

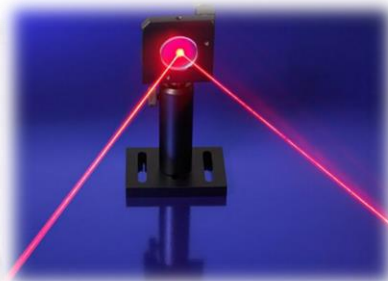


TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI

LAZER RADYASYON KAYNAKLARIYLA YAPILAN ÇALIŞMALARDA SAĞLIK VE GÜVENLİK ÖNLEMLERİ REHBERİ



İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ





TÜRKİYE CUMHURİYETİ ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI

Bu yayının İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü tarafından Amerika Birleşik Devletleri, İş Sağlığı ve Güvenliği Kurumu (OSHA) ve Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyon Komitesi tarafından hazırlanan rehberler ve Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü tarafından yayınlanan Lazer Güvenlik Standartları esas alınarak hazırlanmıştır. Bu rehberde belirtilen hususlar tavsiye niteliğinde olup mevzuat hükümleri yerine geçmez ve kurumu bağlayıcı görüş içermez.

Bu yayının ile İSG profesyonelleri, işverenler ve diğer faydalanıcıların, lazer radyasyon kaynakları ile yapılan çalışmalarda İSG ile ilgili bilgilendirilmesi ve ilgili konularda rehberlik edilmesi amaçlanmış olup bu yayında yer alan bilgilerin kullanımından kaynaklanacak herhangi bir durum için Bakanlık ya da Bakanlık adına görevlendirilen kişiler sorumlu tutulamaz. Telif hakkı Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'na ait olup kaynak gösterilerek kullanılabilir.

Yayına Hazırlayan

Mevzuat İşleri Daire Başkanlığı

Yayınlayan

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

2021

İÇİNDEKİLER

1.GİRİŞ

2.LAZER – GENEL BİLGİLER

2.1.Lazer Karakteristiği

2.2.Lazer Tipleri

2.3.Lazer Işınlara Maruziyetin Türleri

2.3.1.Endüstriyel ve Bilimsel Amaçlı Lazer Kullanımı

2.3.2.Medikal ve Cerrahi Amaçlı Lazer Kullanımı

2.3.3.Lazer Fiber Optik İletişim

2.3.4.Ekranlar ve Eğlence Amaçlı Lazer Kullanımı

3.LAZERLERİN TEHLİKELERİ

3.1.Lazer Işınına Maruziyetten Kaynaklanan Tehlikeler

3.2.Lazer Işınına Maruziyetin Türleri

3.3.Göz

3.4.Gözün Yapısı

3.5.Cilt

3.6.Lazerlerin, Işına Maruziyet Dışındaki Tehlikeleri

3.6.1.Elektriksel Tehlikeler

3.6.2.Lazer Operasyonlarında Ortaya Çıkan Hava Kirleticiler

3.6.3.Yangın

3.6.4.Sıkıştırılmış Gazlar

3.6.5.Lazer Sıvıları (Boyaları)

4.LAZER TEHLİKELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1.Tehlike ve Riskin Değerlendirmesi – Genel Yaklaşım

4.2.Risklerin Detaylı Olarak Değerlendirilmesi

4.2.1.Çevresel Faktörler

4.2.2.İç Mekânda Lazer Kullanımı

4.2.3.Dış Mekânlarda Lazer Kullanımı

4.2.4.İnsan (Çalışan) Faktörü

5.LAZER GÜVENLİK PROGRAMI – GENEL YAKLAŞIM

5.1.İşyerinde Lazer Radyasyonu Taraması

5.2.Lazer Güvenlik (Tehlike) Sınıflandırması

5.2.1.Tehlike Sınıflandırması için Gerekli Olan Lazer Işını Çıkış Parametreleri

5.3.Maruziyet Sınır Değeri (MPE)

5.4.Optik Yoğunluk (OD)

5.5.Nominal Tehlike Bölgesi (NHZ)

5.6.Lazer Güvenlik Sorumlusu

6.LAZER GÜVENLİK PROGRAMI – ÖNLEMLERİN UYGULANMASI

6.1.Işın Yollarının Kontrolü

6.1.1.Tamamen Kapalı Işın Yolları

6.1.2.Sınırlı Açık Alan Işın Yolları

6.1.3.Tamamen Açık Işın Yolları

6.2.Lazer Kontrollü Alan

6.3.Geçici Lazer Kontrollü Alan

6.4.Sınıf 4 Lazerler için Güvenlik Önlemleri

6.5.İdari ve Prosedürel Önlemler

6.6.Mühendislik Önlemler

6.6.1.Koruyucu Muhafazasız Lazer Kullanımı (Tüm Lazer Sınıfları)

6.6.2.Fiber Optik Haberleşme Sistemleri

6.7.Koruyucu Donanım

6.7.1.Koruyucu Gözlük

6.7.2.Diğer Koruyucu Donanım

6.8.Ultraviyole ve Kızılötesi Lazerler için Özel Kontroller

6.9.Uyarı Etiketleri ve İşaretleri

EK-A: MARUZİYET SINIR DEĞERLERİ

KAYNAKLAR

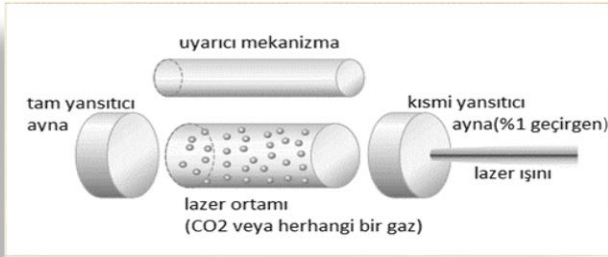


LAZER GÜVENLİK REHBERİ (ÖZET)

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

(İlgili bölüme gitmek için başlığa tıklayınız)

Lazer Karakteristiği

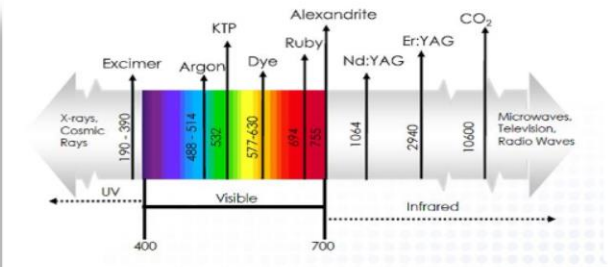


Işın Karakteristiği

- ▶ Dalga boyu
- ▶ Saçılma
- ▶ Yarıçap
- ▶ Darbe tekrarlama oranı
 - Sürekli ≥ 0.25 saniye
 - Darbeli < 0.25 saniye

Aktif Ortam

- ▶ Gaz
- ▶ Katı hal
- ▶ Sıvı (boya)
- ▶ Diyet
- ▶ Fiber Lazer



Lazer Tehlikeleri

Birincil (ana) Işın Tehlikeleri

Direk görüntüleme



Yansıyan Işın Tehlikeleri



Dağınık Yansımalar

(Yalnızca Sınıf 4 lazer)



En tehlikeli durum: Işın hizalama, tüm (bilinen) kazaların yaklaşık 1/3'ü, bilinen tüm laboratuvar kazalarının $\sim 60-70$ 'i.

Yaygın Senaryo: Koruyucu gözlük takmadan optik bir yüzeyden (beklenmedik) bir yansıyan ışına maruz kalma

Işın Dışı Tehlikeler

- ▶ Elektriksel
- ▶ Yangın (10 W/cm^2 'yi aşan ışınım)
- ▶ Kimyasal (Eksimer ve boya lazerleri)
- ▶ Lazer kaynaklı havadaki kirleticiler

Lazer Güvenliği Terminolojisi

İzin Verilen Maksimum Maruziyet (MPE)

Bir kişinin gözünde veya derisinde tehlikeli etki veya olumsuz biyolojik değişiklikler olmaksızın maruz kalabileceği lazer radyasyonunun seviyesi

Erişilebilir Emisyon Sınırı (AEL)

Belirli bir lazer tehlike sınıfı için izin verilen (maksimum) erişilebilir emisyon seviyesi

Nominal Tehlike Bölgesi (NHZ)

Işınım veya ışın maruziyetinin, MPE'yi aştığı alan

Nominal Göz Tehlike Mesafesi (NOHD)

Kaynak ile (lazer), gözün lazer ışınına maruziyetinin MPE'den daha düşük olduğu nokta arasındaki uzaklık

Biyolojik Tepki

Cilt Yaralanması:

- ▶ Tüm Dalga Boyları:
Termal; Cilt Yanıkları
- ▶ Dalgaboyları <550 nm için:
Fotokimyasal; cilt kanseri, bronzlaşma, ışığa duyarlı reaksiyonlar

Göz yaralanması:

- ▶ Görme: Parlama veya zıt renkleri algılamada güçlük VEYA mavi veya yeşil renkleri algılamada zorluk
- ▶ His: Korneada yanma ağrısı
- ▶ Duyma: "Pop" sesi

Spektral Bölge	Göz	Deri
Ultraviyole C (200 nm - 280 nm)	Fotokeratit	Eritem (güneş yanığı), Cilt kanseri, Hızlanmış cilt yaşlanması
Ultraviyole B (280 nm - 315 nm)	Fotokeratit	Artan pigmentasyon
Ultraviyole A (315 nm - 400 nm)	Fotokimyasal katarakt	Pigment karaması, Cilt yanığı
Görünür Işık(400 nm - 780 nm)	Fotokimyasal ve termal retina hasarı	Pigment karaması, Işığa duyarlı reaksiyonlar, Cilt yanığı
Kızılötesi A (780 nm - 1400 nm)	Katarakt ve retina yanması	Cilt yanığı
Kızılötesi B (1.4µm - 3.0 µm)	Kornea yanığı, sulu parlama, katarakt	Cilt yanığı
Kızılötesi C (3.0 µm - 1000 µm)	Kornea yanığı	Cilt yanığı

Eğitim Yükümlülüğü

Tüm lazer kullanıcıları aşağıdaki eğitimi almalıdır:

- ▶ Lazer Güvenliği Eğitimi
- ▶ Laboratuvarda deneyimli bir çalışan tarafından verilen "Lazer Laboratuvarı Özel Eğitimi"
- ▶ Lazer Güvenlik Prosedürü
- ▶ Temel İSG Eğitimi

Lazer Güvenlik Sınıflandırmaları

- ▶ **Sınıf 1:** Normal operasyonlar sırasında yaralanmaya yol açamaz. (*)
- ▶ **Sınıf 1M:** Toplama (görüntüleme) optiği kullanılmadıkça normal operasyonlar sırasında yaralanmaya yol açamazlar.
- ▶ **Sınıf 2:** 0,25 saniyelik maruziyetlerde hasar oluşturmayan, görünür ışık yayan lazerler.
- ▶ **Sınıf 2M:** Toplama (görüntüleme) optiği kullanılmadıkça (tipik olarak <1mW gücünde) 0,25 saniyelik maruziyetlerde hasar oluşturmayan, görünür ışık yayan lazerler.
- ▶ **Sınıf 3R:** Kronik (uzun süreli) görüntüleme veya toplama optiklerinin kullanımı durumunda göz için tehlike oluşturan lazerler (tipik olarak 1-5 mW güç).
- ▶ **Sınıf 3B:** Doğrudan ışın maruziyeti için göz ve cilt için tehlike oluşturan lazerler (5-500 mW güç).
- ▶ **Sınıf 4:** Doğrudan ışın ve dağınık yansımalara maruziyette göz ve cilt için tehlike oluşturan lazerler.

* Herhangi bir lazer, uygun muhafazalar takılarak ve tüm güvenlik önlemleri alınmış olarak, Sınıf 1 lazer olarak yeniden sınıflandırılabilir.

Acil Durumlar

- ▶ Acil durum prosedürlerini takip edin.
- ▶ Makineyi devre dışı bırakın (Acil durdurma, fişin çekilmesi).
- ▶ Yetkililere haber verin.
- ▶ Tıbbi yardım alın (gerekirse).

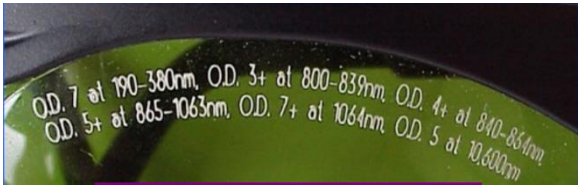
Güvenli Çalışma Önerileri

- ▶ Kesinlikle doğrudan lazer ışığına bakmayın.
- ▶ Gözün kırılmasına veya isteksizlik tepkisine engel olmaya çalışmayın.
- ▶ Lazer ışınını asla insanlara veya kapılara yöneltmeyin.
- ▶ Lazer ışınının kullanım alanından kaçmasına asla izin vermeyin.
- ▶ Işın yolunun yakınındaki alandan tüm gereksiz yansıtıcı nesnelere çıkarın (saatler, takılar ve aletler dahil).
- ▶ Lazeri, göz seviyesinin oldukça üstünde veya altında olacak şekilde yerleştirin (hem ayakta hem de oturma pozisyonları için).
- ▶ Kullanılmadığında, yetkisiz kullanımı önlemek için lazer cihazını ortadan kaldırın.

Lazer Göz Koruyucusu

Göz koruyucusunun optik yoğunluğu (OD), göze ulaşan lazer ışığını azaltma değerini ifade eder.

$$OD = \log_{10} \left[\frac{H_0}{MPE} \right]$$



Risk Değerlendirmesi

- ▶ Yeni lazer sistemi kurulumundan önce riskler değerlendirilmelidir.
- ▶ Lazer Güvenlik Sorumlusu, tehlike değerlendirmesi yapmalı, gerekli önlemleri belirlemeli ve uygun işaretlemeleri yerleştirmelidir.

Acil Durdurma Tertibatı

Sınıf 4 lazerlerde, acil durdurma tertibatı **olması zorunludur.**



Uyarı İşaretleri

Tüm Sınıf 2, 3 ve 4 lazer ekipmanları ve lazer kontrollü alanları, lazer sınıflandırmasına göre uygun uyarı işaretleri ile donatılmalıdır.



Kontrollü Alan Gereksinimleri

- ▶ Yalnızca lazer güvenliği konusunda eğitim almış kişilerin lazer kontrollü alana girmesine izin verilmelidir (yalnızca Sınıf 4).
- ▶ Işın yolunda veya yakınında dağınık olarak yansıtıcı malzemeler kullanılmalıdır.
- ▶ Lazer ışını, ışın yolu göz seviyesinin üstünde veya altında olacak şekilde, sabitlenmelidir.
- ▶ Tesis, lazer güvenliği konusunda bilgili bir kişinin doğrudan gözetimi altında olmalıdır.
- ▶ Kontrollü alanlara erişim sınırlı olmalı ve girmek için onay gereklidir.
- ▶ Lazerler, yetkisiz kullanımı önleyecek şekilde muhafaza edilmelidir.
- ▶ Kontrollü alan (oda) mümkün olduğunca dar olmalıdır (Sınıf 4 için gereklidir).
- ▶ Alan kilitleri (sisteme bağlı) ve uzaktan çalıştırma/görüntüleme (sisteme bağlı) olmalıdır.*
- ▶ Lazeri yalnızca lazer operasyonları ve lazer güvenliği konusunda eğitim almış kişiler kullanmalıdır.
- ▶ Lazer ışın yolu iyi tasarlanmış ve kontrol altına alınmış olmalıdır (bordürler, ışın tuzakları / blokları, dış panjurlar, perdeler).
- ▶ Tehlikeli ışınlar, ışın durdurucuları kullanılarak sonlandırılmalıdır.
- ▶ MPE'yi aşan tüm ışık seviyeleri, belirtilen MPE değerinin altına indirilmelidir (Nominal Tehlike Bölgesi (NHZ) oluşturulmalıdır).



* Alan (oda) kilidi

Işın Hizalama

- ▶ Hizalama için **minimum ışın gücünü / enerjisini kullanın** veya yol simülasyonu için düşük güçlü bir koaksiyel lazer ışını kullanın.
- ▶ Hizalama sırasında her zaman **uygun göz koruyucu kullanın**.
- ▶ Dikkat dağınıklığını önlemek ve başkaları için tehlikeyi en aza indirmek için **alanı sınırlandırın**.
- ▶ Faydalı (gerekli) yolunun sonunda **ışını sonlandırın**.
- ▶ Işının her noktada **nereye gittiğini bilin**.

İnterlock (kilit) Sistemleri

Bazı lazer operasyonları için ışıklı uyarı sistemine ve lazer sistemine bağlı olan kilitleme sistemlerinin kullanılması gereklidir.



Işın Yolunun Kontrolü

Lazer güvenliğinde ışının kontrol altına alınması (kontrollü bir şekilde ilerlemesinin sağlanması) en çok kullanılan güvenlik önlemlerindedir. Işın yolu, lazer ışınına istenmeyen maruziyetlerin önlenmesi için uygun şekilde tasarlanmalı, koruyucu donanımlar kullanılmalıdır.

Dış Panjurlar, Işın Tuzakları ve Bloklar



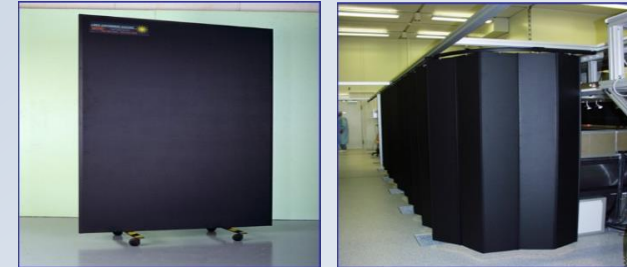
Muhafazalar



Masa ve Işın Kenarlıkları



Bariyerler



Lazer Kazaları

- ▶ **Lazer kazalarının başlıca sebepleri:** Hizalama sırasında lazer ışınına gözün maruz kalması, göz koruması kullanılmaması, ekipman arızası, yüksek voltajlı ekipmanın yanlış kullanımı, ışın tehlikeleri, uygun olmayan göz koruyucu kullanımı, hava kirleticilerin solunması, lazerle üretilen plazmanın görüntülenmesi ve genel olarak ekipmanın yanlış kullanılması
- ▶ **En yaygın yaralanma türü:** Göz yaralanması (yaklaşık %70)
- ▶ Elektrik çarpması veya yangın nedeniyle ölümlü kazalar meydana gelebilmektedir.
- ▶ **Örnek kaza:** Bir doktora öğrencisi laboratuvarında lazer cihazına hizalama yaparken, optik bir polarizörden kontrolsüz yayılan bir ışının gözüne gelmesi sonucunda, gözünde kısmi görme kaybı oluşmuştur. (Not: Öğrenci bu olayda koruyucu gözlük takmıyordu)

Lazer Güvenliği Kontrol Listesi

	Evet	Hayır	Gerek Yok	Öneriler		Evet	Hayır	Gerek Yok	Öneriler
A. Yönetimsel (İdari) Önlemler					D. Kişisel Koruyucu Donanım				
1.Lazerler uygun şekilde sınıflandırılmış (2;2M;3R;3B;4)					1. Dalga boyuna uygun göz koruyucusu mevcut				
2.Standart işletim prosedürleri mevcut					2. Göz koruyucusu yeterli OD değerine sahip				
3.Hizalama prosedürleri mevcut					3. Gözlük takılırken uyarı/gösterge ışıkları görülüyor				
4. Hizalama için görüntüleme kartları kullanılıyor					E. Sınıf 3B ve Sınıf 4 Lazerler				
5. Lazer kullanıcıları uygun eğitim almış					1. Koruyucu muhafaza kilitleri mevcut				
6. Lazerler envanterde kayıtlı					2. Servis erişim paneli mevcut				
B. Etiketleme					3. Yetkisiz kişilere erişim sınırlandırılmış				
1. Sertifikasyon etiketleri mevcut					4. Nominal Tehlike Bölgesi (NHZ) tanımlanmış				
2. Sınıf tanımı ve uygun uyarı etiketi mevcut					5. Operatörler yansıtıcı yüzey (saat vb.) takmıyor				
3. Etiketle radyasyon çıkış bilgisi mevcut					6. MPE'nin aşıldığı yerlerde izleme ekranları mevcut				
4. Aralık etiketi mevcut					F. Sınıf 4 Lazerler				
5. Lazer alanına girişte uygun uyarı / tehlike işareti mevcut					1. Kontrollü alanda arıza emniyet kilitleri mevcut				
6. Görülmeyen radyasyon için uyarılar mevcut					2. Yetkili personel ile sınırlı alan mevcut				
C. Kontrol Önlemleri					3. Lazer uzaktan çalıştırılabilir				
1. Koruyucu muhafaza mevcut ve kullanılabilir					4. Perdeler yangına dayanıklı				
2. Işın zayıflatıcı mevcut					5. Acil çıkışlar mevcut				
3. Lazer tablası göz seviyesinin altında					6. Darbeli-kilitler lazerin çalışmasını önleyebiliyor				
4. Işın yolu mümkün olduğunca kapalı					7. Sürekli-kilitler güç kaynağını kapatabiliyor				
5. Işın kapılara ve pencerelere yönlendirilmemiş					G. Işın Dışı Tehlikeler				
6. Işınlr, yangına dayanıklı ışın durdurucularda sonlandırılıyor					1. Topraklamalar uygun				
7. Yüzeysel yansımalar en aza indirilmiş					2. Yüksek voltaj ekipmanı ıslak zeminden uzakta				
8. Lazer kontrolleri tehlike oluşturmuyor					3. Sıkıştırılmış gazlar güvenli depolanıyor				

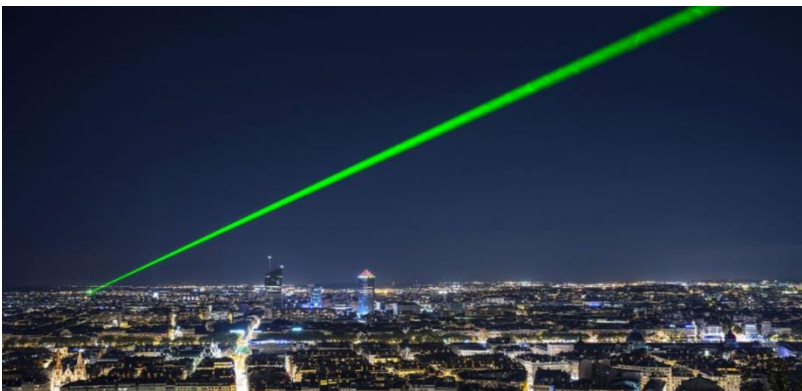
1. GİRİŞ

Yapay optik radyasyon; insan tarafından yapılan her türlü kaynaktan yayılan radyasyona verilen isimdir. Görünür ya da görünmez olsun, insan yapımı herhangi bir ışık kaynağı “yapay optik radyasyon” olarak kabul edilir. Endüstride, tıp alanında, araştırma faaliyetlerinde pek çok yerde yaygın olarak kullanıldığından çalışma hayatında hemen hemen her yerde karşılaşılabilmektedir. Lazer optik radyasyon kaynakları ya da yaygın kullanılan isimleri ile lazerler; endüstri, tıp, araştırma-geliştirme gibi pek çok alanda kullanılmaktadırlar.

