

# Camera Obscura'dan Plenoptik Kameraya: Geleneksel Kameraların Sınırlılıklarını Aşmaya Yönelik Görüntüleme Çalışmaları

## From Camera Obscura to Plenoptic Camera: Imaging Studies to Overcome the Limitations of Traditional Cameras

Dr. Öğr. Üyesi Yüce Sayılğan \*

### Özet

İcadından günümüze kameraların genel yapısı neredeyse hiç değişime uğramamıştır. Film malzemesi kullanan kameraların yerine elektronik görüntü algılayıcı sayısal kameraların kullanılmaya başlaması, görüntü üretimi iş akışlarını değişime uğratsa da, geleneksel kameraların sınırlılıkları hep aynı kalmıştır. Buna karşın, son yıllarda, ucuzlayan küçük boyutlu görüntü algılayıcılar ve gelişen plastik lensler, yenilikçi kameralar tasarlamaya yönelik araştırmalar için, itici bir unsur haline gelmiştir. Bu çalışmada, geleneksel kameraların tarihsel süreç içinde geçirdiği değişimler, yapıları ve sınırlılıkları tanımlanmış, daha sonra geleneksel kameraların sınırlılıklarını aşmaya yönelik çalışmalar incelenerek karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Kamera dizileri ve plenoptik kameralar gibi yenilikçi tasarımların, çok sayıda mercekle ve algılayıcıdan topladığı görsel verileri, güçlü işlemciler ve algoritmalar yardımıyla işlemesi sonucunda elde edilen veriler, bu tür yenilikçi tasarımların geleneksel kameraların sınırlılıklarını aşma potansiyeline sahip olduklarını göstermektedir. Kameralarla ilgili tüm bu yenilikçi yaklaşımların; sinema filmi üretim sürecinde ekip, ekipman, çekim süreleri gibi etmenleri nasıl etkileyebileceği hususunda öngörülerde bulunulmuştur. Geleneksel kameraların sınırlılıklarının aşılması ve kapasitesinin artırılması konusunda pek çok araştırma ve piyasaya sürülmüş bazı ürünler olsa bile, bu ürün ve yöntemlerin yaygınlaşması için yeni gelişmelere ihtiyaç olduğu görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kamera, görüntü, algılayıcı, sinema, plenoptik

### Abstract

The structure of the cameras has hardly changed since its invention. Although it has been changed imaging workflows by using digital cameras that has electronic image sensor instead of film cameras, the limitations of traditional cameras have remained the same. In contrast, in recent years, inexpensive small-size image sensors and evolving plastic lenses have become a driving force for research into designing innovative cameras. In this study, the changes, structures and limitations of traditional cameras in the historical process have been defined, then the studies aimed to overcoming the limitations of traditional cameras have been examined and conclusions analyzed comparatively. Innovative designs such as camera arrays and plenoptic cameras process visual data collected from multiple lenses and sensors with the help of powerful processors and algorithms, indicating that such innovative designs have the potential to exceed the limitations of conventional cameras. It has been foreseen how all these innovative approaches about cameras may affect factors such as team, equipment, shooting times during the film production process. Even though there are many researches and products that have been put on the market to overcome the limitations and increase the capacity of traditional cameras, it is seen that new developments are needed for the spread of these products and methods.

**Key Words:** User Interface Design, Visual, Communication Design, Website, User Experience Design

\* Marmara Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Film Tasarımı Bölümü, yuce.sayilgan@marmara.edu.tr

## 1. Giriş

Fotoğraf ya da sinema kamerası temelde bir karanlık odadır. “Karanlık oda (Camera Obscura) her tarafı kapalı, dikdörtgen bir kutudur. Çeperlerden birine küçücük bir delik açılmıştır. Kutunun dışındaki ışık ışınları bu delikten geçerek, deliğin bulunduğu çeperin karşısındaki çeperin içine, dışarıdaki bir nesnenin ters görüntüsünü yansır.” (Teksoy, 2005, s. 18). Karanlık odadan ilk kez milattan önce 5. yüzyılda Çinli düşünür Mozi'nin eserlerinde bahsedilmiştir (Photographyhistoryfacts.com, t.y.). Tarih boyunca İbnü'l Heysem, Leonardo Da Vinci, Giovanni Battista Alberti gibi pek çok sanatçı, bilim adamı ve düşünür karanlık odayla ilgili araştırmalar yapmış, pek çok mucit karanlık odanın özelliğinden yararlanarak pek çok cihaz geliştirmiştir (Monaco, 2003, s. 73). Bunlardan biri Thomas Alva Edison'dur. Edison, 24 Ağustos 1891 yılında hareketi kaydeden kamerası kinetografin ve kaydedilen filmleri göstermeye yarayan kinetoskopun patentini almıştır. Fotoğraf malzemesi üreticisi Antoine Lumiere de, yaptığı bir gezi sırasında Paris'teki endüstri fuarından bir kinetoskop satın almış ve Lyon'a getirmiştir. Cihazı inceleyen oğulları Louis ve Auguste Lumiere, optik uzmanı Jules Carpenter'dan yardım alarak, sinemaya adını veren hareketi görüntüleme cihazı sinematografi geliştirmiş ve 13 Şubat 1895'de patentini almışlardır (Teksoy, 2005, s. 30).

İlk yıllarda genel olarak saniyede 16 -18 kare çekim yapılırken, sinemaya sesin girdiği 1927 yılından sonra saniyede 24 kare çekim yapmak film kameraları için standart haline gelmiştir (Monaco, 2003, s. 93). Günümüzde kullanılan sayısal film kameralarının öncülü olan video kameralar varlığını televizyona borçludur. “Bu günkü elektronik televizyonun temeli 1923'te Vladamir Rosma Zworykin tarafından ikonoskop adı verilen kamera tüpünün geliştirilmesi ile atılmıştır. Bu tüpün ilk prototipi 1929 yılında New York'ta tanıtılmış ve 1933 yılında RCA tarafından imal edilmeye başlanmıştır. (...) 1960 yıllarından sonra vidikon kameralar, 1990'lardan sonra da CCD kameralar tüplü kameraların yerini almış, diğer elektronik sistemlerde olduğu gibi vakum tüm teknolojisini yerini yarı-iletken teknolojiye, analog sistemler de yerini sayısal (dijital) sistemlere bırakmıştır (Morgül, 2002, s. 2-3).”

Film kamerasının geçirdiği belki de en önemli değişim, sayısal film kamerasının ortaya çıkışıdır. Nisan 1981 yılında Sony firması yüksek çözünürlüklü analog HDVS formatını piyasaya sunmuştur. Bu format analog bir format olsa da, hem yüksek çözünürlüğün kullanımı hem de aktarım formatı olarak sayısal verinin kullanılmaya başlaması açısından, sayısal kameralarla görüntülemeye geçişte önemli rol oynamıştır. Bu format çok yaygınlaşmasa da 1987 yılında, uzun metrajlı bir film olan *Julia and Julia* bu formatta çekilerek daha sonra film malzemesine basılmıştır. Böylece sayısal sinema iş akışının temelleri atılmıştır. 1996 yılında ise *Rainbow* filminde bütün yapıım sonrası süreçler sayısal olarak gerçekleştirilmiştir. 1998 yılında *Windhorse* filmi tamamıyla sayısal olarak çekilmiş ve çevrimdışı olarak kurgulanmıştır. Aynı yıl Sony'nin HDCAM formatı piyasaya sürülmüş ve 1920x1080 çözünürlükte sayısal video standart haline gelmiştir. 1999 yılında ise ünlü yönetmen George Lucas *Star Wars Episode I – The Phantom Menace* filminin bazı sahnelerini, yüksek çözünürlüklü sayısal kameralarla çekme kararı almış ve bu teknolojinin yaygınlaşmasına önyak olmuştur. Bu filmin gösterimi için dört sinema salonuna sayısal görüntüleme sistemleri kurulmuştur. 2000'li yıllara gelindiğinde pek çok ana akım ve bağımsız film sayısal olarak çekilmeye başlamıştır. 2009 yılında *Slumdog Millionaire* adlı film görüntü alanında Akademi Ödülü almış, böylece bu ödülü alan sayısal olarak çekilmiş ilk film unvanını da kazanmıştır. 2013 yılında Paramount stüdyosu filmlerini tamamen sayısal olarak dağıtmaya başlamıştır (WikiZero, t.y.).

