



T.C. ÇALIŞMA VE  
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI

## YAPAY OPTİK RADYASYON KAYNAKLARIYLA YAPILAN ÇALIŞMALARDA SAĞLIK VE GÜVENLİK ÖNLEMLERİ REHBERİ



İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ



**T.C. ÇALIŞMA VE  
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI**

Bu yayın İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü tarafından, Avrupa Komisyonunun yayınladığı **“Non-binding guide to good practice for implementing directive 2006/25/EC artificial optical radiation”** rehberi esas alınarak hazırlanmıştır. Mevzuat hükümleri yerine geçmez ve kurumu bağlayıcı görüş içermez. Bu yayında yer alan bilgilerin kullanımından kaynaklanacak herhangi bir durum için Bakanlık ya da Bakanlık adına görevlendirilen kişiler sorumlu tutulamaz. Telif hakkı Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı'na ait olup, kaynak gösterilerek kullanılabilir.

**Yayına Hazırlayan**

Mevzuat Dairesi Başkanlığı

**Yayınlayan**

T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı  
İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü (İSGGM) 2019

# İÇİNDEKİLER

1.GİRİŞ .....	5
1.1.Radyasyon Nedir?.....	5
1.2.Optik Radyasyon Nedir?.....	7
2. OPTİK RADYASYON KAYNAKLARI .....	10
2.1. Koherent Olmayan Radyasyon Kaynakları .....	10
2.1.1. İş Aktiviteleri .....	10
2.2. Lazer Radyasyon Kaynakları .....	13
2.3. Önemsiz Kaynaklar.....	16
4.MARUZİYETİN BELİRLENMESİ VE RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ .....	20
4.1. Maruziyet sınır değerleri.....	22
4.1.1. Lazer için Maruziyet Sınır Değerleri .....	22
4.1.2. Koherent Olmayan Optik Radyasyon için Maruziyet Sınır Değerleri.....	25
4.2.1. Tehlikelerin ve Risk Altındakilerin Belirlenmesi .....	28
4.2.2. Risklerin Değerlendirilmesi ve Önceliklendirilmesi .....	28
4.3. Güvenlik Sınıflandırması .....	29
4.3.1. Lazer Güvenlik Sınıflandırması .....	29
4.3.1.1. Sınıf 1 Lazerler .....	29
4.3.1.2. Sınıf 1M Lazerler .....	30
4.3.1.3. Sınıf 2 Lazerler .....	30
4.3.1.5. Sınıf 3R Lazerler.....	31
4.3.1.6. Sınıf 3B Lazerler.....	31
4.3.1.7. Sınıf 4 Lazerler .....	32
4.3.2. Koherent Olmayan Kaynaklar İçin Güvenlik Sınıflandırması.....	33
4.3.2.1. Muaf Grup.....	34
4.3.2.2. Risk Grubu 1 (Düşük Risk) .....	34
4.3.2.3. Risk Grubu 2 (Orta Risk).....	35
4.3.2.4. Risk Grubu 3 (Yüksek Risk).....	35
4.3.3.Makinaların Güvenlik Sınıflandırması .....	35
4.4. Tehlike Mesafesi ve Tehlike Değerleri Bilgisi .....	36
4.4.1. Lazerler için Tehlike Mesafesi.....	36
4.4.2. Koherent Olmayan Kaynaklar için Tehlike Mesafesi ve Tehlike Değeri.....	37
5.1. Kontrol Önlemlerinin Sıralaması .....	39
5.1.3. Mühendislik Önlemler .....	40
5.1.3.1. Kaynağa Erişimin Engellenmesi.....	41
5.1.3.2. İşlemi Kısıtlayarak Koruma Sağlanması .....	41
5.1.3.3. Acil Durdurma Sistemleri .....	41
5.1.3.4. Kilitleme Sistemleri .....	42

5.1.3.5. Filtreler ve Görüntüleme Pencereleeri.....	42
5.3.1.6. Hizalama Yardımcıları.....	43
5.1.4.Yönetimsel Önlemler.....	43
5.1.4.1. Kontrollü Alanlar.....	44
5.1.4.2. Güvenlik İşaretleri ve Uyarılar.....	44
5.1.4.3. İşyeri Dışından Uzmanlık Hizmeti Alınması.....	45
5.1.4.4. Çalışanların Eğitimi ve Görüşlerinin Alınması.....	45
5.1.5. Kişisel Koruyucu Donanım.....	46
5.1.5.1. Gözlerin Korunması.....	48
5.1.5.2. Cildin Korunması.....	49
<b>EK B: OPTİK RADYASYONUN GÖZ VE CİLT ÜZERİNDEKİ BİYOLOJİK ETKİLERİ</b> .....	<b>52</b>
B.1. Göz.....	52
B.2. Cilt.....	52
B.3. Farklı Dalgaboylarının Göze ve Cilde Biyolojik Etkileri.....	53
B.3.1. Morötesi (Ultraviyole) Radyasyon (UVC, UVB, UVA).....	53
B.3.1.1. Cilt Üzerindeki Etkiler.....	53
B.3.1.2. Göz Üzerindeki Etkiler.....	54
B.3.2. Görünür Bölge Radyasyonu.....	54
B.3.2.1. Cilt Üzerindeki Etkiler.....	54
B.3.2.2. Göz Üzerindeki Etkiler.....	55
B.3.3. IRA.....	55
B.3.3.1. Cilt üzerindeki etkiler.....	55
B.3.3.2. Göz üzerindeki etkiler.....	56
B.3.4. IRB.....	56
B.3.4.1.Cilt üzerinde etkiler.....	56
B.3.4.2. Göz üzerindeki etkiler.....	56
B.3.5. IRC.....	56
B.3.5.1. Cilt üzerinde etkiler.....	56
B.3.5.2. Göz üzerindeki etkiler.....	56
<b>EK C. YAPAY OPTİK RADYASYON BİRİMLERİ VE NİCELİKLERİ</b> .....	<b>57</b>
C.1. Temel Nicelikler.....	57
C.1.1. Dalga Boyu.....	57
C.1.2. Enerji.....	57
C.1.3. Diğer Nicelikler.....	57
C.1.3.1. Görme Açısı (Angular subtense).....	57
C.1.3.2. Görme katı açısı (Solid angular subtense).....	58
C.1.3.3. Işın sapması (Beam divergence).....	58
C.1.4. Maruziyet Limitlerinde Kullanılan Nicelikler.....	58
C.1.4.1. Radyant güç.....	58
C.1.4.2. Işınım (Irradiance).....	58

C.1.4.3. Işınımlanma (Radiant exposure) .....	58
C.1.4.4. Işıma (Radiance) .....	58
C.1.5. Spektral Büyüklükler ve Geniş Bant Miktarları.....	59
C.1.6. Radyometrik Büyüklükler ve Etki Oluşturan Miktarlar.....	59
C.1.7. Parlaklık .....	59
<b>EK D. ÇALIŞMA ALANI İLE İLGİLİ ÖRNEKLER.....</b>	<b>60</b>
D.1. Ofis.....	60
D.1.1. Genel Yöntemin Açıklaması.....	60
D.1.2. Maruziyet Sınır Değerlerinin Seçimi .....	60
D.1.3. Geometrik Faktörler.....	63
D.1.4. Ön Değerlendirme.....	65
D.1.5. Gereken Veriler.....	65
D.1.6. Basitleştirici Varsayımlar.....	66
D.1.7. Maruziyet Limitleri ile Karşılaştırma .....	67
D.1.7.1. Maruziyet Limitleri Aşıldıysa.....	68
D.1.2. Örnek Hesaplamalar.....	69
D.1.3. Tavana Monte Edilmiş, Bir Difüzörün Arkasında Bulunan Floresan Lambalar .....	69
D.1.4. Difüzörü Olmayan Tavana Monte Tekli Floresan Lamba .....	71
D.1.5. Halojen Lambalı Açık Alan Projektörü .....	73
D.1.6. Elektronik Böcek Öldürücü .....	75
D.1.6. Masa Lambası .....	76
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>79</b>

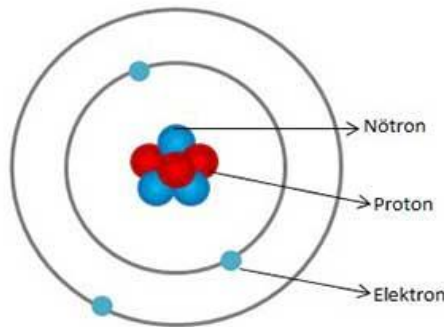
## 1.GİRİŞ

Yapay optik radyasyon; insan tarafından yapılan her türlü kaynaktan yayılan radyasyona verilen isimdir. Endüstride, tıp alanında, araştırma faaliyetlerinde pek çok yerde yaygın olarak kullanıldığından çalışma hayatında hemen hemen her yerde karşılabilmektedir. Bunların çoğu yaralanma veya sağlık sorunları meydana getirmek açısından çok az risk taşımakta veya hiç risk taşımamaktadır. Hatta bazıları işyerindeki faaliyetlerin güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesine katkı sağlamaktadır (örneğin işyerlerinde yeterince aydınlatma olmaması bir takım riskleri beraberinde getirmektedir). Ancak radyasyon uygun bir şekilde kontrol edilmezse, çalışanların sağlığına potansiyel bir tehlike oluşturacaktır

Bütün çalışanların yapay optik radyasyona maruz kaldıkları söylenebilir. Çalışanların maruziyet sınır değerlerini aşan seviyelerde maruz kalmaları riskini taşıyan kaynakların yani çalışan için tehlikeli olan kaynakların uygun şekilde değerlendirilmeleri gerekmektedir. Makul şekilde öngörülebilir şartlar altında risk içermeyen ve güvenli ışık kaynakları diye adlandırılan kaynakların detaylı bir şekilde değerlendirilmesine ihtiyaç bulunmamaktadır Bundan dolayı, işyerindeki her bir kaynağın tek tek incelenmesi ve kontrol edilmesi gerekmemektedir. Kontrol edilmesi gerekenler çok büyük miktarda ışık yayan veya mor ötesi, kızıl ötesi veya lazer ışını yayan kaynaklardır.

### 1.1.Radyasyon Nedir?

Maddenin temel yapısını atomlar meydana getirir. Atom, bir çekirdek ve bu çekirdeğin etrafında farklı yörüngelerde bulunan elektronlardan oluşur. Tek bir protondan oluşan hidrojen çekirdeği hariç bütün çekirdekler, nötron ve proton olarak adlandırılan iki çeşit parçadan oluşurlar. Atomun yapısı Şekil 1.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Atomun yapısı

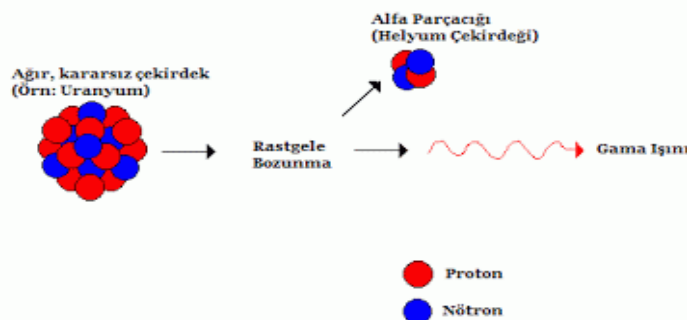
Aynı cins yüklerin kısa mesafelerde birbirleri üzerine çok büyük itici elektrostatik kuvvetler uygulamalarına rağmen çekirdeklerde nötron ve protonlar çok sıkı bir şekilde bir aradadırlar. Bu kuvvetler yüzünden çekirdeğin dağılması beklenir ancak çekirdek dağılmaz, kararlıdır. Bunun nedeni çekirdek kuvveti olarak adlandırılan çok kısa menzilde etkili olan (yaklaşık 2 femtometere



(fm) =  $2 \times 10^{-15}$  metre (m)) çekici kuvvettir. Bu kuvvet nötronlar arasında ve nötronlarla protonlar arasında etkilidir. Çekirdekdeki tüm parçacıklara etki eder. Çekirdekler eşit sayıda nötron ve proton içeriyorlarsa daha kararlıdır. Proton sayısının 20'nin üstünde olduğu çekirdeklerde nötron sayısı proton sayısından fazla ise bu çekirdekler daha kararlıdır. Bunun nedeni; proton sayısı çoğaldıkça aralarındaki itme kuvveti de artar ve çekirdeğin dağılmasına neden olur. Nötronlar çekici kuvvete neden oldukları için çekirdeğin kararlı olması için daha çok sayıda nötrona ihtiyaç vardır. Bu dengeleme sınırsız değildir. Büyük proton değerleri için protonlar arasındaki itici kuvvet daha çok sayıda nötron ile dengelenemez. 83'ten fazla proton içeren çekirdekler kararlı değildir. Büyük proton değerleri için protonlar arasındaki itici kuvvet daha çok sayıda nötron ile dengelenemez. 83'ten fazla proton içeren çekirdekler kararlı değildir.

Kararlı bir çekirdekte, çoğu durumda nötron sayısı proton sayısından biraz daha yüksek ve nötron/proton oranı yaklaşık olarak 1,50 civarındadır. Nötron/proton oranı hafif izotoplarda 1 iken, ağır çekirdeklere doğru gidildikçe bu oran artmaktadır. Bu oran arttıkça çekirdeklerin artık kararlı olmadığı bir yere ulaşılır. Daha ağır çekirdekler sahip oldukları fazla enerjiden dolayı kararsızdırlar. Çekirdek dengede değilse yani kararsız ise, fazla bir enerjiye sahip olacak ve parçacıkları bir arada kalamayacaktır. Kısa bir süre içinde veya daha uzun bir süre sonra bu fazla enerjisini boşaltacaktır. Böyle çekirdeklere radyoaktif çekirdek veya radyoizotop adı verilir. Bunlar fazla enerjilerinden kurtulmaya ve kararlı duruma geçmeye çalışırlar. Bu olaya **radyoaktivite veya radyoaktif parçalanma** denir.

Çekirdeğinde dengeli sayıda proton ve nötron bulundurmayan atomlara radyoaktif atomlar denir. Radyoaktif atomların çekirdeğindeki bu dengesizlik atom çekirdeğinde ilave enerji olarak ortaya çıkar, bu enerji fazlalığı alfa, beta ve gama gibi ışınlar olarak salınır. Bu salınım çekirdekteki proton sayısı nötron sayısı ile dengeleninceye kadar devam eder. Örnek olarak Uranyum çekirdeğinin parçalanarak gama ışınının oluşması Şekil 2.2.'de gösterilmektedir. Çevresine bu şekilde alfa, beta ve gama gibi ışınlar saçarak parçalanmış maddelere "**radyoaktif madde**", çevreye yayılan alfa, beta ve gama gibi ışınlar ise '**radyasyon**' adı verilmektedir.

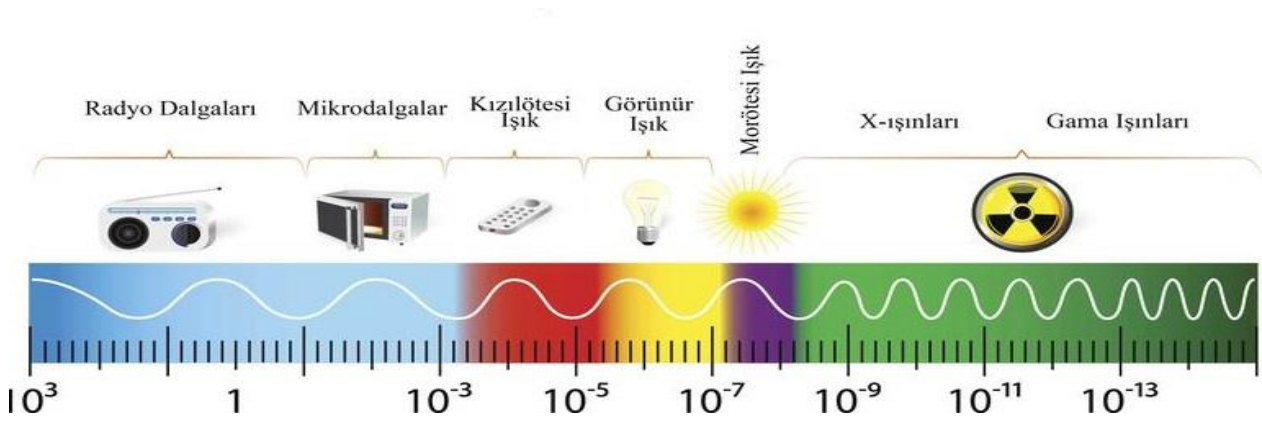


**Şekil 2.2.** Uranyum çekirdeğinin parçalanması ve gama ışınının oluşması

Parçacık veya elektromanyetik dalga formundaki radyasyon, etkileştiği atomların elektronlarını koparacak kadar yeterli enerjiye sahipse atomlar yüklü hale gelir ve iyonlaşmış olur. Bu da **iyonlaştırıcı radyasyon** olarak adlandırılır. Etkileşim sonucunda oluşan iyonlar, hücrelere hasar veren kimyasal değişimlere neden olabilecek kapasitedirler. İyonlaştırıcı radyasyon alfa parçacıkları, beta parçacıkları, nötron veya gama ışınları ve elektromanyetik radyasyon formunda olabilir.

Parçacık veya elektromanyetik formdaki radyasyon, atomları iyonlaştırmada yeterli enerjiye sahip değilse **iyonlaştırıcı olmayan radyasyon** olarak adlandırılır.

Gama ( $\gamma$ ) ışınları, X ışınları, mor ötesi (UV), kızıl ötesi (IR), mikro dalga ışınlarının ve görülebilir ışığın da bulunduğu radyasyonlar; dalga boyları ve frekanslarına göre bir elektromanyetik spektrumu oluştururlar. Elektromanyetik spektrum Şekil 1.3.'de gösterilmiştir. Gama, X ve UV ışınları elektromanyetik spektrumun yüksek frekanslı ve yüksek enerjili iyonize radyasyon yayan kısmında; görünür ışık (UV'nin görünür ışığa denk gelen kısımları da dahil), IR, mikrodalgalar ve radyo dalgaları ise elektromanyetik spektrumun iyonize olmayan düşük frekanslı ve düşük enerjili kısmında yer alır.



**Şekil 1.3:** Işık spektrumu (genel)

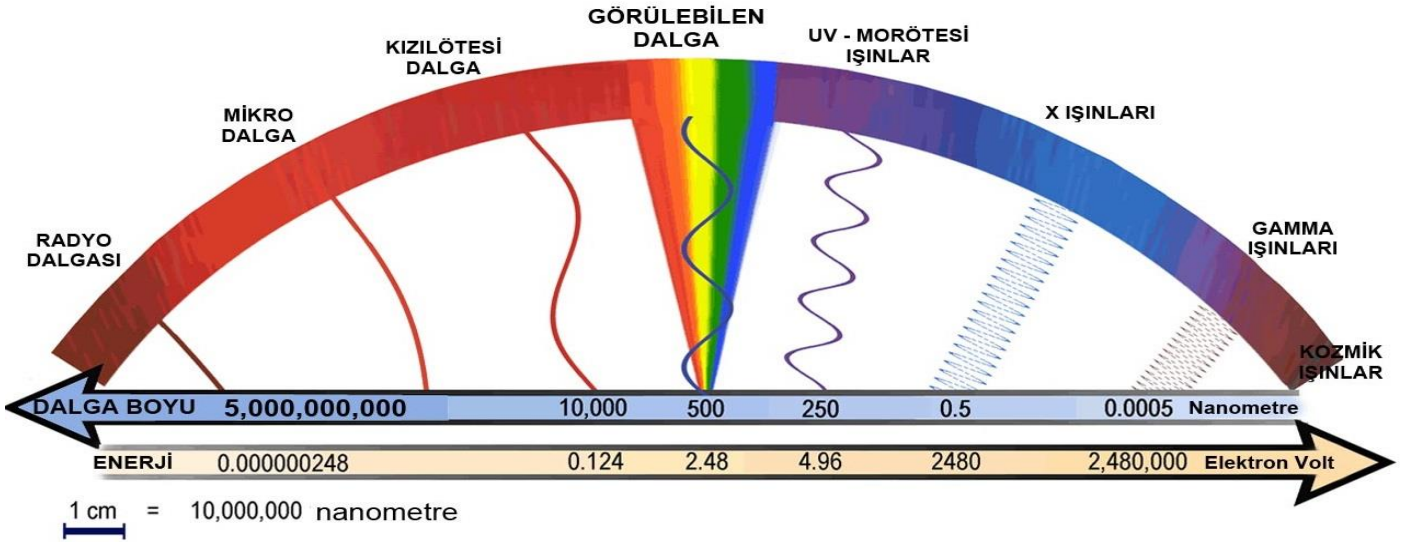
## 1.2. Optik Radyasyon Nedir?

Optik radyasyon; belirli bir aralıkta enerjisi olan elektromanyetik dalgalara verilen isimdir. Güneşten yayılan ışık, optik radyasyonun günlük hayatta karşılaşılan doğal bir örneğiyken, bir lambadan yayılan ışık ise, optik radyasyonun yapay olarak üretilmiş (yapay optik radyasyon) bir örneğidir. Kızılötesi, görünür bölge ve mor ötesi olarak isimlendirilen elektromanyetik dalgaların tümü, optik radyasyon olarak tanımlanır. Bu bölgelerde, ışığın göz tarafından algılanması nedeniyle optik terimi kullanılmaktadır.

Her ışık, karakteristik bir dalga boyuna sahiptir. Işığın enerjisi, frekansı ile doğru orantılı, dalga boyu ile ters orantılıdır. Elektromanyetik radyasyon bir malzeme ile etkileşime girdiğinde, etkileşim



noktasında bir miktar enerji birikir ve bazı etkilere neden olur. Oluşan etkiler radyasyonun enerji düzeyine bağlı olarak değişiklik gösterir.



Şekil 1.4: Işık spektrumu (dalga boyu-enerji ilişkisi)

Optik radyasyon; görülebilir ışık düzeyinde veya yakın dalga aralıklarında yayılan radyasyon biçimidir. Elektromanyetik radyasyonun 100 nm-1 mm dalga boyu aralığına tekabül eder. UV ışınlar (100 nm-400 nm), görünür ışık (400 nm - 700 nm), IR ışınlar (700 nm - 1 mm) bu kategoridedir ve optik radyasyon olarak anılır. Bu bölgeler arasındaki sınırların fiziksel bir temeli yoktur sadece biyolojik etkilerine göre ayrılmışlardır.

Yapay optik radyasyon ise insan tarafından yapılan her türlü kaynaktan yayılan 100 nm-1 mm dalga boyu aralığına tekabül eden elektromanyetik radyasyona verilen isimdir. Ofis aydınlatmaları, bilgisayar ekranları, şaloma, kaynak arkı yapay optik radyasyon kaynağı için örneklerdir.

Genel olarak optik radyasyon iyonize olmayan radyasyon olarak kabul edilir ancak mor ötesi spektrumun görünür bölgeyi aşan kısımları bazı iyonize özelliklere sahiptir. Optik radyasyona maruziyetten kaynaklanan tehlikeler dalga boyuna bağlıdır bu sebeple spektrumu UV, görünür ve IR radyasyon şeklinde üç bölgeye ayırmak uygundur.

Optik radyasyon, enerji düzeyine göre göz ve cilt tarafından soğrulur ve doğrudan ya da yansıma şeklinde ulaştığında bu bölgelerde etkiye yol açar. Ciltte kızarıklık, gözde sulanma, cilt kanseri ve katarakt gibi önemli sağlık sorunlarına ve çeşitli etkilere yol açabilmektedir. Bu nedenle optik radyasyona gözün ve cildin maruziyetinin önlenmesi önem taşımaktadır.

Optik radyasyona tehlikeli düzeyde maruziyeti önleme noktasında, işverenlere ve İSG profesyonellerine yardımcı olmak amacıyla hazırlanmış olan bu rehberin bölümleri ve içerikleri aşağıda belirtilmiştir:

- ▲ Rehberin 1. ve 2. bölümleri, optik radyasyon konusunda genel bilgiler içermektedir.
- ▲ İşyerindeki tüm optik radyasyon kaynakları, **Bölüm 2.3'teki önemsiz kaynaklar** listesindeyse, işverenler ve İSG profesyonelleri açısından, daha detaylı bir risk değerlendirmesi yapmaya gerek yoktur. Eğer işyerinde, Bölüm 2.3'te listelenmeyen optik radyasyon kaynakları varsa, daha detaylı bir risk değerlendirmesi yapmak gereklidir. Detaylı bir risk değerlendirmesi gerekiyorsa, işveren, risk değerlendirmesini kendisinin mi yapacağına, yoksa dışarıdan uzman desteği mi alacağına karar vermelidir.
- ▲ Rehberin 3.bölümü, optik radyasyon maruz kalma sonucu ortaya çıkabilecek sağlık etkileri hakkında bilgiler içermektedir.
- ▲ Rehberin 4.bölümü, risk değerlendirmesi ile ilgili bilgiler içermektedir (risk değerlendirmesi yapmak için yetersiz bilginin mevcut olduğu durumlarda, ölçümlerin yapılması-Bölüm 7 veya üreticiden alınan verilerin kullanılması gerekebilir-Bölüm 8).
- ▲ Rehberin 5.bölümü, riski azaltmak için (gerekli durumlarda) uygulanacak kontrol önlemlerini içermektedir.
- ▲ Rehberin ekleri, risk değerlendirmesi yapmak için ek bilgiler içermektedir.

