}{a^2} \times \sin \alpha \quad (3.24)$$

dır. “a” yerine “H” odak uzaklığı kullanılırsa,

$$E_y' = \frac{I\alpha}{\left(\frac{H}{\cos \alpha}\right)^2} \times \sin \alpha \quad (3.25)$$

$$E_y' = \frac{I\alpha}{H^2} \times \sin \alpha \times \cos^2 \alpha \quad (3.26)$$

elde edilir. Projektörlerin uzak noktalara odaklanmaları ve kameraların bakış açısına yakın bir açıya sahip olmaları nedenleriyle yukarıdaki benzeri düşey aydınlatma düzeyi hesaplamasında kullanılan bu eşitlik, stadyum aydınlatma hesabında yatay aydınlık düzeyi için kullanılmaktadır.

Şekil 3.26.’da görüldüğü gibi projektörlerin eğimli olmaları nedeniyle, hesaplanan “E<sub>y</sub>’ “ değerleri gerçekte bulunması istenen “E<sub>y</sub>” değerlerinden farklıdır. Bu sebeple “E<sub>y</sub>” gerçek değerlerini bulmaya yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda yatay aydınlatma düzeyi hesaplamaları için “Z” yükseklikleri ile “Y” saha eni ve “D” açıklıkları arasındaki ilişki incelenmiştir. İncelemede yatay aydınlatma düzeyinin “Z” yüksekliği ile doğru, “Y” ve “D” mesafelerinin toplamı ile ters orantılı olarak değiştiği görülmüştür. İncelemede ayrıca bu ilişkinin doğrusal olmadığı, fakat ters logaritmik bir değişimle gösterilebileceği anlaşılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen:

$$E_y = \ln^{-1} \left( \frac{Z}{\frac{Y}{2} + D} \right) \times \frac{I\alpha}{H^2} \sin \alpha \cos^2 \alpha \quad (3.27)$$

denkleminin yatay aydınlatma düzeyi hesaplamalarında kullanılabileceği anlaşılmıştır [Ek A].

Bu işlemlerin devamında her bir grup projektörünün söz konusu noktalarda da sağladığı  $E_d$  ve  $E_y$  aydınlık düzeyleri, bütün grup projektörler dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

$$E_{dx} = \sum_{i=1}^n \frac{(I\alpha)_i}{H^2} \cos^3 \alpha_i \quad (3.28)$$

$$E_{yx} = n^{-1} \left( \frac{Z}{\frac{Y}{2} + D} \right) \times \sum_{i=1}^n \frac{(I\alpha)_i}{H^2} \sin \alpha_i \cos^2 \alpha_i \quad (3.29)$$

Burada “n”, tüm direklerde kullanılan projektör sayısını göstermektedir. Şekil 3.27.’de aydınlık düzeyi hesaplanacak olan tüm noktalar gösterilmiştir.

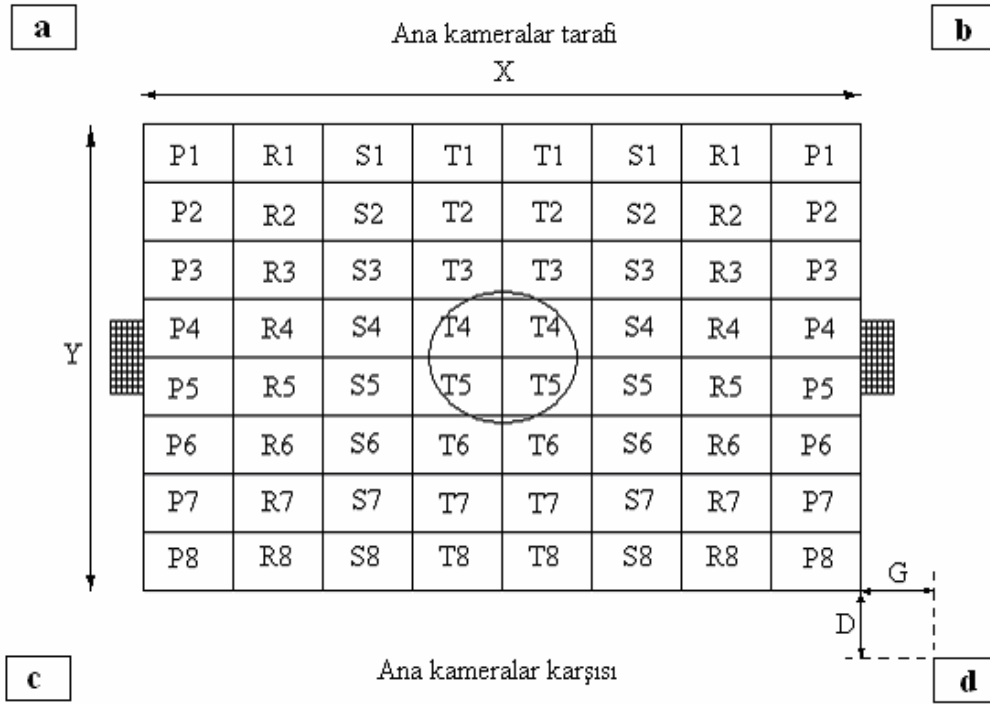
Gerçekleştirilen çalışmada, istenildiği takdirde kameralar lehine fayda sağlamaya yönelik stadyum aydınlatmasının simetrik yerine asimetrik olarak tasarlanabilme imkanı mevcuttur. Bu asimetriklik yarı sahalarla ilgili olmayıp, kaleleri birleştiren eksen bir çizgisi ile saha boylamasına ikiye bölündüğünde ortaya çıkmaktadır. Yarı sahalar arasındaki simetrikliğin bozulması amaçlanmamaktadır.

### 3.11. Parıltı

Aydınlatılmakta olan bir cisme gönderilen ışık ışınlarının bir miktarı cisim tarafından yansıtılır. Cisim tarafından ışınların yansıtılması parıltı olarak adlandırılır ve “L” sembolü ile gösterilir. Parıltı birimi “Nit” olup, (3.30) numaralı denklemde görüldüğü gibi, bir yüzeye düşürülen ışık şiddetinin bu yüzeyin büyüklüğüne oranı olarak ifade edilir. Noktasal aydınlatma metodunda ise, aydınlatma düzeyi hesaplanan noktaya yakın noktalarda da, yaklaşık aynı aydınlık düzeyi oluştuğu kabul edildiğinden, (3.31) numaralı denklemde görüldüğü gibi bu noktalarda oluşan aydınlık düzeyi ve bu noktaların yer aldığı yüzeyel büyüklük dikkate alınır [44-45].

$$L = \frac{I}{S} = 1Nit \quad (3.30)$$

$$L = \frac{E}{S} = 1\text{Nit} \quad (3.31)$$



Şekil 3.27. Aydınlık düzeyleri hesaplanan noktalar

(3.31) numaralı denklemde yer alan “E” nin birimi “Lüks”, “S” nin birimi ise “m<sup>2</sup>” dir. Stadyum aydınlatma hesaplamalarında düşey ve yatay parıltı değerleri ayrı ayrı hesaplanmaktadır. FIFA tarafından izin verilen maksimum parıltı değeri “50 Nit” dir.

## **BÖLÜM 4. TEMEL PARAMETRELERİN AYDINLATMA DÜZEYİ VE DAĞILIMINA ETKİLERİ**

Tasarımı gerçekleştirilen stadyum aydınlatma tasarımında, tablo 4.1.'de görüldüğü gibi, değiştirilemez sabiteler olmakla beraber, değiştirilebilir birçok değişken mevcuttur. Bu çalışmada gerçekleştirilen stadyum aydınlatma programı ile, ölçüleri ve istenilen aydınlatma düzeyi farklı olsa da, ve 4 adet direk ve  $4 \times 16 = 64$  grup projektör kullanarak bütün stadyumların aydınlatma tasarımı gerçekleştirilebilmektedir.

Bu bölümde, FIFA standartlarına uygun saha ölçülerine sahip bir stadyumun, gerçekleştirilen tasarım programı ile aydınlatma düzeyleri hesaplanarak, şekil 3.21.'de görülen direk yüksekliği, direk-taç çizgisi aralığı, direk-aut çizgisi aralığı değişimleri incelenmektedir. Ayrıca simetriklik-asimetriklik değişkenleri değişimlerinin düşey ve yatay aydınlatma düzeylerine etkileri incelenmektedir. Bu değişimlerin etkileri grafiklerle gösterilerek, aydınlık düzeylerinin büyüklükleri ve dağılımları açıklanmaktadır.

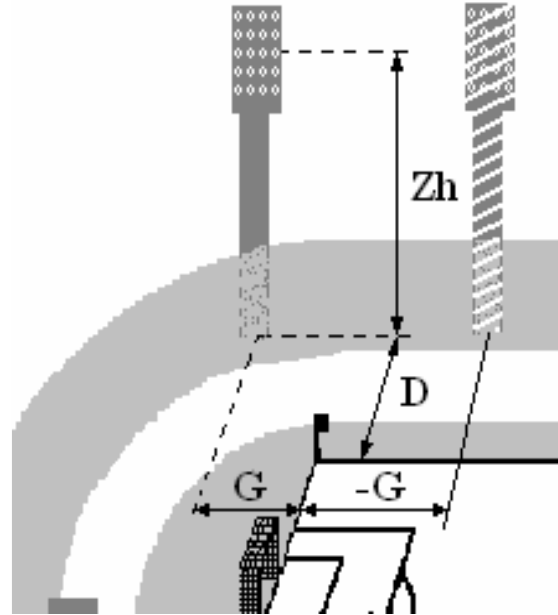
Değiştirilen her değişken büyüklüğün, değişimlerinin saha üzerinde meydana getirdiği aydınlık düzeyleri üç boyutlu grafikler ile de gösterilmektedir. Bu gösterimde, kameraların bakış açısı ve saha birlikte gösterilerek, aydınlatma dağılımlarının mümkün olduğunca anlaşılır olmaları hedeflenmektedir [85-86].

Direk yüksekliği, direk-taç çizgisi aralığı, direk-aut çizgisi aralığı, simetriklik-asimetriklik değişkenlerinin değişim etkileri simetrik, yuvarlak normal açılı projektör ile incelenmektedir. Ayrıca sayı ve güçleri değişmeksizin, simetrik yada asimetrik şekle sahip, yuvarlak ve dikdörtgen yapılu projektörlerin oluşturduğu aydınlık düzeyleri incelenmektedir. Programın hesaplama yeteneğini göstermesi açısından

standart ölçülerden farklı olan birkaç saha ve stadyum için de aydınlık düzeyleri bu bölümde hesaplanmakta ve dağılımlar gösterilmektedir.

#### 4.1. Hesaplamalarda Referans Alınan Parametre Değerleri

Bu bölümde gerçekleştirilen hesaplamalarda, dikkate alınan parametre değişimi etkisinin incelenmesi için diğer parametreler sabit tutulmaktadır. Bu sebeple bu bölümdeki hesaplamalara referans olması için FIFA standartlarına uygun saha ölçülerine sahip olan, orta büyüklükte bir stadyumun parametre büyüklükleri tablo 4.1.'de verilmiştir [23-24]. Değişimlerinin etkileri incelenecek olan parametrelerden “Zh” direk yüksekliği, “D” direk-taç çizgisi aralığı ve “G” direk –aut çizgisi aralığı şekil 4.1.'de görülmektedir. Bu şekle göre direk yüksekliklerinin azaltılıp çoğaltılabileceği, direk yerinin minimum taç çizgisi üzerine gelebileceği ve direklerin aut çizgisine göre içeride yada dışarıda olabileceği görülmektedir. Direklerin aut çizgisine göre içeride olması “-G” olarak, dışarıda olması ise “G” olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.1. “Zh” direk yüksekliği, “D” direk-taç çizgisi aralığı ve “G” direk–aut çizgisi aralığı değişimi

Tablo 4.1. Hesaplamalarda referans alınan stadyum parametreleri

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Saha Eni (Y => m)	70	Direk Yüksekliği (Zh=> m)	40
Saha Boyu (X=> m)	105	Çalışma Yüksekliği (Zx=> m)	1,5
Direk-Taç Çizgisi Aralığı (D=> m)	30	Kullanılan Lamba Türü	M. Halide
Direk-Aut Çizgisi Aralığı (G=> m)	10	Armatür Tipi	Yuvarlak
Toplam Projektör Sayısı	256	Projektör Güçleri (Kw)	2

#### 4.2. Direk Yüksekliği Değişiminin Aydınlatma Düzeylerine Etkileri

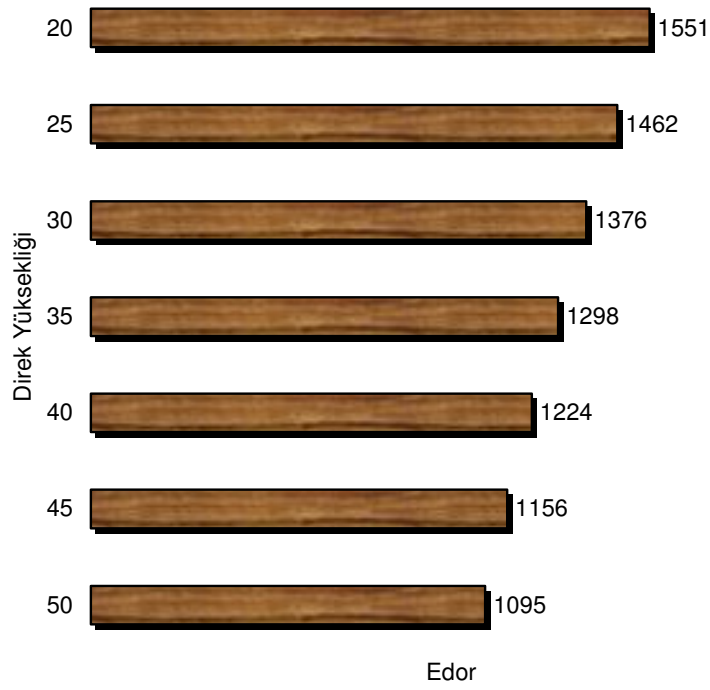
Projektörlerin konumlandırıldığı direk yüksekliği değişiminin düşey ve yatay aydınlık düzeylerinde yapmış olduğu değişimler şekil 4.2. ve şekil 4.3.'de görülmektedir. Bu şekillerde direk yüksekliği arttıkça sağlanan aydınlık düzeylerinin azaldığı görülmektedir.

Direk yüksekliklerini azaltarak sağlanan aydınlık düzeyinin artırılması, dolayısıyla aydınlatmada verimliliğin artırılması ilk bakışta faydalı gözükse de, aydınlatma dağılımı incelenmeden yalnız başına bir çözüm olmamaktadır.

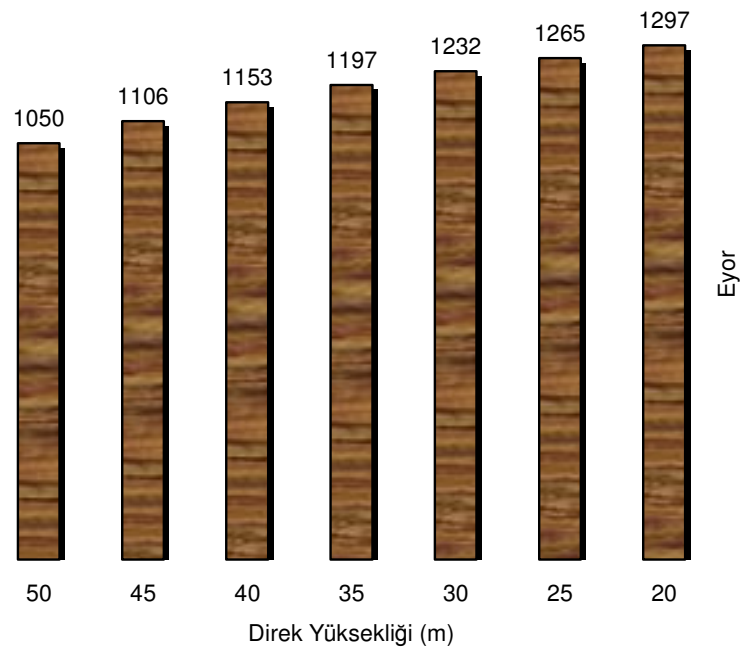
Direk yüksekliklerindeki azalmayla birlikte sağlanan aydınlık düzeyleri artsa bile, şekil 4.4. ve şekil 4.5.'den de görüleceği gibi hem düşey aydınlatma için, hem de yatay aydınlatma için U1d, U2d, U1y ve U2y değerlerinin azalmakta olduğu görülmektedir. Direk yüksekliği azaldıkça, düşey aydınlık düzeyindeki artma yatay aydınlık düzeyine göre daha fazla olmaktadır.

Direk yükseklikleri azaldıkça veya projektörler sahaya yaklaştıkça aydınlık düzeylerindeki iyileşmeye rağmen, saha üzerinde sağlanan aydınlık düzeyleri daha dengesiz bir dağılım göstermektedir. Direk yüksekliklerindeki artma durumunda ise, aydınlık düzeyleri azalırken, dağılım dengesi düzelmektedir.





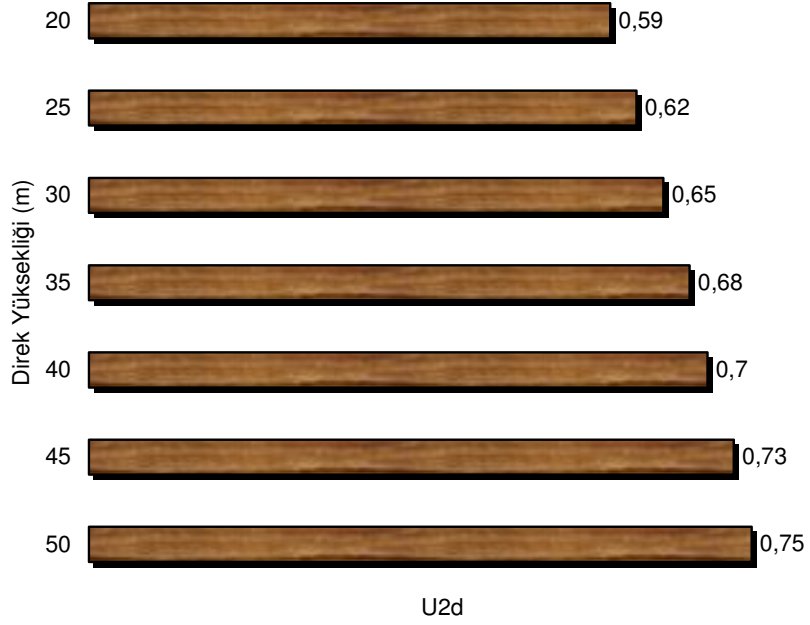
Şekil 4.2. Direk yüksekliği değişiminin düşey aydınlık düzeyine etkisi



Şekil 4.3. Direk yüksekliği değişiminin yatay aydınlık düzeyine etkisi

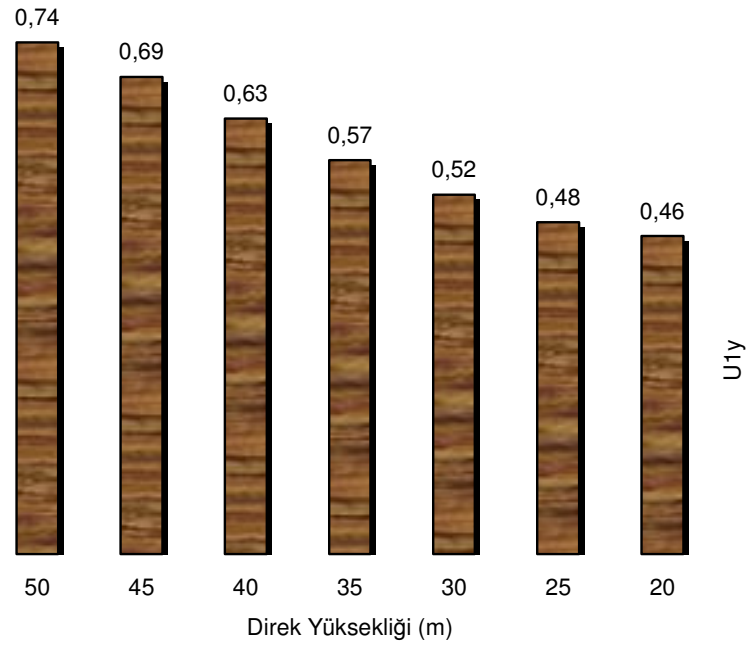


(a)

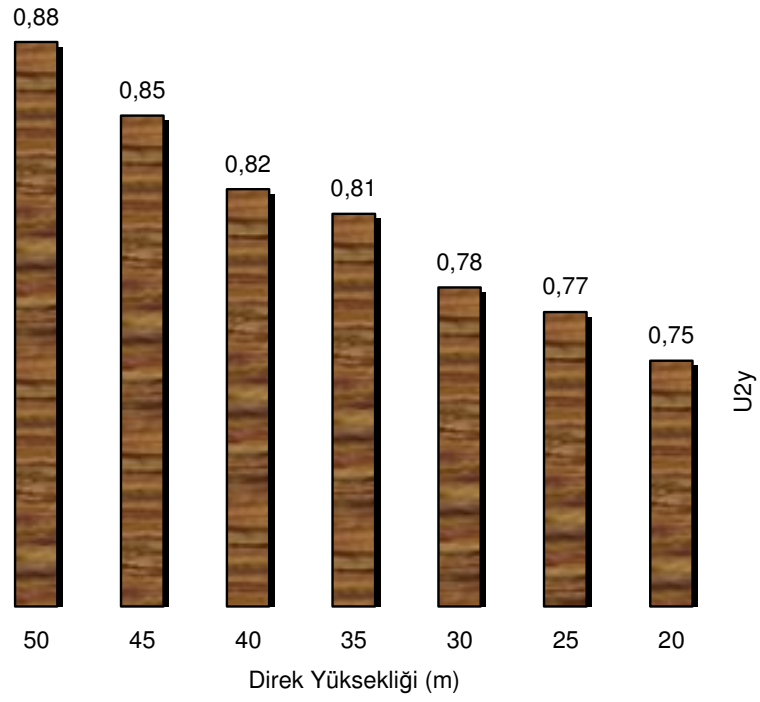


(b)

Şekil 4.4. Direk yüksekliği değişiminin düşey aydınlık düzeyi dağılımına etkileri: a) U1d b) U2d



(a)

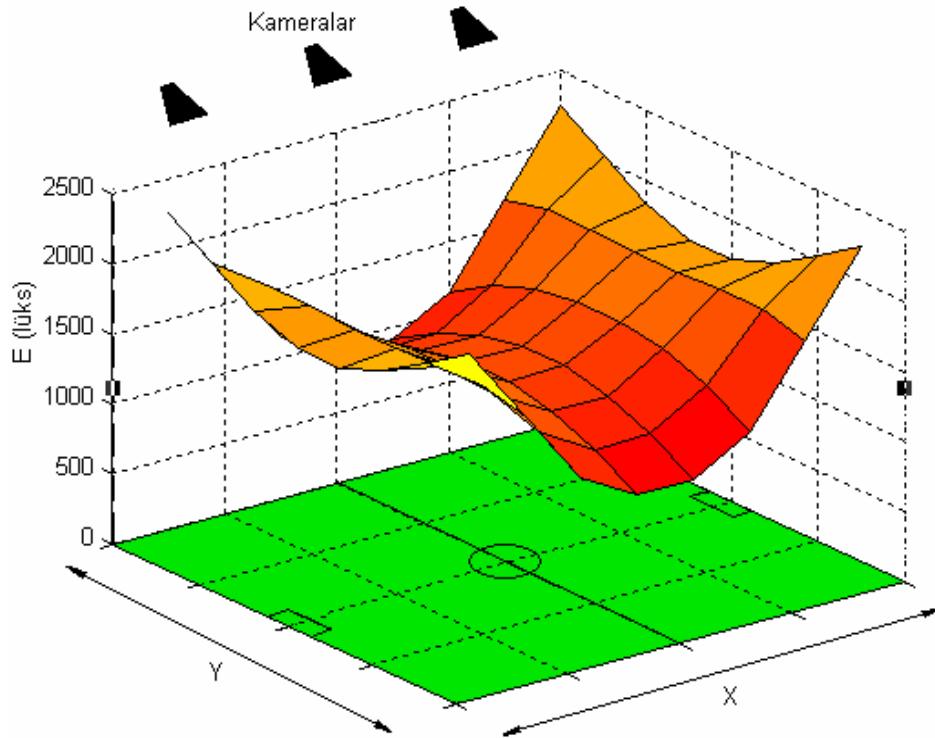


(b)

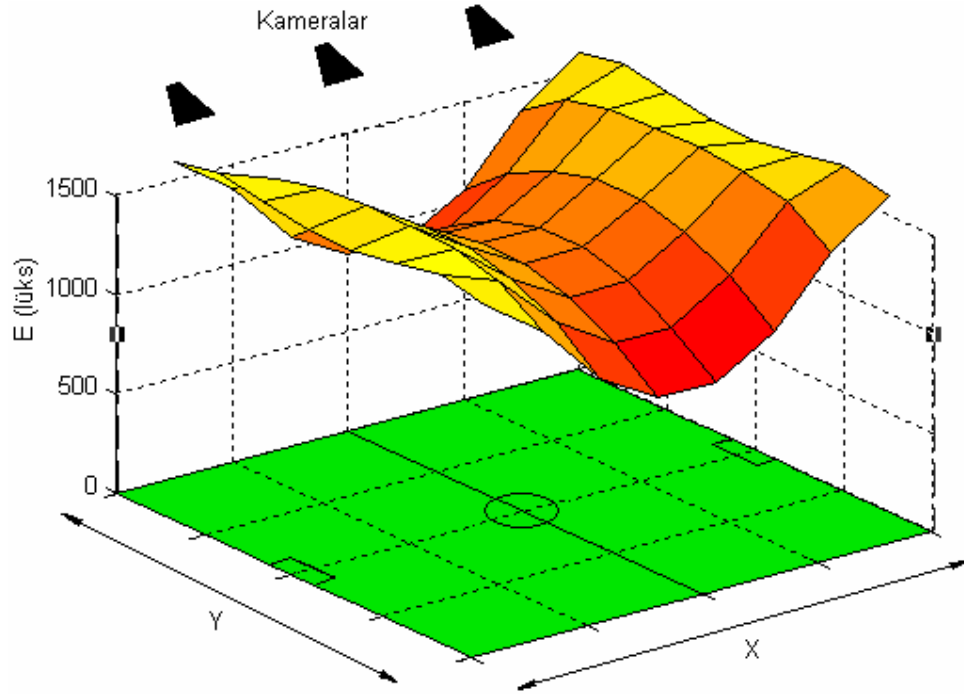
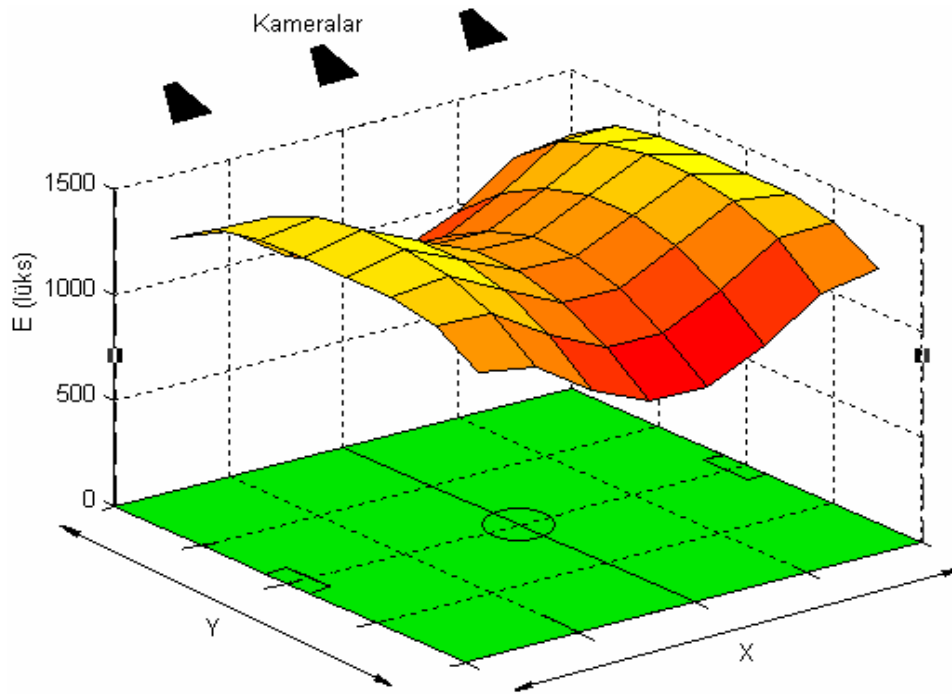
Şekil 4.5. Direk yüksekliği değişiminin yatay aydınlık düzeyi dağılımına etkileri: a) U1y b) U2y

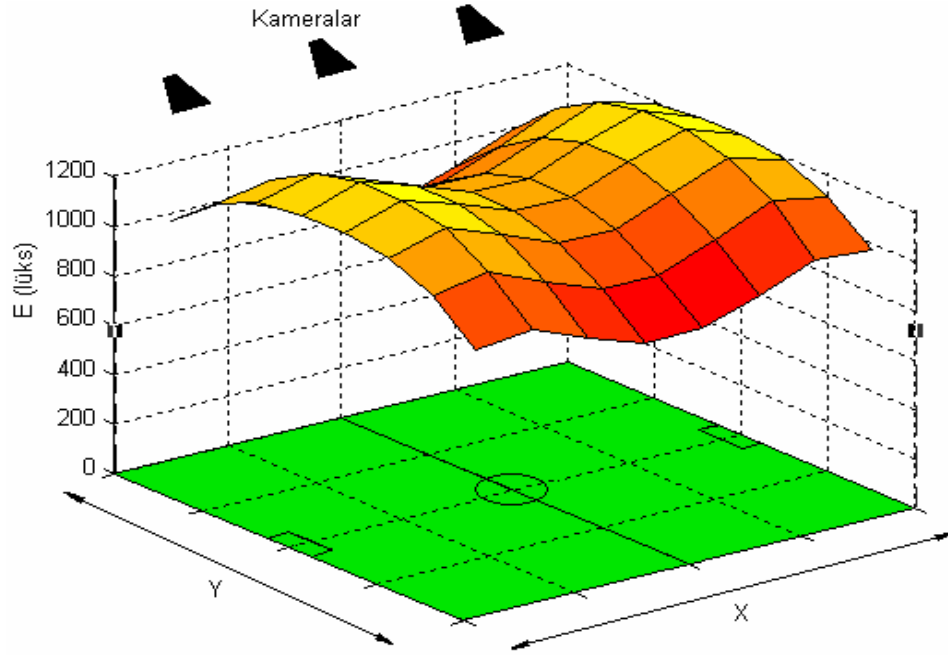
Şekil 4.4. ve şekil 4.5.'de görüldüğü gibi direk yükseklikleri fazla tutularak, dağılımı çok dengeli olan aydınlık düzeyleri sağlamak teorik olarak mümkün olmakla beraber, bu tür çözümler gerek bu tür direklerin statik mukavemet dayanım güçlüğü, gerekse aydınlatma düzeylerindeki düşme sebebiyle tercih edilmemektedirler. 40 m'den yüksek direk kullanılması durumunda, tablo 3.1.'e göre sağlanan aydınlık düzeylerinin yetersiz kalmaya başladığı görülmektedir.

Direk yükseklikleri az tutularak, sağlanan aydınlatma düzeylerinde artış sağlanabilmekle beraber, sağlanan aydınlık düzeyleri arası dengesizlik bu tercihi mümkün kılmamaktadır. U1d, U2d, U1y ve U2y oranlarının tablo 3.2.'ye göre kontrolü yapıldığında, düşey aydınlatma düzeyi için, daha düşük yüksekliğe sahip direklerin kullanılması mümkün olabilmekle beraber, yatay aydınlatma için 40 m'den düşük direk yüksekliklerinin uygun olmadığı görülmektedir. Şekil 4.6. ve şekil 4.7.'de direk yüksekliğindeki değişimlerin düşey ve yatay aydınlatma dağılımlarına etkileri üç boyutlu olarak görülmektedir.

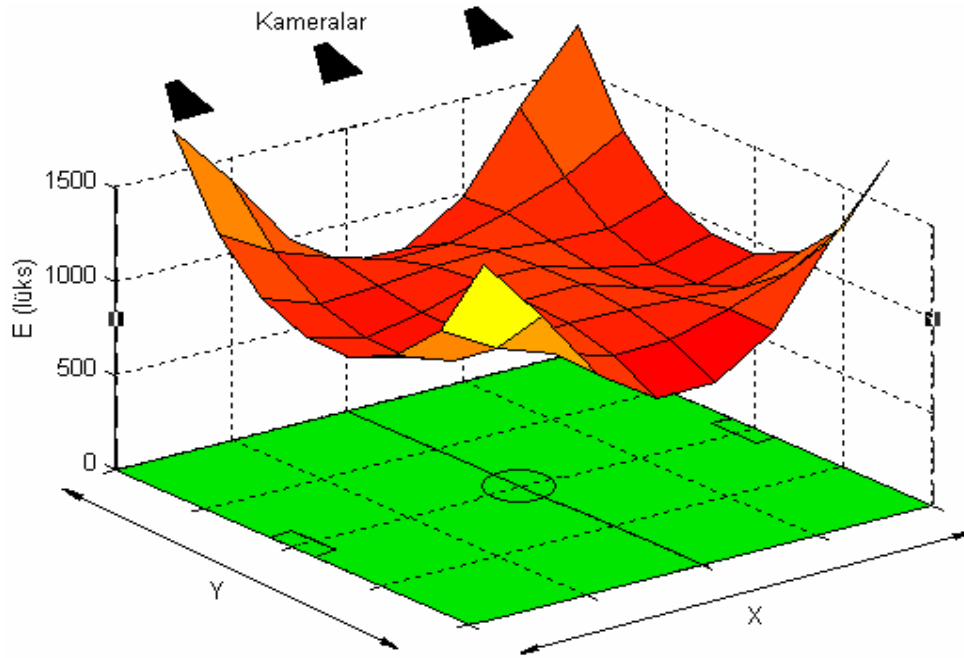


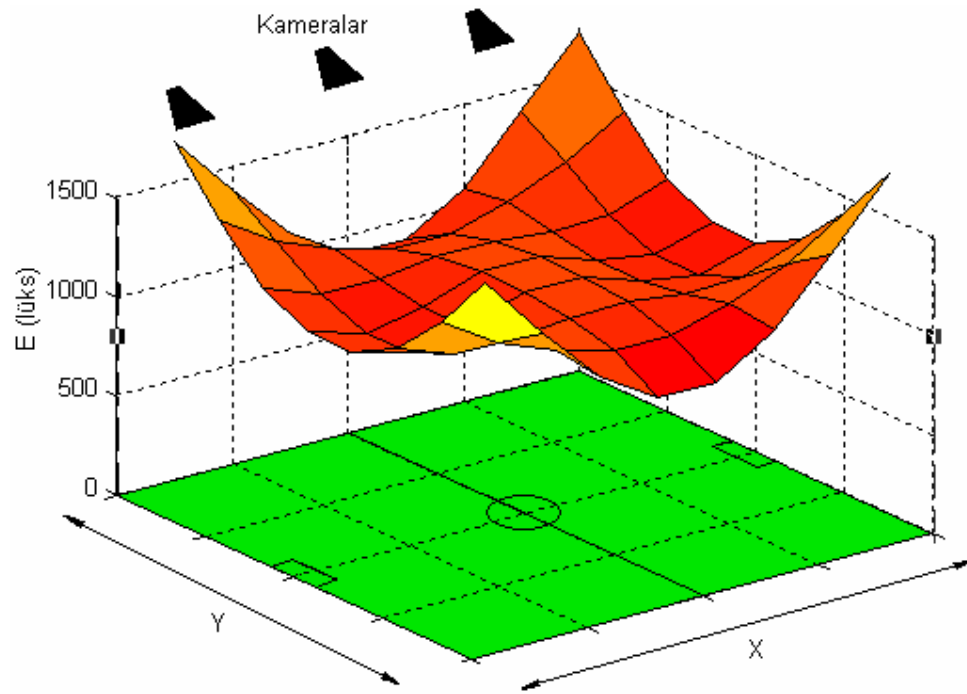
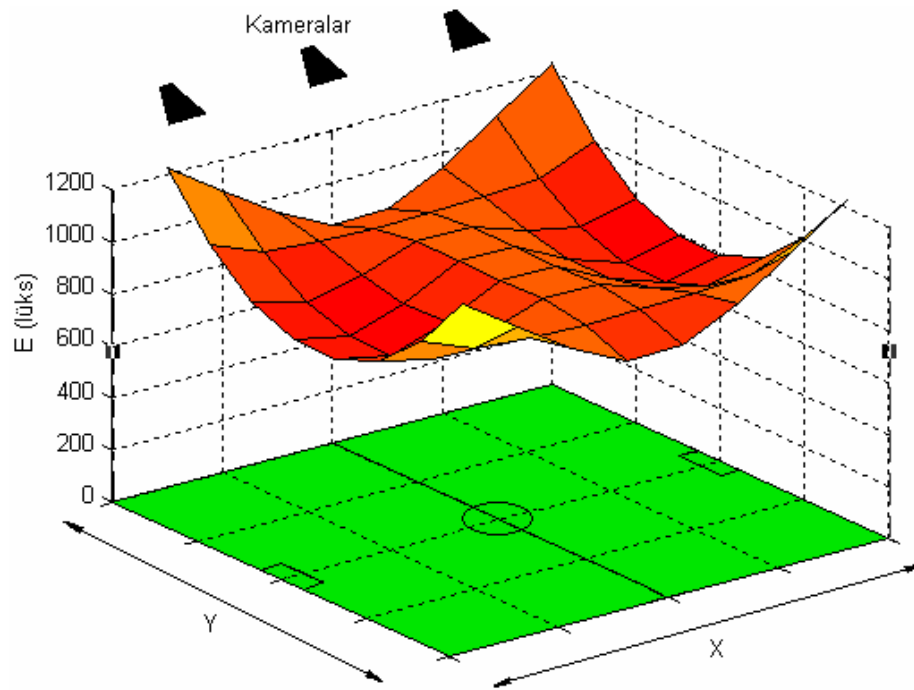
a) Zh=20 m

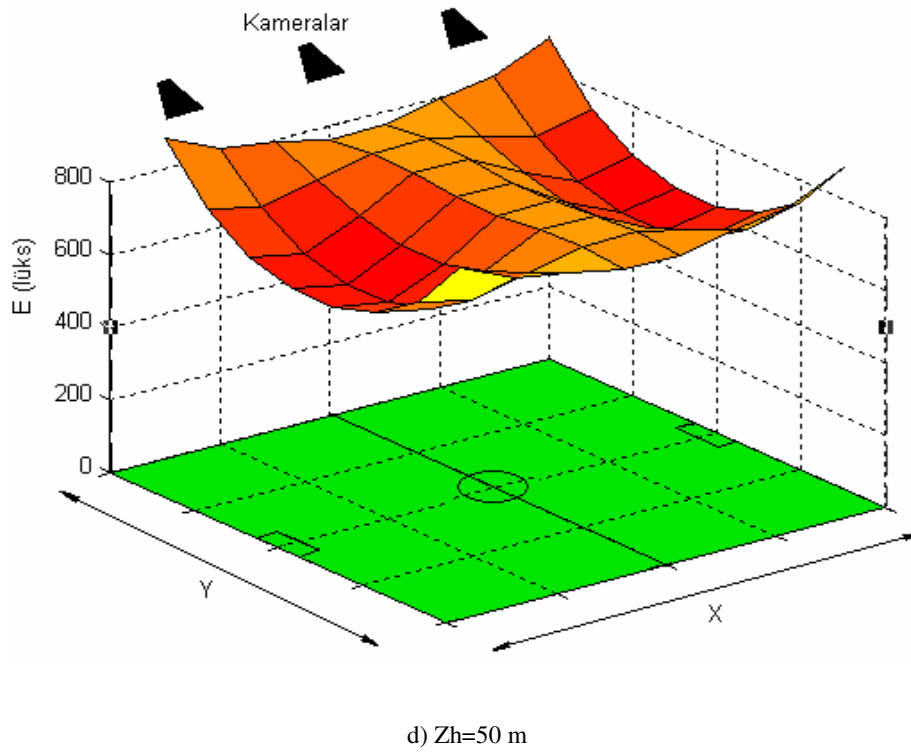
b)  $Z_h=30$  mc)  $Z_h=40$  m

d)  $Z_h = 50$  m

Şekil 4.6. Direk yüksekliğindeki değişimlerin düşey aydınlatma dağılımına etkileri: a)  $Z_h = 20$  m, b)  $Z_h = 30$  m,  $Z_h = 40$  m,  $Z_h = 50$  m

a)  $Z_h = 20$  m

b)  $Z_h=30$  mc)  $Z_h=40$  m

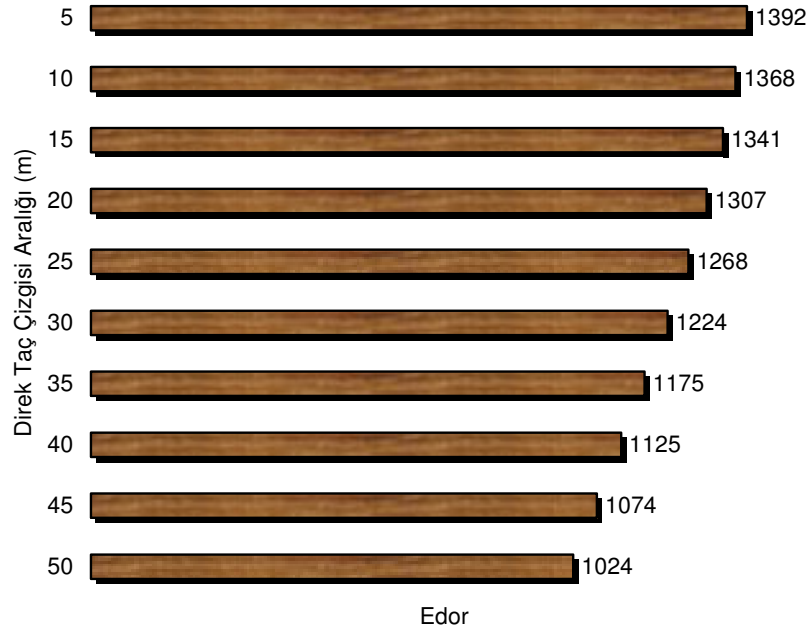


Şekil 4.7. Direk yüksekliğindeki değişimlerin yatay aydınlatma dağılımına etkileri a)  $Z_h=20$  m, b)  $Z_h=30$  m,  $Z_h=40$  m,  $Z_h=50$  m

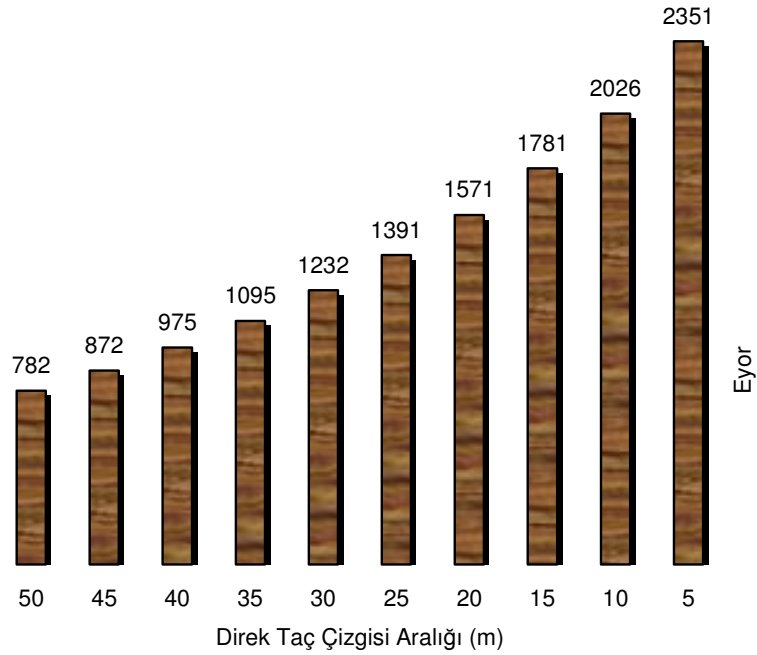
### 4.3. Direk-Taç Çizgisi Aralığı Değişiminin Aydınlatma Düzeylerine Etkileri

Projektörlerin konumlandırıldığı direkler ile taç çizgisi aralığı değişiminin düşey ve yatay aydınlık düzeylerinde yapmış olduğu değişimler şekil 4.8. ve şekil 4.9.'de görülmektedir. Bu şekillerde direk-taç çizgisi aralığı arttıkça sağlanan aydınlık düzeylerinin azaldığı görülmektedir. Direk-taç çizgisi aralığını azaltarak sağlanan aydınlık düzeyinin artırılması, dolayısıyla aydınlatmada verimliliğin artırılması ilk bakışta faydalı gözükse de, aydınlatma dağılımı incelenmeden yalnız başına bir çözüm olmamaktadır. Direk-taç çizgisi aralığındaki azalmayla birlikte sağlanan aydınlık düzeyleri artsa bile, şekil 4.10. ve şekil 4.11.'den de görüleceği gibi, hem düşey aydınlatma için, hem de yatay aydınlatma için  $U_{1d}$ ,  $U_{2d}$ ,  $U_{1y}$  ve  $U_{2y}$  değerlerinin azalmakta olduğu görülmektedir. Direk-taç çizgisi aralığı azaldıkça aydınlık düzeylerindeki iyileşmeye rağmen, saha üzerinde sağlanan aydınlık düzeyleri daha dengesiz bir dağılım göstermektedir. Direk-taç çizgisi aralığında artma durumunda ise, aydınlık düzeyleri azalırken, dağılım dengesi düzelmektedir.