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

Teknolojinin gelişimi ile lazerlerin gelişim hızı ve kullanım alanları da artış göstermiş ve elektro-optik ve iletişim alanında devrim yaratmışlardır. Lazer teknolojisinin hızlı gelişmesinin devam edeceğine ve lazer kullanımının daha yaygın hale geleceğine dair her türlü işaret, sanayi ve teknoloji alanında görülmektedir.

Teknolojinin faydalarına rağmen, herhangi bir cihaz yanlış kullanım veya tasarım sonucu istenmeyen zararlı etkiler üretebilmektedir. Lazerler de; yanlış kullanım veya tasarım sonucu, insan sağlığına zararlı etkiler üretebilmekte ve güvenlik sorunlarına yol açabilmektedir. Bundan dolayı da, lazerlerin biyolojik sistemler üzerindeki zararlı etkileri göz önüne alınarak, koruma yönergeleri geliştirilmiş ve maruziyet sınır değerleri belirlenmiştir.



Görsel 1.1: Heathrow, İngiltere’de süper güçlü bir lazerin uçağa tutulması sonucu pilotun göz retinası zarar görmüş, uzun bir tedavi sürecine rağmen pilotun gözünde kısmi görme kaybı oluşmuştur. Bu olayda pilot, uçağı güçlükle havaalanına indirmiştir. Birleşik Krallık Pilotlar Derneği raporuna göre; İngiltere’de her yıl pilotların

yarisından fazlası lazer tacizine uğramaktadır. Bu güçte ışın yayan bir lazer, internet ortamında kontrolsüz bir şekilde satılmaktadır. (İngiltere’de, bir araç sürücüsünün gözlerine veya bir uçak kabinine kasıtlı olarak lazer ışını tutmak suç olup, sürüş veya uçuş güvenliğini tehlikeye düşürmekten kamu davası açılmakta ve üst sınırı 5 yıl hapis cezası olan dava ile yargılanılmaktadır.)*

* BBC, <http://www.bbc.co.uk/newsbeat/article/34908500/everything-you-need-to-know-about-lasers-because-people-are-pointing-them-at-planes>



Görse1 1.2: Avustralya'da, yüzündeki kırışıklıkların ve lekelerin giderilmesi için bir güzellik merkezinde lazer kozmetik tedavisi uygulattırın kişinin yüzünde, yanlış lazer uygulaması sonucunda ikinci derece yanıklar oluşmuştur.*



Video 1.1: Örnek lazer kesimi (güçlü lazerler, metal plakaları kolaylıkla kesebilmektedir).**

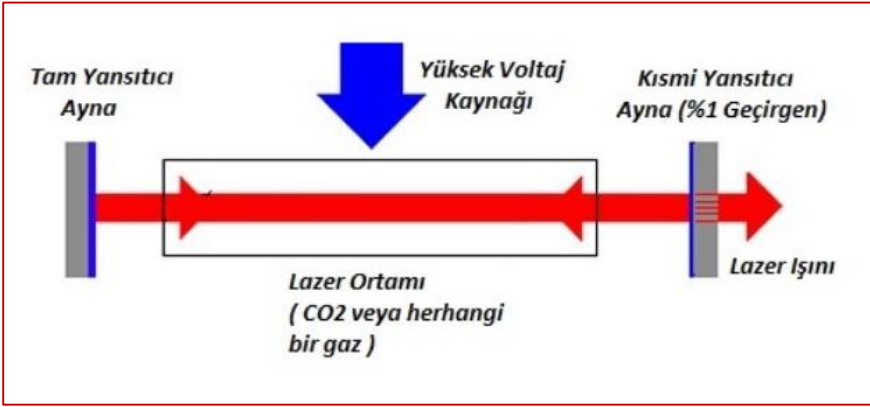
* ABC, <https://www.abc.net.au/news/2019-09-08/cosmetic-laser-treatments-need-tighter-regulation-patients-warn/11489196>

** Youtube, <https://www.youtube.com/watch?v=pMSyGOoesfM>

2. LAZER – GENEL BİLGİLER

2.1. Lazer Karakteristiği

"Lazer" terimi (İngilizce: "Laser" terimi – "Light Amplification of Stimulated Emission of Radiation" cümlesindeki kelimelerin baş harflerinin birleştirilmesi ile oluşturulmuştur) "Uyarılmış Radyasyon Yayılımı ile Işık Güçlendirme" anlamına gelen bir kısaltma olup, ışığın uyarılmış radyasyon ile güçlendirilmesini sağlayan cihazlara lazer denilmektedir. Lazerler, biri %100 yansıtıcı diğeri ise %98 yansıtıcı iki ayna arasına yerleştirilmiş aktif ortamdan oluşur. Aktif ortama dışarıdan ısı, ışık, elektrik, kimyasal vb. gibi enerji verilip aktif ortam tetiklenerek foton yayılması sağlanır. Yayılan fotonlar sistemde yer alan iki ayna arasında gidip gelerek hem şiddetini artırır hem de birbirine paralel duruma geçer. Aynalar arasında hareket eden fotonlar belirli bir eşik şiddetine ulaştıktan sonra %98 yansıtıcı aynadan çıkarak lazer ışını oluşturur.



Not: Foton; fizik biliminde elektromanyetik alanın kuantumu, ışığın temel "birimi" ve tüm elektromanyetik ışınların kalıbı olan temel parçacıktır.

Foton ayrıca elektromanyetik kuvvetin kuvvet taşıyıcısıdır. Bu durum fotonun hem dalga hem de parçacık özelliği gösterdiğini gösterir.

Şekil 2.1: Lazer cihazının bileşenleri

Lazer ışığı, iyonize olmayan (ya da iyonlaştırıcı olmayan) bir radyasyon şeklidir. Lazer ekipmanı, başka hiçbir şekilde üretilmeyen benzersiz özelliklere sahip olan bir ışık üretir ve bu ışığı güçlendirerek istenilen yere yönlendirir. Ürettiği ışık, belirli bir dalga boyunda tek bir renkten oluşur. Lazer radyasyonu, spektrumun farklı bölümlerinde (ultraviyole, görünür ışık ve kızılötesi) üretilir.

Lazer ışığının rengi, genellikle lazer radyasyonunun dalga boyu cinsinden tanımlanır. Lazerin dalga boyu için kullanılan en yaygın birim nanometredir (nm - bir metrenin milyarda biri). Diğer kaynaklardan gelen ışık, çeşitli dalga boylarındaki renklerin birleşiminden oluşur.

Lazerler, tutarlı ışık kaynaklarıdır. Lazer ışınlarının tutarlı olmaları, lazerlerin, ışığın "parçacıklarının" veya fotonların hepsinin aynı yönde hareket ettiği tek renkli ışık (yani, tek veya seçilen bir dalga boyuna sahip) ürettiği anlamına gelmektedir. Işığın tek bir yönde hareket etmesi, lazer ışınının tek bir noktaya odaklanmasını ve örneğin el fenerinden yayılan ışık huzmesinde olduğu gibi, ışığın dağılmamasını sağlar. Lazer ışını, çok dar bir huzme içerisinde bir noktaya yönlendirildiğinden, birim

alan başına yüksek bir radyant gücüne sahiptir. Yüksek radyant güçlerinden dolayı, pek çok alanda (metal kesim, cerrahi işlemlerde doku kesme ve kesik dokuları birleştirme gibi) kullanılmaktadırlar.



Şekil 2.2: İlk lazer cihazı - M.A.S.E.R (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) - Charles Townes ve M.A.S.E.R., 1947

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) ve Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC), radyometrik ve fotometrik terimler, miktarlar ve birimlerin tanımlarını içeren standart bir aydınlatma terminolojisi sözlüğü yayınlamıştır (CIE, 1989). Çalışanların sağlığının korunması için belirlenen maruziyet sınır değerleri (MPE) bu rehberin EK-A bölümünde ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

2.2. Lazer Tipleri

Lazerler, 'aktif ortam' temelinde sınıflandırılırlar. Bu ortam, katı, sıvı, gaz veya yarı iletken olabilir. Lazerler yaygın olarak kullanılan lazer malzemesi tipiyle belirtilir.

Katı ortam lazerleri; katı bir matriste dağıtılan lazer malzemesine (örneğin yakut veya neodimyum) sahip lazerlerdir. Neodimyum lazer, 1.064 mikrometre dalgaboyunda kızılötesi ışık yayar.

Gaz lazerleri; (helyum ve helyum-neon, en yaygın gaz lazerleridir) görünür bir kırmızı ışık çıkışına sahiptirler. CO₂ lazerler uzak kızılötesinde, 10.6 mikrometre dalgaboyunda ışık yayarlar ve sert malzemeleri kesmek için kullanılırlar.

Eksimer lazerlerde, klor ve flor gibi reaktif gazlar, argon, kripton veya ksenon gibi inert gazlarla karıştırılırlar. Lazer ortamı elektriksel olarak uyarıldığında bir psödomolekül veya dimer üretilir ve ultraviyole aralığında ışık yayılır.

Sıvı (boya) ortam lazerlerinde, sıvı çözelti veya süspansiyon ortamı içinde rhodamin 6G gibi kompleks organik sıvılar lazer ortamı olarak kullanılır. Geniş bir dalga boyu aralığında ayarlanabilirler.

Diyot lazerler olarak da adlandırılan yarı iletken lazerler, katı hal lazerleri değildir. Bu tip lazerler genellikle çok küçüktür ve düşük güç kullanırlar. Bu tip lazerler, bazen daha geniş aralıklarda ayarlanarak, örneğin bazı lazer yazıcılarda veya kompakt disk oynatıcılarda yazma kaynağı olarak kullanılırlar. Bir lazerden çıkan ışığın dalga boyu, lazer ışığının üretildiği ortama bağlıdır. Tablo 2.1'de sıkça kullanılan bazı önemli lazer kaynaklarının dalga boyları verilmiştir. Tablo 2.2'de ise, lazerlerin kullanım alanlarına göre uygulama örnekleri verilmiştir.

2.3. Lazer Işınlara Maruziyetin Türleri

2.3.1. Endüstriyel ve Bilimsel Amaçlı Lazer Kullanımı

Endüstride kesme, kaynak yapma veya malzeme işlemede genellikle yüksek güçte lazerler kullanılır. Bu tip lazerler genellikle kontrollü bir ortamda çalıştırılırlar.

Bilimsel olarak lazer kullanımını sınıflandırmak çok zordur zira lazerler neredeyse her türlü dalga boyunda veya çalışma ortamında kullanılabilir. Bazı ülkelerde lazerin bilimsel uygulamalarda kullanımına yönelik güvenlik politikası oluşturulmasının oldukça zor olduğu, genellikle kullanıcılardan (bilim insanları, teknikerler gibi) aşırı kısıtlayıcı önlemler ve yönergelerle ilgili şikâyetler alındığı, en yüksek kaza oranlarının bilimsel amaçlı lazer kullanımında görüldüğü belirtilmektedir.

2.3.2. Medikal ve Cerrahi Amaçlı Lazer Kullanımı

Tıpta lazerler ilk olarak oftalmolojide retina fotokoagülasyonu amacıyla, ikinci olarak genel cerrahide kullanılmışlardır. Nöroşirürji de dahil olmak üzere mikrocerrahide kullanılan temel araçlardır. Günümüzde, diyagnostik transillüminasyon, jinekolojik ve gastroenterolojik cerrahi, dermatoloji ve estetik (kozmetik) cerrahi gibi çoğu tıbbi alanda tanısal ve terapötik lazer teknikleri araştırılmakta ve lazer kullanımı yaygınlaşmaktadır.

2.3.3. Lazer Fiber Optik İletişim

Fiber optik iletişimde lazer kullanımında lazerin enerjisi fiber optik sistem ile sınırlıdır. Bakım ve servis işlemleri sırasında, bakım ve teknik görevlileri tehlikeli olabilecek lazer seviyelerine maruz kalabilmektedir.

2.3.4. Ekranlar ve Eğlence Amaçlı Lazer Kullanımı

Ekran yansıtma ve eğlence amaçlı kullanılan lazerler, genellikle yüksek watt'ta görünür ışık yayarlar. Çalışma sırasında güvenlik sistemleri işlevsiz veya yetersiz kalırsa, bu tip lazerler potansiyel olarak çok tehlikelidirler. Tablo 2.2'de, lazer radyasyonuna maruz kalınabilecek lazer uygulamalarına örnekler verilmiştir.

Tablo 2.1: En çok kullanılan lazer türleri ve dalgaboyları*

Lazer Türü	Dalgaboyu (mikrometre)	Lazer Türü	Dalgaboyu (mikrometre)
Argon florür (Excimer-UV)	0.193	Bakır buharı (yeşil)	0.510
Kripton klorür (Excimer-UV)	0.222	Bakır buharı (sarı)	0.570
Kripton florür (Excimer-UV)	0.248	Altın buharı (kırmızı)	0.627
Ksenon florür (Excimer-UV)	0.308	Helyum neon (kırmızı)	0.633
Helyum kadmiyum (UV)	0.325	Kripton (kırmızı)	0.647
Kripton (Mavi)	0.476	Rhodamine 6G boya	0.570-0.650
Argon (Mavi)	0.488	Yakut (CrAlO ₃) (kırmızı)	0.694
Bakır buharı (yeşil)	0.510	Galyum arsenit (diyot-NIR)	0.840
Helyum neon (yeşil)	0.543	Helyum neon (NIR)	3.39
Helyum neon (sarı)	0.594	Hidrojen florür (NIR)	2.70
Helyum neon (turuncul)	0.610	Karbondioksit (FIR)	10.6
NOTLAR UV: Ultraviyole (0.200-0.400 μ m) NIR: Yakın kızıl ötesi (0.700-1.400 μ m) FIR: Uzak kızıl ötesi (3000 nm– 0.1 mm)			

* https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iii/otm_iii_6.html

Tablo 2.2: Lazerlerin kullanım alanlarına örnekler*

Lazerlerin Örnek Kullanım Alanları		
⚠ Hizalama	⚠ Delme	⚠ Optik bilgi kaydı <ul style="list-style-type: none">▶ Optik bilgi depolama▶ CD / DVD okuma ve yazma▶ Lazer yazıcı
⚠ Tavlama	⚠ Eğlence <ul style="list-style-type: none">▶ Lazer gösterileri▶ Lazer işaretleyiciler	⚠ Spektreskopi <ul style="list-style-type: none">▶ Madde tanımlama▶ Plazma tanılama
⚠ Dengeleme	⚠ Isıl işlemler	⚠ Hız ölçümü
⚠ Biyomedikal <ul style="list-style-type: none">▶ Hücresel araştırma▶ Diş▶ Teşhis▶ Dermatoloji▶ Oftalmoloji▶ Cerrahi	⚠ Veri saklama <ul style="list-style-type: none">▶ Kopyalama▶ Plaka yapımı▶ Baskı▶ Okuma▶ Tarama▶ Video disk	⚠ Lidar <ul style="list-style-type: none">▶ Özel görüntüleme▶ Taramalı mikroskopi
⚠ İletişim <ul style="list-style-type: none">▶ Fiber▶ Uydu	⚠ Holografi <ul style="list-style-type: none">▶ Eğlence▶ Bilgi depolama	⚠ Askeri faaliyetler <ul style="list-style-type: none">▶ Mesafe hesaplama▶ Tüfek simülasyonu▶ Silâhlar
⚠ İnşaat <ul style="list-style-type: none">▶ Hizalama▶ Mesafe ölçümü▶ Yüzey analizi	⚠ İnterferometre (Girişim Ölçer)	⚠ Tahribatsız eğitim
⚠ Kesme	⚠ Laboratuvar aletleri	⚠ Tarama
⚠ Gösterim	⚠ Metroloji	⚠ Sızdırmazlık

* https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iii/otm_iii_6.html

3. LAZERLERİN TEHLİKELERİ

Lazerlerin tehlikeleri, lazer ışınına maruziyet sonucu göz ve deride meydana gelen yaralanmalar ve lazer ışınlarının ortaya çıkardığı elektriksel ve kimyasal tehlikeler olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

3.1. Lazer Işınına Maruziyetten Kaynaklanan Tehlikeler

Yanlış kullanılan lazer cihazları potansiyel olarak tehlikelidir. Etkileri hafif cilt yanıklarından cilt ve gözde geri dönüşü olmayan yaralanmalara kadar değişebilir. Lazerlerin neden olduğu biyolojik hasar; termal, akustik ve fotokimyasal süreçlerle üretilir. Termal etkiler, lazer enerjisinin emilimini takiben sıcaklıktaki artıştan kaynaklanır. Hasarın şiddeti; maruziyet süresi, ışının dalga boyu, ışının enerjisi ve ışına maruz kalan doku alanı ve tipi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Akustik etkiler; dokuya yayılan ve yayılmanın sonucunda dokuya zarar veren mekanik bir şok dalgasından kaynaklanır. Işın maruziyeti, fotonlar doku hücreleriyle etkileşime girdiğinde fotokimyasal etkilere neden olabilir. Hücre kimyasındaki değişiklik, hasara veya dokuda değişikliğe neden olabilir. Fotokimyasal etkiler büyük ölçüde dalga boyuna bağlıdır. Tablo 3.1’de; göz ve cildin farklı dalga boylarındaki ışığa maruz kalmasının olası biyolojik etkilerini özetlemektedir.

Tablo 3.1: Lazer ışınlarının, dalgaboyuna göre biyolojik etkileri*

Spektral Bölge	Göz	Deri
Ultraviyole C (200 nm - 280 nm)	Fotokeratit	Eritem (güneş yanığı), cilt kanseri, hızlanmış cilt yaşlanması
Ultraviyole B (280 nm - 315 nm)	Fotokeratit	Artan pigmentasyon
Ultraviyole A (315 nm - 400 nm)	Fotokimyasal katarakt	Pigment kararması, cilt yanığı
Görünür Işık(400 nm - 780 nm)	Fotokimyasal ve termal retina hasarı	Pigment kararması, ışığa duyarlı reaksiyonlar, cilt yanığı
Kızılötesi A (780 nm - 1400 nm)	Katarakt ve retina yanması	Cilt yanığı
Kızılötesi B (1.4µm - 3.0 µm)	Kornea yanığı, sulu parlama, katarakt	Cilt yanığı
Kızılötesi C (3.0 µm - 1000 µm)	Kornea yanığı	Cilt yanığı

Ayrıntılı Bilgi için Bakınız: Yapay Optik Radyasyon Kaynakları ile Yapılan Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Rehberi (Sayfa 7-9), İSGGM

*https://ehs.princeton.edu/sites/ehs/files/media_files/Laser%20Training%20Guide%202007%2013-08.pdf

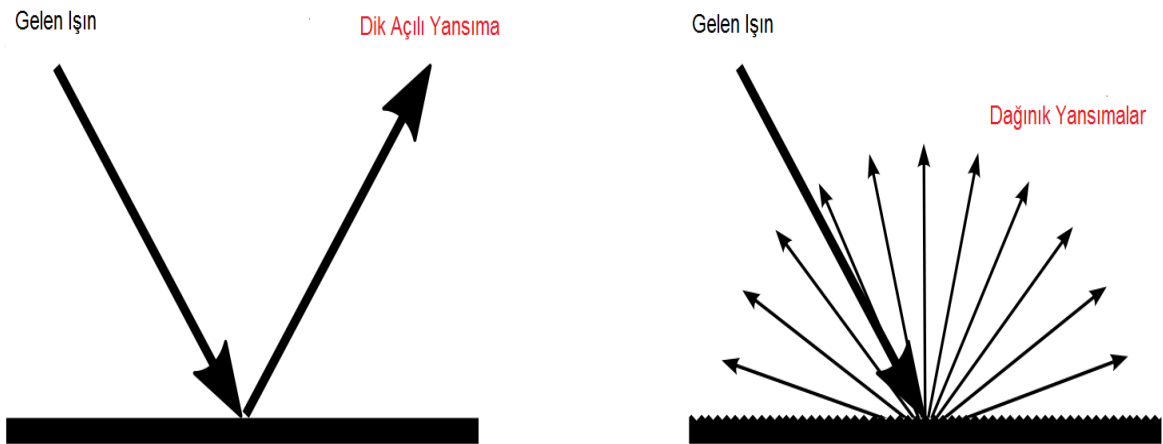
3.2. Lazer Işınına Maruziyetin Türleri

Lazer ışınına maruziyet, doğrudan ışına maruziyetle sınırlı değildir. Özellikle yüksek güçlü lazerler için yansıyan ışınlar maruz kalma, birincil (ana) ışına maruz kalma kadar zarar verici olabilir. **Işın içi maruz kalma (ya da ana ışına maruz kalma)**; gözün veya cildin doğrudan lazer ışınının tamamına veya bir kısmına maruz kalması anlamına gelir. Göz veya cilt tam ışığa veya radyant maruziyete maruz kalır.