## 2. OPTİK RADYASYON KAYNAKLARI

### 2.1. Koherent Olmayan Radyasyon Kaynakları

#### 2.1.1. İş Aktiviteleri

Yapay olarak üretilmiş optik radyasyona maruz kalınmayan meslek türü çok azdır. Bina içlerinde (iç ortamlarda) çalışan herkes, aydınlatmalardan (lambda, floresan gibi) ve bilgisayar ekranlarından yayılan optik radyasyona maruz kalmaktadır. Dış ortamda çalışanlar ise, doğal aydınlatmanın yeterli olmadığı ve yapay aydınlatmalar ile aydınlatılan çalışma ortamlarında, yapay optik radyasyona maruz kalmaktadırlar.

Optik radyasyon, çalışma ortamlarında işin gereği olarak aydınlatmalar ve bilgisayar ekranları gibi kaynaklardan bilerek ya da istenerek üretilbildiği gibi, bazı durumlarda da üretim sırasında istenmeden üretilmektedir. Örneğin; boyanın floresan lambalar ile indükslenmesi işleminde, ultraviyole radyasyon üretilmesi ve boyanın bu radyasyona maruz bırakılması gerekmekte iken (bilerek ve istenerek optik radyasyon üretimi), kaynak işleminde kaçınılmaz bir şekilde çok sayıda UV ışını oluşmaktadır (istenmeden optik radyasyon üretimi).

Optik radyasyon, nasıl oluştuğuna bağlı olmaksızın (istenerek veya istenmeyerek) kontrol altına alınması gereken fiziksel bir etkidir. Yapay optik radyasyonla pek çok işyerinde karşılaşılsa da, bazı işyerleri daha tehlikeli optik radyasyon kaynakları içermektedir.

Aşağıda, maruz kalındığında göz ve deri açısından sağlık riski oluşturabilecek ve bu nedenle önlem alınarak, kontrol altına alınması gereken, yoğun ve tehlikeli optik radyasyon kaynaklarına örnekler verilmiştir:

- ▲ Metal işleme (ark ve oksijen kaynakları ve kaynak işleri dahil) ve plazma kesim işleri
- ▲ İlaç sanayinde ve ilaçla ilgili araştırma işlerinde, sterilizasyon ve mor ötesi ışık uygulamaları
- ▲ Fırınlarda cam, metal vb. malzemenin ergitilmesi (kızıl ötesi radyasyon yayılımı)
- ▲ Baskı işleri (mürekkep ve boyalar, genellikle ışık ile indükslenerek polimerleştirilirler)
- ▲ Motorlu araç tamiri (boyaların mor ötesi ışık kullanılarak fotokimyasal işlenmesi)
- ▲ Hastaların veya tedaviyi uygulayanların, ameliyathane spot aydınlatmalarına maruz kalabilecekleri medikal tedaviler ve optik radyasyonun tedavi amaçlı kullanımı
- ▲ Lazer ve flaş ışık (morötesi ve kızılötesi kaynaklar) kullanılan kozmetik tedaviler,
- ▲ Araştırma ve eğitim işlerinde, 3B ve 4 sınıf lazer ve indüklenmiş mor ötesi floresan kullanımı
- ▲ Lazer yapıştırma işleminin yapıldığı plastik üretim işleri
- ▲ UV sterilizasyonunun yapıldığı kanalizasyon arıtma işleri
- ▲ Güçlü alan ışıkları ile aydınlatılan, atölye ve depolama amaçlı olarak kullanılan yerler
- ▲ Floresan boyaları ortaya çıkarmak için UV radyasyon kullanılan tahribatsız muayene testleri

- ⚠ Sanatçıların ve modellerin, doğrudan spot ışıklarına, efekt aydınlatmalarına, modelleme ışıklarına ve flaş lambalarına maruz kaldıkları sanat ve eğlence sektörü
- ⚠ Eğlence sektöründe direk olarak genel aydınlatmalara ve efekt aydınlatmalarına maruz kalan çalışanlar

Kozmetik sektöründe özellikle bronzlaşmak için kullanılan solaryumlar en çok UVA bölgesinde olmakla beraber ender olarak UVB bölgesinde de bulunurlar. Solaryumun düzenli olarak kullanımı kişinin UV maruziyetine ciddi derecede etki etmektedir. Solaryum merkezlerinde çalışanlar da düşük seviyede de olsa maruziyet yaşamaktadır. Özellikle müşterilerin göz koruyucuları kullanması gerekmektedir.

Genel aydınlatmada evlerimizde, işyerlerimizde kullandığımız flüoresan lambalar uzun süredir hayatımızda yer almaktadır. Bu lambalar çok düşük miktarda UVR yaymakta olup insan üzerine etkisi çok azdır. Tungsten-halojen lambaların kullanımı aydınlatma ve görüntülemeye gittikçe artmaktadır. Filtre konmamış halojen lambalar, kısa mesafelerde akut hasarlar meydana getirecek seviyelerde UVR yaymaktadır. Bu lambaların üstüne cam filtreler geçirmek bu zararları engelleyecektir.

Tablo 2.1’de, dalgaboylarına göre optik radyasyon türleri ve hangi işlem sırasında üretildiğine dair örnekler verilmiştir.

**Tablo 2.1:** Dalgaboyuna göre optik radyasyon türlerine örnek aktiviteler

Dalgaboyu Bölgesi	Kullanım Amacı	Hangi İş / İşlem Sırasında Üretildiği
UVC	Antiseptik sterilizasyon	Mürekkep kurutma
	Floresan (Laboratuvar) Fotolitografi	Alan aydınlatma, çalışılan bölgeyi aydınlatma Bazı projeksiyon lambaları
		Ark kaynağı
UVB	Fototerapi (Işık Tedavisi)	Antiseptik lambaları
	Floresan (Laboratuvar)	Mürekkep kurutma
	Fotolitografi	Alan aydınlatma, çalışılan bölgeyi aydınlatma

UVA		Bazı projeksiyon lambaları
		Ark kaynağı
	Floresan (laboratuvar, tahribatsız muayene, suç ve sahtecilik tespiti)	Antiseptik sterilizasyon
	Fototerapi (ışık tedavisi)	Alan aydınlatma, çalışılan bölgeyi aydınlatma
	Mürekkep kurutma	Bazı projeksiyon lambaları
	Böcek tuzakları	Ark kaynağı
Görünür	Fotolitografi	
	Alan aydınlatma, çalışılan bölgeyi aydınlatma	
	Gösterge lambaları	
	Trafik ışıkları	
	Lazerle epilasyon ve varis tedavisi	
	Mürekkep kurutma	Bazı ısıtma / kurutma uygulamaları
	Böcek tuzakları	Kaynak
	Fotolitografi	
	Fotokopi	
	Projeksiyon	
TV ve bilgisayar ekranları		
IRA	Gözetleme amaçlı aydınlatma	Bazı alan aydınlatmaları, çalışılan bölgeyi aydınlatma
	Isıtma	
	Kurutma	Kaynak
	Lazerle epilasyon ve varis tedavisi	
	İletişim	

IRB	Isıtma	Bazı alan aydınlatmaları, çalışılan bölgeyi
	Kurutma	aydınlatma
	İletişim	Kaynak
IRC	Isıtma	Bazı alan aydınlatmaları, çalışılan bölgeyi
	Kurutma	aydınlatma
		Kaynak

## 2.2. Lazer Radyasyon Kaynakları

Lazer, optik spektrumun mor ötesi bölgesinden kızıl ötesi bölgesine kadar tüm bölgelerinde eş fazlı elektromanyetik radyant enerji üreten cihazdır. Lazer ifadesi İngilizce “light amplification by stimulated emission of radiation” (uyarılmış salınım yöntemiyle ışığın yükseltilmesi) ifadesinin baş harflerini ifade eder.

Lazerler ilk olarak 1960 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Başlangıçta, araştırma ve askeri uygulamalar için kullanılan lazerler, sadece lazeri tasarlayan ve yapımında çalışan kişiler tarafından kullanıldığı için, yalnızca bu kişiler için risk oluşturmaktaydı. Lazerler günümüzde sanayiden tıba, ofis ortamından inşaat sahalarına hatta evlere kadar pek çok yerde kullanılmaktadır.

Evlerimizde kullandığımız CD/DVD çalarlar ve fiber optik iletişim kablolarında olduğu gibi pek çok lazer cihazında radyant enerji çıkışı kapalı ortamda olduğunda kullanıcı için bir sağlık riski barındırmazlar. Ancak bazı tıbbi, endüstriyel veya araştırma uygulamalarında lazerin yaydığı radyant enerji erişilebilir ve göz ve deri için tehlike arz edebilir.

Lazer ışınları, genellikle küçük bir noktaya odaklandırılmış olduğundan dolayı, odaklandırıldıkları yüzeyi yaralama ve hasar verme potansiyelleri vardır. Özellikle bu özelliği sebebiyle çalışanlar ve iş sağlığı ve güvenliği profesyonelleri için özel önem gerektirmektedir. Eğer uygun kontrol yöntemleri uygulanırsa oldukça güvenli olarak kullanılabilirler. Lazerlerin güvenli kullanımı ile ilgili uluslararası standartlar mevcuttur.

Lazerler, ‘aktif ortam’ temelinde sınıflandırılırlar. Bu ortam, katı, sıvı veya gaz olabilir. Katı ortama sahip lazerler, kristal tip katılar, katı hal lazerleri ve yarı iletken lazerler olarak ayrılırlar. Tablo 2.2.’de, bazı lazer tipleri ve yaydıkları dalga boyu verilmiştir.



**Tablo 2.2.** Lazer sınıflandırmaları ve kullanım alanları

Tip	Lazer İsmi	Temel Dalga Boyu	Kullanıldığı Yerler
Gaz	Helyum Neon (HeNe)	632.8 nm	Hizalama, etüt etme, holografi, mesafe tayini, saldırı tespit, iletişim, eğlence
	Helyum Kadmiyum (HeCd)	422 nm	Hizalama, etüt etme
	Argon İyon (Ar)	458-515 nm + 350 nm	Enstrümantasyon, holografi, retinal fotokoagülasyon, eğlence
	Karbondioksit (CO <sub>2</sub> )	10.6 µm	Malzeme işleme, optik radar, optik mesafe tayini, enstrümantasyon, cerrahi teknikler
	Nitrojen (N)	337.1 nm	
	Zenon chloride (XeCl)	308 nm 248 nm	Spektroskopi
	Kripton Florür (KrF)	350 nm	
	Zenon Florür (XeF)	193 nm	
	Argon Florür (ArF)		
	Katı Hal	Yakut	694.3 nm
Neodymium: YAG (Nd:YAG)		1064 nm ve 1 319 nm 532 nm ve 266 nm	Malzeme işleme, enstrümantasyon, optik radar, optik mesafe tayini, cerrahi teknikler
Neodymium: Glass (Nd:Glass)		1 064 nm	

Yarı İletken	Değişik malzemeler – örneğin	400–450 nm 600–900 nm	Enstrümantasyon, saldırı tespit, iletişim, oyuncak
	GaN	1 100–1 600 nm	
	GaAlAs		
	InGaAsP		
Sıvı (Boya)	Boya – 100'den fazla boya lazeri, lazer ortamı olarak davranır	350 nm ile 1 µm arasında değişen	Enstrümantasyon

Tablo 2.3'de, lazerlerin kullanıldığı bazı uygulama örnekleri verilmiştir.

**Tablo 2.3:** Lazerlerin kullanım alanlarına örnekler

Kategori	Örnek Uygulamalar
Materyal İşleme	Kesme, kaynak, lazer işaretleme, delme, fotolitografi, hızlı imalat
Optik Ölçümler	Mesafe ölçümü, ölçüm, lazerli hız ölçümü, lazer vibrometresi, elektronik interferometri, optik fiber hidrofona, yüksek hızlı görüntüleme, parçacık boyutlandırma
Medikal	Oftalmoloji, refraktif cerrahi, fotodinamik tedavi, dermatoloji, lazer neşter, damar cerrahisi, diş hekimliği, tıbbi teşhisler
İletişim	Fiber, uydu
Optik Bilgi Kaydı	Optik bilgi depolama alanı, CD / DVD, lazer yazıcı

Spektroskopi	Madde tanımlama
Holografi	Eğlence, bilgi depolama
Eğlence	Lazer gösterileri, lazer işaretçiler

### 2.3. Önemsiz Kaynaklar

Optik radyasyon üreten herhangi bir kaynak için, aynı kaynak için farklı tasarımların çokluğu nedeni ile kapsamlı bir liste oluşturmak zordur (aynı model bir kaynağın, tasarımlarından birisi önemsiz radyasyon yayarken, bir başka tasarımı tehlikeli radyasyon yayabilir). Ekipman tasarımının, ekipmanın yaydığı optik radyasyon değeri üzerinde etkisi vardır (örneğin, bir reflektörün eğriliği, bir cam kapağın kalınlığı veya bir floresan lambanın üreticisi gibi). Aşağıda yaygın olarak görülen kaynak türleri iki grup halinde sunulmuştur:

- ▲ Önemsiz optik radyasyon kaynakları (yayıdıkları önemsiz radyasyon nedeni ile)
- ▲ Normal kullanımda tehlikeli olmayan optik radyasyon kaynakları (optik radyasyona aşırı maruz kalmanın, sadece olağan dışı durumlarda oluşması sebebi ile)

Eğer bir işyerinde ki optik radyasyon kaynaklarının tümü, tabloda belirtilen kaynaklarsa ve bu kaynaklar normal kullanım koşulları dışında kullanılmıyorsa, kapsamlı bir risk değerlendirmesine ihtiyaç yoktur.

Sadece önemsiz riskler üretme potansiyeli olan ve **'güvenli'** olarak değerlendirilebilecek kaynaklar aşağıda belirtilmiştir:

- ▲ Lamba üzerinde difüzör bulunan, tavana monte floresan aydınlatmalar, tavan tipi tungsten lambalar
- ▲ Bilgisayar veya benzeri araçların ekranları
- ▲ UVA böcek tuzakları
- ▲ Gün ışığı spektrumlu ampüller dâhil, tungsten lambalı görev aydınlatmaları (Masa lambası vb.)
- ▲ Fotokopi makinaları, interaktif beyaz tahta sunum ekipmanı
- ▲ LED göstergeler
- ▲ Araç içi gösterge lambaları, fren lambaları, geri vites lambası ve sis lambaları
- ▲ Fotoğrafik flaş lambaları
- ▲ Gazlı baş üstü ısıtıcılar

⚠ Sokak lambaları

⚠ TS EN 60825-1'de tanımlanmış her türlü "Sınıf 1" lazer ürünleri (örneğin lazer yazıcılar, barkod tarayıcılar)

Normal kullanım koşullarında, risk oluşturma ihtimali olmayan kaynaklar ve bu kaynakların güvenli kullanım koşulları ise, Tablo 2.4'te verilmiştir.

**Tablo 2.4:** Normal kullanımda risk oluşturmeyen kaynaklar

Kaynak	Güvenli kullanım koşulları
Lamba üzerinde difüzör bulunmayan, tavana monte floresan aydınlatmalar	Normal çalışma (aydınlatma) seviyelerinde güvenlidir ( $\approx 600$ lux)
Metal halojen / yüksek basınçlı civa projektörleri	Ön kapak camı sağlam ve görüş alanında değilse güvenlidir
Masaüstü projektörleri	Işığa direk bakılmıyorsa güvenlidir
Düşük basınçlı UVA siyah ışık	Görüş alanında değilse güvenlidir
Sınıf 1 lazer cihazı ( EN 60825-1'e göre)	Koruyucu kapak sağlamsa güvenlidir. (Koruyucu kapak kaldırılırsa, güvenli olmayabilir)
Araç farları	Uzun farlara direk bakılmazsa güvenlidir.

Sadece bu kaynakların kullanıldığı durumlarda, çalışanlar için bir risk oluşmadığından dolayı, detaylı bir risk değerlendirmesine ihtiyaç yoktur. Ancak bu karar alınırken tüm çalışanların güvende olduğundan emin olmak için aşağıda belirtilen özel risk gruplarındaki çalışanlar ve özel durumları ayrıca dikkate alınmalıdır:

⚠ Sağlık durumu daha önceden ışığa maruziyet sebebiyle kötü etkilenmiş çalışanlar

⚠ Işık ile temas ettiğinde olumsuz etkilere sebep olabilecek kimyasal madde veya reçeteli/reçetesiz ilaç kullanan çalışanlar

⚠ Birden fazla kaynağa aynı anda maruz kalan çalışanlar

⚠ Parlak ışığa maruziyet dolayısıyla meydana gelebilecek ikincil riskler (örneğin geçici körlüğün yol açabileceği tehlikeler)

### 3.OPTİK RADYASYONA MARUZİYETİN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

Optik radyasyon vücudun dış katmanları tarafından emildiği için biyolojik etkileri çoğunlukla deri ve gözle sınırlı olmakla birlikte, sistematik etkiler de görülebilmektedir. Farklı dalga boyları, derinin ve gözün hangi bölümünün radyasyonu emdiğine ve etkileşimin tipine bağlı olarak değişik etkilere neden olur (fotokimyasal etkiler mor ötesi bölgesinde baskınken, termal etkiler kızıl ötesi bölgede baskındır).

Lazer radyasyonu, lazer ışını enerjisinin doku tarafından çok hızlı emilmesiyle birlikte, temas ettiği yüzeyde ilave etkiler üretebilir ve özellikle gözler için tehlike oluşturabilir. Güçlü lazerlerin yanlış kullanılması gözde körlük dâhil olmak üzere çok ciddi hasarlara, deride ise ciddi yanıklara sebep olur. Eğer optik radyasyonun yapay kaynakları iyi şekilde kontrol edilirse bu semptomlar ender olarak görülürler.

Biyolojik etkiler genel olarak akut (hızla oluşan) ve kronik (sürekli ve tekrarlayan maruziyetlerde uzun zaman içinde oluşan) olarak ayrılır.

Akut etkiler genellikle maruziyetin eşik değerleri aştığı durumlarda görülür ve eşik değerler kişiden kişiye değişir. Maruziyet limitlerinin çoğu, akut etkilerin eşik değerleri üzerine yapılan çalışmalara göre belirlenir ve bu eşik değerlerin istatistiksel değerlendirilmesi sonucu oluşturulur. Bu nedenle maruziyet limitini aşmak her zaman sağlık üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaz. Maruziyet limitlerinin üzerindeki değerlerde radyasyona maruz kalınmasıyla, sağlık üzerindeki olumsuz etkilerin riski artar (bununla birlikte, normalin dışında ışığa duyarlı kişilerde olumsuz etkiler maruziyet limitleri altındaki her seviyede görülebilir).

Kronik etkiler için, aşılmadığı takdirde oluşmayacağı bir eşik değeri genellikle yoktur (kronik etkiler, eşik değerinin altında optik radyasyona maruz kalındığında da görülebilir). Bu nedenle kronik etkilerin oluşma riski sifıra indirgenemez. Maruziyet azaldıkça risk azalabilir ve maruziyet limitlerine uyulması, yapay optik radyasyona maruziyetten kaynaklanan riskin, doğal olarak meydana gelen optik radyasyona maruziyet sonucu oluşan ve genel olarak kabul gören risk seviyesine inmesini sağlar.

Gözün optik radyasyona maruz kalması kornea ve lenslerde hasara sebep olabilir, ağrı yapabilir ve göze kum kaçmasının yaptığı etkilere benzer etkiler meydana getirebilir. Deri üzerindeki etkileri ise deride kızarıklık, yanma, kabarma, erken yaşlanma ve farklı deri kanserleridir.

**Tablo 3.1.** Optik radyasyonun dalgaboylarına göre sağlık üzerine etkileri

Dalga boyu (nm)	Türü	Göz	Cilt
100-280	UVC	Işıktan kaynaklanan keratit	Kızarıklık
		Işıktan kaynaklanan konjonktivit	Cilt kanseri
280-315	UVB	Işıktan kaynaklanan keratit	Kızarıklık
		Işıktan kaynaklanan konjonktivit katarakt	Elastoz (ışık kaynaklı yaşlanma) Cilt kanseri
315-400	UVA	Işıktan kaynaklanan keratit	Kızarıklık
		Işıktan kaynaklanan konjonktivit Katarakt	Elastoz (ışık kaynaklı yaşlanma)
		Işıktan kaynaklanan retina hasarı	Hızlı pigment koyulaşması Cilt kanseri
400-700	Görünür	Işıktan kaynaklanan retina hasarı (Mavi ışık hasarı) Retina yanması	Yanma
700-1400	IRA	Katarakt Retina Yanması	Yanma
1400-3000	IRB	Katarakt	Yanma
3000-10	IRC	Kornea yanması	Yanma



## 4.MARUZİYETİN BELİRLENMESİ VE RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Optik radyasyona maruziyet ile ilgili risklerin değerlendirilmesi aşamasında, Tablo 4.1’de belirtilen hususlar dikkate alınarak risk değerlendirmesi yapılmalıdır.

**Tablo 4.1:** Risk değerlendirmesi için dikkate alınması gereken hususlar ve çözüm önerileri

Dikkate Alınması Gereken Hususlar	Öneriler
Yapay optik radyasyon kaynaklarına maruziyetin düzeyi, dalga boyu aralığı ve süresi	Maruziyet seviyesi, günlük sınır değer önemli ölçüde altındaysa, ileri bir değerlendirme yapmaya gerek yoktur.  (Not: Birden çok kaynaktan yayılan optik radyasyona maruz kalınmadığı durumlarda)
Avrupa Komisyon tarafından yayınlanan 2006/25/EC sayılı Direktif ekinde belirtilen maruziyet sınır değerleri	1. maddede ki bilgilerden, maruziyet sınır değerlerini belirlemek mümkün olmalıdır.
Özel risk gurubundaki çalışanların sağlık ve güvenlikleri üzerindeki herhangi bir olumsuz etki	Örneğin; işyerinde titrek (titreyen) ışığa karşı duyarlı olan çalışanlar olabilir. Bu durumda, proaktif yaklaşım yerine reaktif yaklaşım tavsiye edilir. İşveren, çalışma ortamında hangi iyileştirmeleri yapacağını belirlemelidir.
İşyerinde optik radyasyon ve ışığa duyarlı kimyasal maddeler arasındaki etkileşimin, çalışanların sağlık ve güvenlikleri üzerindeki olası etkileri	İşverenlerin, işyerinde kullanılan kimyasal maddelerin ışığa duyarlılığını özel olarak değerlendirmesi gerekmektedir.
Geçici körlük, patlama, yangın gibi dolaylı etkiler	Bazı işlerde, parlak ışığa maruz kalmak sorun yaratabilir. Bu durumda, sınır değerlerin altındaki değerlerde ışığa maruziyet için bile korunma sağlanmalıdır. Ayrıca işveren, dikkat dağıtıcı, göz kamaştırıcı, parlamaya sebep olabilecek ve çalışanların güvenliğini tehlikeye atabilecek optik radyasyon kaynaklarını da değerlendirmelidir. Bazı optik radyasyon

	<p>kaynaklarından yayılan optik radyasyon, patlama ve yangına sebep olabilir (Özellikle Sınıf 4 lazerler için bu durum geçerlidir). Yanıcı ve patlayıcı madde bulunan ortamlarda kullanılan diğer kaynaklar da bu durumlara yol açabilir.</p>
<p>Yapay optik radyasyona maruziyet düzeyini azaltmak için tasarlanmış başka bir ekipmanın olup-olmadığı</p>	<p>Çalışanların, belirtilen sınır değerlerin üzerinde optik radyasyona maruz kalma olasılıklarının olduğu durumlarda tavsiye edilmektedir.</p>
<p>Sağlık gözetiminden elde edilen sonuçlar, varsa yayınlanmış bilgiler vb.</p>	<p>Bu bilgiler çeşitli kuruluşlardan sağlanabilir.</p>
<p>Yapay optik radyasyona maruziyetin, birden çok radyasyon kaynağından oluşması</p>	<p>1. ve 2. maddelerdeki bilgilerle, her bir yapay optik radyasyon kaynağının yol açtığı, maruziyetin sınırının düzeyini belirlemek mümkün olabilir. Bunu yapmak için maruz kalınan kaynak sayısı ve maruziyet düzeylerini birbirine (ayrı ayrı) eklemek gereklidir. Toplam birden az ise, maruziyet limit değerlerin aşılması mümkün değildir. Toplam, 1 değerinden fazla ise, daha detaylı bir risk değerlendirmesi yapmak gerekecektir.</p>
<p>Kullanılan lazerle ilgili, Elektroteknik Standardizasyon Komitesi (CENELEC) tarafından belirlenen sınıflandırma ve Sınıf 3B veya Sınıf 4 lazerlerle aynı hasarı verebilecek herhangi bir optik radyasyon kaynağı ile ilgili sınıflandırma</p>	<p>Sınıf 3B ve Sınıf 4 lazerler, maruziyet sınır değerlerini aşabilecek düzeyde radyasyon yayabilirler. Ancak, bazı koşullar altında daha düşük tehlike sınıfındaki lazerler içinde, riskin değerlendirilmesine ihtiyaç duyulabilir.</p> <p>EN 62471 standardı, lazer olmayan yapay optik radyasyon kaynakları için farklı bir sınıflandırma düzeni belirtmektedir: Risk Grubu 3 cihazlarının riski değerlendirilmeli, bunun yanında düşük risk gurupları için de muhtemel maruziyet senaryoları dikkate alınmalıdır.</p>

Optik radyasyon kaynakları ile ilgili üreticiler tarafından sağlanan bilgiler

İşverenler değerlendirme yapabilmek için üreticilerden ve tedarikçilerden yapay optik radyasyon kaynakları hakkında yeterli bilgi talep etmelidir. Bu bilgilerin var olup olmadığı, satın alma politikası oluşturulurken ele alınmalıdır.

