

## Günümüzde Kullanılan Optik ve Sayısal Küresel Fotogrametri Teknikleri (Digital Spherical Photogrammetry Techniques Recently in Use)

**Bahadır ERGÜN, Cumhuri ŞAHİN**

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli  
bergun@gyte.edu.tr

### ÖZET

*Fotogrametrinin tarihsel gelişimi içinde optik sistemlerin önemli bir etkisi olmuştur. Günümüzde optik sistemler ve mercek yapısı görüntüleme açısı ve ışık tepkisi ile insan gözünü taklit etmek üzere tasarlanmaktadır. Bu ilerlemenin ışığında, fotogrametri daha geniş görüntüleme imkânı olan küresel fotogrametri tekniklerine yönelmektedir. Ölçme sistemleri ve görüntüleme sistemlerinin gelişmesi gerçek anlamda küresel fotogrametri tekniklerini gelecekte en çok kullanılacak fotogrametri algoritmaları haline getirecektir. Bu makalede küresel fotogrametrik teknikler donanımsal ve uygulama yöntemleri olarak incelenmiş ve gelişmeler anlatılmıştır.*

**Anahtar Kelimeler:** Yakın resim fotogrametrisi, küresel fotogrametri, panoramik görüntüleme, donanım.

### ABSTRACT

*Optical systems have effected to photogrammetry in the historical evolution. Today, optical systems and objective structure have been designed for field of view and light projection that imitated human eye. Photogrammetry has inclined to spherical photogrammetry techniques which included wide field of view chance by this evolution. In the future, spherical photogrammetry techniques have become popular photogrammetry algorithms via development of the measurement and vision systems. In this study, spherical photogrammetry techniques have been explained with hardware and application techniques*

**Key Words:** Close range photogrammetry, spherical photogrammetry, panoramic vision, hardware

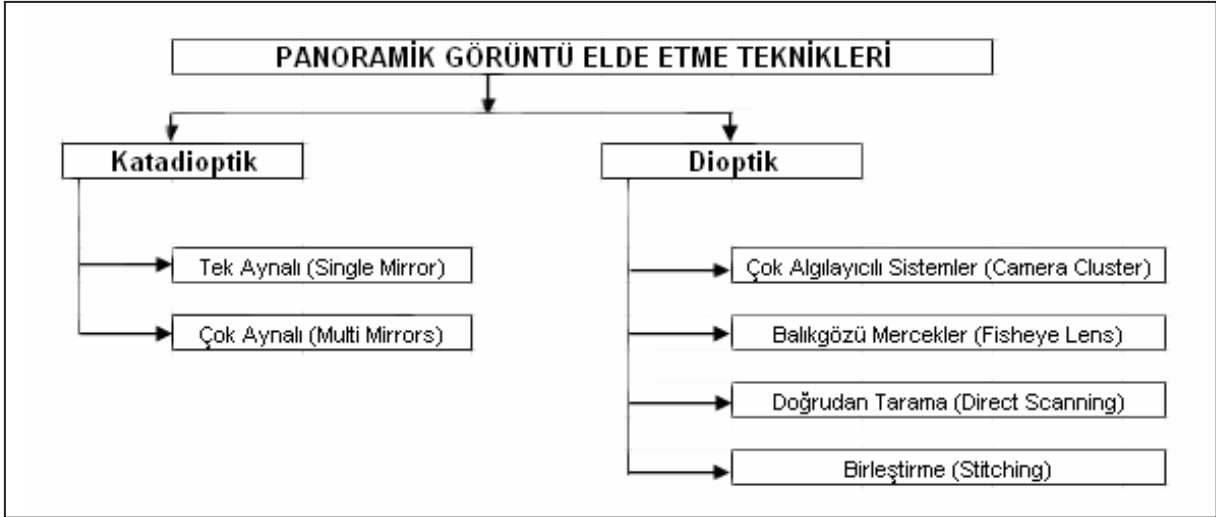
### 1. GİRİŞ

Tek bir görüntüde 360 derece görüntüleme sağlayan kameralara ilişkin uygulamalar özellikle üretimin kolaylaşması ve görüntü işleme hızının artması nedeniyle son yıllarda önemli bir artış göstermiştir. Bu tür kameralar güvenlik, tele-konferans, tanıtım, sanal gezi, robot navigasyonu gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Baştanlar, Yardımcı, 2005).

Kameranın görüş açısının her zaman insanın görüş açısından küçük olması ve geniş objelerin görüntüsünün tek bir fotoğraf içinde alınamaması yüzünden, fotoğrafçılığın başından beri panorama yaratılması talebi uyanmıştır (Parian, 2007). Fotoğrafik anlamda panorama elde etme çabaları 1800'lü yılların sonlarında, farklı doğrultulardan çekilmiş birkaç fotoğrafın tam panorama elde etmek amacıyla birleştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir (Baştanlar, 2005). "Panorama" Yunanca iki kelimenin birleştirilmesi ile oluşan bir kelimedir. "pan" *bütün*, "horama" *görüş* anlamındadır (Baştanlar, 2005). Geleneksel fotoğraf ile panoramik fotoğraf arasındaki fark; bir şehre bir küçük ofis camından bakmak ile çatının üstünden bakmak arasındaki farka benzer (Kwiatk, 2005).

Fotogrametrinin amaçlarından birisi, gerçek dünyayı sanal dünyaya çevirmektir. İki çeşit sanal tur vardır. Birincisi resim düşeye çevirme yöntemlerinin üç boyutlu modellerle birlikte kullanıldığı sanal turlar, diğeri panoramik görüntülerin kullanıldığı üç boyutlu modelleme yapısının olmadığı turlar olarak sunumudur. (Kwiatk, 2005). İnternet ve multimedya teknolojilerinin gelişmesi ile izleyiciler panorama ile ortamı sanki "gerçekten oradaymış gibi", gezebilirler.