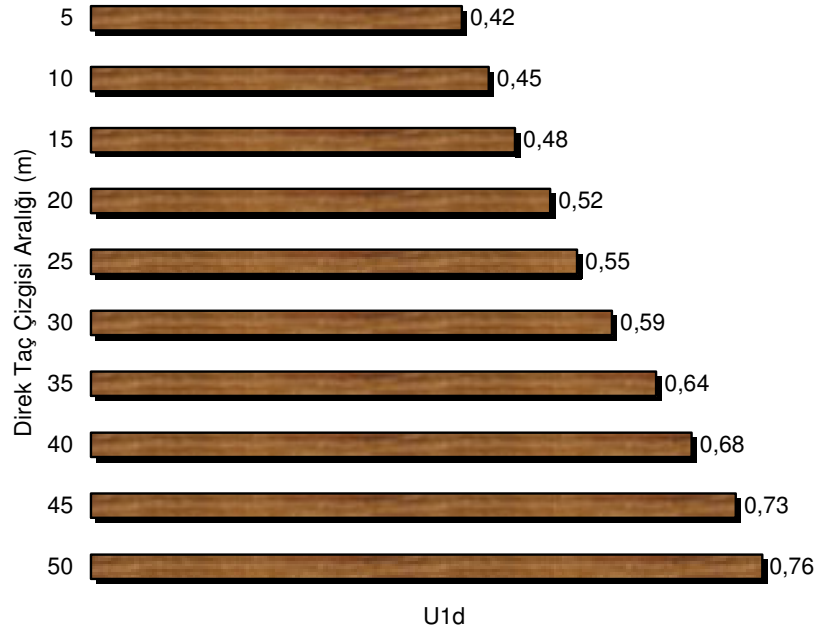




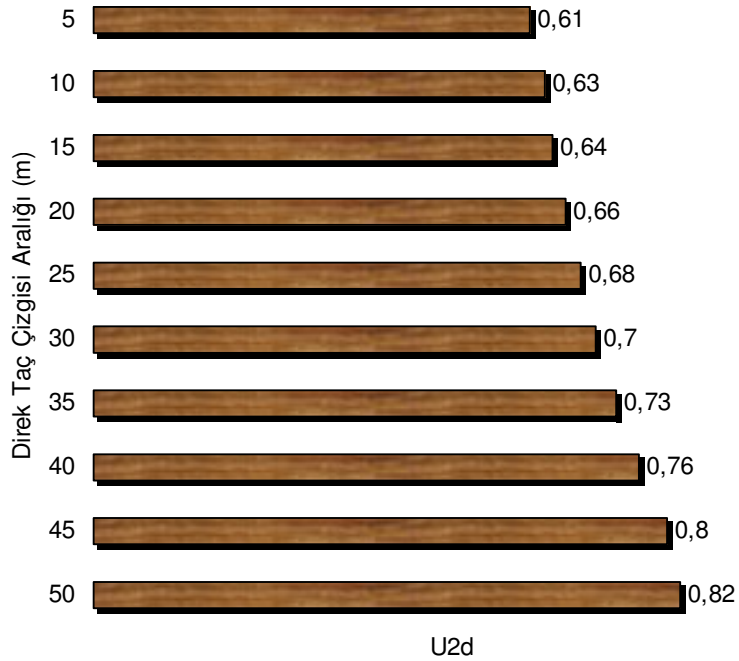
Şekil 4.8. Direk-taç çizgisi aralığı değişiminin düşey aydınlık düzeyine etkisi



Şekil 4.9. Direk-taç çizgisi aralığı değişiminin yatay aydınlık düzeyine etkisi

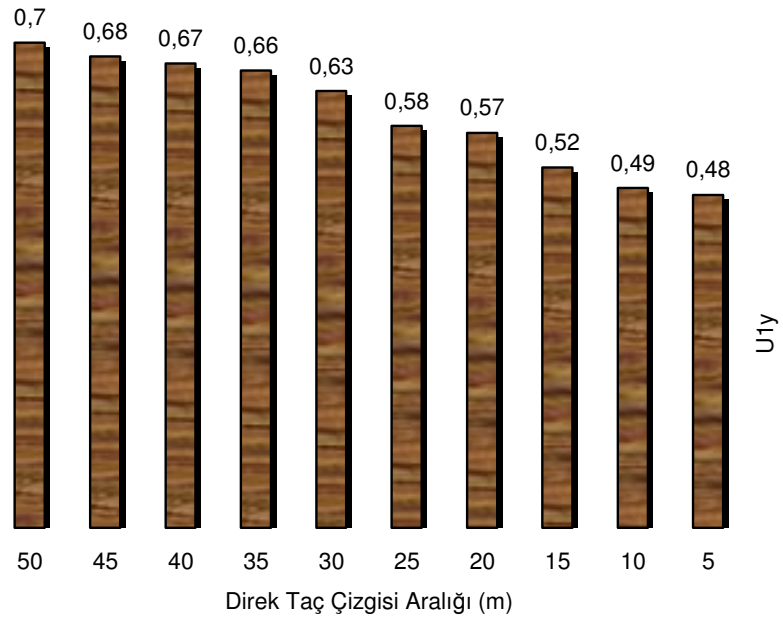


(a)

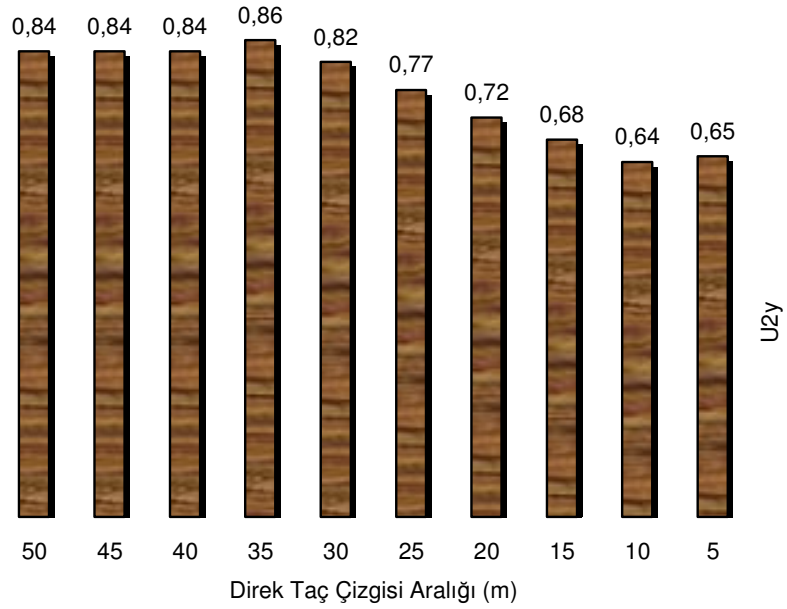


(b)

Şekil 4.10. Direk-taç çizgisi aralığı değişiminin düşey aydınlık düzeyi dağılımına etkileri: a) U1d  
b) U2d



(a)

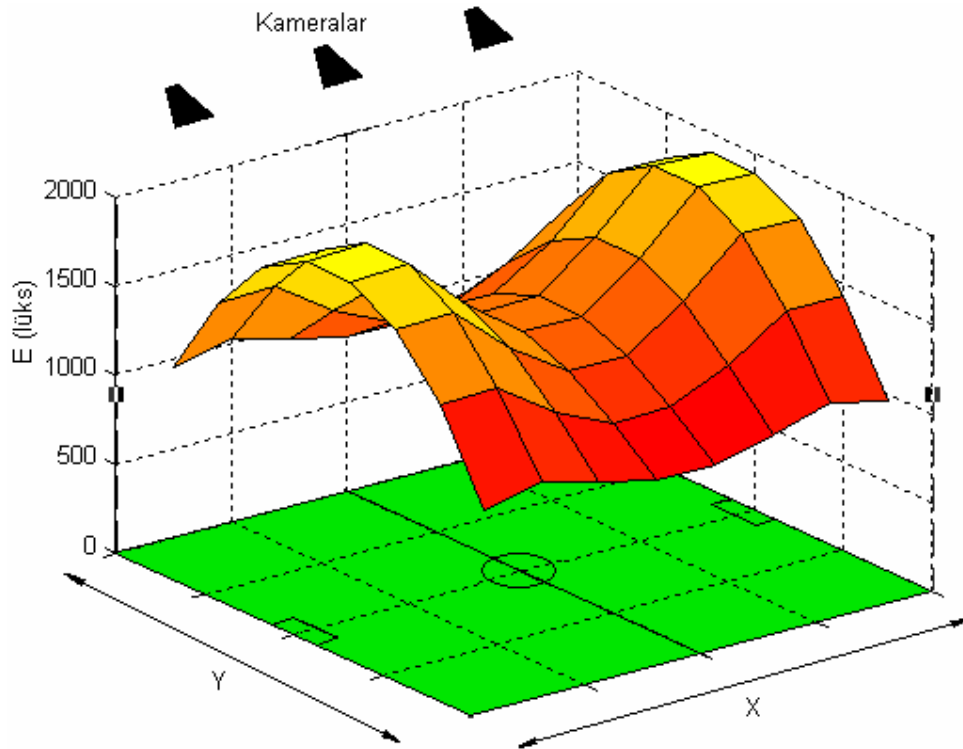


(b)

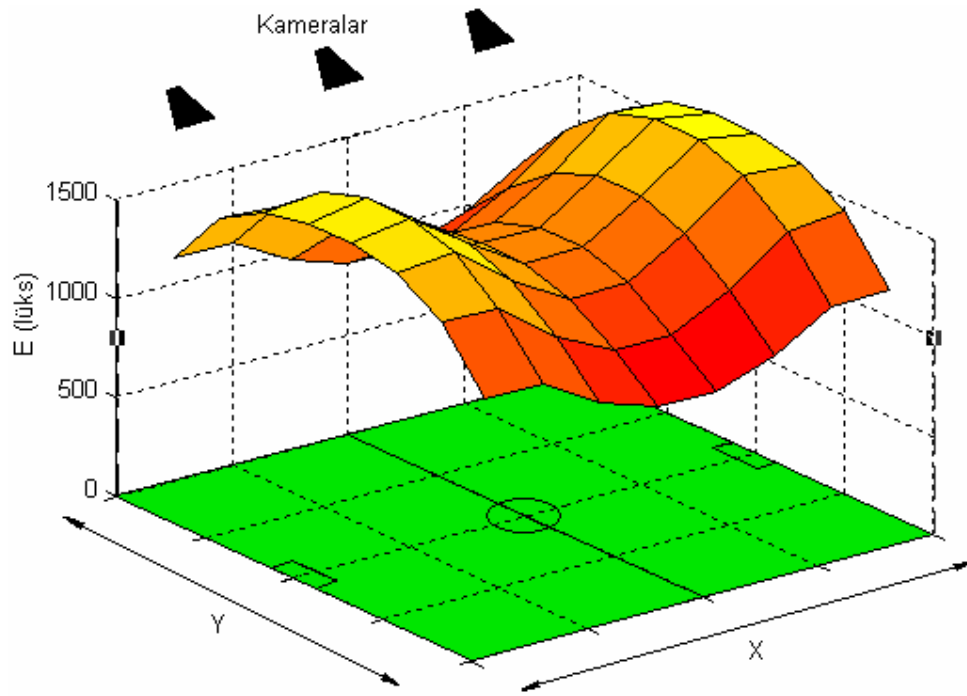
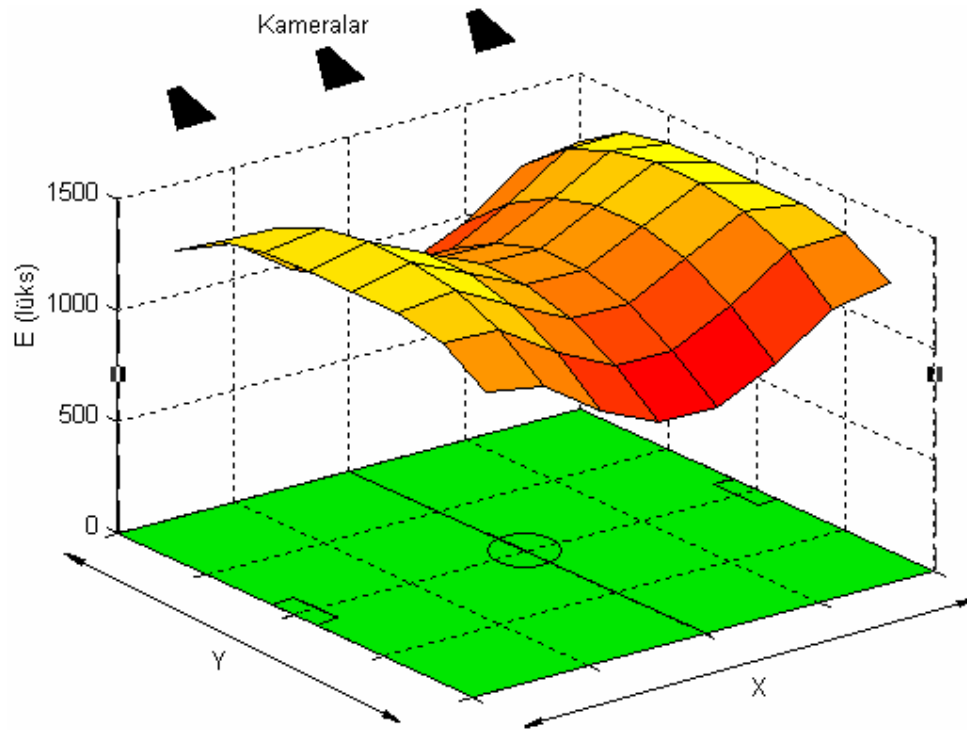
Şekil 4.11. Direk-taç çizgisi aralığı değişiminin yatay aydınlık düzeyi dağılımına etkileri: a) U1y  
b) U2y

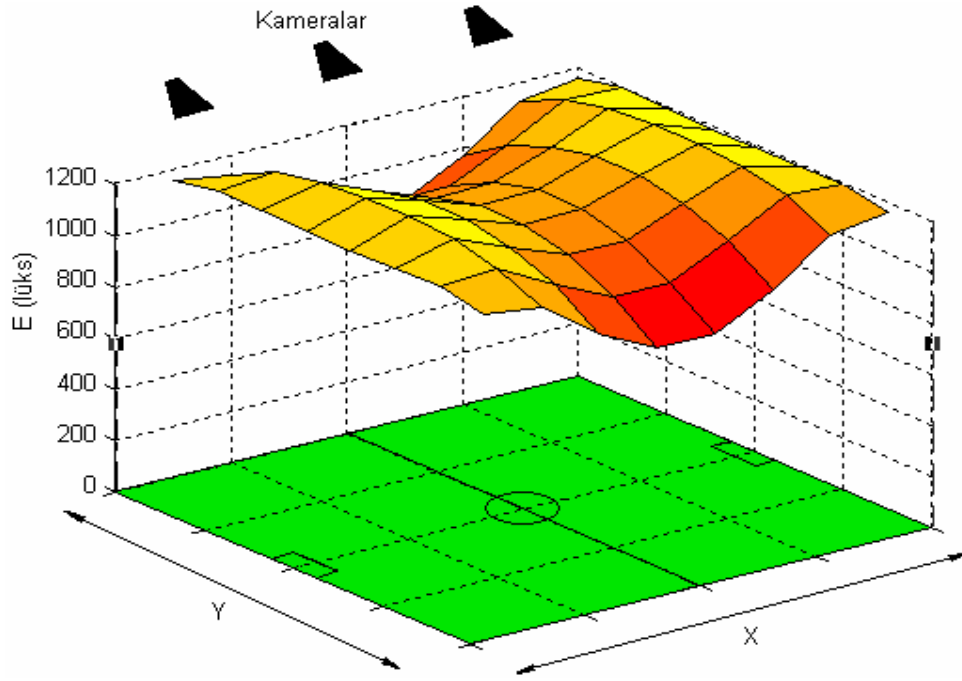
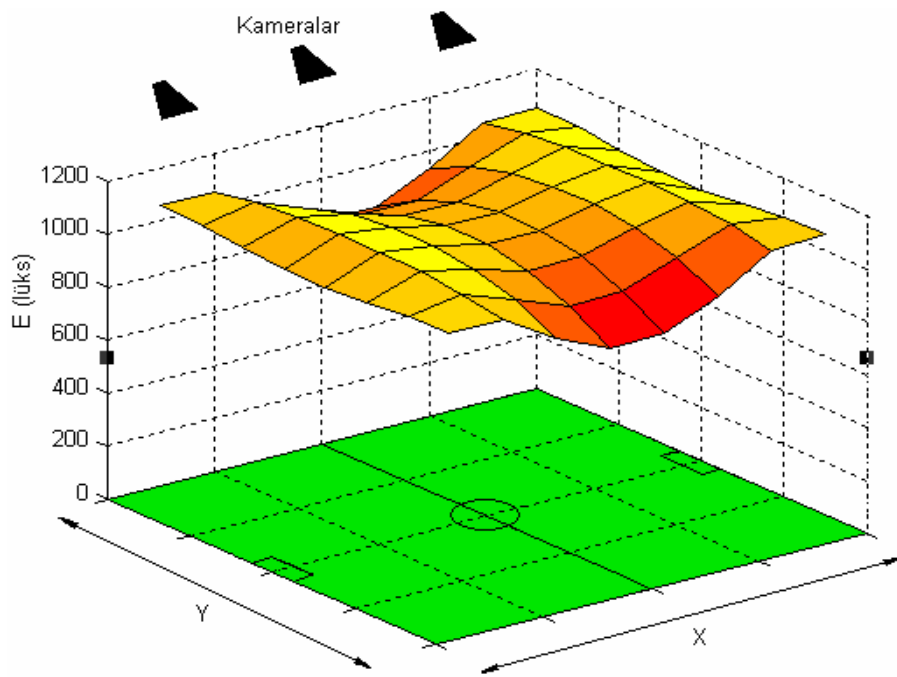
Şekil 4.10. ve şekil 4.11.'de görüldüğü gibi direk-taç çizgisi aralığı fazla tutularak, dağılımı daha dengeli olan aydınlık düzeyleri sağlamak teorik olarak mümkün olmakla beraber, gerek direk-taç çizgisi aralığı artışının direk yüksekliği artışını da gerektirmesi, gerekse aydınlatma düzeylerindeki düşme sebebiyle tercih edilmemektedirler. 30 m'den fazla direk-taç çizgisi aralığı kullanılması durumunda, tablo 3.1.'e göre sağlanan aydınlık düzeylerinin yetersizleştiği görülmektedir.

Direk-taç çizgisi aralığı az tutularak, sağlanan aydınlatma düzeylerinde artış sağlanabilmekle beraber, sağlanan aydınlık düzeyleri arası dengesizlik bu tercihi mümkün kılmamaktadır. U1d, U2d, U1y ve U2y oranlarının tablo 3.2.'ye göre kontrolü yapıldığında, düşey aydınlatma düzeyi için, taç çizgisine daha yakın direklerin kullanılması mümkün olabilmekle beraber, yatay aydınlatma düzeyi için 30 m'den düşük direk-taç çizgisi aralıklarının uygun olmadığı görülmektedir. Şekil 4.12. ve şekil 4.13.'de direk-taç çizgisi aralığındaki değişimlerin düşey ve yatay aydınlatma dağılımlarına etkileri üç boyutlu olarak görülmektedir.

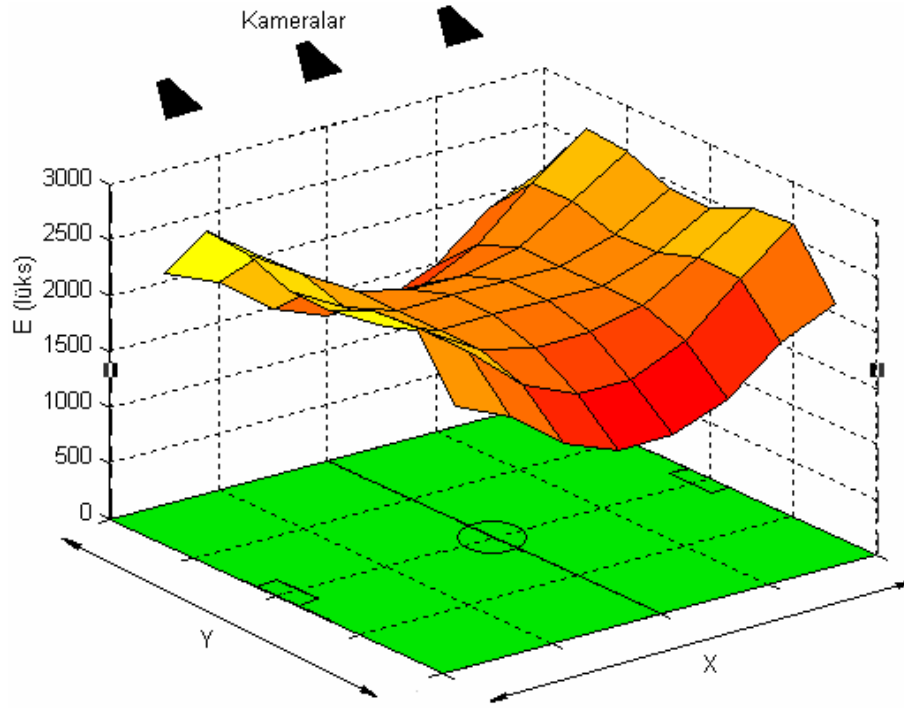
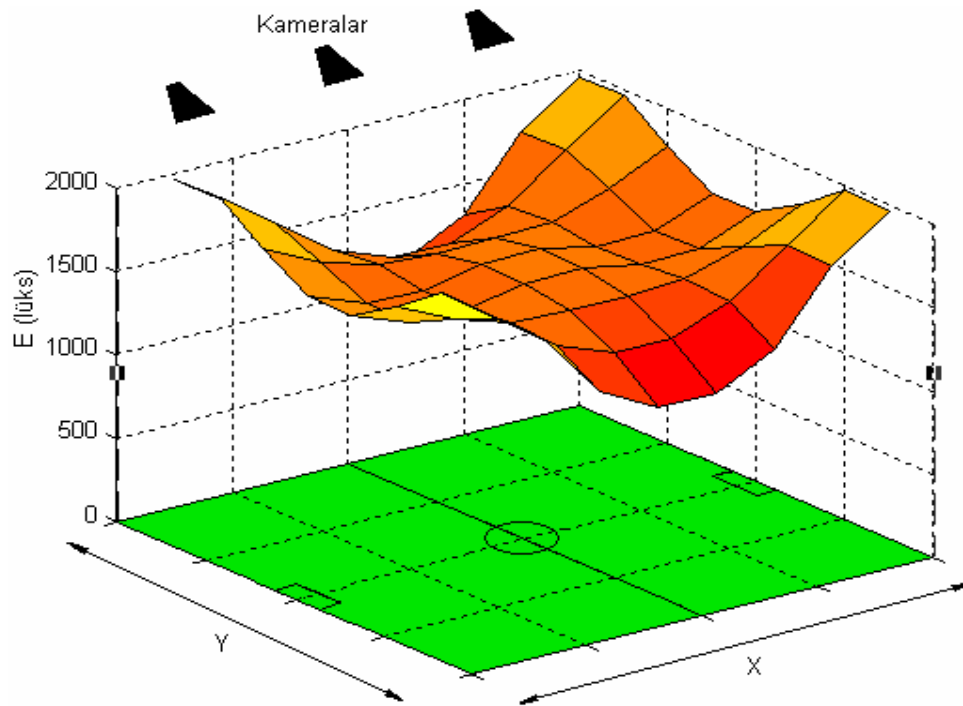


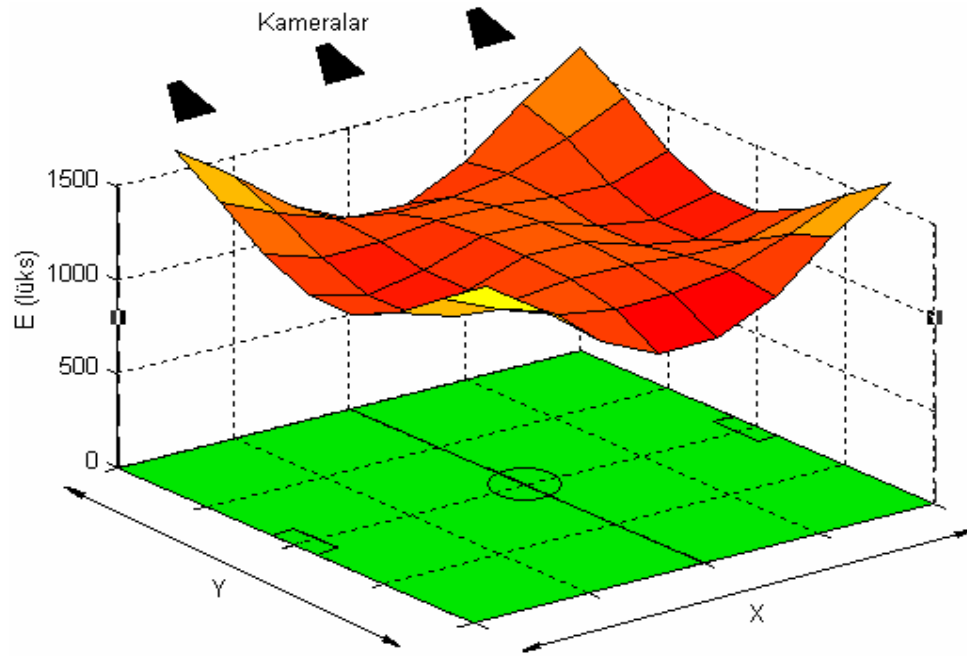
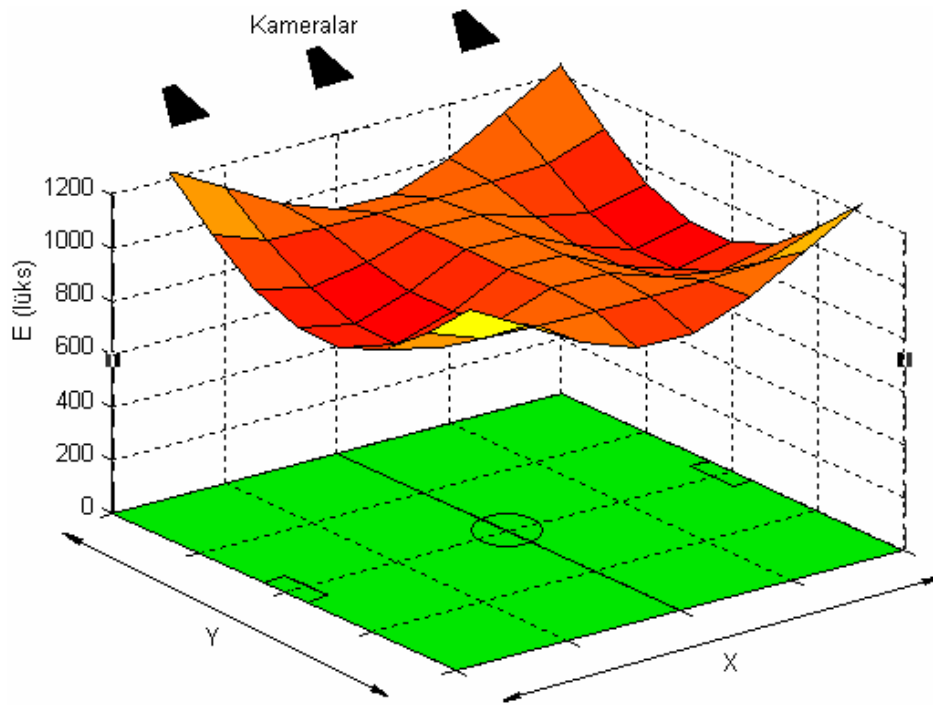
a) D=10 m

b)  $D=20$  mc)  $D=30$  m

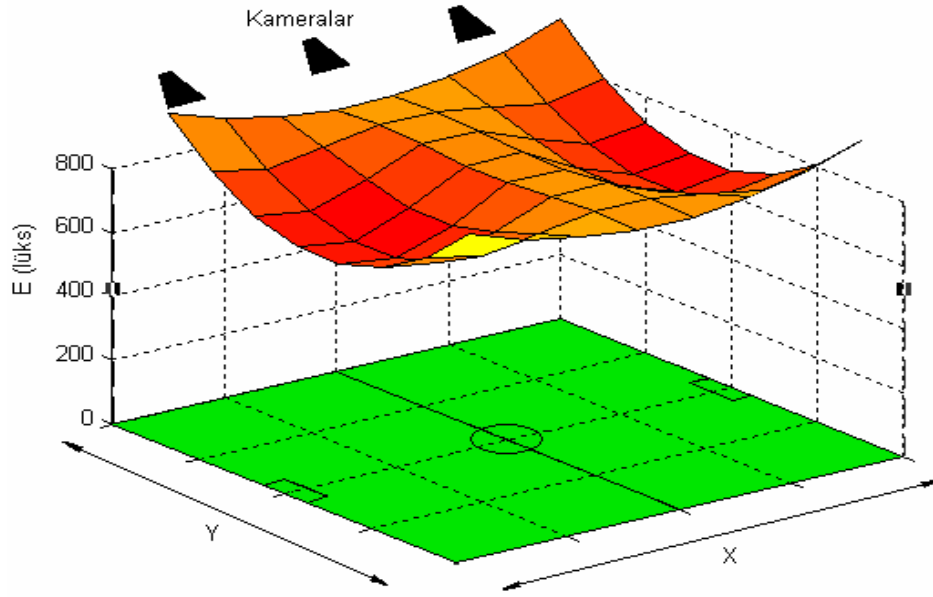
d)  $D=40$  me)  $D=50$ 

Şekil 4.12. Direk-taç çizgisi aralığı değişiminin düşey aydınlatma düzeyi dağılımına etkileri:  
 a)  $D=10$  m, b)  $D=20$  m, c)  $D=30$  m, d)  $D=40$  m, e)  $D=50$  m

a)  $D=10$  mb)  $D=20$  m

c)  $D=30$  md)  $D=40$  m

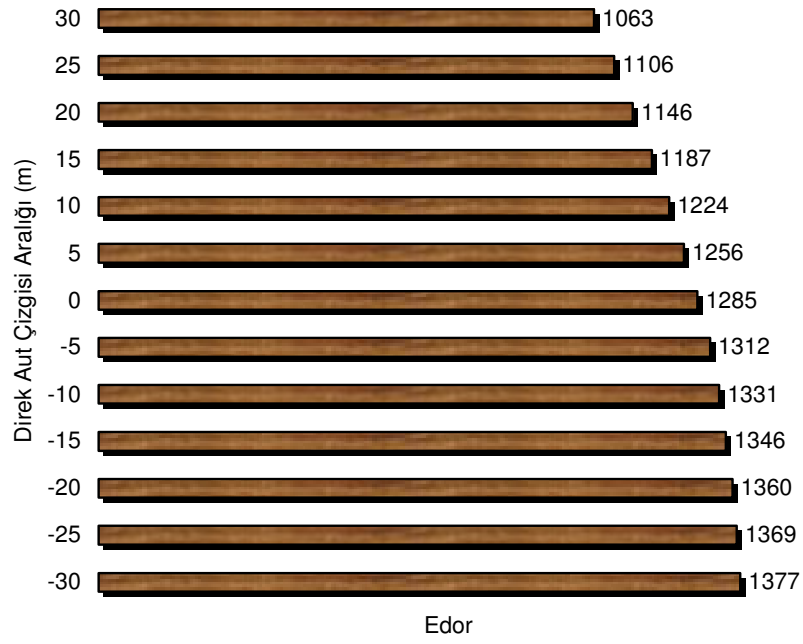


e)  $D=50, E_y$ 

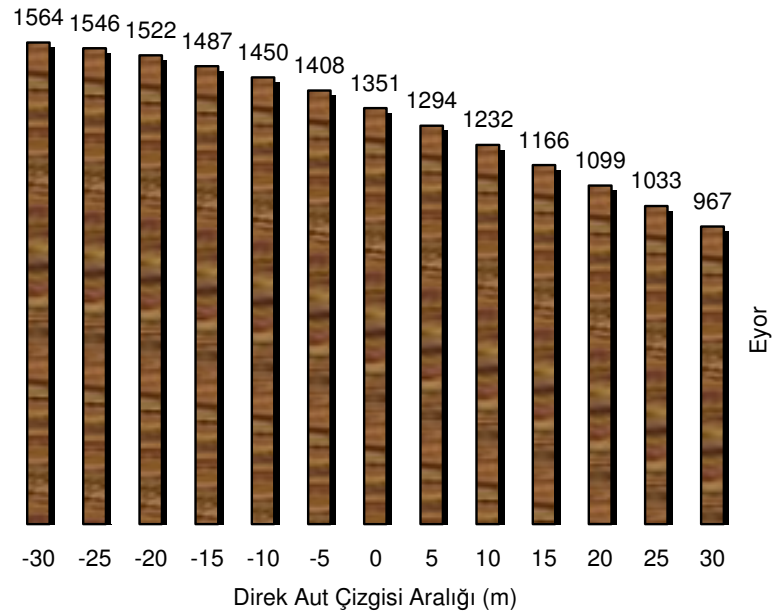
Şekil 4.13. Direk-Taç çizgisi aralığı değişiminin yatay aydınlatma düzeyi dağılımına etkileri: a)  $D=10$  m, b)  $D=20$  m, c)  $D=30$  m, d)  $D=40$  m, e)  $D=50$  m

#### 4.4. Direk-Aut Çizgisi Aralığı Değişiminin Aydınlatma Düzeylerine Etkileri

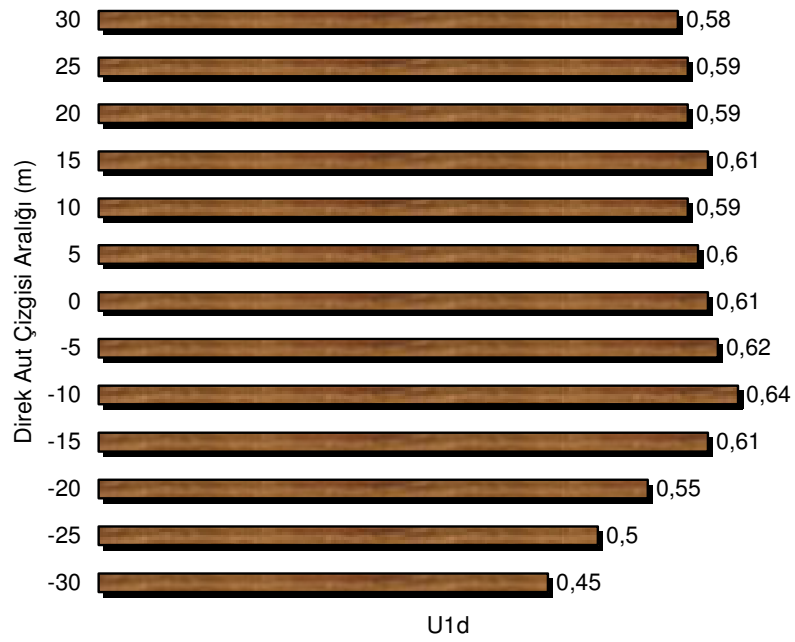
Projektörlerin konumlandırıldığı direkler ile aut çizgisi arası aralığın değişiminin düşey ve yatay aydınlık düzeylerine etkileri şekil 4.14. ve şekil 4.15.'de görülmektedir. Bu şekillerde direklerin aut çizgisinden 30 m dışarıda olması ile 30 m içeride olması arasındaki sağlanan aydınlık düzeyleri ortalamaları görülmektedir. Projektör direklerinin aut çizgisinden içeride olmaları negatif (-) olarak işaretlenmiştir. Direkleri aut çizgisi içerisinde yerleştirerek, direk-aut çizgisi aralığının azaltılmasıyla sağlanan aydınlık düzeylerinin artırılması, ilk bakışta faydalı olarak gözükse de, aydınlatma düzeyleri dağılımları incelenmeden bir çözüm olmamaktadır. Şekil 4.16. ve şekil 4.17.'de görüleceği gibi direkler aut çizgisine yaklaştıkça veya direk-aut çizgisi aralığı 0'a yakın bir değer aldıkça, hem düşey aydınlatma için, hem de yatay aydınlatma için  $U_{1d}$ ,  $U_{2d}$ ,  $U_{1y}$  ve  $U_{2y}$  değerlerinin artmakta olduğu görülmektedir. Direkler aut çizgisinden uzaklaştığında veya mutlak direk-aut çizgisi aralığı büyüdüğünde ise,  $U_{1d}$ ,  $U_{2d}$ ,  $U_{1y}$  ve  $U_{2y}$  değerleri düşmektedir.