Ayna yüzeylerinden (yansıtıcı yüzeylerden) gelen aynasal yansımalar, özellikle yüzey düz ise, doğrudan ışına maruz kalmak kadar zararlı olabilir. Kavisli yansıtıcı yüzeylerden gelen ışına maruziyette, göz veya cilt ışının lazer cihazından çıkış gücünün tamamından etkilenmese de, yansıyan ışınların geliş açılarının farklı olması sebebi ile daha geniş bir alan ışıklardan etkilenecektir.

Dağınık yüzey, lazer ışını farklı yönlerde yansıtma özelliğine sahip yüzeylere verilen isim olup bir mücevher veya metal aletler gibi tamamen düz olmayan ayna benzeri yüzeyler ışının dağınık yansımalarına neden olabilir. Bu yansımalar, birincil (ana) ışının tam gücünü veya enerjisini taşımasa da özellikle yüksek güçlü lazerler göz önüne alındığında, cilt veya göz için hala zararlı olabilirler. Sınıf 4 lazerlerden gelen dağınık yansımalar yangına sebep olabilirler.

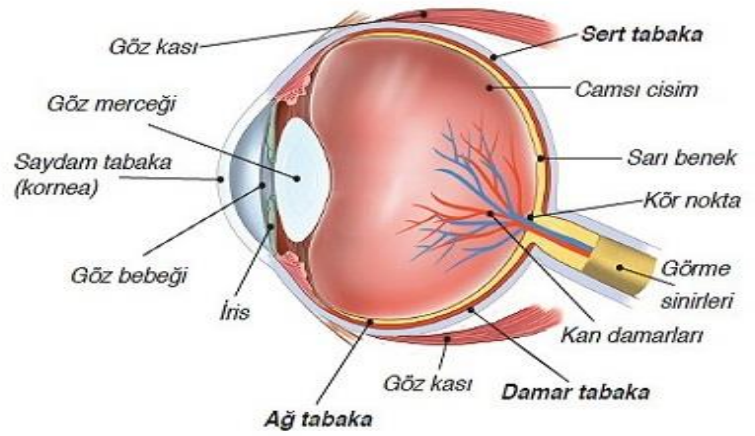
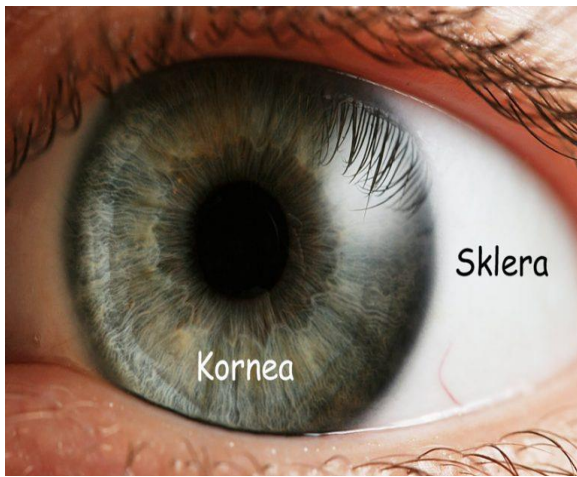
Bir yüzeyin “dağınık” mı, “yansıtıcı” mı yoksa “aynasal bir yansıtıcı” mı olduğu, ışının dalga boyuna bağlı olarak değişir. Görünür ışık yayan bir lazer için dağınık bir yansıtıcı olarak davranan bir yüzey, kızılötesi lazer ışını için aynasal bir yansıtıcı olabilir.



Şekil 3.1: Lazer ışınlarının yansıtma türleri

3.3. Göz

Lazer ışığının en büyük tehlikesi göze giren ışıklardan kaynaklanan tehlikelerdir. Göz, ışığa en duyarlı organdır. Tıpkı güneşi odaklamak ve odun yakmak için bir büyüteç kullanılması gibi, insan gözünde bulunan lenste, lazer ışını küçük bir noktaya odaklayarak, retinal yanığa sebep olabilir. Göze giren düşük ıraksamaya sahip bir lazer ışını, 10 ila 20 mikron çapında bir alana odaklanabilir. Termodinamik yasalar; termal bir radyasyon kaynağından gelen bir ışın tarafından ısıtılan bir yüzeyin sıcaklığının, ışının kaynağının sıcaklığını aşmadığını belirtir. Lazer termal olmayan bir kaynak olup kendisinden çok daha yüksek sıcaklıklar üretebilir. Oda sıcaklığında çalışan 30 mW'lık bir lazer, kağıt yüzeyine odaklandırıldığında, kağıdın anında yanmasına yol açacak kadar enerji üretebilir.



Şekil 3.2: Gözün iç yapısı

Enerjinin korunumu yasasına göre; lazer ışınının enerji yoğunluğu (birim alan başına düşen enerji), nokta (alan) boyutu azaldıkça artar. Bu; bir lazer ışınının enerjisinin, gözün odaklama hareketi ile 100.000 kata kadar yoğunlaştırılabileceği anlamına gelir. Göze giren ışınım 1 mW/cm^2 ise, retinadaki ışınım 100 W/cm^2 olacaktır. Böylece, miliwatt olarak düşük güçlü bir lazer bile doğrudan retinaya odaklanırsa yanıklara neden olabilir. **Lazerin gücü ne kadar düşük olursa olsun ASLA birisinin gözüne doğrultulmamalıdır.**

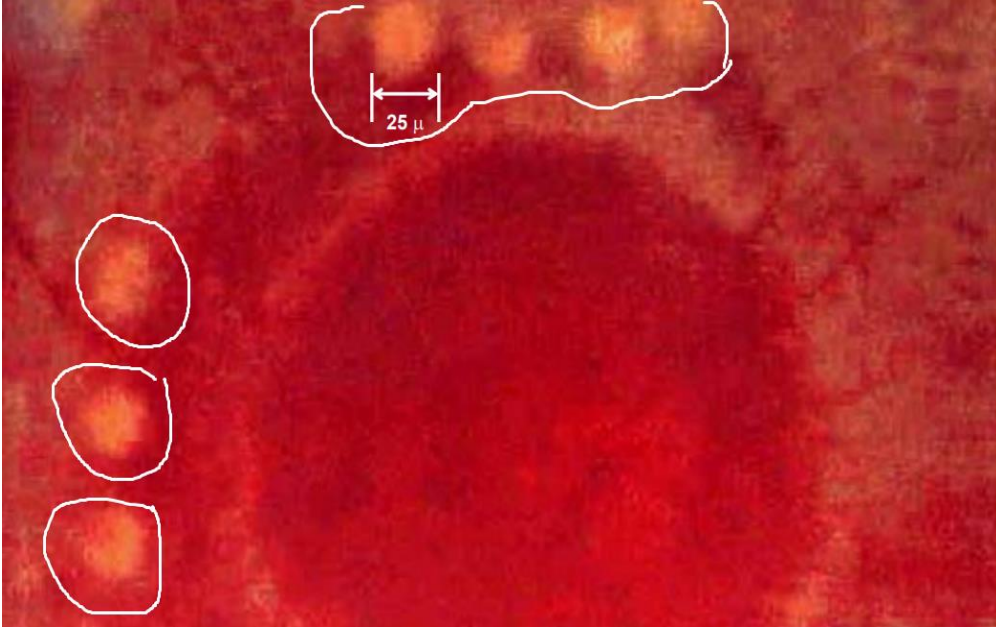
3.4. Gözün Yapısı

Gözdeki hasar, ışının dalga boyuna bağlıdır. Olası sağlık etkilerini anlamak için insan gözünün büyük bölümlerinin işlevlerini anlamak önemlidir.

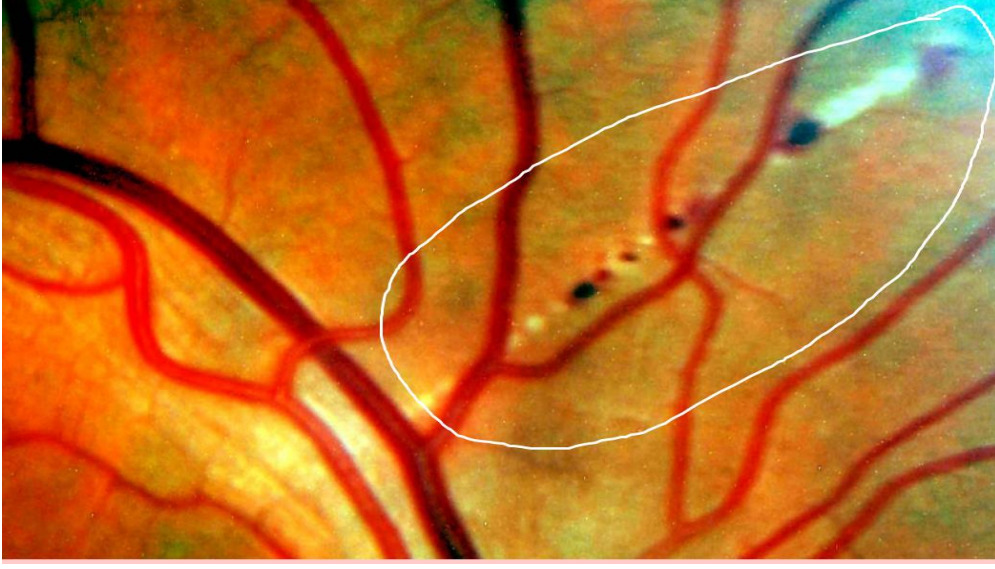
Kornea; gözü örten şeffaf doku tabakasıdır. Dış korneadaki hasar rahatsız edici veya ağrılı olabilir, ancak genellikle hızlı bir şekilde iyileşir. Korneanın daha derin katmanlarına zarar gelmesi kalıcı yaralanmaya neden olabilir.

Lens; retina üzerinde görüntüler oluşturmak için ışığı odaklar. Zamanla, mercek daha az bükülebilir hale gelir ve bu da yakın nesnelere odaklanmayı zorlaştırır. Yaşla birlikte lens bulanıklaşır ve sonunda opaklaşır. Bu durum **katarakt** olarak bilinir. Retinanın dengesi ışığı ve hareketi algılayabilir, ancak ayrıntılı görüntüleri (periferik görme) algılayamaz. Foveada bir lazer yanığı meydana gelirse, net görme yeteneğinin (okuma ve çalışma gibi) büyük bir kısmı anında yok olabilir. Tekrarlanan retina yanıkları körlüğe neden olabilir.

Gözün, göz kırpmaya veya isteksizlik refleksi olarak adlandırılan kendini savunma mekanizmaları vardır. Parlak bir ışık göze çarptığında, göz saniyenin dörtte biri içinde kırışmaya (göz kapağını) veya ışık kaynağından uzaklaşmaya eğilimlidir. Gözün öz savunma mekanizması; gözü daha düşük güçteki lazerlerin meydana getirebileceği hasarlardan koruyabilse de daha yüksek güçlü lazerlerin söz konusu olduğu durumlarda yardımcı olamaz. Yüksek güçlü lazerlerde hasar saniyenin dörtte birinden daha kısa sürede ortaya çıkabilir. Gözdeki lazer yanığının belirtileri, maruziyetten kısa bir süre sonra baş ağrısı, gözlerin aşırı sulanması ve görüşte ani uçuşan (yüzen) cisimlerin görülmesini içerir. Uçuşan (ya da yüzen) cisimler, en sık gözün kırılması sonrasında veya gözler birkaç saniye kapalı kaldığında görülen, rastgele ortaya çıkan dönen cisimlerdir. Uçuşan (ya da yüzen) cisimler, retina ve koroidden ayrılan ve vitrozde yüzen ölü hücre dokularından kaynaklanır. Oftalmologlar, küçük retina yaralanmalarını tespit etme zorluğu nedeniyle genellikle küçük lazer yaralanmalarında yüzer cisimleri dikkate alırlar. Küçük kornea yanıkları, göze kum kaçmasında olduğu gibi bir rahatsızlık hissi uyandırır.



Şekil 3.3: Lazer ışınına maruziyet sonucu gözde oluşan retinal yanıklar



Şekil 3.4: Yansiyarak gelen bir lazer ışınının gözde oluşturduğu hasara ait kesit görüntüsü

Lazer ışığına maruziyet sonucu gözde meydana gelen yaralanma derecesi, aşağıda belirtilen faktörlere bağlıdır:

Göz bebeğinin (pupil) boyutu - Göz bebeği çapının daralması, retina yüzeyine iletilen toplam enerji miktarını azaltır. Pupil büyüklüğü parlak güneşte 2 mm çapında iken, karanlıkta ise 8 mm çapındadır (gece görüşü).

Pigmentasyon derecesi - Daha fazla pigment (melanin) daha fazla ısının emilmesine yol açar.

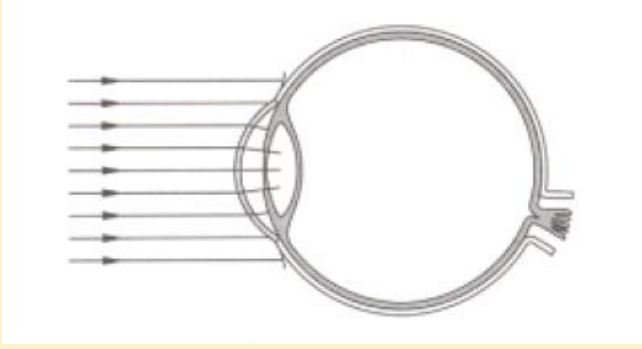
Retinal görüntünün boyutu - Boyut ne kadar büyük olursa hasar o kadar büyük olur, çünkü hasar vermek için sıcaklık dengesi sağlanmalıdır.

Darbe süresi – Darbeli ışımalarda, darbeler arası süre ne kadar kısa olursa yaralanma olasılığı o kadar artar.

Darbe tekrarlama hızı – Darbe tekrarlama süresi ne kadar az olursa, ısı yayılımı için süre o kadar az olur ve daha fazla hasar oluşur.

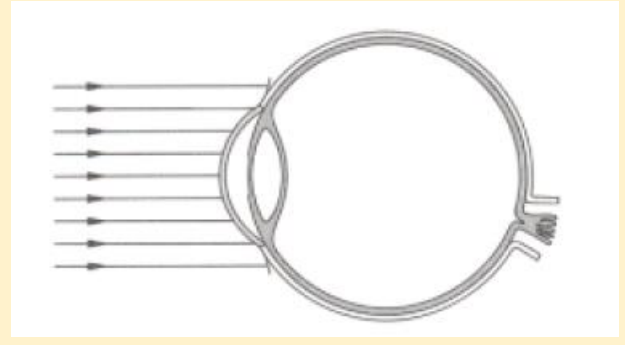
Dalga boyu - Enerjinin hangi bölgede birikeceğini ve ne kadarının gözün içerisine nüfuz edeceğini belirler.

Tablo 3.2: Dalgaboyuna göre ışığın göz tarafından emilimi*

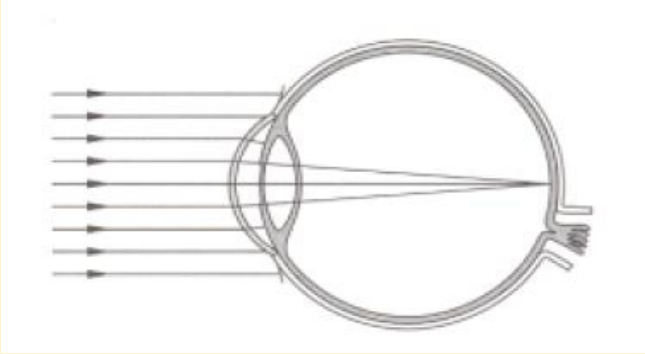


Yakın Ultraviyole Işık (315-390 nm)

Çoğunlukla lens tarafından emilir ve erken katarakta neden olabilir.

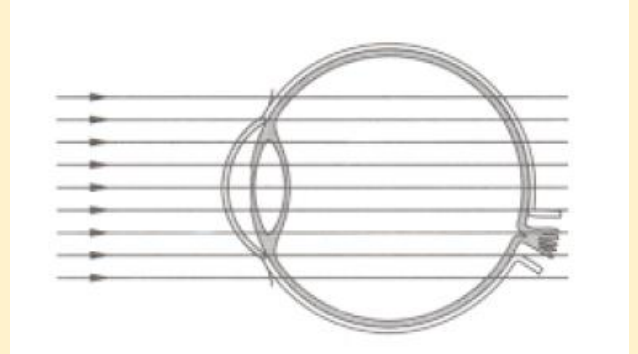


Orta ve Uzak Kızılötesi Işık (1400 nm - 1 mm) ile Uzak Ultraviyole Işık (180 - 315 nm)
Kornea tarafından emilir ve kornea yanıklarına neden olabilir.



Görünür ve Yakın Kızılötesi Işık (400-1400 nm)

Korneaya nüfuz eder ve retina tarafından emilebilir.



Mikrodalga ve Gama Işınları

* https://ehs.princeton.edu/sites/ehs/files/media_files/Laser%20Training%20Guide%202007%2013-08.pdf

Spektrumun görünür ve yakın kızılötesi aralığındaki lazerler; kornea ve göz merceği, görünür ve yakın kızılötesi dalgaboylarına karşı geçirgen olduğundan ve mercek, lazer enerjisini retinaya odaklayabildiğinden, retinal yaralanma için en yüksek tehlike potansiyeline sahiptir. Retina üzerine düşen lazer enerjisinin maksimum emilimi en fazla 400-550 nm arasındaki dalgaboylarında gerçekleşir. Argon ve YAG lazerleri; 400-550 nm arasındaki dalgaboylarında çalışır ve bunun sonucunda da göz yaralanmaları açısından en tehlikeli lazerlerdir.

550 nm'den küçük dalga boyları güneş yanığına benzer bir fotokimyasal yaralanmaya neden olabilir. Fotokimyasal etkiler kümülatif olup dağınık veya saçılan ışıktan kaynaklanan uzun maruziyet (10 saniyeden fazla) sonucu meydana gelirler. Tablo 3.3'te, yaygın olarak kullanılan çeşitli lazerlere aşırı maruz kalmanın en sık meydana gelen etkileri özetlenmektedir.

Tablo 3.3: Lazer maruziyetinin etki süreçleri ve etkilenen dokular

Lazer Türü	Dalgaboyu (μm)	Biyolojik Etki Süreci	Etkilenen Doku			
			Deri	Kornea	Lens	Retina
Karbondioksit	10.6	Termal	✓	✓		
HFI	2.7	Termal	✓	✓		
Erbiyum-YAG	1.54	Termal	✓	✓		
Nd-YAG [a]	1.33	Termal	✓	✓	✓	✓
Nd-YAG	1.06	Termal	✓			✓
Gaz (diyot)	0.78-0.84	Termal	[b]			✓
He-Ne	0.633	Termal	[b]			✓
Ar	0.488- 0.514	Termal Fotokimyasal	✓			✓ [c]
XeFl	0.351	Fotokimyasal	✓	✓		✓
XeCl	0.308	Fotokimyasal	✓	✓		

NOTLAR

[a]: Bazı Nd-YAG lazerlerinde 1,33 μm veya daha fazla dalga boyu, biyolojik araştırmalarda eşzamanlı kornea/lens/retina etkilerine yol açmıştır.

[b]: Güç seviyeleri normalde cilt için önemli bir tehlike olarak kabul edilmesinde yeterli değildir.

[c]: Uzun süreli retina maruziyetinde fotokimyasal etkiler baskındır (maruziyet süreleri 10 saniyeden fazla).

3.5.Cilt

Lazerler, fotokimyasal veya termal yanıklar yoluyla cilde zarar verebilirler. Dalgaboyuna bağılı olarak, ışın hem **epidermise** hem de **dermise** nüfuz edebilir. Epidermis, cildin en dıştaki canlı tabakasıdır. Uzak ve orta ultraviyole (aktinik UV) epidermis tarafından emilir. Güneş yanığı (kızarma ve kabarma) ışına kısa süreli maruz kalmadan kaynaklanabilir. UV'ye maruz kalma ayrıca **cilt kanseri** ve cildin erken yaşlanması (kırıışıklıklar vb.) gelişme riski ile de ilişkilidir.