Bu çalışmanın, ikinci bölümünde sayısal panoramik görüntü elde etme teknikleri donanımsal olarak incelenmiştir. Üçüncü bölümde bir sayısal panoramik görüntü elde etme tekniği olan doğrudan tarama yönteminde, kullanılan koordinat sistemleri incelenmiştir. Sonuç bölümünde ise, küresel görüntü elde etme tekniklerinin gelişimi, günümüzde ulaştıkları nokta ve geleceği ile ilgili genel bilgi verilmiştir.



Şekil 1. Panoramik görüntülerin üretimi için geliştirilen teknikler.

## 2. SAYISAL PANORAMİK OPTİK GÖRÜNTÜ ELDE ETME TEKNİKLERİ

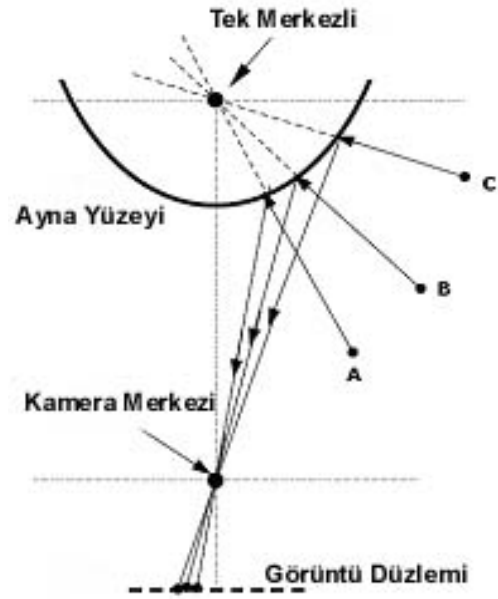
Teknolojideki gelişmeler, geniş görüş açısı elde edebilmek için kameralar ile birlikte özel aynaların ya da özel merceklerin (balıkgözü gibi) kullanıldığı yeni modern yöntemler sunmaktadır. Çoklu görüntülerin elde edilmesi ve birlikte birleştirilmesi hala kullanılır ve bazı uygulamalar için yüksek çözünürlük sağlama avantajına sahiptir. Fakat gerçek zamanlı uygulamalarda önemli miktarda sonradan işleme yöntemleri kullanıldığından verilerin kullanılabilir hale getirilmesi zaman almaktadır (Baştanlar, 2005).

### a. Katadioptik sistemler:

Kamera merceği ve ayna(lar)dan oluşan görüntüleme sistemleri için katadioptik sıfatı kullanılır. Katadioptik terimi ışını yansıtan elemanlar için, dioptik ise ışını kıran elemanlar için kullanılır. Dolayısıyla katadioptik sistem, yansıtan-kıran bir optik sistem olarak tanımlanabilir.

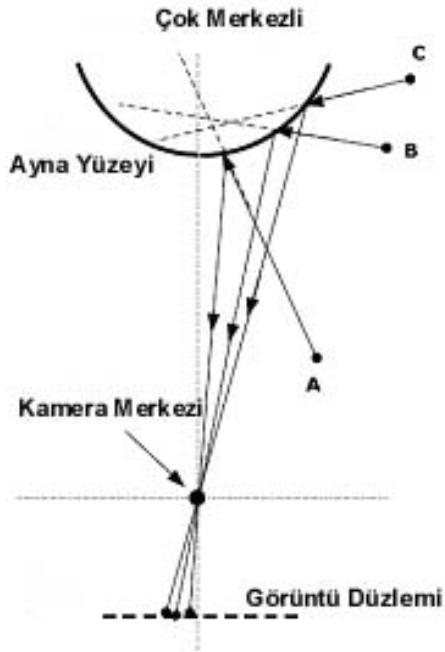
Katadioptik sistemler başlıca iki ana sınıfa ayrılabilirler. "Tek merkezli" ve "Çok merkezli". Tek merkezli katadioptik sistemden anlatılmak istenen; ışık ışınlarının ayna üzerinde bir tek noktayı hedef almasıdır. Şekil 2'de tek merkezli eğrisel ayna örneği gösterilmektedir. Objeden gelen ve hiperbolik aynanın odak uzaklığına (tek merkeze) hedeflenen A, B, C ışık ışınları kamera merkezinden (pinhole) geçmek üzere ayna yüzeyinden yansıtılır. Bu tek görüş açılı

görüntü sıradan (normal sayısal) kameraların sanal bir iğne deliği kamera merkezi gibi çalışması ile elde edilebilir.



Şekil 2. Tek merkezli eğrisel ayna.

Bununla beraber Şekil 3'te gösterildiği gibi görüntü biçimi için ışık ışını, tek merkezlilerdeki gibi kesin bir noktada kesişmez. Tek merkezli sistemlerdeki projektif geometride ışın kesişiminde ve fotogrametri uygulamalarında tek bir izdüşüm merkezi koordinatının hesaplanabilmesi mümkündür. Ancak Şekil 3'te gösterilen çok merkezli sistemlerde tek bir iz düşüm merkezi koordinatı hesaplamak mümkün değildir (Baştanlar, 2005).