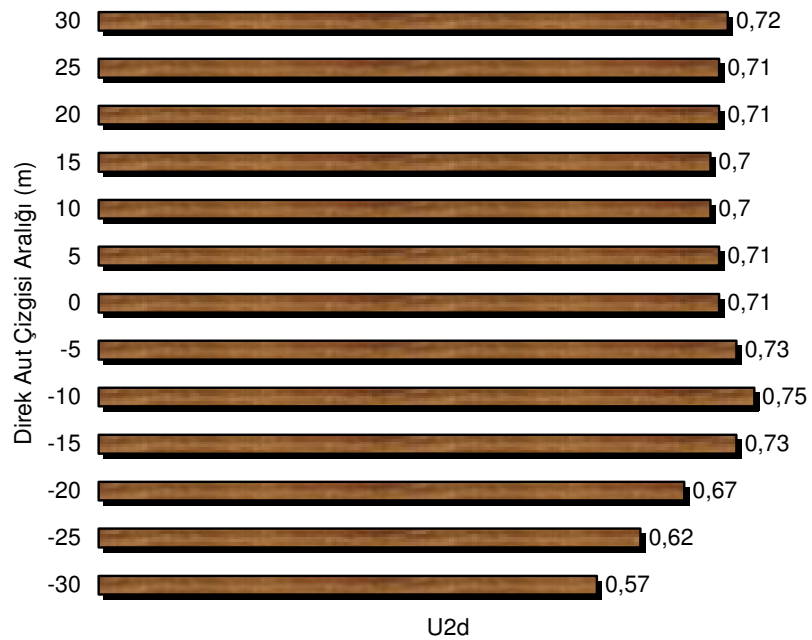
Şekil 4.14. Direk-aut çizgisi aralığı değişiminin düşey aydınlık düzeyine etkisi



Şekil 4.15. Direk-aut çizgisi aralığı değişiminin yatay aydınlık düzeyine etkisi

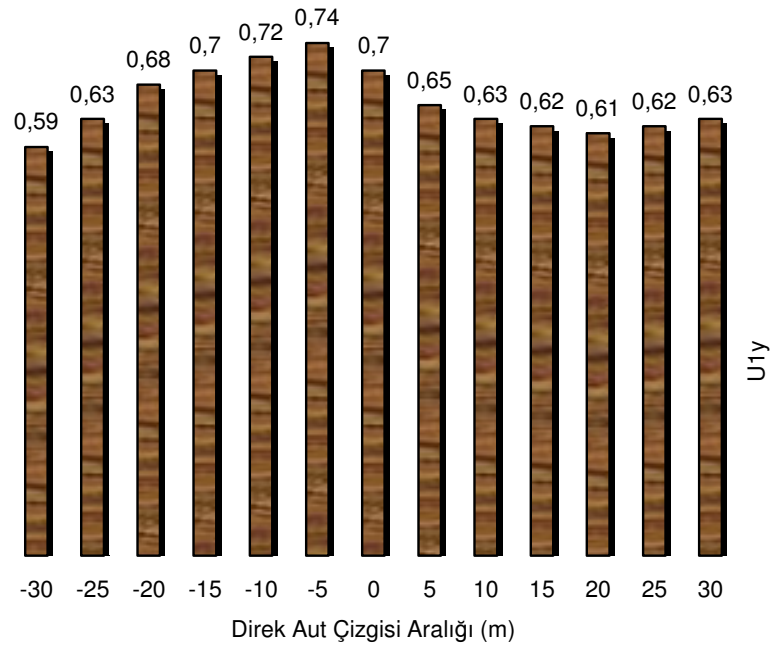


(a)

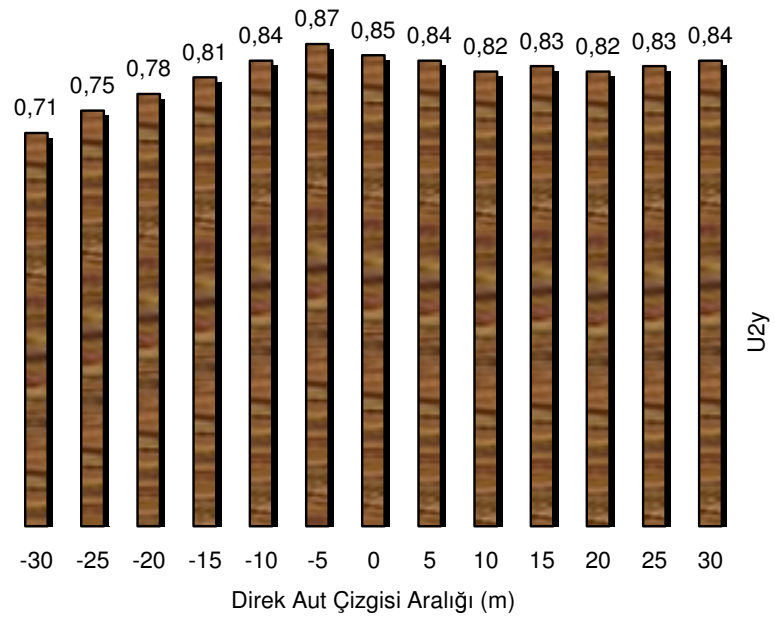


(b)

Şekil 4.16. Direk-aut çizgisi aralığı değişiminin düşey aydınlık düzeyi dağılımına etkileri: a) U1d  
b) U2d



(a)

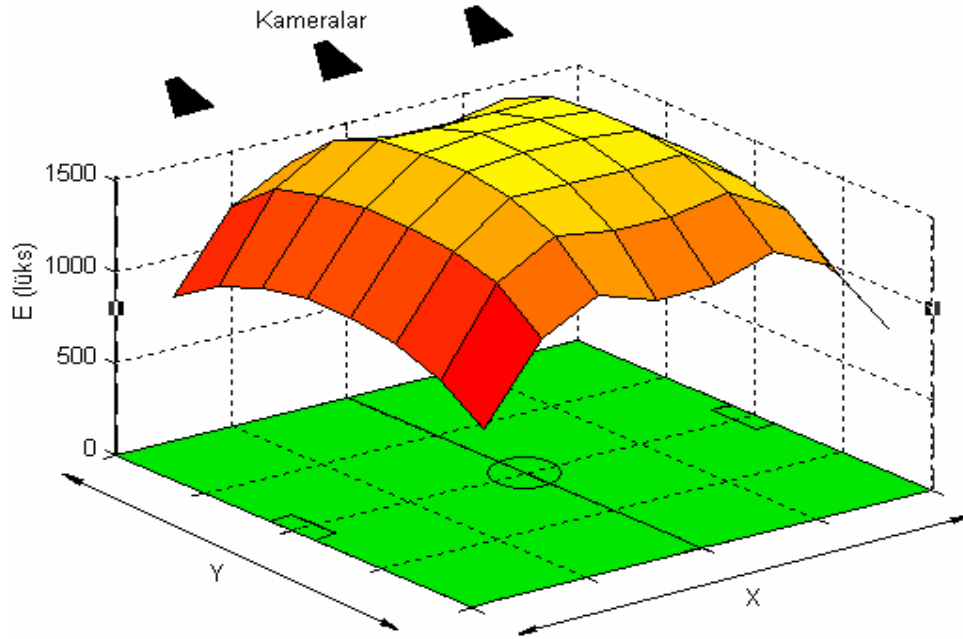


(b)

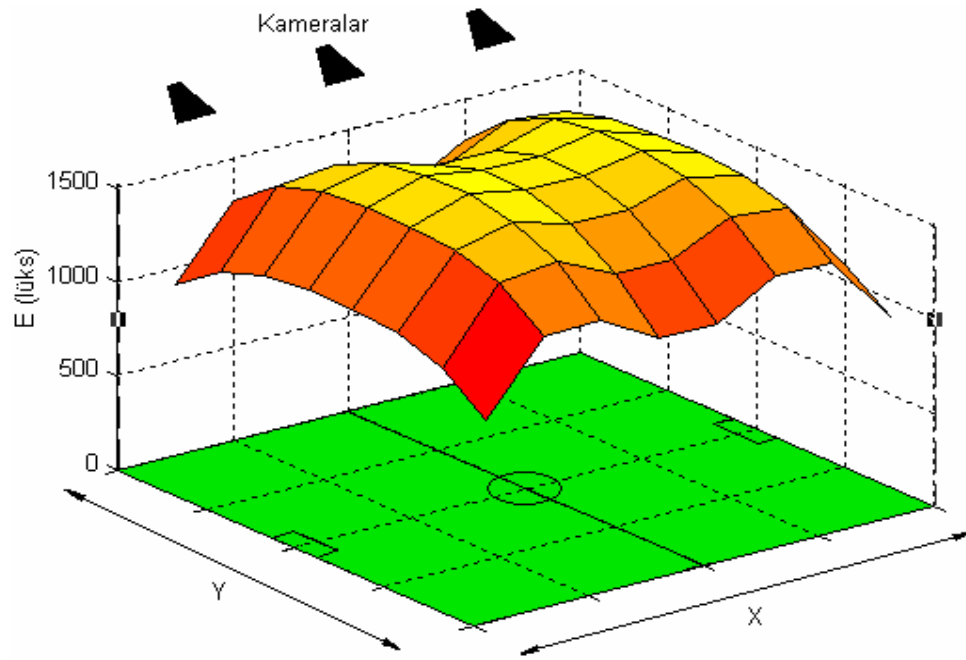
Şekil 4.17. Direk-aut çizgisi aralığı değişiminin yatay aydınlık düzeyi dağılımına etkileri: a) U1y  
b) U2y

Şekil 4.16. ve şekil 4.17.'de görüldüğü gibi direk-aut çizgisi aralığını -5 m, -10 m aralıklarında tutarak dağılımı daha dengeli olan aydınlık düzeyleri sağlamak teorik olarak mümkün olmakla beraber, direkleri aut çizgisinden içeri yerleştirmek, çoğu stadyumun mimari estetiği açısından uygun olmamaktadır. Çünkü bu bölgeler, stadyumların en önemli seyirci potansiyelini oluşturan taç çizgisi yanındaki tribünlerin arkasında yer almaktadır.

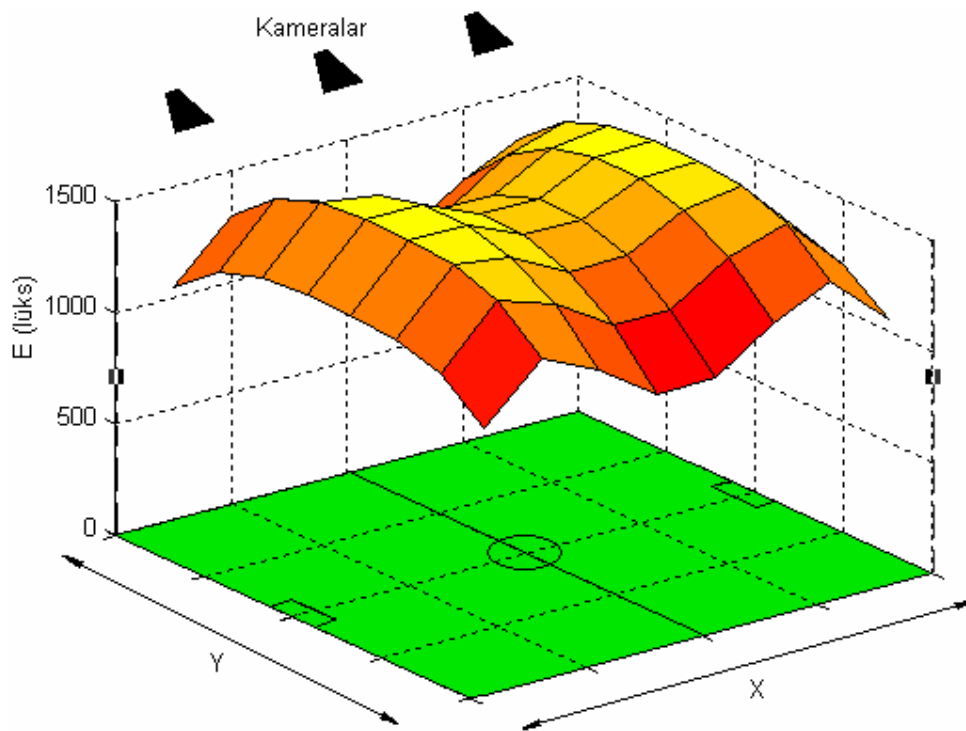
Direkleri aut çizgisinin dışında tutarak ve direk-aut çizgisi aralığını arttırarak da daha dengeli aydınlık düzeyleri sağlamak mümkün olmaktadır. Fakat bu durumda projektörlerin sahadan uzaklaşmaları sonucu şekil 4.14. ve şekil 4.15.'de görüldüğü gibi sağlanan aydınlık düzeyleri önemli miktarda düşmektedir. Bu çalışmada gerek aydınlık düzeylerinin tablo 3.1.'e uygunluğu açısından, gerekse U1d, U2d, U1y ve U2y oranlarının tablo 3.2.'e uygunluğu açısından direk-aut çizgisi aralığı 10 m alınmıştır. Şekil 4.18. ve şekil 4.19.'da direk-aut çizgisi aralığındaki değişimlerin düşey ve yatay aydınlatma dağılımlarına etkileri üç boyutlu olarak görülmektedir.



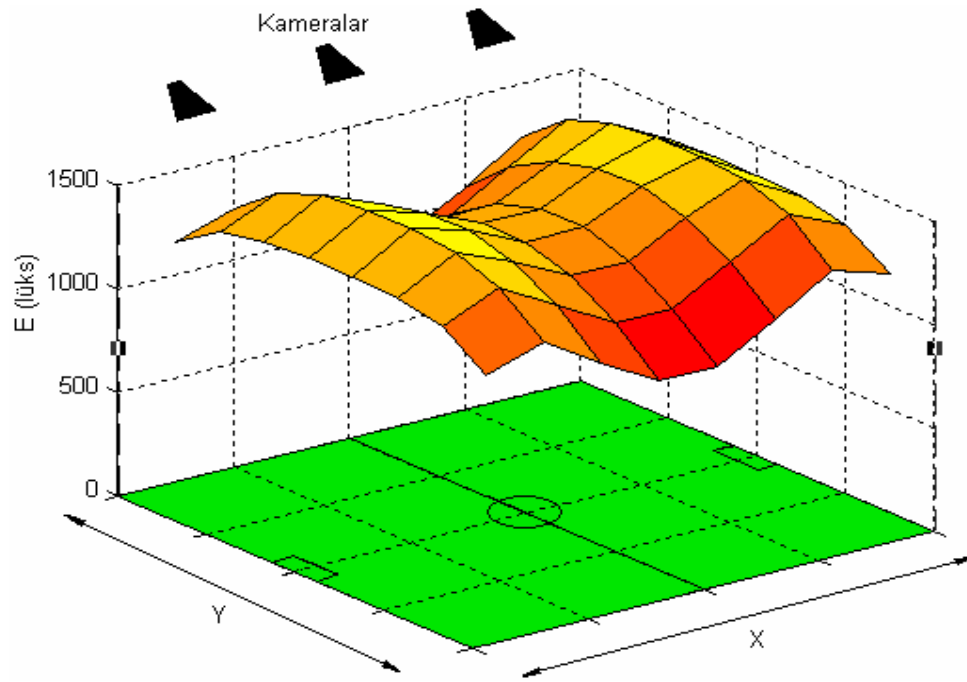
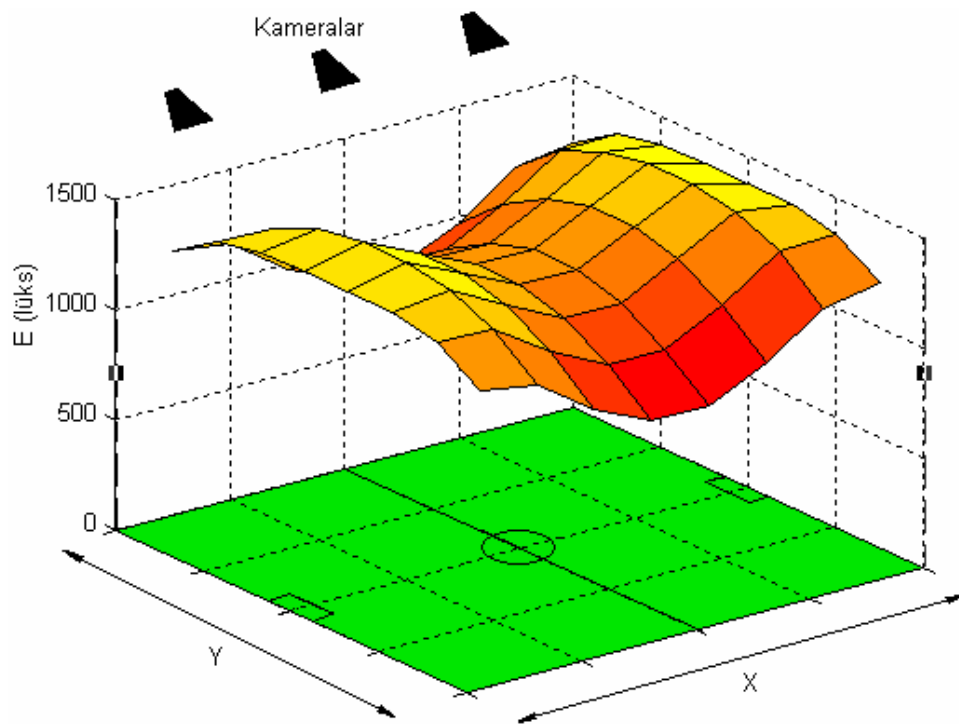
a) G=-30 m

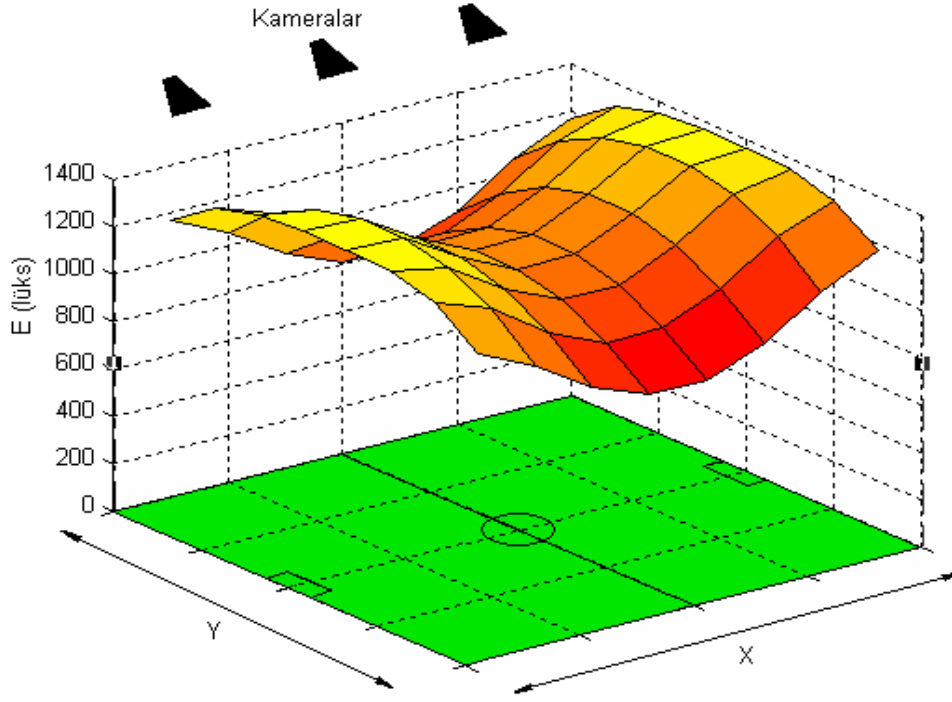
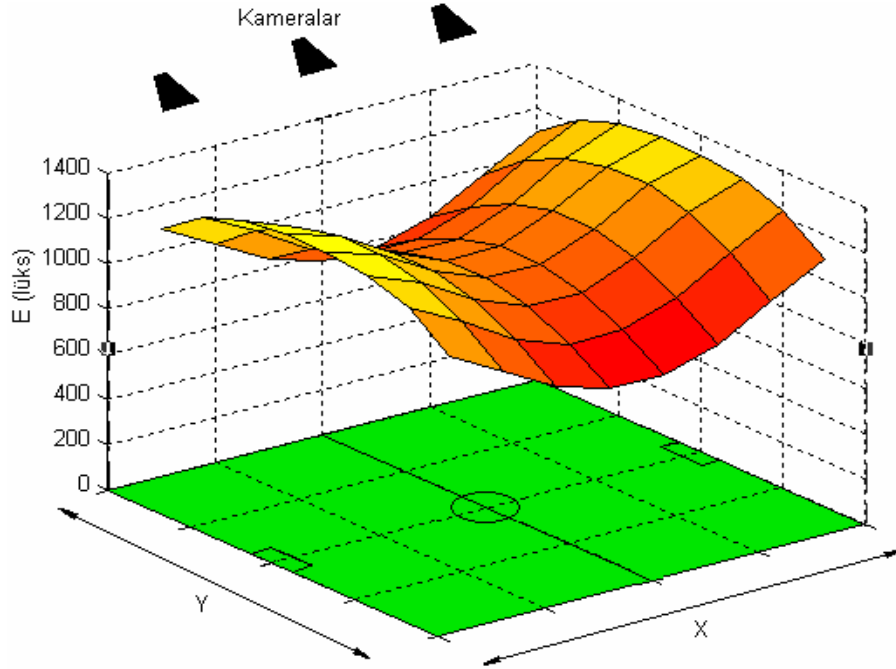


b) G=-20 m



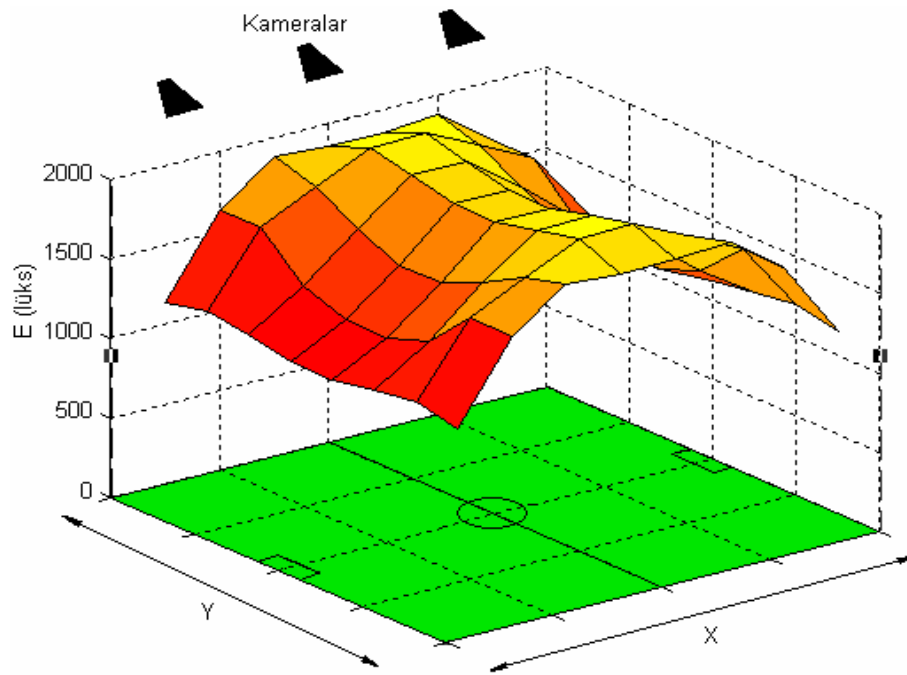
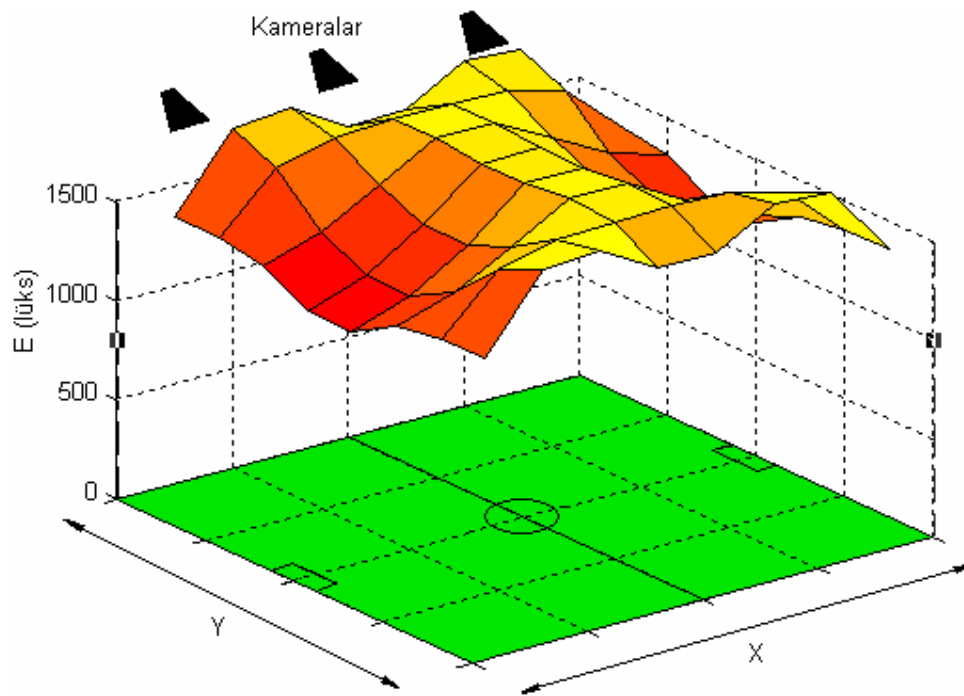
c) G=-10 m

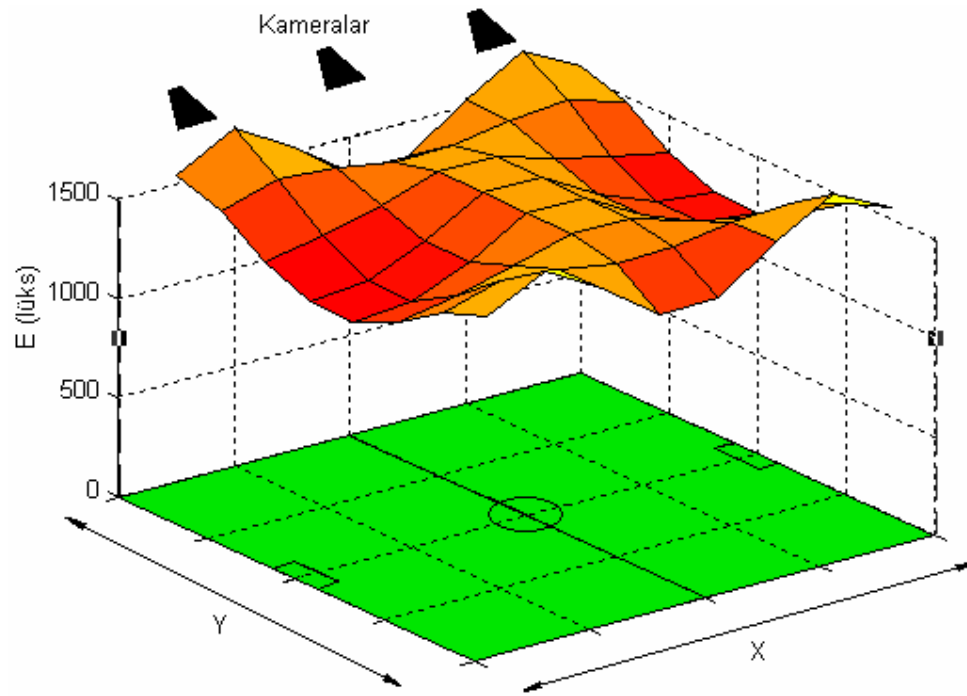
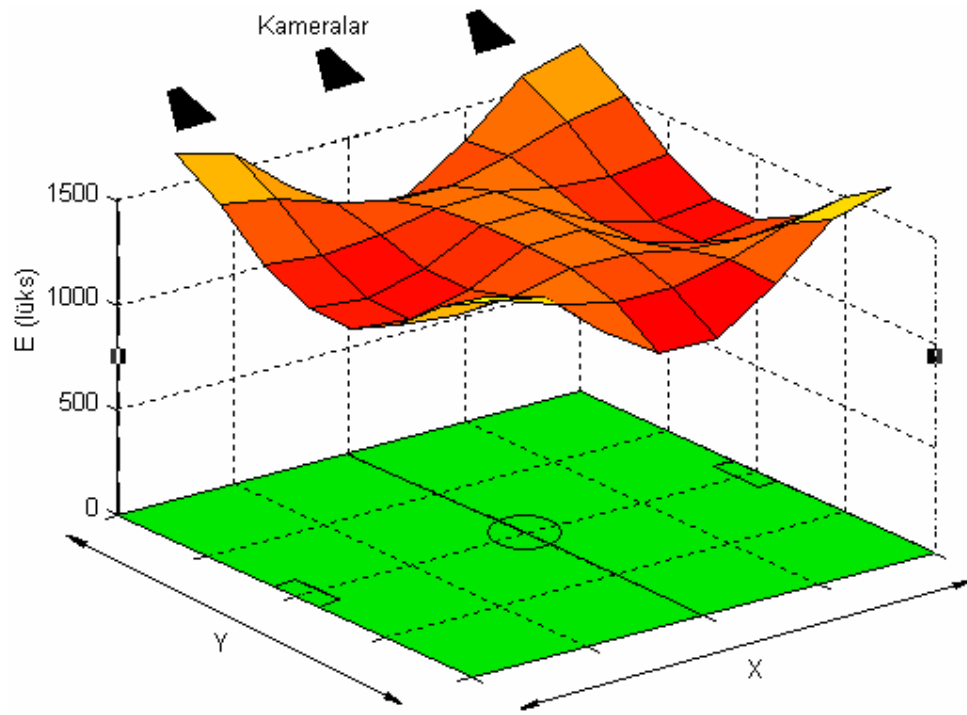
d)  $G=0$  me)  $G=10$  m

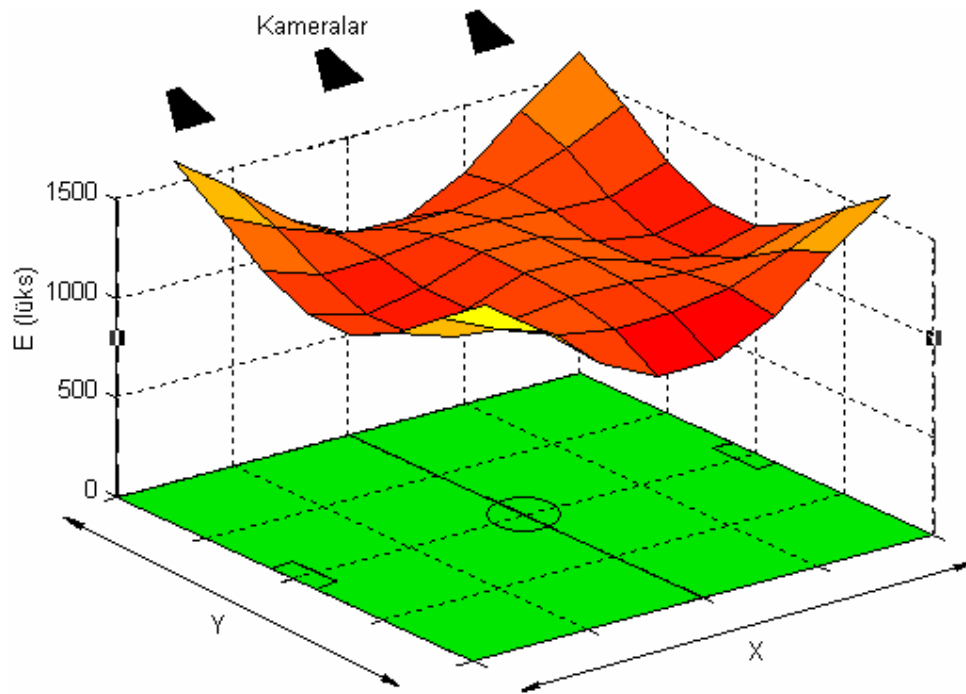
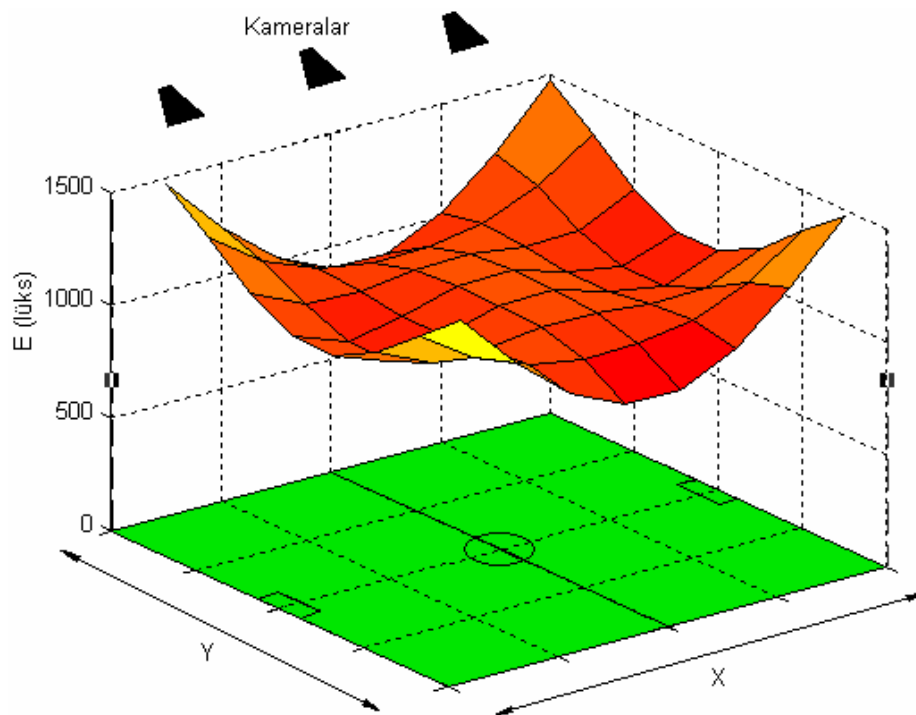
f)  $G=20$  mg)  $G=30$  m

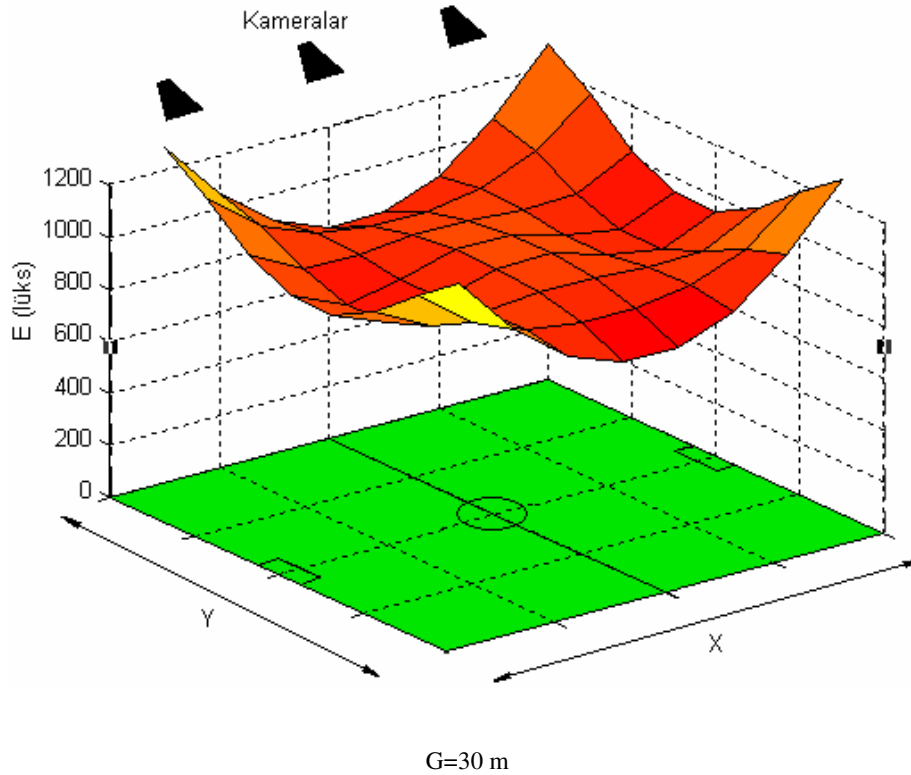
Şekil 4.18. Direk-Aut çizgisi aralığı değişiminin düşey aydınlatma dağılımına etkileri: a)  $G=-30$  m, b)  $G=-20$  m, c)  $G=-10$  m, d)  $G=0$  m, e)  $G=10$  m, f)  $G=20$  m, g)  $G=30$  m



a)  $G=-30$  mb)  $G=-20$  m

c)  $G=-10$ d)  $G=0$  m

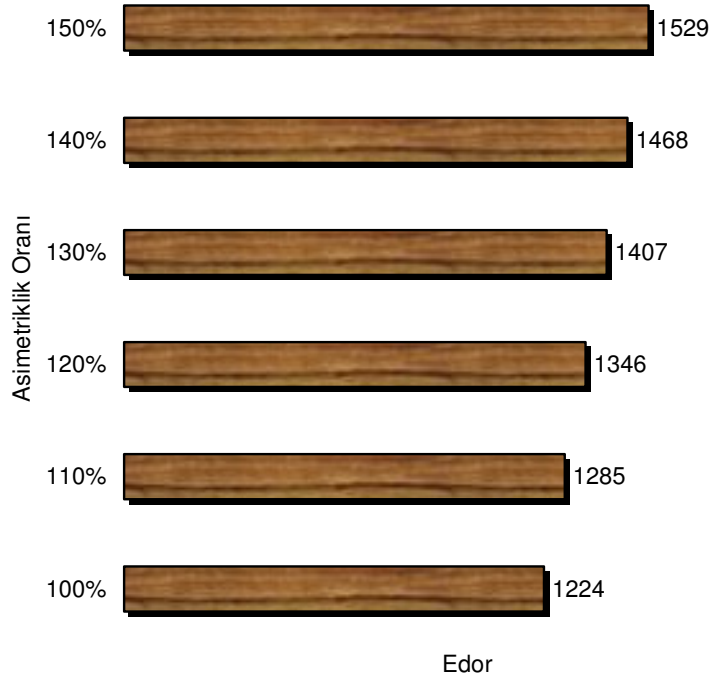
e)  $G=10$  mf)  $G=20$  m



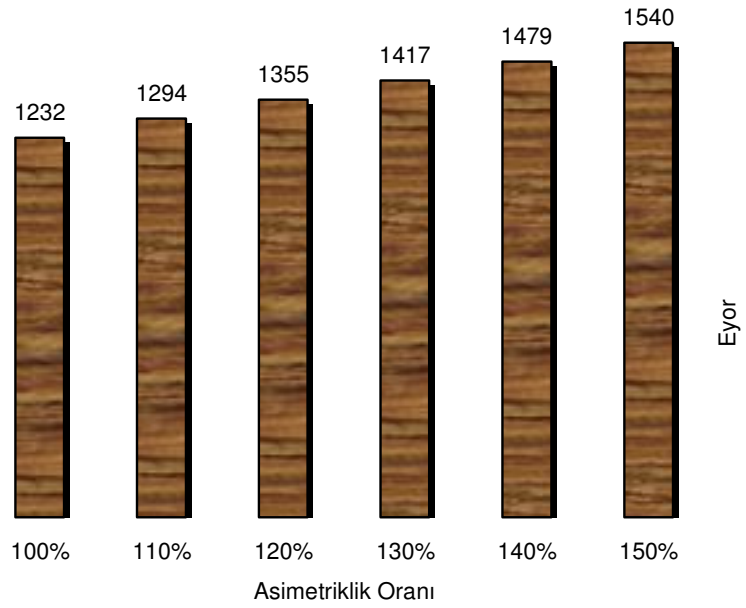
Şekil 4.19. Direk-Aut çizgisi aralığı değişiminin yatay aydınlatma dağılımına etkileri: a)  $G=-30$  m, b)  $G=-20$  m, c)  $G=-10$  m, d)  $G=0$  m, e)  $G=10$  m, f)  $G=20$  m, g)  $G=30$  m

#### 4.5 Asimetrik Aydınlatma

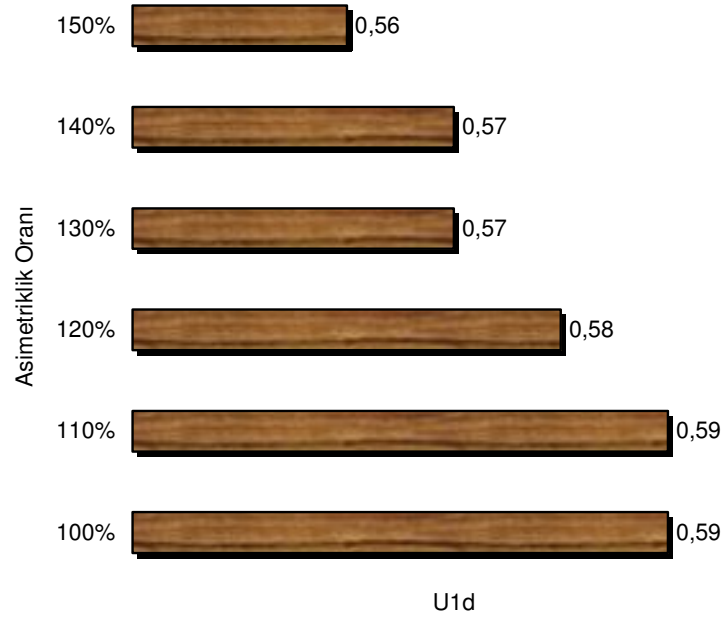
Şekil 3.27.'de görülen saha üzerindeki aydınlık düzeyleri hesaplanan noktalarda, istenildiği takdirde simetrik aydınlatma yerine asimetrik aydınlatma gerçekleştirilebilir. Asimetrik aydınlatmanın tercihi, özellikle TV yayıncılığına yönelik olarak yapılan bir iyileştirmedir. Asimetrik aydınlatmanın hedeflendiği stadyum aydınlatma tasarımında, kameraların arkasında yer alan projektörlerin sayıları yada güçlerinde artış gerçekleştirilmelidir. Şekil 4.20. ve şekil 4.21.'de kameralar lehine gerçekleştirilen asimetrik iyileştirme oranlarının düşey ve yatay aydınlatma düzeylerinde sağladığı değişiklikler görülmektedir. Kameralar lehine gerçekleştirilen asimetrik iyileştirme ile sağlanan aydınlık düzeylerinin artırılması, ilk bakışta faydalı olarak gözüke de, aydınlatma düzeyleri dağılımları incelenmeden bir çözüm olmamaktadır. Şekil 4.22. ve şekil 4.23.'de görüldüğü gibi, kamera arkası projektörler lehine gerçekleştirilen asimetrik iyileştirme oranı arttıkça  $U1d$ ,  $U2d$ ,  $U1y$  ve  $U2y$  değerlerinin azalmakta olduğu görülmektedir.