Ciltte termal yanıklar oluşması nadiren görülür. Genellikle uzun süre yüksek enerjili ışınlara maruz kalma sonucu termal yanıklar oluşur. Karbondioksit ve diğer kızılötesi lazerler en sık termal yanıklara sebep olan lazer türleridir (dalga boyu aralıkları cilt dokusuna derinlemesine nüfuz edebilir). Ortaya çıkan **yanık; birinci derece (kızarma), ikinci derece (kabarma) veya üçüncü derece (kömürleşme)** olabilir.

Bazı kişiler ışığa duyarlıdır veya ışığa duyarlılığı tetikleyen reçeteli ilaçlar kullanıyor olabilirler. Bazı antibiyotikler ve fungusitleri içeren reçeteli ilaçları kullanarak lazer cihazını kullanan veya lazerin çalıştığı ortamda bulunan kişilere, özellikle dikkat edilmelidir.

3.6. Lazerlerin, Işına Maruziyet Dışındaki Tehlikeleri

Lazerler, ışına doğrudan maruz kalmanın sonucunda meydana gelen tehlikelere ek olarak, sıkıştırılmış gaz tüpleri, kriyojenik ve toksik maddeler, iyonlaştırıcı radyasyon ve elektrik çarpması ile yan tehlikeler de meydana getirebilirler.

3.6.1. Elektriksel Tehlikeler

Lazer veya lazer sistemlerinin kullanılması elektrik çarpması tehlikesi oluşturabilir. Elektrik çarpması, 50 volt veya daha yüksek potansiyellerde çalışan güç kaynağı iletkenleriyle temastan kaynaklanabilir. Ayrıca lazerin kurulumunun, bakımının ve servis ayarlarının yapılması sırasında, ekipman koruyucu kapaklarının çıkarıldığı durumlarda da meydana gelebilir. Elektrik çarpmasının etkileri, küçük bir karıncalanmadan ciddi yaralanma veya ölüme kadar değişebilir. Bir bariyer sistemi kullanmak suretiyle enerji iletkenlerine yanlışıklıkla temasa karşı koruma, elektrik çarpmasını önlemek için birincil yöntemdir.

Lazeri tamir eden veya bakımını yapan kişiler, elektrik güvenliği ile ilgili özel eğitim almış, yeterli bilgi ve beceriye sahip kişiler olmalıdır. Ayrıca elektrikle ilgili mevzuatta belirtilen yükümlülöklere de uyulmalıdır.

Diğer bir özel tehlike ise yüksek voltajlı elektrik kaynaklarının ve lazer kapasitörlerinin genellikle soğutma suyu pompalarına, hatlarına, filtrelere vb. yakın bir yere yerleştirilmesidir.

Havanın yüksek nemli olduğu zamanlarda, aşırı soğutma yoğuşmaya yol açabilir. Yoğunlaşmayı gidermek için sistem kapakları açıldığında, elektrik arkına ve çarpmasına yol açabilir.

Tüm lazer sınıfları için elektrik çarpmalarını önlemek amacıyla alınabilecek önlemler aşağıda belirtilmiştir:

- ✱ Tüm ekipmanlar elektrik ile ilgili mevzuat hükümleri dikkate alınarak kurulmalıdır.
- ✱ Akım taşıyan devrelerle veya bu devrelerin yakınında çalışmaktan kaçınılmalıdır. Mümkünse, üzerinde çalışmadan önce elektrik taşıyan ekipman fişten çekilmelidir.
- ✱ Elektrikli aletlerle çalışırken yüzükler ve metalik saat kordonları takılmamalı, metalik kalemler, kurşun kalemler veya cetveller kullanılmamalıdır.
- ✱ Akım devreleri mümkün olduğunda tek elle çalıştırılmalıdır.
- ✱ Elektrikli ekipmanlarla çalışırken, sadece yalıtkan kulplu aletler kullanılmalıdır.
- ✱ Dokunulduğunda en ufak bir akım algısı veren elektrikli ekipman, daha fazla kullanılmadan hizmetten çıkarılmalı, etiketlenmeli ve onarılmalıdır.
- ✱ Yüksek gerilimlerle çalışırken elektrik işleri için kullanılan uygun şekilde yalıtılmış, kuru bir örtü üzerinde çalışılmadıkça, zemin iletken ve toprak bağlantılı olarak kabul edilmelidir.
- ✱ Elektrikli ekipman ıslak bir zeminde dururken veya eller, ayaklar veya vücut ıslak veya terlemiş halde iken, elektrikli ekipman ile çalışılmamalıdır.
- ✱ Yorgunken, duygusal olarak stres altındayken veya zihinsel aktiviteleri ve refleksleri körelten veya yavaşlatan ilaçların etkisi altındayken tehlikeli faaliyetlerde bulunulmamalıdır.
- ✱ Kablolulu cihazlarla çalışılırken kilitleme / etiketleme prosedürleri izlenmelidir.

3.6.2. Lazer Operasyonlarında Ortaya Çıkan Hava Kirleticiler

Lazer ışını ve hedef madde arasında bir etkileşim olduğunda, havada bulut şeklinde hava kirleticileri oluşabilir. Hava kirleticileri çoğunlukla Sınıf 3B ve 4 lazerlerle ilişkili olup; metalik duman, toz, kimyasal dumanlar ve biyolojik kirleticiler içeren aerosoller hava kirletici olarak tanımlanırlar.

Hava kirletici maddelere örnekler aşağıda verilmiştir.

- ✱ Poli (metil sirilat) formdaki polimerlerin mod yanıklarından ortama yayılan polisiklik aromatik hidrokarbonlar
- ✱ Aromatik poliamid liflerinin kesilmesinden hidrojen siyanür ve benzen

- ✱ Kesim kuvarsından ergimiş silika
- ✱ Oyma işleminden açığa çıkan ağır metaller
- ✱ Polivinil klorürün kesilmesinden benzen
- ✱ Diğer işlemlerden açığa çıkan siyanür, formaldehit, sentetik ve doğal lifler.

Uzak kızılötesi pencereler ve lensler için kullanılan özel optik malzemeler, potansiyel olarak tehlikeli seviyelerde hava kirleticileri oluşmasının kaynağı olabilmektedir. Örneğin, ışınım limitleri aşıldığında, havada oksijen bulunması durumunda kalsiyum tellür ve çinko tellürid yanmaktadır. Kadmiyum oksit, tellür ve tellür heksaflorür maruziyeti de ayrıca kontrol altına alınmalıdır.

Hava kirleticilerine maruziyet, maruz kalınan maddeler için mevzuatta belirtilen sınır değerler dikkate alınarak, kontrol altına alınmalıdır. Maruziyet bilgilerini ve izin verilen maruziyet limitlerini belirlemek için güvenlik bilgi formlarına (SDS) danışılabilir. Genel olarak üç temel kontrol önlemi vardır: lokal havalandırma, aspirasyon ve sürecin (işlemin) izolasyonu. Solunum koruyucular, kısa maruziyetleri kontrol etmek için idari veya mühendislik önlemler uygulanana kadar geçici bir kontrol önlemi olarak kullanılabilir. Solunum koruyucular kullanıldığı durumlarda, kişisel koruyucular ile ilgili [mevzuat hükümleri](#) dikkate alınmalıdır.

Lazer işleminin fiziksel bariyerler veya uzaktan kumanda aparatı ile izole edilmesi, özellikle plastik malzeme, biyolojik malzeme, kaplanmış metaller ve kompozit substratlar gibi hedeflerin lazer kaynağı ile kesimi işlemlerinde sıkça kullanılan kontrol önlemleridir.

3.6.3. Yangın

Sınıf 4 lazer sistemleri yangın çıkarma potansiyeline sahiptirler. Sınıf 3 lazer ışınları, lazer muhafaza malzemelerinin 10 watt/cm² 'yi aşan ışınlarla maruz kalma olasılığı yüksekse, potansiyel yangın tehlikelerine yol açabilirler.

Yangın tehlikesine karşı, alev geciktirici malzemeler kullanılmalıdır. Bazı işlemler sırasında lazer ışınının çalışma alanından çıkmasını engellemek için opak [lazer bariyerleri](#) (örneğin perdeler) kullanılabilir. Bu bariyerler belirli bir ölçüde koruma sağlarken, birkaç saniye boyunca yüksek ışınım seviyelerine maruz kaldıklarında, duman çıkarma, alevlenme veya delinme gibi hasarlar meydana gelebilir.

Piyasada bulunan lazer bariyerleri kullanılmadan önce, yangın önleme bilgileri üreticiden alınmalıdır. Sınıf 4 lazerleri kullanan kişiler, korumasız tellerin ve plastik boruların, özellikle görünmez dalga boylarında çalışan lazerlerden yayılan yoğun miktarda ışınlardan veya saçılmış ışınlardan tutuşabileceklerinin bilincinde olmalıdır.

3.6.4. Sıkıştırılmış Gazlar

Lazer cihazlarında, klor, flor, hidrojen klorür ve hidrojen florür gibi birçok tehlikeli gaz kullanılmaktadır. Genellikle, saf gazlar yerine inert gazlı karışımların kullanımı tercih edilmektedir. Tehlikeli gazlar, uygun muhafaza içerisinde saklanmalı, uygun metal boru ve bağlantı parçaları kullanılarak lazere kalıcı olarak bağlanmalıdır. İntert gaz temizleme sistemi kullanılmalı ve borular ve bağlantı parçaları ayırt edici bir şekilde renklendirilmelidir. Sıkıştırılmış gaz tüpleri devrilmeye karşı emniyete alınmalıdır. Sıkıştırılmış gazların kullanımında ortaya çıkan diğer güvenlik problemleri şunlardır:

- ✱ Yalıtılmamış ayaklı tüplerle çalışma
- ✱ Regülatör bağlantısı kesildiğinde, gazın ortama salınması
- ✱ Bağlantıyı kesmeden, kesme vanasının veya gaz temizleme aparatlarının çıkarılması
- ✱ Ayrı kategorilerdeki tüplerin beraber depolanması (toksikler, aşındırıcılar, yanıcılar, oksitleyiciler, yüksek basınçlı tüpler ve kriyojenikler)

3.6.5. Lazer Sıvıları (Boyaları)

Lazer boya, bazı çözücülerle birlikte bir lazer ortamı oluşturan kompleks floresan organik bileşiklerdir. Bazı boyalar yüksek derecede toksik veya kanserojendir. Bu boyalar sık sık değiştirildiği için solüsyonlar kullanılırken, hazırlanırken ve lazer işlemi sırasında özel dikkat gösterilmelidir. Boya bileşikleri için SDS'ler (Güvenlik Bilgi Formu) incelenmeli, potansiyel olarak etkilenebilecek tüm çalışanlar SDS'lere erişebilmelidir.

Boya lazerlerinde siyanür boya için çözücü olarak dimetilsülfoksit kullanılmamalıdır. Dimetilsülfoksit boyaların cilde taşınmasına yardımcı olur. Başka bir çözücü kullanılmıyorsa, çözücü ile temasın meydana gelebileceği her durumda çalışanlar tarafından düşük geçirgenlikli eldivenler giyilmelidir. Boya çözeltilerinin hazırlanması uygun bir hazırlama ortamında yapılmalı, çözeltiler hazırlanırken laboratuvar önlükleri, uygun eldivenler ve göz koruması gibi kişisel koruyucu ekipman kullanılmalıdır.

MALZEME GÜVENLİK BİLGİ FORMU	
Toluene (Ticari Niteliği) Sürüm 1.0	Revizyon Tarihi 06/07/2012
Üreme sistemine toksik, Kategori 2	Kansere yol açar. H361: Doğmamış çocukta hasara yol açma veya üremeye zarar verme şüphesi.
Belirli hedef organ toksisitesi, tek maruziyet, Kategori 3	H336: Rahavete veya baş dönmesine yol açabilir.
Belirli hedef organ toksisitesi, tekrarlanan maruziyet, Kategori 2	H373: Uzun süreli veya tekrarlanan maruziyet sonucu organlarda hasara yol açabilir.
Soluma tehlikesi, Kategori 1	H304: Solunum yoluna nüfuzu ve yutulması halinde öldürücüdür.
Etiket unsurları Etiketleme ((AT) 1272/2008 sayılı TÜZÜK)	
	

Şekil 3.5: Toluene ait güvenlik bilgi formu

4. LAZER TEHLİKELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Tehlike ve Riskin Değerlendirmesi – Genel Yaklaşım

Olası tehlikelerin ve yaralanma riskinin değerlendirilerek, kontrol önlemlerinin belirlenmesinde, lazer kullanımının aşağıda belirtilen dört yönü dikkate alınmalıdır:

- ☀️ Lazer veya lazer sisteminin çalışması yaralama potansiyeli " lazerin tehlike sınıflandırmasını" belirler. Lazerin tehlike sınıfı belirlenirken, lazer ışınına maruz kalabilecek kişinin, lazer ışınının ana çıkış portuna veya lazer ışınının herhangi bir yardımcı kısmına erişimi dikkate alınır. (Genellikle, lazerin tehlike sınıfı üretici firma tarafından belirlenerek, lazer üzerinde etiketleme ile belirtilmektedir.)
- ☀️ Lazerin kullanıldığı ortamın özellikleri
- ☀️ Lazeri kullanan ve ışına maruz kalabilecek çalışanların eğitim (bilgi) seviyeleri
- ☀️ Lazerin kullanım amacı

Lazer radyasyonun tehlikesini ve maruziyet riskini değerlendirmek için öncelikle her lazer cihazının (ya da sisteminin) tehlike sınıflandırması belirlenmelidir. Tehlike sınıfı, lazerin göreceli tehlike potansiyelini belirtir, tehlikeli düzeylerde lazer radyasyonuna maruziyet riskinin değerlendirilmesini sağlar. Her tehlike sınıfı için uygun önlemler belirlenir. Lazer tehlike sınıflandırma sisteminin kullanımı, çoğu durumda ölçümler yapılmasına ve ayrıntılı bir risk değerlendirmesi yapılmasına gerek duymadan, önlemler alınabilmesini sağlar.

4.2. Risklerin Detaylı Olarak Değerlendirilmesi

Sınıflandırma; tehlike analizi ve risk değerlendirmesinde ilk adımdır. Ancak, lazere sadece gücü veya enerji çıkışı açısından sınıflandırmak yeterli değildir. Bir lazerin kullanıldığı ortam ve lazer ışınının kat ettiği yolun yanı sıra onu çalıştıran (kullanan) ve çalışma ortamında lazer ışınına maruz kalabilecek kişiler de dikkate alınmalıdır. Bu tür çevresel ve çalışan faktörleri de; ek güvenlik önlemleri alınması noktasında dikkate alınmalıdır.

4.2.1. Çevresel Faktörler

Risk değerlendirilmesi aşamasında, tehlike derecesinin belirlenmesi lazer sınıflandırmasına bağlı olduğundan, çevresel faktörler lazer cihazı sınıflandırıldıktan sonra dikkatli bir şekilde değerlendirilmelidir. Orta riskli ve yüksek riskli lazer cihazları için normalde gerekli olmayan ilave tehlike kontrollerini (önlemleri) uygulama kararı büyük ölçüde çevresel hususlara bağlı olabilmektedir. Kapalı bir ortamda (makine atölyesi, sınıf, araştırma laboratuvarı, fabrika üretim hattı gibi) veya açık bir alanda (otayol şantiyesi, açık deniz, askeri lazer menzili, boru hattı inşaatı gibi)

kullanıma ve ortamın çevresel özelliklerine bağılı olarak, lazer ışınının kullanıcıya ve kullanıcılar dışındaki kişilere de zarar verme potansiyeli değışmektedir.

Korunmasız bir çalışanın (herhangi bir koruyucu önlem alınmadan lazer ışınına direk olarak maruz kalabilecek çalışanın) lazerden çıkan ana ışına veya yansıtıcı bir yüzeyden yansiyarak gelen ışına maruz kalma riski varsa, çalışanın söz konusu çalışma konumunda birincil (ana) ışına veya aynasal olarak yansıyan ışınlar maruziyet riskleri değılendirilmelidir. Çalışma ortamında bulunan materyallerin iletim ve yansıtma özelliklerinin, optik spektrumun görünür bölgesindeki (kızılötesi ve ultraviyole) ışınlar da önemli ölçüde değışebileceğini dikkate almak önemlidir. Örneğin, görünür ışıkta düşük yansıtıcılığa sahip birçok boya, kızılötesi ışığı çok daha yüksek bir seviyede yansıtırlar.

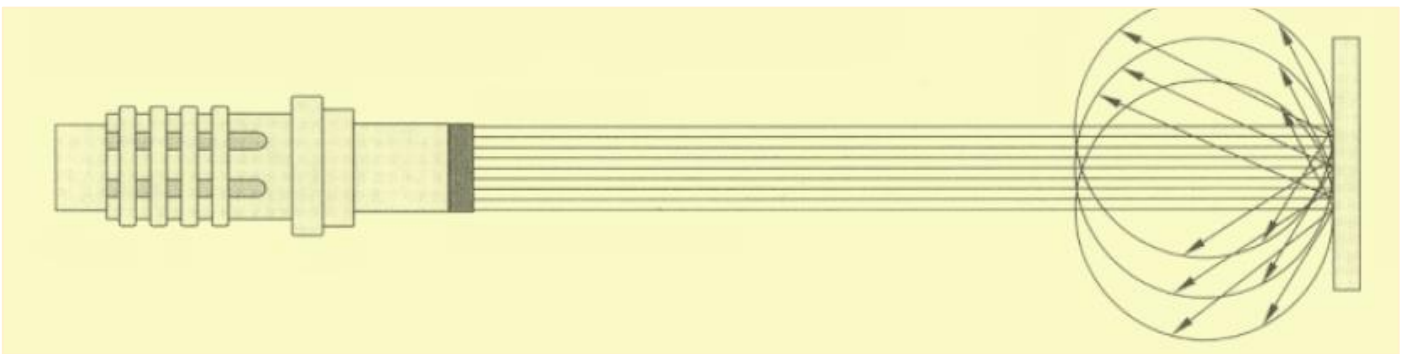
4.2.2. İç Mekânda Lazer Kullanımı

Genel olarak; lazer cihazı kapalı bir sistem içerisinde veya kontrollü bir alanda çalıştırılıyorsa, iç mekânda lazer kullanımının değılendirilmesinde yalnızca lazer kaynağının kendisi dikkate alınır. Korumasız çalışanlar için orta riskli lazer cihazlarının iç mekânlarda kullanımı ve risklerinin değılendirilmesi için aşağıdaki adımlar takip edilir.

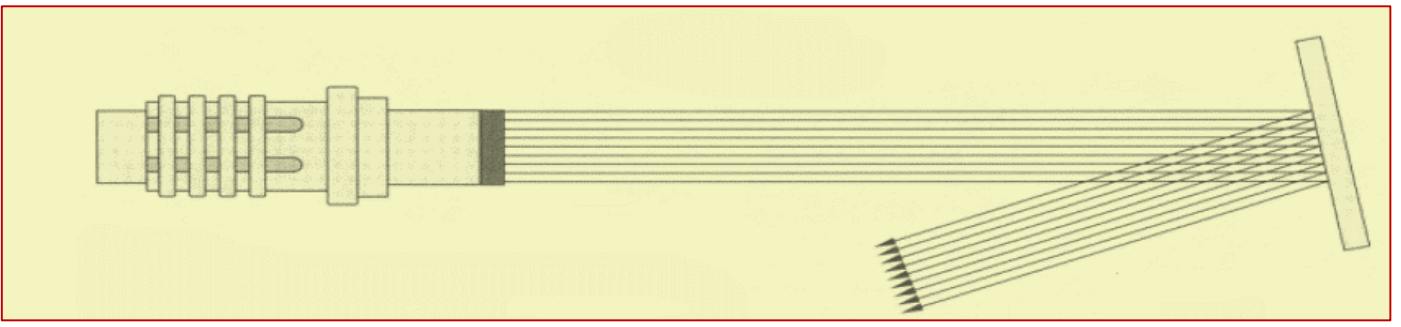
Adım 1. Lazerin normal kullanımı göz önüne alınarak maksimum maruziyet süresi belirlenir ve belirlenen maksimum maruz kalınabilecek süre için belirtilen maruziyet sınır değıeri bulunur.

Adım 2. Tehlikeli ışın yolları (lazer ışınının gidiş yolu veya yansiyabilecek ışının gidiş yolu) belirlenir.

Adım 3. Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te gösterildiğı gibi yansıtıcı bir yüzeyden yansıyan ışının yansıtma türü ve derecesi belirlenir. Yansıtma derecesi, ışının odaklanma derecesine ve yüzeyin yapısına göre değışir.



Şekil 4.1: Dağılık yansıyan ışın



Şekil 4.2: Düz yansıyan ışın



Şekil 4.3: Eğimli yansıyan ışın

Adım 4. Nominal tehlike mesafesi belirlenir. (Bakınız Başlık 5.5. Nominal Tehlike Bölgesi)

Adım 5. Ortamda, lazer dışı tehlikelerin (örneğin lazer ışınlarının sebep olabileceği yangın tehlikesi) olup olmadığı belirlenir.