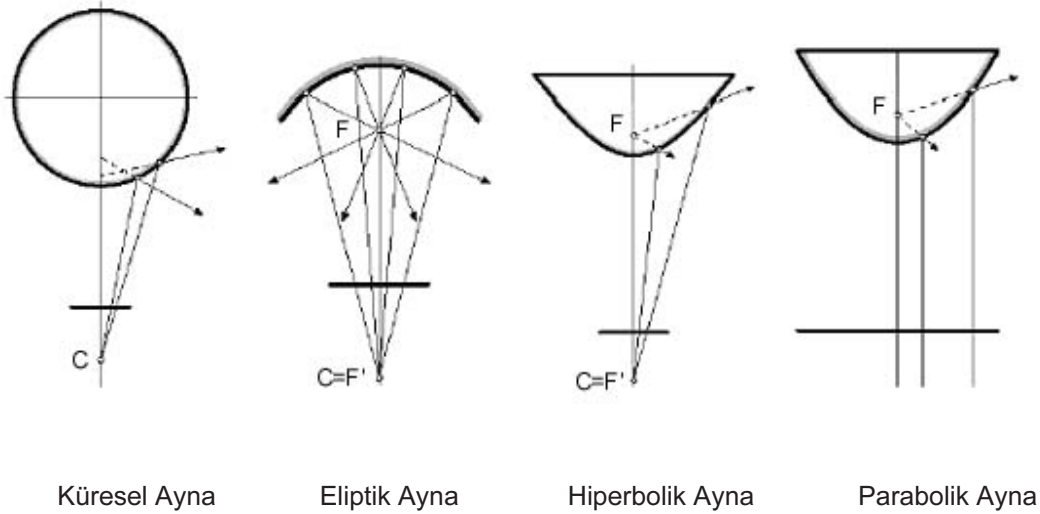
Şekil 3. Çok merkezli eğrisel ayna.

Katadioptik sistemler, sistemde kullanılan ayna sayısına göre ikiye ayrılırlar (Baştanlar, Yardımcı, 2005).

### (1) Tek Aynalı (Single Mirror):

Katadioptik sistemlerde Şekil 4'te gösterildiği gibi merceğin önünde küresel ayna sistemleri kullanılmaktadır. Tek iz düşüm merkezli, geometrik doğruluklu perspektif görüntü üretmeye imkan vermeleri en önemli özellikleridir.

Hiperbolik ayna kullanan katadioptik sistem örneği Şekil 5'te gösterilmektedir. Burada hiperbolik aynadan ışınların yansımaları ve normal kameranın görüntü düzlemine düşmesi gösterilmektedir. Şekil 5'te objeden gelen ışık ışınları,  $P(X,Y,Z)$  ayna yüzeyinden yansır ve görüntü düzleminde iz düşürülmek üzere kamera merceğine gider (Baştanlar, 2005). Şekil 6'da ayna mercek kombinasyonlu bir sistem görülmektedir.



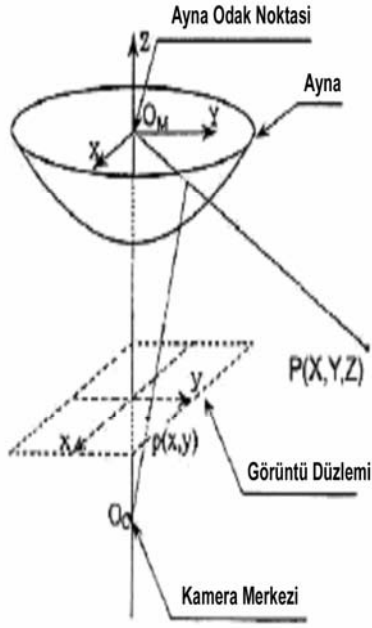
Küresel Ayna

Eliptik Ayna

Hiperbolik Ayna

Parabolik Ayna

Şekil 4. Ayna tabanlı tek nokta iz düşüm geometrileri.



Şekil 5. Hiperbolik ayna ile panoramik görüntü oluşumu.

Hiperbolik aynadan elde edilen küresel görüntü örneği Şekil 7'de, bu görüntüden üretilen panoramik görüntü örneği Şekil 8'de verilmiştir. (Baştanlar, 2005).



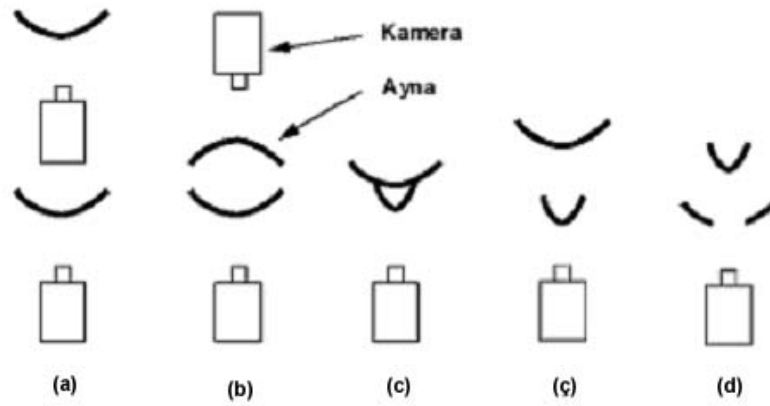
Şekil 6. Ayna-mercekten oluşan katadioptrik algılayıcı örneği.



Şekil 7. Hiperbolik ayna ile elde edilen küresel görüntü.



Şekil 8. Hiperbolik ayna ile elde edilen panoramik görüntü.



Şekil 9. Panoramik görüntü elde etmek için kullanılan çeşitli çoklu algılayıcı sistemleri.

## (2) Çok Aynalı (Multi Mirror):

Çok aynalı sistemler, görüş açısının ve mesafe ölçmelerindeki doğruluğun artırılmasını sağlamak amacıyla, birden fazla aynanın ve mercek sisteminin/sistemlerinin Şekil 9'da gösterildiği gibi çeşitli kombinasyonlarda bir araya getirilmesi ile oluşturulur. Çok aynalı sistemlerde dışbükey/içbükey aynaların kamera sistemleri ile çeşitli kombinasyonları kullanılır. Dışbükey ayna sisteminin (çifti) çift kamera ile birlikte kullanımı ile ilgili kombinasyonlar Şekil 9 (a) ve (b) göstermektedir. Şekil 9'da (c), (ç), (d) ise tek kamera ile çift dışbükey/içbükey ayna kombinasyonlarını ifade etmektedir.

