



Fotogrametrinin Temelleri

Prof. Dr. Naci YASTIKLI

İstanbul 2023



İçerik

- Fotogrametrinin Tanımı, İşlevi, Kapsamı, Fotogrametrinin Sınıflandırılması, Kısa Tarihçe
- Fotogrametrinin Temelleri, Matematik Temeller, Geometrik Bağlantılar, Paralel ve Merkezsel İzdüşüm
- Analitik Bağlantılar, Projektif şekiller arasındaki analitik bağlantılar, Koordinat sistemleri
- Fotoğraf Eğiklikleri ve Dönüklüğü, İç ve Dış Yöneltilme elemanları, Diğer Kavramlar
- Merkezsel İzdüşüm Denklemleri
- Dönüşümler: 3B Dönüşümler, Fotogrametride Kullanılan Benzerlik, Ortogonal, Afin
- Projektif Dönüşüm
- Optik Temeller, Basit Mercekler, Mercek hataları, Objektifler



İçerik

- Objektiflerin özellikleri, Objektiflerin Fotoğraf Kalitesine İlişkin Ölçütler, Fotogrametrik Kameralar ve Kalibrasyonu
- Fotogrametrik Temeller, Tanım, Fotoğraf Malzemesi, Fotoğraf Banyo ve İşlemleri, Fotoğrafik Emülsiyonun Özellikleri
- Fotoğraf Alımı, Filtreler, Kızılötesi ve Renkli Alımlar, Diyaframlar
- Fotoğraf Eğiklikleri ve Dönüklüğü, İç ve Dış Yöneltilme elemanları, Diğer Kavramlar
- Göz ve Monoskopik Görüş, stereoskopik Görüş, geometrik İncelenmesi, Stereoskop, Doğal Derinlik Algılaması
- Stereoskopik Görme Yöntemleri, stereoskopik Ölçme, Ölçü Markası, İlkesi, Stereometre



Kaynaklar

- Ahmet Yaşayan, Fotogrametri I Ders Notları, 1996
- The Manuals of Photogrammetry, Fifth Edition (Ed. Cheris McGlone) 2004, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, ISBN 1-57083-071-1
- Digital Photogrammetry, Volume I, Toni Schenk, 1999, TerrScience, ISBN 0-9677653-0-7
- Karl Kraus, 1993. Photogrammetry, Volume I: Fundamentals and Standard Processes. Dümmler, Bonn.
- Karl Kraus, 1997. Photogrammetry, Volume II: Advanced Methods and Applications. Dümmler, Bonn.



Değerlendirme

BAŞARI DEĞERLENDİRME SİSTEMİ					
Teorik Dersler			Proje Dersi ve Bitirme Çalışması		
	Adedi	Ağırlığı (%)		Adedi	Ağırlığı (%)
Dönem İçi Sınavlar	2	60	Dönem İçi Sınavlar		
Kısa Sınavlar			Dönem İçi Kontroller		
Ödevler			Ara Teslim		
Dönem Ödevi (proje, rapor, vb.)			Sözlü Sınav		
Laboratuvar			Final Sınavı	1	40
Diğer					



Fotogrametrinin Tanımı

- Eski Yunanca'dan batı dillerine giren **fotogrametri** sözcüğü üç kök sözcükten oluşmuştur
 - Işık anlamına gelen **photos**,
 - çizim yada çizme anlamındaki **gramma**
 - ve ölçme anlamındaki **metron**
- Buna göre **fotogrametri** "*ışık yardımı ile çizerek ölçme*" anlamına gelmektedir
- Fotogrametri tekniği yada yöntemi ile, ölçülmek istenen nesnelerin ve yakın çevresinin yada yeryüzü parçasının fotoğrafları çekilir



Fotogrametrinin Tanımı

- Bunların fotoğraf yada sayısal olarak kaydedilen görüntü üzerindeki konumları ölçülür
- Gerekli hesaplamalar, işlem adımları sonrasında istenilen bilgiler sağlanabilir, yada özel aletler, bilgisayar ve ek donanımlar kullanılarak bu fotoğrafik görüntüler ile harita ve planlar çizilebilir
- Bu açıklamalara göre **fotogrametri**, *"fotoğraflar yardımı ile güvenilir bilgiler elde etme bilimi, ya da sanatıdır"*
- Buradaki bilgi sözcüğü daha çok metrik bilgileri ifade etmektedir



Fotogrametrinin Tanımı

- Fotoğraflar, metrik bilgilerden başka nesnelerin ve yakın çevresinin, yer yüzeyinin, yapısal özellikleri, yüzey bitki örtüsü gibi bilgileri sağlar
- Ancak bu bilgiler fotoğrafik dokunun yorumlanması ile elde edilebilir
- Fotoğrafik dokunun yorumlanması ile elde edilen bu bilgiler, metrik bilgiler kadar önemlidir
- Jeologların, tarım ve ormancıların sık sık başvurdukları ve **foto yorumlama** adı verilen bu teknik de fotogrametri kapsamı içindedir



Fotogrametrinin Tanımı

- Aslında, metrik bilgiler elde etme, harita yapımı çalışmaları foto yorumlamayı içermektedir
- Benzer şekilde foto yorumlama da ilgili nesnelerin konumlarının bulunması ve haritada gösterilmesidir
- Kısaca, tüm fotogrametri çalışmalarında, hem konum belirleme hem de yorum yapma gereği vardır



Fotogrametrinin Tanımı

- Nesnelerin ve yer yüzeyinin görüntülerinin fotoğrafik olarak kaydedilmesi dışında başka kayıt yada algılama sistemleri de söz konusu olabilir. Fotoğrafik kayıt sistemi kamera + duyarkattan oluşur
- Bu sistem görünür ışık bölgesinde çalışır
- Başka bir deyişle fotoğrafik sistem elektromagnetik spektrumun görünür ışık bölgesine ve yakın çevresine duyarlı bir algılama sistemidir
- Çok bantlı tarayıcılar ve mikrodalga sistemler ile de görüntüler kaydedilmektedir



Fotogrametrinin Tanımı

- *"Fotogrametri, fotoğrafik görüntüleri, elektromagnetik enerji ışınım paketlerini ve diğer fiziksel fenomenleri, kayıt, ölçme ve yorumlama suretiyle nesneler ve yakın çevreleri hakkında güvenilir bilgiler elde etme sanatı bilimi ve teknolojisidir."* (Slama,1980)
- Bu tanım Uzaktan Algılama teriminin ifade ettiği kavramı da büsbütün içerir
- Bu nedenle Fotogrametri ve uzaktan Algılama terimleri birlikte anılmaktadır, Söz gelimi 1910 yılında kurulan Uluslararası Fotogrametri Birliği'nin adı 1980 yılında Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği olarak değiştirilmiştir.

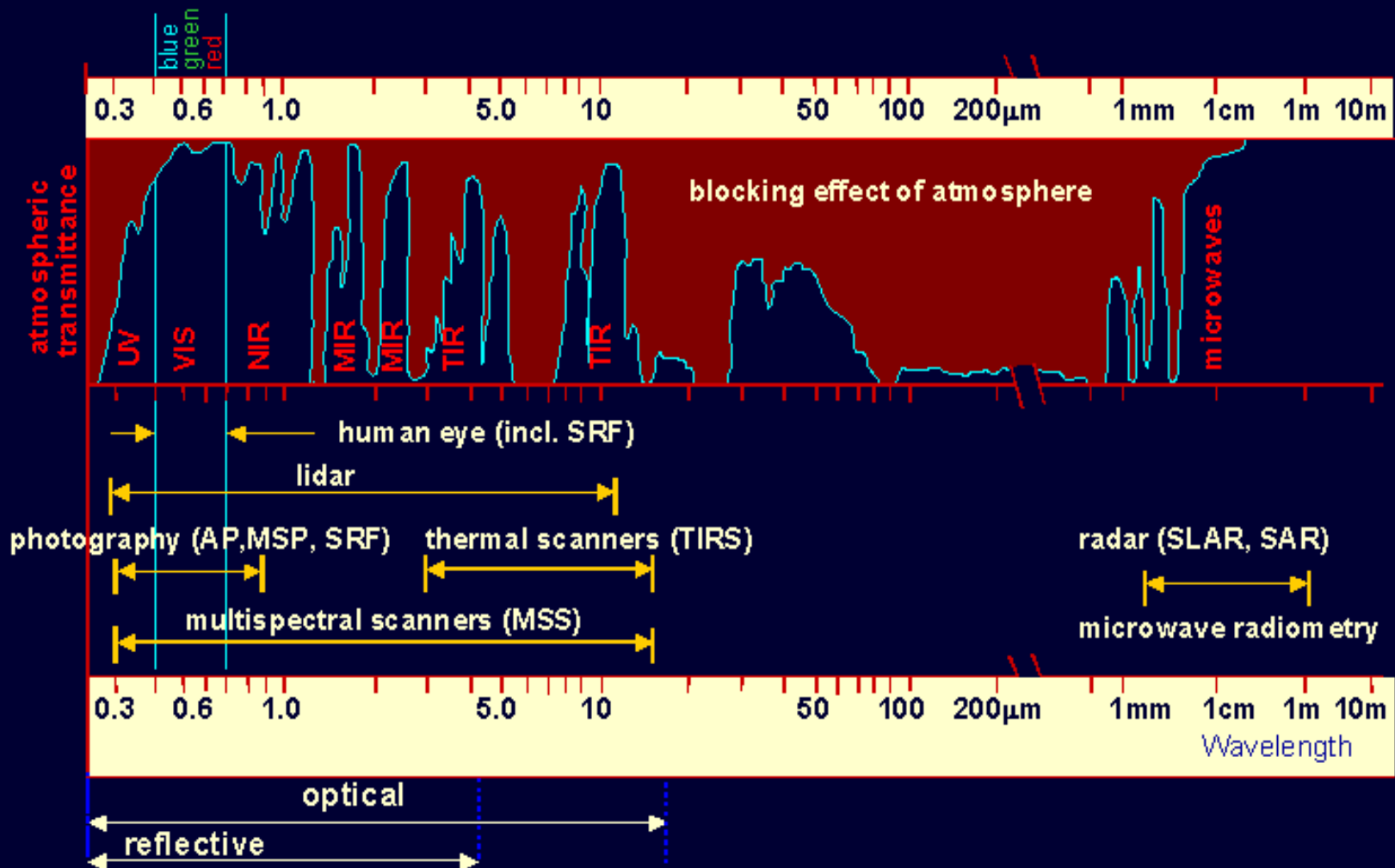


Fotogrametrinin Tanımı

- Fotogrametri açısından, elektromagnetik spektrum iki aralığa ayrılabilir
- Birinci aralık **optik bölge** olarak da adlandırılan dalga boyu 0.3-3.0 mikrometre olan bölgedir
- İkinci aralık 1 mm-0.5 m arasındaki **mikrodalga bölgedir**
- Optik bölgedeki algılayıcılar **pasif algılayıcı**lardır, ve yansıyan güneş ışınları yada termal enerjinin kaydı ile görüntü elde edilir
- Bu sistemlerde, fotogrametrik ölçme yöntemi "*perspektif geometri*" ilkelerinden yararlanır
- Mikrodalga algılama sistemleri **aktif algılayıcı**lardır. Bu sistemlerde algılayıcıdan gönderilen elektromagnetik enerjinin gidiş dönüş süresi ölçülerek nesneye olan uzaklık bulunur. Optik bölgede lazer ışınları ile çalışan **lazer tarayıcı** da benzer şekilde uzaklık ölçer.

Fotogrametrinin Tanımı

Elektromanyetik spektrum, ışık hızı ile hareket eden dalga boyu nanometrelerden kilometrelere kadar uzanan sürekli enerji ortamıdır.





Fotogrametrinin İşlevi

- Dolaylı bir ölçme ve veri derleme yönteminin doğrudan ölçme ve veri derleme yöntemine göre üstünlükleri şu sıralanabilir:
 - Doğrudan nesneler üzerinde ölçüler yapmak, veri toplamak yerine fotoğraflar üzerinde çalışmak daha kolay, hızlı sonuç olarak daha ekonomik olabilir
 - Doğrudan ölçme yöntemi ile ölçülmesi güç olan nesnelerin fotoğraflar yardımıyla ölçülmesi daha kolay olabilir
 - Hareketli nesnelerin ölçülmesinde olduğu gibi, doğrudan ölçülmesi olanaksız nesnelerin ölçülmesi sağlanabilir
 - Ölçüm ve veri toplama işlemleri hareket halindeki bir araçtan da yapılabilir



Fotogrametrinin İşlevi

- Dünyanın çeşitli ülkelerinde ve Türkiye’de, büyük ve orta ölçekli haritaların üretiminde hava fotogrametrisi yöntemi egemendir
- 1/5000, 1/10000, 1/25000 ölçekli dizi haritalar, büyük ölçekli kent haritaları ve diğer farklı kullanım amaçlı haritalar hep fotogrametri yöntemi ile üretilmektedir
- Ülkemizde de 1/25000 ölçekli haritalar, 1960’lı yılların başlarında yaklaşık 20 yılda tamamlanmıştır
- Bu haritaların 15-20 yıl aralıklı zaman periyotlarında güncelleştirilmesi yapılmaktadır



Fotogrametrinin İşlevi

- Toplam 5500 pafta dolayında olan bu haritaların yersel ölçme yöntemleri ile başka bir ifade ile doğrudan ölçme yöntemi ile yapılması, güncelleştirilmesi ve çalışmaların kısa bir süre içinde tamamlanması olanaklı değildir
- Türkiye’de 1/5000 ölçekli Standart Topoğrafik ve Kadastral Haritalar da fotogrametri yöntemi ile üretilmektedir
- 1/1000 ölçekli kent haritalarının yapımında da fotogrametri yöntemi 1988 yılından beri başarı ile uygulanmaktadır



Fotogrametrinin İşlevi

- Hava fotogrametrisi yöntemi ile harita üretimi, arazi çalışmalarını azaltmaktadır
- Arazi çalışmaları daha güç ve zaman alan çalışmalarıdır
- Ayrıca hava koşullarına ve gün ışığına bağımlıdır
- Büro çalışmaları, daha kolay ve hızlı olabilmektedir
- İstenildiği zaman 24 saat hava koşullarına ve gün ışığına bağımlı olmaksızın çalışılabilir
- Fotogrametrinin gelişmesine neden olan temel düşünce de *"Pahalı olan arazi çalışmalarını olabildiğince ucuz olan büro çalışmalarına dönüştürmektir"*



Fotogrametrinin İşlevi

- Bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler, özellikle son 20 yıldır, harita üretim sistemleri ve harita kullanıcılarına önemli kolaylıklar sağlayan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Arazi Bilgi Sistemleri (ABS), Mekansal Bilgi Sistemi (MBS) ve Kent Bilgi Sistemi (KBS) gibi çeşitli isimlerle tanımlanan sistemler sunmaktadır
- Bu sistemler, harita bilgilerinin bir arada bulunduğu, kolayca kullanılabilirdiği, güncellendiği, görselleştirildiği ve veri tabanları ile ilişkilendirildiği sistemlerdir
- Bu sistemler özellikle kent yönetimi, planlama çalışmalarında kullanılmaktadır