İşverenler, çalışanların rehber ekinde belirtilen sınır değerlerin üzerinde optik radyasyona maruz kalmadıklarından emin olmalıdır. İşverenler bunu sağlamak için kendileri veya başkaları tarafından yapılan risk değerlendirmesine başvurabilir veya ölçümler yaptırabilirler. Bu konuda özel bir yöntem tanımlamamakta olup, hangi yöntemin kullanılacağı işverene bırakılmıştır. Bununla birlikte; işverenler, uygun metot seçimi noktasında yayınlanmış standartlara, mümkün olmadığı durumlarda ise ulusal ve uluslararası standartlara başvurabilirler.

#### 4.1. Maruziyet sınır değerleri

2006/25/EC sayılı Direktif Ek I ve II'de, koherent olmayan optik radyasyon ve lazer radyasyonu için maruziyet sınır değerleri verilmektedir. Maruziyet sınır değerleri, İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma için Uluslararası Komisyon (ICNIRP) tarafından yayınlanan rehberler dikkate alınarak, *optik radyasyonun biyolojik etkileri, maruziyet süresi ve maruz kalan kişi parametreleri* dikkate alınarak belirlenmiştir.

Doğru maruziyet sınır değerini seçmek için, optik radyasyonun dalga boyunu bilmek gerekir (belirlenen dalga boyu için, birden fazla sınır değer olabilmektedir). Lazer radyasyonu için sınır değer belirlemek, tek bir dalga boyunda yayım yaptığından dolayı daha kolaydır. Bununla beraber, birden fazla dalga boyunda radyasyon yayan lazer ürünleri için ya da birden fazla kaynaktan yayılan radyasyona maruz kalınan durumlar için, maruziyet değerini arttırıcı etkileri de dikkate almak gereklidir.

##### 4.1.1. Lazer için Maruziyet Sınır Değerleri

Lazer güvenlik sınıflandırmaları (Bölüm 4.3), özel ölçüm koşulları altında, lazer ışınının oluşturduğu tehlike değeri ile ilgili kullanıcılara rehberlik etmesi için hazırlanmıştır. Sınıf 1 lazerler, normal kullanım koşullarında güvenli olup, ileri bir değerlendirmeye ihtiyaç yoktur.

Aksi bir bilgi olmadığı sürece işverenler, Sınıf 3B ve Sınıf 4 lazerlerden yayılan lazer ışınlarının, gözler için yaralama riski taşıdığını kabul etmelidirler (Sınıf 4 lazerler, ayrıca deri için de risk taşımaktadır).

“Lazer güvenlik sorumlusu” gibi yetkili bir kişi Sınıf 3B ve Sınıf 4 lazerlerin kullanıldığı yerlerde görevlendirmelidir. Sınıf 1M, Sınıf 2M ve Sınıf 3R lazerler için, olası maruziyet durumlarını ve bu durumların etkilerinin belirlemek için risk değerlendirilmesi yapılmalıdır. Lazer radyasyonu için ELV’ler (maruziyet sınır değerleri) Direktif Ek II’de sunulmuştur.

Bir lazer ışımından gelen ışınım veya ışıma maruziyeti hesaplanırken, 2006/25/EC sayılı Direktif EK-2’inde verilen Tablo 2.2, 2.3 ve 2.4’te belirtildiği, gibi ışınım veya ışıma maruziyeti, “sınırlama aralığı” denilen bir aralık içerisinde ağırlıklandırılmalıdır.

Maruziyet süresine karar verilmesi, maruziyetin istenmeyerek mi (kaza ile) yoksa istenerek mi oluştuğuna bağlıdır. İstenmeyen maruziyetler için, maruz kalan organ göz ise, 400 nm’den 700 nm’ye kadar olan lazer ışınları için 0.25 saniye, diğer dalga boyları içinse 10 saniye veya 100 saniye, maruziyet süresi olarak kabul edilir. Eğer maruz kalan organ deri ise, tüm dalgaboyları için 10 saniye veya 100 saniye kullanılması uygun olacaktır.

Maruziyet sınır değerleri aşılmadan, maruziyet süreleri için belirtilen aralıkta maksimum gücü hesaplamak mümkündür. Küçük bir kaynaktan yayılan sürekli dalga lazer ışınına göz maruziyeti için bu tarz hesaplamalar Tablo 4.2’te verilmiştir.

#### Lazerler için, ilgili maruziyet sınır değerlerini bulmak için:

- 🔍 Göz maruziyeti için - kısa süre (<10 saniye) - Tablo 2.2’ye bakınız
- 🔍 Göz maruziyeti için - 10 saniye veya daha uzun - Tablo 2.3’e bakınız
- 🔍 Cilt maruziyeti için - Tablo 2.4’e bakınız

**Tablo 4.2:** Örnek hesaplamalar

Dalga Boyu Aralığı (nm)	Sınırlayıcı Aralık (mm)	Maruziyet Süresi (Saniye)	Maruziyet Sınır Değeri ( $W m^{-2}$ )	Belirtilen aralık için Maksimum Güç (mW)
180 - 302.5	1	10	3.0	0.0000024
$\geq 302.5$ to 315	1	10	3.16 - 1000	0.0000025 - 0.00079

305	1	10	10	0.0000079
308	1	10	39.8	0.000031
310	1	10	100	0.000079
312	1	10	251	0.00020
≥ 315 - 400	1	10	1000	0.00079
≥ 400 to 450	7	0.25	25.4	0.00098
≥ 450 to 500	7	10	25.4	0.00098
≥ 500 to 700	7	10	25.4	0.00098
≥ 700 to 1050	7	10	10-50	0.00039 - 0.0019
750	7	10	12.5	0.00049
800	7	10	15.8	0.00061
850	7	10	19.9	0.00077
900	7	10	25.1	0.00097
950	7	10	31.6	0.0012
1000	7	10	39.8	0.0015
≥ 1050 to 1400	7	10	50 - 400	0.0019 - 0.015
≥ 1050 to 1150	7	10	50	0.0019

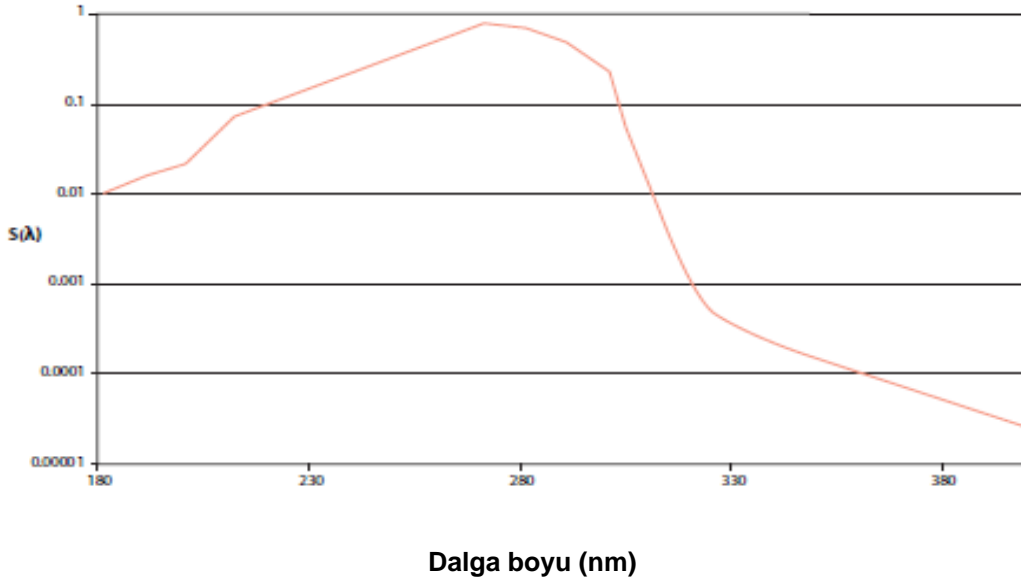
1170	7	10	114	0.0044
1190	7	10	262	0.010
≥ 1200 to 1400	7	10	400	0.015
≥ 1400 to 1500	3.5	10	1000	0.0096
≥ 1500 to 1800	3.5	10	1000	0.0096
≥ 1800 to 2600	3.5	10	1000	0.0096
≥ 2 600 to 105	3.5	10	1000	0.0096
≥ 105 to 106	11	10	1000	0.095

Maruziyet sınır değerlerinin değerlendirilmesi ile ilgili daha fazla bilgi IEC TR 60825-14'te bulunabilir. (Doküman, maruziyet sınır değerleri yerine, maksimum izin verilebilir maruziyet terimini kullanmaktadır)

#### 4.1.2. Koherent Olmayan Optik Radyasyon için Maruziyet Sınır Değerleri

Koherent olmayan optik radyasyon için maruziyet sınır değerlerinin kullanımı, genellikle lazer radyasyonuna göre daha karmaşıktır. Bunun sebebi; maruz kalan kişinin tek bir dalga boyu yerine bir dizi dalga boyunda radyasyona maruz kalmasıdır. Bununla birlikte, daha kapsamlı bir şekilde riskin değerlendirilip değerlendirilmeyeceğine karar vermek için varsayımlar yapmak mümkündür. Spektral ağırlıklandırma faktörleri, Direktif Ek-1'inin Tablo 1.2 ve 1.3.'ünde verilmiştir.  $S(\lambda)$  ağırlıklandırma fonksiyonu; göz ve cilt üzerindeki olumsuz sağlık etkilerinin dalga boyu bağımlılığını hesaba katmak için, 180 nm ila 400 nm arasında, spektral ışınım veya spektral radyan maruziyetini düzenlemek için kullanılır. Bir ağırlık fonksiyonu uygulandığında, elde edilen sonuçlar genellikle etkin ışınım veya etkin ışınım maruziyeti gibi terimlerle ifade edilir.





**Şekil 4.1:** Dalga boyu ve  $S(\lambda)$  ağırlıklandırma fonksiyonu ilişkisi

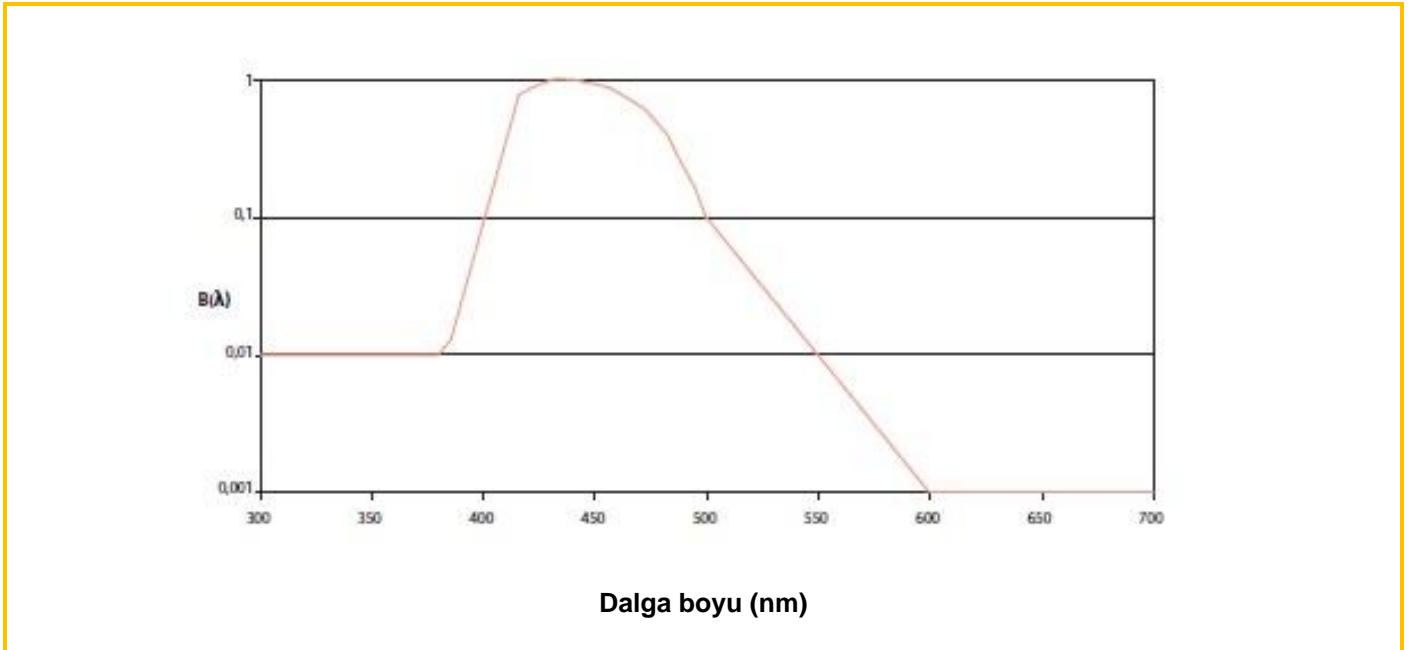
Maruziyet sınır değeri, ışınma maruziyeti olarak ifade edildiği için ( $J m^{-2}$ ), eğer kaynağın parlaklığı (irradiance) biliniyorsa, bir kişinin maruz kalabileceği maksimum süre, aşağıdaki tablo (Tablo 4.3) kullanılarak belirlenebilir (Eğer  $30 J m^{-2}$  için belirlenmiş olan maruziyet sınır değeri aşılmıyorsa).

**Tablo 4.3:** Maruziyet süresi ve etkin parlaklık ilişkisi

8 saatlik bir çalışma günü için maruziyet süresi	Parlaklık (Etkin) – $W m^{-2}$
8 saat	0.001
4 saat	0.002
2 saat	0.004
1 saat	0.008
30 dakika	0.017
15 dakika	0.033
10 dakika	0.05
5 dakika	0.1

1 dakika	0.5
30 saniye	1.0
10 saniye	3.0
1 saniye	30
0.5 saniye	60
0.1 saniye	300

B ( $\lambda$ ) ağırlık fonksiyonu, göz üzerindeki fotokimyasal hasarın, dalga boyuna bağımlılığını hesaba katmak için, 300 nm ile 700 nm arasındaki dalga boylarına uygulanır. Dalga boyu ve B ( $\lambda$ ) ağırlıklandırma fonksiyonu ilişkisi, Şekil 4.2'de verilmiştir. Pik (tepe) ağırlıklandırma faktörü 435 ve 440 nm arasında, 1'dir.



**Şekil 4.2:** Dalga boyu ve B ( $\lambda$ ) ağırlıklandırma fonksiyonu ilişkisi

## 4.2. Risk Değerlendirmesi

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu kapsamında bütün işverenlerin risk değerlendirmesi hazırlama yükümlülüğü bulunmaktadır. Risk değerlendirmesi için kullanılan yöntem, “adım adım risk değerlendirmesi” yaklaşımı olup, aşamalı yaklaşımda izlenecek adımlar, sıralı bir şekilde aşağıda belirtilmiştir:

- ▲ Tehlikelerin ve risk altındakilerin belirlenmesi
- ▲ Risklerin değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi
- ▲ Önleyici faaliyete karar verme
- ▲ Önlem alma
- ▲ İzleme ve gözden geçirme

#### 4.2.1. Tehlikelerin ve Risk Altındakilerin Belirlenmesi

Tehlike ve risklerin belirlenmesi aşamasında, ilk olarak işyerindeki tüm optik radyasyon kaynakları belirlenmelidir. Optik radyasyon kaynakları tanımlanırken, bazı radyasyon kaynaklarının herhangi bir ekipman içinde yer alabileceği, ekipmanın normal kullanımında çalışanın optik radyasyona maruziyet riski olmayacağı fakat ekipmanın normal kullanım koşulları dışında kullanımında radyasyona maruz kalılabileceği riski de göz önüne alınmalıdır.

Tüm olası radyasyon kaynakları belirlendikten sonra ise, radyasyona maruz kalabilecek çalışan veya çalışanlar belirlenmelidir. Tüm yapay optik radyasyon kaynakları ve maruz kalabilecek kişiler kayıt altına alınmalıdır.

#### 4.2.2. Risklerin Değerlendirilmesi ve Önceliklendirilmesi

Çalışanların optik radyasyona maruziyeti, Direktif Ek I ve Ek II'de belirtilen sınır değerlerin altında olmalıdır. İşyerlerindeki optik radyasyon kaynaklarının birçoğu önemsiz kaynak olabilir. Bir kaynağın önemsiz olup olmadığına karar vermek için, çalışanın (maruz kalan kişinin) radyasyona maruz kalma ihtimali olan optik radyasyon kaynak sayısını belirlemek gereklidir.

Tek bir kaynak için çalışanın maruziyeti, tüm gün için belirtilen (bir günlük çalışma süresi boyunca) maruziyet sınır değerinin % 20'sinden azsa, bu kaynak önemsiz olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte, eğer benzer özellikte (aynı güçte), örneğin toplamda 10 kaynak varsa, bu kaynakları önemsiz kaynaklar olarak değerlendirebilmek için, her bir kaynaktan maruz kalınan radyasyonun, maruziyet sınır değerinin % 2'sinden az olması gereklidir.

Optik radyasyondan kaynaklanan riski değerlendirmek için izlenecek adımlar aşağıda belirtilmiştir:

- ▲ Hangi kaynakların önemsiz olduğuna karar verme
- ▲ Hangi maruziyet durumlarının, ileri değerlendirmeye ihtiyaç duyduğuna karar verme
- ▲ Maruziyeti, maruziyet sınır değeri ile kıyaslama
- ▲ Çoklu kaynaklardan oluşan maruziyeti ayrıca değerlendirme
- ▲ Eğer maruziyet sınır değerinin aşılma ihtimali varsa önlem alma
- ▲ Önemli sonuçları kayıt altına alma

### 4.2.3. Üretici Verilerinin Kullanılması

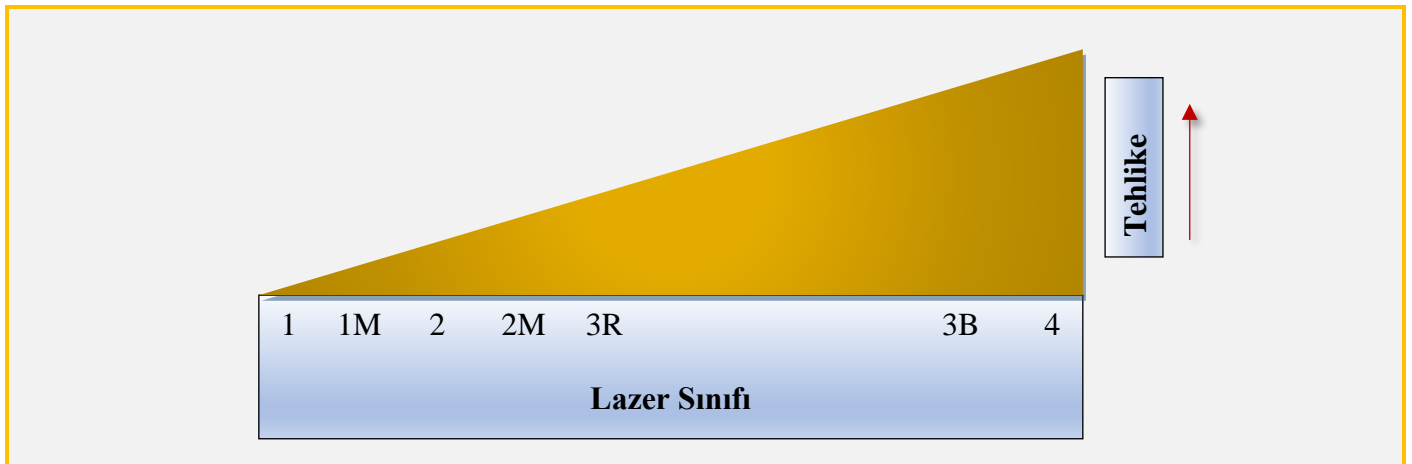
Optik radyasyon yayan kaynakların çeşitliliği sebebi ile bu kaynakların kullanımından kaynaklanan riskler önemli ölçüde değişmektedir. Optik radyasyon yayan ekipman üreten üreticilerden sağlanan veriler, risklerin tehlike değerlendirmesinde ve gerekli kontrol önlemlerinin belirlenmesinde kullanıcılara yardımcı olacaktır. Özellikle, lazer ve lazer olmayan kaynakların güvenlik sınıflandırması ve tehlike mesafeleri, risk değerlendirmesi yapmak için önemlidir.

### 4.3. Güvenlik Sınıflandırması

Lazerler ve lazer olmayan kaynaklar için güvenlik sınıflandırmaları, radyasyona maruziyet sonucu oluşabilecek olumsuz sağlık etkilerine dair potansiyel riskleri ifade etmektedir. Kullanım koşulları, kullanıldığı çevre ve maruziyete bağlı olarak, olumsuz sağlık etkileri yaratan bu risklerin, zarar verme potansiyeli azalabilir veya artabilir. Sınıflandırmaların yardımı ile kullanıcılar riskleri en aza indirebilmek için uygun kontrol yöntemleri seçebilirler.

#### 4.3.1. Lazer Güvenlik Sınıflandırması

Lazerlerin sınıflandırması, her lazer sınıfı için tanımlanan, “erişilebilir emisyon limiti” temeline dayanmaktadır. “Erişilebilir emisyon limiti”, sadece lazer ürününden çıkan emisyon değerini dikkate almaz, aynı zamanda lazer emisyonuna insan erişimini de (lazer ışınlarına insanların temasını) dikkate alır. Lazerler, (7) grupta sınıflandırılırlar. Sınıflandırma büyüdükçe, zarar verme potansiyeli de büyür.



Şekil 4.1: Lazerler için güvenlik sınıflandırması

#### 4.3.1.1. Sınıf 1 Lazerler

Sınıf 1 lazerler, normal kullanımında, hatta optik görüntüleme cihazları (mercek veya dürbün gibi) ile kullanılırken bile, güvenli olarak değerlendirilen lazerlerdir. Sınıf 1 lazer kullanan kişiler için genellikle kontrol önlemi (riskleri azaltmaya yönelik) almaya gerek yoktur.

Bu sınıftaki ürünler; yüksek güce sahip lazer ürünleri içerip, lazer ışınına insan maruziyetini önleyen bir muhafaza içinde yer alırlar (Dış kapak açıldığında, lazerin çalışmasını durduracak güvenlik svici ile donatılmış şekilde tasarlanmışlardır).

#### Örnekler:

- Lazer yazıcılar
- CD ve DVD oynatıcılar ve kaydediciler
- Malzeme işleme lazerleri



#### 4.3.1.2. Sınıf 1M Lazerler

Normal öngörülebilir çalışma koşulları altında, çıplak göz için güvenli lazer kaynaklarıdır. Eğer lazer ışını, optik cihazlar ile birlikte kullanılırsa (büyüteç ve dürbün gibi) tehlikeli yaratabilirler (örneğin; bağlantısız fiber optik iletişim sistemleri).