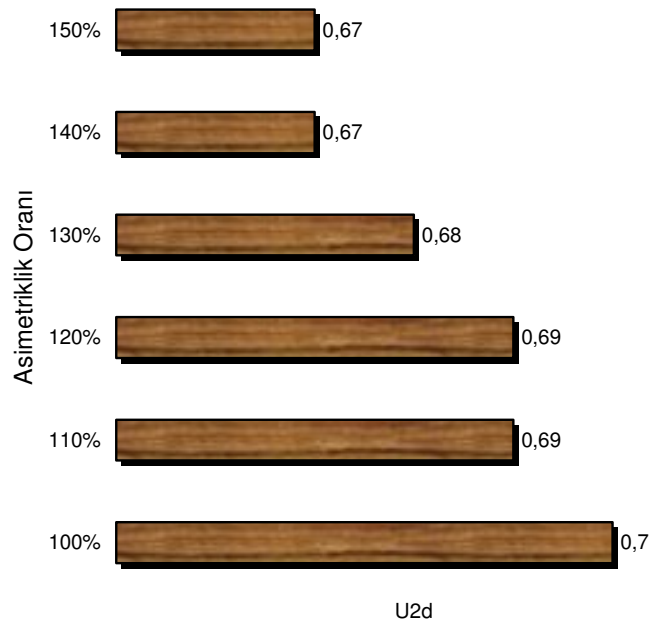
Şekil 4.20. Asimetrik değişimin düşey aydınlık düzeyine etkisi



Şekil 4.21. Asimetrik değişimin yatay aydınlık düzeyine etkisi

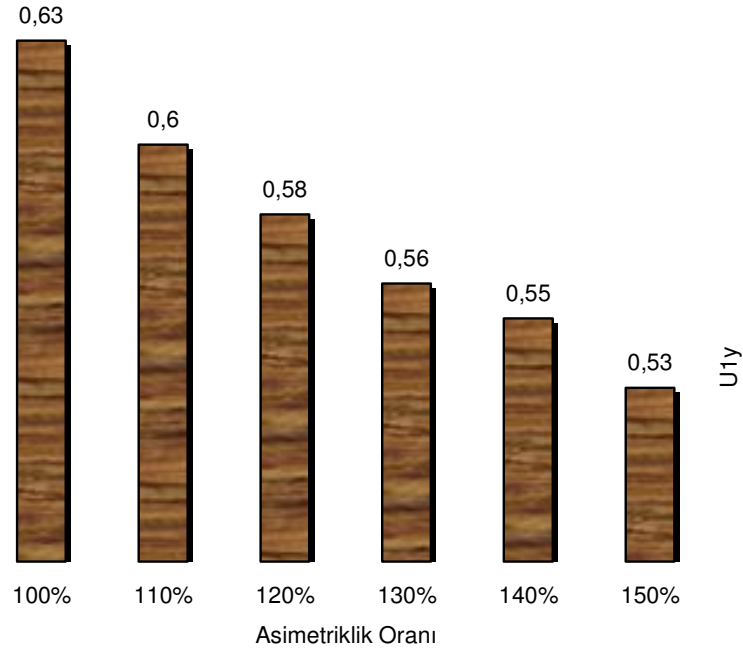


(a)

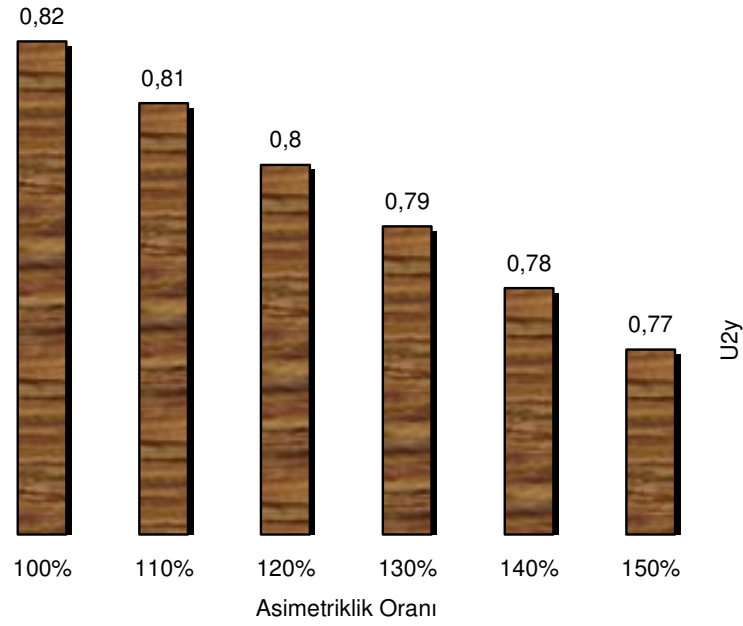


(b)

Şekil 4.22. Asimetrik değişimin düşey aydınlık düzeyi dağılımına etkileri: a) U1d b) U2d



(a)

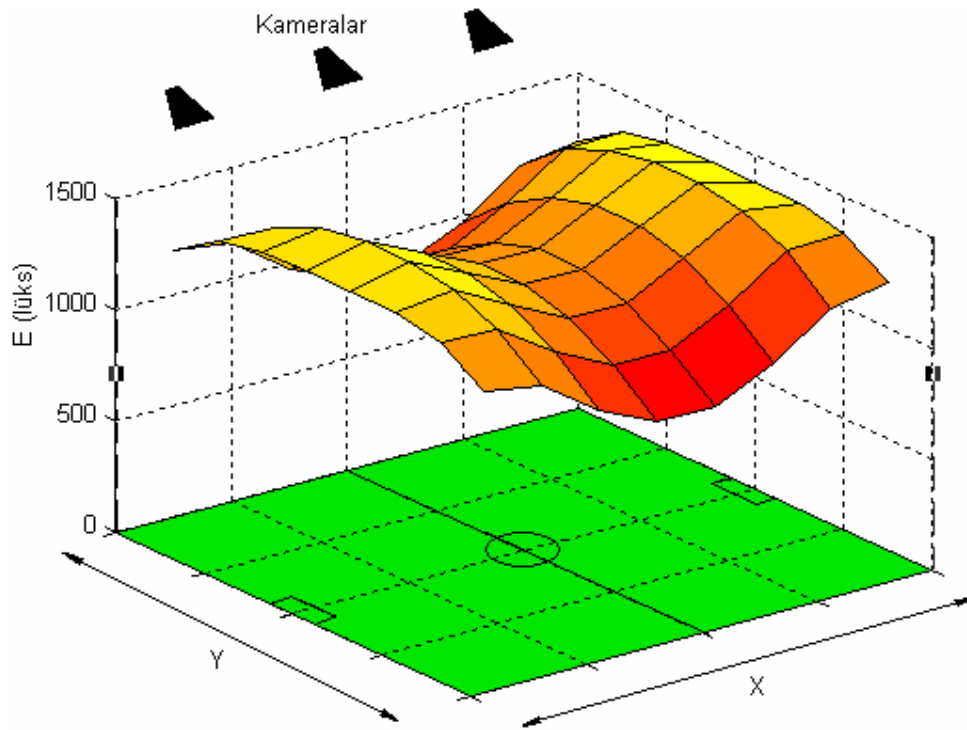


(b)

Şekil 4.23. Asimetrik değişimin yatay aydınlık düzeyi dağılımına etkileri: a) U<sub>1y</sub> b) U<sub>2y</sub>

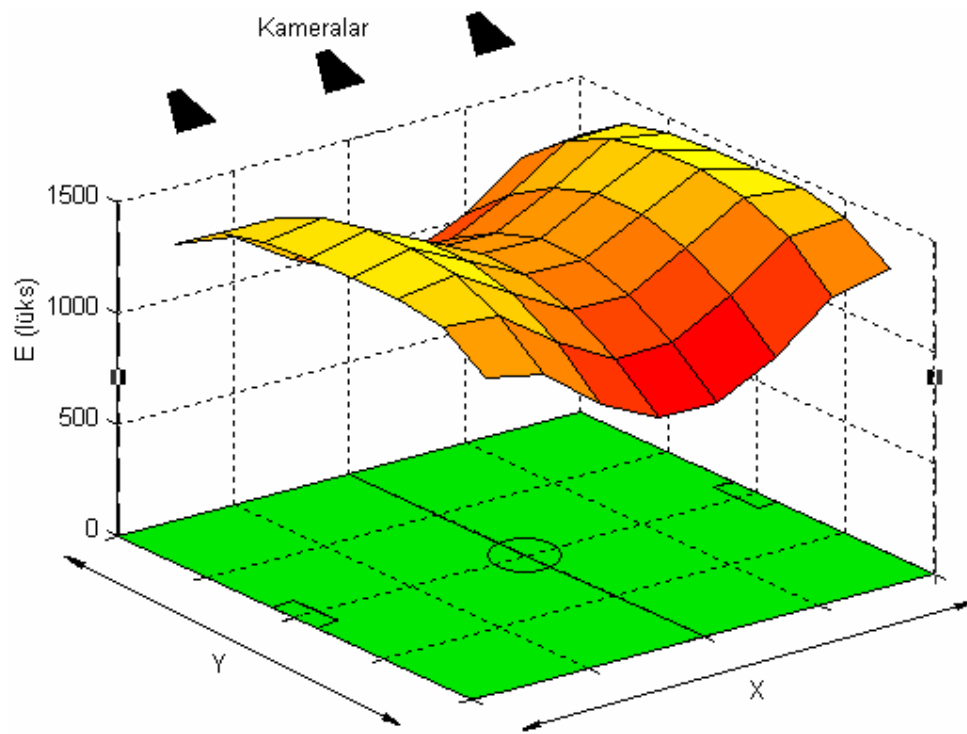
Kameraların bulunduğu taraftaki projektörlerde asimetrik arttırma ile sağlanan düşey ve yatay aydınlık düzeylerinin, şekil 4.20. ve şekil 4.21.'de görüldüğü gibi, tablo 3.1.'deki düşey ve yatay aydınlık düzeylerini fazlasıyla sağladığı görülmektedir. Böylece kameraların görüntüyü daha iyi algılamasını sağlamak amaçlanmaktadır. Asimetriklik oranındaki artışın olumlu etkileri olmakla beraber, gerek daha fazla güç gereksinimi, gerekse aydınlatma düzeyleri dağılımındaki bozulma asimetriklik oranını sınırlamaktadır.

Şekil 4.22. ve şekil 4.23.'de görüldüğü gibi, U1d, U2d, U1y ve U2y düşey ve yatay aydınlık düzeyi dağılım oranları, asimetriklik oranı arttıkça azalmaktadır. Bu çalışmada, asimetrik aydınlatma ile kameralar lehine sağlanan faydaların kullanılabilirdiği ve tablo 3.2.'deki dağılım oranlarını sağlayan %20 asimetriklik oranını uygun bulunmuştur. Şekil 4.24. ve şekil 4.25.'de asimetriklik oranındaki değişimlerin düşey ve yatay aydınlatma dağılımlarına etkileri üç boyutlu olarak görülmektedir.

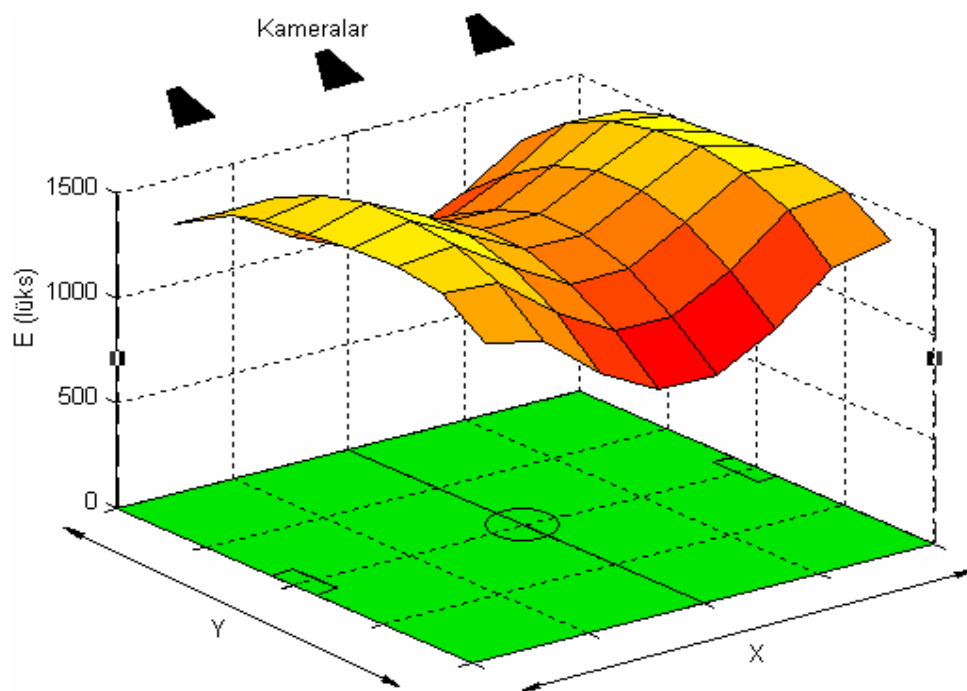


a) %100

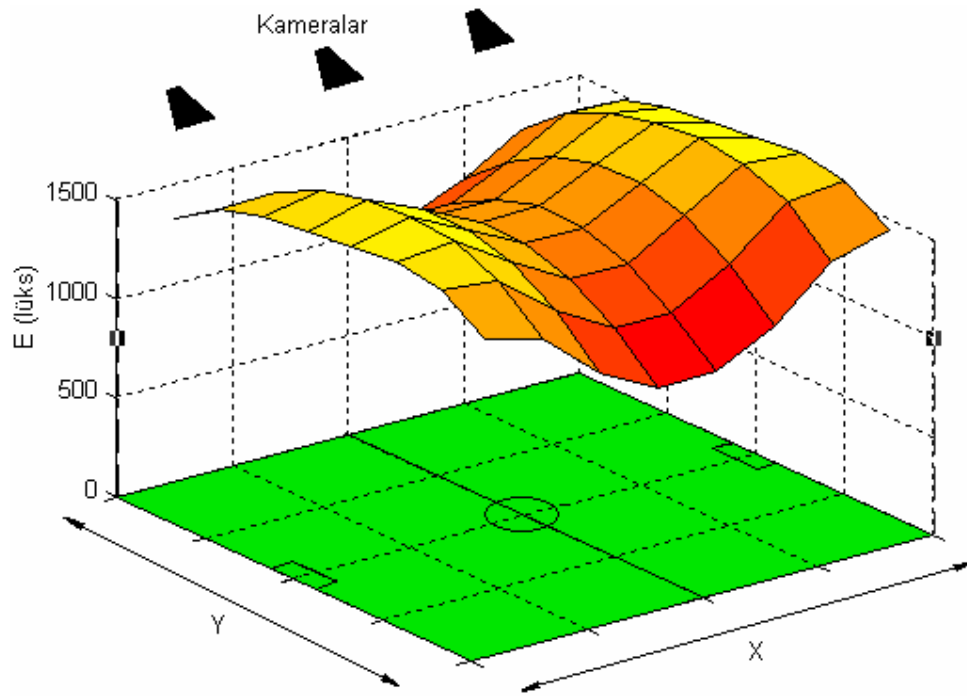




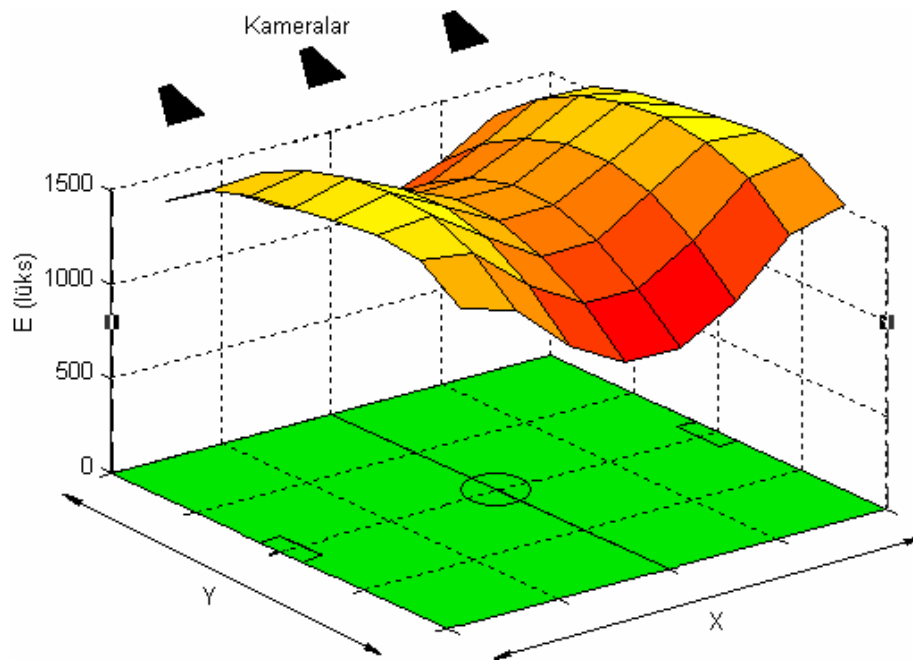
b) %110



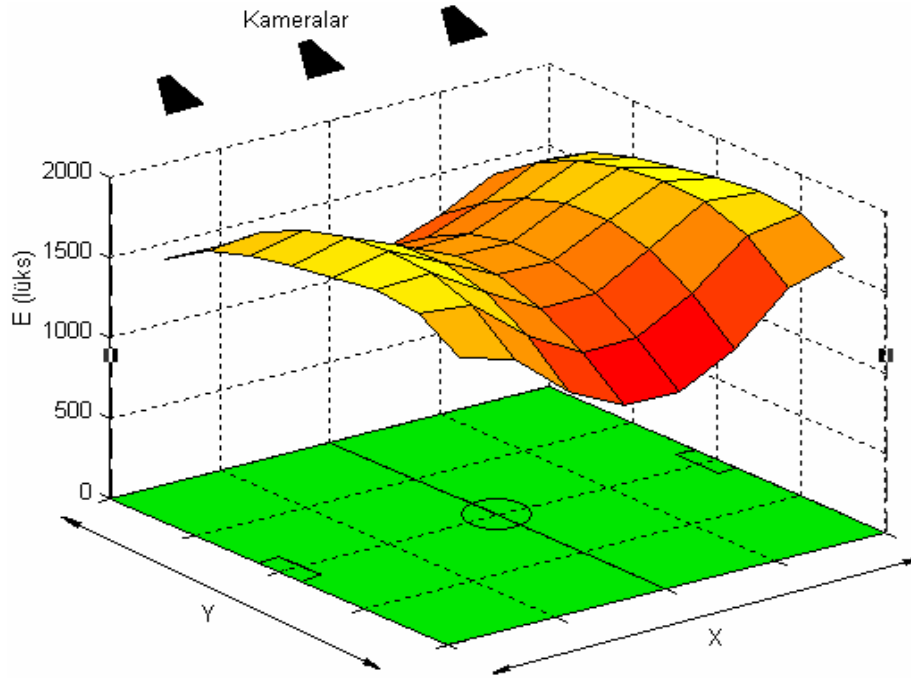
c) %120



d) %130

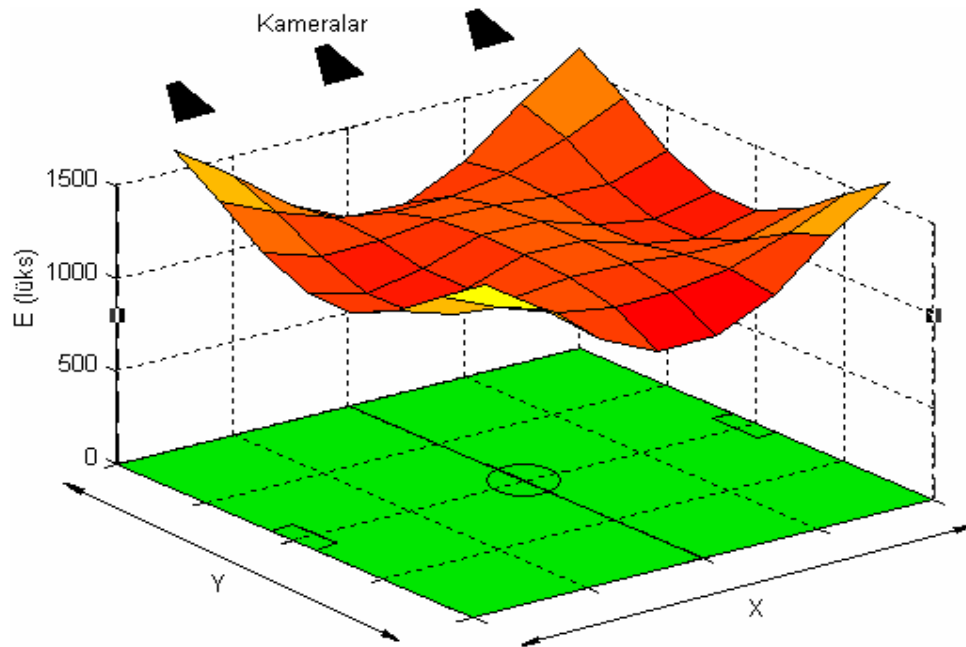


e) %140

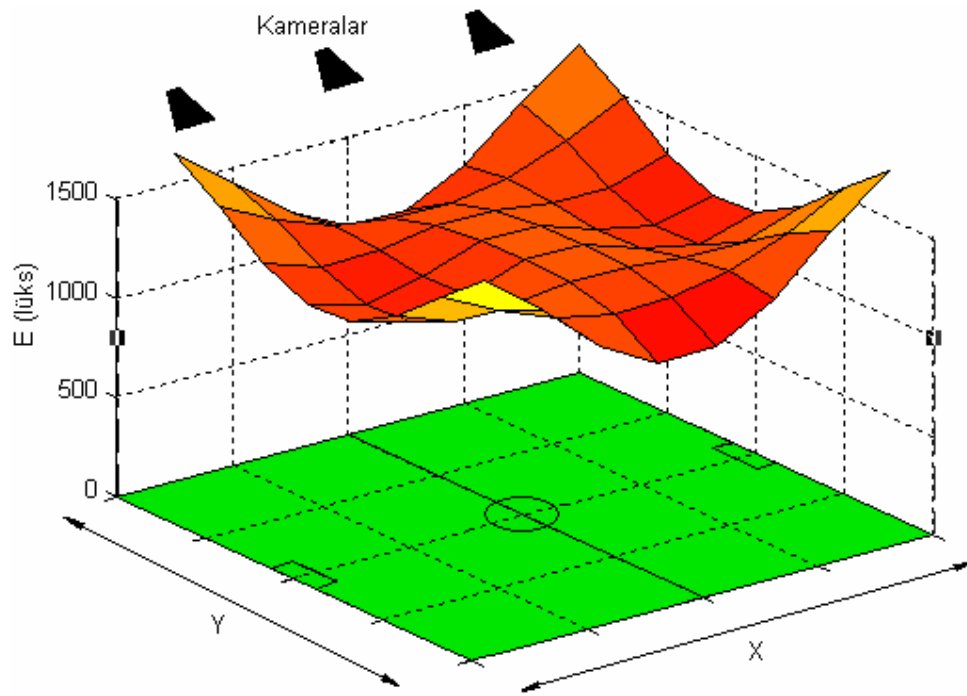


f) %150

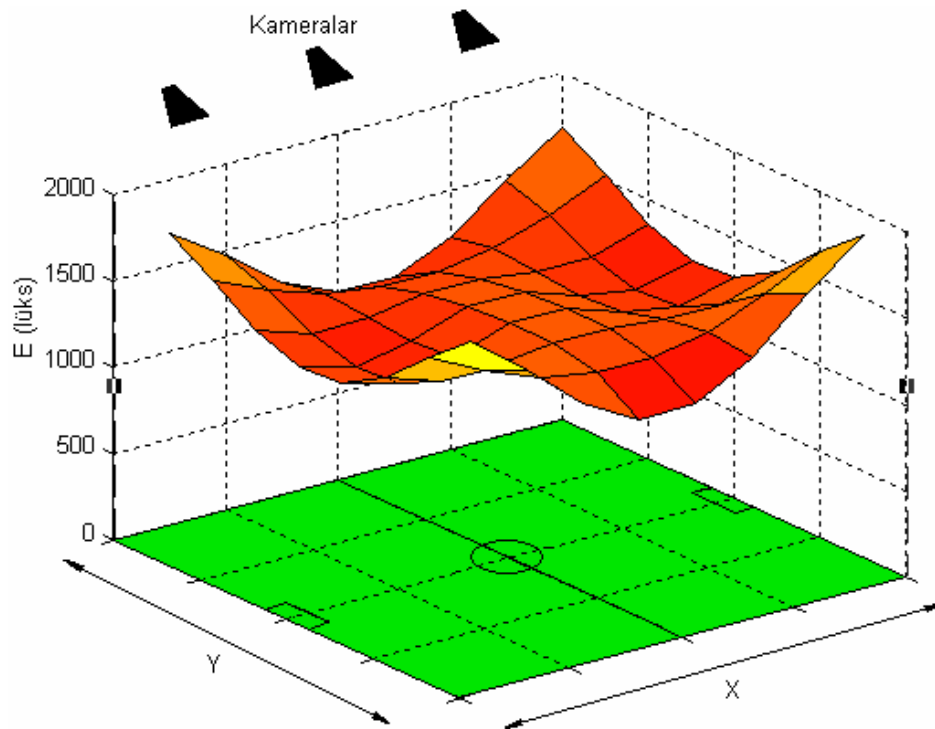
Şekil 4.24. Asimetrik değişimin düşey aydınlık düzeyine etkileri: a) %100 b) % 110 c) %120 d) %130 e) %140 f) % 150



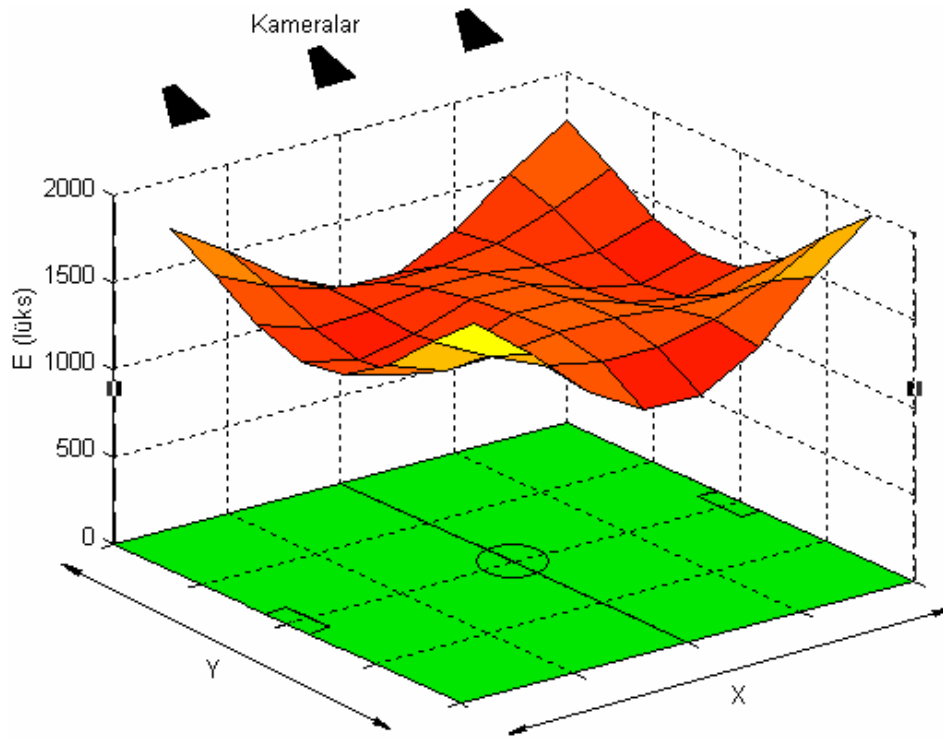
a) %100



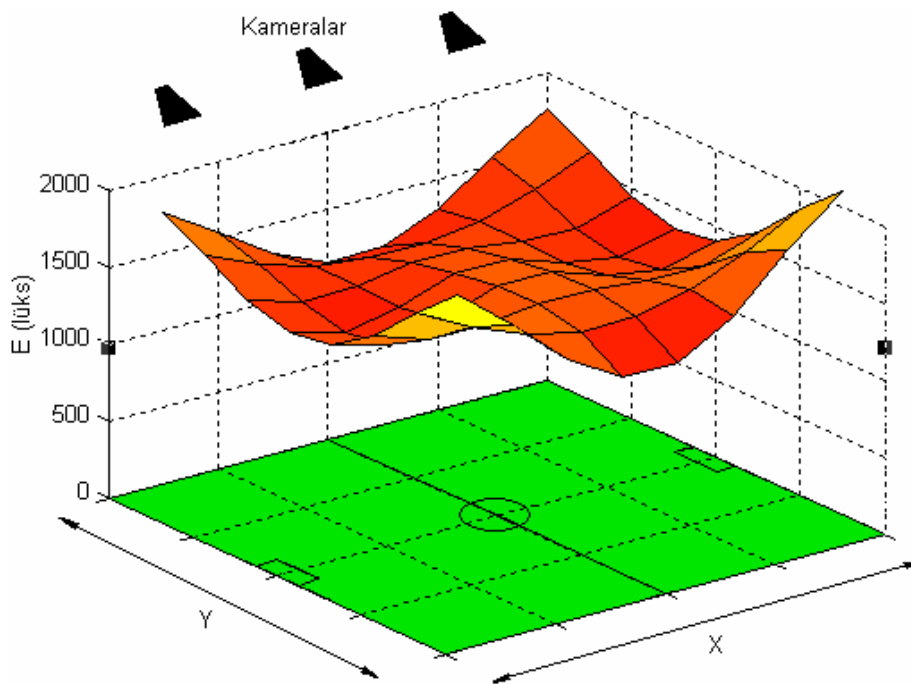
b) %110



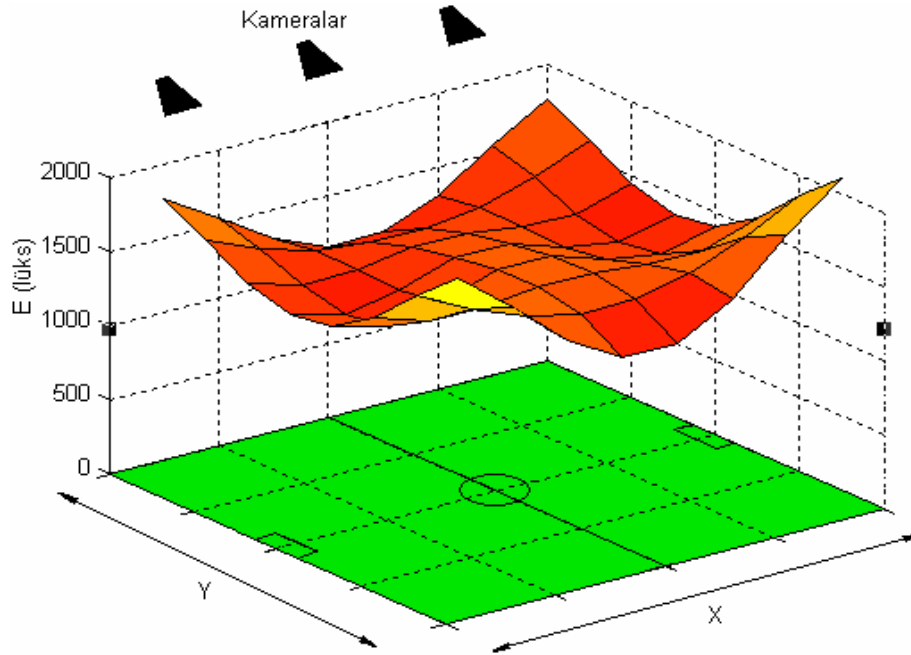
c) %120



d) %130



e) %140

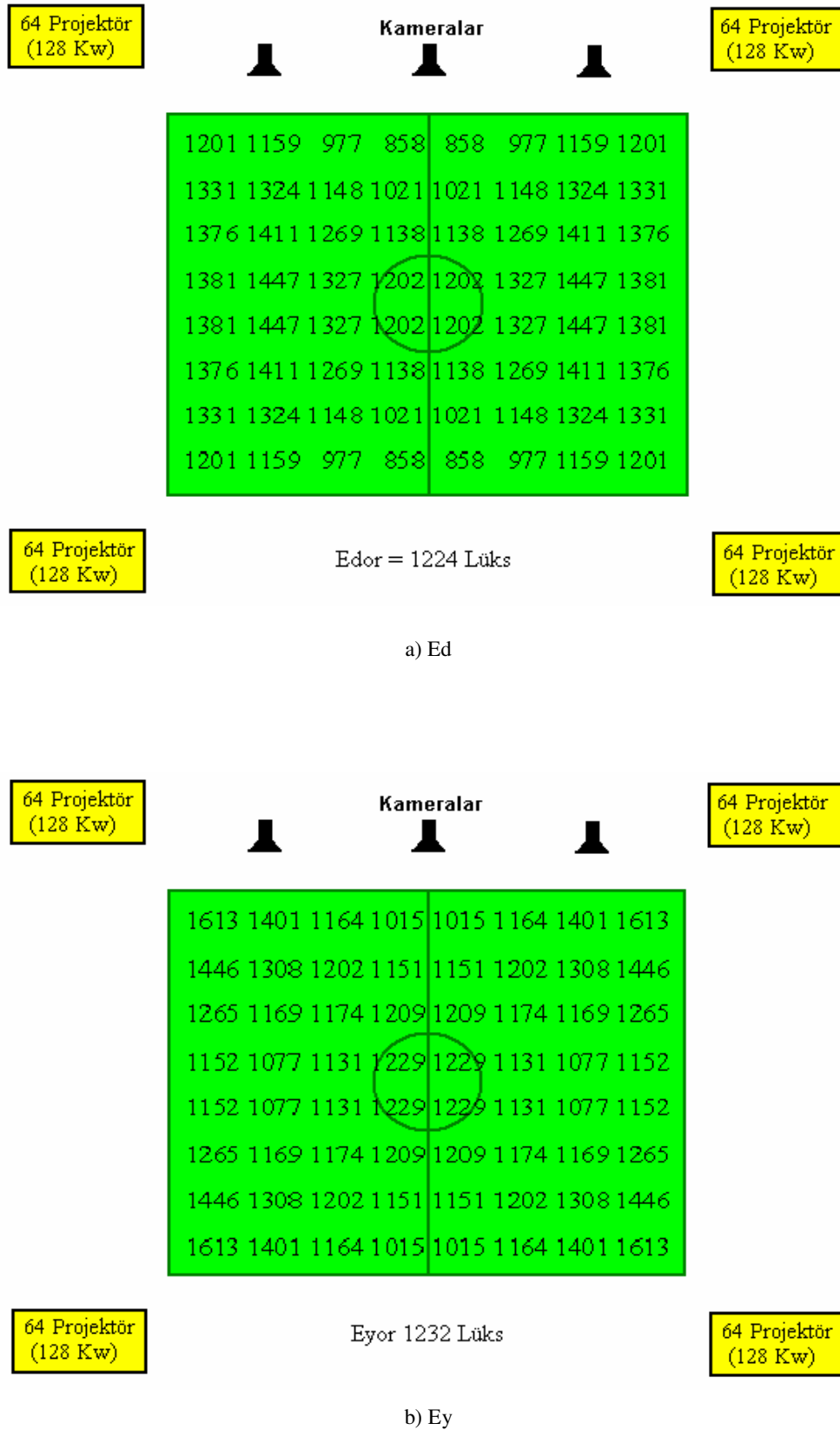


f) %150

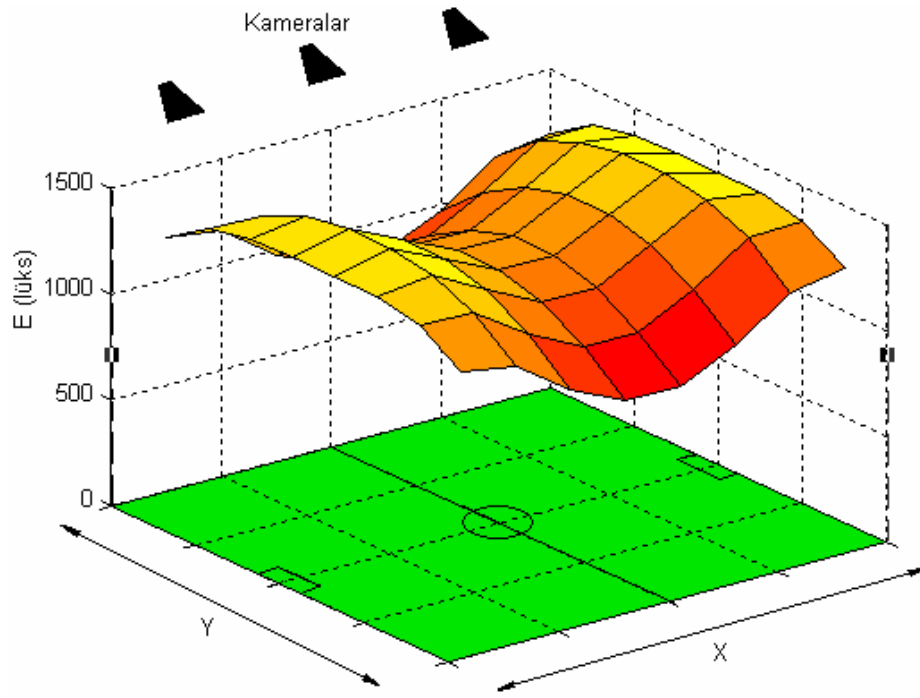
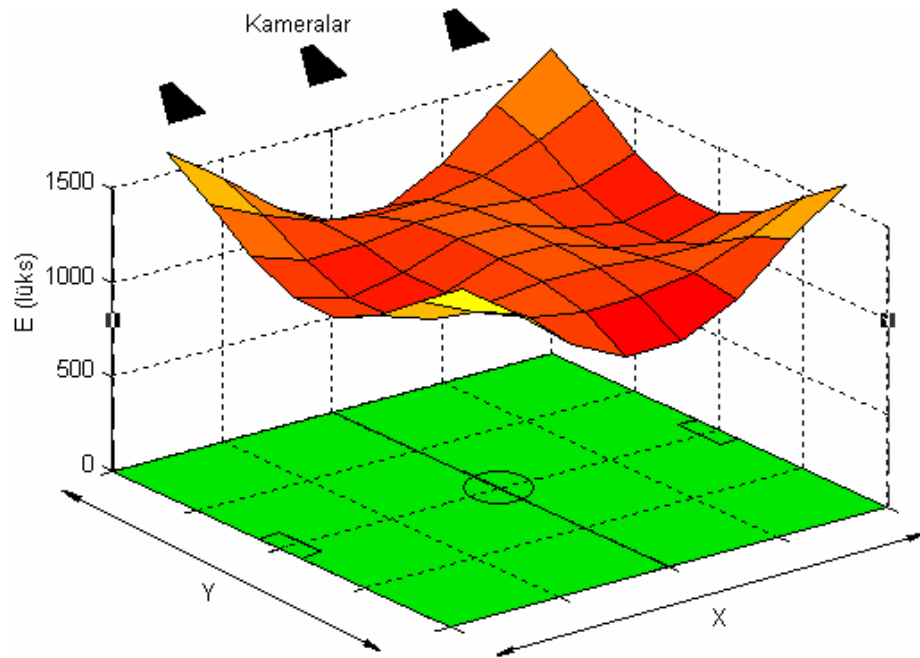
Şekil 4.25. Kamera tarafı lehine asimetrik artışın yatay aydınlık düzeyine etkileri: a) %100 b) % 110 c) %120 d) %130 e) %140 f) % 150

#### 4.6. Geometrik Yapıları Farklı Projektörlerin Kullanılması

Direk yüksekliği, direk-taç çizgisi aralığı, direk-aut çizgisi aralığı ve asimetriklik değişimlerinin aydınlatma düzeylerine etkileri, farklı geometrik yapıdaki projektörlerin hesaplamaları etkilememesi için, şekil 3.14.'deki normal açılı, yuvarlak ve simetrik projektör kullanılarak incelenmiştir. Böylece sabit tutulan diğer parametrelerle birlikte, kullanılan projektör türü de sabit tutularak, sadece değiştirilen parametrenin aydınlatma düzeylerine etkileri ortaya çıkarılmıştır. Bu değişimler sonucu uygun bulunan direk yüksekliği, direk-taç çizgisi aralığı ve direk-aut çizgisi aralığı değerleri için aydınlatma düzeyleri şekil 4.26.'da, bu aydınlatma düzeylerine ait üç boyutlu gösterimler ise şekil 4.27.'de görülmekte olup, ortalama değerlerinin tablo 3.1.'e göre profesyonel ulusal futbola uygun olduğu anlaşılmaktadır. Dağılım katsayıları incelendiğinde, düşey aydınlatma için  $U1d=0,59$  ve  $U2d=0,70$  ile  $U1y=0,63$   $U2y=0,82$  katsayılarının tablo 3.2.'ye göre profesyonel uluslararası futbola uygun olduğu görülmektedir.