Günümüzde sinema üretimi ve gösterimi neredeyse tamamen sayısal teknolojilerle gerçekleştirilmektedir. Tüm bu sayısal değişime rağmen, kameraların yapısı uzun yıllar köklü bir değişime uğramamıştır. Bilgisayar grafikleri ve görüntüleme üzerine çalışan Ig-Jae ve Jaewon Kim'in görüşleri de bu durumu destekler niteliktedir: "İlk kameranın icat edildiği 1839 yılından beri kameraların biçimlerinde, bileşenlerinde, işlevlerinde ve görüntü yakalama yöntemlerinde pek çok gelişme oldu. Bununla birlikte ben son yıllardaki en kayda değer gelişmelerin film kamerasından, sayısal kameraya geçiş sayesinde yaratıldığını görebiliyorum. Bu dönüşüm belki de daha doğru bir ifadeyle devrim, basitçe görüntü edinmeyle ilgili değildir. Birçok kullanışlı işlevi olduğu kadar, zorlayıcı sorunları olan bir görüntüleme paradigması oluştu. İronik bir biçimde, böylesine büyük değişimlere rağmen, kameranın biçiminde kayda değer bir değişim meydana gelemedi (Kim ve Kim, t.y., s. 1)."

Ancak son yıllarda kamera tasarımlarında deneysel yaklaşımlar hız kazanmıştır. Son yıllarda oldukça büyüyen akıllı telefon pazarında, rekabet büyük oranda telefonlardaki kameralar üzerinden gerçekleşmektedir. Akıllı telefonların küçük, taşınabilir ve ucuz olmasının istenmesi kameralar açısından oldukça kısıtlayıcı bir durumdur. Daha küçük bir alanda ucuza yüksek görüntü kalitesine sahip kameralar icat etme yarışı ve pazarın büyümesiyle ucuzlayan küçük algılayıcılar, mühendisleri kamera tasarımlarında daha yaratıcı çözümler üretmeye zorlamaktadır. Akıllı telefon kameralarının sağladığı taşınabilirlik ve kullanım kolaylığı, tüm kameralar için bir standart haline gelmeye başlamıştır. Geleneksel kamera tasarımının kısıtlarını aşmak için mühendisler, hem yeni nesil fotoğraf ve film kameralarında hem de akıllı telefon kameralarında; gittikçe güçlenen ve ucuzlayan işlemcilerin, küçük algılayıcıların ve ucuz plastik lenslerin gücünden faydalanmaya başlamışlardır.



Görsel 1. İlk film kameralarından Sinematograf ve modern bir film kamerası.

Bu çalışmanın amacı, geleneksel kameraların sınırlılıklarını tanımlamak ve bu sınırlılıkları ortadan kaldırmak için yapılan yenilikçi çalışmaları ortaya koyarak, kameraların hangi yöne doğru değişime uğradığıyla ve sinemanın klasik iş akışını nasıl değiştirebileceğiyle ilgili sağlıklı öngörülerde bulunulmasının sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda, yenilikçi tasarımlar ve ürünlerle ilgili tanıtımlar, haberler, araştırmalar taranarak derlenmiş ve yorumlanmıştır.

## 2. Geleneksel Kameraların Yapısı

Geleneksel kameralar; karanlık bir oda olan gövde, ışık ışınlarını toplayıp algılayıcı yüzeye ileten bir mercek, çekilen görüntüyü görmeye yarayan bir bakaç ya da ekran ve ışığa duyarlı algılayıcı yüzeyden oluşmaktadır. Bir kutunun bir yüzüne küçük bir delik açılırsa, bu delikten geçebilen ışık ışınları karanlık kutunun diğer yüzüne yansdıkları objenin ters bir görüntüsünü düşürür. Bu görüntünün düştüğü yüzeye ışığa duyarlı bir malzeme koyulduğunda bu görüntüyü kaydetme imkânına sahip olunur. Kameranın keşfedildiği ilk yıllarda, ışığa duyarlı yüzey olarak, film malzemesi kullanılırken, ileriki yıllarda elektronik algılayıcılar da kullanılmaya başlamış ve sayısal kameraların ortaya çıkmasına öncülük etmiştir.

Film malzemesi, duyarlı ya da fotografik emisyon, jelatinle kaplı ışığa duyarlı gümüş tuzlarından oluşan esnek bir malzemedir. Gümüş tuzu ışığa karşı duyarlı bir kimyasal bileşiktir. Film duyarlı ışıkla karşılaştığında gümüş tuzu tanecikleri açık veya örtük bir resim oluşturur. İleriki yıllarda değişik dalga boylarına duyarlı birden fazla duyarlı film kullanılarak renkli film bulunmuştur. Film malzemesinde, çekim sırasında pozlanan filme niteliğini değiştirecek müdahalelerde bulunmak mümkün değildir. Bu bağlamda sayısal kameralarla film kameraları büyük oranda ayrılmaktadır.

Elektronik görüntü algılayıcı, üzerine düşen ışığı elektrik akımına çeviren bir aygıttır. Modern elektronik algılayıcılar, pek çok üreteç içermektedir. Elektromanyetik bir ışınım olan ışık, foton adı verilen parçacıklarla taşınır. Fotonların, üreteçlerde yer alan ışığa duyarlı bölgelere, sensellere, çarpması elektron salınımını tetikler ve bu elektronların yoğunluğu oranında bir voltaj oluşur. Bu gerilim kamerada ayarlanan ISO kazancı ile orantılı bir miktarda büyütülür, analog ya da sayısal olarak kaydedilebilir. Sayısal kameralarda, görüntü sinyali bir analogdan sayısala çeviricide (ADC) sayısal veriye dönüştürülür. Tüm pikseller için toplanan bu sayısal veri bu haliyle kaydedilirse yaygın kullanımda ham(raw) görüntü olarak isimlendirilir. Daha sonra bu veri kameranın kayıt ortamına, sıkıştırılarak ya da sıkıştırılmayarak, işlenerek ya da işlenmeyerek kaydedilebilir. Bazı kameralarda bu veri birden fazla algılayıcıdan da gelebilir. Pek çok kamerada bu veri, üzerinde pek fazla oynama yapılmadan renk ısıtı, gamma düzeltmesi, keskinlik gibi ayarlarla sıkıştırılır ve bu ayarlar tekrar değiştirilemeyecek biçimde bir kayıt ortamına kaydedilir. Sayısal kameralarda görüntü algılayıcı tarafından algılandıktan sonra, ne şekilde kaydedileceği ve bu sırada görüntünün niteliğini büyük oranda etkileyecek beyaz ayarı, keskinlik, duyarlılık, gürültü giderme, renk doygunluğu gibi pek çok ayar yapılabilmesi mümkündür.

Film kamerası ya da sayısal kamera olsun, bu temel bileşenlere ve çalışma yöntemine sahip kameralar aynı sınırlılıkları paylaşırlar ve geleneksel kameralar olarak tanımlanabilirler. Son yıllarda bilgisayar işlemcilerinin gelişmesi, akıllı telefonlarda ve bazı kameralarda güçlü işlemcilerin kullanılması, sayısal kameraların ürettiği görsel verilerin, daha kaydedilmeden, işlemciler tarafından ne şekilde işleneceği hususunda yeni yöntemler kullanılabilmesine olanak tanımıştır. Daha iyi görüntüleme yapmak adına algoritmaları kullanan bu yöntemler, hesaplamalı görüntülemenin konusunu oluşturur. Çekim sırasında ya da sonrasında kullanılan algoritmalar, geleneksel kameraların sınırlılıklarını aşmaya yönelik yenilikçi tasarımların temelini oluşturur. Bu kameraların ve bilgisayar işlemcilerinin gücünün birleştirilmesi olarak tanımlanabilir.