Fotogrametrinin İşlevi

- Bu sistemler kullanılarak, planlanan araziye ilişkin kararlar desteklenebilmekte, sorgulama olanakları yardımıyla istenilen bilgilere kolayca ulaşılabilmekte, ilgili planlama ve tasarım çalışmalarının bilgisayar ortamında etkileşimli olarak yapılabilmekte, planlanan ve gerçekleşen proje sonuçları izlenebilmekte ve gerekli karşılaştırmalar yapılabilmektedir
- Bu bilgi sistemlerinin oluşturulabilmesi ve sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için öncelikle güvenilir ve güncel haritalara ihtiyaç vardır ve doğal olarak bu haritaların sayısal olması gerekir
- Fotogrametri bu bilgi sistemleri için sayısal harita üretiminde belli başlı bir seçenektir



Fotogrametrinin Diğer Uygulama Alanları

- Haritacılık işlevi dışında fotogrametri diğer mühendislik çalışmalarında yıllardır başarı ile kullanılmaktadır
- Fotogrametri, pek çok mühendislik dalı ve mimarlıkta ölçme yöntemi olarak kullanılmaktadır
- Son yıllarda geliştirilen yeni yöntemler ve sistemler fotogrametrik ölçme yönteminin yaygınlaşmasına neden olmuştur



Fotogrametrinin Diğer Uygulama Alanları

- Üç Boyutlu Modelleme ve Sanal Gerçeklik
 - Tarihi ve kültürel bir yapının yapı grubunun, bir anıtın, bir fabrikanın, herhangi bir yapı ve çevresinin kısaca bir sahnenin bilgisayarda üç boyutlu modeli oluşturulabilir
 - Fotogrametri yöntemi ve lazer tarayıcılar ile kaydedilen görüntüler obje yüzeyine giydirilerek gerçeğe uygun hassas bir üç boyutlu model elde edilebilir ve bu şekilde bir kentin tamamı modellenenebilir



Fotogrametrinin Diğer Uygulama Alanları

■ Mobil Ölçme ve Harita Yapımı

- Mobil bir ölçme ve harita yapım sistemi bir platforma yerleştirilen navigasyon sistemi ve görüntü kaydeden algılama sisteminden oluşur
- Hareketli platform bir kara, deniz yada hava aracı olabilir
- Platforma görüntü kaydeden algılama sisteminin konumu ve yöneltme elemanlarını sağlayan GPS alıcısı, ve İnersiyal Navigasyon Sistemi (İNS) bulunur



Fotogrametrinin Diğer Uygulama Alanları

- Endüstri ve Mühendislik Ölçmeleri
 - Küçük, büyük pek çok endüstriyel üretimin tasarım ve üretim aşamasında ürünün üç boyutlu biçimi ve özellikle yüzey üzerinde çok ince ölçmeler yapma gereği vardır
 - Bu ölçmeler nesne üzerinde çok fazla sayıda ve hızlı bir biçimde yapılmalıdır
 - Bu tür ölçmeler son 20 yıldır fotogrametri yöntemi ile ve son 10 yıldır sayısal kameralar ile yapılmaktadır



Fotogrametrinin Diğer Uygulama Alanları

- Karmaşık Endüstriyel Yapıların Modellenmesi
 - Büyük ve yapıların tasarımları ile yapının kendisi arasında bazı farklılıklar olabilir
 - Bunların ayrıntılı ölçümleri bazen çok güç yada imkansız olabilir
 - Bu yapılara örnek olarak nükleer enerji santralleri ve denizlerde petrol çıkarmak için inşa edilen petrol platformları gösterilebilir
 - Bu tür yapıların fotogrametri yöntemi ile yapım sonrası mekansal durumları ayrıntılı bir biçimde üç boyutlu modellenenebilir



Fotogrametrinin Diğer Uygulama Alanları

- Mimarlık ve Arkeoloji Uygulamaları
 - Tarihsel ve kültürel değeri olan yapıların, anıtların korunması, restorasyonu ve belgelenmesi çalışmalarında fotogrametri yıllardır başarı ile uygulanmaktadır
 - Bugün sayısal kameralar ve lazer tarayıcılar ile bu nesnelerin gerçeğe uygun bir biçimde ve gerçek yüzey dokuları da eklenerek üç boyutlu olarak modellenmektedir
 - Ayrıca arkeolojik bulguların, kazı alanlarının eski yerleşim yerlerinin de üç boyutlu modellenmesi yapılmaktadır



Fotogrametrinin Diğer Uygulama Alanları

- Yasal Sorunların İncelenmesine İlişkin Uygulamalar
 - Yasal sorunların çözümlenmesinde kimi durumlarda fotoğraflardan yararlanılır
 - Sorun ölümle yada yaralanma ile sonuçlanan bir saldırı yada bir trafik kazası gibi adli bir olay olabileceği gibi bir arazi kullanımı yada mülkiyet hakkına ilişkin olabilir
 - Kullanılan fotoğraflar, Fotogrametrik kamera ile çekilmiş yada çekilecek fotoğraflar olabileceği gibi herhangi bir kamera ile yada video kamera ile çekilmiş fotoğraflar olabilir



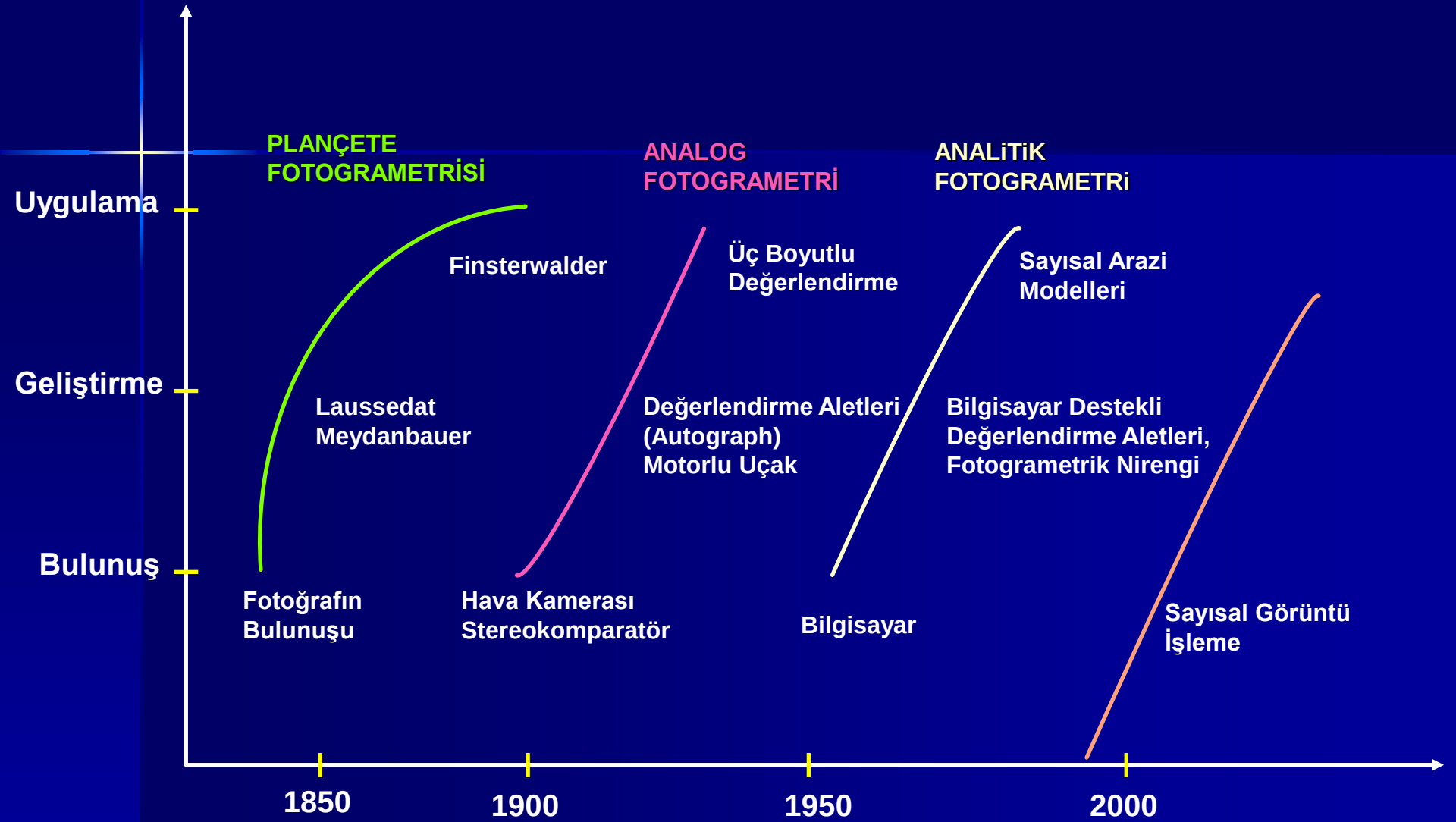
Fotogrametrinin Diğer Uygulama Alanları

- Yerötesi Fotogrametri Uygulamaları
 - Yerötesi Fotogrametri terimi ile dünyadan başka diğer gezegenlerde uygulanan fotogrametri yöntemi tanımlanmak istenmektedir
 - Bu yöntem ile daha çok gezegenlerin yüzey Topoğrafik Haritaları yapılmaktadır
 - Bu haritalar daha sonra yapılan araştırmalarda kullanılacağı gibi bu gezegene gönderilen yapay uyduların iniş noktalarının belirlenmesinde de kullanılabilmektedir
 - Fotogrametrik yöntemle yalnız Ay yüzeyinin ve Mars gezegeni yüzeyinin topoğrafik haritaları yapılabilmektedir



Fotogrametrinin Tarihçesi

- Fotogrametrinin tarihçesi, beş bölüme ayrılarak aşağıda özetlenmiştir:
 - 1) Fotoğraftan önceki dönem
 - 2) İlk gelişmeler dönemi
 - 3) Analog fotogrametri dönemi
 - 4) Analitik Fotogrametri dönemi
 - 5) Sayısal fotogrametri dönemi





Fotogrametrinin Tarihçesi

Fotoğraftan önceki dönem

- Leonardo Da VINCI (1452-1519): Büyük İtalyan dehası, bilgin, mühendis ve sanatçısı. Geometri, optik mekanik ve jeofizik alanında çalışmalar yapmış düşünceler geliştirmiştir. Optik izdüşüm düşüncesini de 1492'de geliştirmiştir. Ayrıca merceklerin traşlanması mekanizmalarını bulmuştur
- Albrecht DÜRER (1471-1528): Grafik sanatlar ve resim ustası. Perspeftif kurallarını geliştirdi. 1525'te perspektif izdüşüm veren bir mekanizma yaptı. Bu cihaz ile stereoskopik çizimde yapılabilirdi
- Johanes KEPLER (1571-1630): Astronom. 1600'lü yıllarda stereoskopinin tam ve ayrıntılı bir tanımı yapmıştır. Aynı tarihlerde İtalyan ressam Jacobo CHIMENTI, belki de ilk kez, elle bir stereo resim çifti çizmiştir



Fotogrametrinin Tarihçesi

Fotoğraftan önceki dönem

- F. KAPPELLER: İsviçre'li fizikçi. 1726'da ilk kez, stereoskopik çizim kavramını ölçme bilgisine uyguladı. Yüksek noktalardan çekilen perspektif görüntülerden "lu cerne" gölünün topoğrafik haritasını yaptı
- Henry LAMBERT (1728-1777): Matematikçi. 1759'da "Serbest Perspektif" adlı bir kitap yayınladı. Bu kitapta, ters merceksel izdüşüm kavramından ve karşılıklı ışınlarla geriden kestirme kavramlarından söz etmektedir. 100 yıl sonra bu konular, Fotogrametri adı verilecek bir yöntemin geometrik temellerini oluşturmuştur
- SCHULTZE: Kimyager. 1759'da gümüş nitratin güneş ışınları ile karardığını farketmiştir. Çağdaşı kimyacılarla birlikte, Almanya, Fransa ve İngiltere'de sürekli kalıcı bir görüntü elde edilmesi üzerine çalışmalar yaptı



Fotogrametrinin Tarihçesi

Fotoğraftan önceki dönem

- Guido SCHEREIBER: 1829'da ileride topğrafyanın kuşbakışı havadan görüntülenebileceğini düşünerek teorik çalışmalar yaptı, formüller çıkardı. Bu çalışmalarını "Hava topoğrafyasında formüller ve işlem, kamera noktasının belirlenmesi" adı ile yayınlamıştır

İlk gelişmeler dönemi

- Almanya, Fransa ve İngiltere' de, sürekli kalıcı bir görüntü elde etme çalışmaları büyük bir gizlilik ve yarışma halinde sürmüştür, Fox TALBOT (1800-1877), İngiltere' de, kağıt üzerinde negatif bir görüntü elde etmiştir
- Fransa'da ARAGO ve NIEPCE "heliographic process" adını verdikleri buluşlarını duyurmuşlardır. Bunların çalışmalarına dayanarak, ressam ve fizikçi Louis DAGUERRE 1837' de Fransız Bilim ve Sanat Akademisi' ne sunduğu bir metal plakalar üzerine pozitif görüntü elde ettiğini duyurmuştur.



