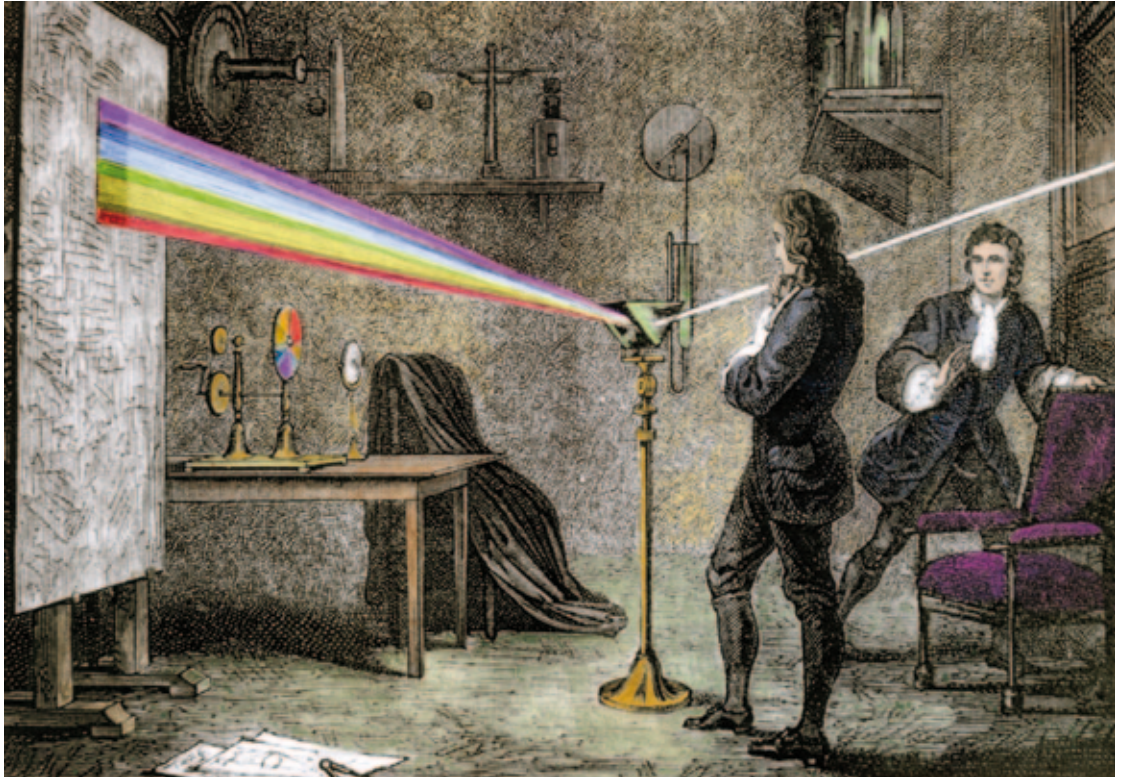


Optik ve Işığın Ölçümü

Evrendeki ışınları dalga boylarıyla ölçüp tanımlıyoruz. Bunlardan görüş alanımızdakiler çok dar bir aralıkta yer alıyor. Bir ucunda mikro dalgaları, diğer ucunda gama ışınlarını barındıran elektromanyetik spektrumun dalga boyları arasında çok büyük farklar var. Bazı dalga boyları kilometrelerce genişlikteyken bazıları, santimetrenin trilyonda birinden daha küçük. Bilim insanları bu farklı dalga boylarını sınıflara ayırıyorlar. Santimetrenin trilyonda biri kadar küçük dalga boylarına sahip ışınlar, gama ışınları olarak adlandırılıyor. Bunlar çok yüksek düzeyde enerji taşıyorlar. Dalga boyları kilometrelerce genişlikte olanlara ise radyo dalgaları deniyor. Bunlar çok düşük bir enerjiye sahip. Bu nedenle gama ışınları bizim için öldürücüyken, radyo dalgalarının zararlı etkisi yok gibi.