Şekil 4.26. Parametre değişimleri sonucu elde edilen aydınlatma düzeyleri: a) Ed b) Ey

a)  $E_d$ b)  $E_y$ 

Şekil 4.27. Parametre değişimleri sonucu elde edilen üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a)  $E_d$  b)  $E_y$



Burada gerçekleştirilen aydınlatma tasarımında kullanılan program ile, geometrik yapıları farklı projektörlerle de, stadyumların aydınlatma tasarımlarını gerçekleştirebilmek mümkündür. Projektörlerin geometrik yapı farklılığı, armatür yapılarının ve kullanılan lambaların geometrik farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Projektörlerin geometrik yapısındaki farklılıklar, farklı ışık dağılım eğrilerine sahip projektörler ile aydınlatma düzeyleri hesaplanarak ele alınmaktadır. Bu amaçla;

- Şekil 3.13.'deki dar açılı, yuvarlak ve simetrik projektör için hesaplanan aydınlık düzeyleri şekil 4.28.'de, aydınlık düzeyi dağılımları şekil 4.29.'da,

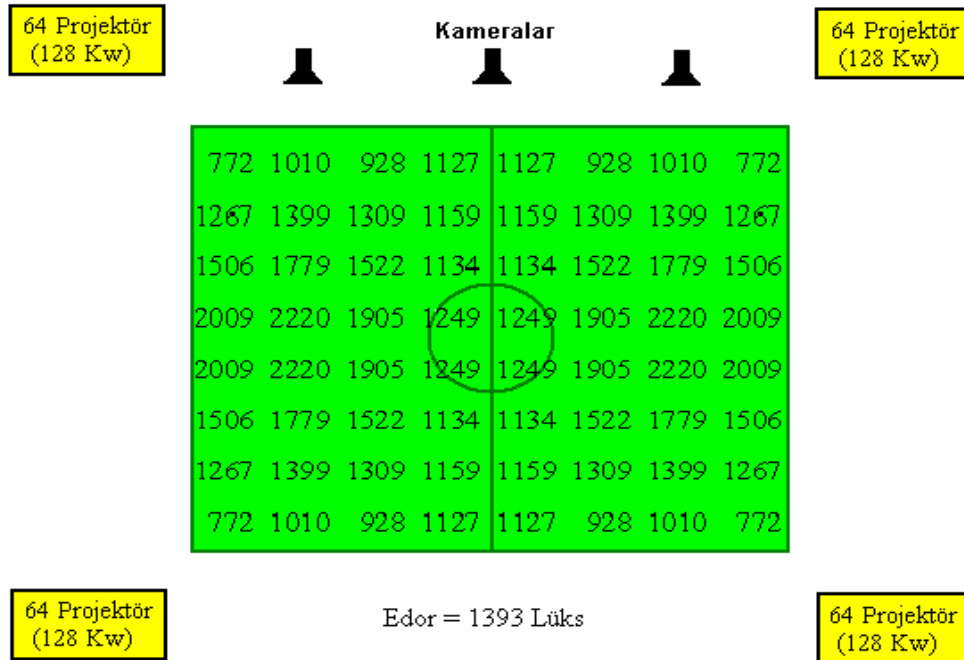
- Şekil 3.15.'deki geniş açılı, yuvarlak ve simetrik projektör için hesaplanan aydınlık düzeyleri şekil 4.30.'da, aydınlık düzeyi dağılımları şekil 4.31.'de,

- Şekil 3.16.'daki normal açılı, dikdörtgen ve simetrik projektör için hesaplanan aydınlık düzeyleri şekil 4.32.'de, aydınlık düzeyi dağılımları şekil 4.33.'de,

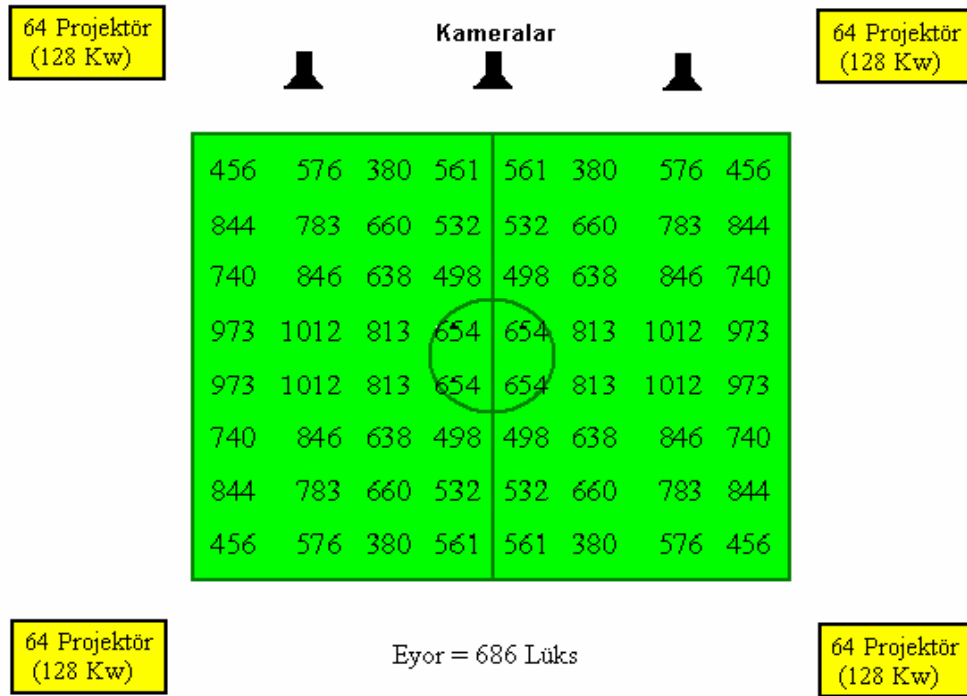
- Şekil 3.17.'deki geniş açılı, dikdörtgen ve simetrik projektör için hesaplanan aydınlık düzeyleri şekil 4.34.'de, aydınlık düzeyi dağılımları şekil 4.35.'de,

- Şekil 3.17.'deki dikdörtgen ve asimetric projektör için hesaplanan aydınlık düzeyleri şekil 4.36.'de, aydınlık düzeyi dağılımları şekil 4.37.'de,

gösterilmektedir.

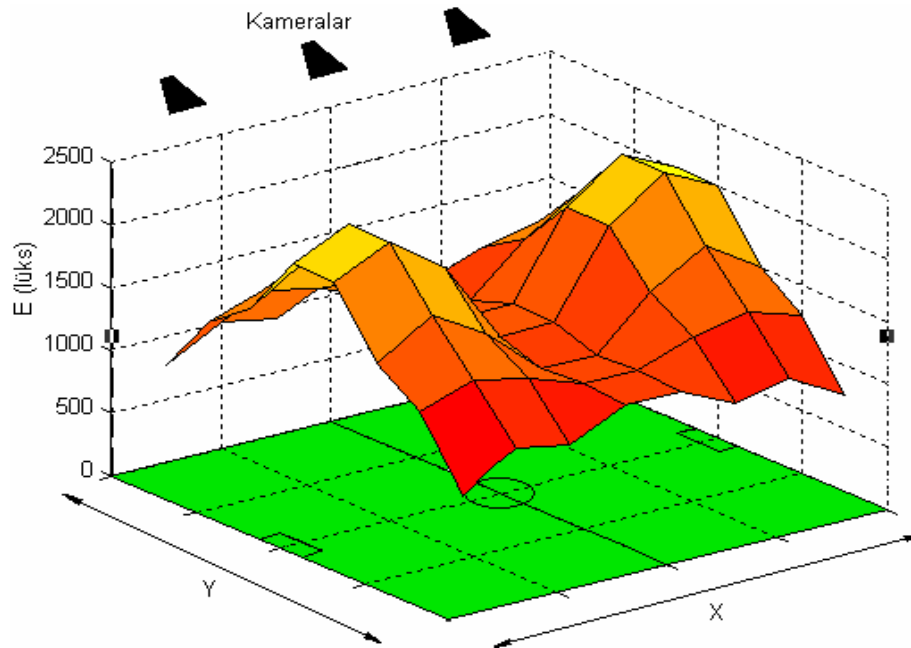


a) Ed

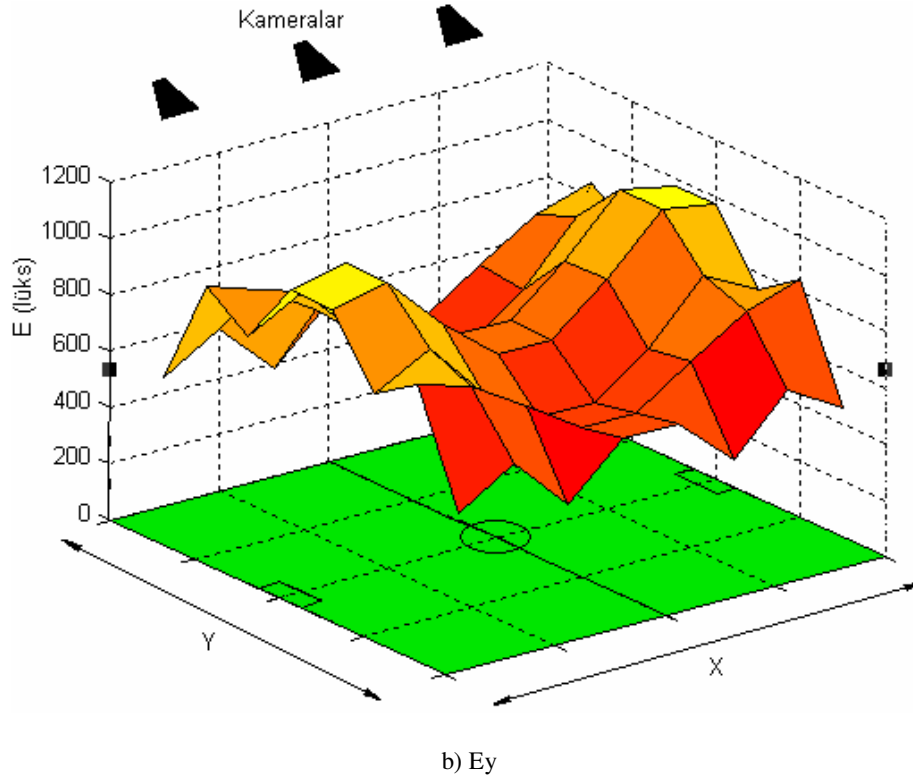


b) Ey

Şekil 4.28. Dar açılı, yuvarlak ve simetrik projektör için hesaplanan aydınlık düzeyleri: a) Ed b) Ey



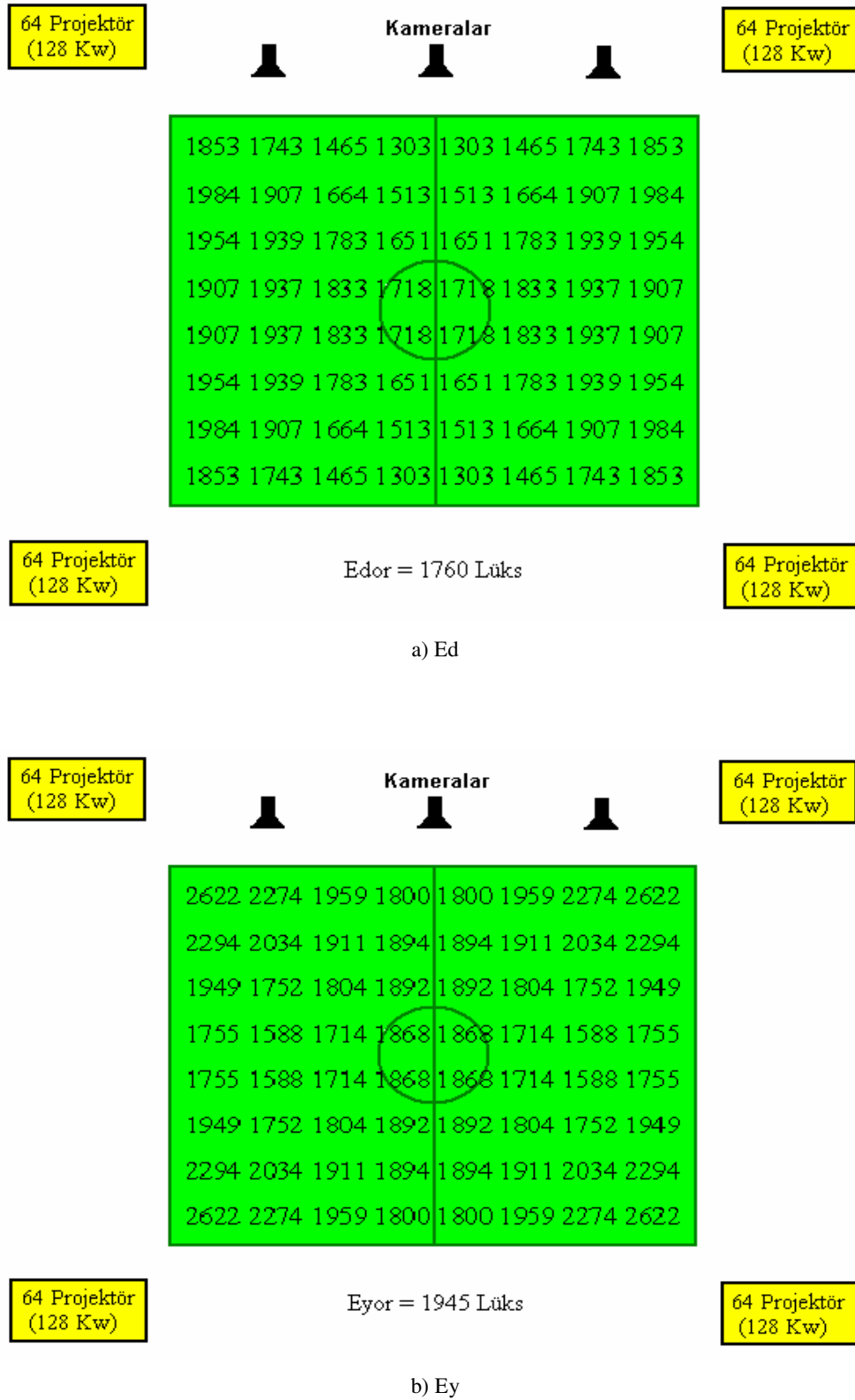
a) Ed



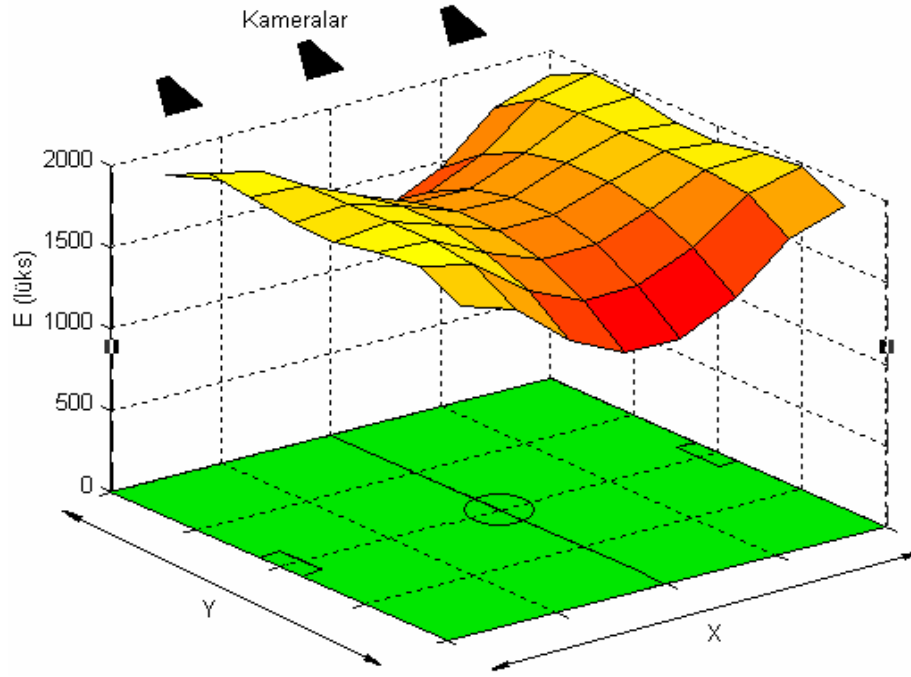
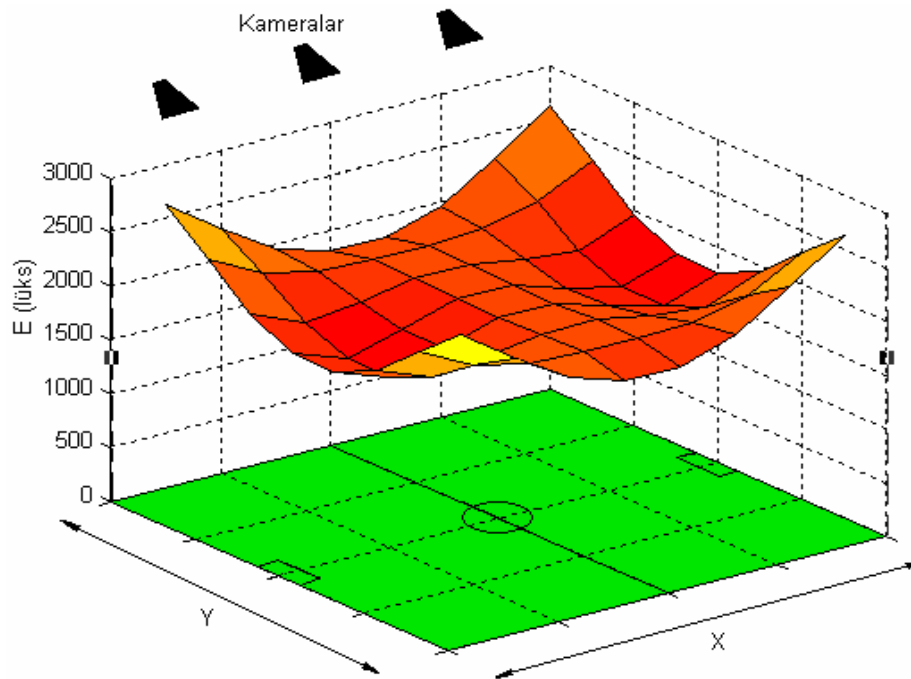
Şekil 4.29. Dar açılı, yuvarlak ve simetrik projektör için üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a) Ed  
b) Ey

Dar açılı, yuvarlak ve simetrik projektör için Şekil 4.28. a' da görülen düşey aydınlatma düzeyleri, ortalama değer açısından tablo 3.1.'de profesyonel ulusal karşılaşmalar için uygun gözükse de,  $U1d=0,35$  ve  $U2d=0,55$  gibi düşük dağılım katsayılarına sahiptir. Şekil 4.28. b'de görülen yatay aydınlatma düzeyleri ise, hem ortalama değer açısından tablo 3.1'e uygun olmayıp, hem de tablo 3.2.'ye göre,  $U1y=0,38$  ve  $U2y=0,55$  gibi çok düşük dağılım katsayılarına sahip olduğundan, uygun değildir. Bu katsayılar, daha çok sayıda noktaya odaklı, daha çok projektör kullanılarak arttırılmalıdır.

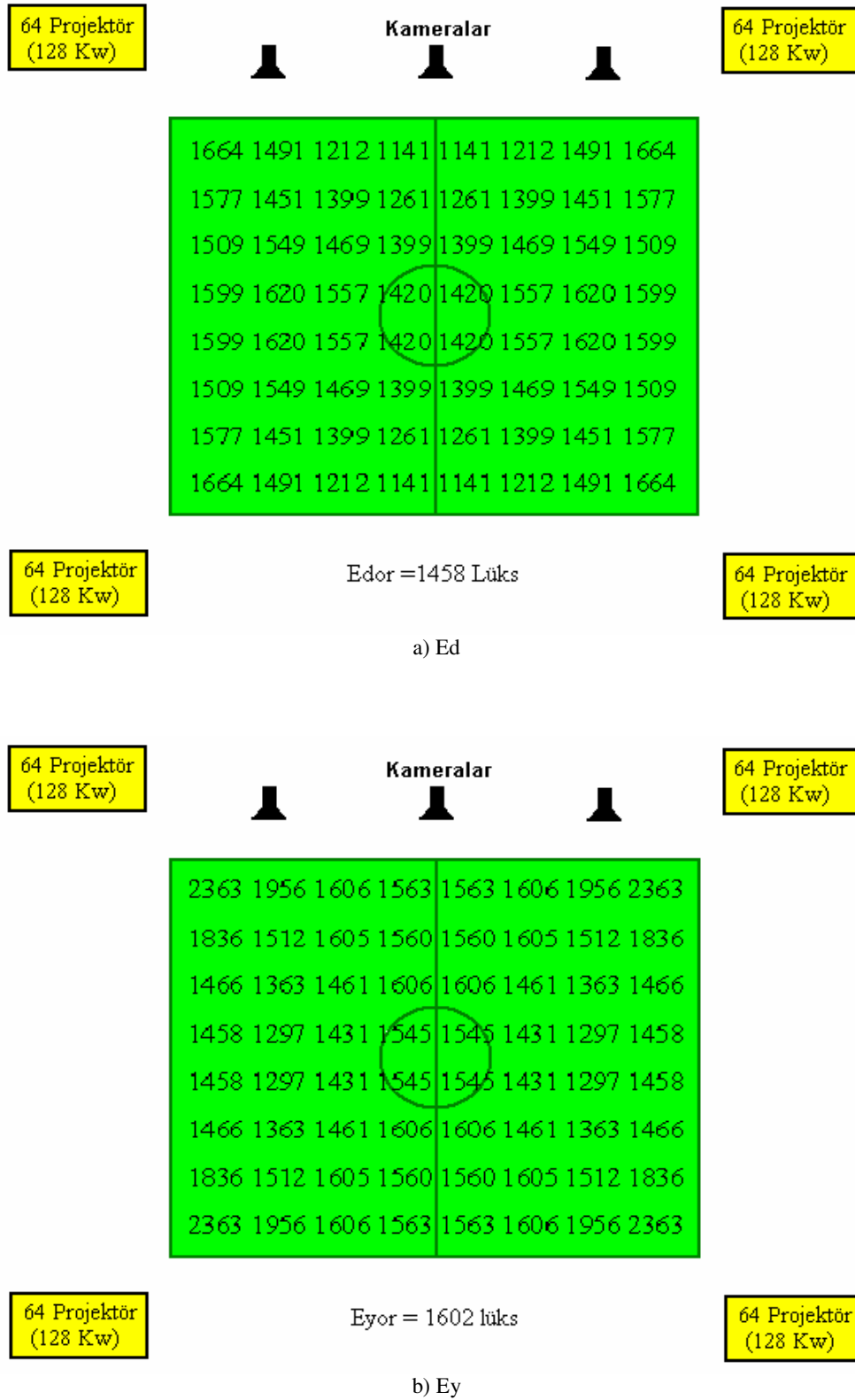
Geniş açılı, yuvarlak ve simetrik projektör için Şekil 4.30. a' da görülen düşey aydınlatma düzeyleri, tablo 3.1.'de profesyonel uluslararası karşılaşmalar için uygun olup,  $U1d=0,67$  ve  $U2d=0,74$  gibi yüksek değerlerde dağılım katsayılarına sahiptir. Şekil 4.30. b'de görülen yatay aydınlatma düzeyleri ise, yine tablo 3.1.'e göre profesyonel uluslararası karşılaşmalar için uygun olup, tablo 3.2.'ye göre,  $U1y=0,61$  ve  $U2y=0,82$  gibi uygun değerlerde dağılım katsayılarına sahiptir.



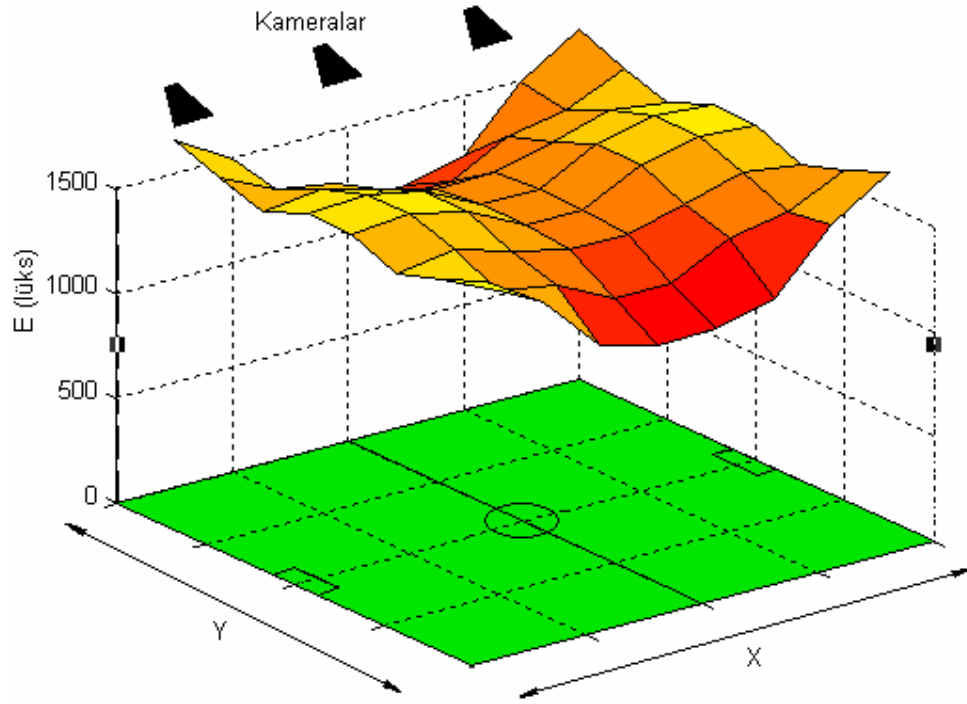
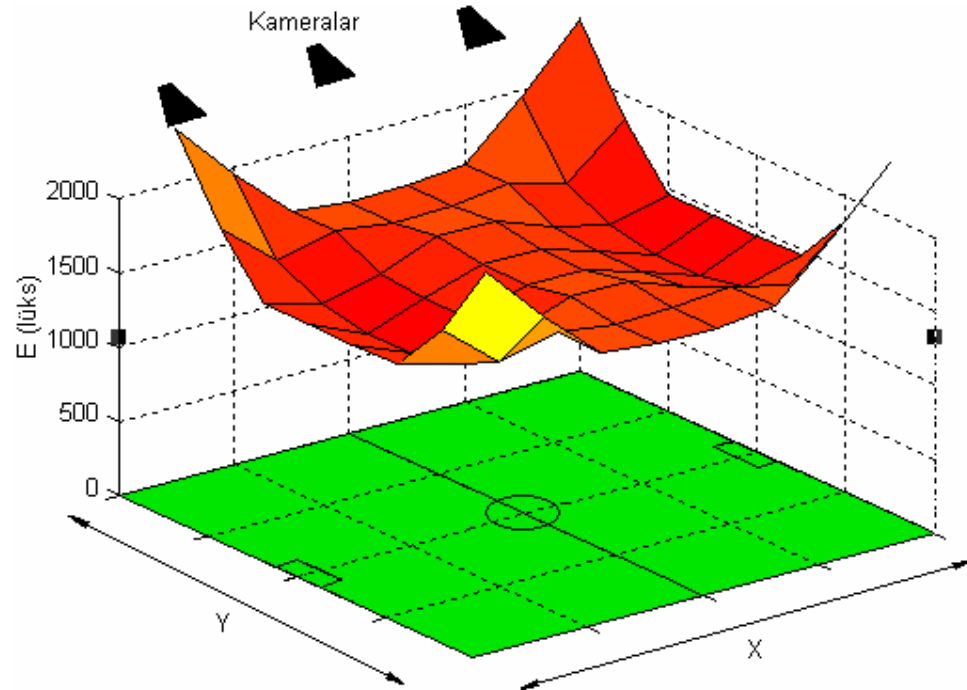
Şekil 4.30. Geniş açılı, yuvarlak ve simetrik projektör için hesaplanan aydınlık düzeyleri

a)  $E_d$ b)  $E_y$ 

Şekil 4.31. Geniş açılı, yuvarlak ve simetrik projektör için üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a)  $E_d$   
b)  $E_y$



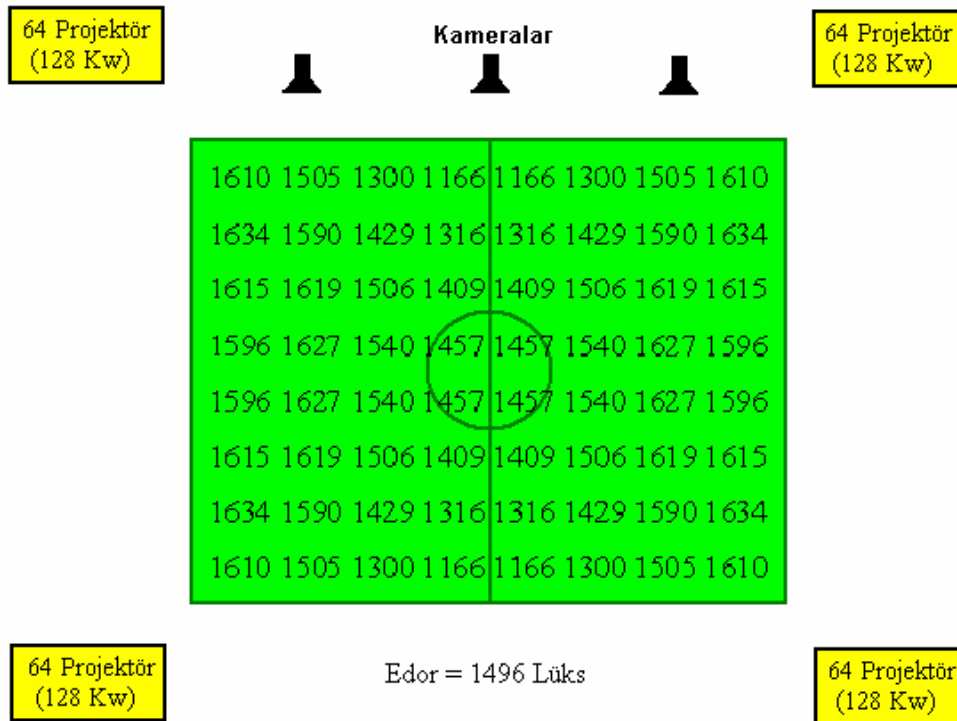
Şekil 4.32. Normal açılı, dikdörtgen ve simetrik projektör için hesaplanan aydınlık düzeyleri: a) Ed  
b) Ey

a)  $E_d$ b)  $E_y$ 

Şekil 4.33. Normal açılı, dikdörtgen ve simetrik projektör için üç boyutlu aydınlatma dağılımları:  
a)  $E_d$  b)  $E_y$

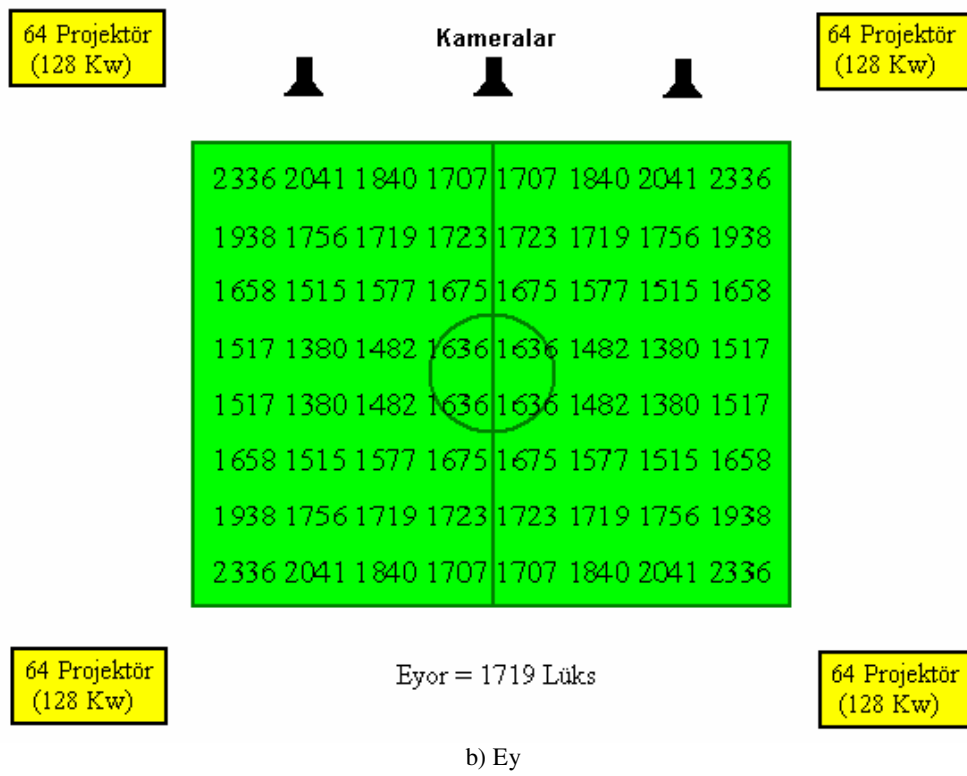
Normal açılı, dikdörtgen ve simetrik projektör için şekil 4.32. a'da görülen düşey aydınlatma düzeyleri, ortalama değer açısından tablo 3.1'de profesyonel uluslararası karşılaşmalar için uygun olup,  $U1d=0,69$  ve  $U2d=0,78$  değerlerinde yüksek dağılım katsayılarına sahiptir. Şekil 4.32. b'de görülen yatay aydınlatma düzeyleri ise, ortalama değer açısından tablo 3.1.'e uygun olmakla beraber, tablo 3.2.'ye göre,  $U1y=0,55$  ve  $U2y=0,81$  gibi dağılım katsayılarına sahip olduğundan, profesyonel ulusal karşılaşmalar için uygundur.

Geniş açılı, dikdörtgen ve simetrik projektör için Şekil 4.34. a' da görülen düşey aydınlatma düzeyleri, ortalama değer açısından tablo 3.1.'de profesyonel uluslararası karşılaşmalar için uygun olup,  $U1d=0,71$  ve  $U2d=0,78$  gibi yüksek değerlerde dağılım katsayılarına sahiptir. Şekil 4.34. b'de görülen yatay aydınlatma düzeyleri ise, ortalama değer açısından tablo 3.1.'de profesyonel uluslararası karşılaşmalar için uygun olup, tablo 3.2.'ye göre,  $U1y=0,59$  ve  $U2y=0,80$  değerlerinde yaklaşık olarak uygun dağılım katsayılarına sahiptir.