Fotogrametrinin Tarihçesi

İlk gelişmeler dönemi

- NADAR lakabıyla bilinen, karikatürist, fotoğrafçı ve günün modasına uygun balon sporcusu TOURNACHON, 1858’ de ilk olarak havadan fotoğraf çekilmiştir. Ertesi yıl, III. Napolyon kendisinden Kuzey İtalya’ daki Solferino kentinin fotoğraflarını çekmesini istemiştir
- Fransa’ da Harita Albayı Aime LAUSSEDAT, önce uçurtma ile fotoğraf çekmeyi denedi. Daha sonra fotoğrafik ölçmeler için alet geliştirdi. 1859-1864 yılları arasında çatılardan çektiği fotoğraflarla Paris’in çeşitli bölgelerinin haritalarını yaptı ve bu haritaları mevcut haritalarla karşılaştırdı. Bu bilgin Avrupa Literatüründe FOTOGRAMETRİNİN BABASI olarak bilinir
- Viyana Üniversitesi’nden Eduard DOLEZAL (1862-1955), 1907’de Avusturya Fotogrametri Derneği’ni 1909’ da da Uluslararası Fotogrametri Birliği’ ni kurdu ve her ikisinin de ilk başkanı oldu



Fotogrametrinin Tarihçesi

İlk gelişmeler dönemi

- Theodor SCHEIMPFLUG (1865-1911): "Uçurtma ve balon fotoğraflarının stereo yöneltilmesi için optik mekanik çakıştırma" adlı bir yayın yaptı. Daha sonra optic izdüşümlü stereo değerlendirme aletlerinin ilkelerini geliştirdi. Kendi adı ile anılan koşulu gerçekleştiren mekanik dönüştürücüler geliştirdi
- E. von OREL (1877-1941) Yersel fotogrametrinin normal alımını mekanik olarak değerlendirecek bir alet geliştirdi. Stereautograph adı verilen bu alet, harita yapım aletlerindeki ilk otomasyon aleti olarak kabul edilen edilmektedir
- Ernst ABBE (1840-1905): Zeiss fabrikalarının kurucularından biridir. Optik ve mercekler üzerine çalışmıştır
- F. STOLZE: 1892' de üç boyutlu ölçü markasının ilkelerini geliştirdi



Fotogrametrinin Tarihçesi

İlk gelişmeler dönemi

- C. PULFRICH (1858-1927): Ölçü markası düşüncesini pratik olarak hayata geçirdi. Von OREL' in ilk prototipine dayanarak C. Zeiss fabrikalarında Zeiss-Pulfrich stereo komparatorunu yaptı. Zeiss paralelkenarını buldu
- Sebastian FINSTERWALDER (1862-1951): Coğrafya profesörü ve matematikçi. Alp buzulları üzerine çalıştı. Bu amaçla 1888'de hafif bir foto-teodolit geliştirdi. 1903' de analitik fotogrametri üzerinde çalıştı ve yayınlar yaptı
- F. Vivian THOMPSON (1880-1917): 1908' de yersel fotoğrafları değerlendiren bir alet geliştirdi. Bu alete "stereo-planigraph" adını vermişti
- FOTOGRAMETRİ adı, ilk kez 1855' te Coğrafyacı KERSTEN tarafından kullanıldı. Bu terim MEYDENBAUER tarafından uluslararası literature kazandırıldı. İlk başvuru kitabı 1899' da KOPPE tarafından Almanca yayınlandı



Fotogrametrinin Tarihçesi

İlk gelişmeler dönemi

- İlk fotoğrafik plançete aleti 1858' de CHEVALLIER tarafından, ilk fototeodolit aleti 1884' te PAGANINI ve daha sonra 1888' de KOPPE ve THIELE tarafından, ilk stereo değerlendirme aleti de, 1908' de Von OREL tarafından yapıldı
- Analaglif yöntemle stereo görüş ilk kez 1851' de D' ALMEIDA, polarizasyon yöntemi ilk kez 1891' de, stereoskopik ölçme ilkesi de, 1901' de C. PULFRICH tarafından bulundu



Fotogrametrinin Tarihçesi

Analog fotogrametri dönemi

- Fotogrametrinin ilk gelişmeler dönemi olarak verilen gelişmeler, yersel fotogrametri yöntemi ile sınırlıdır
- Her ne kadar havadan fotoğraf çekme düşüncesi varsa da, bunun gerçekleştirilmesi Birinci Dünya Savaşı sırasında mümkün olmuştur
- 20. yüzyılın hemen hemen sonuna kadar süren bu dönem Klasik Fotogrametri dönemi olarak da adlandırılır
- Birinci Dünya Savaşı sırasında uçakta taşınan ve elle yönetilen kameralar geliştirilmiştir
- 1915' te Almanya' da MEISTER otomatik bir film kamerası geliştirmiştir
- Bilinen ilk hava fotoğrafları 1909'da çekilmiş İtalya'nın Centocelli kentinin fotoğraflarıdır



Fotogrametrinin Tarihçesi

Analog fotogrametri dönemi

- 1911'de Ruslar, İstanbul Boğazı'nın hava fotoğraflarını çekmişlerdir
- 1915' te de "The Survey of Egypt" firması hava fotoğraflarından Gelibolu yarımadasının haritalarını yapmıştır
- Reinhard HUGERSHOFF (1882-1941): İlk universal değerlendirme aleti olan Autocartograph' ı 1921'de geliştirdi
- 1926'da yine bir universal alet ancak daha derli toplu ve hafif bir alet olan Aerocartograoh' ı, Uluslararası Fotogrametri Birliği Kongresi'nde sergiledi
- W. BAUERSFELD (1879-1959): Zeiss fabrikalarında optic izdüşümlü stereoplanigraph aletini yaptı



Fotogrametrinin Tarihçesi

Analog fotogrametri dönemi

- Heinrich WILD (1877-1951): İsviçreli mühendis, kaşif ve Wild fabrikalarının kurucusu. Geliştirmiş olduğu mekanik izdüşümlü Autograph aletini 1926' da sunmuştur
- Diğer ülkelerde de, örneğin İtalya' da Umberto NISTRI (1895-1962) ve Ermenegildo SANTONI (1896-1970), Fransa'da George POIVILLIER (1892-1967) ve R. FERBER 1930' lu yıllarda değişik çözümümlü stereo değerlendirme aletleri geliştirmişlerdir
- ABD' de de 1930'lu yıllarda, multiplex aletleri ile fotogrametrik nirengi uygulanarak, tüm Tennessee havzasının fotogrametrik haritaları yapılmıştır
- Fotogrametriye ilginin yüksek olduğu bu dönemde, 1934' te, Amerikan Fotogrametri Dernegi (ASP) kurulmuştur



Fotogrametrinin Tarihçesi

Analog fotogrametri dönemi

- İkinci Dünya Savaşı ile birlikte Fotogrametri, daha çok askeri savunma ve saldırı isteklerine uygun gelişmelere sahne olmuştur
- Savaş sonrasında başbakanlık da yapmış olan fotogrametri uzmanı Willem SCHERMERHORN, 1950' de Hollanda' nın Delf kentinde ITC kısa adıyla biline Uluslararası Fotogrametri Enstitüsü' nü kurmuştur

Analitik fotogrametri dönemi

- Analitik Fotogrametri' nin başlangıcı 1950' li yıllarda elektronik hesaplayıcıların gelişmesine dayandırılabilceği gibi analitik aletlerin yapımından çok önce gerekli matematik ve teorik temeller üzerine çalışmalar nedeniyle daha eski tarihlere de götürülebilir
- 20. yüzyıl başlarında Sebastian FINSTERWALDER, tek ve çift noktalı uzay geriden kestirme, karşılıklı ve mutlak yöneltme formüllerini çıkarmıştır



Fotogrametrinin Tarihçesi

Analitik fotogrametri dönemi

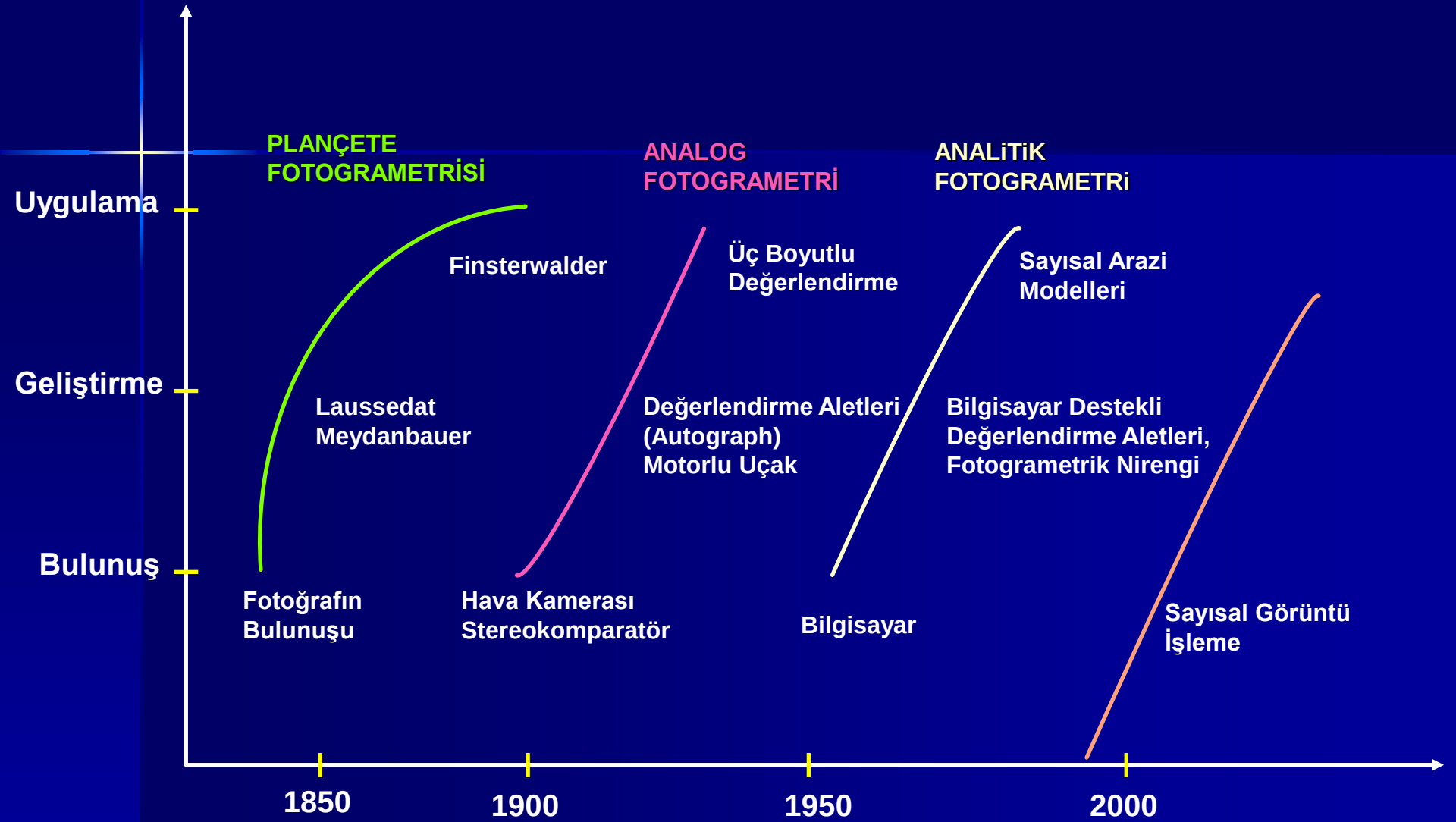
- Aynı tarihlerde, Almanya'da Jena'daki Zeiss fabrikalarında Carl PULFRICH, fotoğraf koordinatlarını yüzde bir mm duyarlığında ölçebilen bir stereo comparator yaptı
- Otto von GRUBER, 1932'de Fotogrametri derslerinde izdüşüm denklemleri ve bunların türevlerini veriyordu
- 1930'larda, ABD'de de Earl CHURCH uzay geriden kestirme, yöneltme ve rödresman probleminin analitik yöntemle çözümü üzerine çalışmalar yaptı
- İngiltere'de 1947 yılında analitik radyal nirengi yöntemi uygulanmıştır
- H. SCHMID, ABD'de Balistik Ölçmeler Laboratuvarı'nda En Küçük Kareler ilkesini uygulayarak, ilk kez Işın Desteleri yöntemine göre Blok Dengeleme problemini çözmüştür



Fotogrametrinin Tarihçesi

Analitik fotogrametri dönemi

- Kanada' da, 1950'li yıllarda G. H. SCHUT, kolon dengelemesi yöntemini 1960' lı yıllarda Hollanda' da, F. ACKERMANN Bağımsız Model yöntemini geliştirmiştir ve uygulamıştır
- Analitik Fotogrametri için uygun yöntem H. SCHMID' in geliştirdiği Işın Desteleri Yöntemidir. D. BROWN ise bu yöntemi daha da geliştirmiş ve NASA'nın Apollo projesinde, harita yapım projesi içinde fotogrametrik nirengi işinde kullanılmıştır
- U. V. HELEVA, Kanada' da bir analitik stereo değerlendirme aleti geliştirmiştir. Bu alet bir stereo komparatorun bilgisayar ile birlikte kullanılması ile oluşturulmuştur
- 1960' lı yıllarda yapay uygular döneminde bilgi toplama amacıyla algılayıcı sistemler geliştirilmiştir. NASA' nın ay yüzeyinin haritalarının yapımında (Apollo 15,16,17) metric kameralarla çekilen fotoğraflar kullanılarak ve lazer altimetre ile elde edilen yükseklik bilgileri kullanılarak fotogrametrik nirengi uygulanmıştır





Fotogrametrinin Tarihçesi

Türkiye' deki fotogrametri çalışmaları

- Fotogrametri alanında eğitim görmek üzere, 1926 yılında Harita Genel Müdürü Şevki Paşa zamanında iki harita subayı yurt dışına gönderilmiştir
- 1927 yılında Almanya' dan bir uzman getirilmiş, Zeiss fabrikasından satın alınan bir stereo autograph, bir rödresman ve bir stereo komparator aleti ile ilk çalışmalar yapılmıştır
- Almanya' ya eğitim için gönderilen iki subay, 1928' de yurda dönmüşler ve 1/25000 ölçekli Ankara – Kayaş paftasını çizmişlerdir
- 1929 yılında bir adet F 13 Junkers uçağı, 1 adet 21/18' lik Zeiss kamera ve $f=165$ mm' lik bir el kamerası satın alınmıştır. Aynı yıl hava fotogrametrisi yöntemi ile Bonn projeksiyonundaki Bergama-Çandarlı paftası çizilmiştir



Fotogrametrinin Tarihçesi

Türkiye' deki fotogrametri çalışmaları

- 1931 yılı sonuna kadar 3817 km² lik bir alanın yersel fotoğrafları çekilmiş, 3050 km² lik bir alanında stereo değerlendirmesi yapılmıştır. Yersel fotogrametri yöntemi ile 1/25000 ölçekli bu paftaların sayısı 20' dir
- 1932 yılında 125 km²' lik bir alanın hava fotoğrafları çekilmiş ve Wild Autograph aletinde stereo değerlendirmesi yapılmıştır
- 1935' te daha çok yersel fotogrametri yöntemi ile çalışılmış, Bandırma dolaylarında 250 km² ' lik bir alanın 1/10000 ölçekli haritaları yapılmıştır
- 1936' da Hava Fotogrametrisi uygulamaları genişlemiş, İstanbul imar planları için gerekli altlıkları sağlamak üzere 21/18'lik Zeiss kamerası ile Junkers ve Dragon uçakları ile 1/2500 ölçekli fotoğraflar çekilmiş ve 140 km² ' lik bir alanın 1/2000 ölçekli fotoplanları yapılmıştır



Fotogrametrinin Tarihçesi

Türkiye' deki fotogrametri çalışmaları

- 1937' de, Turhal' daki antimonit yatağının, 638 hektarlık alanının 1/500, 1/5000 ölçekli haritaları da yersel fotogrametri yöntemi ile yapılmıştır
- Sivil kesimde Hava Fotogrametrisinin yaygın olarak uygulamaya geçişinin başlangıcı Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü'nün, 1952 yılında wild firmasından dört adet fotogrametri aleti satın alması ve bunları İstanbul Teknik Okulu' na getirirerek eğitim çalışmalarına başlaması olarak alınabilir
- 1958 yılından itibaren, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) ' ünde 1/5000 ölçekli haritalar üretilmeye başlanmıştır. Yaklaşık 45 yılda, toplam 79000 adet yaklaşık 468 000 km² lik bir alanın 1/5000 ölçekli haritaları yapılmıştır