Bir cismin yaydığı enerji, fizikte ışığa ya da radyasyon olarak tanımlanır. Kendiliğinden etrafını aydınlatabilen Güneş, yıldız ve şimşek gibi kaynaklar doğal ışık kaynaklarıdır. Bunların olmadığı ortamlarda kullanılmak amacıyla insan tarafından üretilen, katı veya sıvı yakıt kullanan mum, meşale, gaz lambası, elektrik enerjisini ışık enerjisine dönüştüren ark lambaları, tungsten fitilli ve floresan lambalar, LED'ler, lazerler gibi kaynaklar yapay ışık kaynakları olarak adlandırılır. Işık kaynaklarından çıkan bütün ışıklar gözle görülmez. X-ışınlarını, morötesi ışınları, kızılaltı ışınları buna örnek olarak verebiliriz. Sadece görünür bölge olarak adlandırılan dar bir aralıktaki ışıklar insan gözü tarafından görülebilir. Aydınlatma, haberleşme, sağlık, uzay, savunma gibi endüstrilerde ve bilimsel araştırmalarda yaygın olarak kullanılan ışık kaynaklarının üretimi, kontrolü ve algılanması bu alanlarda hizmet veren sektörler açısından giderek önem kazanmaktadır.

Fiziğin ışımalarla ilişkili olan renk, lazer, holografi, fotonik, optoelektronik, spektroskop gibi konularını içeren çalışma alanı "optik" olarak adlandırılır. "Optik" kelimesi eski Yunancada "görünüş" ve "görmek" anlamına gelmektedir. Optik tarihi, Eski Mısırlıların ve Mezopotamyalıların mercekleri geliştirmesi ile başlamıştır. Daha sonra Yunan ve Hintli filozoflar ışık ve görme konularında geometrik optiğin geliştirilmesini sağlamıştır. Işığın yansıma, yayılma ve

kırılma özellikleri ile ilgili çalışmalar Platon, Aristo, Öklit ve Batlamyus tarafından yapılmıştır. Platon, Pisagor ve Öklit görsel algılamının, gözümüzden yayılan ışıkların cisimler üzerinde yarattığı etkiler ile ilgili olduğunu, Empedokles ve Demokrit ise bunun tam tersi olduğunu söylemiştir. Aristo, bu iki gruptan farklı düşünmüş, ışığın, gözle cisim arasındaki ortam tarafından taşınması sayesinde gördüğümüzü belirtmiştir.

Görsel algılamının gerçeğe yakın ilk açıklaması 11. yüzyılın ilk dönemlerinde İbn al-Haitham tarafından yapılmıştır. Onun çalışmalarından esinlenen Roger Bacon 13. yüzyılda cam küre parçalarının görüntüyü büyüttüğünü ve ışığın cisimlerden yayılmak yerine yansıdığını keşfetmiştir. İlk gözlük, kırıcı (refraktif) ve yansıma tipi teleskoplar bu dönemde yapılmıştır.

17. yüzyılda Isaac Newton kendi adını taşıyan Newton Yansıma Teleskopunu tasarlayıp geliştirmiştir. 17. yüzyılın sonundaki bu dönemde Newton ışığın tanecik, Huygens ise dalga niteliğine sahip olduğunu söyleyerek ışık hakkındaki ilk doğru kuramları ortaya koymuşlardır.

Newton'un ışık kuramı geçerliliğini 19. yüzyılın başlarında Thomas Young ve Augustin-Jean Fresnel tarafından yapılan, ışığın dalga özelliğini gösteren çalışmaya kadar korudu. Bu çalışma ışığın kırınımı kuramı ve fiziksel optik için yeni bir kapı açtı. Dalga optiği 1860'lı yıllarda James Clerk Max-

well tarafından başarılı bir şekilde elektromanyetik kuram ile birleştirildi. 19. yüzyılın sonlarına kadar birçok fiziksel olay klasik optik ile başarılı bir şekilde açıklanmıştır. Klasik optik, geometrik ve fiziksel optik olmak üzere iki başlık altında ele alınmaktadır. Işığın birçok özelliği geometrik optikte kırılma ve kırınım altında incelenirken, girişim ve üst üste binme, optik çözünürlük, dağılıma ve saçılma, kutuplanma (polarizasyon) gibi özellikleri fiziksel optik altında incelenmektedir.