4.2.3. Dış Mekânlarda Lazer Kullanımı

Lazer cihazının toplam tehlike değerlendirmesi, potansiyel olarak tehlikeli olan birkaç durumun kapsamını tanımlamaya bağlıdır. Tanımlama, aşağıdaki adımlar takip edilerek yapılır.

Adım 1. Lazerin normal kullanımı göz önüne alınarak, maksimum maruziyet süresi belirlenir ve belirlenen maksimum maruz kalınabilecek süre için belirtilen maruziyet sınır değeri bulunur.

Adım 2. Nominal tehlike mesafesi (tahmini olarak) belirlenir. (Bakınız Başlık 5.5. Nominal Tehlike Bölgesi)

Adım 3. Araçlardaki pencere ve aynalar gibi aynasal yüzey yansımalarından kaynaklanan potansiyel tehlikeler değerlendirilir.

Adım 4. Lazer özellikle 400 – 1400 nm dalga boyu aralığında ışın yayıyorsa, nominal mesafede tehlikeli yansıyan ışınların olup olmadığı değerlendirilir.

Adım 5. Hem yatay hem de dikey aralık kontrolü için lazer platformunun stabilitesi değerlendirilir.

Adım 6. Lazer ışını alanında insanların bulunma olasılığı değerlendirilir.

4.2.4. İnsan (Çalışan) Faktörü

Bir lazerin yakınında bulunabilecek kişilerin özellikleri, kullanılan lazerin tehlike sınıfı için normal şartlarda gerekli olmayan ek kontrol önlemleri alınmasını gerektirebilir. Uyarı işaretlerini veya yazılarını okuyamayan veya anlayamayan göçmen çalışanlar gibi, lazerin çalışma ortamında bulunabilecek çalışan grupları, tehlikenin yeniden değerlendirilmesi ve ek kontrol önlemlerinin alınmasını gerektirir.

Çalışanların özellikleri, özellikle orta riskli (orta güçte) lazerlerin kullanıldığı durumlarda, risk değerlendirmesini etkileyecektir. Askeri amaçlı kullanılan lazerler ve inşaat işlerinde kullanılan bazı orta riskli lazerler için temel tehlike kontrolü, operatörün lazer ışığını çalışanlardan veya ayna gibi yansıtıcı yüzeylerden uzak tutmasına bağlıdır.

Lazer ışığına maruz kalabilecek kişiler için dikkate alınması gereken faktörler aşağıda belirtilmiştir.

- ✱ Lazer kullanıcılarının yaşı, genel eğitim seviyesi ve deneyimi (örneğin öğrenciler, usta operatörler, askerler, bilim adamları)
- ✱ Diğer kişilerin (diğer çalışanlar ve ortamda bulunan diğer kişiler) yaşı, lazer radyasyonunun tehlikeleri hakkındaki farkındalıkları ve ilgili güvenlik önlemlerini uygulama konusundaki bilgi ve yetenekleri
- ✱ Lazer operasyonunda yer alan tüm kişilerin lazer güvenliği konusunda eğitim dereceleri
- ✱ Bireylerin göz koruyucusu kullanma konusundaki tutumları
- ✱ Birincil (ana) ışın veya yansımalara göre bireylerin sayısı, konumları ve ışına maruz kalma olasılıkları

5. LAZER GÜVENLİK PROGRAMI – GENEL YAKLAŞIM

Bu bölümde, lazer radyasyonuna maruziyetin etkin kontrolü ve lazer ürünlerinden yayılan radyasyona maruziyetten korunmak için alınabilecek önlemlere yer verilecektir.

Lazer kullanan kişiler, kendilerini ve çalışma ortamındaki diğer kişileri korumak için bu bölümdeki yönergelere uymalıdır. İşyerinde lazer güvenliğinden sorumlu kişiler ve lazer operatörleri, Sınıf 2, Sınıf 3 ve Sınıf 4 lazerlerle veya çevresinde çalışmadan önce uygun şekilde eğitilmelidir.

Lazer güvenliği ile ilgili yaklaşımlar, bireyler ve gruplar arasında büyük farklılıklar göstermektedir. Lazer güvenliği ile ilgili programların çoğu halen gelişme aşamasındadır. Bazı kuruluşlar, yönetim ve teknik denetim, çevre sağlığı, sağlık ve güvenlik personelinin sorumlulukları konularında yazılı politika ve uygulamalara sahiptir. Bu tür politikalar genellikle bireysel sorunlar için özel hükümler tanımlamaktadır. Tüm bu politikalar ve prosedürler, öncelikle mühendislik kontrollerinin uygulanması temeline dayanmaktadır.

Hem bireysel olarak lazer cihazını kullanan lazer operatörü hem de lazer operasyonlarının güvenli bir şekilde yürütülmesi için sorumlu olan denetim personeli için uygun eğitim ve öğretim programları uygulanmalıdır. Mühendislik önlemler; lazer kaynağının kilit altına alınmasını, lazer cihazının kullanıldığı odaların uygun bir şekilde tasarlanmasını, koruyucu malzemeleri ve uyarı işaretlerini içermelidir.

Koruyucu gözlük seçimi, birbiriyle ilişkili birçok faktörü içerir. Ticari olarak temin edilebilen koruyucu gözlüklerin, belirli bir dalga boyuna veya dalga boyu grubuna karşı koruma için tasarlandığına dikkat edilmelidir. Mühendislik ve prosedür kontrolleri yetersiz olduğunda, belirli dalga boylarına göre tasarlanmış göz koruyucular kullanılmalıdır.

Lazer maruziyetinin önlenmesi (veya kontrol altına alınması) uygulamalarında, temel koruma politikası iki ana unsur çevresinde şekillenir.

- ✶ Çalışanlar, maruziyet sınır değerleri aşılmaya bile, lazerden çıkan birincil (ana) ışına veya ışının spesifik yansımalarına bakmamalıdır (maruz kalmamalıdır).
- ✶ Lazer operatörünün kullanılan lazer tipini bilmesi ve sorumluluklarının farkında olabilmesini sağlamak için lazer cihazlarını kullanan tüm bireylere uygun eğitimler verilmelidir.

Lazer cihazlarının, sınıflarına uygun olarak tasarlanmış, kontrollü bir alanda çalışması gerekmektedir. Lazer ışınının kat ettiği yola özel önem verilmelidir. Lazer sistemlerini yalnızca yetkili personel çalıştırmalıdır. Diğer çalışanların gerekli önlemler alınmadıkça kontrollü alanlara girmelerine izin verilmemelidir.

Lazer optik ekipmanları (aynalar, lensler, ışın saptırıcılar vb.) kullanılarak bir lazer ışınının görüntülenmesi (ya da lazer ışınına bakılması), sınır değerin üzerinde bir maruziyete yol açarak göz yaralanması riskini artırabileceğinden, bu tip optik cihazlar kullanılırken özel dikkat gösterilmelidir. Mikroskoplar ve teleskopların görüntüleme amaçlı kullanılmasında, maruziyet sınır değerinin üzerindeki maruziyetleri önlemek için gereken durumlarda bu aletler bir filtre veya kilitleme sistemi ile donatılmalıdır. Lazer ışın yolunun düzgün bir şekilde konumlandırıldığından ve tehlikeli aynasal yansımaların meydana gelmediğinden emin olmak için ekstra dikkat gösterilmelidir.

Ameliyat veya teşhis amaçlı kullanılan tıbbi lazer cihazlarında, göz koruması için güvenlik talimatları bulunmalıdır. Güvenlik talimatları, herhangi bir elektrikli ekipman için normal güvenlik önlemlerini de içermelidir. Eğitim amaçlı kullanılan lazer cerrahi cihazlarında, çift kontrol sistemi bulunmalıdır. Tüm potansiyel kullanıcılara ve ameliyathane personeline, uygun bir eğitim verilmelidir. Kontrol önlemleri; uzmanlar tarafından tedavi, teşhis ve araştırma amacı ile kasıtlı olarak uygulanan maruziyet durumlarında, lazerin kullanım amacını kısıtlamamalı veya sınırlamamalıdır. Organ veya dokuların, lazer radyasyonuna gereksiz yere maruz kalmasını en aza indirmek için önlemler alınmalıdır.

Yüksek güçlü lazer sistemlerinin tıbbi ve endüstriyel uygulamalarında, cildin, maruziyet sınır değerin üzerinde lazer radyasyon seviyelerine istemsiz maruz kalma olasılığı artar. Bu tür yüksek güçlü (Sınıf 4) lazer sistemleri ile çalışan personel için mümkün olan her yerde cilt koruması sağlanmalıdır.

5.1. İşyerinde Lazer Radyasyonu Taraması

Lazer radyasyon taramasının amacı, lazer ışını üreten lazer cihazlarının güvenlik gereksinimlerine uygun olup olmadığını ve çalışanların sınır değerlerin üzerinde lazer radyasyonuna maruziyeti olup olmadığını belirlemek, sınırlamalar getirilmesi gereken alanları ve kontrollü alanları tanımlamaktır. Lazer radyasyonu taraması yapılırken, aşağıdaki prosedürlere uyulmalıdır:

- ☀ Lazer radyasyon taramaları ve lazer tehlikelerinin değerlendirmesi yetkin bir kişi tarafından yapılmalıdır.
- ☀ Aşağıdaki durumlarda yetkili kişi lazer risklerini tekrar değerlendirilmelidir.
 - ⚠ Rutin çalışma başlamadan önce
 - ⚠ Maruziyet sınır değerlerini aşabilecek miktarda lazer radyasyonu üretebilen tüm yeni lazer cihazlarının kurulumunda
 - ⚠ Maruziyet seviyelerinin, sınır değerleri aşmamasını sağlamak için kullanılan koruyucu ve bariyerlerde herhangi bir onarım veya değişiklik yapılması durumunda
 - ⚠ Lazer radyasyon seviyelerini etkileyebilecek herhangi bir arızadan şüpheleniliyorsa
 - ⚠ Düzenli aralıklarla

5.2. Lazer Güvenlik (Tehlike) Sınıflandırması

Lazerler; biyolojik hasara neden olma potansiyellerine göre tehlike sınıflandırmasına tabi tutulurlar. Lazer sınıflandırmasında (hasar potansiyelini belirleyen) dikkate alınan genel parametreler şunlardır:

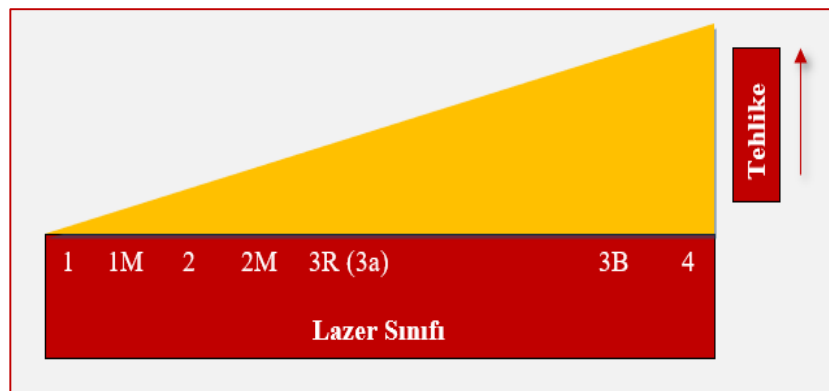
- ✳️ Lazer çıkış enerjisi veya gücü
- ✳️ Işığın dalgı boyı
- ✳️ Maruziyet süresi
- ✳️ Bir noktadaki lazer ışınının kesit alanı.

Lazer sınıflandırılması, lazer radyasyonunun çıkış parametrelerine ve erişilebilir emisyon (yayılım) seviyesine dayanmakta olup sınıflandırma esasları büyük ölçüde Uluslararası Elektroteknik Komisyonu tarafından belirlenmiştir.

Erişilebilir emisyon seviyesi – İngilizce: **Accessible Emission Limit (AEL)**; belirli bir lazer için izin verilen (maksimum) erişilebilir emisyon seviyesini ifade etmektedir.

Erişilebilir emisyon limiti, lazer tarafından belirli bir dalga boyunda yayılan ve belirli bir aralıktan (sınırlayıcı aralık – İngilizce: Limiting Aperture) geçen ışınının, belirli bir süredeki (maruziyet süresi) güç (Watt) veya enerji (Joule) cinsinden maksimum (sınır) değerini ifade eder.

“Erişilebilir emisyon”, sadece lazer cihazından çıkan emisyon (ışın gücü) değerini dikkate almaz, aynı zamanda lazer emisyonuna insan erişimini de (lazer ışınlarına insanların temasını da) dikkate alır. Bir lazerin doğru sınıflandırmasını sağlamak ve lazeri, mevzuatta belirtilen uygun uyarı etiketleri ve güvenlik önlemleri ile donatmak üreticinin sorumluluğundadır. Lazerler; (4) ana grupta ve (7) alt grupta sınıflandırılırlar. **Sınıflandırma büyüdükçe, zarar verme potansiyeli de büyür.**



Şekil 5.1: Lazer Güvenlik Sınıflandırması

Sınıf 1 - Muaf Lazerler: Tehlikeli olmayan lazer sistemleri (bilinen biyolojik tehlikeler içermeyen lazerler) olarak tanımlanırlar. Sınıf 1 lazerler, normal kullanımında, hatta mercek veya dürbün gibi optik görüntüleme cihazları ile kullanılırken bile güvenli olarak değerlendirilen lazerlerdir.

Sınıf 1 lazerler, **normal çalışma koşullarında** zararlı radyasyon seviyeleri üretmez. Bu sınıftaki lazerler için güvenlik önlemi alınması gerekmez. Bu sınıftaki lazer ürünleri; genellikle lazer ışınına insan maruziyetini önleyen bir muhafaza içinde yer alırlar (Dış kapak açıldığında, lazerin çalışmasını durduracak güvenlik anahtarı ile donatılmış şekilde tasarlanmışlardır).

Örnekler:

- ⚠ Lazer yazıcılar
- ⚠ CD / DVD okuyucu ve yazıcılar



Sınıf 1M - Muaf Lazerler: Normal çalışma koşulları altında, çıplak göz için güvenli lazer kaynaklarıdır. Eğer lazer ışınına, büyüteç veya dürbün gibi optik cihazlar ile birlikte bakılırsa tehlike oluşturabilirler (örneğin, bağlantısız fiber optik iletişim sistemleri).

Sınıf 1M lazerler için güvenlik programı uygulamaya ve kontrol önlemleri almaya gerek yoktur.

Sınıf 2 – Düşük Güçlü, Görünür Işık Yayan Lazerler: Sınıf 2 lazerler, görünür dalga boyunda (400-700 nm) ışın yayan 1mW gücündeki lazerlerdir. Optik görüntüleme cihazları ile ışına bakılsa bile, uzun süre direkt ışına maruz kalınmadığı sürece göz refleksi (0.25 saniye) ile potansiyel zararlardan göz korunur. Kasıtlı olarak ışına bakıldığında tehlikeli olabilirler.

Sınıf 2 lazer cihazları, gözler için doğal olarak güvenli olmasa da maruz kalındığında gösterilen doğal reflekslerin yeterli koruma sağladığı varsayılır.

Sınıf 1'in üstünde, ancak 1 mW radyant gücünü aşmayan, sürekli bir dalga yayan helyum neon lazer, Sınıf 2 lazerin bir örneğidir.

Örnek:

⚠ Barkod tarayıcıları



Sınıf 2M – Düşük Güçlü, Görünür Işık Yayan Lazerler: Sınıf 2M lazerler, görünür ışın yayan lazer cihazları olup, sadece çıplak gözle kısa süreli maruziyetlerde güvenlidirler. Büyüteç veya teleskop gibi optik görüntüleme cihazları ile bakıldığında, olası göz hasarı riskleri vardır. Doğal göz korunması; göz kırpma refleksi ile sağlanır.

Örnek:

⚠ İnşaat mühendisliğinde kullanılan seviye ve hizalama araçları



Sınıf 3R – Orta Güçlü Lazerler ve Lazer Sistemleri: Sınıf 3 lazerler, potansiyel olarak tehlike oluşturabilecek doğrudan ışın demeti yayan lazer cihazları olup çoğu durumda yaralanma riski, kısa ve istemsiz maruziyetlerde düşüktür. Bununla birlikte, eğitimsiz kişiler tarafından kullanıldıklarında tehlikeli olabilirler. Optik cihazlarla bakıldığında tehlike oluşturabilirler. Parlak ışığa maruz kalındığında gösterilen doğal refleks ve kızılötesi radyasyona maruziyette korneada oluşan ısınmaya gösterilen refleks dolayısı ile risk sınırlıdır.

Normal şartlarda, dağınık yansıma veya yangın tehlikesi oluşturma riski taşımazlar.

Örnek:

⚠ Yüzey ölçüm lazerleri, yüksek güçte lazer işaretleyiciler, hizalama lazerleri



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

Örnek:

⚠ Lazerli fizik tedaviler, araştırma laboratuvarı lazerleri



Sınıf 4 – Yüksek Güçlü Lazerler ve Lazer Sistemleri: Tehlikeli mesafe içerisinde doğrudan bakılması veya cildin maruz kalması halinde tehlike oluşturan lazerlerdir (çeşitli yüzeylerden yayılan yansımalar da tehlikeli olabilir). Bu tip lazerler genelde yangın çıkarma riski de taşırlar.

Bu sınıftaki lazerler, dağınık yansıma oluşturma riski de taşırlar. Sınıf 4 lazerler, Sınıf 3 sınırlarını aşan tüm lazerleri içerir.


Örnek:


⚠ Lazer metal kesim



NOTLAR

1. Özellikle 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 6.1’de farklı lazer güvenlik sınıfları için gerekli kontrollerin özeti verilmiştir.
2. Kullanılan renkler için ölçütler:

 Tehlikesiz veya Düşük Derecede Tehlikeli

 Orta Derecede Tehlikeli

 Yüksek Derecede Tehlikeli

5.2.1. Tehlike Sınıflandırması için Gerekli Olan Lazer Işını Çıkış Parametreleri

Sınıf 4'ün altındaki her bir lazer sınıfı için erişilebilir emisyon sınırları oluşturulmuştur. Sınıf 4 lazerler için erişilebilir emisyon sınırları yoktur. Farklı lazer türlerinin sınıflandırılması için aşağıdaki parametreler gereklidir:

- ☀️ Tüm lazerler için dalga boyu veya dalga boyu aralığı

Genel olarak; daha kısa dalga boyları herhangi bir spektral bölgede daha tehlikelidir, fakat yakın kızıl ötesi lazer ışınları görünmeyen retinal tehlikelere yol açtıkları için en tehlikelileridir.

- ☀️ Sürekli dalga yayan veya aralıklı olarak darbeli ışına yapan lazerler için ortalama güç çıkışı ve bazı durumlarda yapılan işleme bağlı olarak maruziyet süresi
- ☀️ Darbeli lazerler için darbe (veya tepe gücü) başına toplam enerji, darbe süresi, darbe tekrarlama frekansı ve ortaya çıkan ışın radyantına maruziyet

Genel olarak darbeli lazerler, sürekli ışınım yapan lazerlerden daha tehlikelidir. Darbe süresi ne kadar kısa olursa tepe gücü o kadar yüksek olur ve tehlikesi artar.

- ☀️ Enjeksiyon lazer diyotları ve kalıcı bir difüzöre sahip lazerler gibi geniş kaynaklı lazer cihazları için yukarıda belirtilen parametrelerin tümü, lazer kaynak parlaklığı ve maksimum görüş açısal değeri (α)

Sınıflandırma şeması özellikle lazer cihazının erişilebilir emisyon ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak oluşturduğu potansiyel tehlike ile ilgilidir. Lazer ürünleri bu alandaki ulusal mevzuata ve uluslararası standartlarda yer alan kriterlere göre, üretici tarafından sınıflandırılmalı ve sınıflandırmalarına uygun bir şekilde etiketlenmelidir.

Bu rehber, üretici tarafından sınıflandırılması yapılan bir lazer cihazının sınıflandırmasına göre, kullanıcının tehlike sınıflandırmasına uygun olarak, risklerin ortadan kaldırılması için alınması gereken güvenlik önlemlerini belirtmekte olup üreticilerin görev ve yükümlülükleri ile ilgili bilgiler içermemektedir.

Kullanıcılar; lazer ürününün çalışma sırasındaki tehlikelerini değerlendirebilmek ve uygun önlemleri alabilmek için lazer emisyonu için ölçümler yapma yükümlülüğüne gerek duymadan, üreticinin ürün sınıflandırmasını kullanabilmelidir.

Bir lazer aygıtının güç çıkışı, ışın çapı, darbe uzunluğu, dalga boyu, ışın yolu, ışın sapması ve maruziyet süresi gibi özellikleri, lazer ışınına maruz kalan kişinin yaralanabilme riskini belirler.

Bir lazerin kullanımından kaynaklanan yaralanma potansiyeli lazerlerin sınıflandırılmasıyla belirlenir. Dolayısıyla lazer sınıfı da kontrol önlemlerini belirler.