#### 4.3.1.3. Sınıf 2 Lazerler

Görünür ışınım yayan optik görüntüleme cihazlarında kullanılsalar bile, anlık maruziyetler için güvenli olan lazer ürünleri olup, kasıtlı olarak ışına bakıldığında tehlikeli olabilirler. Sınıf 2 lazer cihazları, gözler için doğal olarak güvenli olmasa da, maruz kalındığında, doğal refleksler olan başı yana çevirme ve göz kırpması hareketlerinin yeterli koruma olduğu varsayılır.

#### Örnekler:

- Barkod tarayıcıları

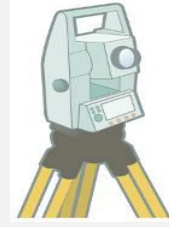


#### 4.3.1.4. Sınıf 2M Lazerler

Görünür ışın yayan lazer cihazları olup, sadece çıplak gözle kısa süreli maruziyetlerde güvenlidirler. Büyüteç veya teleskoplarda kullanıldığı durumlardaki maruziyetlerde, olası göz hasarı riskleri vardır. Doğal göz korunması, göz kırpması refleksi ile sağlanır.

### Örnekler:

- İnşaat mühendisliğinde kullanılan seviye ve hizalama araçları



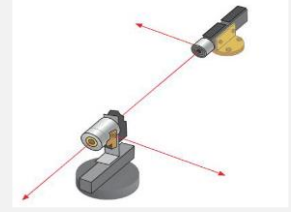
#### 4.3.1.5. Sınıf 3R Lazerler

Potansiyel olarak tehlike oluşturabilecek, doğrudan ışın demeti yayan lazer cihazları olup çoğu durumda yaralanma riski, kısa ve kasıtsız maruz kalma durumları için düşük olasılıktadır. Bununla birlikte, eğitimsiz kişiler tarafından kullanıldıklarında tehlikeli olabilirler.

Parlak ışığa maruz kalındığında gösterilen doğal refleks nedeniyle ve kızılötesi radyasyona maruziyette korneada oluşan ısınmaya gösterilen refleks dolayısı ile risk sınırlıdır.

### Örnekler:

- Yüzey ölçüm ekipmanları, yüksek güçte lazer işaretleyiciler, hizalama lazerleri



#### 4.3.1.6. Sınıf 3B Lazerler

Lazer ışınana tehlike mesafesinde direk olarak maruz kalınırsa, gözler için tehlikeli olabilirler. Bir yüzeyden yansıyan ışınlar için ise, yansıyan yüzey ve göz arasındaki mesafe 13 cm'den daha kısa ve maruziyet süresi 10 saniyeden daha uzun değilse güvenli olarak kabul edilirler. 3B sınıfının üst sınıfına yaklaşan lazerler, küçük cilt yaralanmaları meydana getirir ve bazı durumlarda yanıcı maddeleri tutuşturma riski taşırlar.

### Örnekler:

- Lazerli fizik tedaviler, araştırma laboratuvarı ekipmanları



#### 4.3.1.7. Sınıf 4 Lazerler

Tehlikeli mesafe içerisinde doğrudan bakılması veya cildin maruz kalınması halinde tehlike oluşturan lazerlerdir (çeşitli yüzeylerden yayılan yansımalar da tehlikeli olabilir). Bu tip lazerler genelde yangın çıkarma riski de taşırlar. (Örneğin; lazer projeksiyon görüntüleyiciler, lazer cerrahisi ve lazer metal kesimi)

- Sınıf 3B ve Sınıf 4 tipi lazer ürünleri, risk değerlendirmesi yapılmadan kullanılmamalıdır. Risk değerlendirmesi aşamasında, öncelikle “önleyici kontrol tedbirlerinin” güvenli çalışmayı sağlamak için yeterli olup-olmadığı belirlenmelidir. Tablo 4.4’de Farklı lazer güvenlik sınıfları için gerekli kontrollerin özeti verilmiştir.

**Tablo 4.4:** Farklı lazer güvenlik sınıfları için gerekli kontrollerin özeti

	Sınıf 1	Sınıf 1M	Sınıf 2	Sınıf 2M	Sınıf 3R	Sınıf 3B	Sınıf 4
Tehlike Sınıfının Tanımı	Normal koşullar altında güvenli	Çıplak göz için güvenli; optik cihazla kullanılır sa tehlikeli olabilir.	Kısa maruziyet için güvenli, göz koruması doğal refleksle sağlanır.	Çıplak göz için kısa maruziyet için güvenli, kullanıcı optik cihazlarla kullanır ise tehlikeli olabilir.	Yaralanma tehlikesi nispeten düşük, eğitimsiz kişiler tarafından uygunsuz kullanımı tehlikeli olabilir.	Direkt bakmak tehlikeli olabilir.	Gözler ve deri için tehlikeli, yangın riski var.
Kontrollü Alan	Gerekli değil	Bölgesel veya kapalı alan	Gerekli değil	Bölgesel veya kapalı alan	Kapalı alan	Kapalı alan ve kilit koruması	Kapalı alan ve kilit koruması
Kilit altına alma	Gerekli değil	Gerekli değil	Gerekli değil	Gerekli değil	Gerekli değil	Gerekli	Gerekli
Eğitim	Üretici güvenlik talimatlarına uyun.	Tavsiye edilir.	Üreticinin güvenli kullanım talimatlarına uyun.	Tavsiye edilir.	Gerekli	Gerekli	Gerekli

KKD	Gerekli değil	Gerekli değil	Gerekli değil	Gerekli değil	Risk değerlendirilmesinin sonuçlarına göre gerekli olabilir.	Gerekli	Gerekli
	Koruyucu Önlemler	Normal kullanım için gerekli değil	Büyütme odaklama veya yön verme için optik cihazların kullanımı önlenmeli	Işına direkt bakmama	Işına direkt bakılmamalı, büyütücü, odaklayıcı veya yön verici optik cihazların kullanımı önlenmeli	Gözün direkt maruziyeti önlenmeli	Göz ve cilt maruziyeti önlenmeli. Kasıtsız yansımaya karşı önlem

#### 4.3.2. Koherent Olmayan Kaynaklar İçin Güvenlik Sınıflandırması

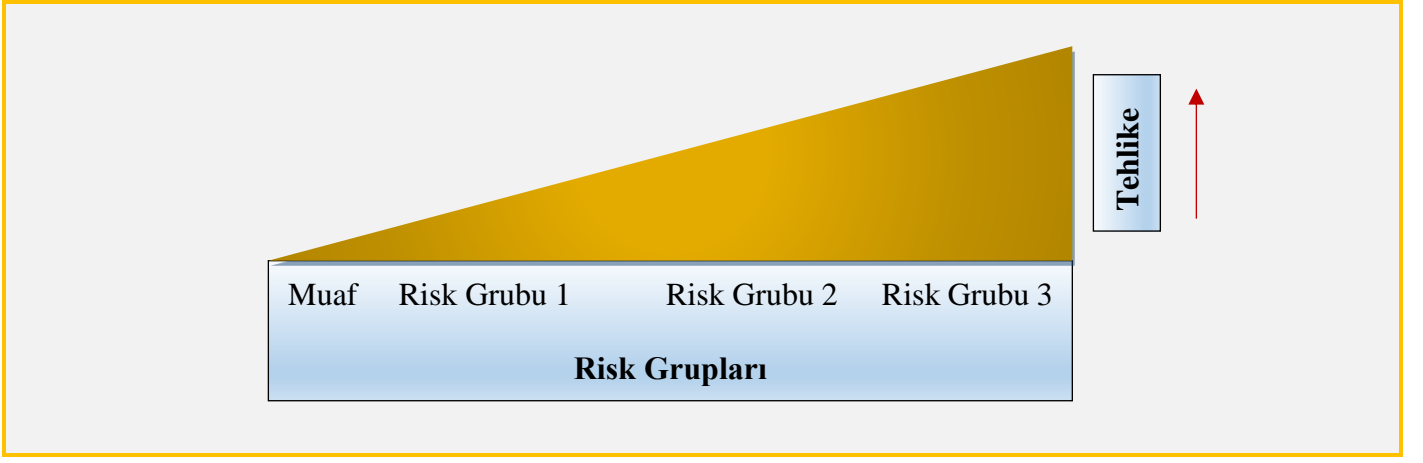
Koherent olmayan kaynaklar (geniş bant) için güvenlik sınıflandırması "TS EN 62471:2008 - Lambaların ve lamba sistemlerinin fotobiyolojik güvenliği" standardında tanımlanmış olup, ürünün çalışması sırasında, tam kapasite aralığında maksimum erişilebilir emisyon esasına dayanmaktadır.

Güvenlik sınıflandırması, optik radyasyon miktarını, dalga boyu dağılımını ve optik radyasyona insan erişimini hesaba katar. Geniş bant kaynakları dört risk grubuna ayrılmış olup, risk grubu ne kadar yüksekse, zarar verme potansiyeli de o kadar yüksektir. Sınıflandırma, olumsuz sağlık etkilerinin potansiyel risklerini gösterir.

Risk artışına göre gruplar şu şekilde sıralanmıştır:

- ▲ Muaf Grup: Öngörülebilir şartlar altında, foto biyolojik tehlike riski bulunmayanlar
- ▲ Risk Grubu 1 (Düşük Risk Grubu) : Maruziyete gösterilen normal reflekslerle risk sınırlandırılır.
- ▲ Risk Grubu 2 (Orta Risk Grubu): Risk, çok parlak ışık kaynaklarına gösterilen rahatsız olma tepkisi ile (göz kırpma, kapatma vb.) sınırlandırılır.
- ▲ Risk Grubu 3 (Yüksek Risk Grubu): Anlık veya kısa süreli pozlama (maruz kalma) ile bile risk oluşabilir.





**Şekil 4.2:** Koherent olmayan kaynaklar için güvenlik sınıflandırması

#### 4.3.2.1. Muaf Grup

Sürekli ve sınırsız kullanımda bile, öngörülebilir koşullar altında direk optik radyasyon riski yoktur. Bu kaynaklar aşağıdaki foto-biyolojik tehlikelerden herhangi birini oluşturmazlar:

- ⚠ 8 saatlik maruziyette, aktinik ultraviyole tehlikesi
- ⚠ 1000 saniye içerisinde ultraviyoleye yakın tehlike
- ⚠ 10000 saniye içerisinde retinal mavi-ışık tehlikesi
- ⚠ 10 saniye içerisinde retinal termal tehlike
- ⚠ 1000 saniye içerisinde, göz için kızıl ötesi radyasyon tehlikesi
- ⚠ 1000 saniye içerisinde, güçlü bir görsel olmadan kızılötesi radyasyon tehlikesi

#### Örnekler:

- 📍 Ev ve ofis aydınlatmaları, bilgisayar ekranları, ekipman göstergeleri, gösterge lambaları



#### 4.3.2.2. Risk Grubu 1 (Düşük Risk)

Bu kaynaklar, çok uzun süreli direk göz maruziyetlerinin haricinde, çoğu uygulama için güvenlidirler. Bu ürünler, maruziyete gösterilen sınırlayıcı davranışlar (refleksler) sebebi ile aşağıda belirtilen tehlikeleri oluşturmazlar:

- ⚠ 10000 saniye içerisinde aktinik ultraviyole tehlikesi
- ⚠ 300 saniye içerisinde ultraviyoleye yakın bir tehlike
- ⚠ 100 saniye içerisinde retinal mavi-ışık tehlikesi
- ⚠ 100 saniye içerisinde, göz için kızıl ötesi radyasyon tehlikesi

- ▲ 1000 saniye içerisinde, güçlü bir görsel olmadan kızılötesi radyasyon tehlikesi

#### Örnekler:

- 📌 Ev tipi el feneri



#### 4.3.2.3. Risk Grubu 2 (Orta Risk)

Bu kaynaklar çok parlak ışık kaynaklarına, termal rahatsızlıktan kaynaklanan refleks tepki verilmesi sebebi ile aşağıda belirtilen tehlikeleri oluşturmazlar:

- ▲ 1000 saniye içerisinde aktinik ultraviyole tehlikesi
- ▲ 100 saniye içerisinde ultraviyoleye yakın tehlike
- ▲ 0.25 saniye içerisinde retinal mavi-ışık tehlikesi (hoşlanmama tepkisi – refleksi)
- ▲ 0.25 saniye içerisinde retinal termal tehlikesi (hoşlanmama tepkisi – refleksi)
- ▲ 10 saniye içerisinde, göz için kızıl ötesi radyasyon tehlikesi
- ▲ 10 saniye içerisinde, güçlü bir görsel olmadan kızılötesi radyasyon tehlikesi

#### 4.3.2.4. Risk Grubu 3 (Yüksek Risk)

Bu kaynaklar, tehlikeli mesafeden kısa süreli veya anlık maruziyetlerde bile, risk oluşturabilen kaynaklar olup, güvenlik önlemleri gereklidir. İstenmeyen optik radyasyonun (ultraviyole gibi) filtrelenmesi, optik radyasyon erişimin önlenmesi için kaynağın kaplanması, daha az tehlike oluşturan kaynak kullanılması gibi önlemler, kullanılan kontrol önlemleri arasındadır.

#### 4.3.3. Makinaların Güvenlik Sınıflandırması

Optik radyasyon üreten ekipmanlar, ayrıca EN 12198 standardında göre de sınıflandırılabilirler. Bu standart, aydınlatma için kullanılan kaynaklar hariç olmak üzere, istenmeyerek oluşan emisyonlar da dâhil olmak üzere, optik radyasyon üreten tüm ekipmanların sınıflandırılmasında kullanılır. Ekipmanlar, emisyon (optik radyasyon yayımına) ulaşılabilirliğe (radyasyona maruziyete) göre 3 kategoriye ayrılırlar. Artan risk seviyesine göre bu kategoriler Tablo 4.5'te verilmiştir.

**Tablo 4.5:** Ekipmanların güvenlik sınıflandırması (EN 12198'e göre)

Kategori	Kısıtlayıcı ve Koruyucu Önlemler	Bilgilendirme ve Eğitim
0	Kısıtlama yok	Bilgilendirme gerekli değil

1	Kısıtlamalar: Emisyona erişimin kısıtlanması  Koruyucu Önlemler: Gerekli olabilir	Bilgilendirme: Tehlikeler, riskler ve üreticiden sağlanan ikincil etkiler
2	Özel kısıtlamalar ve koruyucu önlemler gereklidir.	Bilgilendirme: Tehlikeler, riskler ve üreticiden sağlanan ikincil etkiler  Eğitim: Gerekli olabilir

Herhangi bir makinanın, yukarıda belirtilen kategorilerden birisine dâhil edilmesi, tablo 4.6.'da belirtilen, 10 cm mesafeden ölçülen etkin radyometrik miktarlar temel alınarak yapılır.

**Tablo 4.6:** TS EN 12198'e (Makinalarda güvenlik - Makinaların yaydığı ışığa nedeniyle oluşan risklerin değerlendirilmesi ve azaltılması) göre makine sınıflandırması için emisyon sınırları

$E_{eff}$	$E_R$		$L_R$	$E_R$	Kategori
	( $\alpha < 11$ mrad için)	( $\alpha \geq 11$ mrad için)			
$\leq 0.1 \text{ mW m}^{-2}$	$\leq 1 \text{ mW m}^{-2}$	$\leq 10 \text{ W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$	$\leq 33 \text{ W m}^{-2}$	0	
$\leq 1.0 \text{ mW m}^{-2}$	$\leq 10 \text{ mW m}^{-2}$	$\leq 100 \text{ W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$	$\leq 100 \text{ W m}^{-2}$	1	
$> 1.0 \text{ mW m}^{-2}$	$> 10 \text{ mW m}^{-2}$	$> 100 \text{ W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$	$> 100 \text{ W m}^{-2}$	2	

#### 4.4. Tehlike Mesafesi ve Tehlike Değerleri Bilgisi

Bazı uygulamalarda, optik radyasyonun tehlikelerinin yayılabileceği (ulaşabileceği) mesafeyi bilmek yararlı olabilir. Tehlike mesafesi, tehlike seviyesinin, geçerli maruziyet sınır değeri seviyesine kadar düştüğü mesafe olup, bu mesafeden daha fazla mesafe de risk oluşmayacaktır. Eğer üreticiden bu bilgiler sağlanabilirse, risk değerlendirmesi aşamasında ve daha güvenli işyeri ortamı oluşturma çalışmalarında kullanılabilir.

##### 4.4.1. Lazerler için Tehlike Mesafesi

Belirli bir mesafede, lazer ışınları yol katettikçe (sapma, açılma), ışınlanma değeri, gözler için maruziyet sınır değerine eşit olacaktır. Bu mesafeye, nominal göz tehlike mesafesi denir. Daha uzak

mesafelerde, maruziyet sınır değeri aşılmayacağından, bu mesafeden daha uzak mesafeler için lazer ışınının güvenli olduğu kabul edilebilir.

Üreticiler genellikle, nominal göz tehlike mesafesi ile ilgili bilgiyi, ürün özellikleri içerisinde verirler. Eğer bu bilgi mevcut değilse, üreticiden sağlanan ve aşağıda verilmiş olan parametrelerden, nominal göz tehlike mesafesini hesaplama mümkündür:

- ▲ Işınım (Radyant) Gücü (W)
- ▲ İlk Işın Yarıçapı (m)
- ▲ Saçılma (radyan)
- ▲ Maruziyet Sınır Değeri (W m<sup>-2</sup>)

Eğer mesafe geniş veya lazer ışını çembersel (yuvarlak) değilse, Formül 4.1 kullanılarak, nominal göz tehlike mesafesi (NGTM) hesaplanabilir.

$$(NGTM) = \frac{\sqrt{\frac{4 \times \text{Radyant Gücü}}{\pi \times \text{Maruziyet Sınır Değeri}} - \text{İlk Işın Yarıçapı}}}{\text{Saçılma}}$$

**Formül 4.1:** Nominal göz tehlike mesafesi hesaplama formülü

#### 4.4.2. Koherent Olmayan Kaynaklar için Tehlike Mesafesi ve Tehlike Değeri

Maruziyet düzeyinin, maruziyet sınır değerine eşit olduğu mesafeye **tehlike mesafesi** denir. Bu mesafeden daha uzak mesafelerde, tehlike riski yoktur. Tehlike mesafesi, optik radyasyonun zararlarından korunmak için, optik radyasyona maruz kalan kişinin hareketleri ve optik radyasyona erişimi (maruziyeti) ile ilgili alan sınırlarının belirlenmesi aşamasında dikkate alınmalıdır. Göz ve deri için ayrı tehlike mesafeleri belirlenebilir. Optik radyasyon tehlike bilgisi, belirli bir mesafede, optik radyasyon maruziyet düzeyinin, maruziyet limit değerine oranı olup, Formül 4.2 kullanılarak hesaplanır.

$$\text{Tehlike Bilgisi (Mesafe, Maruziyet Süresi)} = \frac{\text{Maruziyet Düzeyi (Mesafe, Maruziyet Süresi)}}{\text{Maruziyet Sınır Değeri}}$$

**Formül 4.2:** Optik radyasyon tehlike bilgisi hesaplama formülü

Tehlike değeri, pratikte önem taşımaktadır. Tehlike değeri 1'den büyükse, kontrol önlemlerine rehberlik edecek uyarı değerini ifade eder. Bu durumda; maruziyet süresinin veya optik radyasyona erişimin sınırlandırılması (azaltma, mesafe) önlemleri uygulanabilir. Eğer Tehlike değeri 1'den

küçükse, bu konumda belirlenen maruziyet süresi için maruziyet sınır değeri aşılmayacaktır. Üreticiler genellikle, tehlike değeri ve tehlike mesafesi ile ilgili bilgileri, ürün özelliklerinde belirtirler. Bu bilgi risk değerlendirmesinde ve uygun kontrol önlemlerinin uygulanmasında yararlı olacaktır.

#### 4.4.3. İlgili Standartlar

- ⓘ TS EN 60825-1: Lazer ürünlerinin güvenliği - Bölüm 1: Donanım sınıflandırması ve kurallar
- ⓘ IEC TR 60825-14: Safety of Laser Products, Part 14: A user's guide.
- ⓘ TS EN 62471: Lambaların ve lamba sistemlerinin fotobiyolojik güvenliği
- ⓘ TS EN 12198-1+A1: Makinalarda güvenlik - Makina tarafından yayılan ışımadan oluşan riskin değerlendirilmesi ve azaltılması - Bölüm 1: Genel prensipler
- ⓘ TS EN 12198-2+A1: Makinalarda güvenlik - Makinaların yaydığı ışığa nedeniyle oluşan risklerin değerlendirilmesi ve azaltılması - Bölüm 2: Işıma yayılımını ölçme işlemi

## 5.BÖLÜM: KONTROL ÖNLEMLERİ

Kontrol önlemi alınması aşamasında temel prensip, tehlike tespit edildiği zaman, bu tehlikenin mühendislik önlemler ile kontrol altına alınmasıdır. Bunun mümkün olmadığı durumlarda, alternatif kontrol önlemlerine başvurulmalıdır.

Özel bir maruziyet durumu için uygun kontrol yöntemlerinin seçimi, bu durum ile ilgili risk değerlendirmenin sonuçlarına göre yapılmalıdır. Sorunun ortadan kaldırılması aşamasında, tüm olası kişisel maruziyetler ve optik radyasyon yayan kaynaklar, beraber değerlendirilmelidir.

Genellikle, cihaz özelliklerinde verilen radyasyon maruziyeti değeri (veya ölçüm sonucu belirlenen değer) ile erişilebilir maruziyet sınır değeri (veya değerleri), ikisi birlikte optik radyasyona maruziyetin değerlendirilmesini sağlar. Eğer emisyon değerleri yüksekse ve/veya radyasyon yayan cihazın kullanım süresi yüksekse, limit değerlerin aşılma ihtimali vardır ve bu durumda koruyucu önlemler gereklidir. Koruyucu önlemlerin uygulanmasından sonra, risk değerlendirmesi yenilenmelidir.