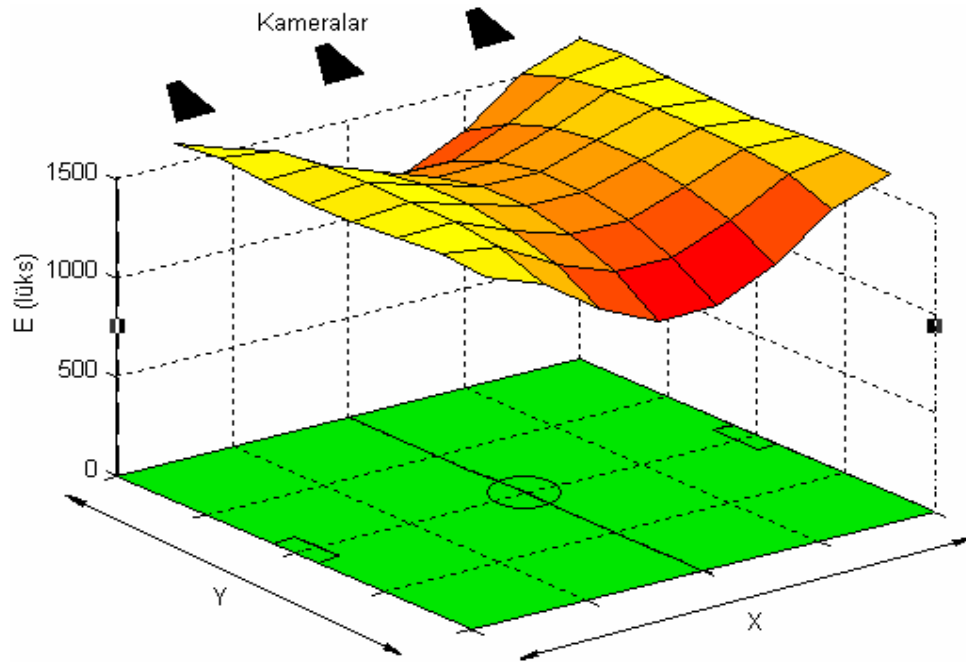


a) Ed

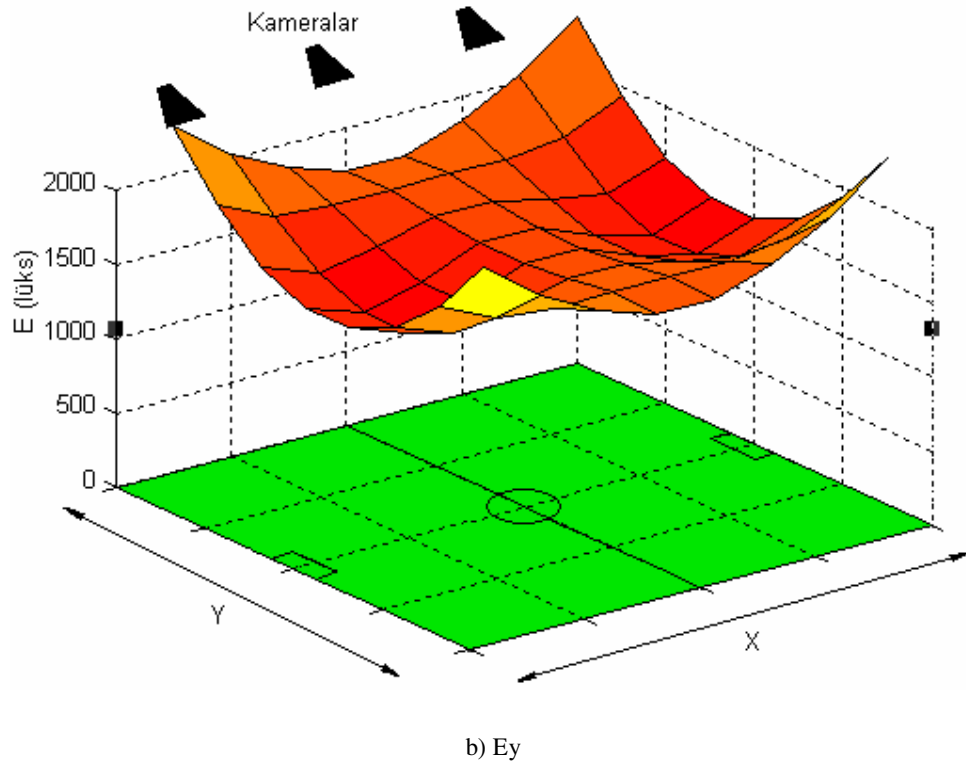




Şekil 4.34. Geniş açılı, dikdörtgen ve simetrik projektör için hesaplanan aydınlık düzeyleri: a) Ed  
b) Ey

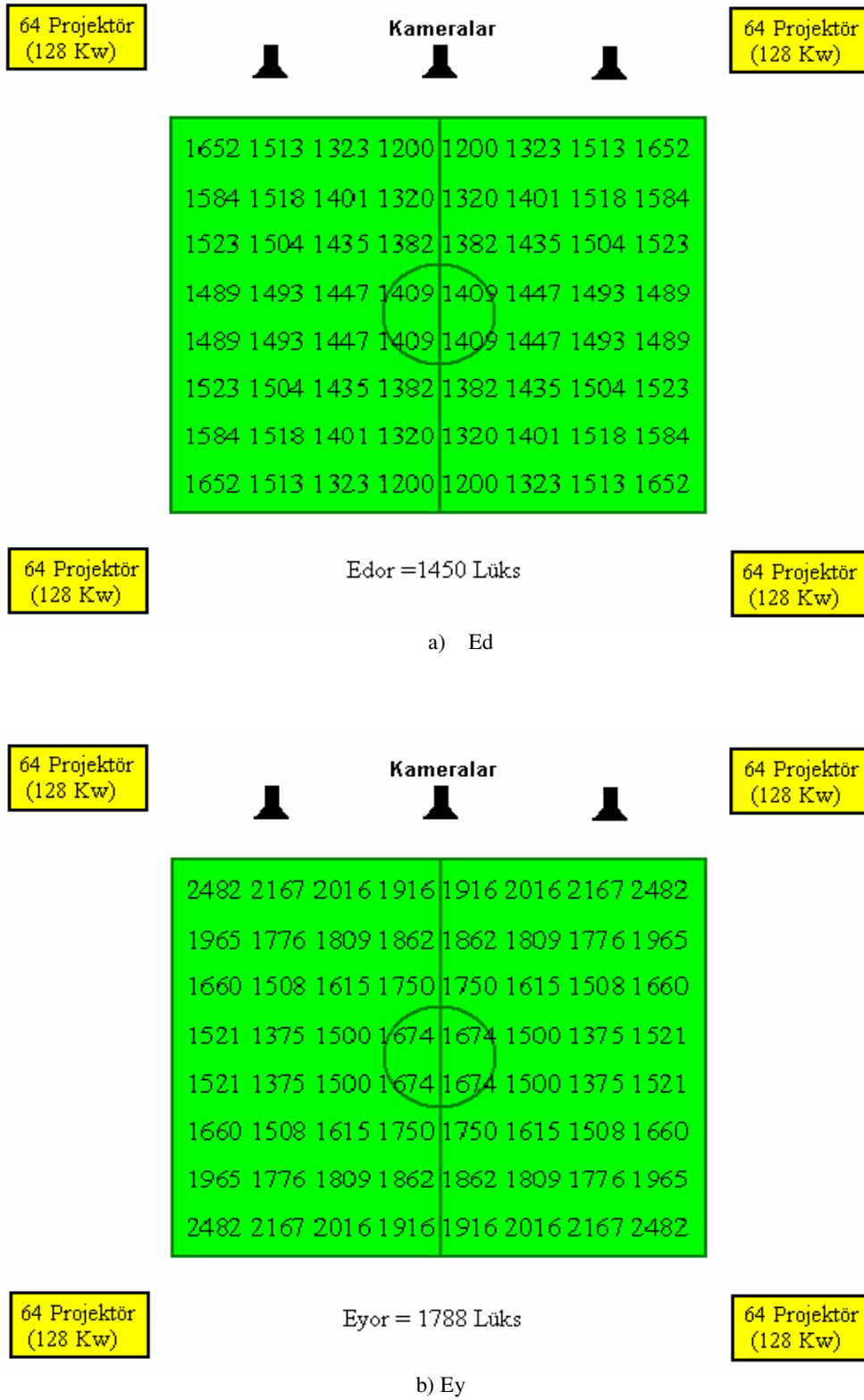


a) Ed

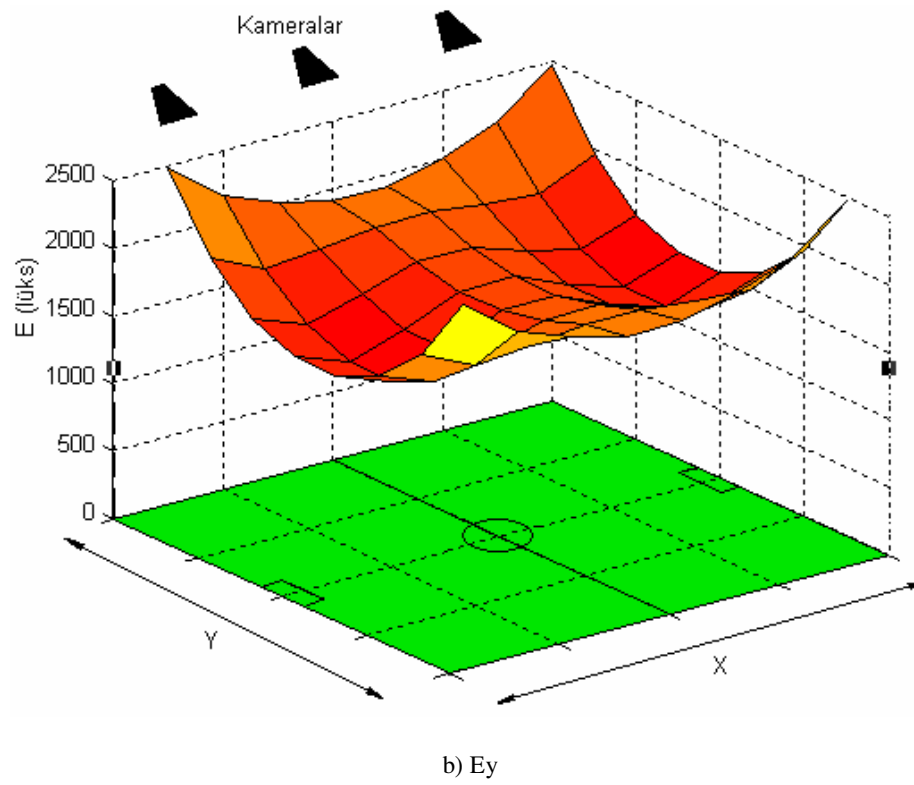
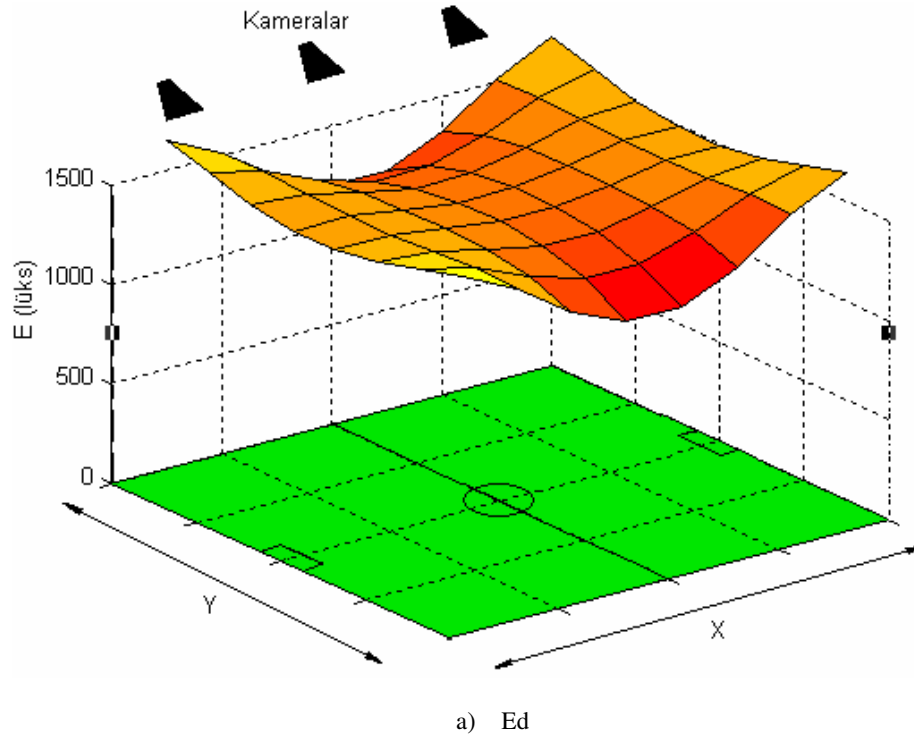


Şekil 4.35. Geniş açılı, dikdörtgen ve simetrik projektör için üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a)  $E_d$   
b)  $E_y$

Şekil 3.18.'deki dikdörtgen ve asimetric projektör için de düşey ve yatay aydınlatma düzeyleri matlab programı ile hesaplanmıştır. Şekil 4.36. a'da görülen düşey aydınlatma düzeyleri, ortalama değer açısından tablo 3.1.'de profesyonel uluslararası karşılaşmalar için uygun olup,  $U_{1d}=0,73$  ve  $U_{2d}=0,83$  gibi yüksek değerlerde dağılım katsayılarına sahiptir. Şekil 4.36. b'de görülen yatay aydınlatma düzeyleri ise, ortalama değer açısından tablo 3.1.'de profesyonel uluslararası karşılaşmalar için uygun olsa da, tablo 3.2.'ye göre,  $U_{1y}=0,55$  ve  $U_{2y}=0,77$  değerleri sebebiyle ulusal karşılaşmalar için uygundur. Dağılım katsayılarından sadece yatay aydınlatmadaki  $U_{1y}$  katsayısı küçük bir miktar da, tablo 3.2.'ye uyumsuzdur. Arzu edilen sonuç olmamakla birlikte, gerek düşey ve yatay aydınlatma düzeyleri ortalamalarının tablo 3.1.'e göre yeterli olması, gerekse düşey aydınlatma düzeyi dağılım katsayılarının çok iyi olması sebebiyle, bu küçük uyumsuzluk çok büyük bir problem değildir. Bu sebeple bu aydınlatma düzeyi dağılımlarına sahip stadyumda, uluslararası karşılaşmalar inisiyatif kullanılarak oynatılabilir.



Şekil 4.36. Dikdörtgen ve asimetrik projektör için hesaplanan aydınlık düzeyleri: a) Ed b) Ey



Şekil 4.37. Dikdörtgen ve asimetric projektör için üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a)  $E_d$  b)  $E_y$   
Tablo 4.2. Parametre değişimlerinin etkileri

Sabit Parametreler*	Değişken Parametre	Parametre Değişimi	Edor (Lüks)	Ld <sub>max</sub> (Nit)	U1d	U2d	Eyor (Lüks)	Ly <sub>max</sub> (Nit)	U1y	U2y
X Y D G	Zh (m)	20	1551	64,45	0,41	0,59	1050	15,10	0,46	0,75
		25	1462	54,05	0,48	0,62	1106	15,20	0,48	0,77
		30	1376	45,90	0,55	0,65	1153	14,92	0,52	0,78
		35	1298	43,70	0,58	0,68	1197	14,77	0,57	0,81
		40	1224	41,36	0,59	0,70	1232	14,05	0,63	0,82
		45	1156	39,20	0,61	0,73	1265	13,67	0,69	0,85
X Y Zh G	D (m)	5	1392	57,95	0,42	0,61	2351	27,86	0,48	0,65
		10	1368	54,56	0,45	0,63	2026	22,83	0,49	0,64
		15	1341	50,95	0,48	0,64	1781	20,05	0,52	0,68
		20	1307	47,61	0,52	0,66	1571	17,20	0,57	0,72
		25	1268	44,35	0,55	0,68	1391	15,98	0,58	0,77
		30	1224	41,36	0,59	0,70	1232	14,05	0,63	0,82
		35	1175	38,58	0,64	0,73	1095	12,32	0,66	0,86
		40	1125	35,99	0,68	0,76	975	10,76	0,67	0,84
		45	1074	33,59	0,73	0,80	872	9,35	0,68	0,84
X Y D Zh	G (m)	-30	1377	49,99	0,45	0,57	1564	16,59	0,59	0,71
		-25	1369	48,21	0,50	0,62	1546	15,80	0,63	0,75
		-20	1360	47,03	0,55	0,67	1522	15,16	0,68	0,78
		-15	1346	45,69	0,61	0,73	1487	15,02	0,70	0,81
		-10	1331	44,49	0,64	0,75	1450	14,85	0,72	0,84
		-5	1312	44,21	0,62	0,73	1408	14,43	0,74	0,87
		0	1285	43,34	0,61	0,71	1351	14,35	0,70	0,85
		5	1256	42,47	0,60	0,71	1294	14,44	0,65	0,84
		10	1224	41,36	0,59	0,70	1232	14,05	0,63	0,82
		15	1187	40,00	0,61	0,70	1166	13,50	0,62	0,83
		20	1146	38,98	0,59	0,71	1099	12,81	0,61	0,82
		25	1106	38,34	0,59	0,71	1033	12,09	0,62	0,83
X Y D G Zh	Asimetriklik (%)	100	1224	41,36	0,59	0,70	1232	14,05	0,63	0,82
		110	1285	43,52	0,59	0,69	1294	15,13	0,60	0,81
		120	1346	45,68	0,58	0,69	1355	16,22	0,58	0,80
		130	1407	47,84	0,57	0,68	1417	17,30	0,56	0,79
		140	1468	50,00	0,57	0,67	1479	18,38	0,55	0,78
		150	1529	52,16	0,56	0,67	1540	19,46	0,53	0,77
X Y D G Zh	Projektör **	P1	1393	42,28	0,35	0,55	686	8,81	0,38	0,55
		P2	1224	41,36	0,59	0,70	1232	14,05	0,63	0,82
		P3	1760	37,22	0,67	0,74	1945	22,83	0,69	0,93
		P4	1458	31,70	0,69	0,78	1602	20,58	0,55	0,81
		P5	1496	31,12	0,71	0,78	1719	20,34	0,59	0,80
		P6	1450	31,47	0,73	0,83	1788	21,61	0,55	0,77

\* Hesaplamalarda 200.000 lümen ışık akısına sahip 2 Kw'lık metal halide projektör kullanılmıştır. X=105 m; Y=70 m olup, sabit parametre olmaları durumunda,; Zh=40 m; D=30 m ve G=10 m'dir

\*\* P1 dar açılı, yuvarlak ve simetrik; P2 normal açılı, yuvarlak ve simetrik P3 geniş açılı, yuvarlak ve simetrik; P4 normal açılı, dikdörtgen ve simetrik; P5 geniş açılı, dikdörtgen ve simetrik; P6 ise dikdörtgen ve asimetrik projektörü temsil etmektedir.

Bölüm 4.'de şimdiye kadar incelenen direk yüksekliği, direk-taç çizgisi aralığı ve direk-aut çizgisi aralığı değişimleri ile simetriklik-asimetriklik ve farklı projektör kullanımlarının düşey ve yatay aydınlatma düzeylerine etkileri tablo 4.2.'de gösterilmektedir. Bu tabloda düşey ve yatay aydınlık düzeyleri için ortalama aydınlık düzeyi, maksimum parlıltı ile U1 ve U2 katsayı değerleri mevcuttur.

Tablo 4.2. incelendiğinde,

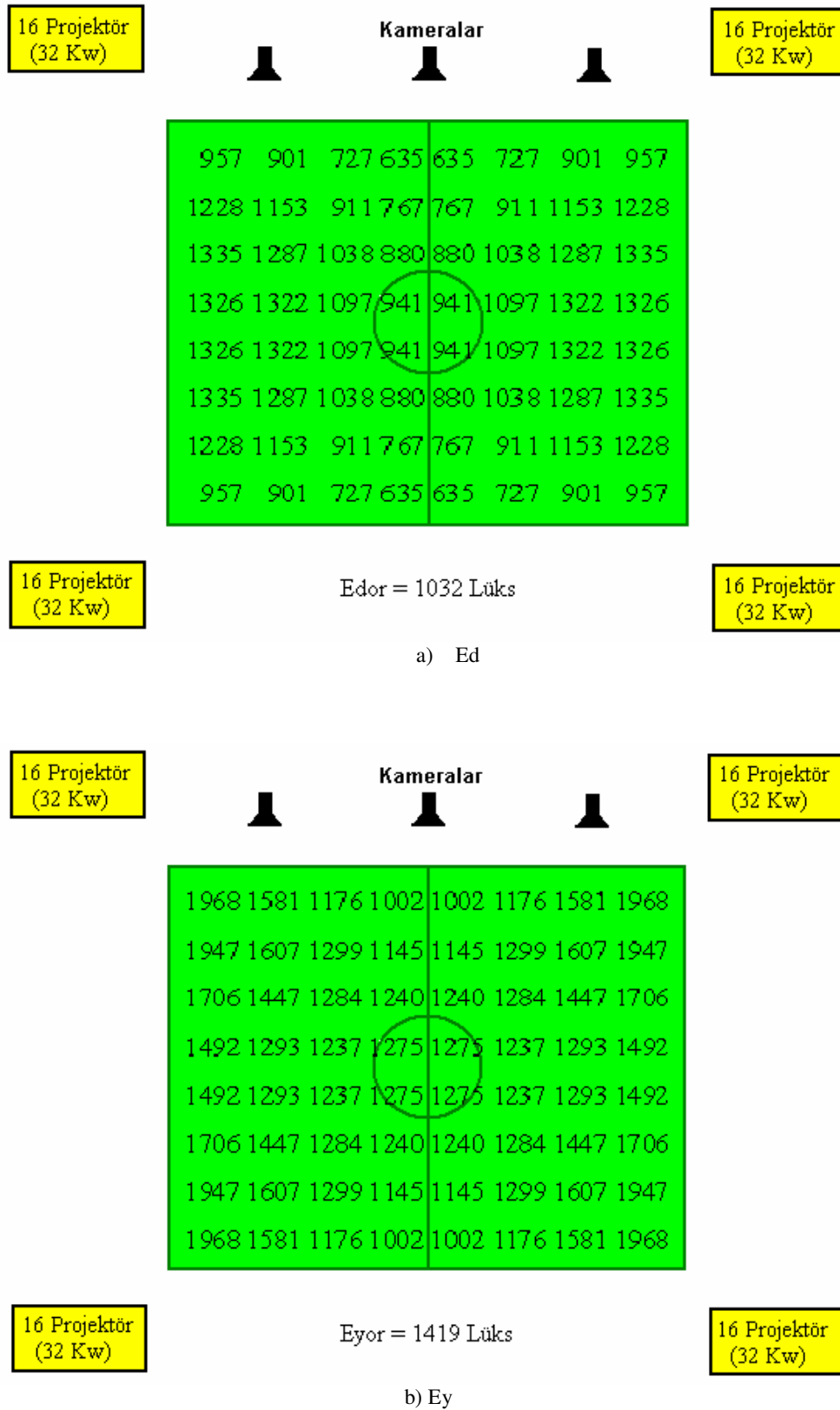
- Direk yüksekliğinin azalmasıyla ve direklerin sahaya yaklaşmaları ile sağlanan düşey ve yatay aydınlık düzeylerinin arttığı,
- Direk yüksekliğinin azalmasıyla, direklerin sahaya yaklaşmalarıyla ve asimetriklikteki artışla sağlanan parlıltı değerinin izin verilen sınır değer “50 Nit” i geçtiği,
- Aynı tipde, aynı güçte ve aynı sayıda lamba kullanılmasına rağmen farklı aydınlık düzeyleri elde edilebildiği gibi gözlemlerde bulunulabilir. Bölüm 4 içerisinde, tüm bu değer değişimleri detaylı biçimde ele alınmıştır.

#### 4.7. Programın Standart Saha Ölçülerinden Farklı Bir Stadyuma Uygulanması

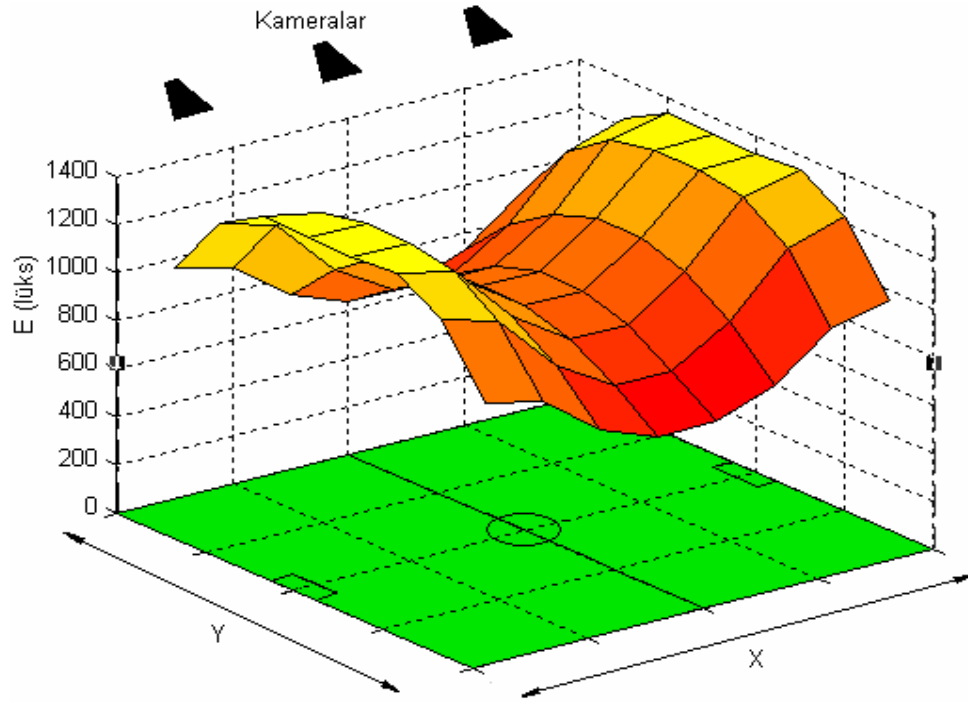
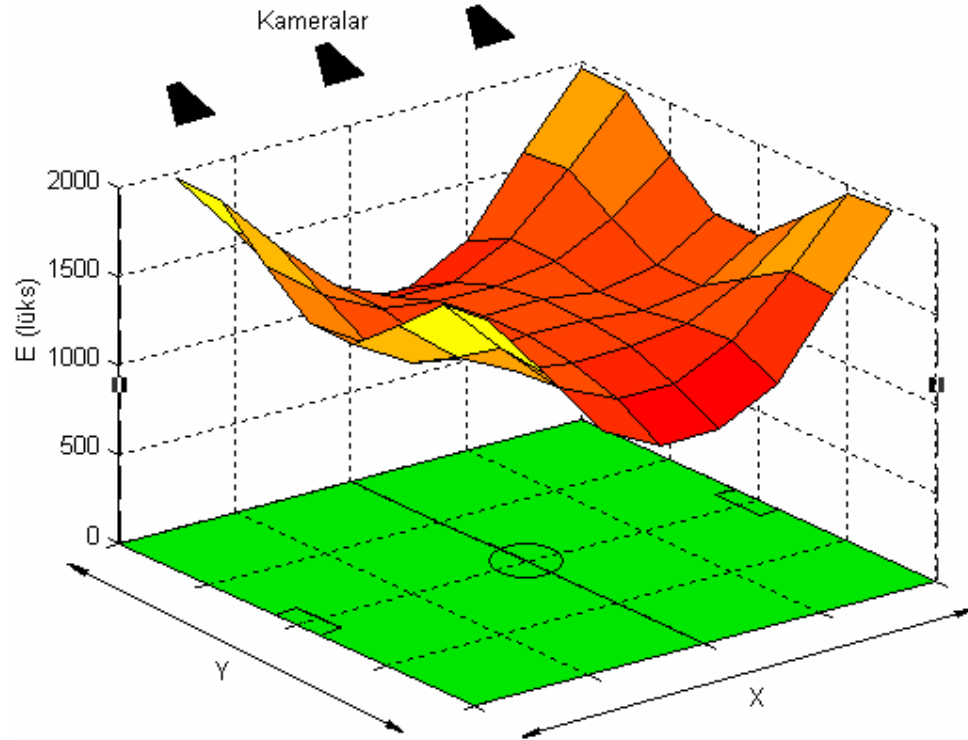
Bölüm 4.'de şimdiye kadar FIFA standartlarına uygun 70x105 m ebatlarındaki stadyumların aydınlatma düzeyleri hesaplanmıştır. Burada ise tablo 4.3.' de temel parametreleri verilen 50x85 m ebatlarında saha ölçülerine sahip minyatür bir stadyum ele alınmaktadır.

Tablo 4.3. Standart saha ölçülerinden farklı bir stadyuma ait parametreler

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Saha Eni (Y)	50	Direk Yüksekliği (Zh)	25
Saha Boyu (X)	80	Çalışma Yüksekliği (Zh)	1,5
Direk-Taç Çizgisi Aralığı (D)	10	Kullanılan Lamba Türü	M. Halide
Direk-Aut Çizgisi Açıklığı (G)	5	Armatür Tipi	G. Açılı
Toplam Projektör Sayısı	64	Projektör Güçleri (Kw)	2



Şekil 4.38. Standart ölçülerden farklı saha için aydınlık düzeyleri : a) Ed b) Ey

a)  $E_d$ b)  $E_y$ Şekil 4.39. Standart ölçülerden farklı saha için üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a)  $E_d$  b)  $E_y$



Standart ölçülerden farklı saha için şekil 4.38. a'da düşey aydınlatma düzeyleri, görülmekte olup, 1032 Lüks ortalama değere  $U_{1d}=0,48$  ve  $U_{2d}=0,62$  değerlerinde dağılım katsayılarına sahiptir. Şekil 4.38. b'de görülen yatay aydınlatma düzeyleri ise, 1419 Lüks ortalama değere ve  $U_{1y}=0,51$  ve  $U_{2y}=0,71$  değerlerinde dağılım katsayılarına sahiptir.

## **BÖLÜM 5. ÖRNEK STADYUMLARDAKİ AYDINLATMALARIN İNCELENMESİ**

Gerçekleştirilen çalışmada, 4 direkli olarak aydınlatılan stadyumlar ele alınmaktadır. Bu amaçla, bu bölümde 4 direkli aydınlatma sistemine sahip stadyumlardan, Beşiktaş İnönü, İzmit İsmet Paşa ve Sakarya Atatürk stadyumları incelenmektedir. Bu stadyumlara gidilerek, gerek stadyumların geometrik özellikleri, gerekse aydınlatma sistemleri yerlerinde araştırılmıştır. Bu stadyumların geometrik, elektrik ve aydınlatma parametreleri dikkate alınarak, mevcut aydınlatma sistemlerinin sağladığı ölçülen aydınlık düzeyleri incelenmektedir. Aynı stadyumlara ait parametreler ile gerçekleştirilen aydınlık düzeyi hesaplamaları yer almaktadır.

Sakarya Atatürk Stadyumu'nun Beşiktaş İnönü ve İzmit İsmet Paşa Stadyumları'ndan en önemli farkı direk yerlerinin aut çizgisinden içeride, hatta yedek kulübeleri hizasına yakın olmalarıdır. Bu durumun yol açtığı, aydınlatma düzeyi dağılımındaki dengesizlik öncelikle ele alınmaktadır.

Kocaeli İsmet Paşa Stadi'nda ise, direk yerleri aut çizgisinin küçük bir miktar dışında ve olması gereken yerinde iken, gerek çok yüksek direklerin kullanılması ve gerekse projektörlerin uzak çapraz bölgeye odaklanmaları sebebiyle aydınlatma verimliliğinde ortaya çıkan düşüş öncelikle ele alınmaktadır.

Gerek diğer iki stadyumdan büyük olması, gerekse uluslararası müsabaka yoğunluğunun fazla olması gibi sebeplerle Beşiktaş İnönü Stadi aydınlatma sistemi daha sorunsuz bir sistem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu stadyumda yetkili kişilerce belirtildiği üzere, geçmişte daha homojen fakat düşük seviyeli bir aydınlatma mevcut iken, günümüzde, ilave edilen dar açılı projektörlerinde etkisiyle daha yüksek seviyeli, fakat daha heterojen aydınlatma düzeyleri dağılımları görülmektedir.

## 5.1. Beşiktaş İnönü Stadyumu

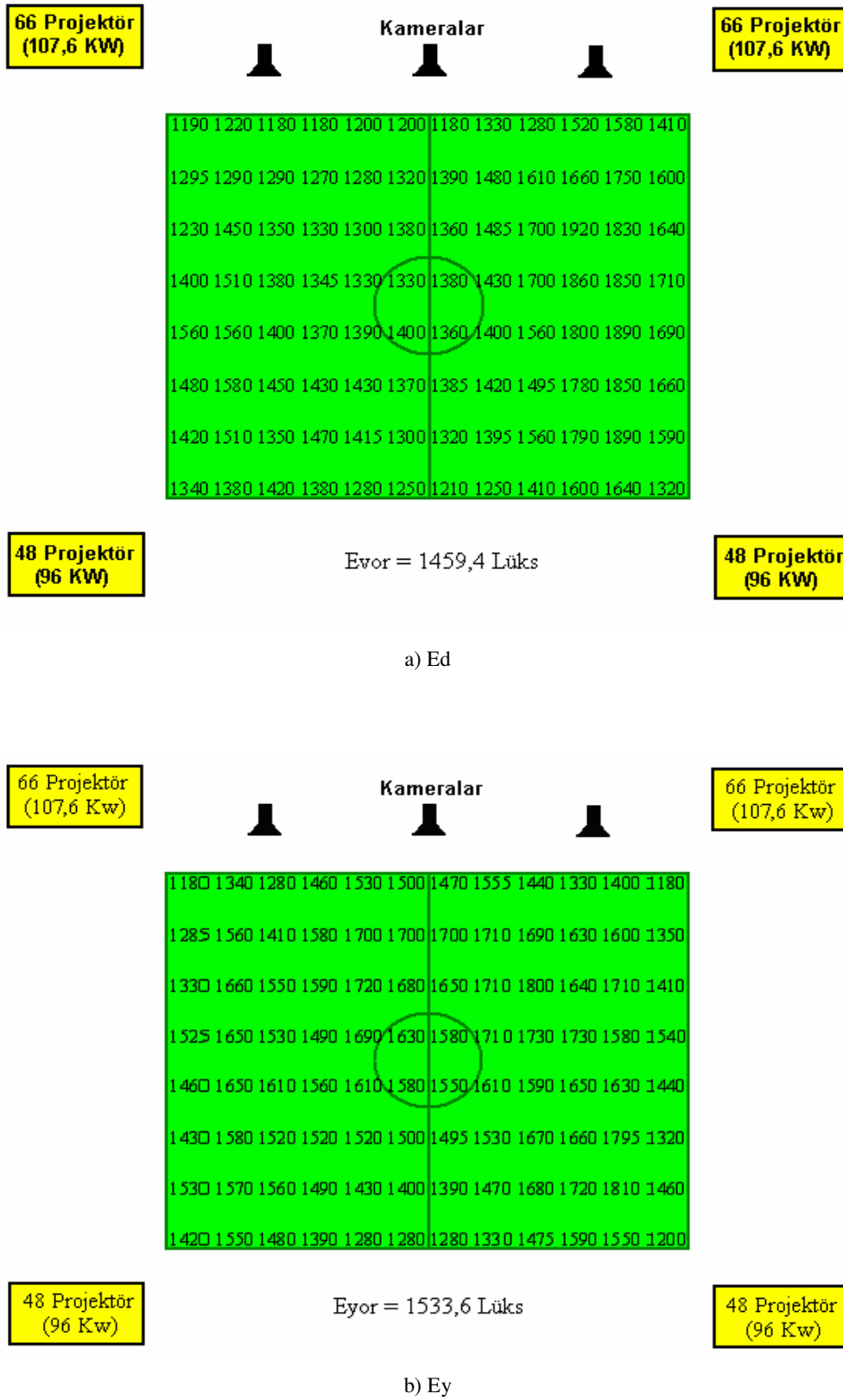
### 5.1.1. Beşiktaş İnönü Stadyumu için ölçülen değerler

Beşiktaş İnönü Stadyumu'na ait geometrik, elektrik ve aydınlatma parametreleri tablo 5.1.'de görülmektedir. Stadyum atletizm pistine sahip olmamakla beraber, tribünlerinin geniş olması nedeni ile 40 m'lik direk-taç çizgisi aralığına sahiptir. Kameralar tarafında  $2 \times 66 = 132$  adet ve toplam 215,2 Kw güce sahip projektörler mevcut iken, kameralar karşısında  $2 \times 48 = 96$  adet ve toplam 192 Kw güce sahip projektörler bulunmaktadır. Kullanılan projektörlerin toplam elektriksel gücü 407,2 Kw'dır. Bu durumda yaklaşık %12'lik kameralar lehine asimetrik aydınlatma gerçekleştirilmektedir. Direkler üzerinde yer alan projektörler, şekil 3.10.'da gösterildiği gibi, karşı tribün önündeki uzak bölgeye yönlendirilmişlerdir. Beşiktaş İnönü Stadi'na ait ölçülen düşey ve yatay aydınlık düzeyleri Şekil 5.1.'de, ölçülen bu değerlere göre saha üzerindeki üç boyutlu düşey ve yatay aydınlık düzeyleri dağılımları şekil 5.2.'de görülmektedir.

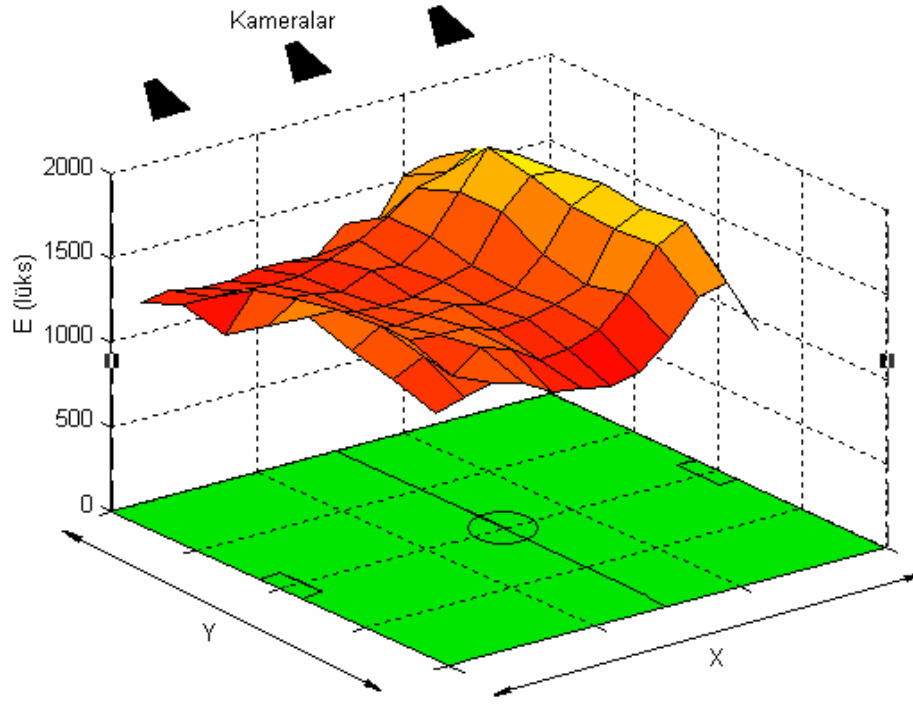
Tablo 5.1. Beşiktaş İnönü Stadyumu parametreleri

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Saha Eni (Y=>m)	68	Direk-Taç Çizgisi Aralığı (D=>m)	40
Saha Boyu (X=>m)	105	Kullanılan Lamba Türü	M. Halide
Projektör Sayısı	28 Dar & 200 Normal	Armatür Tipi	Dar & Normal Açılı
Direk-Aut Çizgisi Açıklığı (G=>m)	10	Projektör Güçleri (Kw)	2
Direk Yüksekliği (Zh=>m)	40	Toplam Aydınlatma Gücü (Kw)	407,2

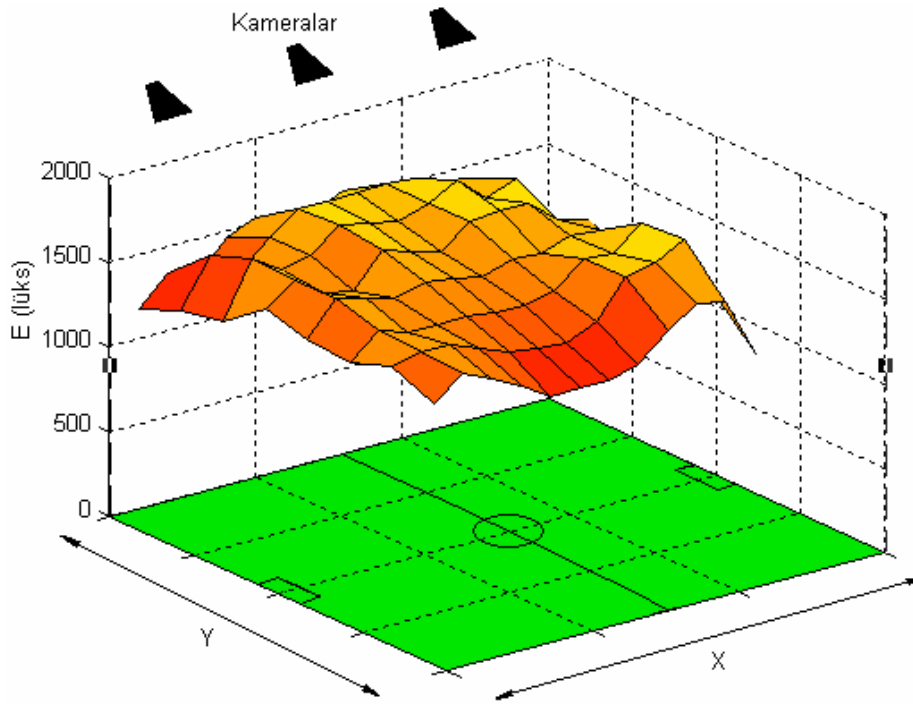
Beşiktaş İnönü Stadi için ölçülen ortalama 1459,4 Lükslük düşey ve ortalama 1533,6 Lükslük yatay aydınlık düzeylerinin tablo 3.1.'e göre uluslararası karşılaşmalar için uygun olduğu görülmektedir. Bu aydınlık düzeylerinden elde edilen  $U1d=0,61$   $U2d=0,81$   $U1y=0,66$   $U2y=0,77$  dağılım katsayılarının da tablo 3.2.'ye uygun olduğu görülmektedir. Parıltı değeri ise, düşey aydınlatma düzeyinde maksimum 36,57 Nit değerine ulaşmakta olup bu değerde 50 Nit'lik sınır değerinin altında kalmaktadır.



Şekil 5.1. Beşiktaş İnönü Stadı için ölçülen aydınlatma düzeyleri: a) Ed b) Ey



a) Ed



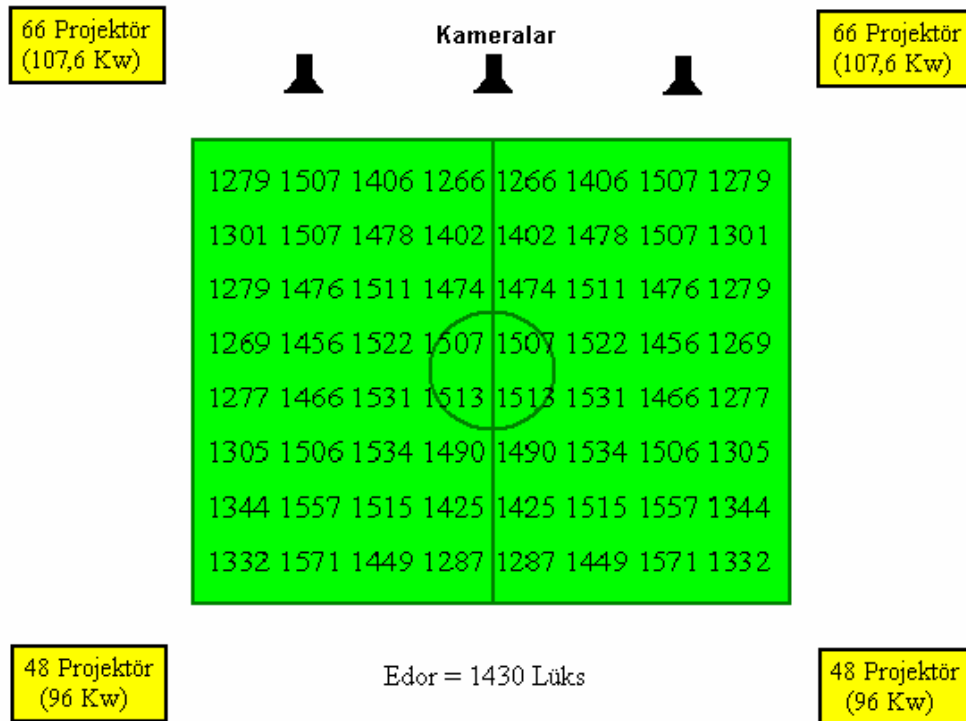
b) Ey

Şekil 5.2. Beşiktaş İnönü Stadi için ölçülen üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a) Ed b) Ey

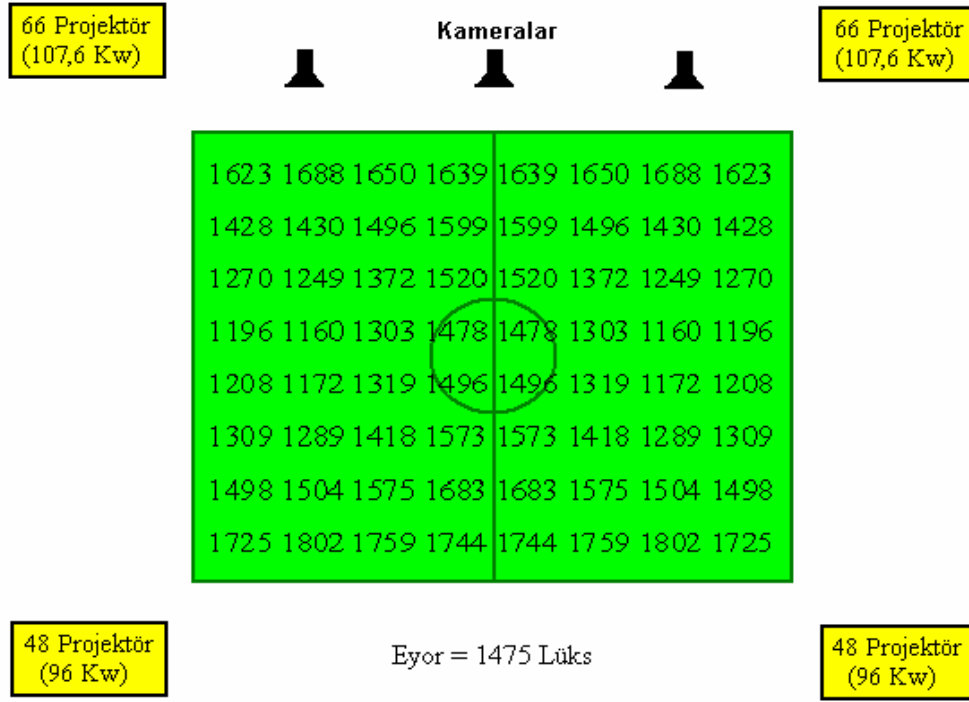
### 5.1.2. Beşiktaş İnönü Stadyumu için hesaplanan değerler

Beşiktaş İnönü Stadi'na ait hesaplanan düşey ve yatay aydınlık düzeyleri Şekil 5.3.'de, ölçülen bu değerlere göre saha üzerindeki üç boyutlu düşey ve yatay aydınlık düzeyleri dağılımları şekil 5.4.'de görülmektedir. Hesaplanan ortalama 1430 Lükslük düşey ve ortalama 1475 Lükslük yatay aydınlık düzeylerinin tablo 3.1.'e göre uluslararası karşılaştırmalar için uygun olduğu görülmektedir. Bu aydınlık düzeylerinden elde edilen  $U1d=0,81$   $U2d=0,89$   $U1y=0,64$   $U2y=0,79$  dağılım katsayılarının da tablo 3.2'ye göre uluslararası karşılaştırmalar için uygun olduğu görülmektedir. Parıltı değeri ise, düşey aydınlatma düzeyinde maksimum 29,92 Nit değerine ulaşmakta olup bu değer de 50 Nit'lik sınır değerinin altında kalmaktadır.