### **3. Geleneksel Kameralarda Temel Sınırlılıklar**

#### **3.1.Netlikle İlgili Sınırlılıklar**

Geleneksel kameralarda tek bir objektif bulunmaktadır. Objektifte bulunun mercek ya da mercekler dizisi objektife gelen ışık ışınlarını toplayarak ışığa duyarlı film ya da algılayıcıya, yani odak düzlemine yönlendirmekle görevlidir. Görüntülenen her bir objeden yansıyan ışık ışınları odak düzleminde belli bir yer kaplamaktadır. Eğer bir objeden yansıyan ışık demeti, odak düzleminin üstüne değil, önüne ya da arkasına düşüyorsa, bir başka deyişle odak düzleminde olması gerekenden fazla yer kaplıyorsa, obje bulanık olarak görünür. Bir objenin net olarak görünebilmesi için, objeden yansıyan ışık demetinin odak düzleminde en fazla ne kadar yer kaplaması gerektiğini belirleyen ölçüt, "bulanıklık dairesi" olarak isimlendirilmektedir. Bulanıklık dairesinin çapı odak düzleminin boyutuna göre değişir. Buna bağlı olarak, diyafram açıklığı azaldıkça görüntülenen objelerden yansıyan ışık demetinin genişliği de azaldığından, bulanıklık dairesine farklı derinliklerden yansıyan daha fazla ışık ışını sığabilir. Dolayısıyla odaklanılan objenin önündeki ve arkasındaki net alanın derinliği artar. Geleneksel kameralarla ve lenslerle bu ilişkinin dışına çıkılması olası değildir. Diyafram açıldığında net alan derinliği azalır, kısıldığında ise artar. Bir sahnenin tamamına yakını net olarak görebilmek için diyafram kısılabılır ancak diyafram kısmak, özellikle az ışık olan ortamlarda, ek aydınlatma yapma gerekliliği doğurur ve ek aydınlatma yapmak yüksek maliyetli bir tercihtir. Bu durum geleneksel kamera için önemli bir sorundur ve bu durumu aşmak için çeşitli araç ve yöntemler geliştirilmiştir. Frazier objektifler gibi derin netlik objektifleri, Scheimpflug kuralına uygun olarak çekim yapmak, hiperfokal noktaya netleme gibi yaygın olarak kullanılan araç ve yöntemlerle sahnenin netlik ve bulanıklığı kontrol edilebilse de çekim sonrası, görsel etkiler hariç, netlikle ilgili herhangi bir değişiklik yapmak olası değildir. Geleneksel kameralarda netlikle ilgili tüm ayarlamalar çekim sırasında yapılmalıdır.

#### **3.2.Dinamik Aralıkla İlgili Sınırlılıklar**

Bir sahnedeki parlaklık düzeyleri çok fazla çeşitlilik gösterebilir. Aynı sahne içinde hem karanlık bir koridor, hem de pencereden görünen öğle güneşiyle aydınlanmış beyaz bir araba yer alabilir. Genellikle gözlerimiz, adaptasyon yetenekleri sayesinde böylesine yüksek karşıtlıklı sahneleri bile görebilme yeteneğine sahiptirler. Ancak pek çok görüntüleme aygıtı böylesine büyük bir karşıtlığa sahip bir aralığı görüntüleyemez. Geleneksel kameralarda tek bir objektif olduğundan ve sadece bir diyafram değeri belirlenebileceğinden, görüntülenebilecek tonal aralığı, film malzemesi ya da elektronik algılayıcı gibi ışığa duyarlı yüzeylerin dinamik aralığı belirler. Günümüzde geleneksel kameralarda, etkileyici bir biçimde, genellikle 14-15 duraklık geniş dinamik aralığa sahip algılayıcılar kullanılmaktadır. Bu gerçekten geniş bir aralık olsa bile, bu tür algılayıcılar ya büyük olmalı ya da verimliliği arttıran çok özel tasarımlara sahip olmalıdır. Bu durum yüksek maliyetleri de beraberinde getirmektedir.

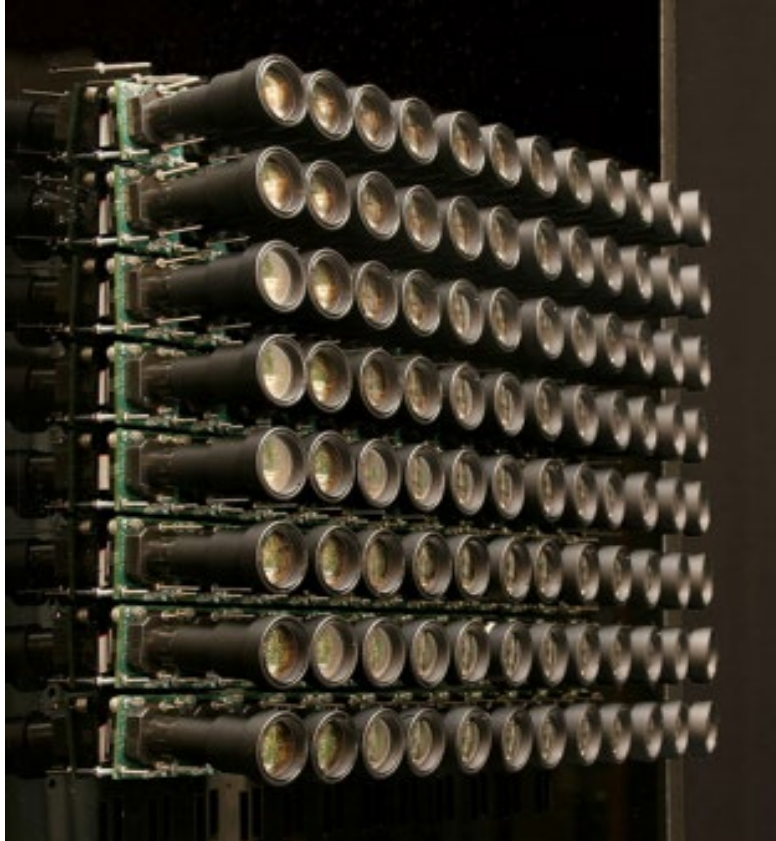
#### **3.3.Yüksek Kare Çekimle İlgili Sınırlılıklar**

Günümüzde kullanılan kameraların standart kare hızları genel olarak, saniye de 24, 25 ya da 30 karedir. Bazı durumlarda hızlı bir eylemin görüntülenmesi ya da zamanın yavaşladığı etkisinin verilmesi amacıyla daha yüksek kare çekimler yapılması gerekebilir. Günümüzde, piyasada, ateşlenen bir merminin hareketini bile görüntüleyebilecek kadar

hızlı kameralar bulunmaktadır. Ancak yüksek hızlı kameralarla çekim yaparken, zorunlu olmasa da, kabul edilebilir düzeyde bir hareket bulanıklığı ile çalışabilmesi için örtücüyü daha yüksek değerlere çıkarmamız gerekir. Örneğin 25 karede 1/50 örtücü ile çekim yapıyorsa, 50 kareye çıkıldığında örtücümüzü de 1/100'e çıkarmak gerekir ki hareket bulanıklığı artmasın. Bu durum yüksek kare hızlarına çıktıkça algılayıcıya ulaşan ışık miktarının azalmasını beraberinde getirir. Bu sınırlılık, çok hızlı lensler kullanılarak biraz olsun aşılabilsen bile, genellikle çok daha fazla ışık kullanımı gerektirir. Diyafram açıklığı fazla, hızlı lensler kullanıldığında da yan etki olarak aşırı siğ alan derinliğine yol açar. Geleneksel kameralarda yüksek kare çekim, oldukça sınırlayıcı ve maliyetli olabilmektedir.