Günümüzde, bu sistemlerde kullanılan aynaların görüş açıları ve çözünürlük özelliklerini geliştirmek üzerine çalışmalar devam etmektedir.

### b. Dioptik Sistemler:

#### (1) Çok Algılayıcı Sistemler (Camera Cluster):

Bazı özel sayısal panoramik kameralar ile birleştirme işlemi operatör olmadan da, kısa sürede panorama elde edilebilir. Birden fazla kameraya sahip sistemlerde algılayıcılarla aynı anda fotoğraf çekilmekte ve bu fotoğraflar otomatik olarak birleştirilip panoramik görüntü elde edilmektedir. Şekil 10'da çok algılayıcı sistemine örnek olarak Event Cam kamerası görülmektedir. Algılayıcı, ana gövde etrafına yerleştirilmiş 10 kameraya sahiptir ve bu kamera sistemi hareketli değildir (Kwiatk, 2005).

Çok algılayıcı sistemlerin amacı birden fazla kamera kullanarak çözünürlük kaybı olmaksızın geniş görüş açılı görüntülerin elde edilmesidir.

Çok algılayıcı sistemler; istenilen görüş açısına göre bir bütün panorama elde etmek amacıyla gereken kamera sayısını en aza indirmek için, bitişik görüntülerin üst üste binmesini minimize edecek şekilde düzenlenir. Ayrıca bu sistemlerde geniş açılı merceklerin kullanılması gereklidir. Bununla beraber geniş açılı mercekler büyük mercek bozulmalarına sahiptirler, bu yüzden her kameranın ayrı ayrı kalibrasyonu zorunludur. Kameraların sınırlı piksel çözünürlüğü yüzünden bütün sistem için tek bir projeksiyon merkezi kullanmak zordur. Burada her bir kameranın bireysel projeksiyon merkezlerinin olduğu düşünülürse bu merkezlerin birbirlerine olan uzaklıklarının bilinmesi gereklidir. Her algılayıcı bir görüş açısına ve bir odak uzaklığına sahiptir. Fakat kameraların görüş açılarının darlığı ya da genişliği bu sistemlerde kullanılması gereken kamera sayısını belirler. Buna bağlı olarak çok fazla algılayıcı kullanan sistemler birden fazla video sinyalinin aynı anda alınması ve işlenmesi kabiliyetini gerektirirler (Parian, 2007)



Şekil 10. Event Cam çok algılayıcı kamera sistemi.

## (2) Balıkgözü (Fisheye Lens):

Balıkgözü (Fisheye) mercekler; görüş açısı 100 derecenin üzerindeki geniş açılı (çok kısa odak uzunluğuna sahip) objektiflere verilen isimdir. Böylece tek balıkgözü mercek görüntüsü manzaranın bir büyük parçasını temsil eder (Schneider vd, 2009). Balıkgözü mercekler; perspektif olmayan merceklerdir, bu merceklerde görüntü çözünürlüğü sabit (tek anlamlı) değildir, aydınlatma homojen dağılımaz. Şekil 11'de balıkgözü mercek düzeneği gösterilmektedir (Parian, 2006).

Balıkgözü mercekler tek bir kamera ile tek bir noktadan bir anda geniş görüş açılı görüntüler sağlarlar. Balıkgözü optikler CCD (Charge Couple Device) ya da CMOS kameraların üzerine yüksek teknoloji gerektirmeden yerleştirilirler. Harici ayna ya da dönme aygıtı gerektirmezler. Bu yüzden bu optikler küçük boyutlardadır ve her hangi bir bakım gerektirmezler (Abraham, 2005).

Alan tarayan kameralar genellikle merkezi iz düşüm geometrisi kullanılarak tanımlanırlar. Bu balıkgözü mercekler için kullanılamaz. Balıkgözü mercekler aşırı küçük odak uzaklıklı ve 180 dereceye yakın ya da daha fazla görüş alanına sahip merceklerdir. 180 derece görüş açısına izin veren balıkgözü mercekler ile alınan görüntülerde küresel görüntüler olarak adlandırılırlar.

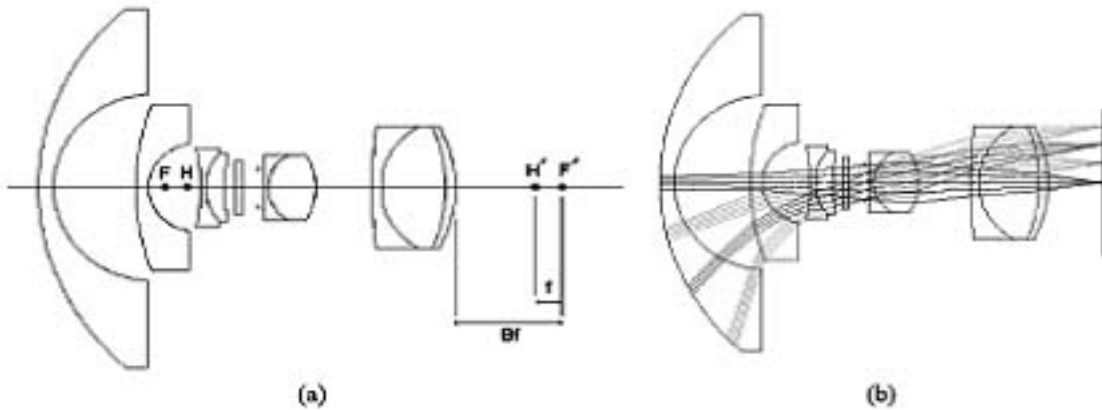
Balıkgözü mercekler geniş görüş alanı yüzünden, başlangıçta çok sayıda fotogrametrik olmayan uygulamaya açılmıştır. Halka açık binaların ya da toplu ulaşım araçlarının

gözetlenmesinde, iç mekanların ya da caddelerin genel görüntülerinin elde edilmesinde gibi. Sıklıkla balıkgözü görüntüler internette sunulurlar. Bu amaçla bu görüntüler 360 derece görüntü elde edebilmek için bir silindirik yüzey üzerine iz düşürülürler.