20. yüzyılın başlarında Max Planck'ın kendi kuantum hipotezlerini ve siyah cisim ışınım kanununu ileri sürmesi, Albert Einstein'ın foto-elektrik olguyu açıklaması, Niels Bohr'un ışığın soğurulması ve yayılmasını açıklayan farklı enerji seviyeleri olduğunu ortaya koyması birçok fiziksel olayın klasik optik ile açıklanamayacağını göstermiş ve modern optiğin temellerini oluşturmuştur. Modern optik ışığın (ışığın oluşturulması, iletilmesi, güçlendirilmesi, ayarlanması/değişmesi, algılanması gibi elektromanyetik ve kuantum özellikleri ile ilgili) kuramsal alanıdır. Modern optik kuantum optiği, elektro-optik, fotonik, optoelektronik ve kuantum elektronuğu gibi çok çeşitli başlıklar altında incelenir. Günümüzde modern optik elektronik, bilgisayar ve kimya gibi birçok disiplinle birleşerek ışık algılama, iletişim, bilgi işleme, aydınlatma, metroloji, spektroskop, holografi, sağlık, askeri teknoloji, görsel sanatlar, biyofotonik, tarım gibi birçok önemli uygulama alanında ön plana çıkmıştır. Yaygın olarak kullanılan lazerler, detektörler, CCD elektronik gö-

rüntüleme sensörleri, ışık yayan diyotlar (LED'ler), optik lifler gibi birçok cihazın ve malzemenin çalışma ilkeleri kuantum mekaniğine dayanır.

Klasik ve modern optik genel olarak elektromanyetik tayfın içinde yer alan morötesi, görünür ve kızılaltı bölgelerdeki ışınım kaynaklarını, ışınımın özelliklerini, davranışlarını, madde ile etkileşimlerini, ışınım ışınlarını algılamak için kullanılan cihazları inceler.

Işınım ışınlarının temel özellikleri şiddet, frekans, dalgaboyu ve polarizasyondur. Fakat elektromanyetik tayfın farklı bölgelerindeki ışınım ışınları için bu parametreler birbirlerine göre farklılıklar gösterdiğinden madde ile etkileşimi üzerine farklı etkileri vardır. Düşük enerjili yani frekanslı radyo dalgaları insan vücudundan ve duvardan geçebilecek özelliktedir. Görünür, kızılaltı ve mikrodalga gibi düşük enerjili dalgalara doğru gidildikçe insan vücudu ışınların büyük bir bölümünü soğurmaya başlar. Düşük morötesi bölgesinde Güneş'ten gelen bütün morötesi ışınlar derimizin çok ince bir tabakası tarafından soğurulur. X-ışınları bölgesine doğru gidildikçe soğurma mekanizmaları artık ortadan kalkar. Gelen ışınların çok az bir miktarı insan vücudu tarafından soğurulur, bu enerji seviyelerinde çok güçlü iyonlaşma meydana gelir.

Optik bölgedeki ışınım iyi bilinen üç bölgeden oluşur: 100 ile 380 nm arasında yer alan morötesi yani UV (Ultra Violet) bölge, 380 ile 780 nm arasındaki görünür yani VIS (visible) bölge, 780 ile 10^6 nm arasındaki kızılaltı yani IR (Infra Red) bölge.