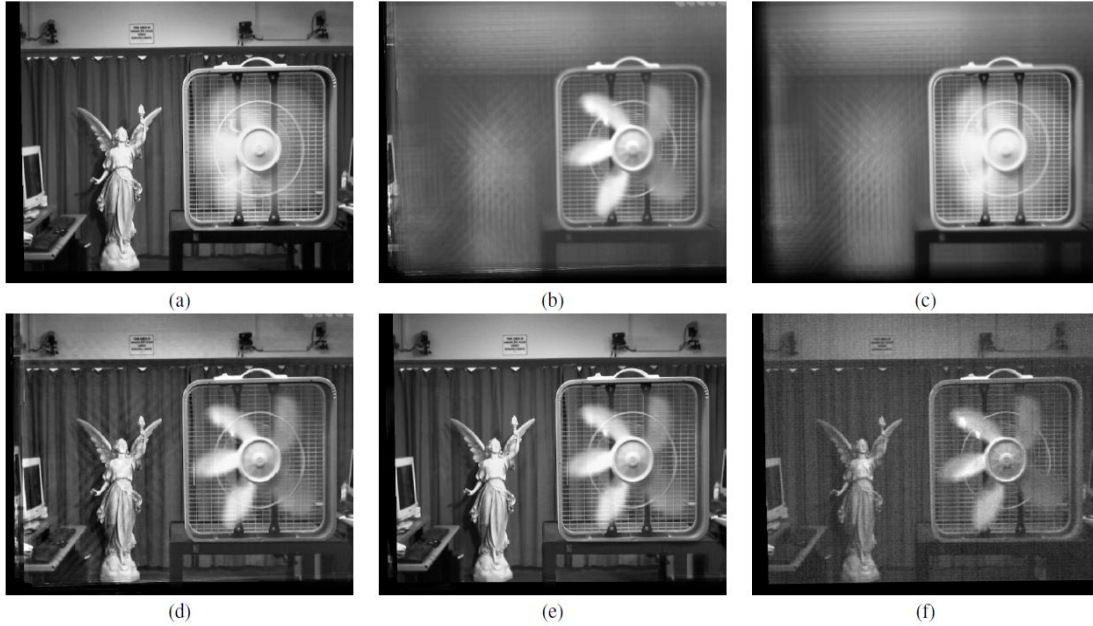
#### 4. Geleneksel Kameraların Sınırlılıklarını Aşmaya Yönelik Çalışmalar

Son yıllarda, akıllı telefonlar ve benzeri cihazların yaygınlaşmasıyla; çok fazla üretildiği için ucuzlayan işlemciler, küçük görüntü algılayıcıları ve gelişen plastik lensler, son yıllarda deneysel kameralar geliştirmeye yönelik pek çok çalışma için cesaretlendirici bir unsur haline gelmiştir. Geleneksel kameraların sınırlarının, birden fazla algılayıcı, mercek ve işlemci gücü kullanılarak, yaratıcı tasarımlarla aşılabileceği düşüncesi, bu çalışmaların temel motivasyonunu oluşturmaktadır. Kameraların sorunlarını gidermek ve geliştirmek amacıyla yapılan en önemli çalışmalardan bazıları kamera dizileri ile ilgilidir. Kamera dizileri, yan yana dizilmiş pek çok, genellikle basit ve ucuz kameranın işlemciler ve algoritmalar aracılığıyla beraber çalışması, bir anlamda güçlerinin birleştirilmesi ilkesine dayanmaktadır.



Görsel 2. Bir kamera dizisi.

Stanford Üniversitesi Elektrik Mühendisliği ve Bilgisayar Bilimleri bölümlerinden dokuz akademisyen, ortak yürüttükleri bir çalışmayla kamera dizileri üretmişler ve çalışmanın sonuçlarını 2005 yılında yazdıkları bir makale ile duyurmuşlardır. “Yarı iletken yonga endüstrisinin ekonomik ilkelerinden biri genellikle, gelişmişlik düzeyi ne olursa olsun, büyük miktarda satılanlar ucuzken, az miktarda satılanlar pahalıdır. Bilgisayarlar için, bu ilişki insanların güçlü sistemler hakkında düşünüş biçimini değiştirdi; yalnızca o iş için özel olarak tasarlanmış yüksek güçte bir bilgisayar yerine, pek çok düşük güçte bilgisayar daha uygun maliyetlidir. Biz sayısal görüntülemedeki benzer eğilimleri görüyoruz. Sayısal kameraların popülerliği artıyor, yüksek seviye kameraların maliyeti sabit kalırken, küçük görüntüleyicilerin performansı gelişmeye devam ediyor (Wilburn vd., 2005, s. 765).”



**Görsel 3.** Kamera dizisi ile yapılan denemeler. Derin net alan ve düşük hareket bulanıklığı için hibrit sentetik diyafram ile fotoğraflama (a-c). Sahnenin eş zamanlı olarak üç farklı diyafram değerinde çekilmiş fotoğrafları: tek kamera uzun pozlama (a), geniş sentetik diyafram kısa pozlama (b) ve geniş sentetik diyafram uzun pozlama. Üçünün (a+b+c) işlenmiş halinin (d), çeşitli bölgelerden seyrek örnekler alınmasından dolayı bazı bölgelerde görsel çentiklenme sorunları var. Net olmayan pikseller maskelendikten sonra birleştirme yapıldıktan sonra çentiklenme sorunu ortadan kalkıyor (e). Geleneksel yöntemle, kısık diyafram ve hızlı örtücü ile çekilmiş fotoğraf. Görüntü net ve hareket bulanıklığı az ama görüntü çok gürültülü. Karşılaştırma amacıyla (f), kısık diyafram ve yüksek örtücülü bir fotoğrafı gösterir. Tüm sahne nettir, fan donuk olarak görüntülenmiştir ancak çok daha gürültülüdür (Wilburn vd., 2005, s. 775).

Wilburn ve diğerleri, kamera dizilerinde, ucuz optiklere ve işlemcilerle sahip kameralar kullanarak; yüksek çözünürlüklü çekim, geniş dinamik aralık elde etme, yüksek kare çekim, yapay diyaframlı fotoğraflama üzerine denemeler gerçekleştirmişlerdir. Kurdukları kamera sisteminde, 640 x 480 çözünürlüğünde küçük bir CMOS algılayıcısına ve basit optiklere sahip 100 adet Omnivision 8610 kamera kullanılmıştır. Her bir kameranın depolanmadan önce kamera verileri üzerinde işlem yapan kendi işlem ünitesi bulunmaktadır. Veriler bu işlemci ünitelerinde işlendikten sonra dört adet bilgisayarda depolanmıştır. Yan yana dizilen kameralar 7680 x 3840 çözünürlük sağlayabilmiştir ancak kameralar çerçeveleri üst üste gelecek şekilde yerleştirilerek oluşturulan sanal kameranın çözünürlüğü bu çözünürlüğün yaklaşık yarısı olarak kullanılmıştır. Bu yöntemle yüksek çözünürlük elde edilirken, üst üste bindirilen çerçevelerden, algoritmalar

yardımıyla, daha yüksek dinamik aralığa sahip görseller elde edilebilmiştir. Elde edilen sonuçlar, tek objektif ve algılayıcı ticari bir kamera olan Canon 20D ile karşılaştırılmıştır ve kamera dizileri çözünürlük olarak biraz zayıf kalsa da dinamik aralığın büyüklüğü açısından 20D'ye göre daha iyi sonuçlar alınabildiği görülmüştür (Wilburn vd., 2005, s. 770).

Aynı araştırma kapsamında bir başka denemede çok sık aralıklarla yerleştirilmiş ve bakış açıları örtüşen 52 kamera kullanılarak saniyede 1560 karelik videolar çekilebilmiştir. Ayrıca bu yöntemin, yüksek kare çekim yapan geleneksel kameralara göre önemli bir avantajı olduğu tespit edilmiştir. "Son olarak, tek bir kameranın aksine, her kare için pozlama süresi yüksek hızlı kare hızının tersinden daha büyük olabilir. Başka bir deyişle, kameralar arasındaki kare zamanlarını üst üste getirebiliriz. Bu, artan hareket bulanıklığı pahasına görüntülerimizde daha fazla ışık toplamamızı ve gürültüyü azaltmamızı sağlar (Wilburn vd., 2005, s.769)." Yüksek kare görüntülemeye ek olarak, zaman ve pozisyon bilgisini tahmin etme yöntemleri kullanılarak, kamera açılarından kaynaklanan değişimler giderilmiş ve ufak açı değişimlerinin yapılabilmesini mümkün kılan videolar oluşturulabilmiştir.