Lazer sınıflandırmasının ardından, izin verilebilir maksimum maruziyet değeri (maksimum izin verilebilir maruziyet ya da maruziyet sınır değeri) - [İngilizce: Maximum Permissible Emission \(MPE\)](#), optik yoğunluk - [İngilizce: Optical Density \(OD\)](#) ve nominal tehlike bölgesi - [İngilizce: Nominal Hazard Zone \(NHZ\)](#) kavramları bilinmelidir.

5.3. Maruziyet Sınır Değeri (MPE)

Maruziyet sınır değeri (MPE), lazer ışınına maruz kalan bir kişinin gözünde veya cildinde tehlikeli etkiler veya biyolojik değişiklikler olmadan, maruz kalabileceği maksimum lazer radyasyonu seviyesidir.


Uluslararası Radyasyondan Korunma Kurumu (IRPA) ile Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon Komitesi (INIRC), ilk olarak 1985 yılında lazer radyasyonuna maruz kalma sınırlarıyla ilgili yönergeler yayınlamıştır. 1988 yılında ise genişletilmiş bir lazer veri tabanı oluşturulmuş ve yönergeler revize edilmiştir. Maruziyet sınır değerlerinin belirlenmesi, olası biyolojik etkilerin ve maruz kalma-tepki ilişkisinin geçerli bir değerlendirmesini sağlar. MPE; lazerin dalga boyu, enerjisi ve maruziyet süresi ile belirlenir. (MPE değerleri için EK-A bölümüne bakınız)

Lazer Maruziyet Sınır Değeri Hesaplamak için Kullanılabilecek Program*

Aşağıda ekran görüntüsü verilen programda, ilgili parametreler girilerek, maruziyet sınır değeri, saçılma gibi değerler hesaplanabilmektedir.

Irradiance Calculator		
Beam diameter at aperture:	<input type="text"/>	mm
Divergence:	<input type="text"/>	mrad
Distance to audience:	<input type="text"/>	m
Laser power:	<input type="text"/>	mW
Diameter at audience:	<input type="text"/>	mm
Minimum diameter (> 7mm):	<input type="text"/>	mm
Beam area:	<input type="text"/>	mm ²
Irradiance:	<input type="text"/>	mW/cm ²

Divergence Calculator		
Beam diameter at aperture:	<input type="text"/>	mm
Beam diameter at distance L:	<input type="text"/>	mm
Distance L:	<input type="text"/>	m
Calculated divergence:	<input type="text"/>	mrad



The diagram shows a green laser beam originating from a small aperture on the left. The beam diverges as it travels a distance L to the right, where it hits a vertical surface. The beam's diameter increases from the aperture to the surface.

* <http://mpe.laserextreme.nl/>

5.4. Optik Yoğunluk (OD)

Optik yoğunluk (OD, İngilizce: [Optical Density](#)); uygun göz koruyucusunun belirlenmesinde kullanılan bir kavram olup aşağıdaki formül kullanılarak belirlenir:

$$OD = \log_{10} \left[\frac{H_0}{MPE} \right]$$

Formül 5.1: Optik yoğunluk hesaplama formülü

Formüldeki en kötü senaryoda maruziyeti joule/cm² veya watt/cm² cinsinden ifade ederken, MPE ise maruziyet sınır değerini ifade etmektedir.

Lazer türlerine göre çeşitli maruziyet süreleri için hesaplanan OD değerleri, Tablo 5.1.'de listelenmiştir. Hesaplanan bu değerlerin yalnızca ışının doğrudan görüntülenmesi (direk maruziyet durumları, en kötü senaryo) için olduğu unutulmamalıdır. Sınıf 4 lazerlerden kaynaklanan dağınık yansımalara maruziyet, genellikle daha düşük OD değeri içerir. OD değerleri, her durum için lazer parametrelerine ve maruziyet mesafelerine bağlı olarak değişiklik gösterecektir.

Tablo 5.1: Çeşitli lazer türleri ve maruziyet durumları için hesaplanan OD değerleri*

Lazer Türü / Gücü	Dalgaboyu (µm)	OD 0.25 saniye	OD 10 saniye	OD 600 saniye	OD 30000 saniye
XeCl 50 watt	0.308 [a]	-	6.2	8.0	9.7
XeFl 50 watt	0.351 [a]	-	4.8	6.6	8.3
Argon 1.0 watt	0.514	3.0	3.4	5.2	6.4
Kripton 1.0 watt	0.530	3.0	3.4	5.2	6.4
Kripton 1.0 watt	0.568	3.0	3.4	4.9	6.1
HeNe 0.005 watt	0.633	0.7	1.1	1.7	2.9
Kripton 1.0 watt	0.647	3.0	3.4	3.9	5.0
GaAs 50 mW	0.840 [c]	-	1.8	2.3	3.7
Nd:YAG (Q-sviç) [b]	1.064 [a]	-	4.7	5.2	5.2
Nd:YAG 50 watts	1.064 [a]	-	4.5	5.0	5.4
Nd:YAG [c]	1.33 [a]	-	4.4	4.9	4.9
Karbondioksit 1000 watt	10.6 [a]	-	6.2	8.0	9.7

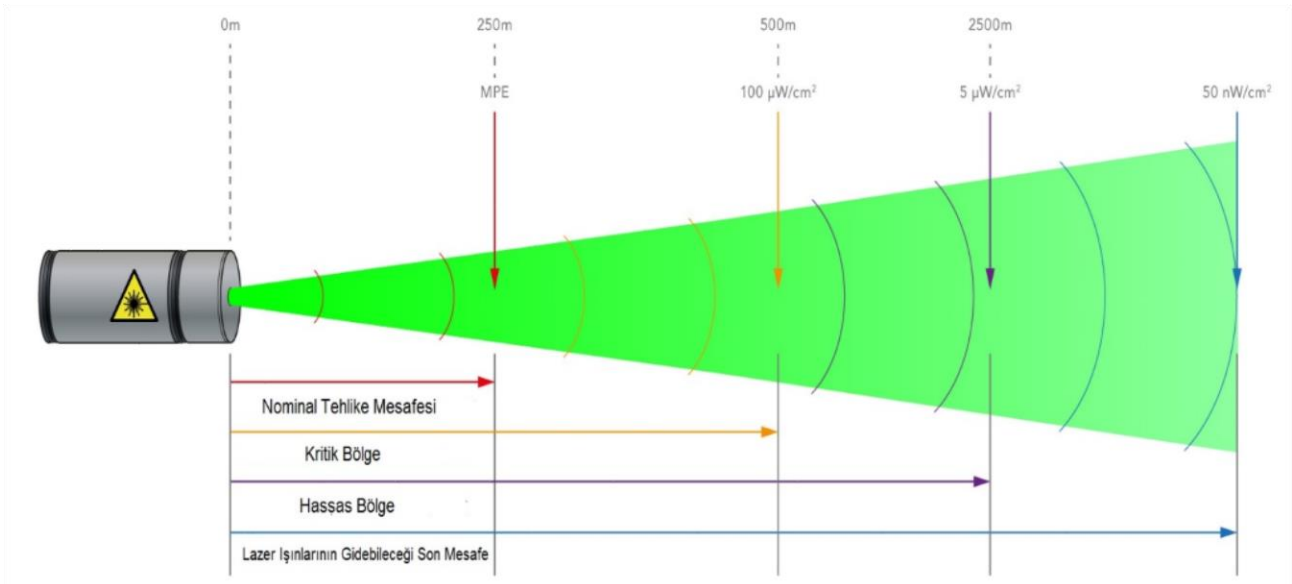
NOTLAR

[a]: 11 Hertz frekansta, 12 nano saniye darbe aralığında, 20 mJ darbe gücünde, tekrarlanan darbeleri ışınma
[b]: En kötü senaryo için OD değeri, UV ve FIR (uzak kızıl ötesi) ışınlar için 1 mm sınırlayıcı aralık, görünür / NIR (yakın kızıl ötesi) ışınlar için 7 mm sınırlayıcı aralık değeri kullanılarak hesaplanmıştır.
[c]: Nd: YAG lazerler, nadiren 1.33 µm dalga boyunda çalışırlar.

*https://ehs.princeton.edu/sites/ehs/files/media_files/Laser%20Training%20Guide%202007%2013-08.pdf

5.5. Nominal Tehlike Bölgesi (NHZ)

Belirli bir mesafede, lazer ışınları yol katettikçe lazer ışınlarındaki sapma ve açılmanın sonucunda, maruziyet değeri (göz için) maruziyet sınır değerine eşit olacaktır. Bu mesafeye, nominal tehlike mesafesi, bu mesafeye kadar olan bölgeye de nominal tehlike bölgesi - İngilizce: Nominal Hazard Zone (NHZ) denir. Nominal tehlike mesafesi, normal çalışma sırasında doğrudan, yansıyan veya saçılmış ışınlar maruziyet seviyesinin MPE'yi aştığı alanı (mesafeyi) tanımlar. Bu mesafeden daha uzak mesafelerde maruziyet sınır değeri aşılmayacağından, bu mesafeden daha uzak mesafeler için lazer ışınının güvenli olduğu kabul edilir. Potansiyel olarak tehlikeli seviyede maruziyet olasılığının bulunduğu alanı tanımlamak için açık ışınların (ışınların korumasız bir şekilde mesafe kat etmesi) gerekli olduğu bazı uygulamalarda (örneğin endüstriyel işleme, lazer robotik, cerrahi kullanım gibi) tehlike mesafesinin belirlenmesi gereklidir.



Şekil 5.2: Nominal Tehlike Mesafesi

(**Not:** Mesafe arttıkça, saçılma oranı artmakta, ışınım gücü ise azalmaktadır.)

NHZ'nin belirlenmesinin amacı, kontrol önlemlerinin gerekli olduğu alanı tanımlamaktır. Lazerlerin kullanım alanları genişledikçe, lazerleri koruyucu bir muhafazada veya kilitli bir odada toplam kontrol altında çalıştırma olanakları azalmakta ve çalışanlar açısından risk artmaktadır. 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 hesaplamak mümkündür (Formül 5.2).

- ✶ Işınım (radyant) gücü (Watt)
- ✶ İlk ışın yarıçapı (santimetre)
- ✶ Saçılma (radyan)


☀️ Maruziyet sınır değeri (MPE)

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

Formül 5.2: Nominal tehlike mesafesi hesaplama formülü

Lazer Tehlike Bölgesi Hesaplama Programı*

Aşağıda ekran görüntüsü verilen programda ilgili parametreler girilerek, ışın yarıçapı, nominal tehlike mesafesi, saçılan ışınlar için güvenli mesafe, kullanılması gereken göz koruyucusunun özellikleri gibi hususlar hesaplanabilmektedir.



Beam Diameter and Irradiance Calculator

This calculator is valid only for lasers emitting **visible** (400-700 nanometers), **continuous wave** (CW) laser light, over **long** distances.

Milliwatts (power)

 mW

Enter the laser's power in **milliwatts**.
If you know the power in **watts**, multiply the watts by 1000 to get milliwatts. For example, for a 1 watt laser, enter **1000**; for a 1.5 watt laser, enter **1500**; for a 40 watt laser enter **40000**.

Milliradians (divergence)

 mrad

If you don't know the beam **divergence**, use **1** milliradian for lasers under 500 milliwatts in power, and **1.5** milliradians for lasers 500 milliwatts and above.

Distance

 units

* <https://www.laserpointersafety.com/irradiance.html>

Tablo 5.2'de, çeşitli lazerler ve parametreler için hesaplanan NHZ değerleri verilmiştir.

Tablo 5.2: Çeşitli lazerler için NHZ değerleri*

Lazer Türü	Maruziyet Kriterleri	Saçılan Işına Maruziyette	Lens Takılı Lazer Işınına Maruziyette	Direk Işına Maruziyette
--- Tehlike Mesafeleri (metre) ---				
Nd:YAG , 100 Watt 1.064 μm	8 saat 10 saniye	1.4 0.8	11.3 6.3	1410 792
CO₂ , 500 Watt 10.6 μm	8 saat 10 saniye	0.4 0.4	5.3 5.3	309 390
Argon , 5.0 Watt 0.488 μm	8 saat 0.25 saniye	12.6 0.25	1.7 x 10 ³ 33.3	25.2 x 10 ³ 240
NHZ Değerlerini Hesaplamak için Kullanılan Lazer Parametreleri				
Parametre	Nd:YAG	CO ₂	Argon	
Dalgaboyu (μm)	1.064	10.6	0.488	
Işın gücü (Watt)	100.0	500.0	5.0	
Işın saçılması (mrad)	2.0	2.0	1.0	
Aralıktaki ışın boyutu (mm)	2.0	20.0	2.0	
Lensteki ışın boyutu (mm)	6.3	30.0	3.0	
Lensin odak uzunluğu (mm)	25.4	200.0	200.0	
MPE (8 saat için)	1.6 x 10 ³	1.0 x 10 ⁵	1.0	
MPE (10 saniye için)	1.0 x 10 ⁵	-	-	
MPE (0.25 saniye için)	-	-	2.5 x 10 ³	

*ANSI A 136.1 (1993) https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iii/otm_iii_6.html#app_iii:6_4

5.6. Lazer Güvenlik Sorumlusu

Sınıf 3B ve Sınıf 4 lazerlerin kullanıldığı işyerlerinde, işveren tarafından lazer güvenliğinden sorumlu olarak, yeterli yetkinliğe sahip bir veya daha fazla kişi görevlendirilmelidir. Lazer güvenlik sorumlusu olarak görevlendirilecek kişi, lazer ekipman üreticisi veya tedarikçisi firma tarafından eğitime tabi tutulmalı, bunun mümkün olmadığı durumlarda çalışanın temel iş sağlığı ve güvenliği eğitim programının içerisinde temel İSG konularının yanı sıra lazer eğitim konuları da yer almalıdır. Her iki durumda da; lazer güvenlik sorumlusu olarak görevlendirilecek kişinin eğitim konuları, lazerlerin yapısı ve çalışma prensipleri, lazerlerin biyolojik etkileri, maruziyet sınır değerleri, tehlike sınıflandırmaları, NHZ hesaplamaları, kontrol önlemleri (alan kontrolleri, göz koruma, bariyerler vb.) ve tıbbi gözetim gerekliliklerini ayrıntılı olarak içermeli, lazer güvenlik sorumlusu yeterli eğitim almış, gerekli bilgi ve beceriye sahip olmalıdır.

Lazer güvenlik sorumlusunun görevleri şunlardır:

- ✱ Lazer radyasyonu nedeniyle özel bir tehlikenin yol açacağı risk söz konusu olduğunda, etkili bir güvenlik programının geliştirilmesini ve uygulanmasını sağlamak için işyerinde görevli İSG profesyonelleri ile işbirliği yapmak
- ✱ Çalışanların uygun şekilde bilgilendirilmesini sağlamak ve lazer maruziyetinin azaltılması veya önlenmesinde işveren ve çalışanlar arasındaki işbirliğini sağlamak
- ✱ Lazer ekipmanı için güvenli çalışma prosedürleri oluşturmak ve tüm personelin bu ekipmanlardan haberdar edilmesini sağlamak
- ✱ Normal kullanım koşulları altında ekipmanın kullanımından kaynaklanabilecek maruziyet değerlerini bilmek
- ✱ NHZ değerlendirmesini yapmak ve NHZ'yi belirlemek
- ✱ Kontrollü alanları belirlemek ve işyerinde görevli İSG profesyonelleri ile paylaşarak işyerine ait risk değerlendirmesinde göz önünde bulundurulmasını sağlamak
- ✱ Maruziyet sınır değerlerinin üzerinde maruziyetin ortaya çıkabileceği alanları tanımlamak ve bu alanlarda uyarı işaretleri bulunmasını sağlamak
- ✱ Sınır değer üzerinde lazer maruziyetlerini araştırmak ve rapor etmek
- ✱ Sınır değer üzerinde lazer radyasyonuna maruz kalan kişiler için maruziyet sürelerini belirlemek
- ✱ Uygun kontrol önlemlerini belirlemek ve uygulamak ile bu konuda işyerinde görevli İSG profesyonelleri ile işbirliği yapmak
- ✱ Tıbbi gözetim yapılmasını sağlamak
- ✱ Lazer personelinin sınıflandırılmasını sağlamak

Endüstriyel kuruluşlarda, lazer sayısına ve lazer kullanımına bağlı olarak tam ya da yarı zamanlı bir lazer güvenlik sorumlusu görevlendirilmelidir.

Genellikle işyerlerinde, lazer güvenlik sorumlusu olarak, işyerinde sağlık ve güvenlik biriminde çalışan bir kişi ya da lazerlerin çalışmasından sorumlu mühendis görevlendirilmektedir.

6. LAZER GÜVENLİK PROGRAMI – ÖNLEMLERİN UYGULANMASI

Kontrol önlemlerinin uygulanmasının amacı, tehlikeli lazer radyasyonuna ve ilgili diğer tehlikelere maruz kalma olasılığını azaltmaktır. Maruziyet sınır değerinin (değerlerinin) aşılma ihtimalinin olduğu durumlarda, tehlikeler uygun yöntemler ile kontrol altına alınmalıdır. Risklerin ortadan kaldırılması aşamasında uygulanabilecek kontrol önlemleri, hiyerarşik sıraya göre (takip edilmesi gereken sıraya göre) aşağıda belirtilmiştir:

- ☀—Tehlikenin (riske yol açan kaynağın) yok edilmesi / ortadan kaldırılması
- ☀—Daha az tehlikeli çalışma şekli veya ekipman seçilmesi
- ☀—Mühendislik önlemler
- ☀—Yönetimsel (idari) ve prosedürel önlemler
- ☀—Kişisel koruyucu donanım kullanımı

Genel olarak; teklife kaynağında yok edilemiyor ise diğerlerine göre mühendislik kontrol önlemleri daha güvenilir olup risklerin kontrol altına alınmasında en çok kullanılan önlemlerdir. Mühendislik kontroller, laboratuvar ve atölye ortamlarında kullanılan lazer cihazları için kullanıldıklarında en etkili sonuçları verirler. Mühendislik kontrol önlemleri uygulanamıyorsa diğer kontrol önlemlerine başvurulmalıdır.

İdari ve prosedürel kontroller, mühendislik kontrol önlemlerinin yerine kullanılamayacak ek tedbirleri içerir. İdari kontroller genellikle lazer cihazlarının, açık alanda yapılan çalışmalarda kullanıldığı durumlarda uygulanırlar.

Lazerin kullanıldığı ortama özellikle dikkat edilmelidir. Uygulanacak kontrol önlemlerini belirlemek için lazerin sınıfı ve lazer uygulaması ile birlikte çalışma ortamı da dikkate alınmalıdır.

Dikkate alınması gereken temel unsurlar şunlardır:

- ☀—Lazer sayısı ve sınıfı
- ☀—Lazerin konumu
- ☀—Bilgisiz ve korumasız çalışanlar
- ☀—Işın yolları
- ☀—Işın yolunda bulunan ya da ışın yoluna yakın mesafedeki yansıtıcı yüzeyler ve objeler
- ☀—Lensler, mikroskoplar vb. optik cihazların kullanımı

6.1. Işın Yollarının Kontrolü

Lazerlerin kullanım şekillerine göre, tüm ışın yolunun tamamen kapatıldığı, ışın yoluna erişimin önemli ölçüde sınırlandırıldığı ve ışın yolunun tamamen açık olduğu durumlar ortaya çıkmaktadır. Her durumda gerekli kontrol önlemleri aşağıdaki gibi değişecektir:

6.1.1. Tamamen kapalı ışın yolları

Sınıf 1 lazerlerin çoğu, koruyucu bir muhafaza içinde bulunan güçlü lazerlerden oluşur. Sınıf 1 lazer muhafazalarının üzerinde kilitler bulunmalı veya lazerin koruma muhafazası çıkarıldığında lazerin çalışmasını durduracak sviç sistemleri olmalıdır. Tamamen kapalı böyle bir sistem, koruyucu muhafaza kilitleri (ve diğer tüm uygulanabilir mühendislik kontrolleri) ile uygun şekilde donatılmış bir şekilde kullanılıyorsa Sınıf 1 lazer için tüm gereklilikler yerine getirilmiş kabul edilerek, operatör için ek kontroller alınmasına gerek kalmadan kapalı şekilde çalıştırılabilecektir. Çalıştırma veya bakım periyotları sırasında ışın muhafazalarının çıkartılması durumunda, lazerin sınıfına uygun kontrollere ihtiyaç duyulabileceğine dikkat edilmelidir. Bakım veya servis prosedürleri sırasında ışına erişim, çalışma sırasında lazerin Sınıf 1 durumunu değiştirmez.

6.1.2. Sınırlı açık alan ışın yolları

Lazer odaklama optiklerini ve çalışma alanını tamamen çevreleyen bir muhafaza sistemi (oda, panel gibi) inşa etmek, özellikle endüstriyel malzeme işleme lazerleri ile çalışmalarda kullanılan bir çalışma sistemidir. Genellikle muhafaza sisteminin içerisinde bilgisayar kontrollü bir konumlandırma paneli bulunur. Tasarım, genellikle muhafaza ile lazerle işlenecek malzeme arasında 1 cm'den daha az bir boşluğa izin verir. Böyle bir tasarım, lazer iletim optikleri sabit kalırken parçanın lazerle kesilmesini veya kaynak yapılmasını sağlar. Böyle bir tasarım içerisinde lazer kullanımı, sınırlı bir açık ışın yolu sağlayacak, NHZ son derece sınırlı olacak ve güvenli kullanım sağlamak için prosedür kontrolleri yeterli olacaktır. Böyle bir kurulum, ayrıntılı bir standart işletim prosedürü gerektirir. Sistem operatörünün gömülü (kapalı) lazerin sınıfına uygun bir eğitim alması gereklidir.