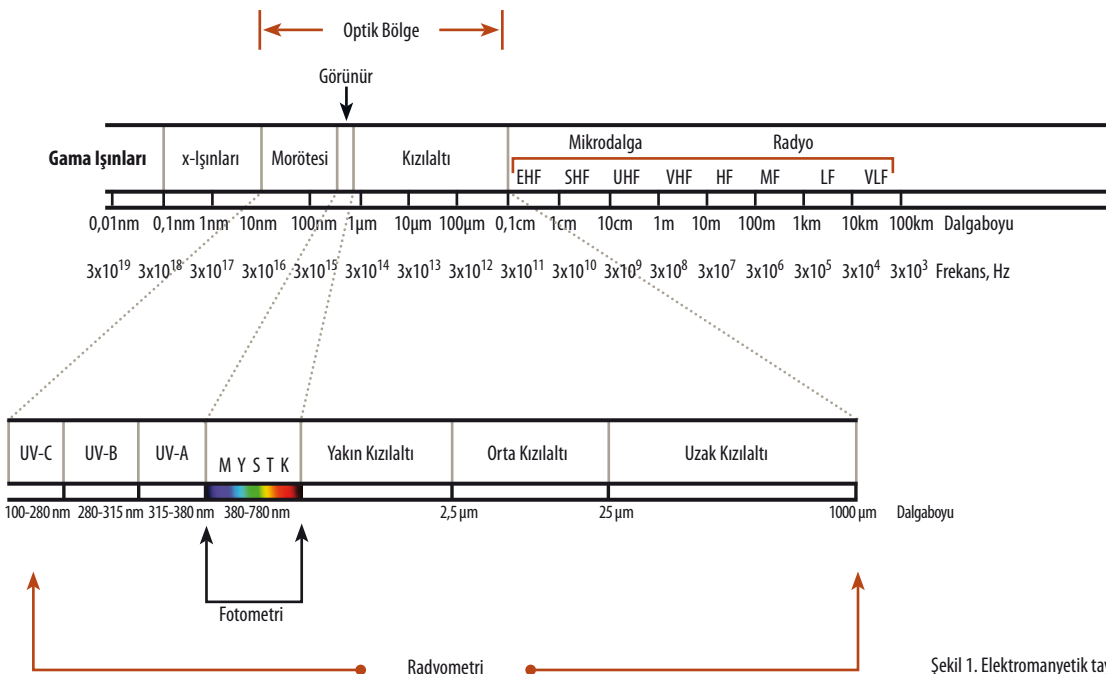
Doç. Dr. Özcan Bazkır,
ozcan.bazkır@ume.
tubitak.gov.tr

Lisans, yüksek lisans ve doktora çalışmalarını Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü'nde tamamlamıştır. Yoğun madde fiziği alanında doçentlik unvanını almıştır. 1997-2001 yılları arasında ODTÜ Fizik Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. 2001 yılından itibaren UME Optik laboratuvarında radyometri konusunda çalışmaktadır.



A. Kamuran TÜRKÖĞLU,
akt@ume.tubitak.gov.tr

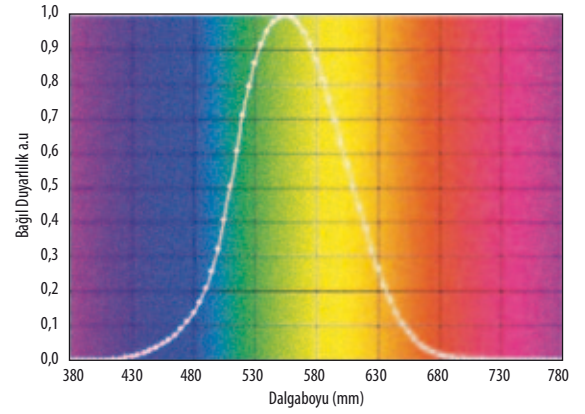
1991'de Hacettepe Üniv. Elektrik-Elektronik Müh. bölümünden lisans, 1994'te Bilkent Üniv. Fizik bölümünden yüksek lisans derecesiyle mezun oldu. Kasım 1995'ten beri TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Optik Grubu Laboratuvarlarında çalışıyor ve halen laboratuvar sorumlusu olarak görev yapıyor. Aydınlatma, fotometri ve radyometri alanlarında test, ölçüm yöntem ve sistemleri üzerine çalışıyor.