Bilindiği gibi, geleneksel kameralarda diyafram değerini arttırdıkça odaklanılan konunun önündeki ve arkasındaki net alanın derinliği azalmaktadır. Net alan arttırılmak istendiğinde diyafram kısılmak durumundadır. Bu durumun yaratacağı ışık yoksunluğu, görüntüde gürültü yaratması göze alınarak kazanç ayarı ile, ya da pozlama süresi arttırılarak giderilebilir ki bu da görüntüde hareket bulanıklığına yol açar. Bu bağlantı yüksek hızlı bir nesne görüntülenmek istenirken tersine işlemektedir. Pozlama süresi kısaltıldıkça, diyafram açmak gerekir ki bu da net alan derinliğini düşürecektir, ya da görüntü gürültüsü yüksek bir resim elde edilecektir. Eğer kısa pozlama süreleri ve kısık diyafram kullanılmak isteniyorsa, görüntü gürültüsü oluşturmadan bunu yapmanın tek yolu ışık yaparak ortamdaki ışık seviyesini arttırmaktır. Bu da çoğu zaman çok maliyetli bir işlemdir. Kamera dizileriyle bu durumu değiştirmek mümkündür. "Daha önce belirtildiği gibi, bizim kamera dizilişimiz silindirik uzam-zaman diyafram fonksiyonlarıyla sınırlı değildir. Kamera dizilişimizi alt dizilişlere bölebiliyoruz, dolayısıyla bir sahnenin eş zamanlı olarak çeşitli diyafram açıklıklarında yakalanan resimlerini kullanıyoruz. Çeşitli diyafram açıklıklarında çekilmiş bu resimleri birleştirerek, etkin bir biçimde bu sahneleri doğru şekilde fotoğraflamaya izin veren "hibrit" bir diyafram yaratabiliyoruz (Wilburn vd., 2005, s. 773)."

Hem fotoğraf, hem de film kameraları için net bir görüntü yaratmak, uğraşılması gereken en büyük sorunlardan biri olmuştur. Çoğu durumda sahnedeki tüm nesnelere net olarak gösterebilmek mümkün olmamaktadır. Üstelik netlik üzerinde yapılacak bir hatanın geri dönüşü de yoktur. Bu durum yaratıcılığı oldukça kısıtlayan ve zaman zaman da maliyetli olabilen bir durumdur. Diyaframı kıstamak, daha küçük algılayıcı kameralar ya da daha geniş açılı lensler kullanmak daha geniş alan derinliği kazandırabilir, ancak tüm bu yöntemlerin sorunları bulunur. Kamera dizileri sayesinde, küçük pozisyon değişimleriyle çekilen sahnedeki objelerin görüntüleri örtüşürülerek bazı objeler net olurken, örtüşürülmeyen objeler netsiz olarak bırakılabilir. Bu yapay bir sığ alan derinliği etkisi



yaratır. Ancak istenildiğinde tüm alan net olarak da kullanılabilir ya da netlik başka objelere kaydırılabilir.

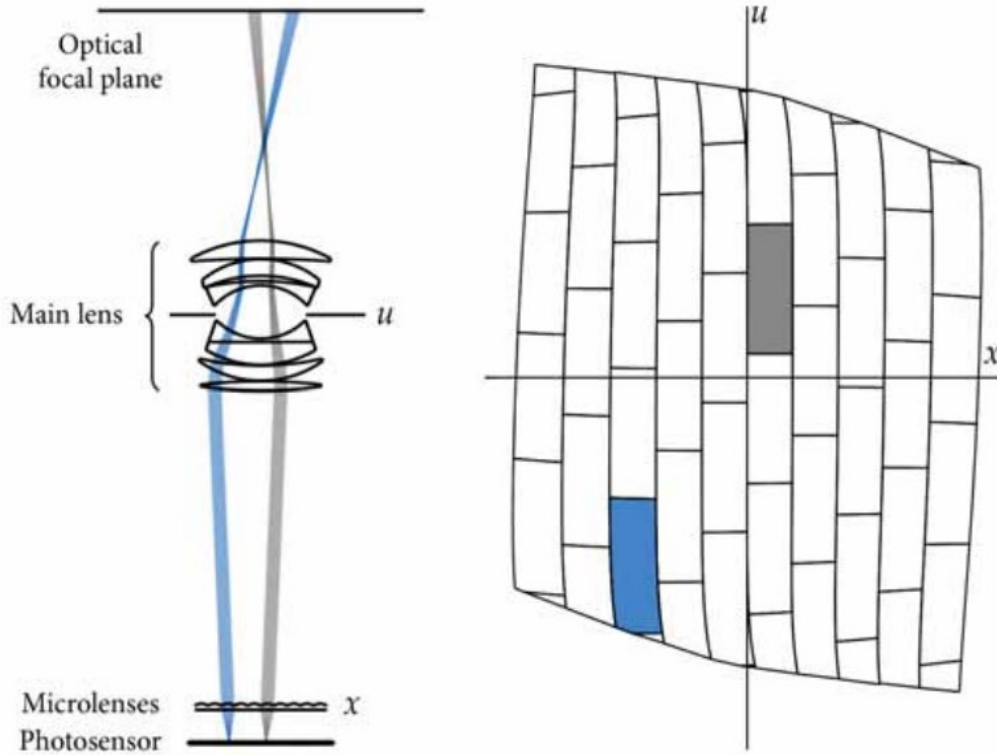


Görsel 4. Light L16 Kamera

Stanford'da yapılan bu çalışmalar, ucuz kamera dizilerinin etkin kullanımına yönelik pek çok yöntemin keşfedilmesini sağlamıştır. Ancak 2005 yılında yapılan bu çalışmalar sırasında gereken işlem ve depolama kapasitesi hantal, taşınabilir olmayan bilgisayarlar tarafından sağlanmıştır ve bu girişim doğrudan ticari bir ürüne dönüşmemiştir. 2018 yılının Mart ayında ise çok benzer bir teknolojiyi kullanan ticari kamera Light L16 piyasaya sürülmüştür. L16 küçük boyutları ile DSLR ve objektif setlerinin yapabildiklerini yapma iddiasıyla piyasaya sürüldüğünden, bazı incelemelerde “DSLR katili” (Gadgets Post, t.y.) olarak, bazı incelemelerde ise “bir mühendislik harikası” (O’Kane, 2018) olarak tanımlanmıştır. Resmi teknik verilerine göre, L16 kamera 16 adet lens ve 16 adet 13 megapikselli akıllı telefon algılayıcısı boyutlarında elektronik algılayıcıya sahip kamera bileşeni içermektedir. Bu lenslerden 5 adedi 28mm f/2.0, 5 adedi 70mm f/2.0 ve 6 adedi 150mm f/2.4 olarak dağılmaktadır. Makina en fazla 52 megapikselli fotoğraflar üretebilmektedir. Kameranın üreticileri resmi internet sayfasında kullanıcılara, kamera dizilerinin geleneksel kameralara göre öne çıkan özellikleri olan; yüksek dinamik aralık, çekim sonrasında bile netliği değiştirebilme ve düşük ışıkta yüksek performans vaat etmektedir.

Light şirketinin teknoloji şefi olan Dr. Rajiv Laroia 2015 yılında Stanford Üniversitesi'nde, L16 kamerasının ve hesaplamalı görüntülemenin arkasındaki teknolojilerle ilgili verdiği seminerde; plastik lensler ve akıllı telefon algılayıcısı boyutlarındaki küçük algılayıcılar gibi sadece akıllı telefonların üretim zincirinde kullanılan donanımlar kullandıklarından bahsetmiştir. Dr. Laroia, özellikle son beş yılda plastik lenslerin çok geliştiğini ve hem plastik lenslerin, hem de akıllı telefonlarda kullanılan algılayıcıların maliyetinin çok ucuzladığını belirtmiştir. “Bugün sınırlı kırımlı plastik lensler, yüzeyleri nanometre düzeyinde doğru ve mikronluk ayarlamalar yapılmasının maliyeti bir dolar, arkalarında

