



# Lazer Televizyonlar ve Lazer Projektörler

Birçoğumuz kırmızı ve yeşil lazer diyotlarını sunumlar sırasında perde üzerinde bir noktayı göstermek için kullanılan işaretçiler ve tutulduğu yer üzerinde çeşitli desenler oluşturan oyuncaklar sayesinde tanıyoruz. Mavi lazerlerin adı ise son yıllarda blu-ray disk çalarlar sayesinde duyuldu. Bu yazımızda kırmızı, yeşil ve mavi üç lazer kullanan televizyonlardan ve projektörlerden ve Koç Üniversitesi'nde bu konuda yapılan çalışmalardan söz edeceğiz.



GxL teknolojisi kullanan 50m x 10m büyüklüğündeki SONY Laser Dream Theater (2005 World Expo, Aichi, Japonya) (kaynak: sonjinsider.com)

**L**azer temelli görüntüleme sistemleri, üzerinde son 50 yıldır çalışılmasına rağmen ancak son zamanlarda karşımıza ürün olarak çıkabilmiştir. Bunu mümkün kılan, lazer teknolojisindeki son gelişmeler sayesinde daha ucuz, daha verimli çalışan, az yer kaplayan ve yüksek güçlü lazerlerin üretilebilmesidir. Maliyeti düşük, az enerji harcayan ve görülebilir dalga boyunda ışın yayan lazerlerin kullanımıyla birlikte lazer temelli görüntüleme sistemlerinin raflarda gün geçtikçe daha fazla yer bulmaya başlaması beklenmektedir.

*Kaliteli bir görüntü oluşturmak için neden kırmızı, yeşil ve mavi (KYM) kaynak gereklidir, KYM lazer kullanmanın avantajları nelerdir?*

Fen derslerinde, prizma ile güneş ışığını renklerine ayırma deneylerinden de hatırlanacağı gibi beyaz ışık değişik dalga boyuna sahip farklı renkte ışıkların toplamından oluşur. İnsan gözünde çubuk ve koni olmak üzere iki çeşit görme algılayıcısı vardır. Koni algılayıcıları üç çeşittir ve temel renkler olan kırmızıyı, yeşili ve maviyi algırlar. Farklı renklerin algılanması ise aynı dalga boyunun çeşitli koni algılayıcılarını değişik miktarlarda uyarması ve bunun beyin tarafından değerlendirilmesi sayesinde olur. Koni algılayıcı hücrelerinin algıladıkları ışık dalga boyları ölçülmüş ve Şekil 1'de gösterilen renkserlik çizelgesi çıkarılmıştır. Çizelge üzerindeki üçgenlerin köşeleri, görüntüleme sistemlerinde kullanılan kaynakların temel dalga boylarına karşılık gelmektedir. O noktalara ancak renksel olarak saf yani gerçek tek renkli olan kaynaklar ile ulaşabilmektedir; bu da sadece lazerler ile mümkündür.

Şekil incelendiğinde kullanılan ışık kaynağına göre farklı renk gamları elde edildiği gözlemlenmektedir. CRT denilen elektron taramalı tüplü televizyonlar ekran üzerinde renkli fosfor, LCD'ler floresan lamba, LED televizyonlar KYM LED dizinleri, lazer televizyonlar ise KYM lazer kullanmaktadır. LED kullanan LCD televizyonlar oldukça geniş bir renk gamına sahip olmakla birlikte bu konuda lazerler ile yarışamazlar. KYM lazerlerin kullanıldığı bir sistemin, insanların algılayabildiği renk aralığının %80'ini kapsayabildiği görülebilmektedir. Bu sayede lazer temelli görüntüleme sistemleri, diğer sistemle-

re göre daha gerçekçi ve canlı renkler sunabilmektedir. Renk gamının daha büyük bir bölümünü kapsamak için üç yerine daha fazla renkte lazer kullanılabilir, ancak bu üretilecek sistemi daha karmaşık hale getirmekte ve maliyetini artırmaktadır.