Şekil 1. Elektromanyetik tayf

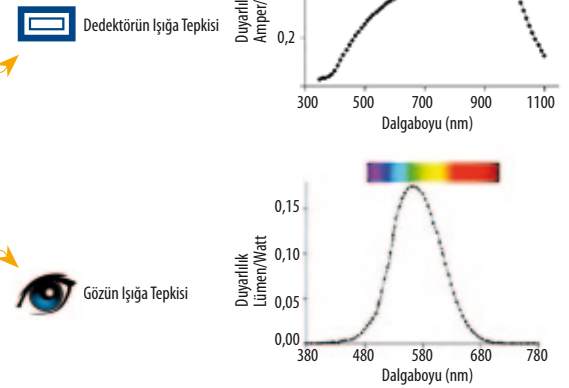
Morötesi bölge kendi içerisinde 315-380 nm dalgaboyları arası UV-A, 280-315 nm arası UV-B ve 100-280 nm arası UV-C olacak şekilde üç ayrı kısımda tanımlanır. Güneş'ten yayılan, göremediğimiz morötesi bölge ışınları arasında çevremizde en fazla bulunan ışınlar UV-A ışınlarıdır. UV-A ışınlarının enerjileri azdır, ancak floresan maddelerin görülmesini sağlayabilirler. Fototerapilerde, solaryum uygulamalarında ve tahribatsız malzeme çatlak analiz işlemlerinde UV-A lambaları kullanılır. Endüstride en çok 365 nm dalgaboyunda, UV-A bölgesinde ölçüm yapan, UV metre ya da siyah ışınım ölçer olarak adlandırılan morötesi ışınım ölçerler kullanılır. UV-B morötesi bant aralığındaki ışınlar ise özellikle cilt kanseri riskini artıran, sağlığa zararlı ışınları içerir. Ancak Dünya yüzeyine Güneş'ten gelen UV-B ışınımının büyük bir kısmı atmosferin koruyucu ozon tabakası tarafından kesilir. UV-C, havada birkaç yüz metre içinde soğurulması nedeni ile genelde doğada bulunmaz. UV-C lambalardaki ışınların bazı moleküllerdeki bağları koparabilecek yüksek enerjiye sahip olmaları nedeni ile UV-C lambalar bakteri arındırma, su ve hava temizleme işlemlerinde yaygın olarak kullanılır. Sağlık, malzeme bilimi, tıp, güvenlik, çevre, aydınlatma endüstrisi, UV lazer alanları başta olmak üzere birçok sahada morötesi ölçümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Tahribatsız malzeme analiz işlemleri, fototerapiler, su ve hava temizleme işlemleri, D vitamini üretimi, kemik hastalığı tedavileri ve bakteri arındırma gibi alanlarda UV kaynakları ve cihazları kullanılır.

İnsan gözü nesnelere, güneş ışığının veya ışımaya yapabildiği kaynaklardan gelen ışığın o nesneden yansarak veya geçerek göze gelmesi sonucu algılar. Bu algılama elektromanyetik tayfın çok dar bir bölgesi olan 380 ile 780 nm dalgaboyu aralığında gerçekleştiğinden, bildiğimiz renk kavramı bu bölge ile sınırlıdır. İnsan gözü, karmaşık ve doğrusal olmayan yapısı nedeniyle çeşitli dalgaboylarındaki ve farklı şiddetlerdeki ışığa farklı tepki verir. 1931 yılında Uluslararası Aydınlatma Komitesi (Committee Internationale l'Éclairage, CIE) insan görme duyarlılığını normal bir aydınlık altında 380-780 nm bandında, değeri 0-1 arasında değişen, tepe noktası olan 555 nm'den iki yönde uzaklaştıkça azalan bir davranış sergileyen, standart "fotopik" V(l) fonksiyonunu tanımlayarak standartlaştırmıştır (Şekil 2). Bu nedendir ki gözümüz, örneğin ikisi de 1 W/m²'lik eşit ışımaya sahip, yeşil ve kırmızı renkli iki ışıktan yeşil renkli olanı çok daha parlak algılar.