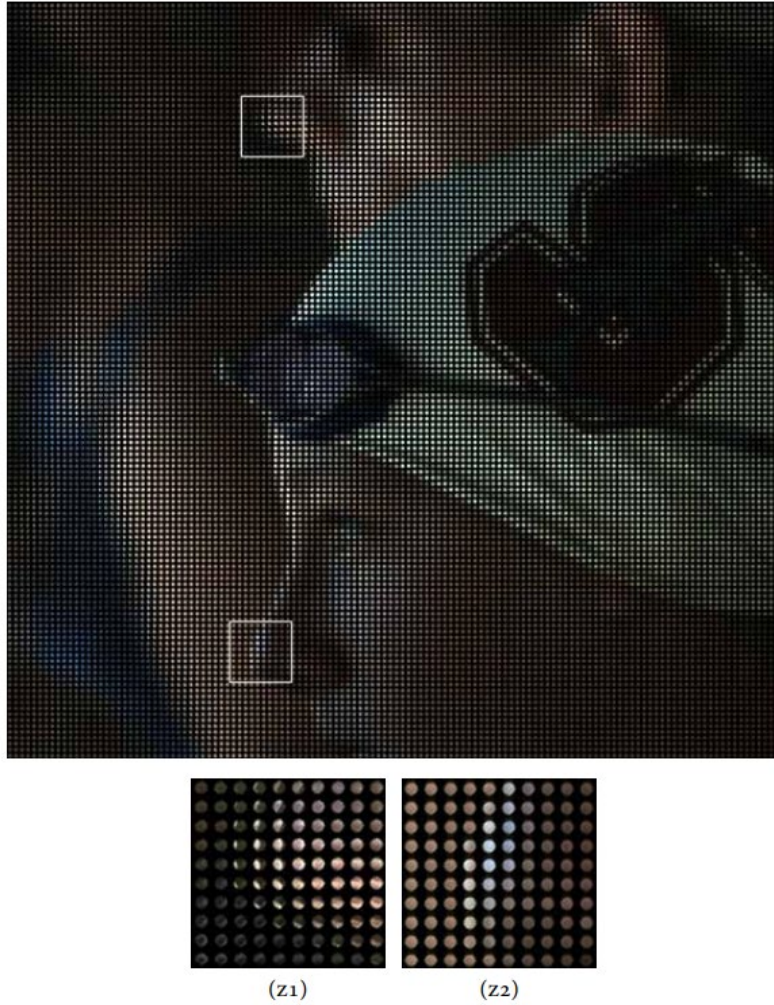
bulunan 13 megapikselli algılayıcının maliyeti üç dolar. Bir düşünün, bu son beş yılda oldu. Kalitede önemli bir artış olduğu ve fiyatlarda ciddi bir düşüş olduğu için kendimize sormak zorunda kaldık: "Kameraları yapmak için geleneksel yöntem hala bunu yapmanın doğru yolu mu?" (Laroia, 2015). L16'nın, sabit lensler kullanarak zoom lensleri taklit edebilmesi, netliğin hatta bokeh efektinin ayarlanabilmesi, ışığı daha fazla alabilmek amacıyla bazı algılayıcılarında renk filtresi kullanmaması dikkat çekici özellikleri olarak sıralanabilir. Kamera, bir ürün olarak piyasada çok önemli bir değişim yaratmasa bile, kullandığı teknoloji oldukça dikkat çekmiştir ve hesaplamalı görüntüleme için bir örnek olmuştur. Ancak netliğin değiştirilmesi gibi bazı işlemlerin kendi içinde değil, çekim sonrasında bilgisayar ortamında yapılabilmesi önemli bir eksisi olmuştur. "Kamera olarak L16'dan memnun değilim. Ancak Light şirketi için, L16'nın gerçek değeri bağımsız bir ürün değildir. Daha çok, akıllı telefonlarda çok daha anlamlı olabilecek belli teknolojilerin ve fikirlerin bir sunumudur (...) Sorun şu ki, Light L16 piyasaya bağlantı kurduğunda - Ekim 2015'te ilk prototipi gördüm - dünyanın en büyük akıllı telefon üreticileri benzer fikirleri uygulamaya başladı. Apple, Samsung ve şimdi Huawei, telefonlarının arkasında birden fazla kamera modülü kullanıyor ve müşterilere bir zoom lensi sunarak, ekstra çok yönlülük sağlıyor. Ayrıca, bu çoklu kameraların sonuçlarını, kendi başlarına çekebileceklerinden daha iyi olan nihai bir görüntüde birleştirebiliyorlar (O'Kane, 2018)."



Görsel 5. Plenoptik kamerada mercek ve algılayıcı ilişkisi.

Son yıllarda piyasaya sürülmüş bir başka yenilikçi kamera serisi ise Lytro kameralardır. İlk Lytro kamera Yi-Ren Ng'nin Stanford Üniversitesi'nde doktora mezuniyet araştırması sonucunda ortaya çıkmıştır. Doktora araştırmasını ışık alanlı ya da diğer ismiyle plenoptik

kameralar üzerine yapan Yi-Ren Ng, 2006 yılında Lytro şirketini kurarak plenoptik kamera üretimine başlamıştır. Şirket 2012 yılında ilk fotoğraf kamerasını piyasaya sürmüştür. Plenoptik kameralar bir standart ana lens, bir algılayıcı ve algılayıcının biraz önüne konumlanmış mikro lenslerle görüntüleme yapmaktadır. Ana lens tarafından toplanan ışık ışınları mikro lens katmanının üzerine düşmektedir. Mikro lensler ise değişik açılardan gelen ışık ışınlarını net olacak biçimde algılayıcıdaki farklı piksellerin üzerine düşürmek için kullanılmaktadır. Farklı açılardan gelen ışık ışınları her bir mikro lensin arkasında bulunan piksel dizilerinde farklı bir piksele düşmektedir. Böylece bu piksel dizilerinden, açığa göre, istenilen pikseller seçilerek, hangi bölgenin net, hangi bölgenin bulanık olacağı çekimden sonra seçilebilmektedir. Ayrıca diyafram açıklığını azaltmadan tam bir netlik sağlamak da mümkündür. "Dijital olarak genişletilmiş alan derinliğinin, klasik fotoğrafa göre önemli avantajı, daha büyük bir objektif açıklığından gelen ışığı kullanmasıdır. Bu yüksek alan derinliği elde etmek için ışık alanını kaydetmenin, ışığı daha verimli yakalayarak, daha yüksek sinyal/gürültü oranına sahip daha az gürültülü görüntülere izin vermesi anlamına gelir (Ng, 2006, s. 50)."



**Görsel 6.** Plenoptik kameranın ham fotoğrafından kesitler.

İlk Lytro kamera, f/2.0 açıklığa sahiptir ve 8 kez yakınlaştırmaya sahip bir lens içermektedir ve algılayıcısı 11 megaişin olarak duyurulmuştur. Megaişin Lytro firması tarafından ortaya konan bir ölçüdür. Her bir mikro lensin arkasında pek çok piksel bulunmaktadır. Bir başka deyişle bir fotoğrafın tek bir pikselini oluşturmak için pek çok pikselden oluşan bir piksel dizisi kullanılmaktadır. 11 megaişin Lytro kamera 1.2 megapiksellik fotoğraflar üretebilmektedir. Şirketin 2014 yılında duyurulan Illum kamerasında ise 40 megaişinlik bir algılayıcı bulunmaktadır ve kullanıcılara daha fazla çözünürlük sunmuştur.

Şirket 2016 yılında sinema alanında da önemli bir atılım gerçekleştirerek ilk defa plenoptik kameraları sinema endüstrisine taşımak için sinema kamerasını tanıtmıştır. Lytro sinema kamerası, geleneksel bir kameraya göre sıra dışı özellikler taşımaktadır. Saniyede 300 kare 40K görüntü çekebilen 16 duraklık dinamik aralık ve 755 megapiksellik algılayıcı vaat etmiştir. NAB2016 fuarında kameranın tanıtılmasından sonra, No Film School sitesinde yayınlanan bir videoda kameranın özellikleri tanıtılmıştır (Koo, 2016). Tanıtımlarında, çekim sonrasında netliğin ve örtücü açısının değiştirilebilmesi, yeşil perde gibi bir uygulamaya gerek kalmadan arka planın silinebilmesi, çekim sonrası yapay ışık düzenlemelerinin yapılabilmesi gibi özellikleri öne çıkmaktadır. Ancak Mart 2018'de Lytro şirketi kapanmış ve projeleri rafa kalkmıştır.