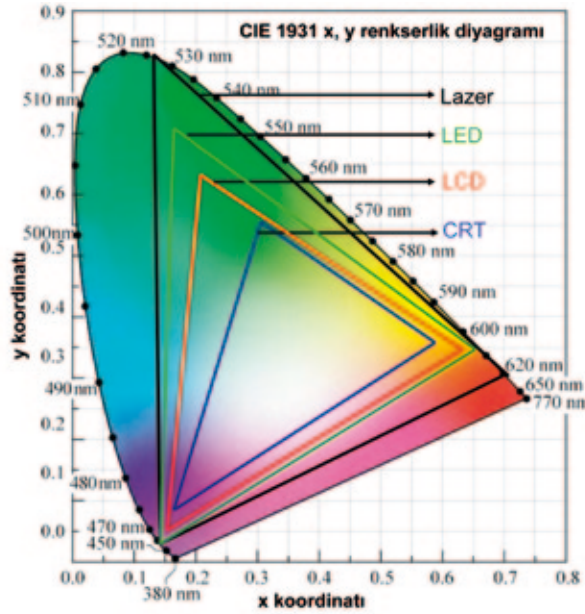
#### Ekran teknolojisi için hangi tip lazerler uygundur?

Bu özel sayıdaki diğer makalelerde de bahsedildiği gibi birçok değişik lazer teknolojisi bulunmaktadır. Ağırlık, hacim ve maliyet göz önüne alındığında, ekran teknolojisi için en uygun lazerler lazer diyotlardır. Lazer diyotların en önemli özelliği, lazer ışık miktarının lazeri süren elektrik akımı yardımıyla yüksek hızlarda kontrol edilebilmesi ve farklı parlaklıklar elde edilmesi için kiplenebilmesidir (modüle edilebilmesidir). Diğer tip lazerlerin kiplenebilmesi için harici bir kipleme kullanılması gerekir, bu da beraberinde ek maliyet ve hacim getirmektedir.

#### KYM lazer diyot teknolojilerinde en son gelişmeler nelerdir?

Lazer diyotların kullanımıyla birlikte diğer lazerler ile yaşanan sorunlar büyük ölçüde çözülmüştür. Mavi için galyum nitrat (GaN), kırmızı için alüminyum indiyum galyum fosfat (AlInGaP) lazer diyotlar kullanılmaktadır. Kırmızı lazer diyotlar CD ve DVD sürücülerde, barkod okuyucularda yıllardır kullanılmaktadır ve maliyetleri çok düşüktür. Mavi lazer diyotlar düşük dalga boyu sayesinde yüksek kapasiteli optik bellek üretmek için geliştirilmiştir ve blu-ray disklerde kullanılmaktadır. Doğrudan yeşil ışına yapan (frekans katlamasız) yeşil lazer diyotların üretimi ise ancak son birkaç yıl içinde başarılı olmuştur. Şu an satılan tüm yeşil lazerler, kızılaltı bir lazeri kaynak olarak kullanıp özel bir optik kristal sayesinde frekans katlama yöntemiyle yeşil ışık üretmektedir. Bu nedenle yeşil lazer diyotlar, kırmızı ya da mavi lazer diyotlara göre daha büyük hacme sahiptir ve daha fazla enerji harcamaktadır.

İlk frekans katlamasız yeşil lazer diyotları 2009 yılı başında Nichia Corporation ve Osram Semiconductors firmaları piyasaya sürmüştür. Bu büyük bir başarı olmasına karşın, bu lazerler 515 nanometre dalga boyunda maviye yakın bir yeşil renk ürettikleri için, mavi ve kırmızı lazerlerle birleştirildiklerinde renk gamının istenilenden daha küçük bir kısmını kapsayabilmektedir. Temmuz 2009'da ise Sumitomo Electric firması Şekil 2'de gösterilen, dünyanın 531 nanometre dalga boyunda ışına yapan ilk frekans katlamasız yeşil lazer diyodunun üretildiğini duyurmuştur. Uzun yıllardan beri beklenen bir gelişme olduğu için bilim dünyasında büyük bir yankı uyandıran bu lazerler, taşınabilir lazer görüntüleme sistemlerinin daha da güçlenmesini sağlayacaktır.