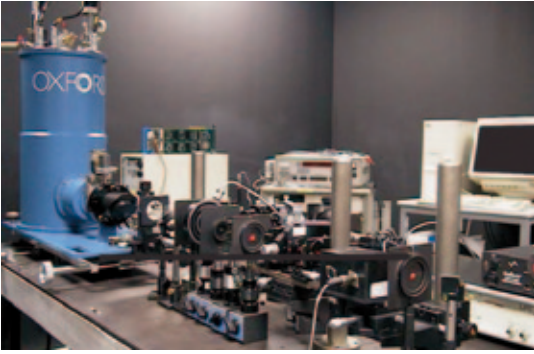
Şekil 2. V-lambda fonksiyonu

Kızılaltı bölge 0,78-2,5 µm dalgaboyları arası yakın kızılaltı bölge, 2,5-25 µm dalgaboyları arası orta kızılaltı bölge ve 25-1000 µm dalgaboyları arası uzak kızılaltı bölge olmak üzere üçe ayrılır. Kızılaltı bölge en az enerjili banda karşılık geldiğinden, bu bölgede sıcaklık ölçümüne dayalı termopillerle, germanyum ve InGaAs gibi kuantum tasarımı yeni detektörlerle çalışılır. Isı da bir kızılaltı ışınım olarak düşünülmelidir, zaten gece-görüş sistemleri ve pirometrik sıcaklık ölçüm sistemleri de bu ilkeye göre çalışır.



Şekil 3. Fotodiyot ve insan gözünün ışığa tepkisi

Morötesi, görünür ve kızılaltı gibi geniş bir spektrumda yer alan optik ışınım çok fazla ölçüm birimi, yöntem ve cihaz gerektirmektedir. Genel anlamda optik ölçüm sistemi bir kaynaktan, kaynağın ışınlarının kontrol edilebildiği bir düzenden ve bir detektörden oluşur. Optik bölgedeki (morötesi, görünür ve kızılaltı) optik ölçümler, radyometri başlığı altında incelenir. Radyometri, ışınım (*radiation*) ve ölçer (*meter*) kelimelerinden oluşur; ışınımın algılanması ve ölçülmesi anlamına gelir. Optik radyometrideki birimler optik radyometrinin temel birimi watt'tan (W)



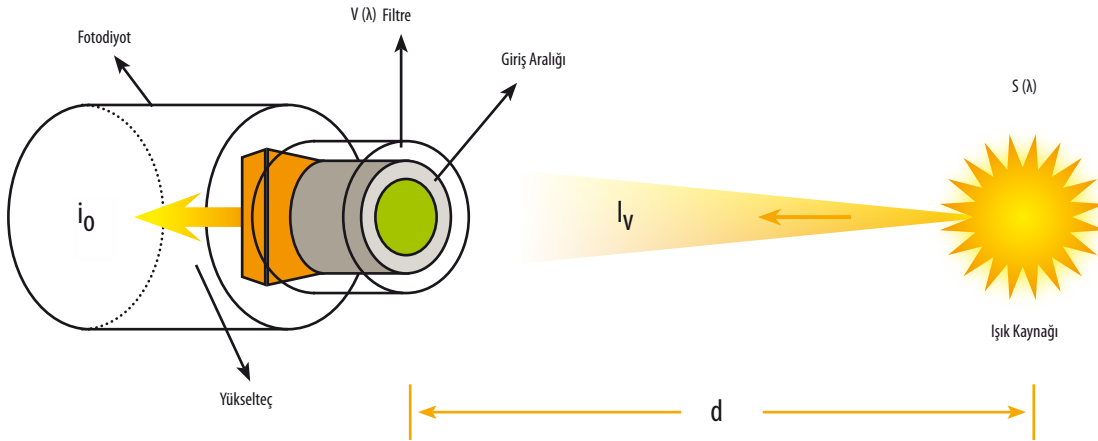
Şekil 4. Düşük sıcaklık radyometre sistemi

türetilerek elde edilir. Işıma kaynaklarının ışıınımları, ışıını güçleri, ışıını düzeyleri, algılayıcıların tayfsal duyarlılıkları, yüzey homojenliği, doğrusallığı, duyarlılığının sıcaklık bağımlılığı, polarizasyona bağımlılığı, sıvı-katı her türlü numunenin düzenli ve dağınık yansıtma ve geçirgenlik gibi ölçümleri radyometri ve spektrometri başlıkları altında incelenir.