“Gerçek (real) panoramik kameralar” ile karşılaştırıldığında, balıkgözü mercekler düşük fiyata sahiptirler çünkü geleneksel çizgi dizi kameralarla birleştirilebilirler. Düşük çözünürlüğe sahip olmaları dezavantaj olarak görülmektedir. Bunun sebebi ise; genellikle düşük görüntüleme kalitesini ve sınırlı görüntü büyüklüğü içerisine bir geniş görüş açısının görüntülenerek alınmasıdır (Schneider vd, 2009).

Panoramik görüntüler ve aynalı panoramik görüntü veren sistemlerin özellikle denetleme ve izleme amaçlı çalışmalarda kullanımı artan bir ilgi çekmektedir. Balıkgözü mercekler, iç mekanların üç boyutlu modellenmesi gibi fotogrametrik ölçme işleri içinde artan bir şekilde kullanılmaya başlanılmışlardır.

Balıkgözü mercek sistemini kullanarak bütün küresel görüntü elde edebilmek için yalnızca iki resim yeterli olabilmektedir. Balıkgözü merceklerle küresel görüntü oluşturulması sırasında, merceklerin geniş görüş açıları sebebiyle hareketli objeler problem oluşturmaz. Ancak geniş görüş açılı mercekler oldukları için küresel panoramanın çözünürlüğü daha fazla (dar açılı kameradan elde edilen görüntülerin) resmin birleştirilmesi ile elde edilen panoramadan düşüktür.



Şekil 11. Balıkgözü (Fisheye) mercek düzeneği a. Tipik balıkgözü mercek geometrisi (f: Odak uzaklığı, Bf:İzdüşüm uzaklığı, HH': ana noktalar, FF': odak noktaları) b. Gelen ışınların görüntüsü.

### (3) Doğrudan Tarama:

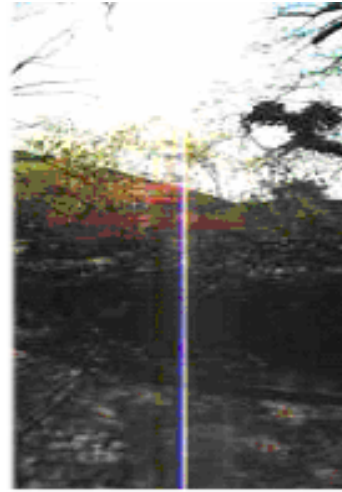
Analog yersel kameralar döner mercek ve döner kameralar olarak ayrılırken, sayısal yersel panoramik kamera olarak sadece döner kameralar üretilmektedir. Döner mercek sisteminde kamera sabit iken lens dönmektedir. Film düzlemi eğriseldir ve eğrinin yarıçapı odak uzaklığıdır. Döner kameralarda ise, mercek kameraya sabitlenmiştir ve tüm kamera döner. Dönme hızı ile uyumlu bir hızda film de hareket eder. Sayısal döner kameralarda ise sistem analog kameralarda olduğu gibidir, yalnızca film yerine sayısal algılayıcılar kullanılır (Parian, 2006). Sayısal panoramik görüntüler bir (dizüstü) bilgisayara bağlandığı zaman kullanılabilir. Alınan resimler bilgisayar sayesinde kontrol edilir ve onun depolama ünitesinde saklanır. Kamera ile birlikte gelen kameranın yazılımı ve fonksiyonları yalnızca kamera bağlı iken çalışır.

#### (a) Doğrudan tarama yapan kameraların avantajları:

- Yalnızca tek bir tarama ya da fotoğraf çekimi ile küresel görüş oluşturulabilmektedir.
- Resim birleştirilmesi söz konusu değildir, yalnızca resim sınırlarındaki ölçeksel fark etkisini gidermek yeterlidir.
- Panoramik görüntü birkaç saniye içerisinde alınabilir.
- Yüksek çözünürlüğü nedeniyle, sonuç görüntü kalitesi yazıcı çıktısı almak için uygundur (Kwiatk, 2005).

#### (b) Dezavantajları ise:

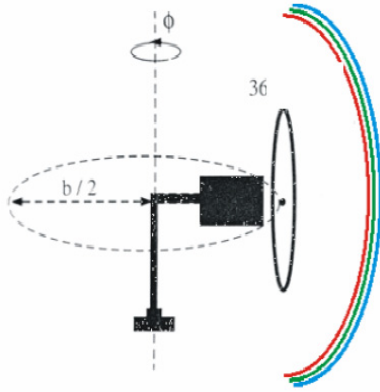
- Panoramik görüntü oluşturulmasını direk tarama tekniği ile yapan donanımlar, pahalı donanımlar olup, hiçbir zaman tek bir resim çekimi uygulaması için uygun değildirler.
- Tarama teknolojisi kullanıldığı için, hareketli objeler olduğu zaman istenmeyen görüntü bozulmaları ortaya çıkabilir.
- Resim çekimi ya da tarama işleminin kontrolü bir diz üstü bilgisayar yardımı ile yapılır.
- Güneş ışığı ile direk temas olduğu yerlerde resmin bir parçasının içinde bir beyaz şerit belirir. Bu olaya blooming adı verilir. Şekil 12'de direk güneş ışığından kaynaklanan blooming etkisi gösterilmektedir (Kwiatk, 2005).