Risk analizine göre ihtiyaç duyulması halinde veya standart işletim prosedürünün gereksinimine göre, koruyucu ekipman (göz koruyucular, geçici bariyerler, kıyafetler ve/veya eldivenler, solunum koruyucular vb.) kullanımına ihtiyaç duyulabilir. Servis ve bakım işlemleri sırasında, gerekli koruyucu önlemler herhangi bir kapalı sistem Sınıf 4 lazer için gereken önlemlerdir.

Tamamen Açık Işın Yolları

Yüksek güçlü (Sınıf 3B ve Sınıf 4) lazerlerin kapatılmamış (açık) ışın yolu koşullarında kullanıldığı birkaç spesifik uygulama alanı (örneğin, genellikle robotik işlemleri içeren açık endüstriyel işleme sistemleri, lazer araştırma laboratuvarı uygulamaları, cerrahi uygulamalar) vardır.

Bu tip lazer kullanımlarında, lazer güvenlik sorumlusu tehlikeleri ve NHZ'yi belirlemelidir. Güvenlik önlemleri, erişilebilir ışın ile ilişkili tehlikelerin risk derecesine göre seçilmelidir.

6.2. Lazer Kontrollü Alan

Sınıf 3B veya Sınıf 4 lazerden gelen tüm ışınların yolu, maruziyetin MPE'yi aşmamasını sağlamak için yeterince kapalı değilse, "lazer kontrollü alan" oluşturulması gereklidir. Geçici olarak kontrollü bir alan kurulabilir.

Sınıf 3B lazerler, yetkisiz kişilerin girişinin engellendiği alanlarda kullanılmalıdır. Lazer güvenliği konusunda eğitim almamış bir kişinin bölgeye girmesi gerekiyorsa, lazer operatörü veya lazer güvenlik sorumlusu öncelikle bireye güvenlik gereklilikleri konusunda talimat vermeli ve gerekirse koruyucu gözlük sağlamalıdır. Işının tamamı kapalı bir sistem içerisinde ilerlemiyorsa veya ışının bir kısmı açık bir şekilde ilerliyorsa, lazer operatörü veya lazer güvenlik sorumlusu bir Nominal Tehlike Bölgesi (NHZ) belirlemelidir. Lazerin kullanımı veya çalıştırılması sırasında alarm, uyarı ışığı veya sözlü uyarıcılar kullanılmalıdır.

Kontrollü alanlar için minimum gereksinimler şunlardır:

- ✳️ Yetkisiz kişilere sınırlı erişime sahip olmalıdır.
- ✳️ Potansiyel olarak tehlikeli lazer ışınlarını sonlandırmak için ışın söndürücülere sahip olmalıdır.
- ✳️ Dağınık ve aynasal yansımaları azaltacak şekilde tasarlanmış olmalıdır.
- ✳️ Tüm personel için göz koruması bulunmalıdır.
- ✳️ Göz hizasında lazer ışını olmamalıdır.
- ✳️ Maruziyeti, MPE'nin altındaki seviyelere düşürmek için pencere ve kapılarda kısıtlamalar olmalıdır.
- ✳️ Kullanılmadığı zaman lazer devre dışı bırakılmalıdır.
- ✳️ Lazer kontrollü alanları uygun lazer uyarı işaretleri ile donatılmış olmalıdır.
- ✳️ Kalifiye ve yetkili kişilerin denetiminde (sorumluluğunda) olmalıdır.
- ✳️ Lazer ışınları hiçbir şekilde kontrollü alanın dışına çıkamamalıdır.
- ✳️ Lazer kontrollü alanların sınırı minimum olarak nominal tehlike mesafesini kapsamalıdır.

Sadece yetkili ve eğitilmiş kişiler lazere bakım yapmalıdır. Onaylı ve yazılı standart işletme, bakım ve servis prosedürleri geliştirilmeli ve uygulanmalıdır.

6.3. Geçici Lazer Kontrollü Alan

Özel eğitim, servis veya bakım dönemlerinde Sınıf 3B veya Sınıf 4 lazerlere erişim gerektiğinde, lazer güvenlik sorumlusu tarafından onaylanan özel prosedürler izlenerek geçici bir lazer kontrollü

alan oluşturulmalıdır. Bu prosedürler, bu tür işlemler sırasında gerekli olan tüm güvenlik gereksinimlerini ana hatlarıyla karşılamalıdır.

Sürekli bir lazer kontrollü alan için tanımlanan kalıcı önlemlere sahip olmayacak olan geçici lazer kontrollü alanlar, geçici lazer kontrollü alanı içindeki ve dışındaki tüm personel için tüm güvenlik gereksinimlerini sağlamalıdır.

6.4. Sınıf 4 Lazerler için Güvenlik Önlemleri

Sınıf 3B için gereken kontrol önlemlerine ek olarak, Sınıf 4 lazerler eğitimli kişiler tarafından sadece lazer kullanımına ayrılmış bölümlerde kullanılmalıdır.

Kontrollü alana beklenmedik giriş ve erişim önlenmeli, güvenlik prosedürleri konusunda talimat verilmiş ve uygun lazer koruyucu gözlük takmayan kişiler alana girmemelidir. Işın yolunda aynasal yansıtıcı yüzeyler ve yanıcı nesnelere bulunmamalı, ışın; yanmaz ve yansıtıcı olmayan bir bariyerde veya ışın durdurucuda sonlandırılmalıdır.

Sınıf 3B için önerilen ancak Sınıf 4 lazerler için gerekli olan minimum güvenlik önlemleri şunlardır:

- ✳ Girişler kontrol altında olmalıdır.
- ✳ Kontrollü alana sadece yetkili personel girebilmelidir.
- ✳ Acil çıkışlar bulunmalıdır.
- ✳ Lazer; lazerin devre dışı bırakılmasını sağlayan veya çıkış ışınının MPE'nin altına düşmesini sağlayan bir cihazla donatılmış olmalıdır.
- ✳ Sınıf 3B kontrollü alan gereksinimlerini karşılamalıdır.
- ✳ Lazer; uzak bir yerden izlenip çalıştırılabilecek bir şekilde tasarlanmış olmalıdır.
- ✳ Potansiyel olarak tehlikeli olan tüm ışınları sonlandırmak için uygun bir malzemeden yapılmış ışın sonlandırıcılar bulunmalıdır.
- ✳ Lazer kontrollü alandaki tüm personele uygun lazer göz koruması verilmelidir.
- ✳ Lazerin ışın yolu, ayakta veya oturma pozisyonundaki herhangi bir konum için göz seviyesinin üstüne veya altına sabitlenmelidir.
- ✳ Lazer çalışma alanının dışına ışın çıkmaması için alanın tüm pencereleri, kapıları, açık kısımları, kaçan lazer ışınlarını MPE seviyesinin altına indirmek için kapatılmalı veya sınırlandırılmalıdır.

Ek olarak, Sınıf 4 lazer kontrollü alana girişte çeşitli spesifik kontroller gereklidir. Bunlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- ✳ Sınıf 4 lazer kontrollü alanına giren tüm personel uygun şekilde eğitilmeli, personele uygun lazer göz koruması verilmelidir.

- ✱Tüm personel yürürlükteki tüm idari ve prosedürel kontrollere uymalıdır.
- ✱Sınıf 4 alanına giriş yolu kontrolleri, her koşulda hızlı giriş ve çıkışa izin vermelidir.

6.5. İdari ve Prosedürel Önlemler

İşverenlerin İSG ile ilgili yükümlülüklerinin belirtildiği mevzuatta yer alan hükümlerin yanı sıra lazer radyasyonu yayan cihazın kullanıldığı işyerlerinde, işverenler, genel olarak aşağıda belirtilen sorumluluklara sahiptir.

- ✱Çalışanların sağlık ve güvenliğini sağlamak
- ✱Lazer ekipmanlarının satın alınması aşamasında, tüm güvenlik standartlarını sağlayan lazer ürünlerini seçmek ve satın almak
- ✱Lazer ekipmanının, radyasyon güvenliği standartlarını ve güvenlik gereksinimlerini karşılamasını sağlamak
- ✱Çalışanların lazer radyasyonuna maruziyetlerini ve maruziyetle ilişkili riskleri önlemek için gerekli organizasyonel düzenlemeleri yapmak
- ✱Ulusal düzenlemelere ve güvenlik standartlarına uygun olarak işyerinde, koruyucu/önleyici genel bir politika oluşturmak ve uygulamak

Her işveren, çalışanların sağlık ve güvenliğinin korunması konusundaki sorumluluğu saklı kalmak kaydıyla, lazer radyasyondan kaynaklanan risklerin önlenmesi konusunda bir veya daha fazla kişiyi görevlendirebilir. Görevlendirilen kişiler (lazer güvenlik sorumlusu), lazer radyasyonu konusunda yeterli bilgi ve eğitime sahip olmalıdır.

İdari ve prosedürel kontrollerin en önemlisi, işyerinde yazılı bir standart çalışma prosedürünün (SÇP) olmasıdır. Sınıf 4 lazerler için SÇP bir gereklilik olup Sınıf 3B lazerler için ise önerilir.

Etkili bir SÇP geliştirmenin anahtarı, lazer sistemini işletenler, bakımını yapanlar ile diğer ilgili kişilerin de bu sürece katılımıdır. Çoğu lazer ekipmanı, güvenli çalışma için bir talimatname içerse de, bazı durumlarda talimatlar özel kullanım koşulları nedeniyle yetersiz kalmaktadır.

Hizalama sırasında lazer kaynaklı gözde yaralanmaya neden olan birçok kaza meydana gelmektedir. Bundan dolayı, yazılı hizalama prosedürlerinin geliştirilmesi, kazaların önlenmesi amacı ile önerilmektedir.

Lazer operasyonu ile ilgisi olmayan kişiler, lazer çalışma alanından uzak tutulmalıdır. Sınıf 3B veya Sınıf 4 lazer alanına girenler için uygun göz koruması sağlanmalıdır.

Lazer güvenliği için koruyucu ekipman kullanılmalıdır. Koruyucu ekipmanlar, gözlük, giysi, bariyerler ve lazer koruması için tasarlanmış diğer ekipmanlardır.

6.6. Mühendislik Önlemler

Mühendislik önlemler, normalde güvenliği sağlamak için lazer ekipmanı içinde tasarlanmış ve üretilmiştir. Çoğu durumda, bunlar "performans gereksinimleri" nin bir parçası olarak (lazer üreticisi tarafından) ekipmana dahil edilmişlerdir.

Lazer güvenliği için uygulanan önemli mühendislik önlemleri şu şekildedir:

Koruyucu muhafaza: Bir lazerin çevresinde, lazer ışınına erişimi engelleyen ya da lazer radyasyonunu MPE seviyesinin altında tutan bir muhafaza bulunmalıdır. Işının açık yoldan gitmesinin gerektiği durumlar hariç, tüm lazer sınıfları için koruyucu bir muhafaza gereklidir.

Ana anahtar kontrolü: Tüm Sınıf 4 lazerler ve lazer sistemlerinde bir ana şalter kontrolü (anahtar kontrolü) olması gereklidir. Anahtar manuel olarak veya bilgisayar kodu ile çalıştırılabilir. Anahtar devre dışı bırakıldığında (anahtar veya kod çıkarıldığında) lazer çalıştırılmamalıdır. Yalnızca yetkili sistem operatörlerinin anahtara veya koda erişmesine izin verilmelidir. Ana şalter kontrolünün Sınıf 3 lazerler ve lazer sistemlerine de dahil edilmesi önerilir.

Optik görüntüleme sistemi güvenliği: Işın veya ışın yansıtma alanını görüntülemek için teleskoplar, mikroskoplar, görüntüleme portları veya ekranlar gibi optik görüntüleme sistemleri kullanıldığında, kilitler, filtreler veya zayıflatıcılar optik görüntüleme sistemlerine dahil edilmelidir. Örneğin, optik sistem görüntüleme yolundan bir ışın deklanşörü çıkarıldığında, elektrikli bir kilitleme, lazer sisteminin çalışmasını engelleyebilir. Bu tür optik filtre kilitleri, Sınıf 1 lazerler dışındaki tüm lazer sınıfları için kullanılabilir.

Işın durdurucu veya zayıflatıcı: Sınıf 4 lazerlerde, lazer sistemi "bekleme" durumundayken çıkış emisyonunu uygun MPE seviyesinde tutabilen veya daha düşük bir seviyeye düşürebilen kalıcı olarak bağlı bir ışın durdurucu veya zayıflatıcı bulunmalıdır. Böyle bir ışın durdurucu veya zayıflatıcı ayrıca Sınıf 3R (3a) ve Sınıf 3B lazerler için de önerilir.

Lazer aktivasyon uyarı sistemi: Sınıf 3B lazer işlemi için alan kontrolü olarak sesli bir uyarı ve / veya görsel uyarı (yanıp sönen ışık gibi) sistem önerilir. Böyle bir uyarı sistemi Sınıf 4 lazerler için zorunludur. Bu uyarı sistemleri, sistem başlatıldıktan sonra etkinleşmeli ve başka seslerle karışmayacak şekilde lazer işlemi için benzersiz olarak tanımlanmalıdır.

6.6.1. Koruyucu Muhafazasız Lazer Kullanımı (Tüm Lazer Sınıfları)

Lazer üretimi ve araştırma-geliştirme faaliyetleri sırasında, bazı durumlarda muhafazasız bir lazerin veya lazer sisteminin çalışması gerekli olabilir. Bu gibi durumlarda, lazer güvenlik sorumlusu tehlikeyi belirlemeli ve güvenli çalışmayı sağlamak için maksimum erişilebilir emisyon sınıfına uygun olarak önlemlerin uygulanmasını sağlamalıdır. Bu kontroller asgari olarak aşağıdaki hususları içermelidir.

- ✱ Erişim kısıtlaması
- ✱ Göz koruması
- ✱ Alan kontrolleri
- ✱ Bariyerler, ışın durdurucular
- ✱ İdari ve prosedürel kontroller
- ✱ Eğitim

6.6.2. Fiber Optik Haberleşme Sistemleri

Normal işletimde bu sistemler tamamen kapalıdır (Sınıf 1). Kurulum veya servis işlemleri sırasında veya kabloda kazara bir kopma olduğunda, sistem artık kapalı olarak kabul edilemez. Mühendislik kontrolleri; erişilebilir emisyonu, geçerli MPE'nin altındaki seviyelerle sınırlandırıyor, önlem alınması gerekmez. Erişilebilir emisyon MPE'nin üzerindeyse mühendislik önlemler alınmalıdır.

Tablo 6.1'de, lazer güvenlik sınıflandırmalarına göre uygulanabilecek mühendislik önlemlerle ilgili bilgiler verilmektedir.

Tablo 6.1: Lazer sınıflarına göre mühendislik önlemler

Mühendislik Önlemler	Lazer Sınıfı						
	1	1M	2	2M	3R	3B	4
1. Koruyucu muhafaza sistemleri	X	X	X	X	X	X	X
2. Koruyucu muhafaza olmaması	Lazer güvenlik sorumlusu, alternatif güvenlik önlemleri almalıdır.						
3. Koruyucu muhafaza güvenlik kilidi	▼	▼	▼	X	X	X	X
4. Servis erişim paneli	—	—	—	—	—	X	X
5. Anahtar kontrolü	—	—	—	—	—	•	X
6. İzleme pencereleri, ekranlar	Sınırlı görüntüleme sağlanmalı < MPE						
7. Tamamen açık ışın yolu	—	—	—	—	—	X NHZ	X NHZ
8. Sınırlı açık ışın yolu	—	—	—	—	—	X	X

						NHZ	NHZ
9. Kapalı ışın yolu	1. ve 2. maddedeki şartlar sağlanmışsa, gerekli değil.						
10. Uzaktan kumandalı kilit bağlantısı	—	—	—	—	—	•	X
11. Işın durdurucu veya sönümlendirici	—	—	—	—	—	•	X
12. Lazer çalışırken uyarı sistemleri	—	—	—	—	—	•	X
13. Kapalı lazer kontrollü alanı	—	⊙	—	⊙	—	X NHZ	X NHZ
14. Sınıf 3B kapalı lazer kontrollü alanı	—	—	—	—	—	X	—
15. Sınıf 4 lazer kontrollü alanı	—	—	—	—	—	—	X
16. Dış mekan kontrol önlemleri	X	⊙ NHZ	X NHZ	⊙ NHZ	X NHZ	X NHZ	X NHZ

17. Geçici lazer kontrollü alan	▼ MPE	▼ MPE	▼ MPE	▼ MPE	▼ MPE	—	—
18. Kontrollü operasyon	—	—	—	—	—	—	•
19. Sınıf etiketlendirmesi	X	X	X	X	X	X	X
20. Lazer alanı uyarı işaretleri ve lazer çalışma uyarıları	—	—	—	—	•	X NHZ	X NHZ
21. Standart işletim prosedürleri	—	—	—	—	—	•	X
22. Işın çıkışının sınırlandırılması	—	—	—	—	Lazer güvenlik sorumlusu karar vermelidir.		
23. Teorik ve uygulamalı eğitim	—	•	•	•	•	X	X
24. Yetkili personel	—	⊙	—	⊙	—	X	X
25. Hizalama prosedürleri	▼	▼	▼	▼	▼	X	X

26. Koruyucu donanım	—	⊙	—	⊙	—	•	X
27. Işın izleme donanımları	—	⊙	—	⊙	—	•	X
28. Servis personeli	▼	▼	▼	▼	▼	X	X
29. Gösteri amaçlı lazer kullanımında önlem alınması	—	⊙	X	⊙	X	X	X
30. Lazer optik fiber iletişim sistemlerinde önlem alınması	MPE	MPE	MPE	MPE	MPE	X	X
31. Lazer robotik uygulamaları	—	—	—	—	—	X NHZ	X NHZ
32. Koruyucu gözlük	—	—	—	—	—	•	X
33. Koruyucu pencere	—	—	—	—	—	X	X NHZ
34. Koruyucu bariyer ve perdeler	—	—	—	—	—	•	•

35. Cilt koruması	—	—	—	—	—	X	X NHZ
36. Diğer koruyucu donanımlar	Gereken durumlarda kullanılmalıdır.						
37. Uyarı işaretleri ve etiketleri	—	X	X	X	X	X	X
38. Lazer cihazı (sistemi) üzerinde değişiklik yapılması	Lazer güvenlik sorumlusu karar vermelidir.						

Kullanılan Simgelerin Anlamları

— : Gerek yok.

● : Tavsiye edilir.

⊙ : Optik yardımcılarının kullanılması durumunda uygulanabilir.

▼ : Kapalı sistem Sınıf 3B ve Sınıf 4 lazer varsa uygulanmalıdır.

MPE : Maruziyet sınır değeri aşılsa uygulanmalıdır.

NHZ : Nominal tehlike mesafesinin belirlenmesi gereklidir.

X : Uygulanmalıdır.

6.7. Koruyucu Donanım

Lazer cihazının veya ışın yolunun muhafaza altına alınması, tehlikeden kaynaklanabilecek risklerin ortadan kaldırması veya en aza indirilmesinden dolayı en çok tercih edilen kontrol önlemidir. Mühendislik önlemlerle MPE'nin üzerindeki seviyelerde doğrudan veya yansıyan ışına maruziyetin önlenemediği durumlarda, kişisel koruyucu donanım kullanmak gerekebilir.

Kişisel korucu donanımların; kişiye ulaşan lazer radyasyonunu yeterince azaltmayacağını veya ortadan kaldırmayacağını, bunun sonucunda da ulaşan ışın dolayısı ile hasar görülebileceğini unutmamak gereklidir.

6.7.1. Koruyucu Gözlük

Gözün ışına maruz kalma riskinin olduğu Sınıf 3 ve 4 lazer kullanımı için koruyucu gözlük kullanılması gereklidir. Bu tür göz koruması, yalnızca amaçlandığı dalga boyunda ve enerji / güçte kullanılmalıdır. Göz koruması; maruziyeti MPE'nin altına düşürmek için özel filtre malzemeleri veya yansıtıcı kaplamalarla (veya her ikisinin kombinasyonu) donatılan gözlükler, yüz kalkanları veya modifiye edilmiş reçeteli gözlük kullanımını içerebilir. Fiziksel veya kimyasal tehlikelere karşı korunmak için de göz koruması gerekebilir.

Uygun lazer koruyucu gözlük seçiminde aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurulmalıdır:

- ✶ Lazer çıkışının dalgaboyu (dalgaboyları)
- ✶ Çoklu dalga boyunda çalışma olasılığı / durumu
- ✶ Korumanın gerekli olduğu radyant maruziyet veya ışınım seviyeleri (en kötü senaryoya göre belirlenmelidir)
- ✶ Maruziyet süresi
- ✶ MPE
- ✶ Lazer çıkış dalga boyunda gözlük filtresinin optik yoğunluk (OD) değeri
- ✶ Görünür ışık geçirme şartı (gereksinimi) ve gözlük kullanımının, çalışanın işini yapmasına engel olup olmayacağını değerlendirilmesi
- ✶ Yan kalkan koruması (gözlerin yan kısmının korunması) ve çevreyi görme ihtiyacı
- ✶ Reçeteli gözlük kullanma ihtiyacı
- ✶ Konfor ve uyum
- ✶ Gözlüğün mukavemeti (mekanik şok veya travmaya karşı direnç)
- ✶ Gözlük camlarının (yüzeyinin) tehlikeli bir aynasal yansıma üretme potansiyeli
- ✶ Buğu önleme yeteneği

Gözlük seçiminde aşağıda belirtilen adımlar takip edilir.