Ölçülen değerler ve hesaplanan değerler karşılaştırıldığında, düşey aydınlatma ortalamasında % 2'lik yatay aydınlatma düzeyi ortalamasında ise % 4'lük bir düşme görülmektedir. Buna karşılık aydınlatma düzeyleri dağılımlarında düzelme olduğu, görülmektedir.

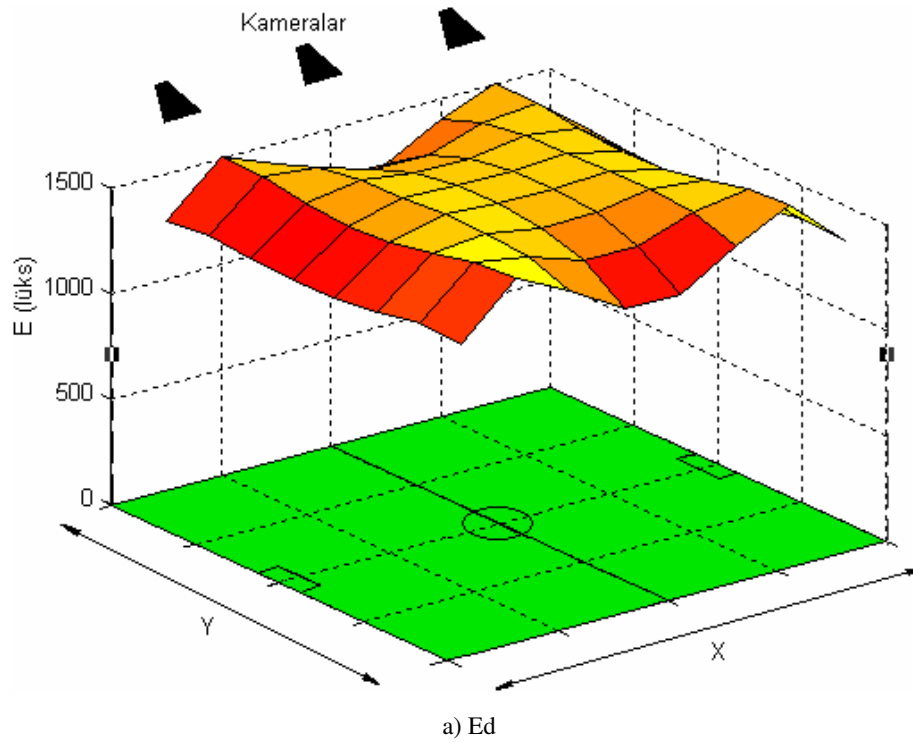


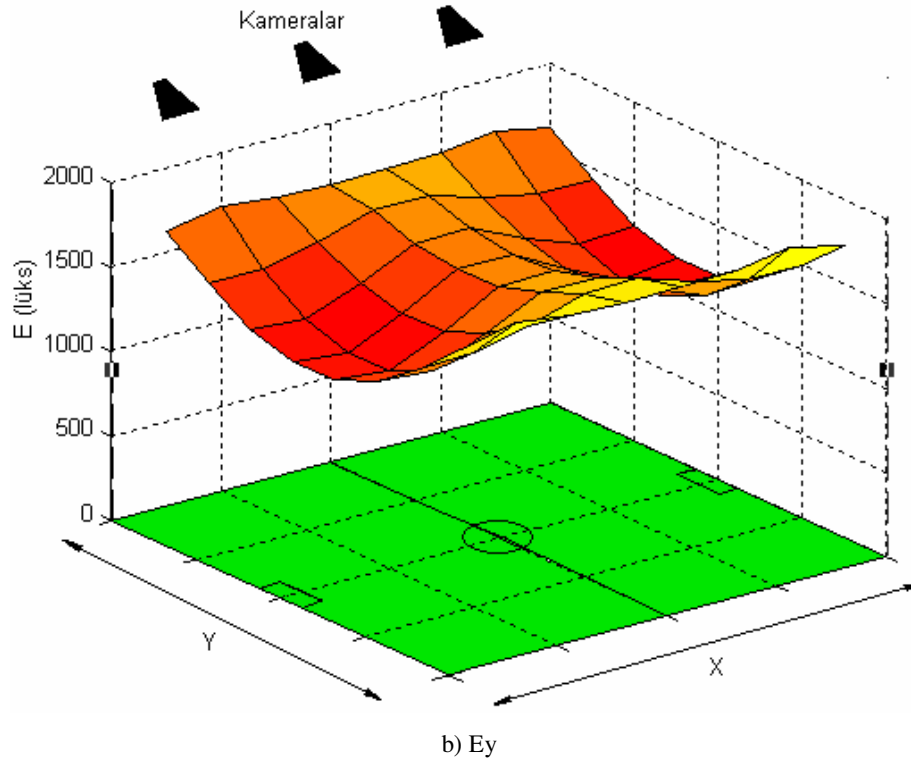
a) Ed



b)

Şekil 5.3. Beşiktaş İnönü Stadı için hesaplanan aydınlatma düzeyleri: a) Ed b) Ey





Şekil 5.4. Beşiktaş İnönü Stadi için hesaplanan üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a) Ed b) Ey

## 5.2. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu

### 5.2.1. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu için ölçülen değerler

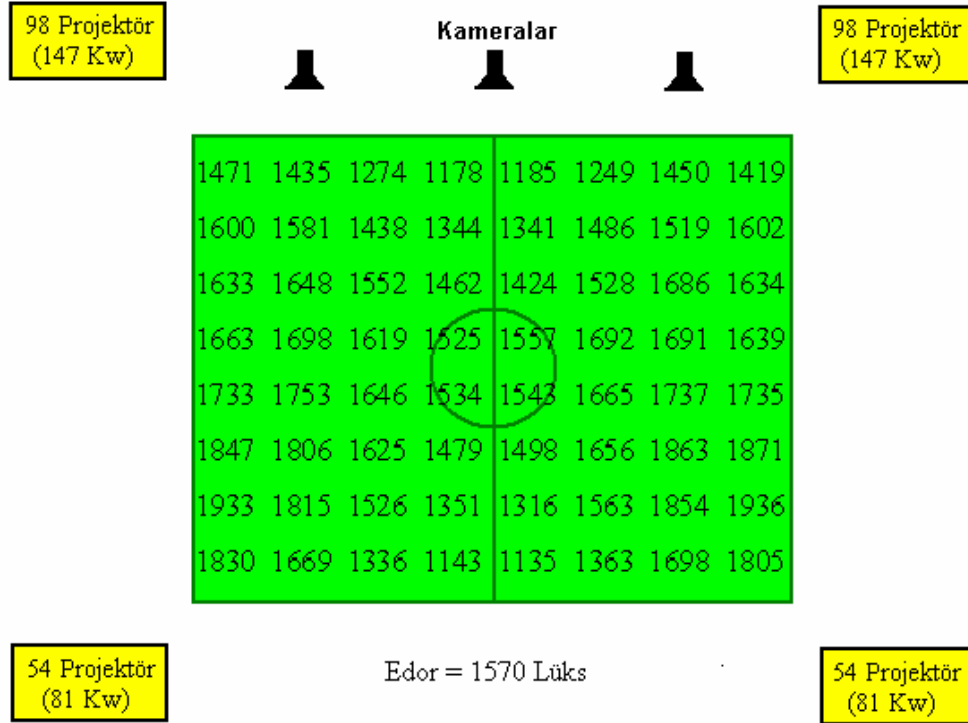
Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu'na ait geometrik, elektrik ve aydınlatma parametreleri tablo 5.2.'de görülmektedir. Stadyum atletizm pistine sahip olmakla beraber, tribünlerinin dar olması nedeni ile 30 m'lik direk-taç çizgisi aralığına sahiptir. Kameralar tarafında  $2 \times 98 = 196$  adet ve toplam 294 Kw güce sahip projektörler mevcut iken, kameralar karşısında  $2 \times 54 = 108$  adet ve toplam 162 Kw güce sahip projektörler bulunmaktadır. Kullanılan projektörlerin toplam elektriksel gücü 407,2 Kw'dır. Bu durumda yaklaşık %81'lik kameralar lehine asimetrik aydınlatma gerçekleştirilmektedir. Direkler üzerinde yer alan projektörler, şekil 3.10.'da gösterildiği gibi, karşı tribün önündeki uzak bölgeye yönlendirilmişlerdir. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu'na ait ölçülen düşey ve yatay aydınlık düzeyleri Şekil 5.5.'de, ölçülen bu değerlere göre saha üzerindeki 3 boyutlu düşey ve yatay aydınlık düzeyleri dağılımları şekil 5.6.'da görülmektedir.



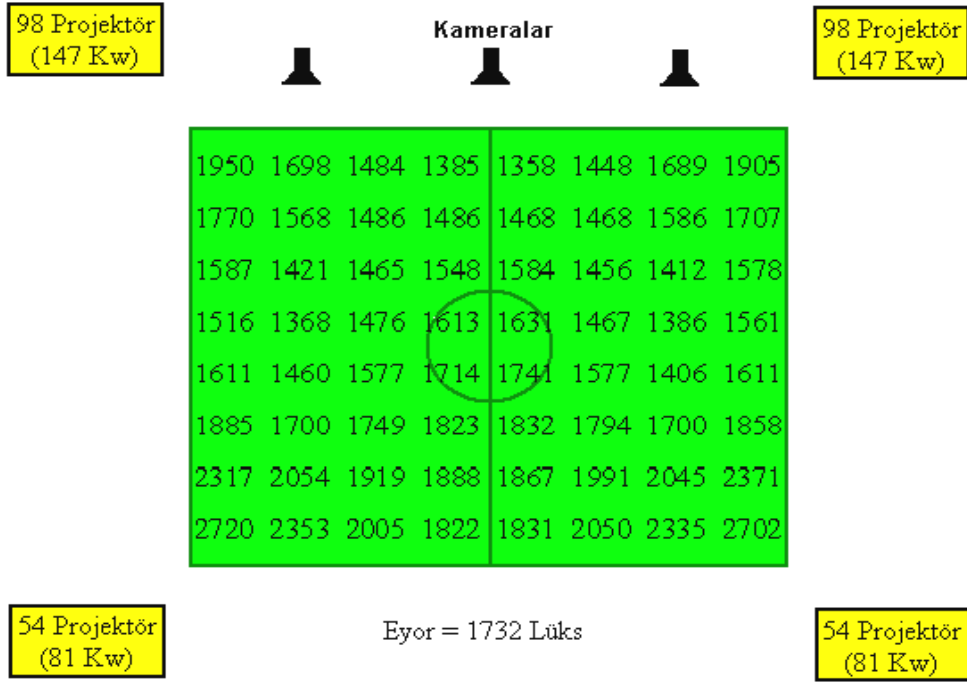
Tablo 5.2. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu parametreleri

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Saha Eni (Y=>m)	70	Direk-Taç Çizgisi Aralığı (D=>m)	30
Saha Boyu (X=>m)	105	Kullanılan Lamba Türü	M Halide
Toplam Projektör Sayısı	304	Armatür Tipi	Geniş Açılı
Direk-Aut Çizgisi Açıklığı (G=>m)	10	Projektör Güçleri (Kw)	1,5
Direk Yüksekliği (Zh=>m)	42	Toplam Aydınlatma Gücü (Kw)	456

Kocaeli İsmet Paşa Stadı için ölçülen ortalama 1570 Lükslük düşey ve ortalama 1732 Lükslük yatay aydınlık düzeylerinin tablo 3.1.'e göre uluslararası karşılaştırmalar için uygun olduğu görülmektedir.  $U1d=0,64$   $U2d=0,81$   $U1y=0,51$   $U2y=0,80$  dağılım katsayılarının ise tablo 3.2.'ye göre ulusal karşılamalara uygun olduğu görülmektedir. Parıltı değeri ise, düşey aydınlatma düzeyinde maksimum 36,82 Nit değerine ulaşmakta olup bu değer 50 Nit'lik sınır değerinin altında kalmaktadır.

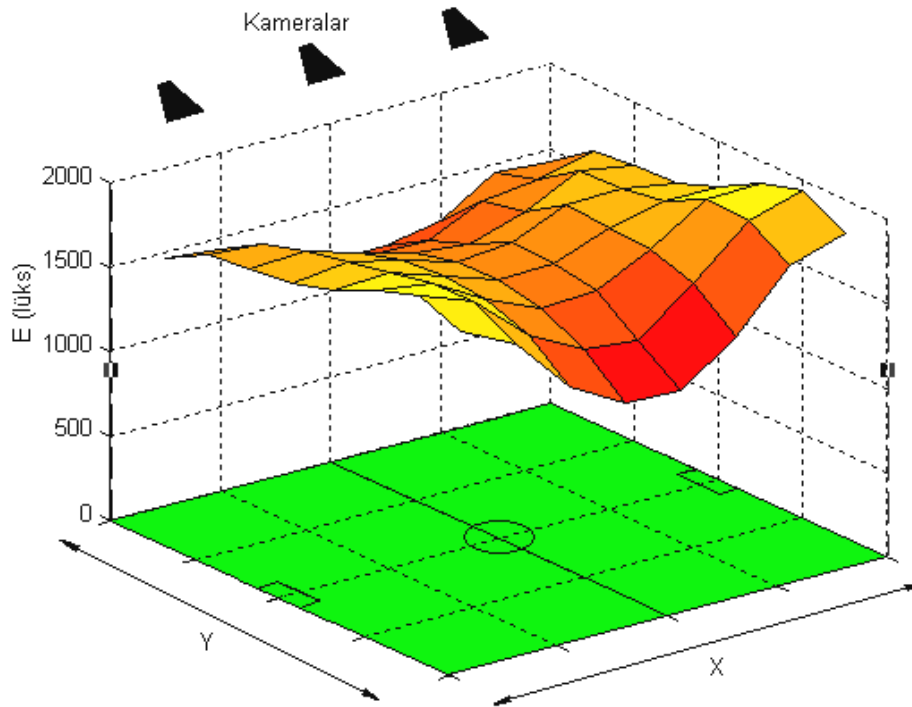


a) Ed

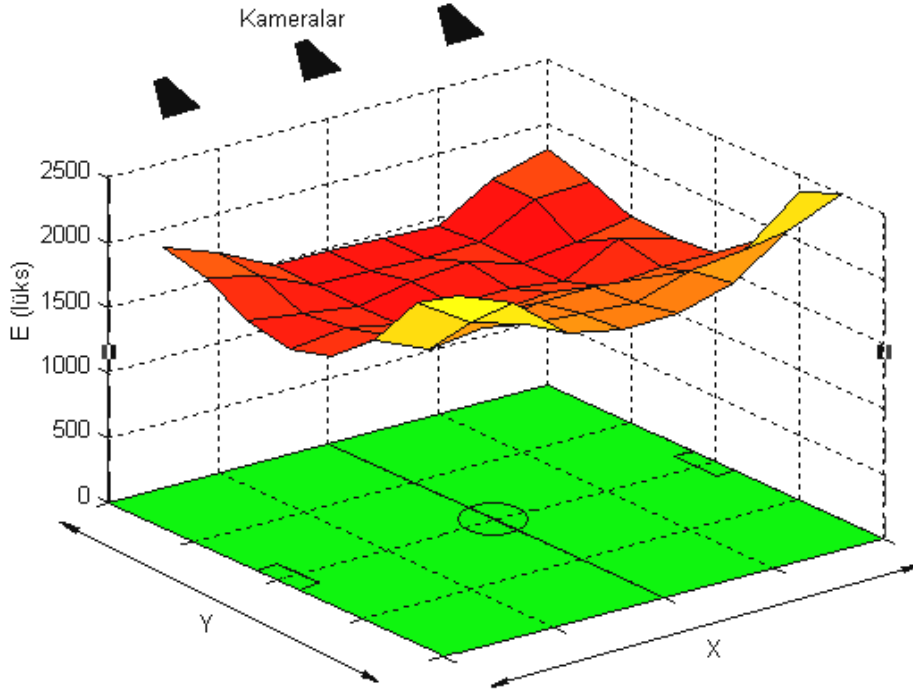


b) Ey

Şekil 5.5. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu için ölçülen aydınlatma düzeyleri: a) Ed b) Ey



a) Ed

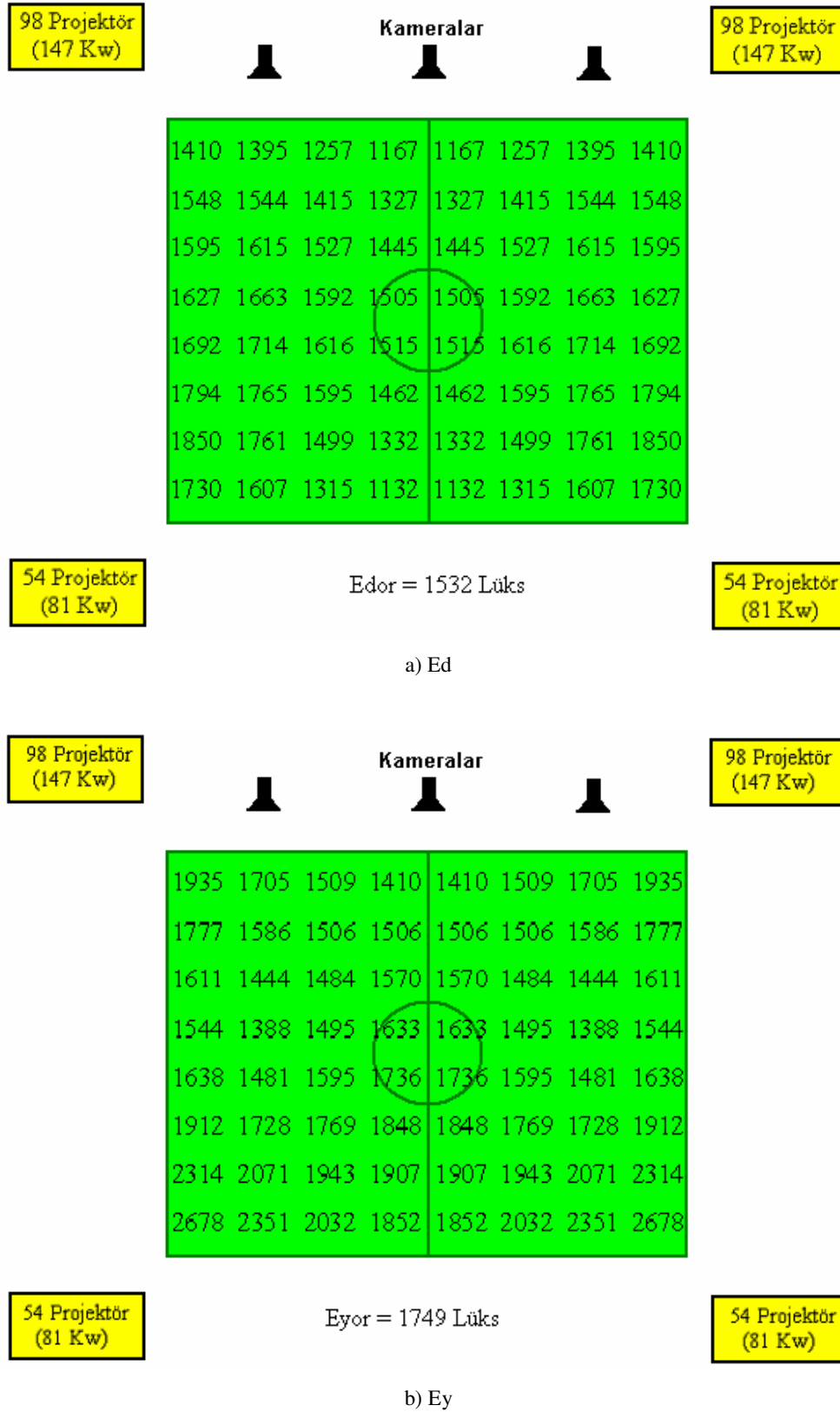


b) Ey

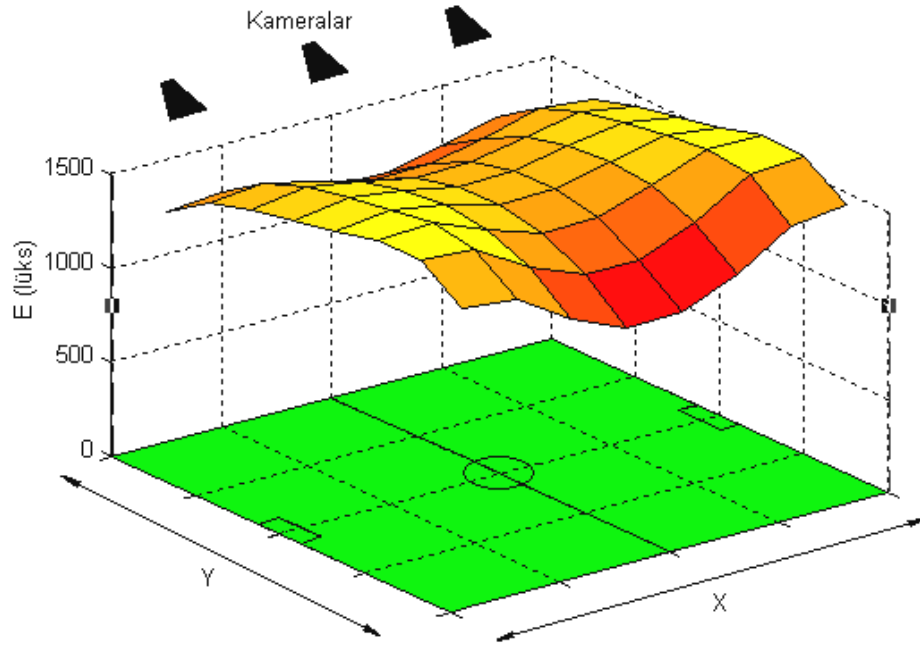
Şekil 5.6. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu için ölçülen üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a) Ed b) Ey

### 5.2.2. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu için hesaplanan değerler

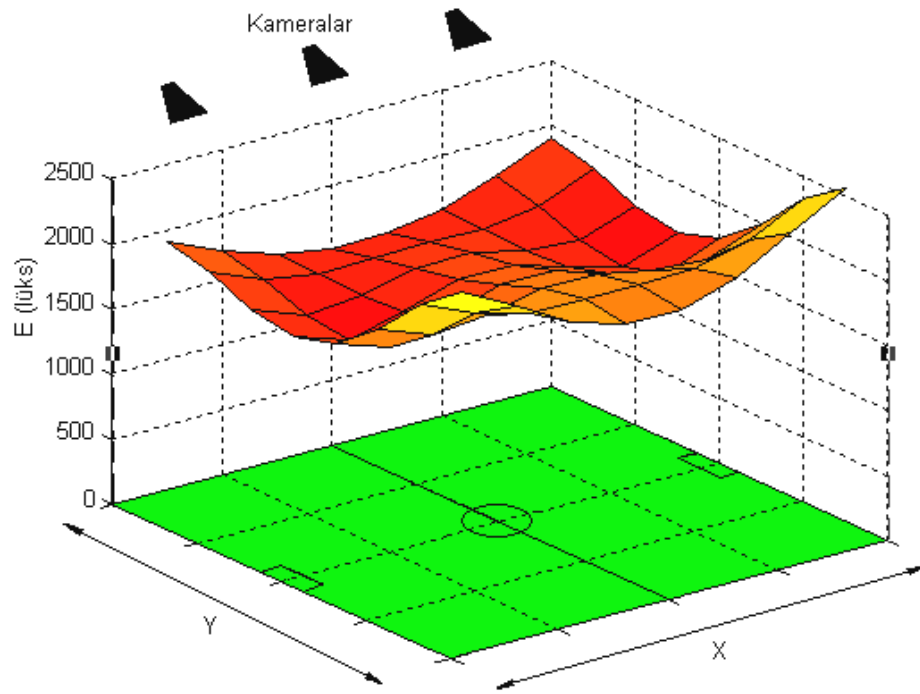
Kocaeli İsmet Paşa Stadi'na ait hesaplanan düşey ve yatay aydınlık düzeyleri Şekil 5.7.'de, ölçülen bu değerlere göre saha üzerindeki üç boyutlu düşey ve yatay aydınlık düzeyleri dağılımları şekil 5.8.'de görülmektedir. Hesaplanan ortalama 1532 Lükslük düşey ve ortalama 1749 Lükslük yatay aydınlık düzeylerinin tablo 3.1.'e göre uluslararası karşılaşmalar için uygun olduğu görülmektedir.  $U1d=0,61$   $U2d=0,74$   $U1y=0,53$   $U2y=0,81$  dağılım katsayılarının da tablo 3.2.'ye göre yine ulusal karşılaşmalara uygun gözükse de dağılım değerleri birbirine yakındır. Parıltı değeri ise, düşey aydınlatma düzeyinde maksimum 35,23 Nit değerine ulaşmakta olup, bu değer de 50 Nit'lik sınır değerinin altında kalmaktadır. Ölçülen değerler ve hesaplanan değerler karşılaştırıldığında, düşey aydınlatma ortalamasında % 2,4'lik azalma, yatay aydınlatma düzeyi ortalamasında ise % 1'lik bir artma görülmektedir. Aydınlatma düzeyleri dağılımları sınır düzeye yakın olduğundan, çok üst düzey olmayan uluslararası karşılaşmalar oynanabilir [90].



Şekil 5.7. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu için hesaplanan aydınlatma düzeyleri: a) Ed b) Ey



a) Ed



b) Ey

Şekil 5.8. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu için hesaplanan üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a) Ed  
b) Ey

### 5. 3. Sakarya Atatürk Stadyumu

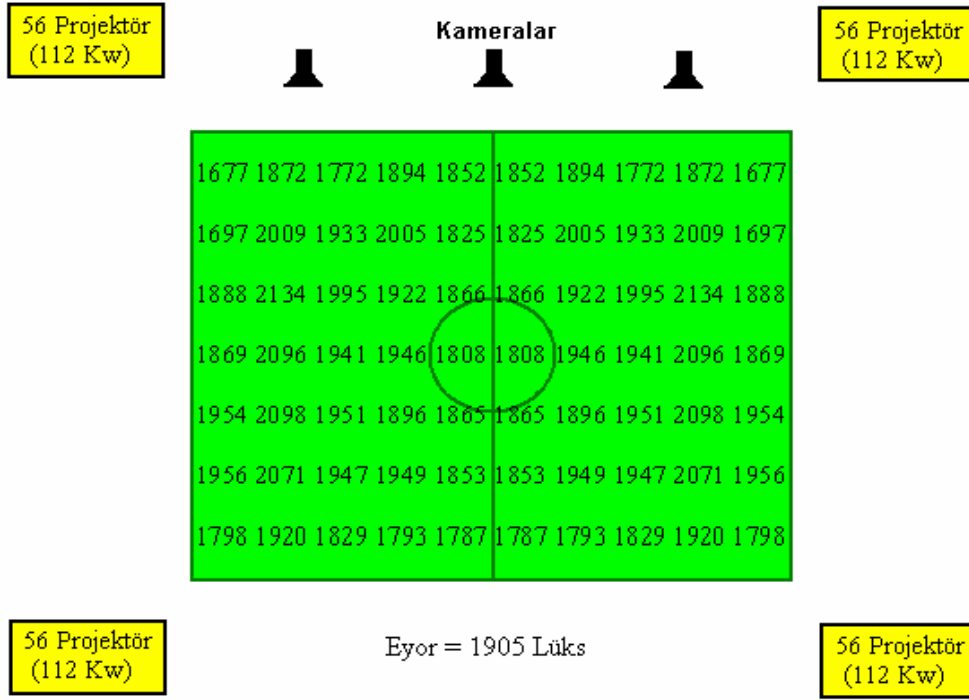
#### 5.3.1. Sakarya Atatürk Stadyumu için ölçülen değerler

Sakarya Atatürk Stadyumu'na ait geometrik, elektrik ve aydınlatma parametreleri tablo 5.3.'de görülmektedir. Stadyum atletizm pistine sahip olmakla beraber, tribünlerinin dar olması nedeni ile 25 m'lik direk-taç çizgisi aralığına sahiptir. Kameralar tarafında  $2 \times 56 = 112$  adet ve toplam 224 Kw güce sahip projektörler mevcut iken, aydınlatma simetrik olduğundan, yine kameralar karşısında  $2 \times 56 = 112$  adet ve toplam 224 Kw güce sahip projektörler bulunmaktadır. Sakarya Atatürk Stadyumu'na ait ölçülen yatay aydınlık düzeyleri Şekil 5.9.'da, ölçülen bu değerlere göre saha üzerindeki üç boyutlu yatay aydınlık düzeyleri dağılımları şekil 5.10.'da görülmektedir. Bu stadyumun düşey aydınlatma dağılımına ait dağılım değerleri mevcut olmamakla birlikte, düşey aydınlatma düzeyleri için, 1856 Lüks maksimum değere, 1614 Lüks ortalama değere ve 1306 Lüks minimum değere sahiptir. Bu değerler aydınlatma sistemi kurulduğunda ölçülen değerler olup, şu an sistemde ki mevcut değerler, dağılımlarındaki aşırı dengesizlik nedeniyle dikkate alınmamıştır. [89].

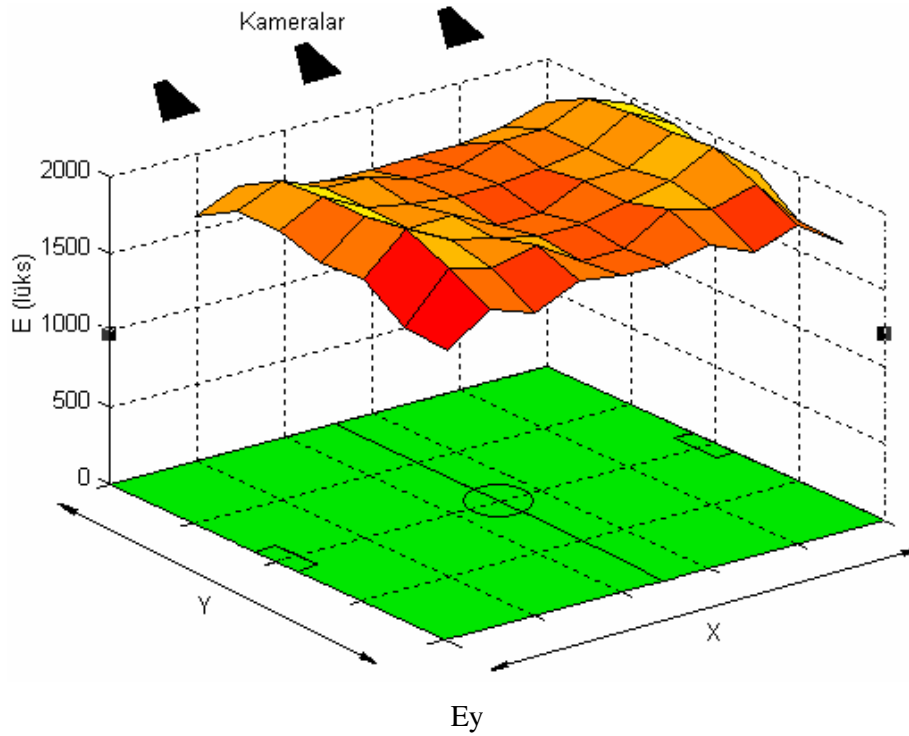
Ölçülen ortalama 1614 Lükslük düşey ve 1816 Lükslük yatay aydınlık düzeylerinin tablo 3.1.'e göre uluslararası karşılaşmalar için uygun olduğu görülmektedir.  $U1d=0,70$   $U2d=0,81$   $U1y=0,80$   $U2y=0,88$  dağılım katsayılarının da tablo 3.2.'ye göre uluslararası karşılaşmalara uygun olduğu görülmektedir. Parlıltı değeri ise, düşey aydınlatma düzeyinde maksimum 35,35 Nit değerine ulaşmakta olup bu değer de 50 Nit'lik sınır değerinin altında kalmaktadır.

Tablo 5.3. Sakarya Atatürk Stadyumu parametreleri

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Saha Eni (Y=>m)	70	Direk-Taç Çizgisi Aralığı (D=>m)	25
Saha Boyu (X=>m)	105	Kullanılan Lamba Türü	M Halide
Toplam Projektör Sayısı	120 Dar & 104 Normal	Armatür Tipi	Dar & Normal Açılı
Direk-Aut Çizgisi Açıklığı (G=>m)	-20	Projektör Güçleri (Kw)	2
Direk Yüksekliği (Zh=>m)	42	Toplam Aydınlatma Gücü (Kw)	448



Şekil 5.9. Sakarya Atatürk Stadyumu için ölçülen yatay aydınlatma düzeyleri

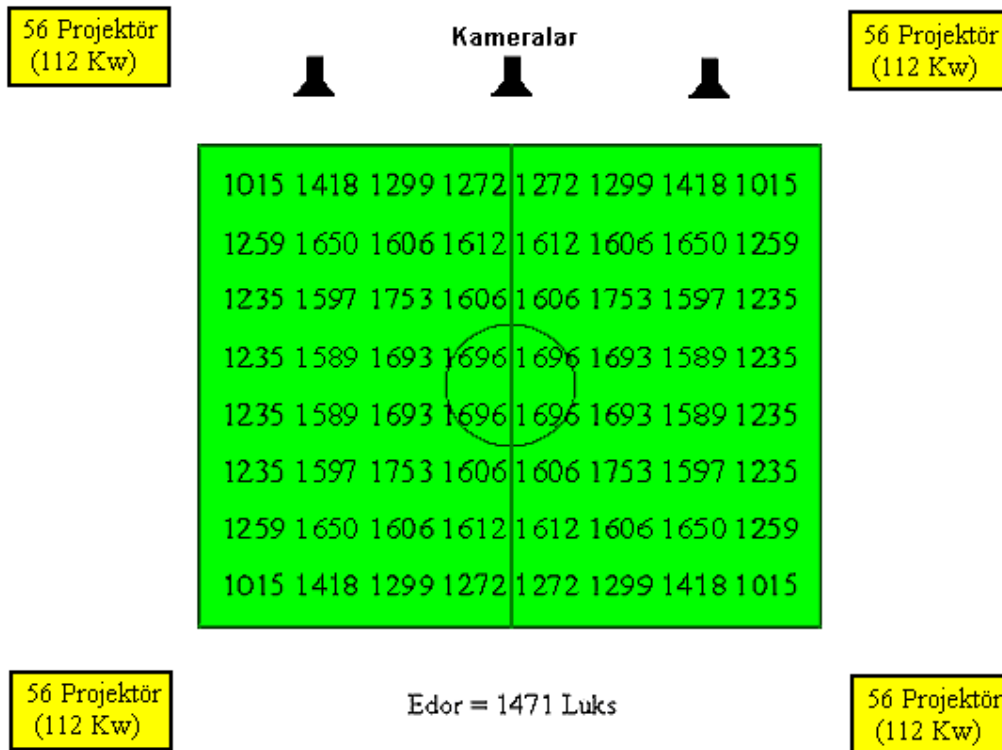


Şekil 5.10. Sakarya Atatürk Stadyumu için ölçülen yatay aydınlatma dağılımları

### 5.3.2. Sakarya Atatürk Stadyumu için hesaplanan değerler

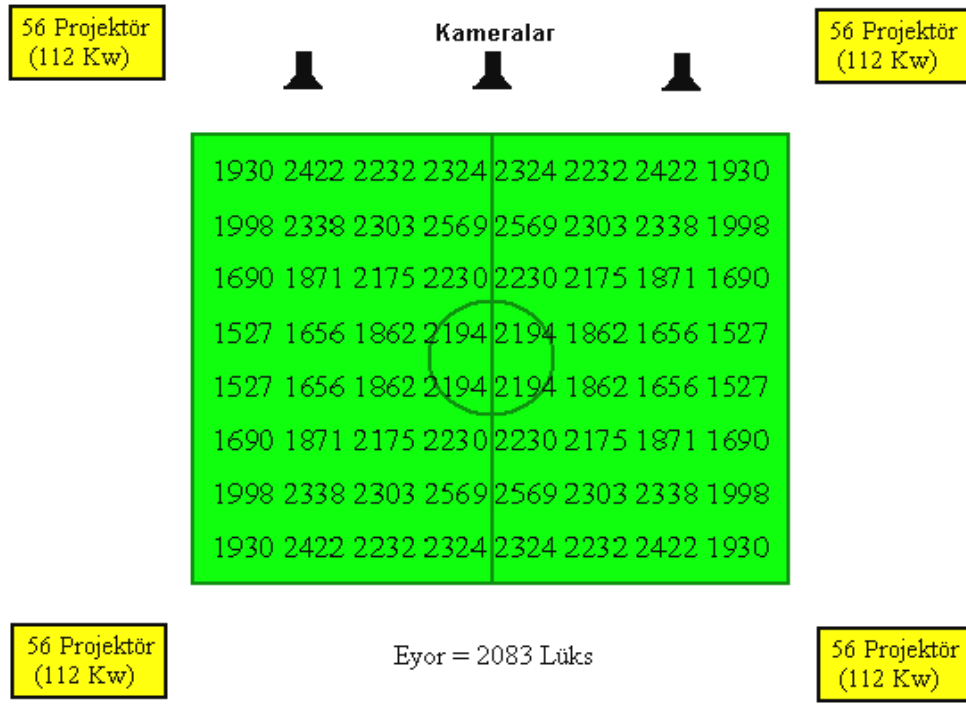
Sakarya Atatürk Stadyumu'na ait hesaplanan düşey ve yatay aydınlık düzeyleri şekil 5.11.'de, ölçülen bu değerlere göre saha üzerindeki üç boyutlu düşey ve yatay aydınlık düzeyleri dağılımları şekil 5.12.'de görülmektedir. Hesaplanan ortalama 1471 Lükslük düşey ve ortalama 2083 Lükslük yatay aydınlık düzeylerinin tablo 3.1'e göre uluslararası karşılaşmalar için uygun olduğu görülmektedir.  $U1d=0,58$   $U2d=0,69$   $U1y=0,59$   $U2y=0,73$  dağılım katsayılarının da tablo 3.2'ye göre ulusal karşılaşmalara uygun olduğu görülmektedir. Parıltı değeri ise, düşey aydınlatma düzeyinde maksimum 33,39 Nit değerine ulaşmakta olup bu değer de 50 Nit'lik sınır değerinin altında kalmaktadır.

Ölçülen değerler ve hesaplanan değerler karşılaştırıldığında, düşey aydınlatma ortalamasında % 9'luk azalma, yatay aydınlatma düzeyi ortalamasında ise % 9'luk bir artma görülmektedir. Aydınlatma düzeyleri dağılımları sınır düzeye yakın olduğundan, çok üst düzey olmayan uluslararası karşılaşmalar oynanabilir [90].