Şekil 12. Blooming etkisi.

Direk güneş ışığında alınan açık hava resimlerinde karşılaşılan bir problem vardır. Bu ışık sayısal fotogrametride CCD algılayıcısının, "blooming" adı verilen, aşırı yüklenmesine sebep olur. Bu negatif etkiden korunmak için, direk güneş ışığından sakınılmalıdır. Güneş gökyüzünde aşağıya indiğinde ya da bulutların arkasında kaldığı zaman görüntünün alınması fotoğrafçılara tavsiye edilmektedir. Bu alan görüntü işleme yazılımları ile düzeltilebilir (Kwiatk, 2005).

Sayısal panoramik kameralarda algılayıcı sabit dönme eksenini etrafında hareket eder ve silindirik bir yüzey tanımlar. Bu yüzden, bu çeşit kameralar döner çizgi kameralar olarak da adlandırılırlar. Böylelikle kamera etrafındaki alan yatayda 360 derece kadar yataylıkla taranabilir. Düşeyde kameranın görüş açısı merceğin odak uzaklığına ve algılayıcı genişliğine bağlıdır. Bir sahnenin fotoğrafı çekilirken, Şekil 13'te gösterildiği gibi kamera bir motor vasıtası ile eksenini etrafında tüm çevreyi taramak ya da kaydetmek için döner. Tarama teknolojisi yüzünden, sayısal panoramik kameralar hareketli objeleri filme almaya çok uygun değildirler. Fotoğraflar alınırken gün ışığının miktarı kameranın dönme hızını etkiler. Uygun ışıkla bir panoramayı filme almak için gereken zaman yaklaşık bir dakika iken, daha karanlık ortamlarda çekim zamanı 10 dakikadan fazla sürebilmektedir (Kwiatk, 2005). Bu tarz kameralarla gece görüntü almak, diyafram (shutter) hızını aşırı şekilde arttırmakta ve hareket eden ışık bozulmalarına sebebiyet vermektedir. Şekil 14'te bir döner sayısal panoramik çizgi kamera örneği olan EYESCAN M3 gösterilmektedir.



Şekil 13. Döner sayısal panoramik kamera yapısı.



Şekil 14. Sayısal panoramik Eyescan M3.

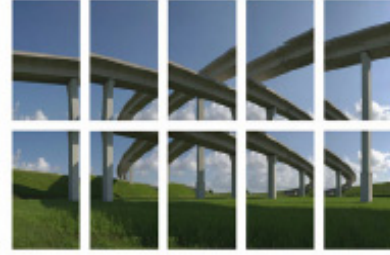
#### (4) Birleştirme (Stitching):

Üç boyutlu sahnenin bir parçasının daha geniş formda sunumu, bir dizi görüntü setinin kaydını gerektirir. Birleştirme tekniğinde, geleneksel kamera ile yeteri sayıda görüntü alınır, komşu fotoğrafların birbirlerini örten ortak bölgelerini kullanan bindirme tekniği ile tek görüntüler, bu amaç için üretilmiş yazılımları kullanılarak, bir panoramaya çevrilir. Şekil 15'te birleştirme tekniği ile üretilmiş panorama resmi görülmektedir.

Çok sayıda görüntünün elde edilmesi ve birlikte birleştirilerek panorama yapılması hala kullanılır ve yüksek çözünürlük avantajına sahiptir. Fakat önemli miktarda operatörsel işlemlere ihtiyaç duymaktadır.

Bu tekniğin avantajı; Özel kamera donanımı, özellikle bir kamera ve mercek kombinasyonu gerektirmemesidir. Çok sayıda resim, tüm panoramanın çözünürlüğünü artırır. Dezavantajı ise; Merceklerin görüş açısına bağlı olarak, küresel panorama oluşturabilmek için 15 ile 50 arası resmin küresel panorama için çekimi ve birleştirilmesi için gereken zamandır. Küresel

panorama elde etmede en hızlı yöntem iki yarı küre görüntü almaktır (Kwiatk, 2005).



Şekil 15. Birleştirme tekniği ile üretilmiş panoramik görüntü örneği.

### 3. DOĞRUDAN TARAMA YÖNTEMİNDE KULLANILAN KOORDİNAT SİSTEMLERİ

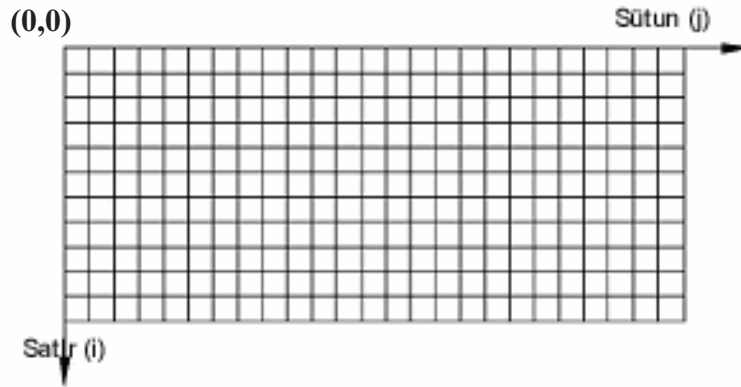
Model elde etmenin temeli koordinat sistemlerinin tanımlanmasıdır. Panoramik kameralarda bu sistemler yalnızca kartezyen obje koordinat sistemi ve resim koordinat sistemi değildir. Aynı zamanda özel kamera geometrisini tanımlamak için ayarlanmış bir yardımcı koordinat sisteminin (silindirik, küresel, konik) tanımlanması gereklidir.