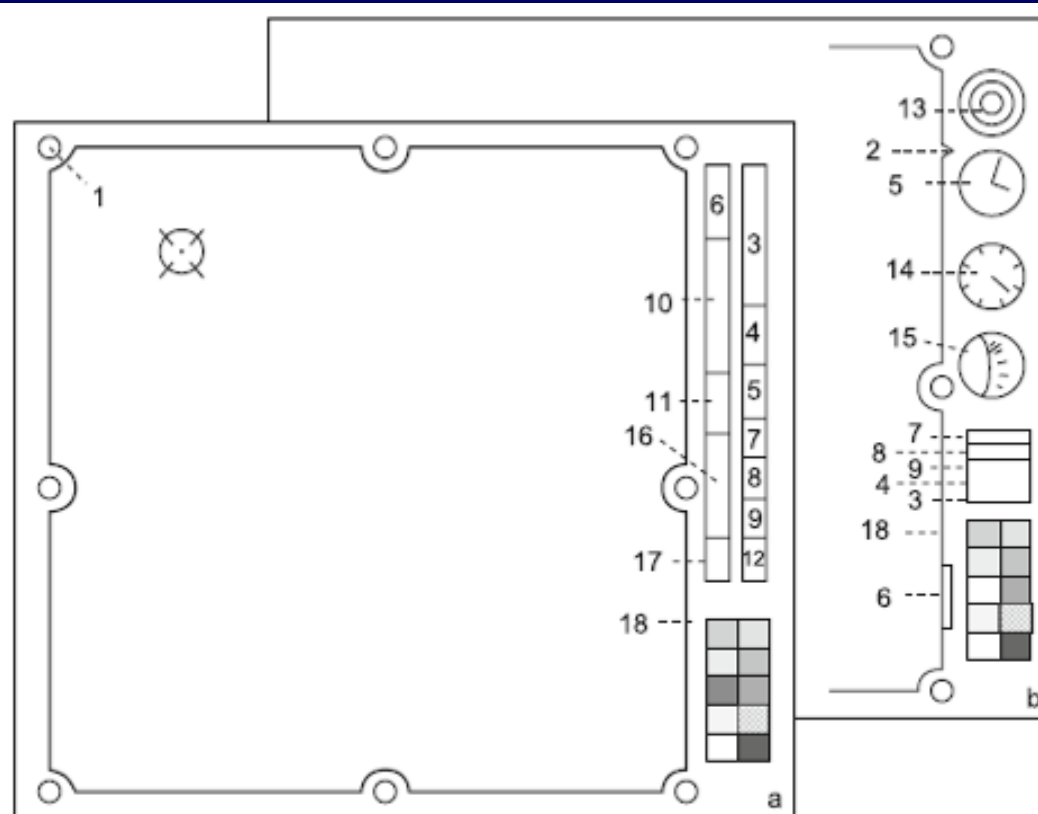


Fig. 3.13 Auxiliary data: (a) numerical and (b) analogical, reporting the photogram operational conditions of acquisition (Kraus, 1998) *1 8 fiducial marks, 2 9th asymmetric fiducial mark, 3 short project name, 4 date, 5 time, 6 photogram number, 7 camera number, 8 principal distance, 9 magazine number, 10 data for external orientation, 11 overlap, 12 photographic scale, 13 spherical equalizer (level), 14 altimeter, 15 precision altimeter, 16 exposure time, lens aperture, 17 forward motion (length), 18 grey wedge*

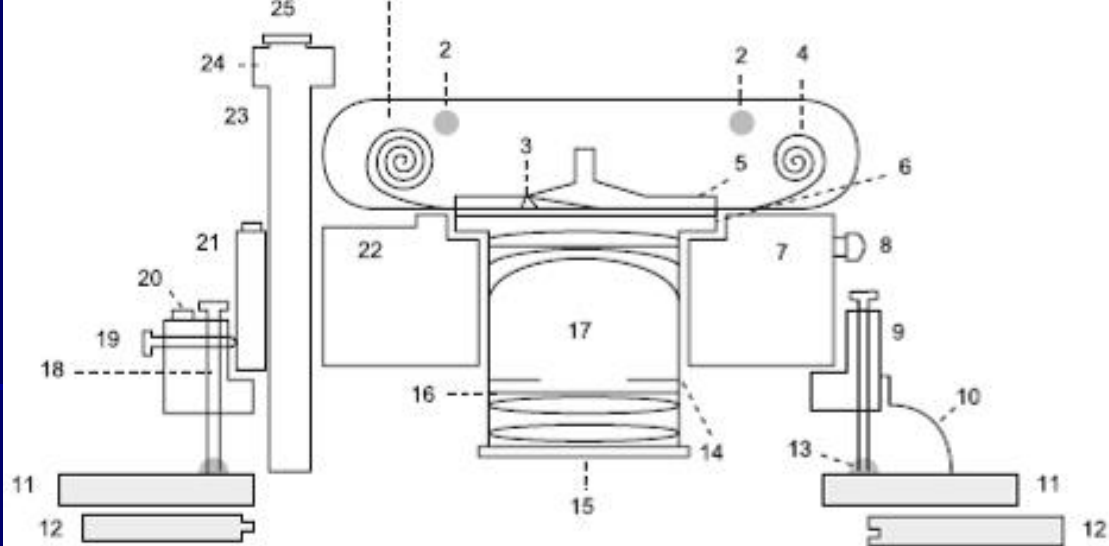


Fig. 3.14 Schematic diagram of a traditional aerial photogrammetric camera (Kraus, 1998) 1 photographic film magazine, 2 film indicators, 3 aspiration, 4 rollfilm width 23 cm, 5 pneumatic flattening system, 6 lens cone and camera frame, 7 electronics monitoring, 8 28 volt CC, 9 camera support, 10 cable mass, 11 airplane bottom, 12 door, 13 supports anti-vibration, 14 lens aperture, 15 filter, 16 shutter, 17 lens, 18 3 footscrews for ϕ and ω , 19 orientation K (K-clamp), 20 spherical level, 21 control instruments and switches, 22 transport control and aspiration, 23 viewfinder telescope, 24 cinederivometer, 25 ocular

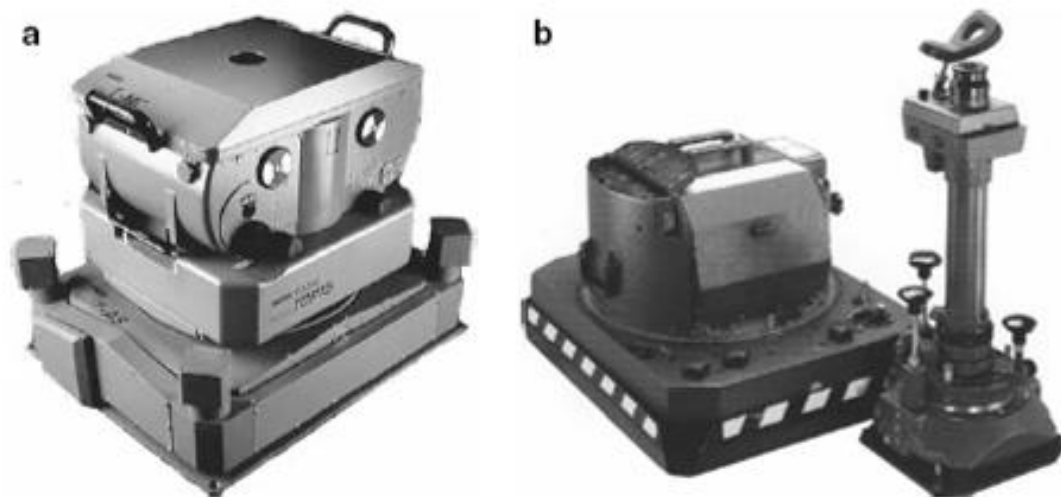
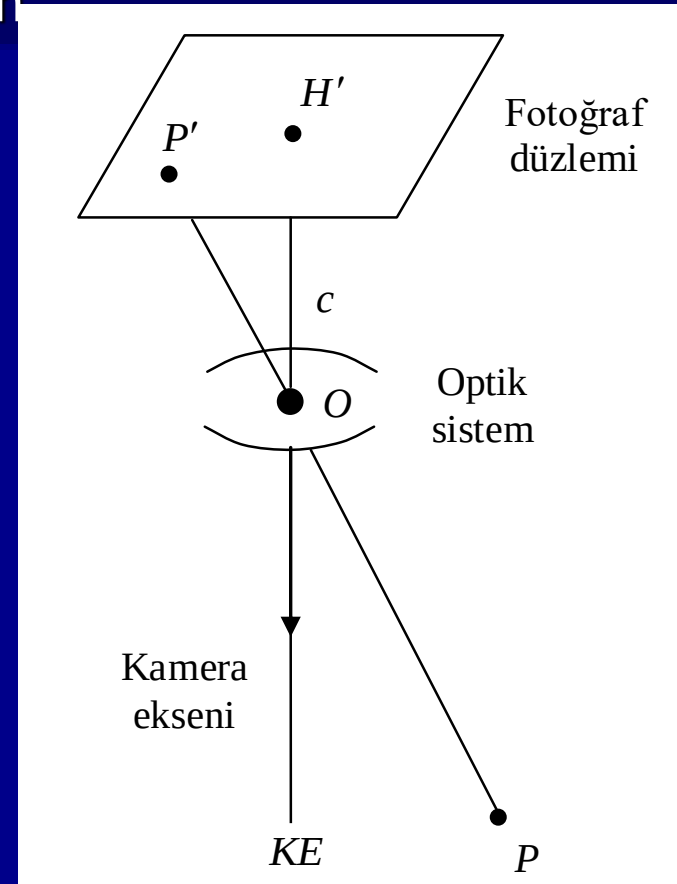


Fig. 3.15 Two among the several aerial photogrammetric cameras available: (a) Zeiss aerial camera RMK TOP (Terminal Operated) and (b) Leica aerial camera RC30 Wild



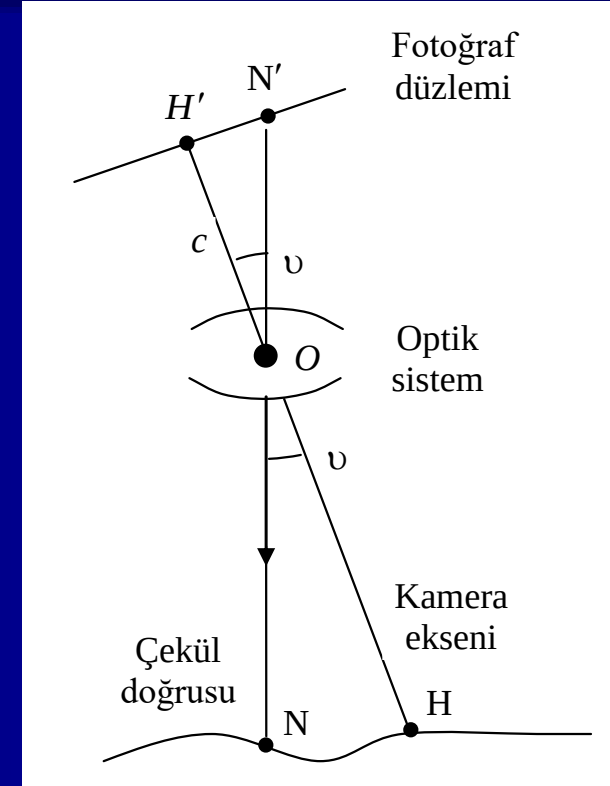
Fotogrametrik Terimler

- **İzdüşüm Merkezi:** Kamera optik sisteminin merkezi, O noktası. Bütün ışınlar bu noktadan geçer.
- **İzdüşüm Işını:** Nesne uzayındaki bir noktadan geçen ve izdüşüm merkezinden geçtikten sonra fotoğraf noktasını oluşturan doğru parçası, fotoğraf çekim durumuna karşılık gelmektedir $\overline{POP'}$
- **Kamera Optik Eksenini:** Kamera optik sisteminin eksenini, KE
- **Asal Nokta:** Kamera ekseninin fotoğraf düzlemini kestiği nokta. Bu nokta aynı zamanda izdüşüm merkezinden fotoğraf düzlemine indirilen dikin ayağı, H'
- **Asal Uzaklık:** Fotoğraf düzlemi ile izdüşüm merkezi arasındaki uzaklık $\overline{OH'} = c$



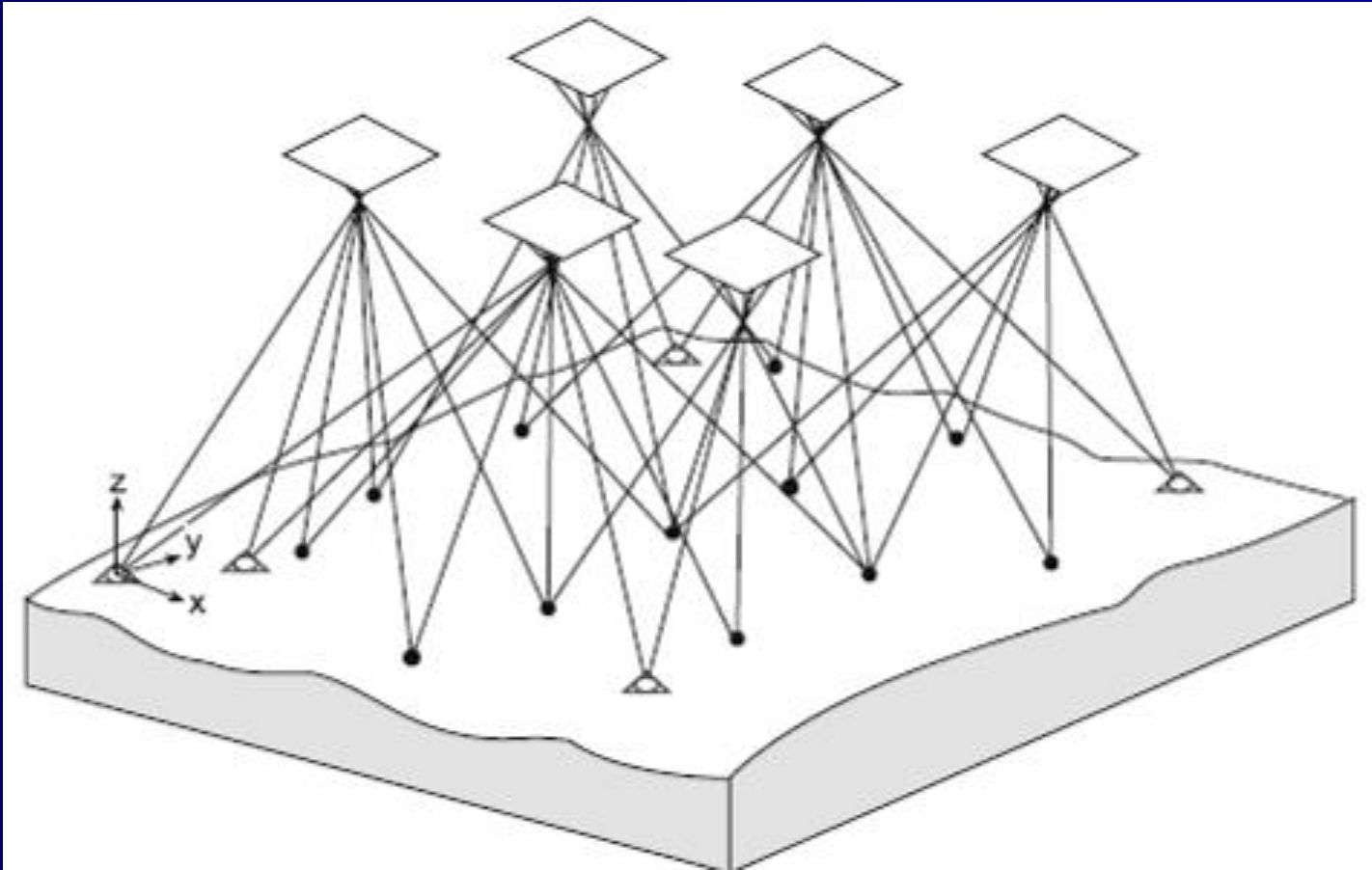
Fotogrametrik Terimler

- **Ayakucu (Nadir) Noktası:** İzdüşüm merkezinden geçen çekül doğrusunun fotoğraf ve araziye kestiği nokta N,
- **Düşey fotoğraf:** Kamera ekseni düşey konumda iken çekilen fotoğraf ($\nu = 0$) Pratikte tam düşey fotoğraf çekilemez. Bu nedenle $\nu \leq 5$ olan fotoğraflara da düşey fotoğraf denir.
- **Yatay fotoğraf:** Kamera ekseni yatay konumda iken çekilen fotoğraf ($\nu = 90$)
- **Eğik fotoğraf:** Kamera ekseni herhangi bir konumda iken çekilen fotoğraf