Aşağıda belirtilen durumlarda, ölçümlerin ve risk değerlendirmesinin yenilenmesi gerekli olabilir:

- ▲ Radyasyon kaynağı değişirse (başka bir kaynak daha kurulursa veya radyasyon kaynağı farklı çalışma koşulları altında kullanılmaya başlanırsa)
- ▲ Yapılan işin doğası (çalışma şekli) değişirse
- ▲ Maruziyet süresi değişirse
- ▲ Koruyucu önlemler uygulandığında, önlemlerin uygulanması sonlandırıldığında veya başka önlemler uygulanmaya başlandığında
- ▲ En son yapılan ölçümlerden ve risk değerlendirmesinden sonra uzun bir süre geçmişse

### 5.1. Kontrol Önlemlerinin Sıralaması

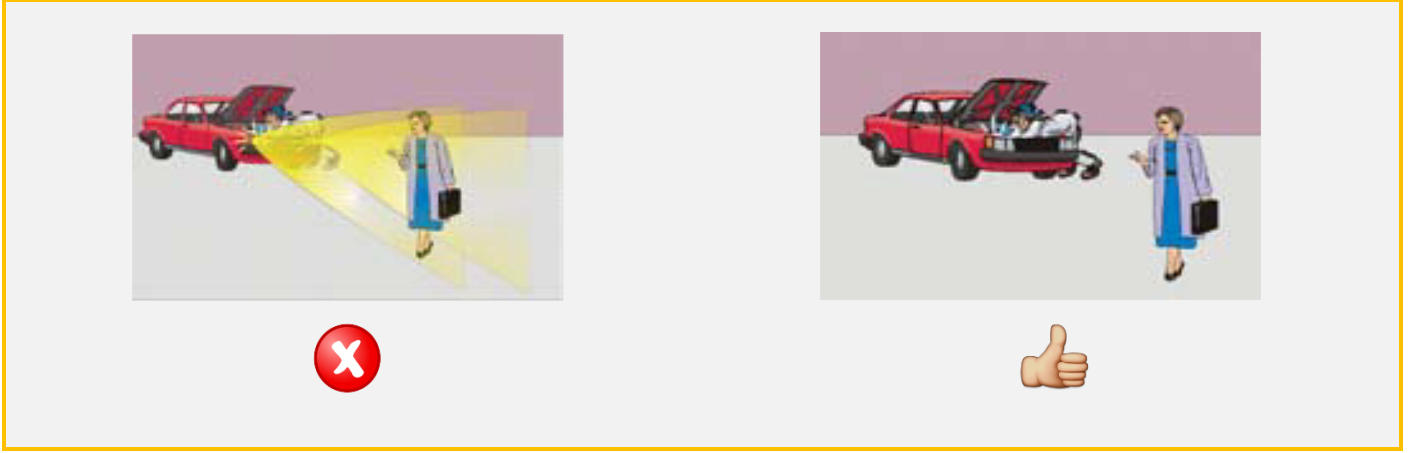
Maruziyet sınır değerinin (değerlerinin) aşılma ihtimalinin olduğu durumlarda, tehlikeler uygun yöntemler ile kontrol altına alınmalıdır. Risklerin ortadan kaldırılması aşamasında, kontrol önlemleri, hiyerarşik sıraya göre (takip edilmesi gereken sıraya göre) aşağıda belirtilmiştir:

- ▲ Tehlikenin (risk kaynağının) yok edilmesi / ortadan kaldırılması
- ▲ Daha az tehlikeli çalışma şekli veya ekipman seçilmesi
- ▲ Mühendislik önlemler
- ▲ Yönetimsel (İdari) önlemler
- ▲ Kişisel koruyucu donanım

#### 5.1.1. Tehlikenin Ortadan Kaldırılması

*“Tehlikeli optik radyasyon yayan kaynağın kullanılması gerçekten gerekli mi?”*

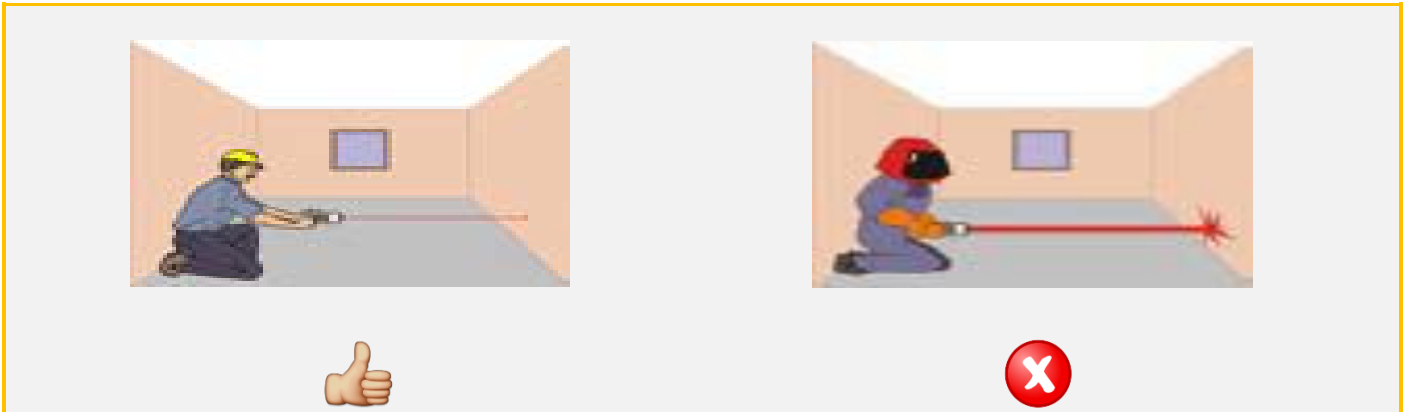
(Örneğin, ışıkların açık olması gerçekten gerekli mi?)



### 5.1.2. Daha Az Tehlikeli Çalışma Şekli veya Ekipman Seçilmesi

“Tehlikeli düzeyde optik radyasyon seviyesi gerekli mi?”

(Örneğin, bu kadar parlak olması gerçekten gerekli mi?)



### 5.1.3. Mühendislik Önlemler

“Optik radyasyon kaynağı, daha az optik radyasyon yayacak şekilde tasarlanabilir mi / kullanılabilir mi? Tehlikeler, optik radyasyon kaynağında kontrol altına alınabilir veya azaltılabilir mi?”

Eğer, yüksek öncelikli önlemlerin (kullanımdan kaldırma veya değiştirme) uygulanması mümkün değilse, riskin azaltılması için öncelik, mühendislik çalışmalara verilmelidir. Daha etkili kontrol önlemleri için, yönetsel önlemler, mühendislik çalışmalarla beraber kullanılabilir. Eğer risk azaltılamıyorsa veya istenilen seviye de azaltım sağlanamıyorsa, son çare olarak kişisel koruyucu donanım kullanımı düşünülmelidir. Mühendislik önlemler içerisinde yer alan uygulamalar, tablo 5.1’de toplu olarak belirtilmiştir.

**Tablo 5.1:** Mühendislik önlemler

<b>Optik radyasyonun mühendislik önlemler ile azaltılmasına yönelik uygulamalar</b>		
Koruyucu Bölmeler	Uyarı Işıkları	Işın Zayıflatıcı Düzenekler
Bariyerler	Ses Sinyalleri	Kapaticılar
Sviçler	Kumanda Kontrolleri	Filtreli İnceleme Ekranları
Kilit Sistemleri	Hizalama Yardımcıları	Yansımaların Önlenmesi
Geciktirici Mekanizmalar		

### 5.1.3.1. Kaynağa Erişimin Engellenmesi

Kaynağa erişimin engellenmesi, sabit muhafazalarla veya kilit sistemleri olan hareketli muhafazalarla sağlanabilir. Sabit muhafazalar, genellikle, ekipmanın düzenli olarak erişim gerektirmeyen kısımlarına konulur ve kalıcı olarak bu kısımlarda bulunurlar. Ekipmanın erişim gerektiren (acil müdahale vb. durumlarda) kısımları içinse, hareketli ve istenildiğinde açılabilir muhafaza sistemleri kullanılır. Muhafaza kullanımında, aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmelidir:

- ▲ Muhafazalar, yeterli büyüklükte ve sağlam olmalıdır.
- ▲ Muhafazalar, herhangi bir ek riske yol açmamalı ve cihazla çalışılmasını engellememelidir.
- ▲ Muhafazalar, kolayca devre dışı bırakılamamalı veya çıkarılamamalıdır (sabit muhafazalar).
- ▲ Muhafazalar, tehlikeli bölgeden yeterli mesafede olmalıdırlar (sabit muhafazalar).

### 5.1.3.2. İşlemi Kısıtlayarak Koruma Sağlanması

Operatörün sıklıkla, malzeme koyma / alma veya ayar yapmak için kaynağa erişiminin gerektiği ve koruyucu muhafazaların kullanımının zor olduğu durumlarda (korumaları kaldırmak, tekrar takmak vb. durumlardan dolayı yaşanan zorluk), genellikle algılayıcı sensörler kullanılır. Sensörler kullanım kolaylığı sağlarlar. Kaynağa erişimi kısıtlayamaz ve operasyon bölgesinde (tehlikeli bölge) risk oluşturacak bir durumda, cihazın çalışmasını durdururlar.

### 5.1.3.3. Acil Durdurma Sistemleri

Bir çalışanın tehlikeli bölgeye girmesi durumunda, tehlike durumunda tüm çalışanların kolayca erişebileceği acil durdurma butonları olmalıdır. Acil durdurma sistemi, hızlı tepki verebilmeli ve acil



durumda, tehlike bölgesinde çalışan tüm sistemi durdurabilmelidir. Genellikle acil durdurma olarak kırmızı butonlar kullanılsa da, bazı durumlarda acil durdurma sistemine bağlı halat kullanılması ve halat çekildiğinde sistemi durması şeklinde acil durdurma sistemlerinin kullanılması daha iyi olabilmektedir.

#### 5.1.3.4. Kilitleme Sistemleri

Kilitleme sistemleri, cihaz çalışırken tehlike bölgeye erişimi, kapak ya da vb. kilitleyerek engelleyen sistemler olup, piyasada çok sayıda farklı özelliklere sahip kilitleme sistemi vardır. Kilitleme sistemlerinin seçiminde, kullanılan kilitleme anahtarlarının, yapılan işe uygun olmasına dikkat edilmelidir. Kilitleme sistemleri ile ilgili dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda belirtilmiştir:

- ▲ Kilitleme sistemleri, iyi kurulmuş ve öngörülemeyen durumlarda bile güvenilir olmalıdır.
- ▲ Kilit sistemleri, dış müdahalelere karşı dayanıklı olmalıdır.
- ▲ Kilit sistemlerinin çalışıp çalışmadığı kolayca takip edilebilmelidir (örneğin, uyarı lambaları ile)
- ▲ Kilitleme sistemleri, kapak ya da kapı tamamen kapanmadan cihazın çalışmasına izin vermemelidir.

Kilitleme sistemleri için ayrıntılı bilgi aşağıda belirtilen standartlarda bulunabilir.

- TS EN ISO 14120: Makinelerde Güvenlik - Muhafızlar - Tasarım için genel şartlar ve sabit ve hareketli korumaların inşaat
- TS EN ISO 13857: Makinalarda güvenlik- Kol ve bacakların ulaşabileceği bölgelerde tehlikenin önlenmesi için güvenlik mesafeleri
- TS EN 349+A1: Makinalarda güvenlik - İnsan vücut azalarını ezilmeye karşı korumak için asgari açıklıklar
- TS EN ISO 14119: Makinalarda güvenlik-Koruyucular ile beraber olan ara kilitleme tertibatları-Tasarım ve seçim için prensipler
- TS EN 60825-1: Lazer ürünlerinin güvenliği - Bölüm 1: Donanım sınıflandırması ve kurallar

#### 5.1.3.5. Filtreler ve Görüntüleme Pencereleri

Endüstride proseslerin pek çoğu, kısmen veya tamamen kapalı sistemler içerisinde yürütüldüğünden, yürütülen prosesi bilgisayar ekranından veya uygun ekranlar arkasından takip etme imkânı vardır. Güvenli çalışma, tehlikeli seviyede optik radyasyonun ulaşmasını engelleyecek

şekilde uygun filtreleyici materyaller kullanılarak sağlanabilir. Filtre kullanımı, güvenlik gözlüklerine duyulan ihtiyacı kaldırarak, operatör için güvenli çalışma imkânı sağlar. Filtreleme malzemeleri kullanılırken, aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmelidir:

- ▲ Filtre malzemesi dayanıklı ve uygun olmalıdır.
- ▲ Operasyonun güvenliğini tehlikeye atmamalıdır.
- ▲ Darbelere karşı dirençli olmalıdır.



**Şekil 5.1:** Görüş panelleri ile optik radyasyonun filtrelenmesi

Pencerelerden (ekranlardan) ve diğer optik yarı saydam panellerden geçerek gelen optik radyasyonda, potansiyel risk olarak kabul edilmelidir. Optik radyasyon, direk olarak retinal tehlike yaratmasa da, meydana getirebileceği geçici görme bozukluğu sebebi ile dolaylı tehlikeler oluşturabilir.

#### **5.3.1.6. Hizalama Yardımcıları**

Lazer ışın yönlerinin rutin bakımlarında (ayarlamalarında) hizalama yapılırken, aşağıdaki hususlara dikkat edilerek, işlemin yapılması güvenlik için önemlidir.

- ▲ Daha düşük güçte lazer kullanılarak hizalama yapılmalıdır.
- ▲ Maskeler veya hedefler kullanılmalıdır.
- ▲ İnsan gözü veya derisi hiçbir zaman hizalama için hedef olarak kullanılmamalıdır.

#### **5.1.4.Yönetimsel Önlemler**

Yönetimsel önlemler, kontrol hiyerarşisinde ikinci sırada yer alırlar. Temel amaç olarak, insanların bilgilendirilmesi ve dikkatli çalışılmasını hedeflediklerinden, başarı dereceleri çalışanların dikkatine ve özverisine bağlıdır. Bununla birlikte; servis (bakım) gibi işlerde, ana kontrol etmeni çalışan olduğundan, kullanılmaları daha uygundur.

Uygun yönetimsel kontrol önlemleri, işlerin güvenlikle yönetilmesi için görevlendirmeler, uyarı işaretleri, giriş kısıtlanması, çalışma prosedürleri vb. uygulamaları içerir. Yönetimsel olarak, kontrol

dökümanı hazırlamak, etkin bir önlem prosedürü uygulanmasına yardımcı olabilir. Bu doküman aşağıdaki bilgileri içerebilir:

- ▲ Optik radyasyon güvenlik politikasının ifade edilmesi
- ▲ Temel organizasyonel düzenlemelerin bir özeti
- ▲ Risk değerlendirmesinin bir kopyası
- ▲ Ek kontrol önlemlerini de içeren bir eylem planı ve eylem takvimi
- ▲ Uygulanan kontrol yöntemlerinin bir özeti, ne için uygulandıkları
- ▲ Optik radyasyonla kontrollü olarak çalışın alanlar
- ▲ Yetkili birimin imzası
- ▲ Kontrol önlemlerinin ne kadar süre ile sürdürüleceğinin planlanması
- ▲ Acil durum planının detayları
- ▲ Denetim planı
- ▲ Denetim raporu

#### **5.1.4.1. Kontrollü Alanlar**

Maruziyet sınır değerlerin üzerinde optik radyasyona maruz kalınma ihtimali olan alanlar, kontrollü bölge olarak belirlenmeli ve kontrollü alanlara, yetkili personel dışındaki kişilerin girişi kısıtlanmalıdır. Girişlerin kısıtlanması (engellenmesi) bu alanların duvar ve kapılarla kapatılması gibi yollarla sağlanabileceği gibi, şifreli girişler veya bariyerler ile de sağlanabilir.

Kontrollü alanların belirlenmesi, girişe yetkili kişilerin tanımlanması ve diğer sınırlandırmalar yönetim tarafından yapılmalıdır. Girişe yetkili kişilerin, eğitimleri, yeterlilikleri ve kurallara hâkimiyetleri yönetim tarafından belirlenmelidir. Bu değerlendirmenin sonuçları ve kayıtlı tüm yetkili kullanıcıların isimleri resmi kayıt altına alınmalıdır.

#### **5.1.4.2. Güvenlik İşaretleri ve Uyarılar**

Güvenlik işaretlerinin ve bildirimlerinin kullanımı, organizasyonel önlemlerin önemli bir alanını oluşturur. Güvenlik tabelaları, açık bir dille yazılmış ve görülebilir olmalıdır. Uyarı levhaları, kullanılan ekipman için bir gereksinim varsa, bu konuda bir uyarı içerebilir. Ayrıca ekipmanı kullanacak kişi için kişisel koruyucu donanım kullanım zorunluluğu varsa, uyarı levhasında bu bilgide yer alabilir.

Tüm sağlık ve güvenlik işaretleri (tabelaları), kişinin göz hizasında konumlandırılmalı ve okunabilir olmalıdır. Aşağıda, kullanılabilecek sağlık ve güvenlik işaretlerine örnekler verilmiştir.



#### 5.1.4.3. İşyeri Dışından Uzmanlık Hizmeti Alınması

Bazı çalışma şekillerinde veya kullanılan ekipmana bağlı olarak, optik radyasyon ile çalışan personelin eğitilmesi yeterli olmayacaktır. Bu tip durumlarda, işyeri dışından güvenlik ile ilgili konularda uzman desteği alımı, iyi bir çözüm sunabilmektedir.

Dışarıdan uzmanlık desteği alınması aşağıdaki konularda yarar sağlar:

- ▲ Mühendislik önlemler
- ▲ Ekipmanının güvenli kullanımı için güvenlik prosedürlerinin yazımı
- ▲ Operasyonel ve mesleki güvenlik önlemleri
- ▲ Uygun kişisel koruyucu donanım seçimi
- ▲ Personel eğitimi

#### 5.1.4.4. Çalışanların Eğitimi ve Görüşlerinin Alınması

“Çalışanların iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin usul ve esasları hakkında yönetmelik” esaslarına göre, çalışanlara ve çalışan temsilcilerine optik radyasyondan kaynaklanan riskler hakkında ve aşağıda belirtilen konularda eğitim verilmelidir:

- ▲ Mevzuat hükümleri
- ▲ Maruziyet sınır değerleri ve ilgili riskler
- ▲ Risk değerlendirme sonuçları, maruziyet değerini belirleme için yapılan ölçüm ve/veya hesaplama sonuçları ve ne anlama geldikleri
- ▲ Maruziyetten kaynaklanan olumsuz sağlık etkilerinin nasıl belirleneceği ve nasıl rapor edileceği
- ▲ Sağlık gözetimi
- ▲ Riskleri en aza indirmek için güvenli çalışma yöntemleri
- ▲ Kişisel koruyucu donanımların doğru kullanımı

Çalışanlara verilecek eğitimlerin düzeyi, optik radyasyona maruziyetten kaynaklanan risklerin büyüklüğü ile orantılı olmalıdır. İşyerindeki tüm kaynaklar önemsiz kaynak olarak sınıflandırılmış ise eğitim vermeye gerek olmayıp, çalışanların bilgilendirilmesi yeterlidir. Tüm kaynaklar önemsiz olsada çalışanların ve temsilcilerinin, optik radyasyona hassasiyeti olabileceği düşünülmelidir. İşveren, çalışan eğitiminin düzeyini belirlerken aşağıdakileri dikkate almalıdır:

- ▲ Personelin optik radyasyon konusundaki uzmanlık düzeyi ve optik radyasyondan kaynaklanan risklerin büyüklüğü
- ▲ Mevcut risk değerlendirmesinin sonuçları
- ▲ İşyeri çalışma ortamı ve çalışma şekillerinin değişip değişmediği
- ▲ Dışarıdan uzmanlık hizmeti alınıp alınmadığı
- ▲ İşyerinde yeni çalışan olup olmadığı veya optik radyasyon ile çalışacak yeni personel olup olmadığı

Eğitimler belirlenirken, optik radyasyondan kaynaklanan risklerin doğru olarak belirlenmesi önemlidir. Örneğin, Sınıf 2 lazer işaretçisi ile çalışan kişiler için eğitim programı gerekli değilken, Sınıf 3B ve Sınıf 4 lazerler ve Risk Grubu 3'teki koherent olmayan kaynaklar ile çalışan işçiler için eğitim her zaman gereklidir.

Eğitim programlarının içeriğinin belirlenmesi ve çalışan görüşünün alınması aşamasında, 6331 Sayılı İSG Kanun'unda belirtilen çalışanların görüşlerinin alınmasına ilişkin hükümler temel alınır.

#### **5.1.5. Kişisel Koruyucu Donanım**

Kişisel koruyucu donanımlar sadece, optik radyasyondan kaynaklanan risklerin ortadan kaldırılmasında, mühendislik ve / veya yönetsel önlemlerin yetersiz veya etkisiz kaldığı durumlarda kullanılmalıdır. Kişisel koruyucu donanımların amacı, risklerin olumsuz sağlık durumlarına sebep olamayacak seviyelere indirilmesidir. Optik radyasyon maruziyet sınır değerleri dalga boyuna bağlı olduğundan, kişisel koruyucu donanımların azaltma değerlerinin de dalga boyuna bağlı olduğu olabileceği unutulmamalıdır. Kişisel koruyucu donanım kullanımında, aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır:

- ▲ Kişisel koruyucu donanım, kendisi herhangi bir ek riske sebep olmamalı ve riskin seviyesine uygun olmalıdır
- ▲ Kişisel koruyucu donanım, işyerindeki çalışma koşullarına uygun olmalıdır.
- ▲ Kişisel koruyucu donanım, çalışanın sağlık durumuna ve ergonomisine uygun olmalıdır.

Optik radyasyona maruziyetten kaynaklanan risklere karşı korunma amacı ile kişisel koruyucu donanım seçilirken, aşağıda belirtilen optik dışı tehlikeler de dikkate alınmalıdır:

- ⚠ Darbeler
- ⚠ Delinmeler
- ⚠ Sıkışmalar
- ⚠ Kimyasallar

- ⚠ Sıcak / Soğuk
- ⚠ Zararlı Toz
- ⚠ Biyolojik Etmenler
- ⚠ Elektrik

Tablo 5.2'de, optik radyasyona karşı kullanılan KKD'ler ve kullanım amaçları ile ilgili bilgiler verilmiştir.

**Tablo 5.2:** Optik radyasyona karşı kullanılan kişisel koruyucu donanımlar

Kişisel Koruyucu Donanım	Fonksiyon
Göz Koruyucusu: Güvenlik gözlükleri, yüz koruyucu maskeler, siperlik	<p>Gözlük, işçinin çalışma alanındaki her şeyi görmesine izin vermeli, ancak optik radyasyonu kabul edilebilir seviyelere getirmelidir.</p> <p>Uygun gözlük seçimi, dalga boyu, güç / enerji, optik yoğunluk, reçeteli lenslere duyulan ihtiyaç, konfor vb. gibi birçok faktöre bağlıdır.</p>
Koruyucu Elbise ve Eldiven	<p>Optik radyasyon kaynakları yangın tehlikesi oluşturabilir ve bu durumda koruyucu bir giysi gerekli olabilir.</p> <p>UV radyasyonu üreten ekipman ciltte bir tehlike oluşturabilir ve cilt uygun koruyucu giysi ve eldivenler kullanılarak kaplanmalıdır.</p> <p>Kimyasal veya biyolojik ajanlarla çalışırken eldiven giyilmelidir.</p> <p>Uygulamaya göre koruyucu giysi veya eldiven gerekebilir.</p>

Solunum Ekipmanı	Yapılan iş sırasında zehirli ve zararlı dumanlar veya tozlar oluşabilir. Solunum ekipmanı acil kullanım için gerekli olabilir.
Kulak Koruyucuları	Bazı endüstriyel uygulamalarda kaynaklanan gürültü tehlikesi olabilir.

### 5.1.5.1. Gözlerin Korunması

Maruziyet sınır değerinin üzerinde bir optik radyasyon seviyesine maruz kalındığında, gözlerin zarar görme riski vardır. Diğer önlemler, sınır değerinin üzerindeki değerde optik radyasyonu kontrol etmek için yetersiz ise, ekipman üreticisi veya optik radyasyon güvenlik danışmanı tarafından önerilen ve dalga boyunu esas alan göz koruyucuları kullanılmalıdır.

Koruyucu gözlük üzerinde, dalgaboyu aralığı ve karşılık gelen koruma seviyesi açıkça işaretlenmiş olmalıdır. Koruyucu gözlüğün işaretlenmesi, farklı tipte koruyucu gözlük gerektiren çok sayıda kaynakla yapılan çalışmalarda son derece önemlidir. Tehlikeli spektral bölgedeki optik radyasyon için, koruyucu gözlük tarafından sağlanan zayıflama seviyesi, optik radyasyonu en az maruziyet sınır değerlerinin altındaki değere çekecek şekilde olmalıdır. Koruyucu gözlük doğru bir şekilde saklanmalı, düzenli olarak temizlenmeli ve tanımlanmış bir denetleme rejimine tabi tutulmalıdır. Koruyucu gözlük seçiminde göz önünde bulundurulması gereken hususlar Tablo 5.3'de belirtilmiştir.

**Tablo 5.3: Koruyucu gözlük seçiminde göz önünde bulundurulması gereken hususlar**

Soru	Cevap
Gerekli koruma seviyesi?	Zayıflatma (Azaltma Seviyesi) $> \frac{\text{Maruziyet Değeri}}{\text{Maruziyet Sınır Değeri}}$
Işık geçirgenliği? Görüş kalitesi?	Işık Geçirgenliği $> \% 20$ olan koruyucu seçilmelidir. Bunun mümkün olmadığı durumlarda, aydınlatma seviyesi artırılmalı, çizikler için filtre kontrol edilmelidir.
Çalışma ortamının renk algısı?	Koruyucu gözlüklerle, ekipman kontrollerinin (kumanda, buton vb.) ve acil durum işaretlerinin açıkça görülüp görülmediğini kontrol edilmelidir.

Çok fazla yansıma var mı?	Etrafta, ayna kaplamaları, parlak filtreler ve çerçeveler bulundurulmamalıdır.
Eğer gözlük şebeke elektriği veya batarya ile besleniyorsa ve güç kesintileri varsa, arıza yapar mı? Güvenli mi?	Güç kesildiğinde maksimum zayıflama sağlayan filtre seçilmelidir.

### 5.1.5.2. Cildin Korunması

Optik radyasyona maruziyette, genellikle en çok risk altında olan bölgeler, diğer alanlar genellikle iş elbiseleri ile kaplandığı için eller, yüz, baş ve boyundur. Tehlikeli düzeyde optik radyasyondan, düşük geçirgenlik sağlayan eldivenler giyilerek el derisi korunabilir. Yüz ise, göz koruması da sağlayan, emici bir yüz siperi ile korunabilir. Uygun şapkalar ise baş ve boyun koruması için kullanılabilir. Kişisel koruyucu donanımlar ile ilgili daha fazla bilgi için, aşağıda belirtilen standartlardan faydalanılabilir.