Lazerin dalga boyu belirlenir. Göz koruması dalga boyuna özgüdür.



Muhtemel maksimum görüntüleme süresi (ya da bakma süresi) belirlenir. Görüntüleme süresi genellikle üç kategoriden birine girer:

- ☀️ Görünür lazer ışınlarına (400-700 nm dalgaboyu) istemsiz maruz kalma, 0,25 saniye maruziyet süresi kullanılır
- ☀️ Yakın kızılötesi lazer ışınlarına (700-1000 nm dalgaboyu) istemsiz bakılması, 10 saniye maruziyet süresi kullanılır.
- ☀️ Diğer tüm lazer ışınları için 8 saatlik bir çalışma süresi baz alınarak, 600 saniye veya lazerin çalışma (ışın gönderme) süresi kullanılır.



Gözün maruz kalabileceği maksimum ışınım veya radyan maruziyeti belirlenir. Maksimum ışınım veya radyan maruziyeti belirlenirken, aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurulur.

- ☀️ Lazerden çıkan ışın daha küçük bir noktaya odaklanmazsa ve çapı 7 mm'den büyükse, göze girebilecek çıkan ışın radyan maruziyetinin / ışınımın, maksimum yoğunlukta olduğu düşünülebilir.
- ☀️ Işın lazerden çıktıktan sonra odaklanırsa veya ışın çapı 7 mm'den azsa, tüm lazer enerjisinin / gücünün göze girebileceği varsayılır. Bu durumda, **Tablo 6.2**, Maksimum Çıkış Gücü / Enerjisi başlıklı sütunlardaki değerler kullanılmalıdır.



Gerekli olan **optik yoğunluk değeri belirlenir.**



Gereken göz korumasının tipi seçilir. Lens; cam, kristal filtre malzemesi veya plastikten yapılmış olabilir. Genellikle, çözücülerin ve aşındırıcıların kullanıldığı çalışma alanlarında, cam veya kristal lensler önerilir.



Göz koruması test edilir. Kullanmadan önce daima merceğin bütünlüğü kontrol edilmelidir. Çok yüksek ışın yoğunluklarında, filtre malzemeleri ağarır veya başka bir şekilde hasar görür. 10 W'ı aşan sürekli bir dalga gücü camı kırabilir ve plastiği yakabilir.

Tablo 6.2'de, (400 - 1400 nm) dalgaboyu aralığındaki lazer ışının gözle görüntülenmesi durumunda, lazer göz koruması seçimi ile ilgili parametreler ve OD değerleri ile ilgili bilgiler verilmektedir.

6.7.2. Diğer Koruyucu Donanım

Işın durdurucular, bariyerler, güvenlik kilitleri, uyarı ışıkları ve sirenleri gibi koruyucu ekipmanlar veya uyarı sistemlerinin, uygun çalışma koşullarında (çalışır ve fonksiyonel bir şekilde) tutulması ve lazer radyasyonuna zararlı maruziyeti önlemek için gereken durumlarda kullanılması gerekir.

6.8. Ultraviyole ve Kızılötesi Lazerler için Özel Kontroller

Kızılötesi (IR) ve ultraviyole (UV) dalga boylarındaki ışınlar normalde görünmez olduğundan, bu tip ışınları yayan lazerler kullanılırken özel dikkat gösterilmelidir. Her lazer sınıflandırması için önerilen kontrol önlemlerine ek olarak, aşağıdaki önlemler de alınmalıdır.

Kızılötesi için;

- ⚠ Sınıf 3 lazerden toplanan ışın, mümkün olan her yerde yüksek emiciliğe sahip bir durdurucu ile sonlandırılmalıdır. Donuk (mat) görünen birçok yüzey, kızılötesi yansıtıcısı olarak işlev görebilirler.
- ⚠ Sınıf 4 lazerden gelen bir ışın, mümkün olan her yerde yanmaz bir malzeme ile sonlandırılmalıdır. Birçok malzeme, kullanıma bağlı olarak bir süre sonra işlevselliğini (özellikliğini) yitirdiğinden, emici malzeme periyodik olarak kontrol edilmelidir.
- ⚠ MPE üzerindeki seviyelerde Sınıf 3 veya 4 lazerlerden kaynaklanan yansımalara maruz kalınan alanların yüzeyleri, kızılötesi emici malzeme ile uygun şekilde kaplanmalıdır. Kullanılan yüzey kaplama malzemesi, Sınıf 4 lazerlerle kullanım için yanmaz özellikte olmalıdır.

Ultraviyole için;

- ⚠ UV maruziyeti, radyasyonu belirli dalga boyu için MPE'nin altındaki seviyelere indiren bariyer malzemesi kullanılarak en aza indirilmelidir.
- ⚠ UV varlığında istenmeyen reaksiyonlar oluşma olasılığına (örneğin ozon oluşumuna) özel dikkat gösterilmelidir.

Tablo 6.2: (400 - 1400 nm) dalgaboyu aralığındaki lazer ışının gözle görüntülenmesi - lazer göz koruması seçme parametreleri

Q-Sviçli (Anahtarlı) (1 ns - 0.1 ms)		Q-Sviçli (Anahtarlı) Olmayan (0.4 ms – 10 ms)		Sürekli Dalga Anlık Görüntüleme (0.25 saniyeden 10 saniyeye kadar)		Sürekli Dalgaya Bakılması (3 saatten fazla)		Zayıflatma	
Max Çıkış Enerjisi (J)	Max Işın Radyant Maruziyeti (J/cm ²)	Max Lazer Çıkış Enerjisi (J)	Max Işın Radyant Maruziyeti (J/cm ²)	Max Çıkış Gücü (W)	Max Işınım (W/cm ²)	Max Çıkış Gücü (W)	Max Işınım (W/cm ²)	Zayıflatma Faktörü	OD
10	20	100	200					10 ⁸	8
1	2	10	20					10 ⁷	7
10 ⁻¹	2 x 10 ⁻¹	1	2			1	2	10 ⁶	6
10 ⁻²	2 x 10 ⁻²	10 ⁻¹	2 x 10 ⁻¹			10 ⁻¹	2 x 10 ⁻¹	10 ⁵	5
10 ⁻³	2 x 10 ⁻³	10 ⁻²	2 x 10 ⁻²	10	20	10 ⁻²	2 x 10 ⁻²	10 ⁴	4
10 ⁻⁴	2 x 10 ⁻⁴	10 ⁻³	2 x 10 ⁻³	1	2	10 ⁻³	2 x 10 ⁻³	10 ³	3
10 ⁻⁵	2 x 10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	2 x 10 ⁻⁴	10 ⁻¹	2 x 10 ⁻¹	10 ⁻⁴	2 x 10 ⁻⁴	10 ²	2
10 ⁻⁶	2 x 10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	2 x 10 ⁻⁵	10 ⁻²	2 x 10 ⁻²	10 ⁻⁵	2 x 10 ⁻⁵	10 ¹	1

6.9. Uyarı Etiketleri ve İşaretleri

Tüm Sınıf 2, 3 ve 4 lazer ekipmanları, tehlike sınıflandırması, çıkış gücü / enerjisi, lazer malzemesi veya dalgaboyuna göre uygun şekilde etiketlenmelidir. Lazer kontrollü alanları da, lazer sınıflandırmasına göre belirtilen kriterlere göre uygun uyarı işaretleri ile donatılmalıdır.

Tablo 6.3'te, lazer sınıfına göre kullanılabilecek örnek uyarı işaretleri ve simgelerine dair bilgiler verilmektedir.

Etiketler ve uyarı işaretleri, potansiyel olarak güvenlikleri tehlikede olan kişileri uyarmaya en iyi hizmet edecekleri alanlara, dikkat çekici bir şekilde yerleştirilmelidir. Uyarı işaretleri lazer kontrollü alanların giriş kısımlarına, uyarı etiketleri ise lazer üzerinde göze çarpan bir yere yerleştirilir.

Ek olarak, koruyucu gözlük kullanımı gerekli ise, kullanılması gereken gözlüğün optik yoğunluğu, gözlük kullanımı gerektiğini belirten uyarının içeriğinde yer almalıdır. Görünür dalgaboyu aralığının dışında çalışan (ışınım yayan) lazerler için "Görünmez" kelimesi "Lazer Radyasyon" kelimelerinin önüne yerleştirilmelidir.

Tablo 6.3: Lazer sınıfına göre uyarı etiketleri ve işaretleri

Lazer Sınıfı	Uyarı Sembolleri (İçerikleri)	Örnek Uyarı İşaretleri
Sınıf 2	DİKKAT , Lazer Radyasyonu, Optik Aletlerle Işını Görüntülemeyin veya Doğrudan Işına Bakmayın (400 nm'den büyük, 700 nm'ye eşit veya daha küçük dalgaboylarında çalışan sistemler için radyasyon kelimesi "ışıkla" değiştirilebilir)	
Sınıf 2M lazer sistemleri (Sınıf 2 AEL'i aşan Sınıf 2 lazerler)	TEHLİKE , Lazer Radyasyonu, Optik Aletlerle Işını Görüntülemeyin veya Doğrudan Işına Bakmayın	
Sınıf 3R	TEHLİKE , Lazer Radyasyonu (veya lazer sembolü), Doğrudan Göz Maruziyetinden Kaçın	
Sınıf 3B	TEHLİKE , Lazer Radyasyonu (veya lazer sembolü), Işına Doğrudan Maruz Kalmaktan Kaçın	
Sınıf 4	TEHLİKE , Lazer Radyasyonu (veya lazer sembolü), Doğrudan veya Dağınık Yansıyan Radyasyona Göz veya Cilt Maruziyetinden Kaçın	

EK-A: MARUZİYET SINIR DEĞERLERİ

Tablo 1: Doğrudan göz maruziyeti için maruziyet sınır değerleri tablosu*

Wavelength (μm)	Exposure duration, t (s)	MPE (J cm^{-2})	MPE (W cm^{-2})
0.180–0.302	10^{-9} – 3×10^4	3×10^{-3}	—
0.303	10^{-9} – 3×10^4	4×10^{-3}	—
0.304	10^{-9} – 3×10^4	6×10^{-3}	—
0.305	10^{-9} – 3×10^4	10×10^{-3}	—
0.306	10^{-9} – 3×10^4	16×10^{-3}	—
0.307	10^{-9} – 3×10^4	25×10^{-3}	—
0.308	10^{-9} – 3×10^4	40×10^{-3}	—
0.309	10^{-9} – 3×10^4	63×10^{-3}	—
0.310	10^{-9} – 3×10^4	0.10	—
0.311	10^{-9} – 3×10^4	0.16	—
0.312	10^{-9} – 3×10^4	0.25	—
0.313	10^{-9} – 3×10^4	0.40	—
0.314	10^{-9} – 3×10^4	0.63	—
0.315–0.400	10^{-9} –10	$0.56 \times t^{0.25}$	—
0.315–0.400	10^{-3} – 10^4	1.0	—
0.400–0.700	10^{-9} – 18×10^{-6}	0.5×10^{-6}	—
0.400–0.700	18×10^{-6} –10	$1.8 \times t^{0.75} \times 10^{-3}$	—
0.400–0.450	10–100	1.0×10^{-2}	—
0.450–0.500	10– T_1	—	1×10^{-3}
0.450–0.500	T_1 –100	$C_B \times 10^{-2}$	—
0.400–0.500	100 – 3×10^4	—	$C_B \times 10^{-4}$
0.500–0.700	10^{-3} – 10^4	—	1.0×10^{-3}
0.700–1.050	10^{-9} – 18×10^{-6}	$5.0 \times C_A \times 10^{-7}$	—
0.700–1.050	18×10^{-6} –10	$1.8 \times C_A \times t^{0.75} \times 10^{-3}$	—
0.700–1.050	10^{-3} – 10^4	—	$C_A \times 10^{-3}$
1.050–1.400	10^{-9} – 50×10^{-6}	$5.0 \times C_C \times 10^{-6}$	—
1.050–1.400	50×10^{-6} –10	$9.0 \times C_C \times t^{0.75} \times 10^{-3}$	—
1.050–1.400	10^{-3} – 10^4	—	$5.0 \times C_C \times 10^{-3}$
1.400–1.500	10^{-9} – 10^{-3}	0.1	—
1.400–1.500	10^{-3} –10	$0.56 \times t^{0.25}$	—
1.400–1.500	10^{-3} – 10^4	—	0.1
1.500–1.800	10^{-9} –10	1.0	—
1.500–1.800	10^{-3} – 10^4	—	0.1
1.800–2.600	10^{-9} –10	0.1	—
1.800–2.600	10^{-3} – 10^{-3}	$0.56 \times t^{0.25}$	—
1.800–2.600	10^{-3} – 10^4	—	0.1
2.6–1000	10^{-9} – 10^{-7}	1.0×10^{-2}	—
2.6–1000	10^{-7} –10	$0.56 \times t^{0.25}$	—
2.6–1000	10^{-3} – 10^4	—	0.1

*ANSI Z136.1 Lazer Standart Serisi

(Tabloda yer alan; “wavelength”: dalgaboyu, “exposure duration”: maruziyet süresi, “MPE”: maruziyet sınır değeri ifade etmektedir.)

Notlar:

- ✳ 0.180 – 0.400 μm dalgaboyu aralığında MPE’yi hesaplamak için J cm^{-2} veya W cm^{-2} değerini ya da $0.56 \times t^{0.25}$ kullanınız. (hangisi en küçükse)
- ✳ 0.400 – 1.400 μm dalgaboyu aralığındaki çoklu darbeler için Tablo 3’te verilen C_p düzeltme faktörünü uygulayın.

- ✳️ 0.400 – 1.400 μm dalgaboyu aralığında dağınık yansımalar için maruziyet sınır değerini hesaplarırken, belirtilen maruziyet sınır değerini, Tablo 3’te verilen C_E düzeltme faktörü ile çarpın.
- ✳️ C_A , C_B ve T_1 düzeltme faktörleri için Tablo 3’e bakınız.

Tablo 2: Cilt maruziyeti için maruziyet sınır değerleri tablosu*

Wavelength (μm)	Exposure duration, t (s)	MPE (J cm^{-2})	MPE (W cm^{-2})
0.180–0.302	10^{-9} – 3×10^4	3×10^{-3}	—
0.303	10^{-9} – 3×10^4	4×10^{-3}	—
0.304	10^{-9} – 3×10^4	6×10^{-3}	—
0.305	10^{-9} – 3×10^4	10×10^{-3}	—
0.306	10^{-9} – 3×10^4	16×10^{-3}	—
0.307	10^{-9} – 3×10^4	25×10^{-3}	—
0.308	10^{-9} – 3×10^4	40×10^{-3}	—
0.309	10^{-9} – 3×10^4	63×10^{-3}	—
0.310	10^{-9} – 3×10^4	0.10	—
0.311	10^{-9} – 3×10^4	0.16	—
0.312	10^{-9} – 3×10^4	0.25	—
0.313	10^{-9} – 3×10^4	0.40	—
0.314	10^{-9} – 3×10^4	0.63	—
0.315–0.400	10^{-9} –10	$0.56 \times t^{0.25}$	—
0.315–0.400	10 – 10^3	1.0	—
0.315–0.400	10^3 – 3×10^4	—	1×10^{-3}
0.400–1.400	10^{-9} – 10^{-7}	$2C_A \times 10^{-2}$	—
0.400–1.400	10^{-7} –10	$1.1C_A \times t^{0.25}$	—
0.400–1.400	10^{-3} – 10^4	—	$0.2 \times C_A$
1.400–1.500	10^{-9} – 10^{-3}	0.1	—
1.400–1.500	10^{-3} –10	$0.56 \times t^{0.25}$	—
1.400–1.500	10^{-3} – 10^4	—	0.1
1.500–1.800	10^{-9} –10	1.0	—
1.500–1.800	10^{-3} – 10^4	—	0.1
1.800–2.600	10^{-9} – 10^{-3}	0.1	—
1.800–2.600	10^{-3} –10	$0.56 \times t^{0.25}$	—
1.800–2.600	10^{-3} – 10^4	—	0.1
2.6–1000	10^{-9} – 10^{-7}	1.0×10^{-2}	—
2.6–1000	10^{-7} –10	$0.56 \times t^{0.25}$	—
2.6–1000	10^{-3} – 10^4	—	0.1

*ANSI Z136.1 Lazer Standart Serisi

(Tabloda yer alan; “wavelength”: dalgaboyu, “exposure duration”: maruziyet süresi, “MPE”: maruziyet sınır değerini ifade etmektedir.)

Notlar:

- ✳️ 0.180 – 0.400 μm dalgaboyu aralığında MPE’yi hesaplamak için J cm^{-2} veya W cm^{-2} değerini ya da $0.56 \times t^{0.25}$ kullanınız. (hangisi en küçükse)
- ✳️ C_A düzeltme faktörü için Tablo 3’e bakınız.

Tablo 3: Parametreler ve düzeltme faktörleri*

Parameters/correction factors	Wavelength (μm)
$T_1 = 10 \times 10^{20(\lambda-0.450)^a}$	0.450–0.500
$T_2 = 10 \times 10^{(\alpha-0.15)/98.5^b}$	0.400–1.400
$C_B = 1.0$	0.400–0.450
$C_B = 10^{20(\lambda-0.450)}$	0.450–0.600
$C_A = 1.0$	0.400–0.700
$C_A = 10^{2(\lambda-0.700)}$	0.700–1.050
$C_A = 5.0$	1.050–1.400
$C_P = n^{-0.25c}$	0.180–1000
$C_E = 1.0, \alpha < \alpha_{\min}$	0.400–1.400
$C_E = \alpha/\alpha_{\min}, \alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$	0.400–1.400
$C_E = \alpha^2/(\alpha_{\min}\alpha_{\max}), \alpha > \alpha_{\max}$	0.400–1.400
$C_C = 1.0$	1.050–1.150
$C_C = 10^{18(\lambda-1.150)}$	1.150–1.200
$C_C = 8$	1.200–1.400

*ANSI Z136.1 Lazer Standart Serisi

(Tabloda yer alan; “parameters /correction factors”: parametreler/düzeltilme faktörleri, “wavelength”: dalgaboyunu ifade etmektedir.)

Notlar:

- * 0.400 – 1.400 μm dalgaboyu aralığı için $\alpha_{\min} = 1.5$ mrad ve $\alpha_{\max} = 100$ mrad
- * Hesaplamalar için dalgaboyları μm olarak, açılar ise mrad olarak ifade edilmelidir.
- * λ_1 - λ_2 arası dalgaboyu, $\lambda_1 \leq \lambda < \lambda_2$ ifade eder.

KAYNAKLAR

1. İşyerlerinde Lazer Kullanımı Uygulama Rehberi (Uluslararası Radyasyondan Korunma Kurumu, Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon Komitesi)
Link: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms_107825.pdf
2. Yapay Optik Radyasyon Kaynaklarıyla Yapılan Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Rehberi (T.C.Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü)
Link: https://www.ailevecalisma.gov.tr/media/31547/yapay_optik_radyasyon_kaynaklariyla_yapilan_calismalarda_saglik_ve_guvenlik_onlemleri_rehberi.pdf
3. Lazer Güvenliği Rehberi (Princeton Üniversitesi)
Link: https://ehs.princeton.edu/sites/ehs/files/media_files/Laser%20Training%20Guide%202007%202013-08.pdf
4. Lazer Güvenliği Rehberi (ABD, İş Sağlığı ve Güvenliği Kurumu-OSHA)
Link: <https://www.osha.gov/otm/section-3-health-hazards/chapter-6>
5. Lazer Güvenliği Rehberi (Washington Üniversitesi)
Link: <https://www.ehs.washington.edu/system/files/resources/lasermanual.pdf>
6. Lazer Güvenliği Rehberi (MIT, Çevre, Sağlık ve Güvenlik Birimi))
Link: https://ehs.mit.edu/wp-content/uploads/Laser_Safety_Guide.pdf
7. Lazerin Endüstriyel Uygulamalarında İş Sağlığı ve Güvenliği, Tolga PEKİNER, Çalışma Uzmanı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü.
8. <http://www.laser-info.scare.sk/resources/FAA---visible-laser-hazard-calcs-for-LSF-v02.png>
9. <https://www.laserpointersafety.com/menu-safety-info.html>
10. <https://www.lasersafetyfacts.com/resources/Spreadsheet---laser-classes.pdf>
11. <https://electrologs.com/>
12. <https://radiationsafety.ca/factsheets-cosmetic-lasers/>
13. Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği

Link: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=10392&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>

14. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Lazer>

15. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Foton>

16. https://tr.wikipedia.org/wiki/İyonlaştırıcı_olmayan_radyasyon

17. https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektromanyetik_spektrum

18. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Lasers.JPG>

19. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Işıık>

20. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_laser_types