Fotogrametrik Terimler

Işın Destesi ya da Işın Demeti: İzdüşüm merkezinden geçen tüm izdüşüm ışınları kümesi

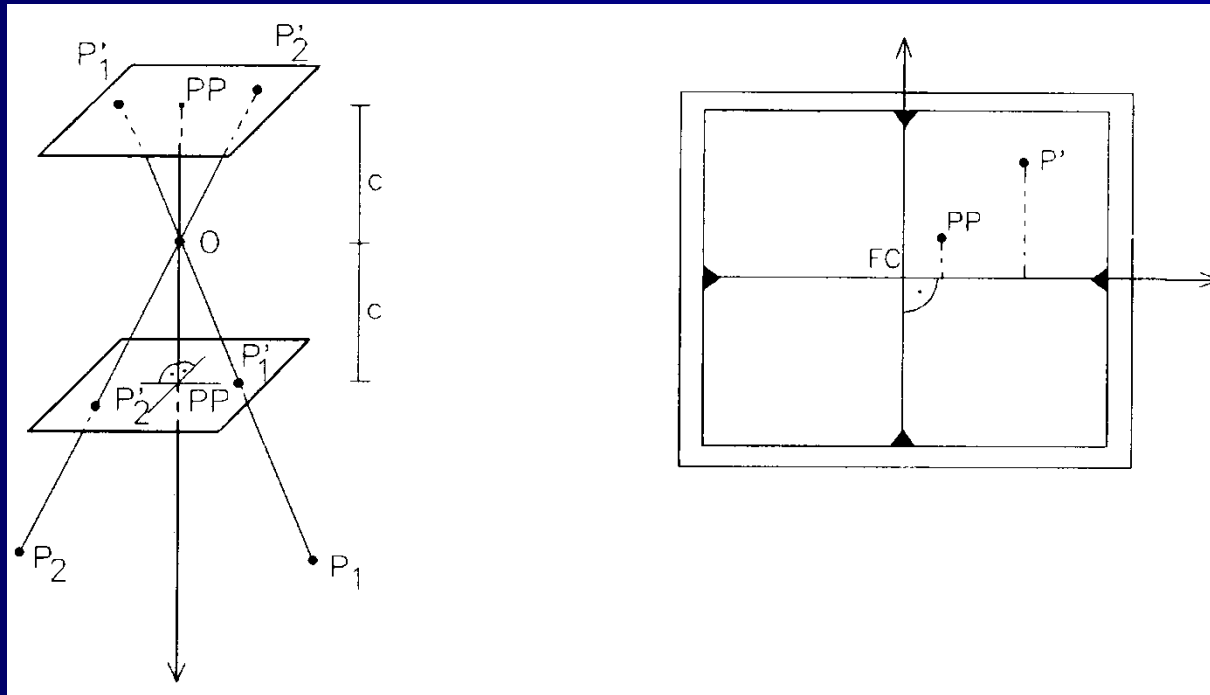


Fotogrametrik Terimler

- **İç Yönelme Elemanları:** Fotogrametrik kameraların asal uzaklığı ile asal noktanın konumuna iç yönelme elemanları denir. Bu üç eleman yardımı ile fotoğraf noktasından geçen izdüşüm ışını doğru olarak konumlandırılabilir. Fotogrametrik kameralarda asal noktanın konumu çerçeve işaretlerinin oluşturduğu bir koordinat sistemine göre tanımlanır.

negatif
fotoğraf

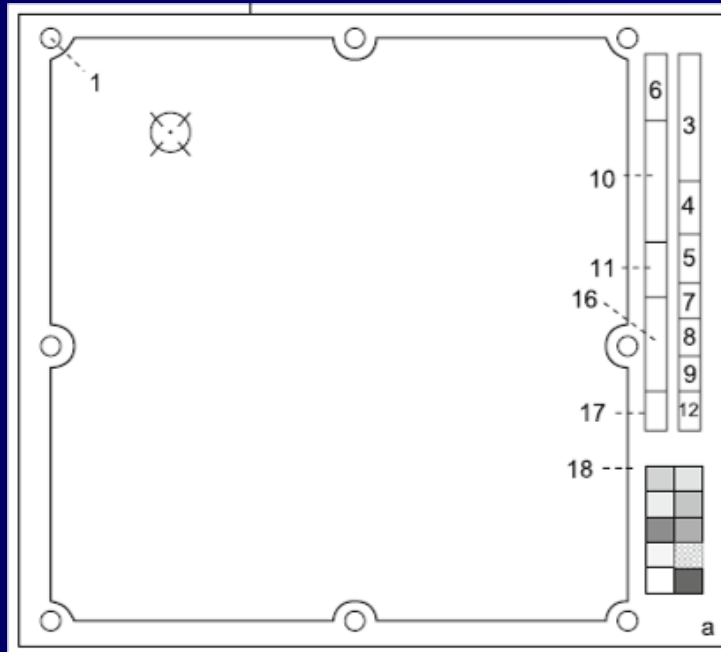
pozitif
fotoğraf



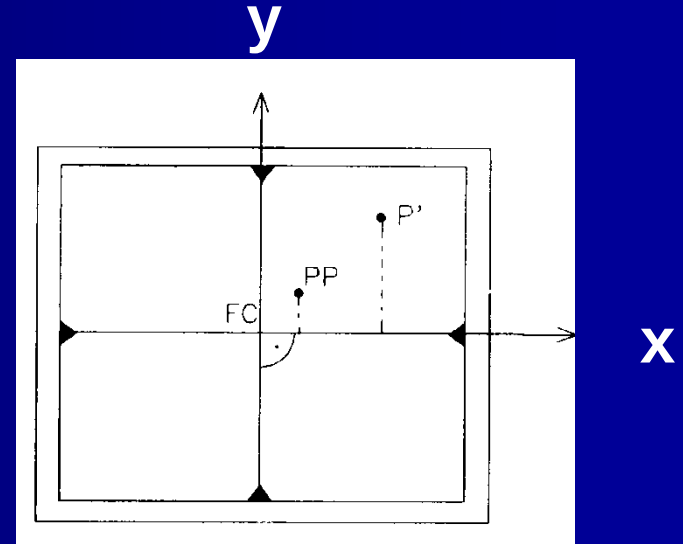
Düşey pozitif ve negatif fotoğraf ve fotoğraf koordinat sistemi

Fotogrametrik Terimler

Çerçeve işaretleri: Analog Fotogrametrik kameralarda çekilmiş fotoğrafların köşelerinde yada kenar orta noktalarında özel işaretler bulunur. Bunlara çerçeve işaretleri denir



Çerçeve işaretleri



fotoğraf koordinat sistemi

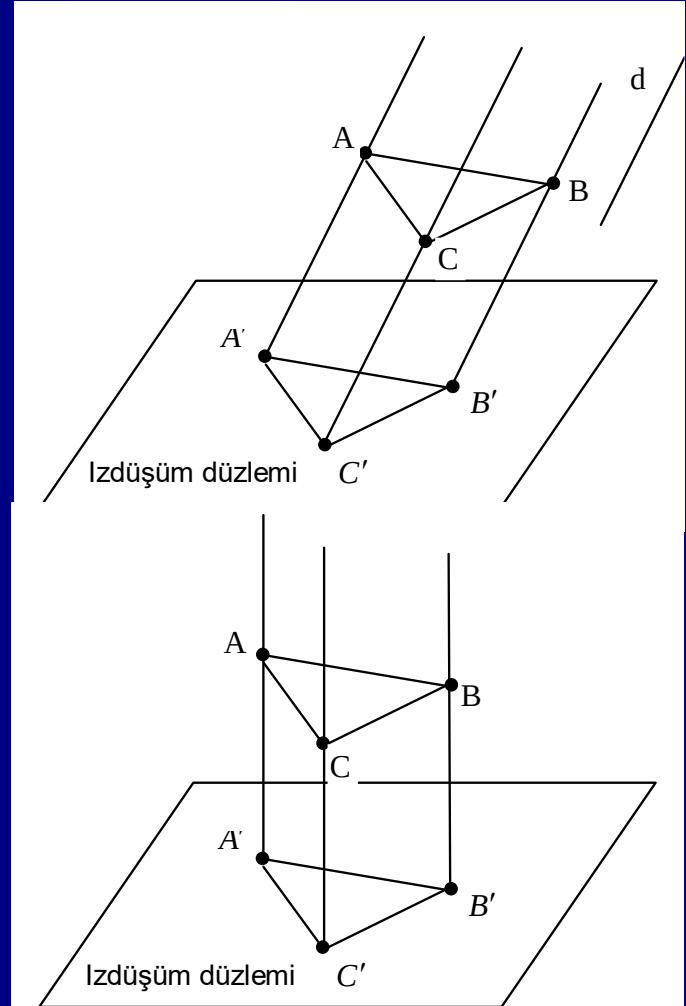


Geometrik Temeller

■ Üç boyutlu uzaydaki noktaların iki boyutlu bir uzaya yani bir düzleme geometrik bir yöntemle aktarılabilir

— Paralel İzdüşüm: Bir d doğrusuna paralel izdüşüm doğruları çizilerek izdüşüm düzlemini deldiği noktalar bulunur

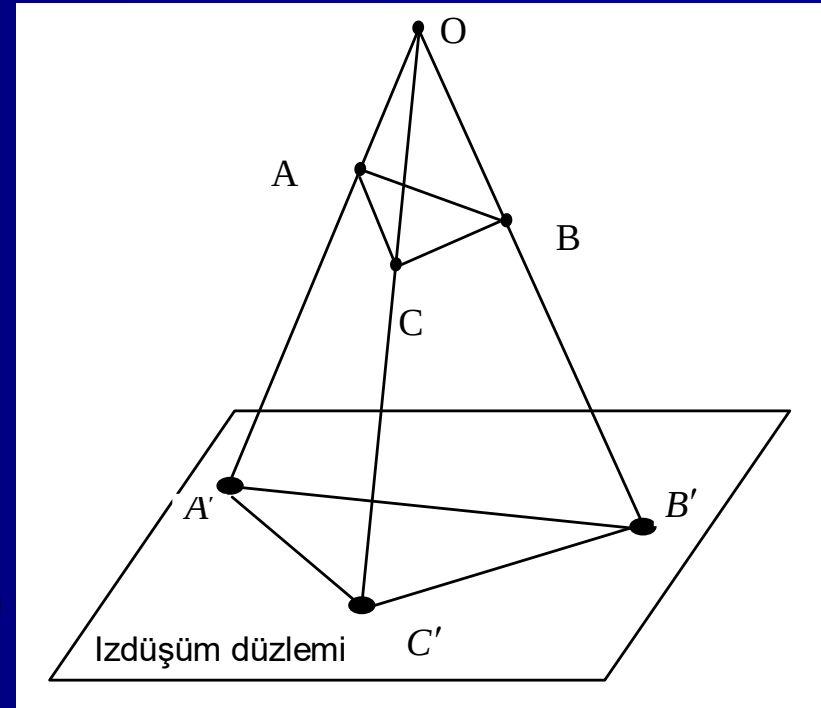
— Dik (ortogonal) izdüşüm: İzdüşüm noktalarından izdüşüm düzlemine dikler inilir. Bu noktalar nesnenin izdüşüm noktalarıdır



Geometrik Temeller

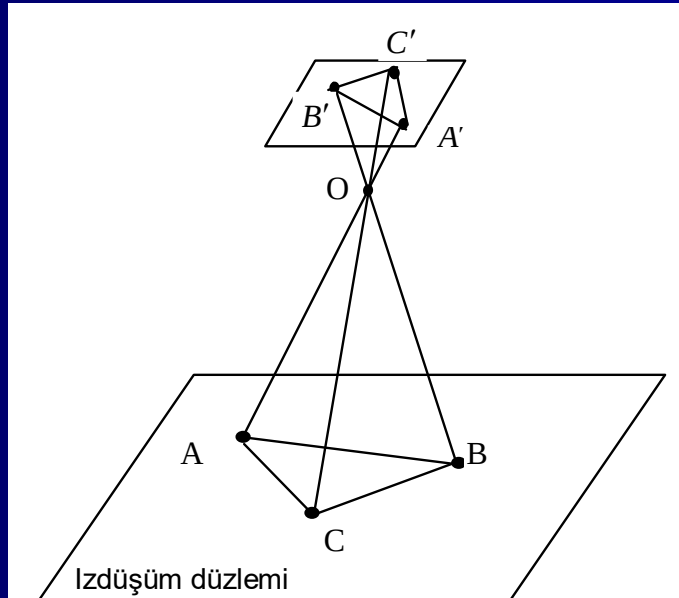
■ Harita dik bir izdüşümdür. İzdüşüm düzlemi olarak yeryüzünün belirli bir noktasına teğet olan bir yüzey alınır. Çoğu zaman bu yüzey deniz yüzeyine paralel bir yatay düzlemdir

- Merkezsel izdüşüm: Uzay noktaları izdüşüm düzlemi dışındaki bir O noktası ile birleştirilir. Bu noktaların izdüşüm düzlemini deldiği noktalar ilgili noktaların merkezsel izdüşümüdür. O izdüşüm noktası nesne noktaları ile izdüşüm düzlemi arasındada olabilir