Şekil 1. CIE 1931 x, y renkserlik diyagramı, insan gözünün algılayabildiği renk gamını göstermektedir. Farklı ekran teknolojileri ile elde edilen renk gamları işaretlenmiştir.

Lazer diyotlar kullanım amacına göre darbeli veya sürekli kipte çalıştırabilir. Başarım ölçütlerinin değişmemesi için lazer sıcaklığının termoelektrik soğutma sistemleriyle sabitlenmesi gerekebilmektedir. Diyot lazerlerin diğer dezavantajı ise çıkan ışığın gücünün çok yüksek olmaması ve gönderdiği ışının iki eksenindeki yayılma açısının ve odak noktasının farklı olmasıdır.

Diyot lazerlerle yüksek güçte (100 miliwatt üzeri) çıkış elde etmek için görüntü sistemlerinde genellikle Şekil 3'te gösterilen lazer diyot dizinleri kullanılmaktadır. Diyot dizinlerinin kullanımı, beraberinde farklı sorunlar getirmektedir. Diyot dizininde bulunan diyotlar üretimden ötürü birbirleriyle tıpatıp aynı olmamaktadır. Diyotlar arasındaki farklılıklar, birbirinden ayrı diyotların farklı güçte ışına yapmasına ve çalıştırdıklarında termal genişleme katsayılarındaki farklılıklardan ötürü birbirlerine göre hizalarının bozulmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle diyot dizinleriyle bir örnek aydınlanma elde etmek için lazerlerle birlikte özel optik elemanların, örneğin faz plakalarının ya da mikro mercek dizinlerinin kullanılması gerekmektedir.

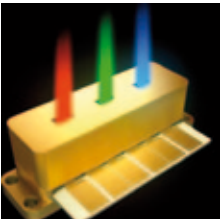
Şekil 2. Sumitomo Electric firmasının ürettiği dünyanın ilk 531nm frekans katlamasız yeşil lazer diyodu (kaynak: Sumitomo)





Doç. Dr. Hakan Ürey, Lisans öğrenimini 1992'de ODTÜ'de, yüksek lisans ve doktora derecelerini ise Georgia Institute of Technology'de (ABD) 1996 ve 1997 yıllarında elektrik mühendisliği alanında tamamladı. Koç Üniversitesi'ne 2001 yılında katıldı. Devam eden araştırma projeleri, mikro-optik ve MEMS teknolojisi kullanan görüntü teknolojileri, kimyasal analiz cihazları, gece görüş kamera sistemleri ve nano-biyosensör geliştirilmesi konularındadır. 100'ün üzerinde dergi ve konferans makalesi ve 20 patenti vardır.

Şekil 3. ARASOR firmasının ürettiği kırmızı, yeşil ve mavi lazer. Her bir lazer 20 mW kadar lazer diyottan oluşmakta ve toplam 3-4 watt mertebesinde ışık üretmektedir. Bu lazerler Koç Üniversitesi'nin de katıldığı AB-destekli HELIUM3D 3-boyutlu lazer televizyon geliştirilmesi projesinde kullanılmaktadır (kaynak ARASOR).



### **Lazer kaynaklı görüntü teknolojilerinin aşması gereken zorluklar nelerdir?**

Bu sorunun yanıtı girişim benekleri nedeniyle görüntü kalitesinin düşmesi ve lazerin göze yansıtılmasının riskli olduğu algısı olarak verilebilir.

Lazerler zamana veya izlediği yola bağlı olarak frekansı, evresi ve kutupluluğu değişmeyen ışın yayan, eşfazlı ışık kaynaklarıdır. Eğer bir nesne bir lazer ışını tarafından aydınlatılırsa, nesnenin yüzeyindeki pürüzlerden ötürü saçılan ışınlar arasında faz farklılıkları oluşur. Aynı frekansa fakat farklı faza sahip bu ışınlar yüzeyden yansıldıktan sonra girişim deseni oluşturur ve aydınlatıldığı alan üzerinde de parlak ve karanlık noktalar olarak gözlenen girişim benekleri oluşur. Lazerle oluşturulmuş bir görüntünün, girişim beneksi azaltma yöntemlerinden biri kullanılmadan önceki ve kullanıldıktan sonraki hali Şekil 4'te gösterilmektedir. Eşfazlı kaynaklarda gözlenen girişim benekleri görüntü kusurları oluşturmaktadır. Girişim beneklerinin şekli ve yapısı, aydınlatılan yüzeyin pürüzlülüğüne ve eğrilğine bağlıdır.