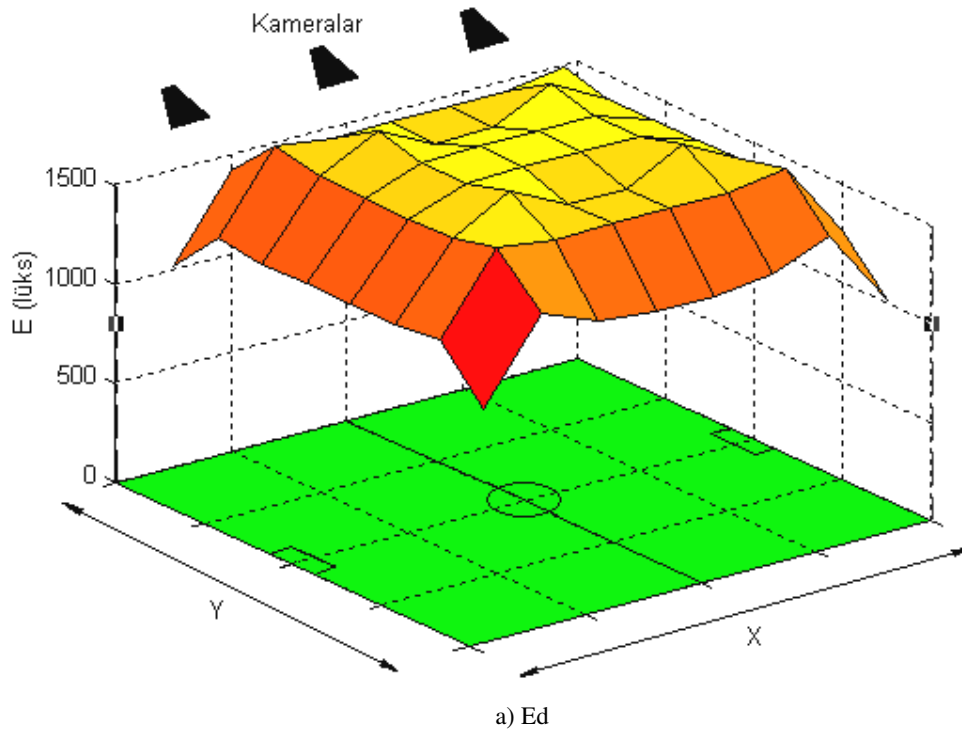
a) Ed

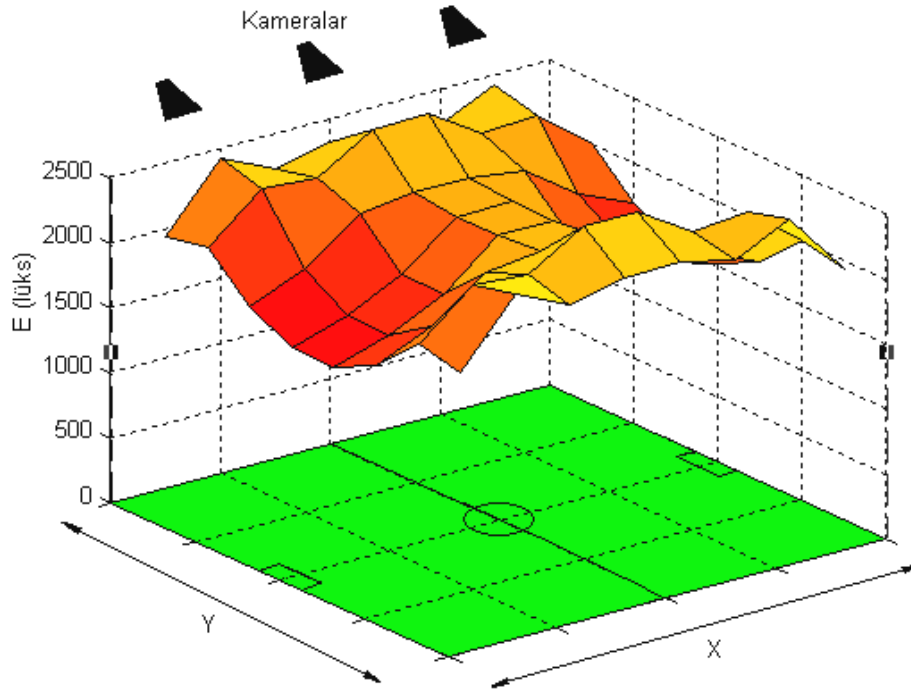




b)

Şekil 5.11. Sakarya Atatürk Stadyumu için hesaplanan aydınlatma düzeyleri: a) Ed b) Ey





b) Ey

Şekil 5.12. Sakarya Atatürk Stadyumu için hesaplanan üç boyutlu aydınlatma dağılımları: a) Ed  
b) Ey

Sakarya Atatürk Stadyumu için elde edilen ölçüm değerlerin, Beşiktaş İnönü Stadyumu'nda elde edilen ölçüm değerleri ve Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu'nda ölçülen değerler gibi, hesaplanan değerlerle dağılım açısından uyum sağlamadığı görülmektedir [Ek B]. Hesaplanan değerler, farklı ışık dağılımları çok farklı projektörler için de yapılırsa, ölçümlerde verilen aydınlık düzeyleri elde edilse de, dağılım katsayıları elde edilememiştir. Bu sebeple ölçüm değerlerinin, şu an dağılımlarda mevcut olan dengesizlikler de [89] dikkate alındığında, direklerin – 20 m kadar aut çizgisinden içeride olduğu bir stadyum için yetersiz olduğu anlaşılmaktadır.

## BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada stadyum aydınlatma tasarımı gerçekleştirilirken, aydınlatma düzeyi büyüklükleri yanı sıra, dağılımların düzgünlüğü de dikkate alınmaktadır.

Spor sahalarında, renklerin doğru olarak algılanması hem oyuncuların forma renklerinin gerçek renginde görülmesinde hem de renkli televizyon çekimi için çok önemli olduğundan, renksel geriverimi yüksek ışık kaynakları seçmek gerekmektedir. Aydınlatmanın verimli olması da kaçınılmaz bir sebep olduğundan, stadyum aydınlatmalarında etkinliği en fazla olan deşarj lambalarının kullanımı zorunlu olmaktadır.

Deşarj lambaları içerisinde değişik renk sıcaklıklarına ve renksel geri verim katsayılarına sahip lambalar mevcut olmasına rağmen, % 60'ın altında renksel geri verime sahip olanlar tercih edilmemelidir. Bu değer üzerinde renksel geri verime sahip olan lambalar metal halide (metal buharlı) olarak adlandırılmaktadır. Bu sebeple özellikle uluslararası maçların oynandığı stadyum aydınlatmalarında, yüksek fiyatına rağmen, yüksek çözünürlüklü HDTV yayıncılığına uygun olan, yüksek kaliteli Metal Halide ( $Ra > 90$ ) projektör deşarj lambaları kullanılmalıdır (Şekil 3.10-3.12).

Stadyum aydınlatma tasarımı olarak yapılmakta olan bu çalışma, mevcut stadyumlarda yapılan tasarım uygulamalarının bir taklidi değil, farklı bir çalışmanın sonucu ortaya çıkartılan yeni bir hesaplama metodunun detaylı takdimi şeklinde olmaktadır. Geliştirilen metotta bütün direkler üzerinde yer alan her bir projektör grubu için, bütün aydınlık düzeyi hesaplanan noktalarda veya aydınlık düzeyleri hesaplanan her nokta için, bütün grup projektörlerin sağladığı aydınlık düzeyleri ayrı hesaplanmaktadır. Bu amaçla gerçekleştirilen program, döngülerle ve alt programlarla mümkün olduğunca kısaltılarak yazılmasına rağmen, yaklaşık 35.000

satır uzunluğundadır. Söz konusu program ancak bir yılı aşkın bir sürede yazılabılmıştır.

Hesaplamalarda, üç boyutlu ortam içerisinde yer alan projektör, odaklandığı nokta ve aydınlatma düzeyi hesaplanan noktalar arasında sanal üçgenler oluşturularak, bu üçgenlerden yararlanılmaktadır. Bu üçgenlere, kullanılan projektörlerin ışık dağılım eğrileri dikkate alınarak “point-point” (nokta-nokta) metodu uygulanmaktadır (Şekil 3.21-3.27)

Yapılan tasarım doğrultusunda geliştirilen matlab programı ile dört direk kullanılarak küçük olsun, büyük olsun, bütün stadyumların aydınlatma tasarımları gerçekleştirilebilmektedir. (Şekil 3.3, 3.9) Tasarım gerçekleştirilirken, tasarımcıyı bağlayan tek şart dört adet direk kullanılmasıdır ki, tribün çatılarından aydınlatılan çok büyük stadyumlar haricinde, hemen hemen bütün stadyumlarda dört direk kullanılmaktadır. Direklerin yükseklikleri (şekil 4.2-4.7), direklerin taç çizgisine uzaklıkları (şekil 4.8-4.13), direklerin aut çizgisine göre dışarıda mı içeride mi (yedek kulübeleri arkası) olacağı (şekil 4.14-4.19) tamamen tasarımcının karar vereceği değişkenlerdir. Geliştirilen program ile, stadyumları en verimli, dağılımları düzgün şekilde aydınlatabilecek tasarımlar gerçekleştirilebilmek mümkün olmaktadır.

Tez çalışması sonucu elde edilen değerler ve grafiklerden anlaşılmaktadır ki, 4 direkli aydınlatmada, projektörler sahaya yaklaştıkça sağlanan aydınlatma düzeyinin büyüdüğü, dolayısıyla aydınlatma veriminin arttığı görülmektedir. Buna karşın bu artışla ters orantılı olarak, aydınlatma düzeyi arttıkça saha üzerinde sağlanan aydınlatma düzeyi dağılımının bozulduğu görülmektedir. Projektörler sahadan uzaklaştırıldığı da ise, aydınlatma dağılımında düzelme olmakla beraber, sağlanan aydınlatma düzeyi ve verimi düşmektedir.

Aydınlatma düzeyleri hem de düşey, hem yatay olarak ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Geçmişte yatay aydınlatmanın ön planda tutulduğu yaklaşım tarzı yerine, uluslararası karşılaşmaların gerektirdiği yüksek çözünürlüklü HDTV yayıncılığına uygunluk prensibi dikkate alınmaktadır. Bu sebeple yatay aydınlatma düzeyinden daha çok düşey aydınlatma seviyesi dikkate alınmaktadır. Gerçekleştirilen bu tasarım ile ister

simetrik, istenirse asimetrik aydınlatma düzeyleri dağılımları elde edilebilmektedir. (Şekil 4.20-4.25) Bu asimetriklik, saha boylamasına ikiye bölündüğünde kamera arkası projektörlerin güç ve ışık akılarının arttırılmaları ile sağlanmaktadır. Asimetriklik ana kameraların görüntü kalitesinin artması açısından gereklidir. Bu durum karşılaşmaları numaralı tribünden ve TV'den izleyen seyirciler açısından ekstra bir görüntü kalitesi sağlamaktadır.

Numaralı tribünde oturan seyircilerin daha fazla ücret ödediği ve TV yayıncılığının mali katkıları düşünüldüğünde, bu ekstra görüntü kalitesinin gerekli olduğu görülmektedir. Kaldı ki, asimetrik aydınlatma, kameralar karşısında oturan numarasız tribün seyircilerinin görüntü algılamasında eksilme meydana getiren bir uygulama değildir.

Programın, daha önceden uygulanmış aydınlatma sistemlerini test ve simule etme imkanı da mevcuttur. Yapılan bu tez çalışmasında gerçekleştirilen uygulama hesaplamalarında, ölçülen değerler ile hesaplanan değerler arasında, küçük farklılıklar olduğu görülmüştür. Bu farklılıkların en önemli sebeplerinin, kullanılan projektörlerin bire bir gerçek ışık dağılım eğrilerinin firmalarca verilmemesi ve sistemler gerek kurulurken, gerekse kurulduktan projeye uygun hareket edilmemesi olduğu düşünülmektedir. (Şekil 5.1-5.12)

Yapılan bu çalışmanın devamı olarak, saha üzerinde 64 noktadan daha fazla odak noktası ve bunun gereği olarak her bir direktte 16'dan fazla grup kullanarak, daha detaya indirgenen bir tasarım ve program geliştirilebilir. Örneğin 128 odak noktası ve her bir direktte 32 grup projektör dikkate alındığında, hazırlanacak programın yaklaşık 140.000 satır veya başka bir deyişle 3000 A4 sayfası olabileceği unutulmamalıdır.

Saha dışındaki bazı noktaların aydınlık düzeylerini hesaplayacak bir program geliştirilerek, stadyum aydınlatmasının seyirciler, yedek kulübeleri, yan hakemler ve diğer görevliler üzerinde oluşturduğu etkiler incelenebilir.

Bu çalışmada ele alınan, kameraların algıladığı aydınlık düzeyleri dışında, ters açıda (reverse angle) algılanan aydınlık düzeyleri üzerine bir çalışma gerçekleştirilebilir. Atmosferik şartların stadyum aydınlatması üzerine etkileri incelenebilir.

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasının, hazırlanan matlab programı, küçük ölçekli bir stadyumdan büyük ölçekli olanlarına kadar tüm stadyumlar v.b. spor alanları için kullanılabilirdiğinden, stadyumlarını aydınlatmak isteyen fakat bunun teknik ve mali zorlukları sebebiyle bu konuya cesaret edemeyen bir çok il ve ilçe yetkililerini, kulüp yetkililerini cesaretlendirebileceği düşünülebilir. Kısacası bu çalışma ile, ekonomik bakımdan stadyum aydınlatmasının korkulacağı kadar bir maliyet gerektirmeden de tasarlanıp uygulanabileceği özendirilebilir. Böylece stadyumlar aydınlatılarak, sadece gece maçlarının için değil, birçok kültürel ve sanatsal faaliyetin yer aldığı popüler alanlar haline getirilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] AIZLEWOOD C., E., and WEBBER G., M., B., Escape route lighting. Comparison of human performance with traditional lighting and wayfinding systems — including Discussion, pp 133-143 Vol 27, No 3, Elsevier, 1995
- [2] İNCİR G., İş yerlerinin aydınlatma düzeni, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Ankara, 1985
- [3] K. Special Permits, International Dark-Sky Association, [www.darksky.org](http://www.darksky.org), June, 2004
- [4] CUTTLE C., Correspondence — The art and science of lighting Vol 30, No 1, p 51, Lighting Research and Technology, 1998
- [5] JAY P. A., Correspondence — The art and science of lighting. A strategy for lighting design Vol 29, No 3, pp 158-159, Lighting Research and Technology, 1997
- [6] HISDAL B., Colour samples and colour rendering of light sources, Vol 25, No 1, pp 13-17, Oslo, 1993
- [7] Yapıların iç aydınlatmasında gün ışığı ile lamba ışığının temel özellikleri ve ayrımları, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1992
- [8] REID F., The stage lighting handbook, A & Black Pubishes, London, 1987
- [9] MOECK M., Lighting design based on luminance contrast—including Discussion Vol 32, No 2, pp 55-63, Wien, 2000
- [10] MANSFIELD K., P., Correspondence — The effects of environmental illumination on melatonin, bodily rhythm and mood states: A review Vol 32, No 1, p 45, Journal of the Illuminating Engineering Institute of Japan, 2000
- [11] STONE P., T., The effects of environmental illumination on melatonin, bodily rhythms and mood states: A review Vol 31, No 3, pp 71-79, Lighting Research and Technology, 1999
- [12] TAYLOR E., W., The use of metal-halide discharge lamps for film lighting I Vol 10, No 4, pp 203-224, British Broadcasting Corp, 1978

- [13] TAYLOR E., W., The use of metal-halide discharge lamps for film lighting II Vol 11, No 1, pp 24-36, National Illumination Committee of Great Britain, 1979
- [14] REA M., S., Lighting research for lighting practice Vol 20, No 3, pp 119-120, CIBSE Lighting Division, 1988
- [15] RUFFLES P., R., The lighting profession, lighting education, Vol 30, No 2, p 67, CIBSE Lighting Division, 1998
- [16] PARRY C., M., Lighting in the architecture of Sir John Sloane, Vol 29, No 3, pp 95-104, Lighting Research and Technology, 1997
- [17] LOE D., L., and ROWLANDS E., The art and science of lighting A strategy for lighting design — including Discussion Vol 28, No 4, pp 153-164, Lighting Research and Technology, 1996
- [18] REA N., S., Lighting research Vol 30, No 2, p 68, Lighting Research and Technology, 1998
- [19] XU H., Colour rendering capacity and luminous efficiency of a spectrum Vol 25, No 3, pp 131-132, CIE, 1993
- [20] EMBRECHTS J., J., Colour rendering and spectral power distribution. A new parametric approach Vol 16, No 3, pp 119-130, Lighting Research and Technology, 1984
- [21] MARSDEN A., M., Thirty years of Lighting Research and Technology Vol 30, No 2, pp 55-62, 1998
- [22] ACKERMAN K., R., Lighting for colour television— including Discussion Vol 1, No 3, , pp 123-135, 1969
- [23] Philips Lighting & FIFA, Guide to the artificial lighting of football pitches, France, Feb 2002
- [24] Philips Lighting & FIFA, Guide to the artificial lighting of football pitches, Netherlands, June, 1992
- [25] ALFERDINCK J., W., Correspondence — Low-beam headlamps. Effects of realistic levels of dirt on light output Vol 29, No 3, p 160, [www.cibse.org](http://www.cibse.org), 1997
- [26] RUMAR K., J., FORSGREN B., THORELL M., and JOHANSSON G., Polarized headlight systems. The effect of laminated and toughened windscreens on visibility distance Vol 3, No 2, pp 158-161, 1971
- [27] EDMONDS I., R., REPEL J., and JARDINE O., Correspondence — Extractors and emitters for light distribution from hollow light guides Vol



- 29, No 2, p 90, <http://lrt.sagepub.com>, 1997
- [28] SCHANDA J., A combined colour preference-colour rendering index Vol 17, No 1, pp 31-34, *Lighting Research and Technology*, 1985
- [29] XU H., Correspondence — Assessing the effectiveness of colour rendering Vol 29, No 2, p 89, 1997
- [30] Ferguson H., M., Richards M., J., A Review of Lighting Technology, Osram Research Laboratories, Hirst Research Centre, Wembley, England
- [31] IKEDA K., YAMASHINA H., and ICHIHASHI A., Colour rendering properties of light sources. New colour space for evaluation — including Discussion Vol 28, No 2, pp 97-112, 1996
- [32] LOE D., L., Correspondence — Lighting subjectives Vol 18, No 2, pp 102-112, 1986
- [33] LINDSEY L., *Applied Illumination Engineering*, The Fairmont Press, Lilburn/India, 1997
- [34] Ünal A., Özenç S., *Aydınlatma Tasarımı ve Proje Uygulamaları*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2004
- [35] FLUIJKS G., M., J., and VLIET J., A., J., M., Glow-to-arc transitions in gas discharge lamps Vol 20, No 3, pp 87-94, 1988
- [36] FOTIOS S., Correspondence — An investigation into the relationship between luminance and brightness of strongly chromatic light sources Vol 32, No 4, pp 234-235, 2000
- [37] INOUE A., and HONDA K., A rapid-light miniature metal halide lamp Vol 18, No 4, pp 185-189, 1986
- [38] CARTER D., J., Correspondence — Calibration and use of camera-based systems for road lighting measurement Vol 32, No 4, pp 235-236, 2000
- [39] COLOMBO E., BARRAZA J., and ISSOLIO L., Effect of brief exposure to glare on brightness perception in the scotopic–mesopic range Vol 32, No 2, pp 65-69, 2000
- [40] AKASHI Y., TANABE Y., AKASHI I., and MUJAI K., Effect of sparkling luminous elements on the overall brightness impression: a pilot study Vol 32, No 1, pp 19-26, 2000
- [41] OLGYAY V., *Architectural Lighting*, M., David, Mc Graw Hill, New York, 2002
- [42] EINHORN H., D., Unified glare rating (UGR). Merits and application to

multiple sources Vol 30, No 2, pp 89-93, 1998

- [43] FOTIOS S., A., and LEVERMORE G., J., Chromatic effect on apparent brightness in interior spaces. I Introduction and colour gamut models Vol 30, No 3, pp 97-102, 1998
- [44] FOTIOS S., A., and LEVERMORE G., J., Chromatic effect on apparent brightness in interior spaces. II SWS lumens model Vol 30, No 3, pp 103-106, 1998
- [45] FOTIOS S., A., and LEVERMORE G., J., Chromatic effect on apparent brightness in interior spaces. III Chromatic brightness model Vol 30, No 3, pp 107-110, 1998
- [46] FORSTER R., Lamps Vol 30, No 2, pp 65-67, 1998
- [47] FOTIOS S., and LEVERMORE G., J., Perception of electric light sources of different colour properties — including Discussion Vol 29, No 3, pp 161-171, 1997
- [48] KARLEN M., BENYA J., Lighting Design Basics, John Wiley & Sons, Inc Publishing, 2004
- [49] IWATA T., and TOKURA M., Position index for a glare source located below the line of vision — including Discussion Vol 29, No 3, pp 172-178, 1997
- [50] SIVAK M., FLANNAGAN M., J., and GLARE M., and mounting height of high-beam headlamps used as daytime running lamps Aoki Vol 29, No 4, pp 206-210, 1997
- [51] ISAACS A., L., Correspondence — Evaluations of in-traffic performance of high-intensity discharge headlamps Vol 29, No 1, p 54, 1997
- [52] FROMM D., C., SEEHAWER J., and W- WAGNER J., A metal-halide high-pressure discharge lamp with warm white colour and high efficacy Vol 11, No 1, pp 1-8, 1979
- [53] ROUWELER, DROP P., GROOT J., JACK J., Some aspects of the tin halide molecular arc Vol 6, No 4, pp 212-216, 1974
- [54] LORENZ R., Improvement of metal halide lamps by complex formulation Vol 8, No 3, 1976, pp 136-140
- [55] CIFUENTES L., High-pressure discharge lamps. Approaches to modelling Vol 23, No 4, pp 161-165, 1991
- [56] CHAKRAVERTY T., K., CHANDER M., and JOSHI K., C., Goniophotometric calibration of tubular light sources in vertical and

- horizontal geometry Vol 23, No 1, pp 89-90, 1991
- [57] FITT B, THORNLEY J., Lighting Technology, Reed Elsevier Publishing, 1998
- [58] Aydınlatma Kataloğu, Osram, 2002
- [59] Aydınlatma Ürün Katalogu, Philips, 2003
- [60] Aydınlatma Ürün Katalogu, General Electric, 2003
- [61] FAHMY A., H., Computer-aided optimal lighting system design Vol 16, No 1, pp 42-51, 1984
- [62] BEDOCS L., HUGILL J., R., and LYNES A., Point-by-point illuminance from uplighters Vol 16, No 4, pp 187-192, 1984
- [63] GLENN J., DODDS G., and ROBINSON R., Calibration and use of camera-based systems for road lighting assessment Vol 32, No 1, 2000, pp 33-40
- [64] ANDERS A., and JUTTNER B., Cathode mode transition in high-pressure discharge lamps Vol 22, No 2, pp 111-115, 1990
- [65] BELL R., I., A method for the calculation of direct illuminance due to area sources of various distributions Vol 5, No 2, pp 99-102, 1973
- [66] LEUNG A., S., M., LUPTON M., J., and CARTER D., J., Technical Note. Standard obstructions for lighting calculations — including Discussion Vol 26, No 3, pp 161-165, 1994
- [67] Steffy G., R., Architectural Lighting Design, , John Wiley & Sons, Inc Publishes, 1990
- [68] AIZENBERG J. B and BUKHMAN G. B, Luminous intensity distribution curves. Classification proposals Vol 25, No 4, pp 153-159, 1993
- [69] ÖZKAYA M, Aydınlatma Tekniği, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000
- [70] PRITCHARD E., H., and SIMONS R., H., High-speed photometry for measuring light intensity distributions Vol 24, No 2, pp 107-111, 1992
- [71] PENTNEY M., and PETERS R., New graphical user interface for lighting analysis software Vol 32, No 3, pp 149-152, 2000
- [72] HADWAN M., K., KAKA A., P., WRIGHT M., W., and CARTER D., J., Application of photogrammetry in lighting calculations for obstructed interiors Vol 32, No 1, pp 13-17, 2000

- [73] Düzgün Yansıma Geometrisinin Aydınlatma Aygıtlarına Uygulanması, Yıldız Teknik Üniv Yayınları, İstanbul, 1992
- [74] CLAY, C., Lighting for sports stadiums, *Lighting Journal* Pages: p 26-29, (Rugby, England) 2005
- [75] TİRBEN N., Aydınlatma Tekniği ve Hesabı, Ankara, 1969
- [76] LECOCQ J., Calculation of the visibility level of spherical targets in roads Vol 31, No 4, pp 171-175, 1999
- [77] Let There Be Lighting, [www.esta.org/ProdStew/letters.html](http://www.esta.org/ProdStew/letters.html), 2002
- [78] BACELAR A., CARIOU J., and HAMARD M., Calculation visibility model for road lighting installations Vol 31, No 4, 1999, pp 177-180
- [79] BUTTON P., The use of vector calculus in calculating areas of geometrical shapes or in direct sunlight Vol 31, No 3, pp 133-134, 1999
- [80] HURDEN A., SMITH P., EVANS G., HARLOW A., BUNTING A. and BARBOUR J., Visual performance at mesopic light levels. An empirical model Vol 31, No 3, pp 127-131, 1999
- [81] PELLEGRINO A., Assessment of artificial lighting parameters in a visual comfort perspective Vol 31, No 3, pp 107-115, 1999
- [82] EDMONDS I., R., REPPEL J., and JARDINE P., Extractors and emitters for light distribution from hollow light guides — including Discussion Vol 29, No 1x, pp 23-32, 1999
- [83] KAMBEZIDIS H., D., MUNEER T., TZORTZIS M., and ARVANITAKI S., Global and diffuse horizontal solar illuminance. Month-hour distribution for Athens, Greece in Vol 30, No 2, pp 69-74, 1998
- [84] MONTON M., Q., and VIZMANOS J., G., Design of asymmetric reflecting surfaces Vol 18, No 3x, pp 119-124, 1998
- [85] Bangle B., Sports Lighting, Iesna Publishes, Wes Hazelton, July 2002
- [86] Memorial Stadium, Development Control Committee, Bristol, January, 2007
- [87] Performance in Lighting, SBP Publishes, Italia & France, 1999
- [88] DAVIES I., F, JACKSON M., G., A., Lighting techniques and associated equipment for outdoor colour television with particular reference to football stadium lighting— including Discussion, Vol 4, No 4, 1972, pp 181-201, *Lighting Research & Technology*

- [89] YAVUZ C., AKIN İ., YALÇIN M., A., Enerji Verimliliği ve Aydınlatma Bileşenleri Bakımından Stat Aydınlatması İncelemesi: Sakarya Atatürk Stadı, 6.Ulusal Aydınlatma Kongresi, İstanbul, 2006
- [90] HU J., HUANG M., SUKOP M., THORNE D., WALTERS K., Football Lighting Optimization, February, 2003
- [91] TARRICONE P., San Diego To The Core, Lighting Design + Application, Vol.35, Iss. 12; pg. 30, 4 pgs New York, Dec 2005
- [92] COBHAM M., Lighting, Athens: A Post-Games Report Design + Application. Vol.36, Iss. 2; pg. 48, 4 pgs New York, Feb 2006
- [93] BUCHHOLZ E., Acier Stahl steel meilleur éclairage pour stade. left bracket, Improved Lighting for Stadium RightBracket, Pages:p 63-65, 1979
- [94] YAVUZ C., “Stad Aydınlatması Teknikleri, Dünyada ve Türkiyede Uygulamaları, 5. Ulusal Aydınlatma Kongresi, 2004, İstanbul
- [95] ANON, Lighting-up world cup stadiums. A unique challenge, Lighting Journal, Pages: p 80,82 Rugby, England, 1990
- [96] SLATER, R., Floodlighting The King Fahd International Sports Stadium, Pages: p 76-78, Holophane Europe Ltd, 1988
- [97] GARDNER, J., B., New Trends In Stadium Design, Construction Specifier Pages: p 96-104, 106-109, 1987
- [98] BEIJER L., B.,Light sources for sports field lighting, suitable for outdoor TV photography, v 49, n 15, p 665-72, Elektro-Tech, 1971

## EKLER

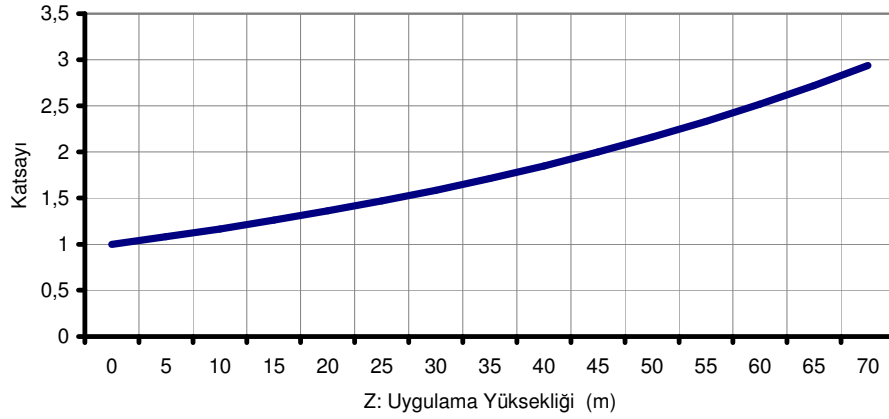
### A. Yatay Aydınlatma Düzeyi Hesaplamasında Kullanılan Katsayı

Yatay aydınlık düzeyi ile hesaplanmaya çalışıldığında, hesaplanan değerlerin uygun olmaması nedeni ile bu değerleri düzeltmeye yönelik çalışmalar sonucu, direk yüksekliği, direk-taç çizgisi aralığı ve saha eni arasında bir bağıntı bulunmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalar sonucu yatay aydınlatma düzeyi hesabı için elde edilen “ $\ln^{-1} \frac{Z}{(D+(Y/2))}$ ” katsayısına ait değişimler incelenmektedir. Bu katsayıya direk yüksekliği değişiminin etkileri tablo A.1. ve şekil A.1.’de, direk taç çizgisi aralığı değişiminin etkileri tablo A.2. ve şekil A.2.’de gösterilmiştir. Şekil A.1’de görülen grafik tablo A.1.’den, şekil A.2.’deki grafik tablo A.2.’den elde edilmiştir. Bu değerler incelendiğinde, direk yüksekliği arttıkça veya direkler sahaya yaklaştıkça “ $\ln^{-1} \frac{Z}{(D+(Y/2))}$ ” katsayısının arttığı anlaşılmaktadır.

Tablo A.1. Uygulama yüksekliği değişiminin “ $\ln^{-1} \frac{Z}{(D+(Y/2))}$ ” katsayısına etkisi

Z (m)	$\ln^{-1} \frac{Z}{(D+(Y/2))}$
0	1
5	1,079959
10	1,166311
15	1,259569
20	1,360282
25	1,469049
30	1,586513
35	1,713369
40	1,850368
45	1,998322
50	2,158106
55	2,330665
60	2,517023
65	2,718282
70	2,935633

Bu katsayı yardımıyla, “matlab” programı ile yatay aydınlık düzeyleri hesaplanmaktadır. Her iki grafikte de çok keskin olmayan ters logaritmik değişim görülmektedir. Bu ters logaritmik değişim, direk-taç çizgisi aralığı değişimi için daha belirgin özelliktedir.



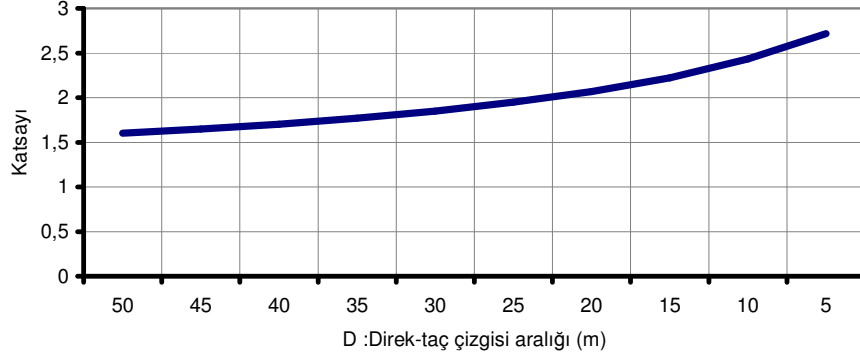
Şekil A.1. Uygulama yüksekliği değişiminin “ $\ln^{-1} \frac{Z}{(D + (Y/2))}$ ” katsayısına etkisi

Tablo A.2. Direk-taç çizgisi aralığı değişiminin “ $\ln^{-1} \frac{Z}{(D + (Y/2))}$ ” katsayısına etkisi

D (m)	$\ln^{-1} \frac{Z}{(D + (Y/2))}$
50	1,600936
45	1,648721
40	1,704605
35	1,770795
30	1,850368
25	1,947734
20	2,069429
15	2,225541
10	2,432425
5	2,718282

Uygulama yüksekliği değişiminin aydınlık düzeylerine etkileri tablo A.3 ve şekil A.3’de verilmiştir. “ $\ln^{-1} \frac{Z}{(D + (Y/2))}$ ” katsayısı uygulanmadığı zaman hesaplanan

yatay aydınlık düzeyi  $Ey'$  , uygulandığı zaman hesaplanan yatay aydınlık düzeyi ise  $Ey$  olarak belirtilmektedir.



Şekil A.2. Direk-taç çizgisi aralığı değişiminin “ $\ln^{-1} \frac{Z}{(D + (Y/2))}$ ” katsayısına etkisi

Tablo A.3. Uygulama yüksekliği değişiminin hesaplanan aydınlık düzeylerine etkileri

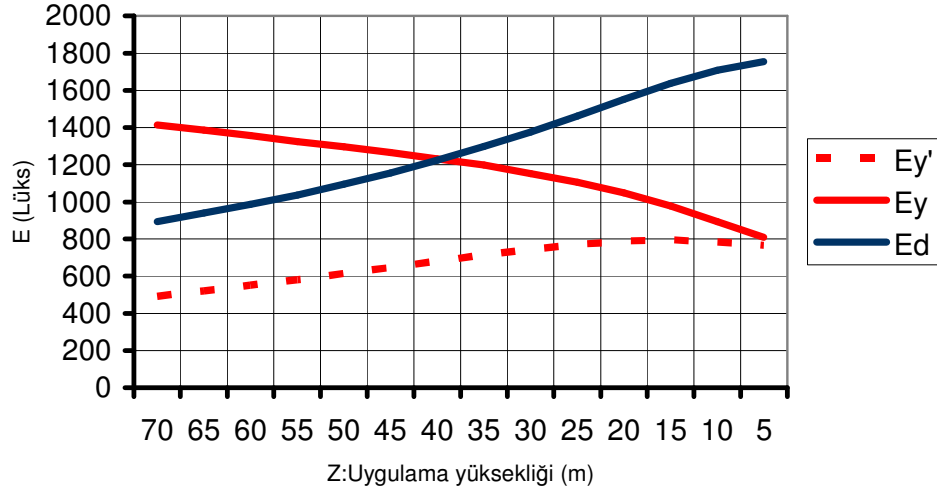
Z	$Ey'$	$Ey$	$Ev$
70	493	1414	895
65	522	1386	939
60	552	1357	987
55	581	1324	1037
50	615	1297	1095
45	648	1265	1156
40	681	1232	1224
35	715	1197	1298
30	744	1153	1376
25	770	1106	1462
20	790	1050	1552
15	796	979	1637
10	785	894	1708
5	767	810	1755

Şekil A.3'deki grafik incelendiğinde, “ $\ln^{-1} \frac{Z}{(D + (Y/2))}$ ” katsayısı dikkate alınmadan

hesaplanan yatay aydınlık düzeyi değerlerinin hem olması gereken değerler göre çok düşük değerlerde, hem de düşey aydınlık düzeyi ile yaklaşık aynı doğrultuda oldukları görülmektedir. Gerçekte ise, yatay aydınlık düzeylerinin daha büyük değerlerde olması gerekmektedir. Direk yüksekliği arttıkça yatay aydınlatma düzeyi



düşey aydınlatma düzeyinin üzerinde, direk yüksekliği azaldıkça yatay aydınlatma düzeyi düşey aydınlatma düzeyinin altında yer almalıdır. Bu şartı ise  $E_y$  için çizilen eğrinin sağladığı görülmektedir.

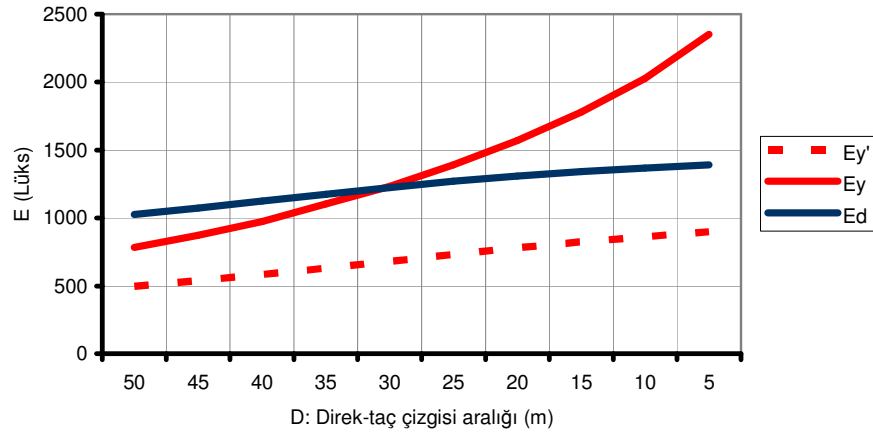


Şekil A.3. Uygulama yüksekliği değişiminin hesaplanan aydınlık düzeylerine etkileri

Direk-taç çizgisi aralığı değişiminin aydınlık düzeylerine etkileri tablo A.4. ve şekil A.4.'de verilmiştir. " $\ln^{-1} \frac{Z}{(D + (Y/2))}$ " katsayısı uygulanmadığı zaman hesaplanan yatay aydınlık düzeyi  $E_{y'}$ , uygulandığı zaman hesaplanan yatay aydınlık düzeyi ise  $E_y$  olarak belirtilmektedir.

Tablo A.4. Direk-taç çizgisi aralığı değişiminin hesaplanan aydınlık düzeylerine etkileri

D	$E_{y'}$	$E_y$	$E_v$
50	497	782	1024
45	539	872	1074
40	584	975	1125
35	632	1105	1175
30	681	1232	1223
25	732	1391	1269
20	780	1571	1307
15	824	1781	1341
10	861	2026	1368
5	898	2351	1392



Şekil A.4. Direk-taç çizgisi aralığı değişiminin hesaplanan aydınlık düzeylerine etkileri

Şekil A.4.'deki grafik incelendiğinde, “ $\ln^{-1} \frac{Z}{(D + (Y/2))}$ ” katsayısı dikkate alınmadan

hesaplanan yatay aydınlık düzeyi değerlerinin hem olması gereken değerler göre çok düşük değerlerde, hem de düşey aydınlık düzeyi ile yaklaşık aynı doğrultuda oldukları görülmektedir. Gerçekte ise, yatay aydınlık düzeylerinin daha büyük değerlerde olması gerekmektedir. Direk-taç çizgisi aralığı arttıkça yatay aydınlatma düzeyi düşey aydınlatma düzeyinin altında, direk-taç çizgisi aralığı azaldıkça yatay aydınlatma düzeyi düşey aydınlatma düzeyinin üstünde yer almalıdır. Bu şartı ise Ey için çizilen eğrinin sağladığı görülmektedir.

Örneğin Bölüm 5.'de incelenen stadyumlar için, ortalama yatay aydınlık düzeylerinin, ortalama düşey aydınlık düzeylerine oranları incelendiğinde, stadyum parametre büyüklükleri en doğru şekilde alınabilen Beşiktaş İnönü Stadyumu'nda ölçülen değerler için 1,051 hesaplanan değerler için 1,031 katsayıları elde edilmektedir.

## B) Ölçüm ve Hesaplama Değerleri Karşılaştırılan Stadyumlar

Tablo B.1.'de Beşiktaş İnönü, Kocaeli İsmetpaşa ve Sakarya Atatürk Stadyumları için dikkate alınan ölçüm ve hesaplama değerleri görülmektedir.

Tablo B.1. Beşiktaş İnönü, Kocaeli İsmetpaşa ve Sakarya Atatürk Stadyumları Ölçüm ve Hesaplama Değerleri

		Edor (Lüks)	Eyor (Lüks)	Ldmax (Nit)	Lymax (Nit)	U1d	U2d	U1y	U2y	
STADYUM ADI	BEŞİKTAŞ İNÖNÜ	Ölçülen	1460	1534	36,57	15,26	0,61	0,81	0,66	0,77
		Hesaplanan	1430	1475	29,92	14,25	0,81	0,89	0,64	0,69
	KOCAELİ İSMETPAŞA	Ölçülen	1570	1732	36,82	23,65	0,64	0,81	0,51	0,80
		Hesaplanan	1532	1749	35,23	23,28	0,61	0,74	0,53	0,81
	SAKARYA ATATÜRK	Ölçülen	1614	1816	35,35	23,65	0,70	0,81	0,80	0,88
		Hesaplanan	1471	2083	33,39	22,44	0,58	0,69	0,59	0,73

### C. Çalışmaya Ait Resimler



Resim 1. Beşiktaş İnönü Stadi projektör direği



Resim 2. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu direk üzerinden görünüm



Resim 3. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu direk üzerindeki projektörler



Resim 4. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu projektör bakımı



Resim 5. Beşiktaş İnönü Stadyumu projektör direği görünümü



Resim 6. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu





Resim 7. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu'nda ölçüm



Resim 8. Kocaeli İsmet Paşa Stadyumu



Resim 9. Sakarya Atatürk Stadyumu



Resim 10. Sakarya Atatürk Stadyumu, projektörler



## ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında Samsun'da doğdu. İlk-Orta eğitimini Balıkesir'de, Lise eğitimini Gaziantep'te tamamladıktan sonra 1987 yılında Gazi Üniversitesi Ankara Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Öğretmenliği Bölümüne girdi. 1992 yılında bu bölümden mezun oldu. Bir yıl Milli Eğitim Bakanlığı'nda öğretmenlik yaptıktan sonra, 1993 yılında, Dumlupınar Üniversitesi'ne Araştırma Görevlisi olarak girdi. Halen Bilecik Üniversitesi'nde çalışmaktadır. Yüksek Lisansını 1996 yılında Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Ana Bilim Dalı'nda tamamladı. 1998 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı'nda doktora eğitimine başladı. Nazım İMAL, evli ve iki çocuk babasıdır.