Geometrik Temeller

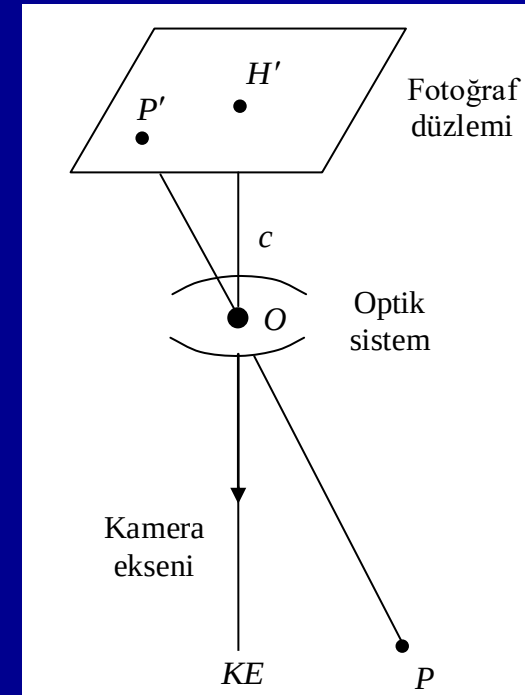
- O izdüşüm noktası nesne noktaları ile izdüşüm düzlemi arasındada olabilir
- Fotoğraf merkezzel bir izdüşümdür ve O izdüşüm merkezi kamera optik sisteminin merkezidir ve tüm ışınlar bu noktadan geçer
- Geometrik olarak harita ile düşey bir hava fotoğrafı arasındaki en büyük fark farklı izdüşüme sahip oluşlarıdır



Geometrik Temeller

Merkezzel izdüşümün Özellikleri

- Üç boyutlu uzaydaki bir P noktasına karşılık izdüşüm düzleminde tek bir noktası vardır. İzdüşüm düzlemi üzerindeki noktasına karşılık izdüşüm ışını üzerindeki sonsuz sayıdaki nokta karşılık gelir
- Üç boyutlu uzaydaki bir doğrusuna karşılık izdüşüm düzleminde tek bir d' doğrusu vardır. İzdüşüm düzlemi üzerindeki d' doğrusuna karşılık ise doğrusu ve O izdüşüm merkezinin belirlediği sonsuz sayıdaki doğru parçası karşılık gelir



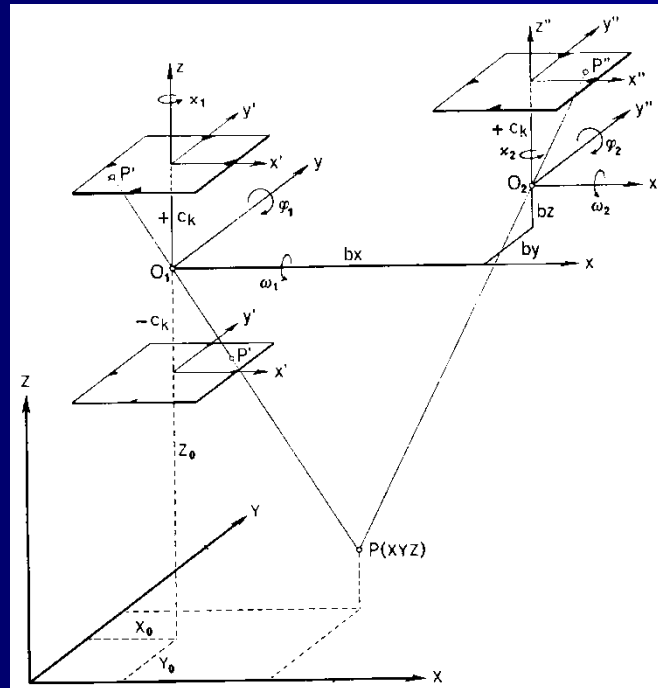


Geometrik Temeller

- Bu iki özellik tek bir merkezsiz izdüşümle üç boyutlu uzayın noktalarının bulunamayacağı anlamına gelir
- Ancak iki boyutlu bir uzayın, bir düzlemin, merkezsiz izdüşümü söz konusu ise yukarıdaki iki özelliğin tersleri de geçerlidir. Yani izdüşüm düzlemindeki bir noktaya karşılık bir nokta bir doğru parçasına karşılık bir doğru parçası karşılık gelir
- Bu irdelemeler ışığında fotogrametrik ölçme yöntemi ile ilgili şu sonuçlar çıkarılır:
 - Nesne noktalarının X, Y, Z koordinatları tek bir fotoğraftan elde edilemez
 - Nesne uzayı bir düzlemse tek bir fotoğraf yeterli olabilir. Söz gelimi düz ve yatay bir arazinin tek bir hava fotoğrafı ile X, Y koordinatları bulunabilecektir. Aynı şekilde bir yapının düzlem olan cephesi üzerinde yapılacak ölçümler içinde tek bir fotoğraf yeterli olacaktır

Geometrik Temeller

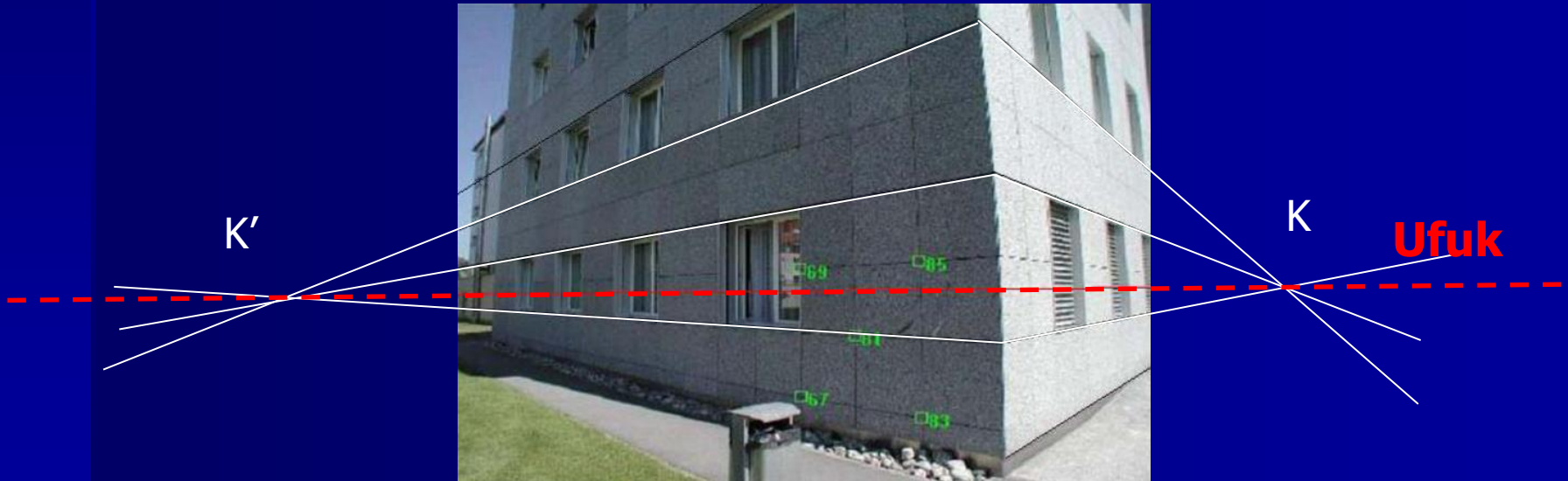
- Bu irdelemeler ışığında fotogrametrik ölçme yöntemi ile ilgili şu sonuçlar çıkarılır:
 - Üç boyutlu uzaydaki noktaların konumlarının yani X, Y, Z koordinatlarının bulunabilmesi için başka bir noktadan çekilmiş ikinci bir fotoğraf gereklidir. Bu iki fotoğraftaki aynı noktaya ait izdüşüm ışını kesiştirilerek nesne noktası bulunabilir



Geometrik Temeller

■ Merkezsel izdüşümün diğer özellikleri:

- Paralel doğruların izdüşümleri kesişebilir. Ancak izdüşüm düzlemine paralel olan doğruların izdüşümü de paralel kalır. Paralel doğruların izdüşümünde kesişme noktalarına kaçış noktası denir. Kesişen doğruların izdüşümü de kesişir. Kesişme noktaları birbirine karşılık gelir

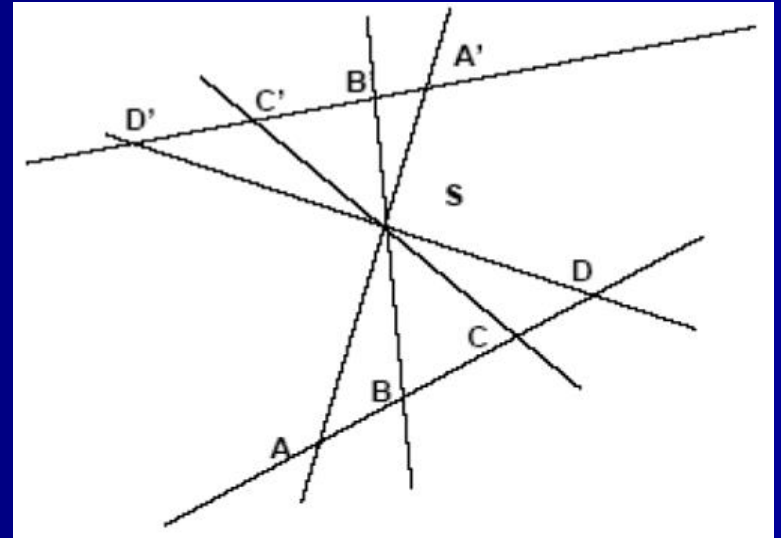


Geometrik Temeller

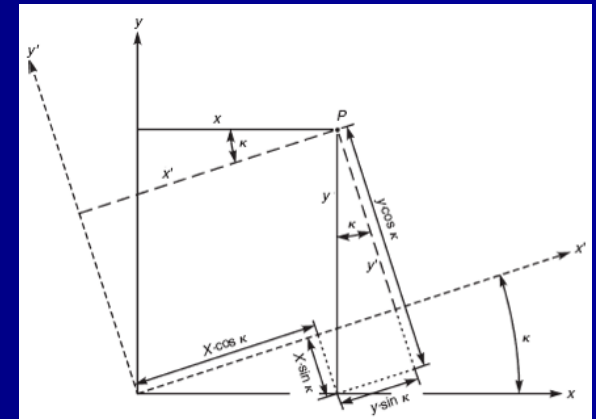
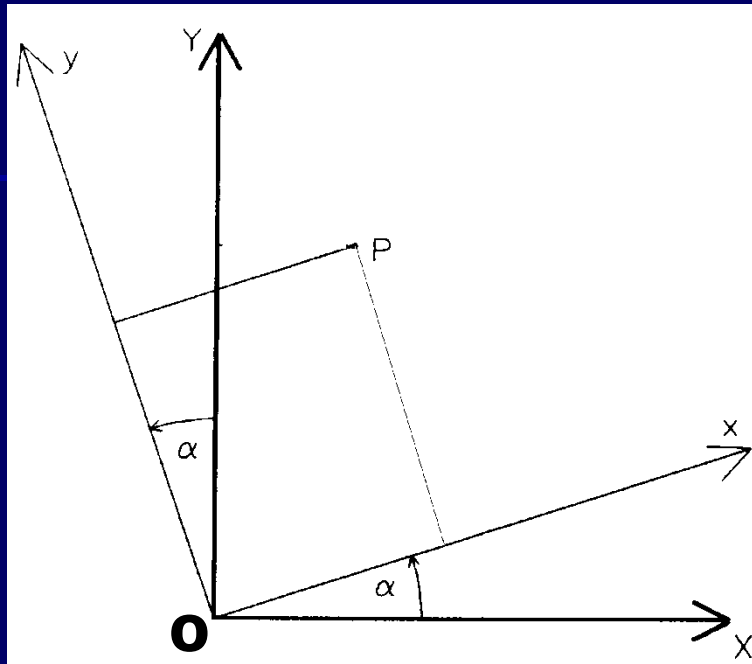
Merkezzel izdüşümün diğer özellikleri:

- Çifte Oran Özelliği: bir doğru üzerinde bulunan dört nokta için yazılacak bir çifte oran, merkezzel izdüşümde değişmez kalır
- Bu özellik doğru demetleri arasında ilişki kurmak için kullanılabilir
- Bilinen üç doğru yardımıyla fotoğrafta bulunan dördüncü bir doğrunun nesne uzayındaki haritadaki karşılığı bulunabilir

$$\frac{AC}{BC} \div \frac{AD}{BD} = \text{sabit}$$



Koordinat Dönüşümleri

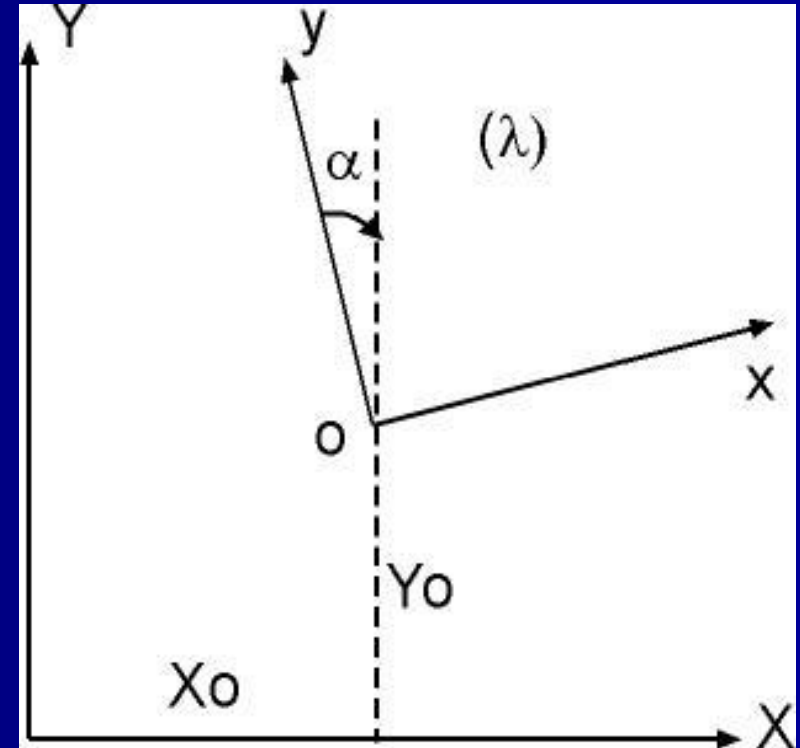


- X, Y koordinat sistemi ile bu koordinat sisteminin α kadar döndürülmesi sonucunda elde edilen x, y koordinat sistemi arasındaki ilişki:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \sigma & -\sin \sigma \\ \sin \sigma & \cos \sigma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

Koordinat Dönüşümleri

- Benzerlik dönüşümü formüllerinde A Dönüşüm matrisi, uzunlukları λ katsayısı oranında değiştirir. Şeklin benzerliği değişmez (Benzerlik/ Helmert dönüşümü).
- $\lambda = 1$ olduğunda özel bir dönüşüm olmakta ve ORTOGONAL DÖNÜŞÜM adını almaktadır.