Işığın eşfazlı olma özelliğini bozarak benekleri önlemek için çeşitli yöntemler bulunmuştur, yenileri üzerinde de çalışılmaktadır. Örnek olarak lazeri bir fiber kablonun içinden geçirip fiberi titreştirmek, lazerin düştüğü ekranı titreştirmek (mikroskopik titreşimler dahi yeterli olmaktadır), lazer dizinleri kullanılarak kaynak sayısını artırmak, kaynağın bant genişliğini artırmak gibi yöntemler uygulanabilmektedir. Sözü edilen titreşimler insan gözünün algılayabileceği 1/60 saniye mertebesinde daha hızlı olmalıdır. Mitsubishi 2005 yılında ürettiği lazer televizyonun 185cm'lik ekranını piezo-elektrik motorlar sayesinde hareket ettirerek girişim beneksi kontrastını %2 mertebesine düşürmüştür.

Lazerin göze yansıtılmasını riskli olduğu algısı yaygındır. Gözde hasar riski tamamen ışık kaynağından çıkan ışığın hangi dalga boyunda olduğu ve kaynaktan çıkan ışığın ne kadarının göz bebeğinden içeri girdiği ile ilgilidir. Örneğin güneş ışığına doğrudan bakmak veya kuvvetli bir projeksiyon cihazının merceğinden içeriye doğrudan bakmak göze zararlıdır. Bu konuda yapılan çok detaylı çalışmalar sonucunda sınırlar belirlenmiş ve farklı sınıflandırmalar yapılmıştır. Lazer ışığı saçılmadan düz bir çizgi şeklinde ilerleyebildiği için birkaç miliwatt güç seviyesindeki lazerler dahi göze tutulduğunda zararlı olabilmektedir. Ancak lazer televizyon veya projektör sistemlerinde, lazer ışığının tamamı gözümüze gelmemekte ve büyük bir alanı aydınlatmaktadır. Sistem tasarımı yapanlar bu konuları göz önüne almak zorunda oldukları için, lazerli görüntü sistemlerinin lam-

ba veya LED kullanan sistemlerden farklı bir güvenlik tehdidi yoktur.

### **Lazer temelli görüntü sistemlerinde görüntü nasıl oluşturulur?**

Lazer temelli görüntüleme sistemleri, kullanılan ışık kipleme tipine göre üç kategoriye ayrılabilir: (i) 2-boyutlu tarayıcı kullanıp kiplemeyi lazer ile yapan sistemler, (ii) 1-boyutlu tarayıcı ve mikro-elektro-mekanik kipleme kullanan sistemler, (iii) kiplemeyi sıvı kristal vb. yassı ekran teknolojisi ile yapan sistemler.

Birinci kategorideki lazer görüntüleme sistemlerinde KYM lazer ışınları video sinyali ile kiplendikten sonra Şekil 5'te gösterildiği gibi mercekle ve yarı ayna mekanizmalarından geçirilip tek bir ışın haline getirilmekte ve 2-eksenli bir mikro-tarayıcı aynadan yansıtılarak ekran üzerinde bir nokta oluşturulmaktadır. Tarayıcı, lazer noktasını gözümüzün algılayabileceğinden daha hızlı olarak ekran üzerinde soldan sağa ve yukarıdan aşağıya saniyede 60 kez gezdirerek tam bir görüntü algılamamızı sağlar.