- TS EN ISO 4007 - Kişisel koruyucu donanım - Göz ve yüz koruma - Sözlük
- TS 5560 EN 166— Kişisel göz koruması - Özellikler
- TS EN 167 Kişisel göz koruması – Optik Deney Metotları
- TS 5558 EN 168: Kişisel göz koruması - Optik ile ilgili olmayan deney metotları
- TS EN 169: Kişisel göz koruması - Kaynakçılık ve ilgili teknikler için filtreler - Geçirgenlik özellikleri ve tavsiye edilen kullanım
- Lazerler için;
  - ❖ TS EN 207: Kişisel göz koruyucu donanımlar - Lazer ışınımına karşı filtreler ve göz koruyucular (lazer göz koruyucuları)
  - ❖ TS EN 208: Kişisel göz koruması- Lazer ve lazer sistemleriyle çalışmaya uygun göz koruyucuları (lazere uygun göz koruyucuları)



## EK A: OPTİK RADYASYONUN YAPISI

Işık, optik radyasyonun günlük hayatta karşılaşılan bir örneğidir. Bir lambadan yayılan ışık ise, yapay optik radyasyonun bir örneğidir. "Optik radyasyon" terimi, ışığın elektromanyetik radyasyon şekli olması ve göz üzerinde etkileri olmasından dolayı kullanılan bir terimdir. Optik radyasyon göze girdiği, odaklandığı ve göz tarafından algılandığı için optik terimi kullanılmaktadır.

Işık, renklerin sırayla dizildiği bir renk yelpazesinden oluşur ve bu yelpaze teknik olarak spektrum olarak adlandırılır. Göz tarafından algılayabildiğimiz ışık, bu yelpaze üzerinde sırasıyla kırmızı, turuncu, sarı, yeşil mavi ve moran oluşur. Işıқта algıladığımız bu renkler, ışık spektrumunda dalga boylarına göre sıralanır. Daha kısa dalga boylarındaki ışık, spektrumun mavi ucunda; daha uzun dalga boylarındaki spektrumun mavi ucunda yer alıyor gibi algılanır. Genel olarak ışığın, her biri karakteristik bir dalga boyuna sahip olan ve fotonlar olarak adlandırılan kütsüz parçacıkların oluşturduğu bir akım olduğu kabul edilir.

Elektromanyetik radyasyon spektrumu, görebildiğimiz dalga boylarının ötesine uzanır. Kızılötesi radyasyon, mikrodalga radyasyonu ve radyo dalgaları, dalga boyu daha uzun olan elektromanyetik radyasyon örnekleridir. Ultraviyole radyasyon, x-ışınları ve gama ışınlarının ise dalga boyları daha kısadır.

Elektromanyetik radyasyonun dalga boyu, radyasyon ile ilgili diğer bilgileri belirlemek için kullanılır. Elektromanyetik radyasyon bir malzeme ile etkileşime girdiğinde, etkileşim noktasında bir miktar enerji birikir ve birikin bu enerji, materyalde bazı etkilere neden olabilir (örneğin, retinaya gelen görünür ışık, beyine optik sinir yoluyla gönderilen bir sinyal üreten biyokimyasal reaksiyonları tetikleyecek kadar enerji bırakır). Bu tür etkileşimlerde erişilebilecek olan enerji miktarı, hem radyasyonun miktarına hem de radyasyonun ne kadar enerjisi olduğuna bağlıdır. Elektromanyetik radyasyonun enerjisi, dalga boyu ile ilişkilidir. Dalga boyu ne kadar kısaysa, radyasyonun enerjisi o kadar yüksektir. Örneğin; mavi ışığın enerjisi yeşil ışığa göre daha yüksektir, sırayla, yeşil ışığında enerjisi kırmızı ışığa göre daha yüksektir. Ultraviyole radyasyonun enerjisi, herhangi bir görünür dalga boyundan daha yüksektir.

Radyasyonun dalgaboyu, aynı zamanda etkileşime girdiği materyale (örneğin insan vücudu) nüfuz etme ve bu materyal ile etkileşime girme derecesini belirler. Örneğin, UVA, retinaya yeşil ışıktan daha az verimli (daha düşük enerjili) olarak iletilir. Elektromanyetik spektrumun göz ile algılanamayan bölümlerinin bazı kısımları da "optik radyasyon" olarak tanımlanır. Bunlar ultraviyole ve kızılötesi spektral bölgelerdir. Bu spektral bölümler, göz ile görülememekle birlikte (retinanın bu dalga boyları için detektörleri yoktur), görünür bölgeye kıyasla daha az ya da daha yüksek bir düzeyde göze nüfuz edebilirler. Daha anlaşılır olması için, optik radyasyon dalga boyuna göre, Tablo A.1'de belirtildiği gibi sınıflandırılır:

**Tablo A.1:** Optik radyasyon türlerinin dalgaboyuna göre dağılımı

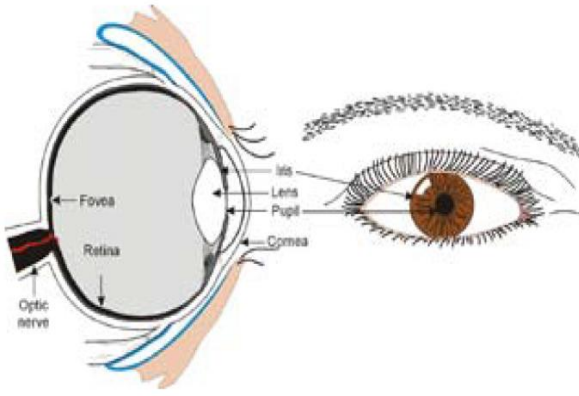
Optik Radyasyon Bölgesi	Dalga Boyu Aralığı
Ultraviyole 'C' - (UVC)	100–280 nm
Ultraviyole 'B' - (UVB)	280–315 nm
Ultraviyole 'A' - (UVA)	315–400 nm
Görünür	380–780 nm
Kızılötesi 'A' - (IRA)	780–1 400 nm
Kızılötesi 'B' – (IRB)	1 400–3 000 nm
Kızılötesi 'C' – (IRC)	3 000–1 000 000 nm (3 µm – 1 mm)

Direktif, eş zamanlı olmayan (arasında faz farkı bulunan radyasyon dalgalarından oluşan) optik radyasyon için 180–3000 nm spektrum bölgesi ve lazer radyasyonu (kohorent, tüm dalgaları eş zamanlı) için 180 nm - 1 mm arasındaki spektrum bölgesi için maruziyet sınır değerlerini vermiştir.

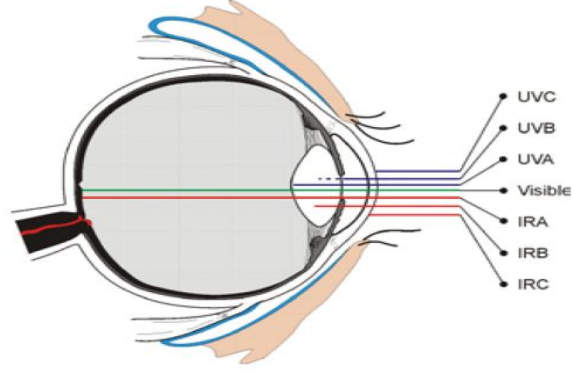
## EK B: OPTİK RADYASYONUN GÖZ VE CİLT ÜZERİNDEKİ BİYOLOJİK ETKİLERİ

### B.1. Göz

Göze giren ışık, kornea, vitröz humor (göz küresini dolduran sıvı) içinden geçtikten sonra değişken bir diyaframdan (pupil) geçip lens ve tekrar vitröz humordan geçerek retinada odaklanır. Optik sinir retinanın fotoreseptörlerinden beyne sinyaller taşır.



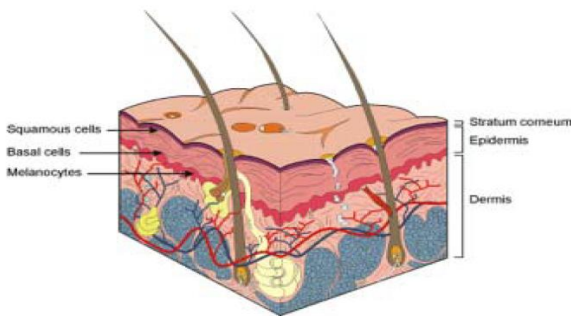
Şekil B.1.1. Gözün yapısı



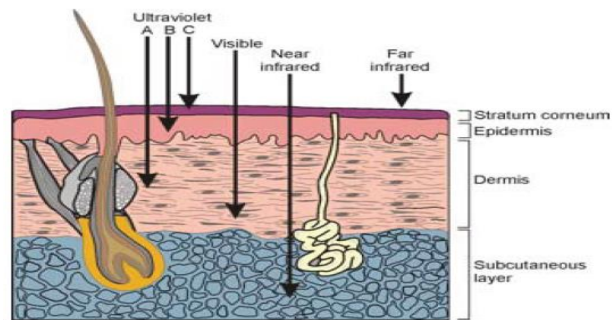
Şekil B.1.2. Farklı dalga boylarındaki optik radyasyonun göz üzerinden geçişi

### B.2. Cilt

Cildin dış tabakası olan epidermis, esas olarak keratinositleri (skuamöz hücreler) içerir. Bu hücreler, bazal hücre tabakasında üretilir ve yüzeye ulaşırlar. Dermis esas olarak kollajen liflerinden oluşur ve sinir uçlarını, ter bezlerini, saç köklerini ve kan damarlarını içerir.



Şekil B.2.1: Cildin yapısı



Şekil B.2.2: Farklı dalga boylarındaki optik radyasyonun deriden geçişi

### **B.3. Farklı Dalgaboylarının Göze ve Cilde Biyolojik Etkileri**

#### **B.3.1. Morötesi (Ultraviyole) Radyasyon (UVC, UVB, UVA)**

##### **B.3.1.1. Cilt Üzerindeki Etkiler**

Dalga boyu daha uzun olan UVA dalgalarının penetrasyonu (nüfuz etme) daha fazladır. Deride daha fazla ilerlerler. Bununla birlikte cilt üzerine gelen ultraviyole radyasyonun (UVR) büyük bir çoğunluğu epidermis tarafından emilmektedir.

Yüksek düzeyde UV radyasyonuna kısa süreli maruz kalma, eritemlere (cildin kızarması ve şişmesine) neden olur. Semptomlar şiddetli olabilir ve maksimum etki, maruziyetten 8–24 saat sonra ortaya çıkar. Etkilerin ortaya çıkması sonrasında cildin soyulması ve kuruması ile 3-4 günden sonra etkiler yatıştır. Daha sonrasında, cilt pigmentasyonunda bir artış görülebilir (gecikmiş bronzlaşma). UVA radyasyonuna maruz kalmak ayrıca deri pigmentasyonunda hızla ortaya çıkan ani ama geçici bir değişikliğe (Ani Pigment Kararması) neden olabilir.

Bazı insanlar, genetik, metabolik, diğer anormallikler nedeniyle veya belirli bir ilaç ya da kimyasal alımı veya teması nedeniyle UVR'ye maruz kaldıklarında anormal cilt tepkileri verebilirler.

UV radyasyonunun en ciddi uzun vadeli etkisi cilt kanserinin başlamasına yol açabilmesidir. Melanom dışı deri kanserleri (NMSC'ler) bazal hücre karsinomları ve skuamöz hücreli karsinomlardır. Nadiren ölümcül olmalarına rağmen, nispeten yaygındırlar. En çok yüz ve el gibi vücudun güneşe en sık maruz kalan bölgelerinde görülürler ve yaşın artmasıyla birlikte daha çok görülürler. Epidemiyolojik çalışmalardan elde edilen bulgular, her iki cilt kanseri riskinin, UV radyasyonuna kümülatif (zamanla, birikimli şekilde) maruz kalma ile ilişkili olabileceğini göstermektedir. Bu ilişki, skuamöz hücreli karsinomlar için daha da güçlüdür. Malign melanom, insidansı NMSC'den daha az olmasına rağmen, deri kanserine bağlı ölümlerin ana nedenidir. Naevi (mol) sayısı daha yüksek olan kişilerden, açık tenli, kızıl ya da sarı saçları olan, çile eğilimi olan, güneşe maruziyette bronzlaşma yerine yanığa meyilli olan kişilerde insidans daha yüksektir. Hem güneşe maruziyetin yol açtığı akut yanma olayları hem de kronik mesleki ya da dinlenme dönemlerinde maruziyet, malign melanom riskine katkıda bulunabilir.

UVR'ye kronik maruz kalma, ciltte ışığa bağlı yaşlanmaya neden olabilir. Işığa bağlı yaşlanma, elastikiyet kaybı ve deride kırışıklık ile tanımlanır. UVA dalga boyları dermisin kollajen ve elastin liflerine nüfuz edebilmesi nedeniyle, etki düzeyi en yüksek olan UVR'dir. UVR'ye maruz kalmanın bağışıklık sistemi tepkilerini etkileyebileceğini gösteren kanıtlar da vardır.

UVR maruziyetinin bilinen en yararlı etkisi, D vitamininin sentezidir. Eğer beslenmede yeterince D vitamini alınmadıysa, g¼nl¼k yaşamda g¼neř işığına kısa s¼reli de olsa maruz kalma yeterli D vitamininin ¼retilmesini sağlayacaktır.

### **B.3.1.2. G¼z ¼zerindeki Etkiler**

G¼ze ulaşan UVR, genel anlamda kornea ve lens tarafından emilir. 300 nm'den kısa dalga boylarındaki radyasyon, kornea ve konjonktiva tarafından kuvvetli bir şekilde soğurulur. UVC, korneanın y¼zeysel katmanlarında, UVB kornea ve lens tarafından emilir. UVA korneadan geğer ve lenste (mercekte) absorbe edilir.

UVR'ye aşırı dozda maruz kalmaya g¼z¼n tepkileri, fotokeratit ve fotokonjunktiviti (sırasıyla kornea ve konjonktiva iltihabı) içerir. Bu tepkiler, kar k¼rl¼ę¼, ark-g¼z¼, kaynakçı flaşı, kaynağın g¼z¼ alması gibi adlar altında bilinir. Semptomlar, hafif iritasyon, işık hassasiyeti, g¼zde yaşarmadan şiddetli ağrıya kadar değişiklik g¼stermektedir. Bu semptomlar, maruz kalmanın yoğunluğuna bağlı olarak 30 dakika'dan bir g¼ne kadar geçen s¼re içerisinde ortaya ęıkabilir ve genellikle birkaç g¼n içerisinde tersine d¼ner.

UVA ve UVB'ye kronik maruz kalma, g¼z merceğindeki protein değişikliklerine bağlı kataraktlara neden olabilir. UV'nin, g¼z¼n anterior dokularındaki emilimine bağlı olarak ęok az bir kısmı (% 1'den az UVA) retinaya geğer. Ancak, katarakt ameliyatı sonucu doğal bir lensi olmayan kişilerde, UV'yi emen bir yapay lens kullanılmadığa, retina UVR (300 nm dalga boyunda dalga boyunda) tarafından zarar g¼rebilir. Bu hasar, fotokimyasal olarak ¼retilmiř serbest radikallerin retina h¼crelerinin yapılarına saldırmasının sonucu olarak oluşmaktadır. Retina, g¼r¼n¼r işığa karşı istemsiz olarak kaçınma tepkileriyle akut hasardan normal olarak korunur, ancak UVR'ye karşı bu tepki ¼retilmez: UVR emici merceği olmayan kişiler bu nedenle UVR kaynakları ile ęalıřırken daha y¼ksek retinal hasar g¼rme riski altındadır.

Kronik UVR maruziyeti korneal ve konjonktival bozuklukların gelişimine katkı veren ¼neli bir etkidir. Bu rahatsızlıklar arasında, klimatik droplet keratopati (konjonktiva ve korneada sarı / kahverengi birikimlerinin birikmesi), pterijyum (korneanın ¼zerine yayılabilen, dokuların aşırı b¼y¼mesi) ve muhtemelen pinguecula (konjonktivanın proliferatif sarı bir lezyonu) bulunmaktadır.

### **B.3.2. G¼r¼n¼r B¼lge Radyasyonu**

#### **B.3.2.1. Cilt ¼zerindeki Etkiler**

G¼r¼n¼r b¼lge işıması, cilde n¼fuz eder ve n¼fuz ettiği noktada, yanmaya neden olabilecek d¼zeyde, sıcaklığa y¼kselebilir. V¼cut, kan akışı (ısıyı uzaklaştıran) ve terlemeyi arttırarak kademeli sıcaklık artışlarına karşı kendini ayarlayacaktır. Işınlama, akut yanığa neden olmak için yetersiz ise (10 s veya daha az), maruz kalan kişi, ısıya karşı doğal olarak g¼sterilen tepkilerle korunacaktır.

Daha uzun maruziyet süreleri için, termal stresten kaynaklanan ısı artışı başlıca olumsuz etkidir. Bu durumda Direktif tarafından özel olarak kapsanmamasına rağmen, ortam sıcaklığı ve iş yükü de dikkate alınmalıdır.

### **B.3.2.2. Göz Üzerindeki Etkiler**

Göz, görünür radyasyonu toplamak ve odaklamak üzerine çalıştığından, retina ciltten daha büyük risk altındadır. Parlak bir ışık kaynağına doğrudan bakmak, retina hasarına neden olabilir. Lezyon fovea'da (retinada objenin görüntüsünün oluştuğu özelleşmiş merkezi bölge), örneğin bir lazer ışınına doğrudan bakılması gibi durumlarda, ciddi görme kayıpları oluşabilir. Doğal koruyucu önlemler, parlak ışığa karşı gözün gösterdiği tepkiden ibarettir. Kaçınma tepkisi yaklaşık 0.25 saniyede çalışır ve kaçınma tepkisi süreden sonra göz bebeği, retinal ışığı 30 kata kadar düşürebilir ve kafa farklı bir yöne çevrilebilir.

Retina sıcaklığında 10–20 °C'lik artış, proteinlerin denatürasyonu (yapısında meydana gelen bozulmalar) nedeniyle geri dönüşü olmayan hasara yol açabilir. Radyasyon kaynağı, görme alanının büyük bir kısmını kaplıyorsa, görüntünün merkezi bölgesindeki retinal hücrelerin ısıyı hızlı bir şekilde uzaklaştırması zordur.

Görünür radyasyon, UVR ile aynı tipte fotokimyasal olarak ortaya çıkan hasara neden olabilir (görünür dalga boylarında, koruyucu bir mekanizma olan parlak ışığa karşı kaçınma refleksine rağmen). Bu etki en çok 435–440 nm civarında dalga boylarında görülür ve bu yüzden bazen “mavi ışık tehlikesi” olarak adlandırılır. Ortamda bulunan yüksek düzeyde görünür ışığa kronik maruz kalma, retina hücrelerinde fotokimyasal hasardan sebep olarak, renk ve gece görüşünün zayıflaması ile sonuçlanabilir.

Tamamen paralel ışıklardan oluşan ışın demeti (uzak bir kaynaktan çok küçük bir sapma, / dağılma ile gelen ışınlar ya da lazerler gibi) göze girdiğinde, retina üzerinde çok küçük bir alanda görüntü oluşturur ve yüksek düzeyde yoğunlaşarak gözde ciddi hasara yol açabilir. Bu odaklanma süreci, teoride, retina üzerindeki ışınımı (yüzeğe ulaşan radyasyon gücü) göze ulaşana kıyasla 500.000 katına kadar artırabilir. Bu durumlarda, parlaklık düzeyi, bilinen tüm doğal ve insan yapımı ışık kaynaklarını aşabilir. L

### **B.3.3. IRA**

#### **B.3.3.1. Cilt üzerindeki etkiler**

IRA, dokuya birkaç milimetre seviyesinde nüfuz eder ve bu derinlik dermise denk gelmektedir. Görünür radyasyon ile aynı termal etkileri üretebilir.

### **B.3.3.2. Göz üzerindeki etkiler**

Görünür radyasyon gibi IRA da kornea ve lens tarafından odaklanır ve retinaya iletilir ve retinada görünür radyasyonun yaptığı gibi aynı şekilde termal hasara neden olabilir. Bununla birlikte, retina IRA'yı algılamamaktadır ve bu nedenle göz, doğal kaçınma tepkisinin sağlayacağı korunmadan yoksundur. Bu nedenle, 380 ila 1.400 nm arasındaki spektral bölge (görünür ve IRA) kimi zaman "retinal tehlike bölgesi" olarak adlandırılır.

IRA'ya kronik maruz kalma kataraktın başlamasına yol açabilir. IRA'da, fotokimyasal olarak oluşan hasar riski meydana getirmek için yeterli enerji düzeyinde fotonlar bulunmaz.

### **B.3.4. IRB**

#### **B.3.4.1. Cilt üzerinde etkiler**

IRB deriye 1 mm'den daha az derinlikte nüfuz eder. Görünür radyasyon ve IRA ile aynı termal etkilere neden olabilir.

#### **B.3.4.2. Göz üzerindeki etkiler**

1.400 nm civarında dalga boyları için, aköz humor (vitröz sıvı) çok güçlü bir emicidir. Daha uzun dalga boyları, vitröz humor tarafından zayıflatılır, böylece retina korunur. Aköz humorun ve irisin ısınması, mercek de dâhil olmak üzere vaskülarize edilmemiş ve bu nedenle sıcaklığını kontrol edemeyen bitişik dokuların sıcaklığını yükseltebilir. Bu, IRB'nin lens tarafından doğrudan emilimi ile birlikte kataraktı tetikler.

### **B.3.5. IRC**

#### **B.3.5.1. Cilt üzerinde etkiler**

IRC sadece ölü deri hücrelerinin en üst katmanına (stratum corneum) nüfuz eder. Stratum corneum'u geçerek altta yatan dokulara zarar verebilen güçlü lazerler, IRC bölgesindeki en ciddi akut tehlikedir. Hasar mekanizması esas olarak termaldir, ancak yüksek pik güç lazerleri mekanik / akustik hasara neden olabilir.

Görünür radyasyonda olduğu gibi, IRA ve IRB dalga boylarında, ısı stresi ve termal stresten kaynaklanan rahatsızlık ve ısı stresi etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır.

#### **B.3.5.2. Göz üzerindeki etkiler**

IRC kornea tarafından emilir ve bu nedenle ana tehlike korneal yanıklardır. Göze bitişik yapıların sıcaklıkları, termal ilettime bağlı olarak artabilir, ancak ısı kaybı (buharlaştırma ve göz kırpması) ve kazancı (vücut ısısına bağlı olarak ortaya çıkan) bu süreci etkileyecektir.

## EK C. YAPAY OPTİK RADYASYON BİRİMLERİ VE NİCELİKLERİ

“Optik Radyasyonun Yapısı” bölümünde belirtildiği gibi, optik radyasyonun etkileri radyasyonun enerjisine ve radyasyonun miktarına bağlıdır. Optik radyasyonun miktarının tanımlanması için birçok kavram (nicelik) kullanılmaktadır.

### C.1. Temel Nicelikler

#### C.1.1. Dalga Boyu

Dalga boyu terimi ile optik radyasyonun karakteristik dalga boyu işaret edilir. Metrenin küçük alt bölümlerine ayrılmış birimlerle - genellikle 1 milimetrenin 1 milyonda birine eşit olan nanometre (nm) - ölçülür. Daha uzun dalga boylarında, mikrometre ( $\mu\text{m}$ ) kullanmak bazen daha uygundur. Bir mikrometre, 1000 nanometreye eşittir. Birçok durumda, sözkonusu olan optik radyasyon kaynağı, birçok farklı dalga boyunda foton yayacaktır. Formüllerin yazımında dalga boyu,  $\lambda$  (lambda) sembolü ile temsil edilir.

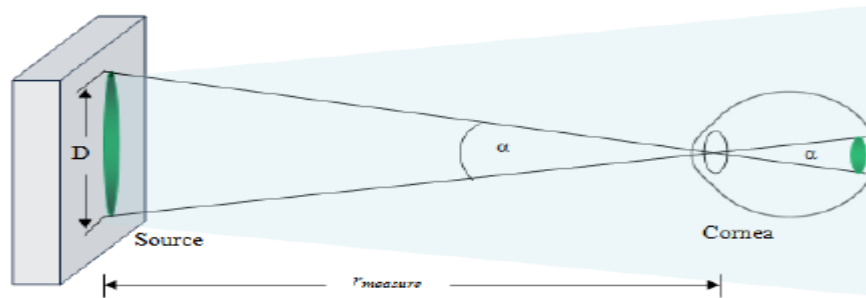
#### C.1.2. Enerji

Joule (J) olarak ölçülür. Her bir fotonun enerjisini (fotonun dalga boyuna bağlı olan enerjisini) belirtmek için kullanılabilir. Aynı zamanda, belirli bir miktarda foton içinde bulunan enerjiye, örneğin bir lazer darbesine de atıfta bulunabilir. Enerji, Q sembolü ile temsil edilir.