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \lambda \underset{-}{A} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_o \\ Y_o \end{bmatrix}$$

Koordinat Dönüşümleri

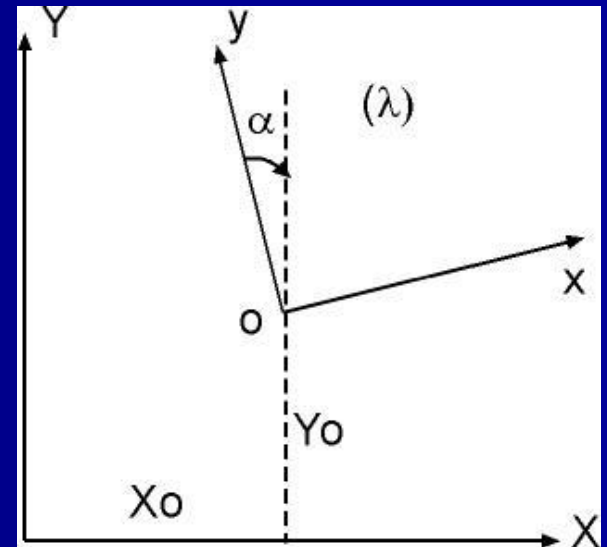
Benzerlik dönüşümü

$$X = a_0 + a_1x - b_1y$$

$$Y = b_0 + b_1x + a_1y$$

$$X = a_0 + k(x \cos \alpha - y \sin \alpha)$$

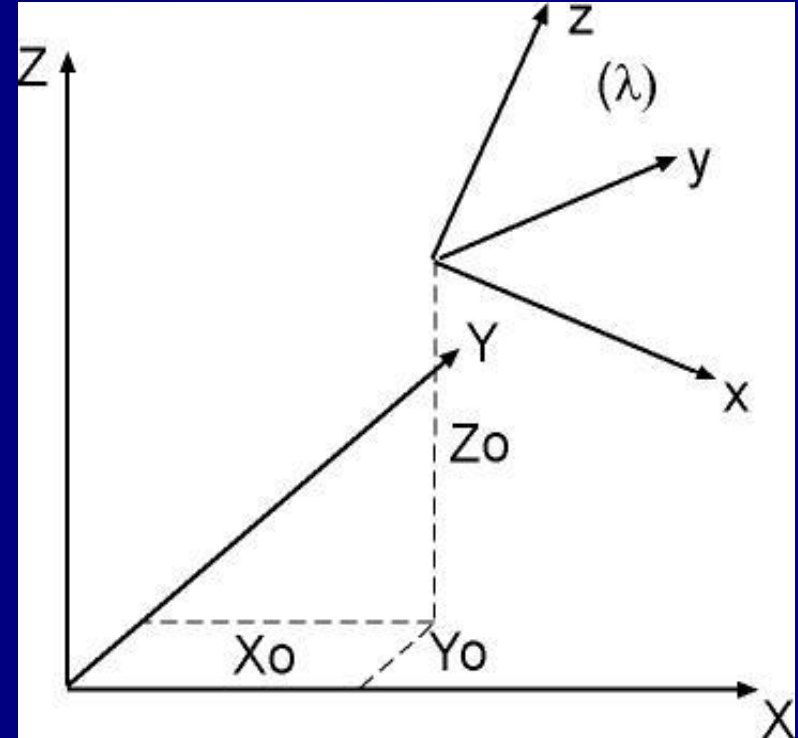
$$Y = b_0 + k(x \sin \alpha + y \cos \alpha)$$



Koordinat Dönüşümleri

3D Benzerlik dönüşümü

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \lambda \underset{-}{A} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}$$





Koordinat Dönüşümleri

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}$$

$$a_{11} = \cos \varphi \cdot \cos \chi$$

$$a_{12} = -\cos \varphi \cdot \sin \chi$$

$$a_{13} = \sin \varphi$$

$$a_{21} = \cos \omega \cdot \sin \chi + \sin \omega \cdot \sin \varphi \cdot \cos \chi$$

$$a_{22} = \cos \omega \cdot \cos \chi - \sin \omega \cdot \sin \varphi \cdot \sin \chi$$

$$a_{23} = -\sin \omega \cdot \cos \varphi$$

$$a_{31} = \sin \omega \cdot \sin \chi - \cos \omega \cdot \sin \varphi \cdot \cos \chi$$

$$a_{32} = \sin \omega \cdot \cos \chi + \cos \omega \cdot \sin \varphi \cdot \sin \chi$$

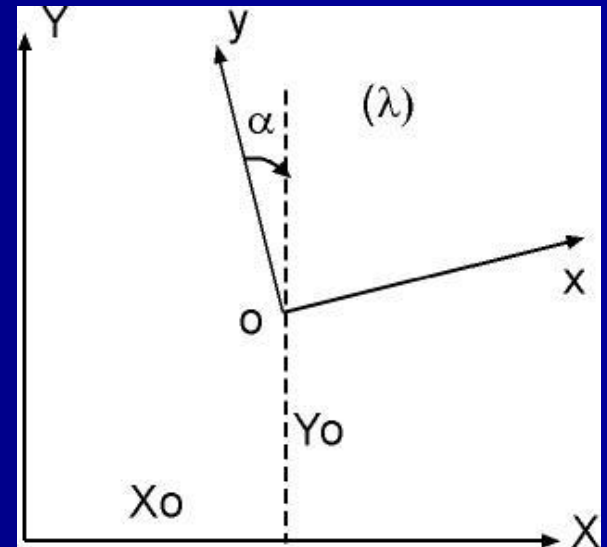
$$a_{33} = \cos \omega \cdot \cos \varphi$$

Koordinat Dönüşümleri

Afin dönüşümü

$$X = a_0 + a_1x + a_2y$$

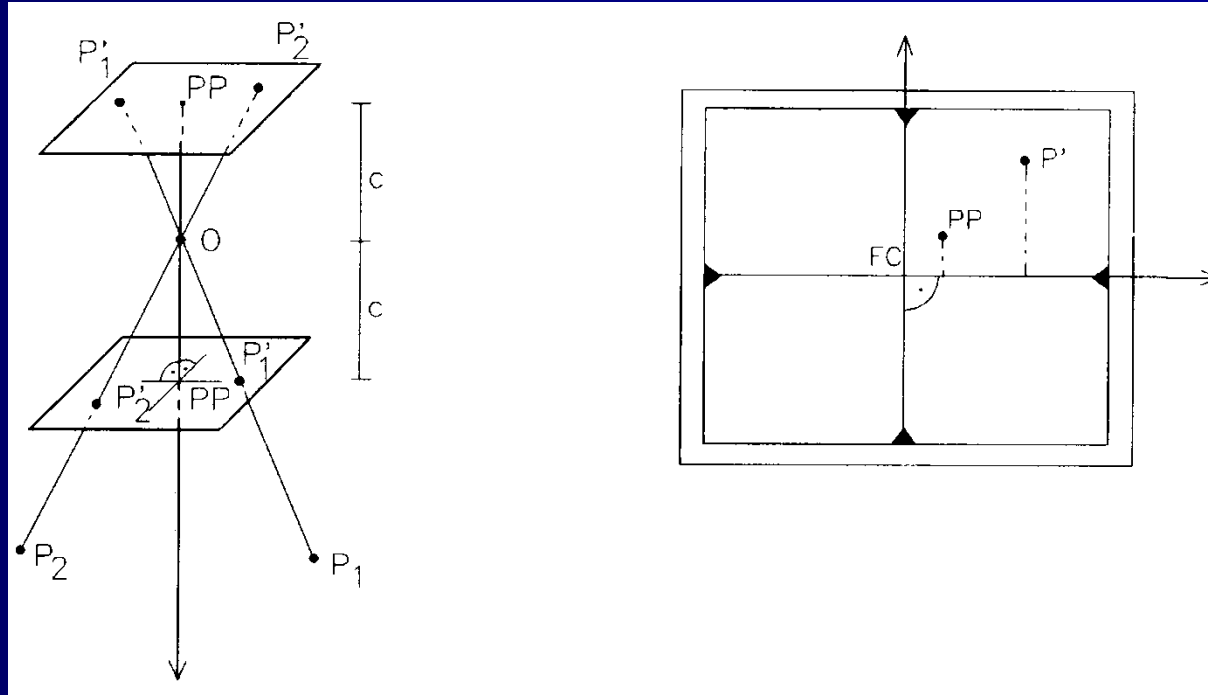
$$Y = b_0 + b_1x + b_2y$$



Fotoğraf Koordinat Sistemi

negatif
fotoğraf

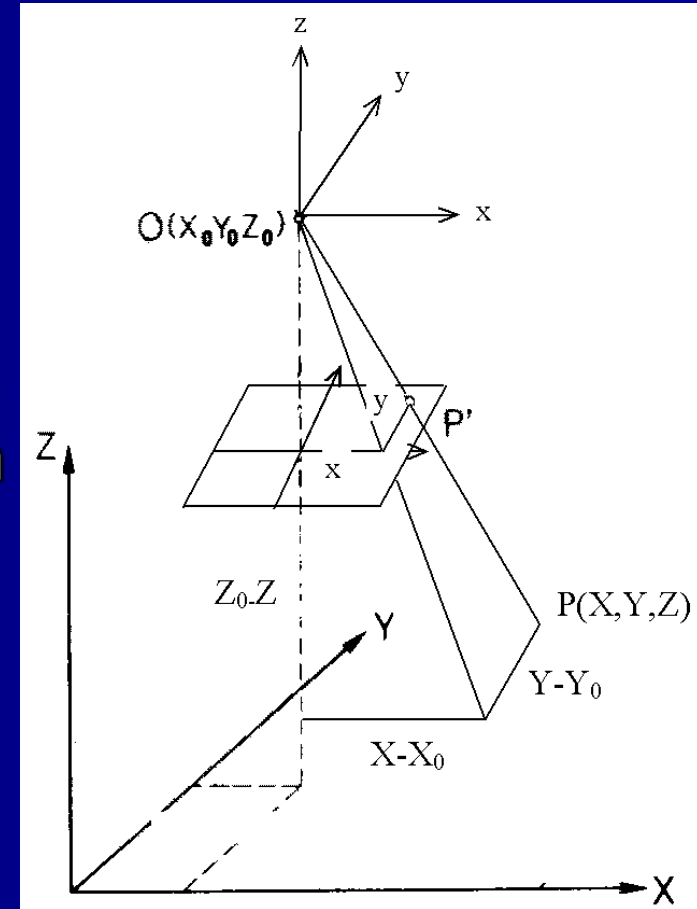
pozitif
fotoğraf



Düşey pozitif ve negatif fotoğraf ve fotoğraf koordinat sistemi

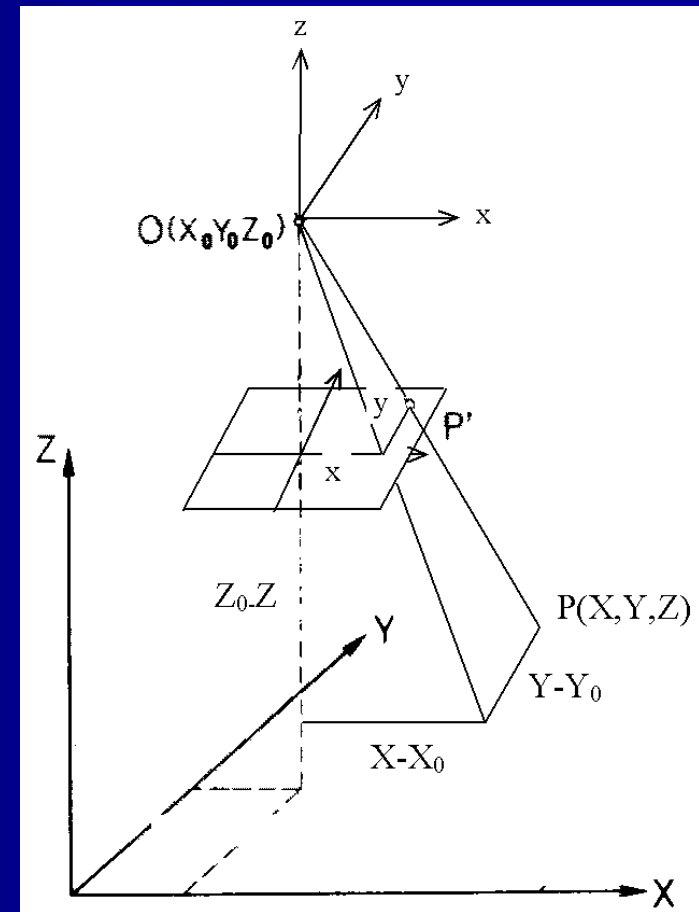
Fotoğraf Koordinat Sistemi

- Fotoğraf koordinat sisteminin başlangıç noktası O izdüşüm merkezidir
- xy düzlemi fotoğraf düzlemine paralel, z kamera ekseni ile çakışık
- x ekseni komşu fotoğrafın izdüşüm merkezi doğrultusunda
- z sabit asal uzaklığa eşit
- pozitif fotoğrafta $z -c$ ye, negatif fotoğrafta $z c$ ye



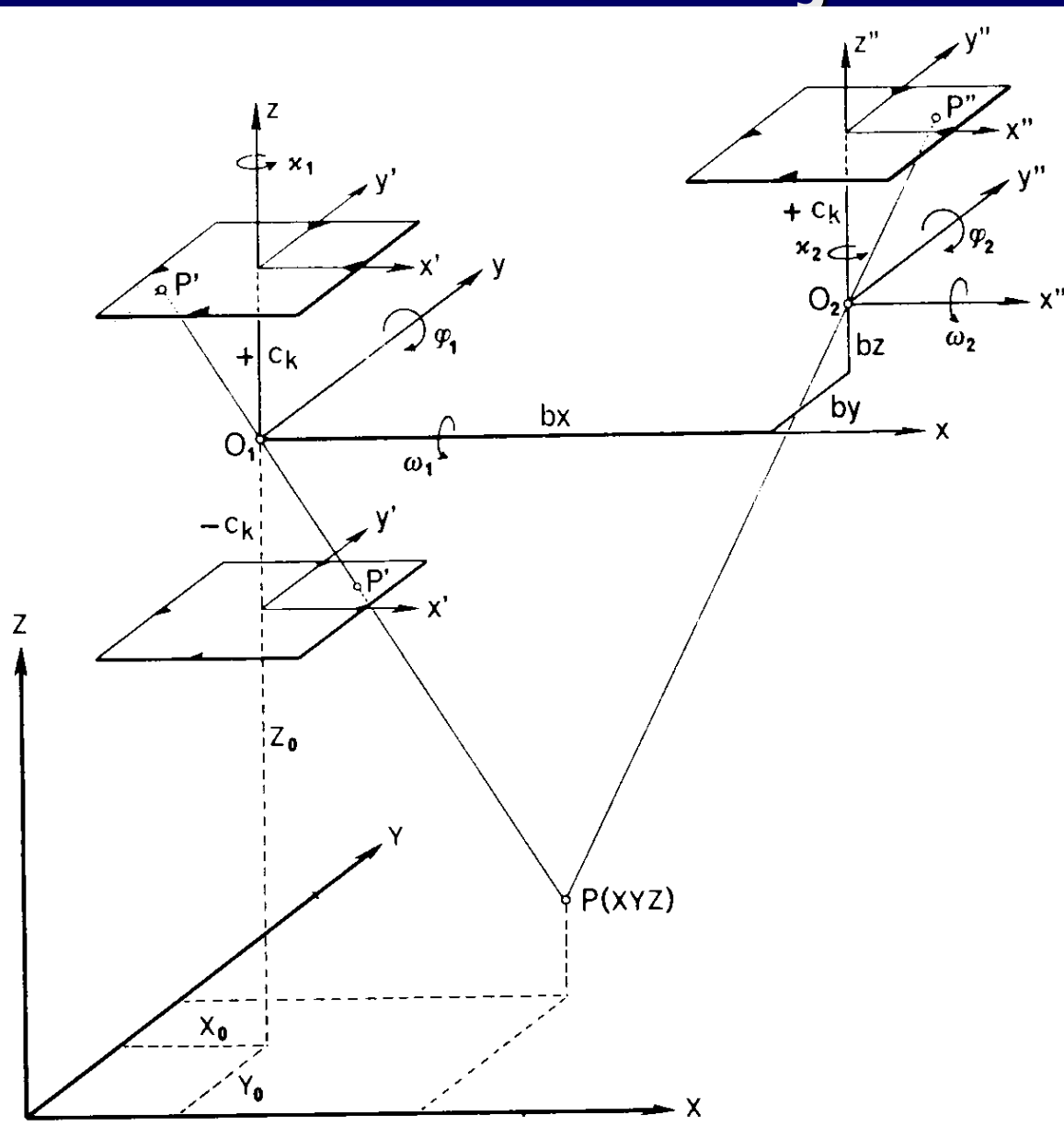
Uzay Koordinat Sistemi

- Z düşey doğrultuda çekül doğrultusunda
- XY yatay düzlem
- Ülke koordinat sisteminde X sağa değer, Y yukarı değer
- Sağ el koordinat sistemi