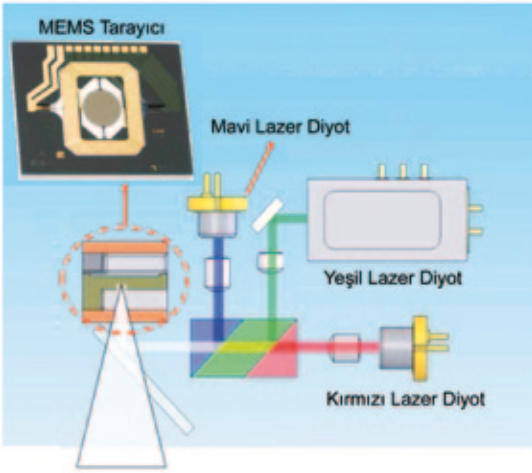


Şekil 4. Lazer kaynağı ile oluşan girişim beneksi ve Dyoptika firmasının girişim beneksi azaltma teknolojinin görüntü kalitesi üzerindeki etkisi (kaynak Dyoptika)

Koç Üniversitesi Optik Mikrosistemler Araştırma grubunda, Microvision Inc. (ABD) ile ortak mikro-elektro-mekanik sistem (MEMS) teknolojisi kullanan tarayıcı teknolojileri geliştirilmesi ve mikro-optik sistemler geliştirilmesi konularında 2002 yılından bu yana çok önemli bir Ar-Ge işbirliği devam etmektedir. Bu konuda birçok patentimiz Microvision firması tarafından lisanslanmıştır.

Daha önceki bölümlerde bahsedilen kiplenebilir lazer diyotlarla MEMS tarayıcıların birleştirilmesiyle yeni bir sınıf olan piko-projektörler üretilmeye başlanmıştır. Bu projektörler çok küçük bir hacim kaplamaktadır ve bir cep telefonunun içine sığdırılabilmektedirler. MEMS teknolojisi sayesinde tümleşik elektronik endüstrisinin yapıtaşı olan silikonun mükemmel mekanik özellikleri değerlendirilerek çok hızlı, küçük ve düşük maliyetli tarayıcılar üretilmektedir.

Microvision (ABD) firması 2009 yılı sonunda lazer temelli, 10 lümen ışık gücü olan ve pille çalışan



Şekil 5. Microvision firmasının ürettiği piko-projektörün çalışma prensibi. Çihazda kullanılan 2 boyutlu tarama yapan MEMS tarayıcı Koç Üniversitesi'nin katkıları ile geliştirilmiştir. (kaynak: Microvision firmasının izni ile yayımlanmıştır).

piko-projektörü piyasaya sürmüştür. Çalışma prensibi, Şekil 5'te gösterildiği gibi, piko-projektörde kırmızı, yeşil ve mavi lazer diyotların video sinyaliyle kiplenmesinden sonra birleştirilmesidir. Yeşil lazer daha önce belirtildiği gibi frekans katlama metodu ile elde edildiği için diğerlerinden daha büyüktür. Bir araya gelen üç renkli ışın, MEMS tarayıcı tarafından iki eksende taranmaktadır. Lazerin saçılmadan ilerleyebilmesi sayesinde, görüntü ekrana herhangi bir projeksiyon merceği kullanılmadan iletilebilmektedir. Bu da görüntünün her türlü yüzeyde ve mesafede net olmasını sağlamakta, herhangi bir odak ayarı gerektirmemektedir. Şekil 6'da gösterildiği gibi aydınlık ortamda A4 kağıt büyüklüğünde bir görüntü rahatlıkla gözlemlenebilmektedir. Karanlık ortamda ise 1m-2m büyüklüğünde bir görüntüyü duvara veya tavana cep telefonunuzdan projekte etmek mümkün olabilmektedir.

İkinci kategori ise GLV veya GxL (*Grating Light Valve*), GEMS (*Grating ElectroMechanical Systems*) ve SOM (*Spatial Optical Modulator*) gibi kırınım prensibiyle ve MEMS teknolojisi ile çalışan tek boyutlu kipleci dizinleridir. Bu durumda lazerin kiplenmesi gerekmemektedir. Bu kipleciye çizgi haline getirilmiş lazer ışını gönderilerek oluşturulan bir boyutlu görüntü sütunu, bir tarayıcı yardımıyla ekran üzerine yatay olarak taranarak iki boyutlu bütün görüntü oluşturulmaktadır. Bu tip görüntüleme sistemleri ile yüksek görüntü kontrastı elde edilebilmektedir ancak görüntünün ekrana iletilebilmesi için projeksiyon merceği sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek güçlü lazerler ve 12 adet GLV sistemi kullanılarak SONY Lazer Dream Theater Japonya'da 2005 yılında hizmete girmiştir. 50m eninde görüntü ile dünyanın en büyük sinema ekranı olma özelliğini taşımaktadır.