Almanya'da yer alan Fraunhofer Enstitüsü de plenoptik kameralar üzerine çalışmalar yürütmektedir. 2015 yılında enstitünün resmi web sitesinde ve Vimeo sayfasında yayınlanan "Breakdown Coming Home" (Fraunhofer Institute for Integrated Circuits IIS, 2015) isimli kısa film ve kamera arkası incelendiğinde, kameralarının Lytro'nun sinema kamerasına benzer özellikler içerdiği görülmektedir. Birden fazla kamera kullanılarak çekilen görüntülerden; derinlik haritası, üç boyutlu model oluşturmada kullanılan tümsek haritası, noktacık bulutu gibi ek veriler sağlanabilmektedir. Böylece çekim sonrasında yapay ışıklar ve bulanıklık gibi özellikler görüntüye eklenebilmekte, arka plan geleneksel yöntemler kullanılmadan silinebilmektedir.

## 5. Tartışma ve Sonuç

Geleneksel kameraların sınırlılıkları icat edildiği günden bu yana bilinmektedir. Bu sınırlılıklar, zaman içinde, hem fotoğraf hem de sinema anlatım dilinin önemli birer unsuru haline gelmiştir. Örneğin; sığ net alan derinliği, konuyu fondan ayırmak amacıyla kullanıldığından, çoğu zaman kaçınılan değil, tercih edilen bir sınırlılıktır. "Bu bilerek ve istenerek gerçekleşen katmansal bulanıklaştırma, sinema, televizyon çalışanlarının yıllardır yararlandığı bir anlatım yöntemi, bir gösterme algılatma biçimidir. Böylelikle izleyicinin ilgisinin bulanık görünenden kaçıp, yalnızca seçik görünen nesnelere ve eylemelere yoğunlaşması sağlanır; görüntüde seçik görünen nesne ve eylem vurgulanmaya, daha etkili bir biçimde gösterilmeye çalışılır. Bu nedenle alan derinliğinin sığ tutulmasıyla gerçekleştirilen görüntü bir bölümüyle bulanık olsa da, seçik görünen bölümü okunurluğu sağlar (Erçetin, 2010, s. 98)." Ancak çekim sırasında verilen bu kararın geri döndürülememesi sanatçılar için büyük bir kısıtlamadır. Özellikle sinema alanında kameraların tüm sınırlılıkları hem yaratıcılık açısından, hem de maliyet açısından çözülmesi gereken önemli sorunlar yaratabilir. Bu çalışma kapsamında incelenen deneysel araştırma sonuçları ve ürünlerin resmi sunumları incelendiğinde, geleneksel kameraların pek çok sınırlılığının aşıldığı gözlemlenmektedir.

Geleneksel kameralarla çekim yapılırken tek bir diyafram ve örtücü değerine karar verilmesi gerekir. Kullanılan merceğin en açık diyafram değeri seçildiğinde, çekilen görüntülerin çekim sonrasında, sayısal görüntü düzenleme yazılımları ile, optik etkiler değişmeden ve daha fazla gürültüye neden olmadan karartılması mümkündür. Ancak daha kısık diyafram değerleriyle çekim yapıldığında, bu görüntüler ağartılmak istenirse görüntü gürültüsü artacaktır. Bir başka deyişle, çekim yapan kişinin çekim sırasında amacına uygun bir diyafram seçerek, pek fazla değişmeyecek estetik bir karar vermesi gerekir. Aynı durum örtücü hızı ya da açısı için de geçerlidir. Örtücü hızı seçiminden doğan hareket bulanıklığı çekim sonrasında değiştirilemeyecektir.

Kamera dizileri ve plenoptik kameralarla bu bağıntılı sınırlılığın büyük oranda aşıldığı görülmektedir. Kamera dizilerinde geniş bir alan derinliği oluşturmak için ayarlanmış tek bir diyafram değeri ve küçük algılayıcılara sahip kameralar kullanılması her yerin istenildiğinde net olabildiğini, istenildiğinde ise farklı kamera açılarından doğan farkların kullanılarak sanal bir bulanıklık etkisi, yapay bir diyafram açıklığı oluşturulabilmesini sağlamıştır. Plenoptik kameralarda ise ana mercekten gelen ışık ışınları mikro mercekler sayesinde algılayıcı üzerinde farklı piksellere düşürülerek, görüntülenen alandaki tüm objeleri ayrı ayrı netlik yapılabilmekte, ya da neredeyse tüm alanlar net olarak seçilebilmektedir. Bu sayede net bir görüntü elde ederken, büyük açıklıklı diyafram değerleri de kullanılabilir. Bu bağlamda diyaframın net alan derinliği üzerinde belirleyici etkisi oldukça azalmaktadır ve küçük algılayıcılardan daha fazla verim elde edilmesi sağlanmaktadır. Lytro şirketi hareket bulanıklığı konusunda da çekim sonrasında kontrol sağladığını ve örtücü açısının değiştirilebileceğini iddia etmektedir.

Yüksek dinamik aralık hususunda da önemli ilerlemeler sağlanmıştır. Kamera dizilerinde kameraların çerçevelerinin tümünü ya da bir kısmını örtüştürerek ve çeşitli pozlama değerlerinde çekim yaparak yüksek dinamik aralıklı görüntüler yakalamak mümkündür. Araştırmacılar yüksek standartta geleneksel bir fotoğraf makinasından daha geniş bir aralıkta fotoğraflar yakalamışlardır. Light şirketi L16 kameralarda da benzer bir yöntemle yüksek dinamik aralık ve düşük gürültü oranı sağladığını iddia etmektedir. Plenoptik kameralar üreten Lytro kamera şirketi de sinema kamerasının tanıtımlarında 16 duraklık bir dinamik aralığa sahip olduğunu iddia etmiştir. Ancak bunun nasıl sağlandığı ile ilgili bir bilgi bulunmamaktadır.

Yine yüksek kare çekim konusunda, kamera dizileri kullanılarak, geleneksel kameralardan daha farklı bir yaklaşım denenmiştir. Kamera dizisindeki kameraların çerçeveleri mümkün olduğunca örtüştürülerek, pozlama süreleri örtüşmeyecek biçimde arka arkaya pozlama yapmaları sağlanmıştır. Böylece sanal bir örtücü yaratılmıştır. Sırayla çekim yapan kameralar sayesinde ışık performansından ödün vermeden yüksek kare çekim yapmak mümkündür. Ancak sonrasında çerçevelerdeki farklılıkları gidermek ek bir işlem gerektirir.

Sınırlıkların aşılmasına ek olarak kamera dizileri ve plenoptik kameralar, görüntüden ek bilgiler sağlamak hususunda da olanaklar sağlamaktadır. Bunlardan en önemlisi yansıyan ışığın yönünün ve bu sayede ön plan ve arka planın, yani derinlik bilgisinin tespit edilebilmesidir. Lytro şirketi plenoptik kameralar sorumlusu Jon Karafin ile yapılan söyleşide bu özellik de tanıtılmaktadır (Koo, 2016). Fraunhofer Enstitüsü'nde araştırma amacıyla yapılan ve bir çaydanlığın görüntülendiği denemelerde de herhangi bir düzeneğe gerek kalmadan arka planın silinebildiği görülmektedir (Fraunhofer Institute for Integrated Circuits IIS, 2015).