Dönüklük Açıları



Dış Yöneltilme Elemanları

x_0, y_0 = asal noktanın fotoğraf koordinat sistemindeki yeri

$c(f)$ = asal uzaklık (odak uzaklığı) **iç yöneltilme** elemanları

X_0, Y_0, Z_0 = O izdüşüm merkezinin koordinatları

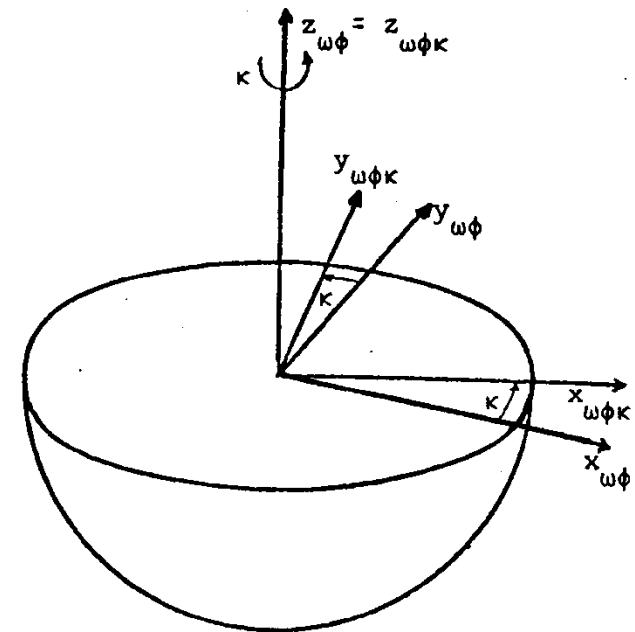
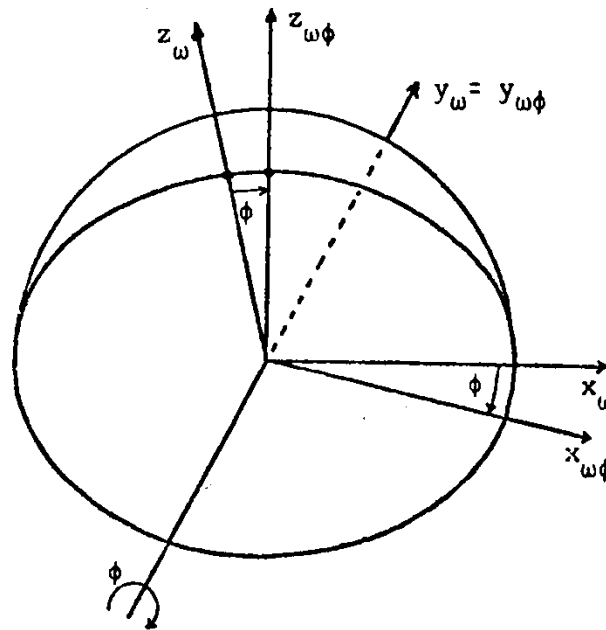
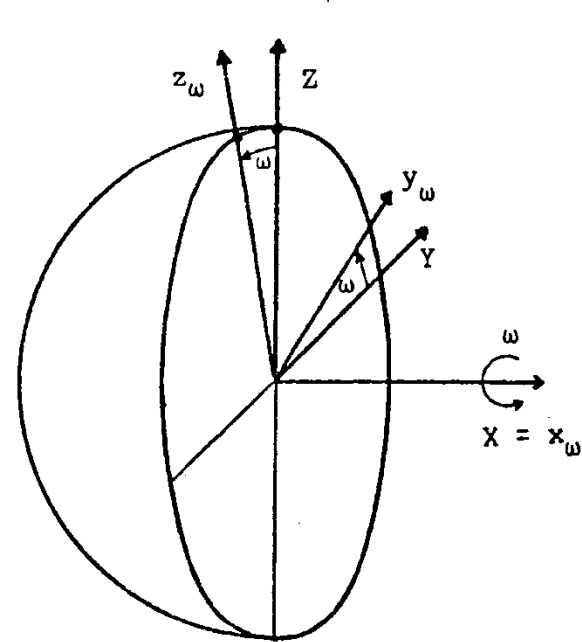
ω, ϕ, κ = 3 Eksen etrafındaki dönüklükler.

Bu altı parametreye **dış yöneltilme** elemanlarıdır

Bu dokuz parametre bir tek fotoğrafın **merkezzel izdüşümümü** oluşturur

Dönüklük Açıları

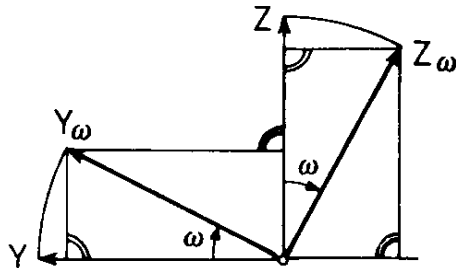
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \sigma & -\sin \sigma \\ \sin \sigma & \cos \sigma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$



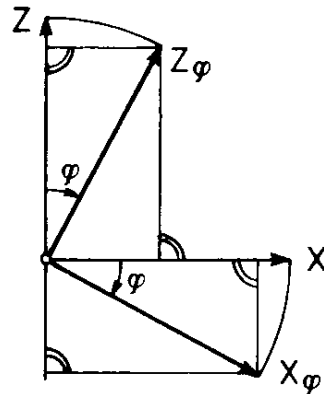


Dönüklük Açıları

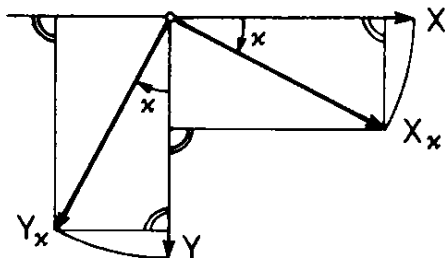
$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}$$



$$\mathbf{D}_\omega = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & -\sin \omega \\ 0 & \sin \omega & \cos \omega \end{pmatrix}$$



$$\mathbf{D}_\varphi = \begin{pmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{pmatrix}$$



$$\mathbf{D}_x = \begin{pmatrix} \cos x & -\sin x & 0 \\ \sin x & \cos x & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$



Dönüklük Açıları

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}$$

$$a_{11} = \cos \varphi \cdot \cos \chi$$

$$a_{12} = -\cos \varphi \cdot \sin \chi$$

$$a_{13} = \sin \varphi$$

$$a_{21} = \cos \omega \cdot \sin \chi + \sin \omega \cdot \sin \varphi \cdot \cos \chi$$

$$a_{22} = \cos \omega \cdot \cos \chi - \sin \omega \cdot \sin \varphi \cdot \sin \chi$$

$$a_{23} = -\sin \omega \cdot \cos \varphi$$

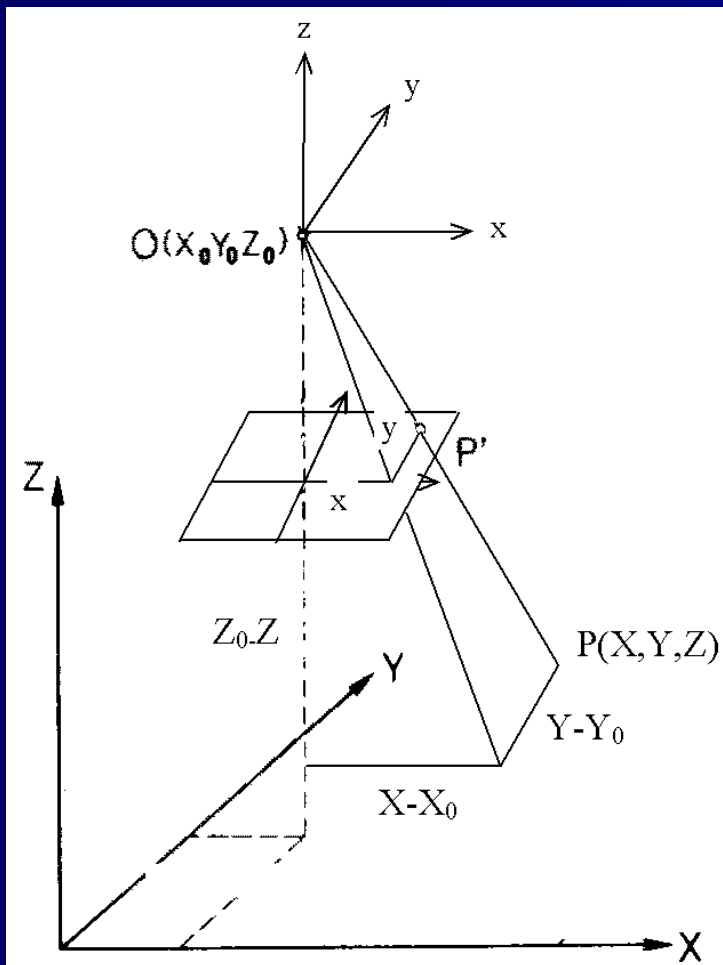
$$a_{31} = \sin \omega \cdot \sin \chi - \cos \omega \cdot \sin \varphi \cdot \cos \chi$$

$$a_{32} = \sin \omega \cdot \cos \chi + \cos \omega \cdot \sin \varphi \cdot \sin \chi$$

$$a_{33} = \cos \omega \cdot \cos \varphi$$

İzdüşüm Denklemleri

- Fotoğrafın tam dikey olarak çekildiğini varsayalım



$$\frac{X - X_0}{x} = \frac{Y - Y_0}{y} = \frac{Z_0 - Z}{c} = \lambda$$

$$X - X_0 = \lambda x \quad x = -c \frac{X - X_0}{Z - Z_0}$$

$$Y - Y_0 = \lambda y$$

$$Z - Z_0 = -\lambda c \quad y = -c \frac{Y - Y_0}{Z - Z_0}$$

$$\frac{X - X_0}{Z - Z_0} = -\frac{x}{c}, \quad \frac{Y - Y_0}{Z - Z_0} = -\frac{y}{c}$$

İzdüşüm Denklemleri

- Bu tam düşey hava fotoğrafı (özel durum) için elde edilen denklemlere izdüşüm denklemleri denir
- Bu özel durum yerine genel durum göz önünde bulundurulur ise yani ölçek, dönüklük ve ötelemeler dikkate alınırsa:

$$\begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ -c \end{bmatrix}$$

- Bu eşitlikte de 1. ve 3.'ye, 2. satır 3.'ye bölünürse

$$\frac{X - X_0}{Z - Z_0} = \frac{a_{11}x + a_{12}y - a_{13}c}{a_{31}x + a_{32}y - a_{33}c}$$

$$\frac{Y - Y_0}{Z - Z_0} = \frac{a_{21}x + a_{22}y - a_{23}c}{a_{31}x + a_{32}y - a_{33}c}$$

İzdüşüm Denklemleri

$$\frac{X - X_0}{Z - Z_0} = \frac{a_{11}X + a_{12}Y - a_{13}C}{a_{31}X + a_{32}Y - a_{33}C} \quad \frac{Y - Y_0}{Z - Z_0} = \frac{a_{21}X + a_{22}Y - a_{23}C}{a_{31}X + a_{32}Y - a_{33}C}$$

- eşitliğin her iki tarafı $\frac{1}{\lambda} A^{-1}$ ile çarpılıp düzenlenirse

$$x = -c \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{21}(Y - Y_0) + a_{31}(Z - Z_0)}{a_{13}(X - X_0) + a_{23}(Y - Y_0) - a_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y = -c \frac{a_{12}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{32}(Z - Z_0)}{a_{13}(X - X_0) + a_{23}(Y - Y_0) - a_{33}(Z - Z_0)}$$

- eşitlikleri izdüşüm denklemlerinin genel durumunu gösterir ve bu denklemler, OP'P izdüşüm ışınının denkleminden başka bir şey değildir

İzdüşüm Denklemleri

- İzdüşüm denklemleri, iç yöneltme elemanları asal noktanın konumu ve asal uzaklık (c) ve dış yöneltme elemanları ($X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa$) bilinen bir kamera fotogrametrik kamera ile çekilmiş kamera fotoğraf üzerinde yapılan ölçümler sonucu elde edilen fotoğraf koordinatları ile arazi koordinatları arasındaki matematiksel ilişkiyi ifade eder
- Bu eşitlikler arazide X, Y, Z koordinatları bilinen bir P noktasına karşılık tek bir x, y fotoğraf koordinatı elde edilebileceğini ifade eder
- Fotoğraf koordinatları bilinen fotoğraf düzlemindeki bir P' noktasına karşılık ancak $\frac{X - X_0}{Z - Z_0}$ ve $\frac{Y - Y_0}{Z - Z_0}$ oranlarının bulunabilir



İzdüşüm Denklemleri

- Bu durum merkezsiz izdüşümün geometrik özelliklerinden "*uzaydaki bir P noktasının fotoğraf üzerindeki karşılığı bir P' noktasıdır ancak fotoğraf üzerindeki bir P' noktasının karşılığı OP' izdüşüm ışını üzerindeki tüm noktalar yani bir doğru karşılık gelir*" ilkesi ile açıklanabilir