#### C.1.3. Diğer Nicelikler

##### C.1.3.1. Görme Açısı (Angular subtense)

Bu, bir nesnenin (genellikle bir optik radyasyon kaynağının) belli bir yerden (genellikle ölçümlerin yapıldığı nokta) bakıldığında görünen genişliğidir. Nesnenin gerçek genişliğini, nesneye olan mesafeye bölerek hesaplanır. Bu değerlerin her ikisinin de aynı birimlerde olması önemlidir. Bu değerler hangi birimlerde olursa olsun, sonuçtaki görme açısı birimi radyandır (r). Eğer nesne izleyicinin tam karşısında değilse belirli bir açıda duruyorsa, bakış açısı (viewing angle), açının kosinüsü ile çarpılmalıdır. Görme açısı Direktif'te  $\alpha$  (alfa) sembolü ile gösterilmiştir.



Şekil C.1: Görme açısı



### **C.1.3.2. Görme katı açısı (Solid angular subtense)**

Bu, görme açısının üç boyutlu eşdeğeridir. Nesnenin alanı mesafenin karesine bölünür. Yine, bakış açısının kosinüsü eksen dışı görüntülemeyi düzeltmek için kullanılabilir. Birimi, steradian (sr) ve sembol  $\omega$  (omega) 'dir.

### **C.1.3.3. Işın sapması (Beam divergence)**

Bu, optik radyasyon ışınının kaynaktan uzaklaşırken saptığı açıdır. Işın demeti genişliğini iki noktada alarak ve genişlikteki değişimleri noktaların arasındaki mesafeye bölerek hesaplanabilir. Radyan cinsinden ölçülür.

## **C.1.4. Maruziyet Limitlerinde Kullanılan Nicelikler**

### **C.1.4.1. Radyant güç**

Güç, enerjinin uzayda belirli bir konumdan geçiş hızı olarak tanımlanır. Birim yüzeyde birim zamanda bırakılan/geçen/yayılan/yansıtılan/aktarılan enerjidir. Watt birimi ile ölçülür. 1 watt saniyede 1 joule eşittir.  $\Phi$  (fi) sembolü ile temsil edilir.

"Güç" terimi, tanımlanmış bir optik radyasyon demetindeki gücü ifade etmede kullanılır. Bu durumda, genellikle CW gücü olarak adlandırılır. Örneğin, 1 mW'lik bir ışın gücüne sahip bir CW lazeri, her saniyede toplam 1 mJ'lik bir enerji ile fotonlar yayar. Güç ayrıca optik radyasyon pulsunu tanımlamak için de kullanılabilir. Örneğin, bir lazer 1 ms'de 1 mJ enerji içeren belirli bir puls yayarsa, puls gücü 1 W'dır. Puls daha kısa bir zamanda yayılmışsa, örneğin 1  $\mu$ s, güç 1 000 W olacaktır.

### **C.1.4.2. Işınım (Irradiance)**

Işıma, belirli bir konumda, birim alan başına ulaşan enerji düzeyi olarak düşünülebilir. Işıma, optik radyasyonun gücüne ve yüzeye ulaşan ışın demetinin alanına bağlıdır. Gücün alana bölünmesiyle hesaplanır. Birimi, metre kareye düşen Watt ( $W/m^2$ )'dir. E sembolü ile temsil edilir.

### **C.1.4.3. Işınımlanma (Radiant exposure)**

Işınımlanma, belirli bir konumda birim alan başına ulaşan enerji miktarıdır. Işınımın maruziyet süresi ile çarpılmasıyla hesaplanır. Birimi metrekare başına joule'dür ( $J/m^2$ ). Sembolü H'dir.

### **C.1.4.4. Işıma (Radiance)**

Işıma, bir optik radyasyon ışınının ne kadar yoğun olduğunu açıklamak için kullanılan bir terimdir. Belirli bir konumdaki ışınımın, kaynağın katı açısına bölünmesi ile hesaplanır. Katı açı, söz konusu konumdan kaynağın görülmesine bağlı olarak belirlenir. Işımanın birimi metrekare ve steradyan için watt başına watt'tır ( $W m^{-2} sr^{-1}$ ). L sembolü ile temsil edilir.

### C.1.5. Spektral Büyüklükler ve Geniş Bant Miktarları

Lazer gibi bir optik radyasyon kaynağının, sadece bir dalga boyunda (örneğin, 633 nm) yayıldığı yerlerde, alıntılanan herhangi bir miktar doğal olarak bu dalga boyundaki emisyonların tanımları olacaktır. Örneğin,  $\Phi = 5$  mW. Birden fazla dalga boyunun mevcut olduğu her bir ayrı dalga boyunun kendi miktarları olacaktır. Örneğin, bir lazer, 633 nm'de 3 mW ve 1 523 nm'de 1 mW yayabilir. Bu, kaynağın genellikle  $\Phi\lambda$  olan spektral güç dağılımının bir tarifidir. Bu lazer için  $\Phi = 4$  mW, bunun toplam radyan güç olduğunu belirtmek eşit derecede doğrudur: bu değer bir geniş bant değeridir. Geniş bant verileri, ilgili dalga boyu bölgesi içindeki tüm spektral verilerin toplanmasıyla hesaplanır.

### C.1.6. Radyometrik Büyüklükler ve Etki Oluşturan Miktarlar

Şimdiye kadar tartışılan tüm miktarlar radyometrik miktarlardır. Radyometrik veriler, bir radyasyon alanının bazı yönlerini tanımlamakta ve açıklamaktadır. Radyasyonun biyolojik bir hedef üzerindeki etkilerini göstermezler. Örneğin, 270 nm'de  $1 \text{ W m}^{-2}$  ışınımı kornea için 400 nm'de  $1 \text{ W m}^{-2}$ 'den daha tehlikelidir. Biyolojik etkilerle ilgili bilgilerin gerekli olduğu durumlarda, etkin miktarlar kullanılmalıdır. Maruz kalma limitlerinin birçoğu, biyolojik bir etkinin önlenmesi için tasarlandığından etkili miktarlarda ifade edilmektedir.

Uygun miktarlar, bilim adamlarının, belirli bir etki için kapasitenin dalga boyu ile nasıl değiştiğine dair bir fikrinin olduğu durumlarda mevcuttur. Örneğin, fotokeratite neden olan radyasyonun etkinliği, 250 nm'den 270 nm'ye kadar bir tepe seviyesinde yükselir, daha sonra 270 nm'den 400 nm'ye kadar hızla düşer. Bağlı spektral etkinliğin bilindiği yerde, genellikle  $S\lambda$ ,  $B\lambda$ ,  $R\lambda$  gibi bir sembol verilir.

Bunlar sırasıyla, fotokeratit / eritem, retinal fotokimyasal hasar ve Retinal termal hasara neden olan nispi spektral etkilerdir. Göreceli spektral etkinlik değerleri, bir dizi spektral radyometrik veriyi çoğaltmak ve spektral etkili verileri üretmek için kullanılabilir. Bu etkili veriler, daha sonra, sıklıkla kullanılan spektral etkinlik değerlerine atıfta bulunan bir alt simge ile belirtilen geniş bant etkili bir miktar üretecek şekilde toplanabilir. Örneğin,  $LB$ ,  $B\lambda$  spektral ağırlık değerleri kullanılarak spektral olarak ağırlıklandırılmış bir geniş bant parlaklık değerini ( $L$ ) gösteren semboldür.

### C.1.7. Parlaklık

Şimdiye kadar çözülmemiş olan biyolojik olarak etkili bir miktarın bir örneği parlaklıktır. Herhangi bir maruz kalma sınırı için kullanılmamasına rağmen, geniş bantlı beyaz ışık kaynaklarının retinal hasara neden olma potansiyelinin ön değerlendirmesi için çok yararlıdır. Luminance sembolü  $L_v$ 'ya sahiptir ve metrekare başına kandela cinsinden ölçülür ( $\text{cd m}^{-2}$ ). Tanımladığı biyolojik etki, günışığı uyarlanmış göz tarafından görüldüğü gibi aydınlatmadır ve lüks olarak ölçülür. Bir kaynaktan bir yüzeye ışıklandırma, kaynağa olan uzaklık ve kaynağın boyutları göz önüne alındığında, parlaklık kolayca hesaplanabilir.

## EK D. ÇALIŞMA ALANI İLE İLGİLİ ÖRNEKLER

### D.1. Ofis

Aşağıdaki örnekler, birçok çalışma ortamında yaygın olarak bulunabilecek çeşitli optik radyasyon kaynaklarını kapsamaktadır. Bu basit kaynaklardan gelen riski değerlendirmek için ortak bir yaklaşım kullanılmıştır. Bu yaklaşım aşağıda detaylı olarak açıklanmış ve sonraki başlıklarda yer alan örneklerin her birinde uygulanmıştır.

#### D.1.1. Genel Yöntemin Açıklaması

Riskin değerlendirmesi için, genel metot (yaklaşım) “TS EN 62471 - Lambaların ve lamba sistemlerinin fotobiyolojik güvenliği” standardından alınmış olup, kullanılan genel yaklaşım aşağıda belirtildiği gibi birkaç adımda gerçekleştirilir:

- ▲ Kaynağın tanımlanması
- ▲ Maruziyet mesafesinin belirlenmesi
- ▲ Hangi maruziyet limitlerinin uygulanacağına karar verilmesi
- ▲ Maruziyet limitlerinin gerektirdiği geometrik faktörlerin hesaplanması
- ▲ Ön değerlendirme yapılması
- ▲ Basitleştirilmiş varsayımlar kullanarak değerlendirme yapılması
- ▲ Değerlendirme kabul edilemez olası riskleri gösteriyorsa, ileri bir risk değerlendirmesi yapılması

İlk olarak, kaynak tarif edilir ve boyutları listelenir. Kaynak, görünür veya IRA spektral bölgelerinde yayım yapıyorsa, bu boyutlara ihtiyaç duyulur. Ölçme mesafesi genellikle mümkün olan en kısa mesafe değil, insanların kaynağa en yakın olduğu uzaklık olarak seçilir.

#### D.1.2. Maruziyet Sınır Değerlerinin Seçimi

“Hangi maruziyet sınır değeri uygundur?” Direktif EK-1, Tablo 1.1 ve rehberin Tablo D.1’i referans alınarak ve çalışanın 8 saatlik günlük çalışması için (muhtemel en kötü durumlar göz önünde bulundurularak) maruziyet sınır değeri seçilir.

Kaynak UVR yayarsa genellikle Tablo D.1, a ve b dizinlerinde belirtilen maruziyet sınır değerleri, kaynak görünür ışık veya IRA yayarsa Tablo D.1, d ve g dizinlerinde belirtilen sınır değerleri uygulanmaktadır. İstisnai durumlarda, diğer maruziyet sınır değerleri de kullanılabilir. Örneğin, maruziyet sınır değeri d'nin üzerinde bir radyasyona maruziyet riski varsa, c sınır değeri kullanılır. Maruz kalma limiti h, maruz kalma limiti g'nin ihlali muhtemel ise kullanılır. Bu tür durumlar

sadece risk değerlendirmesi s¼recinde ortaya çıkar. Maruziyet sınır değerlerinde belirtilen dizinlerin kullanımı, ağırlıklandırma fakt¼rlerinin kullanımı ile alakalıdır.

**Tablo D.1:** Maruziyet sınır değerleri tablosu

Dizin	Dalga boyu, nm	Birim	V¼c¼t b¼l¼m¼	Tehlike	Uygunluk
<b>a</b>	180–400  (UVA, UVB, UVC)	$J m^{-2}$	G¼z korneası  Konjonkti v  G¼z merceği  Cilt	Fotokeratit  Konjonktivit Kataraktogenez Eritem  Elastoz  Cilt kanseri	Evet, eğer kaynak UVR yayarsa
<b>b</b>	315–400  (UVA)	$J m^{-2}$	G¼z merceği	Katarakt	Evet, eğer kaynak UVR yayarsa
<b>c</b>	300–700  (Mavi Işık)  ( $\alpha \geq 11$ mrad ve $t \leq 10\ 000$ sn)	$W m^{-2} sr^{-1}$			Hayır, en uzun maruziyet en k¼t¼ durum olurdu.
<b>d</b>	300–700  (Mavi Işık)  ( $\alpha \geq 11$ mrad ve $t > 10\ 000$ sn)	$W m^{-2} sr^{-1}$			Evet, kaynak g¼r¼n¼r b¼lgede yayılıyorsa. Bu sınır en k¼t¼ ihtimalle 8 saatlik maruziyeti kapsar.
<b>e</b>	300–700	$W m^{-2}$	G¼z retinası		

f	(Mavi Işık) ( $\alpha < 11$ mrad ve $t \leq 10\ 000$ sn)			Fotoretinit	Her zaman olmamakla birlikte genellikle ortak kaynaklar oldukça büyüktür.
	300–700 (Mavi Işık) ( $\alpha < 11$ mrad ve $t > 10\ 000$ sn)	$W\ m^{-2}$			
g	380–1400 (görünür ve IRA) ( $t > 10$ sn)	$W\ m^{-2}\ sr^{-1}$	Göz retinası	Retina yanığı	Evet, kaynak görünür bölgede yayılıyorsa. Bu sınır en kötü ihtimalle 8 saatlik maruziyeti kapsar.
h	380–1400 (görünür ve IRA) ( $t\ 10\ \mu sn$ ila $10$ sn)	$W\ m^{-2}\ sr^{-1}$			Hayır, en uzun maruziyet en kötü durumdur.
i	380–1400 (görünür ve IRA) ( $t < 10\ \mu sn$ )	$W\ m^{-2}\ sr^{-1}$			
j	780–1400 (IRA) ( $t > 10$ sn)	$W\ m^{-2}\ sr^{-1}$		Retina yanığı	Her zaman olmamakla birlikte, ortak kaynaklar genellikle g, h ve i sınırlarına daha uygun

<b>k</b>	780–1400 (IRA) (t 10 µsn ila 10 sn)	$W m^{-2} sr^{-1}$	Göz retinası		olan görünür radyasyon yayarlar.
	<b>l</b>	780 –1400 (IRA) (t < 10 µsn)			
<b>m</b>	780–1400 (IRA, IRB) (t ≤ 1 000 sn)	$W m^{-2}$	Göz kornea merceği	Kornea yanığı	
<b>n</b>	780–3000 (IRA, IRB) ( t > 1 000 sn)	$W m^{-2}$			
<b>o</b>	380–3000 (görünür, IRA, IRB)	$J m^{-2}$	Cilt	Yanık	Her zaman olmamakla birlikte, bu sadece güçlü ısı üreten endüstriyel kaynaklar için bir sorundur.

### D.1.3. Geometrik Faktörler

Kaynak görünür ışık ve / veya IRR yayıyorsa, uygun maruziyet sınır değerleri ve radyometrik miktarlar, geometrik faktörlere bağlı olur. Bu faktörlerin bazıları Direktifte tanımlanmış olup diğerleri TS EN 62471 'de açıklanmıştır.

Geometrik faktörler aşağıda belirtilmiştir:

$\theta$ : Ölçüm için kullanılan görüş mesafesi ve kaynak yüzeyi arasındaki dik açı



**Şekil D.1:**  $\theta$  açısının gösterimi

**Z:** Kaynağın ortalama boyutu.

**$\alpha$ :** Kaynağın katı açısı.

**$C\alpha$  :**  $\alpha$ 'ya bağımlı faktör.

**$\omega$  :** Kaynak tarafından belirlenen katı açı

Bu faktörlerden herhangi birini hesaplamadan önce, kaynağın homojen bir alan oluşturup oluşturmadığını belirlemek önemlidir. Kaynak homojen ise, kaynak alanının tamamı için herhangi bir boyut (uzunluk, genişlik vb.) anlaşılmalıdır. Zayıf bir reflektörün önünde parlak bir lamba gibi, eğer kaynak belirgin bir şekilde homojen değilse, kaynağın en parlak ışığı yayan kısmının boyutu ele alınmalıdır. Bir kaynağın iki veya daha fazla özdeş yayıcıdan oluştuğu yerlerde ise, her biri ölçülen emisyonların oranına katkıda bulunan ayrı bir kaynak olarak ele alınabilir.

### Z'nin hesaplanması:

Kaynağın görünen uzunluğu ( $l$ ) = gerçek uzunluk  $\times \cos\theta$

Kaynağın görünür genişliği ( $w$ ) = gerçek genişlik  $\times \cos\theta$

$Z$ ,  $l$  ve  $w$ 'nin ortalamasıdır.

**Not:** Kaynak yüzeyine dik olarak bakılıyorsa,  $\cos\theta = 1$  alınır. Kaynak dairesel ve kaynağa  $90^\circ$  açı ile bakılıyorsa,  $Z$  çapa eşittir

## Kaynağın görünen alanının (A) hesaplanması:

Gerçek alan  $\times \cos \theta$  (dairesel bir kaynak için)

$l \times w$  ( diğ er kaynaklar için)

## Kaynağa olan uzaklık = r ise ve tüm boyutlar aynı birimlerde ölçülmüşse:

$\alpha = Z / r$ , radyan (rad) cinsinden

$\text{rad} = A / r^2$ , steradian (sr) cinsinden

\*  $C_{\alpha}$ ,  $\alpha$ 'ya dayanır ve sadece retinal termal tehlike maruziyet limitleri için bir değ er hesaplamakta kullanılır. Buradaki tüm değ erlendirmeler aşağıda açıklanan varsayımları basitleştirmeye dayandığından,  $C_{\alpha}$  hesaplanmamaktadır.

### D.1.4. Ön Değ erlendirme

Maruziyet limitlerine göre, retinal tehlikeler için,  $< 10^4 \text{ cd m}^{-2}$  luminans parlaklığında, genel aydınlatma kaynağı olan beyaz ışık kaynakları için tam bir değ erlendirme yapmaya gerek yoktur (filtre edilmemiş akkor, flüoresan ve ark lambaları da dahil olmak üzere).

Önerilen limitler ultraviyole radyasyon yayımlarından kaynaklanan riskleri değ erlendirmekte yeterli olmayabilir. Bununla birlikte, görünür ve IRR emisyonlarında tam bir risk değ erlendirilmesi gerekip gerekmediğıne karar vermek için kullanılabilir. Önerilen limitleri uygulamak için, 380-760 nm aralığındaki spektral ışınım, CIE fotopik spektral etkinlik eğrisi  $V(\lambda)$  ile ağırlıklandırılabilir ve daha sonra fotopik etkili ışınımı ( $E_v$ ) hesaplamak için toplanır. Luminans  $\omega$  ile bölünen ışık akı yoğunluğuna eşittir.

Bununla birlikte, bir armatürün aydınlatmasını bulmak için spektral ölçümlerin yapılmasının gerekli olmadığına dikkat edilmelidir - iyi tasarlanmış ve kalibre edilmiş bir "lüks metre" bu değ eri belirleyebilmelidir. Bu ön değ erlendirmeyi hızlı ve kolay uygulanabilir hale getirir.

### D.1.5. Gereken Veriler

Genel olarak, uygulanacak tüm maruziyet limitlerinin tüm spektral aralığını kapsayan verileri bulmak gerekir. Verilerin gerekli olduğu spektral aralık daraltılabilir. Belirli bir maruziyet sınırı uygulanmadığında, bir kaynak UVR yaymazsa, sadece 400 nm ila 1400 nm arasındaki verilere



ihtiyaç olduğu açıktır. Belirli bir spektral bölgede sıfır emisyonu sahip olduğu bilinen kaynaklarda bulunabilmektedir. Örneğin:

- ▲ LED'ler genellikle oldukça dar bir aralıktaki dalga boylarında yayım yaparlar. Yeşil bir LED için, 400 nm ila 600 nm arasında bir ölçüm yapmak yeterli olabilir ve bu aralığın dışındaki veriler sıfır kabul edilir.
- ▲ 254 nm'nin altında yayım yapan kaynaklar çok nadirdir ve çoğu işyerinde görülmesi olası değildir.
- ▲ Birçok armatürün, 350 nm'nin altında emisyonları engelleyecek cam kapakları vardır.
- ▲ Akkor kaynaklar dışında, çoğu kaynağın IRR emisyonları ihmal edilebilir.

Her durumda, verilerin spektral aralığı ölçüm veya başka yollarla belirlendikten sonra, veriler elde edilmelidir. En kullanışlı veriler spektral ışınım verileridir. Bu veriler, kullanılacak maruziyet limitlerine  $S(\lambda)$ ,  $B(\lambda)$ ,  $R(\lambda)$  ve muhtemelen  $V(\lambda)$  gibi uygun fonksiyonlar kullanılarak ağırlıklandırılabilir. Ağırlıklandırılan veriler daha sonra toplanmalıdır.

#### D.1.6. Basitleştirici Varsayımlar

Basitleştirici varsayımlar, görünür spektral bölgede, karmaşık olan ölçüm ve değerlendirme sürecini daha basit bir hale getirmek için kullanılır. Mevcut tehlike UVR emisyonlarından kaynaklanıyorsa varsayım yapmaya gerek yoktur. Herhangi bir spektral ışınım ölçümü uygun bir cihazla yapılmalı ve kullanılan cihaz, retina ile ilgili maruziyet sınır değerleri için, maruz kalma süresine bağlı olarak, belirli  $\gamma$  değerleri ile sınırlı bir görüş alanına sahip olmalıdır. Maruziyet limiti  $d$  için, bu süre 8 saattir. Maruziyet limiti  $g$  için, sınırın bu sürenin üzerinde sabit olması nedeniyle, dikkate alınması gereken maksimum maruziyet süresi 10 saniyedir.

Direktif EK-2, Tablo 2.5'te,  $\gamma$  için uygun değerler verilmiştir:

- ▲ Retinal fotokimyasal tehlike maruziyet limitleri için  $\gamma = 110$  mrad (10.000 sn maruziyet için  $d$  limiti).
- ▲ Retinal termal tehlike maruziyet limitleri için  $\gamma = 11$  mrad (10 s maruziyet için  $g$  limiti).

Işınım verisinden radyasyonu hesaplamak için, ışınım katı açığa bölünmelidir. Bu katı açı,  $\omega$ 'nin gerçek değerinde veya  $\gamma$  temelli bir değerde olmalıdır (hangisi büyükse).

- ▲ Maruziyet limiti  $d$  için, görüş alanı  $\gamma = 110$  mrad olmalıdır, bu da  $= 0,01$  sr'lik bir katı açığa karşılık gelir.
- ▲ Maruziyet limiti  $g$  için, görüş alanı  $\gamma = 11$  mrad değerine sahip olmalıdır, bu da  $= 0.0001$  sr'lik bir katı açığa karşılık gelir.

### Aşağıdaki örneklerde, bu değerler şu şekilde ifade edilmektedir:

$\omega$  = kaynak tarafından belirlenen gerçek katı açı

$\omega_B = 0,01$  sr veya  $\omega$ , hangisi daha büyükse

$\omega_R = 0,0001$  sr veya  $\omega$ , hangisi daha büyükse

Bu basitleştirilmiş varsayımlar,  $\gamma$ 'den daha büyük ve homojen olmayan kaynaklar için yapay olarak yüksek sonuçlar verebilir. Böyle bir kaynak değerlendirilirse ve maruziyet sınırı aşılsa, gerçekte uygun bir  $\gamma$  değeriyle sınırlı olan görüş alanı ile ölçümlerin tekrarlanması istenebilir.

#### D.1.7. Maruziyet Limitleri ile Karşılaştırma

##### Limit a

Maruziyet limiti  $H_{eff} = 30 \text{ J m}^{-2}$  'dir.

Etkin ışınım,  $E_{eff}$ ,  $\text{W m}^{-2}$  cinsinden ifade edilirse, o zaman maksimum izin verilebilir maruziyet (MPE) süresi, saniye cinsinden =  $30 \text{ J m}^{-2} / E_{eff}$

Eğer etkin ışınım  $> 8$  saat, r mesafesinde maruziyet sınırının aşılma riski yoktur.

##### Limit b

Maruziyet limiti  $H_{UVA} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$ 'dir.