Üçüncü kategorideki lazer temelli görüntüleme sistemlerinde ise çeşitli sıvı kristal cihazlar ve DMD (*Digital Micromirror Devices*) gibi iki boyutlu kipleci kullanılmaktadır. İlgili iki boyutlu kipleci üzerine gönderilen farklı renkte lazer ışınları birleştirildikten sonra bir projeksiyon merceği yardımıyla ekrana iletilmektedir. Bu tip cihazlar, kullanılan lazerlerden yüksek bir ışın kalitesi beklememektedir. Mitsubishi 2008 yılında DMD kullanan bir lazer televizyonu piyasa sürmüştür. Alcatel-Lucent firması da LCOS (*Liquid Crystal on Silicon*) kullanarak lazer temelli bir mikro-projektör üretmiştir.

Özetlediğimiz üç temel kategorideki lazer görüntüleme sistemleri dışında kırınım desenleri kullanan holografik lazer projektörler, askeri ve tıbbi amaçlarla kullanılabilecek lazer temelli giyilebilir görüntüleme sistemleri de bulunmaktadır.

Lazer diyotlardaki ve MEMS teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte lazer temelli görüntüleme sistemleri artık cebe sığacak büyüklüğe gelmiştir ve hâkim teknoloji olan sıvı kristal ekranlar ile piko-projektör gibi yeni ürün gruplarıyla yarışır hale gelmiştir. Lazer teknolojisindeki gelişmeler ile yepyeni ekran teknolojilerini (holografik ve 3-boyutlu ekranlar vb.) önümüzdeki yıllarda göreceğimizi tahmin ediyoruz.



Şekil 6. Piko-projektör ile oluşturulan görüntü

Lazer temelli görüntü teknolojileri projelerimize destek veren Microvision Inc (ABD) ve AB 7. Çerçeve programı HELIUM3D projesine teşekkürlerimizi sunuyoruz.

#### Kaynaklar

Bu yazı 2010'da yayınlanacak olan davetli makaleden derlenmiştir: Kishore, V. C., Erden, E., Urey, H., "Laser Based Displays: A Review," *Applied Optics*, 2010.  
Castellano, J. A., *Handbook of Display Technology*, Academic Press, 1992.  
Broadbent, A. D., "A Critical Review of the Development of the CIE1931 RGB Color-Matching Functions," *COLOR Research and Application*, Sayı 29, s. 267-272, 2004.  
Enya, Y., Yoshizumi, Y., Kyono, T., Akita, K., Ueno, M., Adachi, M., Sumitomo, T., Tokuyama,

S., Ikegami, T., Katayama, K., Nakamura, T., "531 nm Green Lasing of InGaN Based Laser Diodes on Semi-Polar {2021} Free-Standing GaN Substrates," *Applied Physics Express*, Sayı 2, 2009.  
Urey, H., Dickensheets, D., "Display and Imaging Systems", MOEMS and Applications, Bölüm 8, SPIE Press, 2005.  
Solgaard, O., Sandejas, F. S. A., Bloom, D. M., "Deformable grating optical modulator," *Optics Letters*, Sayı 17, s. 688-690, 1992.  
<http://microvision.com/>  
<http://www.dlp.com/>  
<http://mems.ku.edu.tr>



Erdem Erden, 2008 yılında Koç Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde lisans derecesini tamamladı. Halen aynı bölümde araştırma asistanı olarak yüksek lisans programına devam etmekte ve 3-boyutlu lazer televizyon geliştirilmesi projesinde çalışmaktadır. Yazar TÜBİTAK BİDEB'e ve Koç Üniversitesi'ne verdikleri eğitim bursları için teşekkürlerini sunmaktadır.