İnsan gözünün duyarlı olduğu 380 nm ile 780 nm dalgaboyu aralığındaki görülür bölgedeki kaynakların ışıını özellikleri ve ışığa dayalı tüm ölçümler fo-

gözüne duyarlı yeşil renkli, $V(\lambda)$ filtreden ve altında bir yükseltece bağlı olan silikon detektörden oluşan fotometre başlıkları ile ölçülür (Şekil 5).

Günümüzde sağlık, iletişim, haberleşme, uzay, savunma gibi alanlarda hizmet veren endüstriler ve birçok alandaki firma ve kuruluşlar verdikleri hizmetin kalitesini artırabilmek için bir yandan sürekli olarak teknolojilerini yenilerken diğer yandan da güvenilirlik ve doğruluklarını sağlamak için kalite zincirindeki optik ölçüm cihazlarından ve yöntemlerinden faydalanıyorlar. Optik ölçüm sistem ve yöntemlerinin geliştirilmesi ülkelerin ulusal ölçümbilim (metroloji) enstitülerindeki laboratuvarlar tarafından gerçekleştirilir. Burada, fotometri ve radyometri alanlarında optik ölçümlere yönelik SI ölçüm birimlerine bağlı referans değerler (ölçekler) oluşturulur ve diğer ülkeler ile ölçüm karşılaştırmaları yapılarak oluşturulan referans ölçeklerin uluslararası standartlara uygunluğu ve dolayısıyla ülke içerisindeki optik ölçümlerin doğruluğunun kontrolü sağlanır. Bu alanda üretilen bilgilerin endüstriyel ve akademik kuruluşlarla paylaşarak diğer araştırma ve geliştirme çalışmalarına da önemli katkı sağlanması hedeflenmektedir.



Şekil 5. Fotometri ölçüm sistemi

tometri alanının konusudur. Fotometri alanında temel nicelik, yedi temel ölçüm biriminden biri olan ışık şiddeti "kandela" birimi (cd) cinsinden ifade edilir ve fotometrik birimler kandeladan türetilerek elde edilir. Görünür bölgede ışıma yapan kaynakların ışık akısı, ışık şiddeti, açısal ışık şiddeti dağılımı, parıltı (aydınlık şiddeti), ışıksal duyarlılık, lüks, flaş enerjisi, numunelerin renk sıcaklığı, parlaklık, renk ve yansıma gibi ölçümler fotometri ve spektrofotometri başlıkları altında incelenir.

Fotometrinin temel büyüklüğü olan ışık şiddeti genel olarak, önünde bir fotoaralık bulunan, insan

Kaynaklar

- Römer H., Theoretical Optics (2. basım), Wiley-VCH, 2009.
 Topdemir, H. G., Işığın Öyküsü, Tübitak Popüler Bilim Kitapları, 2007.
 Born & Wolf, Principles of Optics, Pergamon Press, 1964.
 Peatross, J., Ware, M., Physics of Light and Optics, Brigham Young University, 2008.
 Born, M., Principles of Optics (7. basım), Cambridge University Press, 1999.
 Fowles, G. R., Introduction to Modern Optics (2. basım), Dover Publications, 1989.
 Wendell T. Hill, III, Chi H. Lee, **Light-Matter Interaction**, Wiley-VCH, 2006.

- Hengstberger, F., Absolute Radiometry, Academic Press, 1989.
 Türkoğlu, A. K., Küçük, U., "Işığın Ölçümü", Üretimde Kalite Dergisi, Aralık 1998.
 Commission Internationale de l'Éclairage, "The basis of physical photometry", CIE Publication, No. 18.2, 1983.
 McCluney, W. R., Introduction to Radiometry and Photometry, Artech House, 1994.
 DeCusatis, C., Handbook of Applied Photometry, Springer Verlag, 1997.
 Ryser, A., Light Measurement Handbook, International Light Inc., 1998.
 Ulusal Metroloji Enstitümüz: Tübitak'ta İnce Ayar, Bilim ve Teknik Dergisi, Tübitak Yayınları, Kasım 2007.