Tanımlanan koordinat sistemleri:

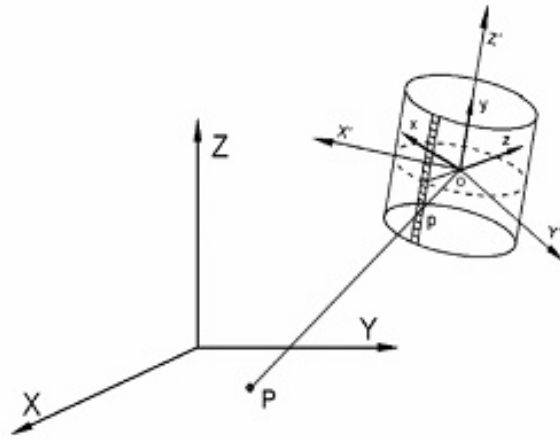
- Pksel koordinat sistemi (Pixel coordinate system)
- Çizgi dizi koordinat sistemi (Lineer array coordinate system)
- Döner tabla koordinat sistemi (Turntable coordinate system)
- Üç boyutlu obje koordinat sistemi (Object coordinate system)

Şekil 16'da Pksel koordinat sistemi, Şekil 17'de diğer koordinat sistemleri [çizgi dizi (0, y, z), döner tabla (X', Y', Z') ve obje koordinat (X, Y, Z) sistemleri] gösterilmektedir. Orijinal görüntü pksel koordinat sistemi içinde depolanır.





Şekil 16. Piksel koordinat sistemi (i,j).



Şekil 17. Çizgi dizi (0, y, z), döner tabla (X', Y', Z') ve obje koordinat (X, Y, Z) sistemleri.

• Çizgi dizi koordinat sistemi (Linear array coordinate system); döner tabla koordinat sistemi üzerinde oluşan düşey görüntü elemanlarının oluşturduğu çizgisel düşey koordinat sistemidir.

• Döner tabla koordinat sisteminin merkezi projeksiyon merkezi (O) ile çakışık. Dönme eksenini projeksiyon merkezinin içinden geçer ve Z' ile çakışık. X', dönmeye önce çizgi dizinin başlangıç pozisyonu boyunca geçer, görüntü içinde ilk sütunun doğrultusunu tanımlar. Y' sağ el koordinat sistemi tanımlayacak şekildedir. Sonuçta sütunları (m), satırları (n) içeren bir görüntü koordinat sistemi tanımlamak zorunludur. Bu tanımlanan sistem projeksiyon koordinat sisteminin parametrelerini oluşturur.

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = M_{\omega, \varphi, \kappa} \begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

(1) eşitliği obje koordinat sistemi ile döner tabla koordinat sistemi arasındaki, altı parametrelili üç boyutlu açı koruyan dönüşümü gösterir.

$(X_0, Y_0, Z_0)$  :Obje koordinat sistemi içerisinde döner tabla koordinat sisteminin orijininin konumu

$(X, Y, Z)$  :Obje koordinatları

$(X', Y', Z')$  :Döner tabla koordinat sistemi içerisinde obje koordinatları

$M_{\omega, \varphi, \kappa}$  :Rotasyon Matrisi

$\omega, \varphi, \kappa$  : Döner tabla koordinat sistemi  $(X', Y', Z')$  ile obje koordinat sistemi  $(X, Y, Z)$  arasındaki dönüklüklere.

$(\omega, \varphi, \chi, X_0, Y_0, Z_0)$  :Panoramik kameranın dış yönelme parametrelerini tanımlar.

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = R_z^t(\theta) \cdot \lambda \cdot T \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ y \\ -c \end{pmatrix} \quad (2)$$

(2) eşitliği çizgi dizi koordinat sistemi içerisinde bir resim koordinatının, döner tabla koordinat sistemi içerisinde ilgili bir obje koordinatı arasındaki ilişkiyi gösterir.

$$y = \left(i - \frac{N}{2}\right) p_y, \quad \theta = j \cdot p_x, \quad T = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Burada;

$p_x$  : dönertabla'nın açısal pixel boyutu,

$c$  : Kamera sabiti,

$p_y$  : çizgi dizi piksel boyutu,

$N$  : Çizgi dizi içerisinde piksellerin sırası,

$R_z$  :  $Z'$  eksenine etrafında üç boyutlu dönme matrisi,

$T$  : Çizgi dizi koordinat sisteminden dönertabla koordinat sistemine dönüşüm matrisi,

(i,j): Piksel koordinat sistemi içerisinde görüntü nokta koordinatları,

$\lambda$  : Ölçek faktörü,

(0,y,-c) : Çizgi dizi koordinat sistemi içerisinde görüntü noktaları koordinatlarıdır.

Sonuçta görüntü koordinatları (i,j) ile obje koordinatları (X, Y, Z) arasındaki ilişki (4) eşitliğindeki gibidir (Parian, 2005).

$$M_{o,p,k} \cdot \begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix} = R_z^t(\theta) \cdot \lambda \cdot \begin{pmatrix} c \\ 0 \\ y \end{pmatrix} \quad (4)$$

#### 4. SONUÇ

Bu yayında anlatılan küresel görüntüleme tekniklerinin kullanımı ve onların kapasiteleri her geçen gün artmaktadır. Şimdiye kadar katadioptik sistemler iç mekânın, şehir meydanlarının, kırsal alanların görüntülenmesi, turizm, reklam, görüntü tabanlı modelleme amaçlı kullanılmışlardır. Bununla beraber bu tekniklerden bazıları bilgisayar ve robotik görüntüleme içinde

navigasyon amaçlı uygulamalarda geniş gelişme sebebiyle kullanılmışlardır. Fakat hiçbirisi hassas ölçmelerde ve verimli üç boyutlu modelleme işlerinde kullanılmamışlardır. Son zamanlarda araştırma konusu olarak üzerinde en çok çalışılan küresel görüntü elde etme teknikleri balıkgözü merceklerin kullanımı, çok algılayıcı sistemler ve doğrudan tarama yöntemidir (Şahin, 2009).