Tüm bu çalışmalar bize geleneksel kameraların sınırlılıklarının aşılabileceğini göstermektedir. Plenoptik kameralar ve/veya kamera dizileri, önümüzdeki yıllarda film yapım süreçlerini kökten değiştirebilme potansiyeline sahiptir. Sınırlılıkların aşılması ile gerçekleşmesi olası değişimler şunlardır:

- 1. Film yapım ekiplerinin küçülmesi:** Birden fazla objektife ihtiyaç kalmaması ve netlik ayarının yapım sonrası aşamalarda yapılabilmesi, kamera ekibinin büyüklüğünü; diyaframın sabit olarak kullanılması ve geniş dinamik aralıklı kameralar, ışık kullanımını ve ışık ekibinin büyüklüğünü önemli ölçüde azaltabilir. Ayrıca görsel etkilerin sıklıkla kullanıldığı filmlerde de yeşil/mavi perde kurulumuna ihtiyaç kalmayacağından hem görüntü, hem sanat, hem de görsel etki ekibinde ciddi küçülmelere gidilebilir. Sonuç olarak film ekibinin küçülmesi ve pek çok işlemin çekim sonrasında yapılacak olmasından dolayı çalışma sürecinin ve dolayısıyla alınacak ücretlerin azalması olasıdır. Ancak yeni teknolojiler, yeni bir iş akışı ve ek görevler de gerektirebilir.
- 2. Kamera ve ışık ekipmanlarının azalması:** Standart lenslerin ve yardımcı ekipmanların kullanımının azalması, pek çok satıcı, üretici ve kullanıcının mağdur olmasına sebebiyet verebilir. Bunun yanında lens ve ekipman değişimlerinden doğan üslup farkları ortadan kalkabilir. Bu durum, film üretimini daha tek düze hale getirebilir. Pek çok durumda diyafram kısılmasına ihtiyaç kalmaması, yüksek kare çekimlerde pozlama sürelerinin daha verimli kullanılması ışık ve ışık malzemesine ihtiyacı azaltacağından, bu konuda çalışan pek çok şirketin ve çalışanın iş kaybına yol açabilir.
- 3. Çekim ve çekim sonrası aşamasının sürelerinin değişimi:** Çekim aşamasında yapılması gereken pek çok görev, çekim sonrasına taşınacağı için ve elde devasa miktarda veri bulunacağı için çekim süreçleri kısalırken, çekim sonrası süreçleri uzayacaktır. Bu durum çekim sürecinde çalışanların gelirlerini azaltırken, çekim sonrasında çalışanların gelirlerini arttırabilir.
- 4. Sinema dilinin zenginleşmesi:** Yapım sonrasında netliğin özgürce ve kolayca değiştirilebilmesi, aynı plan içinde hareket bulanıklığının rahatça değiştirilebilmesi, görüntünün derinlik dilimlerine ayrılarak istenilen yerlerin silinebilmesi; mizansene ek olarak teknik görsel öğelerin daha dinamik ve anlatıma katkı sağlayacak biçimde daha sıklıkla kullanılabilmesini sağlayabilir.

Geleneksel kameraların sınırlılıklarının aşılması ve kapasitesinin arttırılması konusunda pek çok araştırma ve piyasaya sürülmüş bazı kameralar olsa da, hem profesyonel fotoğraf, hem de sinema alanında bu çalışmaların hız kazandığı 2000'li yılların başından bugüne, yaygın olarak kullanılan bir ürün ya da yöntem olmadığı görülmektedir. Diğer yandan son yıllarda, akıllı telefon pazarında, birden fazla mercekli ve algılayıcı kameralar sıklıkla kullanılmaya başlamıştır. Sentetik diyafram kullanımı ile arka planı bulanık hale getirmek gibi pek çok yöntem, hesaplamalı görüntüleme ile kameraların geliştirilmesi konusunda, Stanford Üniversitesi'nde birçok çalışma yapmış Marc Levoy tarafından akıllı telefonlara taşınmıştır. Akıllı telefon üreticileri, yeni ve deneysel kamera tasarımları konusunda öncü olmaktadır. Ancak birden fazla kaynaktan gelen görsel verinin işlenmesi için gereken işlemci gücü çok fazla olduğundan video konusunda, fotoğraf kadar çok gelişme yaşanmamaktadır. Birden fazla mercekli ve algılayıcı kameraların gelişimi için işlemcilerin kapasitelerinin ve depolama alanlarının artması önemli bir gerekliliktir.

## Kaynakça

Erçetin, B. (2010). Broadcaster Info. Işıklama Genliği ve Dolgu Işık Gereksinimi [1], 73, 98-102.

Fraunhofer Institute for Integrated Circuits IIS (2015). *Light Field Technology*, 26 Kasım 2019 tarihinde Fraunhofer Institute Resmi İnternet Sitesi: <https://www.iis.fraunhofer.de/en/ff/amm/for/forschbewegtbildtechn/lichtfeld.html> adresinden alındı.

Gadgets Post. *Meet the DSLR killer – the 16-lens super slim, Light L16* 5 Kasım 2019 tarihinde Gadgets Post: <http://gadgetspost.com/meet-dslr-killer-16-lens-super-slim-light-l16/> adresinden alındı.

Kim, I. ve Kim, J.(t.y.) Computational Photography: Principles and Practice. 27 Ekim 2019 tarihinde MIT Resmi İnternet Sitesi: [https://alumni.media.mit.edu/~jaewonk/Publications/Comp\\_LectureNote\\_JaewonKim.pdf](https://alumni.media.mit.edu/~jaewonk/Publications/Comp_LectureNote_JaewonKim.pdf) adresinden alındı.

Koo, R. (2016). *EXCLUSIVE: Watch Lytro Change Cinematography Forever*, 26 Kasım 2019 tarihinde No Film School: <https://nofilmschool.com/2016/04/lytro-cinema-camera-cinematography-demo> adresinden alındı.

Laroia, R. (2015). *Light L16 Camera: Gathering Light HD*, 6 Kasım 2019 tarihinde YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=vKmc9xWHhM4> adresinden alındı

Monaco, J. (2003). *Bir Film Nasıl Okunur?*, İstanbul: Oğlak Yayıncılık

Morgül, A. (2002). *Dijital Televizyon*, İstanbul: Anten Dünyası Dergisi

Ng, R. (2006). *Digital Light Field Photography*, 26 Kasım 2019 tarihinde Stanford Üniversitesi Resmi İnternet Sitesi: <https://stanford.edu/class/ee367/reading/Ren%20Ng-thesis%20Lytro.pdf> adresinden alındı.

O'Kane, S. (2018). *Light L16 Camera Review: Futuristic Frustration*, 5 Kasım 2019 tarihinde The Verge: <https://www.theverge.com/circuitbreaker/2018/4/10/17218758/light-l16-review-camera-photos> adresinden alındı.

Photographyhistoryfacts.com (t.y.). *History of Camera Obscura - Who Invented Camera Obscura?*, 18 Aralık 2019 tarihinde Photographyhistoryfacts.com: <http://www.photographyhistoryfacts.com/photography-development-history/camera-obscura-history/> adresinden alındı.

Teksoy, R. (2005). *Rekin Teksoy'un Sinema Tarihi*, İstanbul: Oğlak Yayıncılık

Wiki Zero (t.y.). *Digital cinema*, 18 Aralık 2019 tarihinde Wiki Zero: [https://www.wikizero.com/en/Digital\\_cinema](https://www.wikizero.com/en/Digital_cinema) adresinden alındı.

Wilburn, B., Joshi, N., Vaibhav, V., Eino-Ville, T., Antunez, E., Barth, A., Adams, A., Horowitz, M., Levoy, M. (2005). High Performance Imaging Using Large Camera Arrays. *ACM Transactions on Graphics*, 24(3), 765-776.

## **Görsel Kaynakçası**

Görsel 5. İlk film kameralarından Sinematograf ve modern bir film kamerası (Görsel <https://en.wikipedia.org/wiki/Cinematograph>, Erişim Tarihi: 27 Ekim 2019 ve <https://www.arri.com/en/camera-systems/cameras/alex-mini> Erişim Tarihi: 27 Ekim 2019).

Görsel 2. Bir kamera dizisi  
([https://graphics.stanford.edu/papers/CameraArray/CameraArray\\_Sig05.pdf](https://graphics.stanford.edu/papers/CameraArray/CameraArray_Sig05.pdf), Erişim Tarihi: 28 Ekim 2019)

*Görsel 6.* Kamera dizisi ile yapılan denemeler  
([https://graphics.stanford.edu/papers/CameraArray/CameraArray\\_Sig05.pdf](https://graphics.stanford.edu/papers/CameraArray/CameraArray_Sig05.pdf), Erişim Tarihi: 28 Ekim 2019)

Görsel 4. Light L16 Kamera (<https://light.co/camera>, Erişim Tarihi: 1 Aralık 2019)

Görsel 5. Plenoptik kamerada mercek ve algılayıcı ilişkisi  
(<https://stanford.edu/class/ee367/reading/Ren%20Ng-thesis%20Lytro.pdf>, Erişim Tarihi: 26 Kasım 2019)

Görsel 6. Plenoptik kameranın ham fotoğrafından kesitler  
(<https://stanford.edu/class/ee367/reading/Ren%20Ng-thesis%20Lytro.pdf>, Erişim Tarihi: 26 Kasım 2019)