Eğer etkin ışınım,  $E_{UVA}$ ,  $\text{W m}^{-2}$  cinsinden ifade edilirse, o zaman izin verilen maksimum maruziyet süresi (MPE), saniye cinsinden =  $10^4 \text{ J m}^{-2} / E_{UVA}$

Eğer etkin ışınım  $> 8$  saat, r mesafesinde maruziyet sınırının aşılma riski yoktur.

##### Limit d

Maruziyet limiti  $100 \text{ W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$ 'dir.

Eğer etkin ışınım,  $L_B$ , maruziyet limitinden daha az ise, maruziyet limitinin aşılma riski yoktur.

Q aynı kaldığı sürece, tüm mesafeler için bu durum geçerlidir.

### Limit g

Maruziyet limiti  $2.8 \times 10^7 / C_\alpha$ 'dir. Bu durumda,  $C_\alpha$ ,  $\alpha$ 'ya bağlıdır. En kısıtlayıcı maruziyet sınırı,  $\alpha \geq 100$  mrad olduğunda ortaya çıkar. Bu durumda,  $C_\alpha = 100$  mrad ve maruziyet sınırı  $280.000 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ 'dir.

Etkin ışımaya,  $L_R$ , maruziyet sınırından daha az ise, maruziyet limitinin aşılması riski yoktur. Bu durum,  $\theta$  aynı kaldığı sürece tüm mesafeler için geçerlidir.

#### D.1.7.1. Maruziyet Limitleri Aşıldıysa

### Parlaklık limiti

Kaynak parlaklığı  $10^4 \text{ cd m}^{-2}$ 'yi aşıyorsa, risk değerlendirmesi, d ve g maruziyet limitleri ile karşılaştırmaya izin vermek için yeterli veri ile tekrarlanmalıdır.

### Limit b

Eğer MPE süresi  $< 8$  saat ise, r mesafesinde, çalışanın gerçekte radyasyona maruz kaldığı sürenin, MPE süresinden daha az olduğunu kanıtlamak gereklidir (çalışanın, çalışma süresinde, yüzünün kaynaktan uzağa çevirdiği veya çalışma yerinden ayrıldığı süreler, toplam çalışma süresinden çıkarılır).

### Limit d

$L_B$ , maruziyet sınırından büyükse, MPE zamanı tekrar hesaplanmalıdır (maruziyet limiti c esas alınarak).

Maruziyet limiti c,  $L_B \leq 10^6 / t'$  dir. Bu durumda, MPE zamanı (saniye cinsinden),  $t_{max} \leq 10^6 / L_B$  olur ve Q açısı boyunca, kişinin gerçekte radyasyona maruz kaldığı sürenin,  $t_{max}$ 'tan daha az olduğunu kanıtlamak gereklidir (çalışanın, çalışma süresinde, yüzünün kaynaktan uzağa çevirdiği veya çalışma yerinden ayrıldığı süreler, toplam çalışma süresinden çıkarılır).

### Limit g

$L_R$ , maruziyet sınırından büyükse, maruziyet sınırı çok kısıtlayıcı olabilir: kaynak  $\alpha < 100$  mrad'a ulaşırsa, maruziyet sınırı yeniden hesaplanmalıdır.

Hesaplama sonucunda,  $L_R$ , hala hesaplanan maruziyet sınır değerinden daha büyükse, MPE zamanı yeniden hesaplanmalıdır. Bunun için, maruziyet sınırı h dikkate alınmalıdır.

Maruziyet limiti h,  $L_R \leq 5 \times 10^7 / C_\alpha \cdot t^{0.25}$ , dir. Bu durumda, MPE,  $t_{max} \leq (5 \times 10^7 / C_\alpha L_R)^4$   $C_\alpha = \alpha$ . Bu durumda; Q açısı boyunca, kişinin gerçekte radyasyona maruz kaldığı sürenin,  $t_{max}$ 'tan daha az olduğunu kanıtlamak gereklidir (çalışanın, çalışma süresinde, yüzünün kaynaktan uzağa çevirdiği veya çalışma yerinden ayrıldığı süreler, toplam çalışma süresinden çıkarılır).

$L_R$ , hala hesaplanan maruziyet sınır değerinden daha büyükse MPE zamanı yeniden hesaplanmalıdır. Bu, maruziyet sınırı h'ye dayanır. Bu nedenle MPE zamanı (saniye cinsinden),  $t_{max} \leq (5 \times 10^7 / \alpha L_R)^4$ .  $C_\alpha = \alpha$  kullanılır. Bu durumda, gerçek görüş mesafesinin, görüş hattı boyunca,  $t_{max}$ 'tan daha az olduğunu göstermek gerekir. Bu durumda, kullanım süresi kişinin yüzünün kaynaktan uzağa yönlendirilmesi ile harcanan süreden hariç tutulabilir.

## D.1.2. Örnek Hesaplamalar

Aşağıda, yukarıda kullanılan yönteme benzer adımlarla çalışılmış çeşitli örnekler sunulmaktadır.

### D.1.3. Tavana Monte Edilmiş, Bir Difüzörün Arkasında Bulunan Floresan Lambalar



57,5 cm x 117,5 cm ölçülerindeki bir tavan armatürüne 3 x 36 W floresan lambalar takılmıştır. Armatür, lambaları tamamen örten plastik bir difüzöre sahiptir (difüzör kullanımı, kaynağı kabul edilebilir bir şekilde homojen hale getirmektedir).

#### a. Maruziyet Limitlerinin Seçimi

Bu tip lambalar, önemli miktarda kızılötesi radyasyon yaymaz. Tehlike, görünür veya ultraviyole dalga boylarına maruziyetten kaynaklanabilir. Ultraviyole dalga boyları ise plastik difüzör tarafından zayıflatılır. Bu durumda sadece limit d geçerlidir.

#### b. Geometrik faktörler

Spektral ışınım verileri (doğrudan lambanın karşısından) lambadan 100 cm uzaklıkta ölçülür.

Kaynağın ortalama boyutu 87,5 cm'dir.

Bu nedenle  $\alpha = 0,875$  rad.

Kaynak  $6.756 \text{ cm}^2$ 'lik bir yüzey alanına sahiptir.

Bu nedenle  $\omega = 0,68$  sr.

$\omega_B = 0,68$  sr ve  $\omega_R = 0,68$  sr.'dir.

### c. Ön değerlendirme

Fotopik etkili irradyasyon  $1477 \text{ mW/m}^2$  olarak ölçülmüş olup, 1009 lükse eşittir. Bu kaynağın parlaklığı bu nedenle  $1009/0,68 = 1484 \text{ cd m}^{-2}$ 'dir.

Bu durumda daha ileri düzey bir değerlendirme gerekli değildir.

### d. Radyometrik veri

Ölçülen etkin ışınım değerleri:

Etkin ışınım  $E_{\text{eff}} < 10 \mu\text{W m}^{-2}$

UVA ışınım,  $E_{\text{UVA}} = 17 \text{ mW m}^{-2}$

Etkin ışınım (Mavi Işık),  $E_B = 388 \text{ mW m}^{-2}$

Etkin ışınım (termal hasar),  $E_R = 5424 \text{ mW m}^{-2}$

### e. Basitleştiren varsayımlar

Etkin ışıma (Mavi Işık),  $L_B = 388 \text{ mW m}^{-2} / 0,68 \text{ sr} = 0,5 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

Etkin ışıma (termal hasar),  $L_R = 5424 \text{ mW m}^{-2} / 0,68 \text{ sr} = 8 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

### f. Maruziyet Limitleri ile Karşılaştırma

#### Limit a

Maruziyet limiti,  $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$  -  $E_{\text{eff}}, < 10 \mu\text{W m}^{-2}$  - MPE > 8 saat

#### Limit b

Maruziyet limiti,  $H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J m}^{-2}$  -  $E_{\text{UVA}} = 17 \text{ mW m}^{-2}$  - MPE > 8 saat

### Limit d

Maruziyet limiti,  $100 \text{ W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$  -  $L_B = 0.5 \text{ m W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$  - Maruziyet limiti aşılmaz

### Limit g

Maruziyet limiti,  $280 \text{ kW m}^{-2} \text{sr}^{-1}$  -  $L_R = 8 \text{ W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$  - Maruziyet limiti aşılmaz

#### D.1.4. Difüzörü Olmayan Tavana Monte Tekli Floresan Lamba



153 cm x 2 cm ölçülerinde, 58 W genel aydınlatmada kullanılan floresan lambası (lambanın arkasında reflektörler bulunmaktadır) , önu açık olan (difüzörü bulunmayan) 153 cm x 13 cm tavan armatürüne monte edilmiştir. Kaynak homojen değildir ve lamba en parlak kısmıdır.

##### a. Maruziyet Limitlerinin Seçimi

Bu tip bir lamba, önemli miktarda kızılötesi radyasyon yaymaz. Herhangi bir tehlike ise, görünür veya ultraviyole dalga boylarına maruziyetten kaynaklanır. a, b ve d limitleri kullanılır.

##### b. Geometrik Faktörler

Spektral ışınım verileri doğrudan lambaya bakarak, lambadan 100 cm uzaklıkta ölçülür.

Lambanın ortalama boyutu 77,5 cm'dir.

Bu nedenle  $\alpha = 0,775 \text{ rad}$ .

Lamba  $306 \text{ cm}^2$ 'lik bir yüzey alanına sahiptir.

Bu nedenle  $\omega = 0,03 \text{ sr}$ .

$\omega_B = 0,03 \text{ sr}$  ve  $\omega_R = 0,03 \text{ sr}$

##### c. Ön Değerlendirme

Fotopik etkili ışınım  $1640 \text{ mW m}^{-2}$  olarak ölçülmüş olup, 1120 lüks bir aydınlatmaya eşittir. Bu kaynağın parlaklığı bu nedenle  $1120 / 0.03 = 37 \text{ 333 cd m}^{-2}$ 'dir. Bu durumda retinal tehlikenin daha fazla değerlendirilmesi gerekli görünmekte olup, UVR'de değerlendirilmelidir.

##### d. Radyometrik Veri

Ölçülen etkin ışınım değerleri:

Etkin ışınım  $E_{eff} = 600 \mu\text{W m}^{-2}$

UVA ışınım,  $E_{UVA} = 120 \text{ mW m}^{-2}$

Etkin ışınım (Mavi Işık),  $E_B = 561 \text{ mW m}^{-2}$

Etkin ışınım (termal hasar),  $E_R = 7843 \text{ mW m}^{-2}$

#### e. Basitleştiren Varsayımlar

Etkin ışınım (Mavi Işık),  $L_B = 561 \text{ mW m}^{-2} / 0,03 \text{ sr} = 19 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

Etkin ışınım (termal hasar),  $L_R = 7843 \text{ mW m}^{-2} / 0,03 \text{ sr} = 261 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

#### f. Maruziyet Limitleri ile Karşılaştırma

##### Limit a

Maruziyet limiti  $H_{eff} = 30 \text{ J m}^{-2}$ 'dir.  $\rightarrow$   $E_{eff} = 600 \mu\text{W m}^{-2}$   $\rightarrow$  MPE süresi > 8 saat

##### Limit b

Maruziyet limiti  $H_{UVA} = 104 \text{ J m}^{-2}$ 'dir.  $\rightarrow$   $E_{UVA} = 120 \text{ mW m}^{-2}$   $\rightarrow$  MPE süresi > 8 saattir

##### Limit d

Maruziyet limiti  $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$  'dir.  $\rightarrow$   $L_B = 19 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$   $\rightarrow$  Maruziyet limiti aşılmaz

##### Limit g

Maruziyet limiti  $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$  'dir.  $\rightarrow$   $L_R = 261 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$   $\rightarrow$  Maruziyet limiti aşılmaz

### D.1.5. Halojen Lambalı Açık Alan Projektörü



70 W gücünde halojen bir lamba, 18 x 18 cm ölçülerinde bir arka reflektöre ve şeffaf bir kapağa sahip bir armatüre yerleştirilmiş olup, bir inşaat sahasında, açık alanda yapılan çalışmalarda alanın aydınlatılması amaçlanmıştır. Kaynak homojen olmayıp, en parlak bölge yaklaşık 5 mm boyutunda halojen lambanın takılı olduğu bölgedir.

#### a. Maruziyet Limitleri Seçimi

Olası tehlike, görünür veya olası ultraviyole dalga boylarına maruziyetten kaynaklanır. Metal halojenür lambalar bol miktarda ultraviyole radyasyon üretmektedir (bu örnekte emisyonları azaltabilecek bir dış kaplama ve kapak olsa da, önlem almayı gerektirecek kadar UVA oluşma olasılığı vardır). Limit b, limit d ve limit g geçerlidir.

#### b. Geometrik Faktörler

Spektral ışınım verileri doğrudan lambaya bakarak, lambadan 100 cm uzaklıkta ölçülmüştür.

Arkın (kaynağın) ortalama boyutu 0,5 cm'dir. Bu nedenle  $\alpha = 0,005$  rad olur.

$\alpha < 11$  mrad'dır ve dolayısıyla kaynağının sabit olarak görüntülenmesi amaçlanıyorsa limit d, limit f ile değiştirilebilir.

Bu örnekte böyle bir durum olmadığından, değerlendirme için limit d kullanılmıştır.

Kaynak, 0,2 cm<sup>2</sup>'lik bir yüzey alanına sahiptir.

Bu nedenle  $\omega = 0,00002$  sr.'dir.

$\omega_B = 0,01$  sr ve  $\omega_R = 0,0001$  sr.

#### c. Ön Değerlendirme

Fotopik etkin ışınım 4369 mW m<sup>-2</sup> olarak ölçülmüş olup, 2984 lüks bir aydınlığa eşittir. Bu kaynağın parlaklığı bu nedenle  $2984/0,00002 = 149000000$  cd m<sup>-2</sup>'dir.

Retina tehlikesinin daha fazla değerlendirilmesi gerekli olup potansiyel UVR tehlikesi de değerlendirilmeye dahil edilmelidir.

#### d. Radyometrik Veri

Ölçülen etkin ışınım değerleri:



Etkin ışınım  $E_{\text{eff}} = 110 \mu\text{W m}^{-2}$

UVA ışınım  $E_{\text{UVA}} = 915 \text{ mW m}^{-2}$

Etkin ışınım (Mavi Işık),  $E_B = 2329 \text{ mW m}^{-2}$

Etkin ışınım (Termal hasar),  $E_R = 30172 \text{ mW m}^{-2}$

#### e. Basitleştiren varsayımlar

Etkin ışınım (Mavi Işık),  $L_B = 2329 \text{ mW m}^{-2} / 0,01 \text{ sr} = 233 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

Etkin ışınım (Termal Hasar),  $L_R = 30172 \text{ mW m}^{-2} / 0,0001 \text{ sr} = 302 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

#### f. Maruziyet Limitleri ile Karşılaştırma

##### Limit a

Maruziyet limiti  $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$ 'dir.  $\rightarrow E_{\text{eff}} = 110 \mu\text{W m}^{-2} \rightarrow$  MPE süresi > 8 saattir

##### Limit b

Maruziyet limiti  $H_{\text{UVA}} = 104 \text{ J m}^{-2}$ 'dir.  $\rightarrow E_{\text{UVA}} = 915 \text{ mW m}^{-2} \rightarrow$  MPE süresi 3 saattir

##### Limit d

Maruziyet limiti  $100 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ 'dir.  $\rightarrow L_B = 233 \text{ mWm}^{-2}\text{sr}^{-1} \rightarrow$  Maruziyet limiti aşılmaz.

Bu nedenle, MPE zamanını hesaplamak için limit c kullanılmalıdır.

##### Limit c

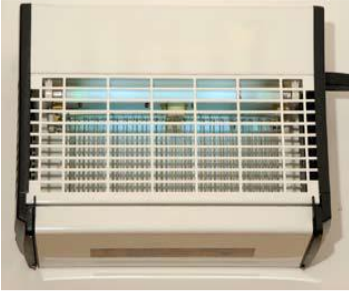
Maruziyet limiti  $L_B < 10^6 / t \text{ W m}^{-2}$ 'dir.  $\rightarrow t_{\text{max}} = 10^6 / L_B \rightarrow$  MPE süresi 70 dakikadır.

##### Limit g

Maruziyet limiti  $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ 'dir.  $\rightarrow L_R = 302 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \rightarrow \alpha > 0,1 \text{ rad}$  basitleştirme varsayımı yapıldığında maruziyet sınırı aşılır.

Gerçek  $\alpha$  (= 5 mrad) değerine dayanarak maruziyet sınırını yeniden hesaplandığında, daha gerçekçi bir maruziyet sınırı olan  $5600 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$  elde edilir. Bu durumda, maruziyet sınırı aşılmaz.

## D.1.6. Elektronik Böcek Öldürücü



Elektronik böcek öldürücülerinde, uçan böcekleri yüksek gerilimli bir ızgaraya çekmek için UVA ve spektrumun mavi kısımlarında ışık yayan düşük basınçlı cıvalı lambalar kullanılır. Bu örnek, 25 W gücünde ve her biri 26 × 1 cm boyutlarında ve aralarında 10 cm mesafe olan iki lamba içermektedir.

### a. Maruziyet Limitleri Seçimi

Elektronik böcek öldürücülerinin 1 m'de  $UVR_{eff}$  ışınımının  $\leq 1 \text{ mW m}^{-2}$  olması gerektiğini belirten EN 60335-2-59 ürün standardına uygun olması gerekir. Dolayısıyla, limit a'yı dikkate almaya gerek yoktur (Limit b hala geçerlidir). Bu kaynaklar beyaz ışık yaymadıkları için, kontrol ölçümlerinde parlaklığın kullanılması uygun değildir. Bununla birlikte elektronik böcek öldürücülerin çok az görsel uyarıcı (optik radyasyon) üretmelerinden dolayı, retina tehlikelerini dikkate almaya gerek yoktur.

### b. Geometrik Faktörler

Spektral ışınım verileri böcek öldürücüden 100 cm uzaklıkta ölçülmüştür. Böcek öldürücü duvara monte edildiğinden, yaklaşık olarak kafa yüksekliğinden ölçümler yapılmıştır (ölçüm dedektörü ile böcek öldürücü arasında, yatayda yaklaşık 30 ° 'lik bir açı ile vardır).

Her bir lambanın ortalama boyutu 13,5 cm'dir.

Bu nedenle  $\alpha = 0,135 \text{ rad}$ .

Her bir lamba  $26 \text{ cm}^2$  lik belirgin bir yüzey alanına sahiptir.

Bu nedenle  $\omega = 0,0026 \text{ sr}$ .

$\omega_B = 0,01 \text{ sr}$  ve  $\omega_R = 0,0026 \text{ sr}$

### c. Radyometrik Veri

Ölçülen etkin ışınım değerleri:

Etkin ışınım  $E_{eff} = 10 \mu\text{W m}^{-2}$

UVA ışınım  $E_{UVA} = 34 \text{ mW m}^{-2}$

Etkin ışınım (Mavi Işık),  $E_B = 17 \text{ mW m}^{-2} = 8,5 \text{ mW m}^{-2}$  her bir lamba için

Etkin ışınım (Termal Hasar),  $E_R = 172 \text{ mW m}^{-2} = 86 \text{ mW m}^{-2}$  her bir lamba için

#### d. Basitleştiren Varsayımlar

Etkin ışımaya (Mavi Işık),  $L_B = 8,5 \text{ mW m}^{-2} / 0,01 \text{ sr} = 0,85 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

Etkin ışımaya (Termal Hasar),  $L_R = 86 \text{ mW m}^{-2} / 0,0026 \text{ sr} = 33 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

#### e. Maruziyet Limitleri ile Karşılaştırma

##### Limit a

Maruziyet limiti  $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$ 'dir.  $\rightarrow E_{\text{eff}} = 10 \text{ } \mu\text{W m}^{-2} \rightarrow \text{MPE süresi} > 8 \text{ saattir}$

##### Limit b

Maruziyet limiti  $H_{\text{UVA}} = 104 \text{ J m}^{-2}$ 'dir.  $\rightarrow E_{\text{UVA}} = 34 \text{ mW m}^{-2} \rightarrow \text{MPE süresi} > 8 \text{ saattir}$

##### Limit d

Maruziyet limiti  $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ 'dir.  $\rightarrow L_B = 0,85 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \rightarrow \text{Maruziyet limiti aşılmaz}$

##### Limit g

Maruziyet limiti  $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ 'dir.  $\rightarrow L_R = 33 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \rightarrow \text{Maruziyet limiti aşılmaz}$

#### D.1.6. Masa Lambası



Masa lambası, önü-açık bir armatürde standart bir tungsten lampa içerir. Armatürün çapı 17 cm'dir. Flu bir yüzeye sahip olan 60 W'lık lampa, 5,5 cm'lik bir çapa sahiptir. Lampa, reflektörden daha güçlü bir yayıcı olduğundan dolayı, kaynak homojen değildir.

#### a. Maruziyet Limitleri Seçimi

Olası tehlike, görünür dalga boylarına maruziyetten kaynaklanır (tungsten halojen lambalar ultraviyole radyasyon üretse de, çevreleyen cam fitre görevi görür). d ve g limitleri geçerlidir.

## b. Geometrik Faktörler

Spektral ışınım verileri doğrudan lambaya bakarak, lambadan 50 cm uzaklıkta ölçülmüştür.

Kaynağın ortalama boyutu 5,5 cm'dir.

Bu nedenle  $\alpha = 0,11$  rad.

Kaynak, 24 cm<sup>2</sup>'lik bir yüzey alanına sahiptir.

Bu nedenle  $\omega = 0,0096$  sr.

$\omega_B = 0,01$  sr ve  $\omega_R = 0,0096$  sr

## c. Ön Değerlendirme

Fotopik etkin ışınım 522 mW m<sup>-2</sup> olarak ölçülmüş olup, 357 lüks bir aydınlığa eşittir. Kaynağın parlaklığı bu nedenle  $357/0,006 = 37188$  cd m<sup>-2</sup>'dir.

Retina tehlikesinin daha fazla değerlendirilmesi gereklidir.

## d. Radyometrik Veri

Ölçülen etkin ışınım değerleri:

Etkin ışınım  $E_{\text{eff}} = 50 \mu\text{W m}^{-2}$

UVA ışınım  $E_{\text{UVA}} = 18 \text{ mW m}^{-2}$

Etkin ışınım (Mavi Işık),  $E_B = 92 \text{ mW m}^{-2}$

Etkin ışınım (termal hasar),  $E_R = 4815 \text{ mW m}^{-2}$

## e. Basitleştiren Varsayımlar

Etkin ışıma (Mavi Işık),  $L_B = 92 \text{ mW m}^{-2} / 0,01 \text{ sr} = 0,92 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

Etkin ışıma (Termal Hasar),  $L_R = 4815 \text{ mW m}^{-2} / 0,0096 \text{ sr} = 501 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

## f. Maruziyet Limitleri ile Karşılaştırma

### Limit a

Maruziyet limiti  $H_{\text{eff}} = 30 \text{ J m}^{-2}$ 'dir.  $\rightarrow$   $E_{\text{eff}} = 50 \mu\text{W m}^{-2}$   $\rightarrow$  MPE süresi > 8 saattir

### Limit b

Maruziyet limiti  $H_{UVA} = 104 \text{ J m}^{-2}$ 'dir.  $\rightarrow E_{UVA} = 19 \text{ mW m}^{-2} \rightarrow \text{MPE süresi} > 8 \text{ saattir}$

### Limit d

Maruziyet limiti  $100 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ 'dir.  $\rightarrow L_B = 0,92 \text{ mWm}^{-2}\text{sr}^{-1} \rightarrow \text{Maruziyet limiti aşılmaz}$

### Limit g

Maruziyet limiti  $280 \text{ kW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ 'dir.  $\rightarrow L_R = 501 \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \rightarrow \text{Maruziyet limiti aşılmaz}$

## KAYNAKLAR

1. 2006/25/EC sayılı Avrupa Komisyonu Direktifi – Çalışanların optik radyasyona maruziyetlerinden kaynaklanan risklerden korunmalarına ilişkin sağlık ve güvenlik gereksinimleri (DIRECTIVE 2006/25/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 5 April 2006 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to risks arising from physical agents (artificial optical radiation))

<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:114:0038:0059:en:PDF>

2. 2006/25/EC sayılı Avrupa Komisyonu Direktifi'nin uygulanmasına yönelik uygulama rehberi (European Agency for Safety and Health at Work - Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2006/25/EC Artificial Optical Radiation)

<http://bookshop.europa.eu/en/non-binding-guide-to-good-practice-for-implementing-directive-2006-25-ec-pbKE3010384/>

3. Çalışanların Optik Radyasyondan Korunmalarına İlişkin Düzenlemeler - İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi – Mehmet Çağrı ERDEM

<https://www.ailevecalisma.gov.tr/medias/5070/mehmetcagrierdem.pdf>