Normal resim geometrisinin yeterli olmadığı çalışmalarda, özellikle uydu görüntülerinin ve hava fotoğraflarının kullanılmadığı durumlarda insansız hava araçlarını gerektiren özel çalışmalar için tek ve hızlı görüntü ile çalışmak önemlidir. Böyle durumlarda geniş görüş açısı ile görüntü alabilen balıkgözü görüntüler artık günümüzde hava fotogrametrisinde de kullanılmaktadır. Özellikle insansız hava araçlarının (UAV:Unmanned Aerial Vehicle) kullanılmasını gerektiren fotogrametrik çalışmalar için günümüzde bu teknikler kullanılabilir hale gelmiştir (Gurtner, 2008). Şekil 18'de Avustralya Queensland Teknik Üniversitesinde UAV platformu üzerinde optik sensor olarak balıkgözü merceklerin kullanımını inceleyen bir çalışmadan elde edilmiş balıkgözü mercek ve normal mercek görüntüsü gösterilmektedir.

Gelişmiş kamera kalibrasyonu doğru ölçmeler için ön koşuldur, normal kameraların kamera modeli panoramik kameralarla aynı değildir. Sayısal panoramik kameranın görüntü geometrisi merkezi perspektiften ayrılır. Çünkü görüntü verisi bir düzleme iz düşürülmeyip, silindirik yüzeye iz düşürülür. Bu yüzden, sayısal panoramik kameralar için bir geometrik model geliştirmek zorunludur. Küresel fotogrametri, klasik fotogrametri ile kıyaslandığında en temel farklılık budur. Günümüzde fotogrametristler, daha doğru şekilde objelerin yeniden inşası ve üç boyutlu ölçmeler için sayısal panoramik görüntü aygıtlarının geometrik modeli ve kalibrasyonu üzerinde çalışmaktadırlar.

Söz konusu panoramik görüntü elde etme teknikleri küresel görüntüyü elde etmek ve işlemek için gereken maliyet, iş ve zaman yönünden kıyaslanırsa en ucuz sistemin birleştirme tekniği olduğu görülmektedir. Çünkü birbiri ile belli oranlarda çakışan birkaç fotoğraf çekilip bunlar bir panorama oluşturmak amacıyla bir araya getirilirler. Fotoğraf birleştirerek panorama oluşturma tekniği için birçok gelişmiş yazılım bulunmaktadır. Maliyet yönünden en pahalı olan sistemler iş yükünün en az olduğu doğrudan tarama yapan sistemler ile çok algılayıcı sistemidir.



a. Balıkgözü mercek görüntüsü.



b. Normal mercek görüntüsü.

Şekil 18. Hava fotogrametrisinde kullanılan balıkgözü ve normal mercek görüntüleri.

Sonuç olarak; panoramik kameraların avantajı iç mekanın ya da şehir meydanları gibi büyük alanların birkaç resim ya da tek resim ile, yüksek çözünürlükte fakat göreceli olarak düşük fiyat ile kaydedilebilmesi olanağıdır. Bu tarz mekanların üç boyutlu yüksek çözünürlüklü modellerini oluşturabilmek, yapı cepheleri gibi mimari fotogrametrisinin gereksinimi olan yüksek çözünürlüklü ortofotoları üretebilmek ve diğer mimari fotogrametrik görevler için panoramik kameralar bir fotogrametrik sistem olarak kullanılabilirler.

#### KAYNAKLAR

- Abraham, S., Förstner, W., 2005, **Fish-eye-stereo calibration and epipolar rectification**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 59 (2005) 278-288.
- Baştanlar, Y., 2005, **Parameter extraction and image enhancement for catadioptric omnidirectional cameras**. Yüksek Lisans Tezi, O.D.T.Ü. Enformatik Enstitüsü, Ankara.
- Baştanlar, Y., Yardımcı, Y., 2005, **Hiperbolik Aynalı Katadioptrik Tüm Yönlü Kameralar için Parametre Çıkarımı**, IEEE Xplore, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=01567669> (2009.04.20).
- Gurtner, A., 2008, **Investigation of Fisheye Lenses for Small UAV Aerial Photography**. Yüksek Lisans Tezi, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia.
- Kwiatek, K., 2005, **Generation of a virtual tour in the 3D space applying panoramas, exercised on the sites of Dresden and Cracow**. Lisans Tezi, AGH University of Science and Technology, Dresden.
- Parian, J. A., 2007, **Sensor Modeling, Calibration and Point positioning with Terrestrial panoramic Cameras**. Doctora Tezi, E.T.H. Zurich, Switzerland.
- Parian, J. A., 2006, **Panoramic Imaging: Techniques, Sensor Modeling and Applications**, International Summer School "Digital Recording and 3D Modelling", Crete, Yunanistan, 24-29 Nisan 2006.
- Schneider, D., Schwalbe, E., Mass, H. G., 2009, **Validation of Geometric models for fisheye lenses**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Article in Press
- Şahin, C., 2009, **Yakın Resim Alanında Fotogrametri ve Lazer Tarama Yöntemlerinin Optimizasyonu ve Bütünleştirilmesi**, Doktora Tezi Ara Raporu, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.