



Dijital Fotogrametri Uygulamaları

Öğr. Gör. Emre İNCE

KAMAN MESLEK YÜKSEKOKULU HARİTA VE KADASTRO PROGRAMI

Belge yabancı kökeni Digital Image kelimelerinden gelen Sayısal Görüntü kavramını ve sayısal görüntü üzerinde yapılan işlemleri açıklanması için hazırlanmıştır. Digital (dijital) bilgisayar ortamındaki veri formatını anlatmak için kullanılan kelimedir. Görüntüden kastedilen resim verisidir. Bilgisayar ortamındaki görüntü verisi gerek tarayıcılardan taranarak elde edilen bir resmi ifade edebileceği gibi, elektronik fotoğraf makineleriyle elde edilen görüntü veya uydulardan elde edilmiş fotoğraflar da sayısal görüntüdür. Belge sayısal görüntüler kullanılarak haritaların oluşturulmasını temel almaktadır. Elde edilecek haritalar üzerinden coğrafik objeler ve objeler hakkında bilgiler elde edileceği düşünülürse, sayısal görüntüler üzerinde yapılacak işlemler önem kazanmaktadır.

Öğr. Gör. Emre İNCE

İçindekiler

Sayısal Görüntü	2
Dijital Kamera ve Kamer Ayarları.....	5
DSLR Kameranın Çalışma Prensibi	6
DSLR Kamera Parçaları	9
Objektif Mekanizması	9
Kameranın Gövde Mekanizması	21
Perde Mekanizması ve Perde Açılıp Kapanma Hızı (Enstantane Hızı) Belirlenmesi	41
ISO Değeri:.....	42
Pozlama ve Pozlama telafisi	44
Sayısal Görüntü Özellikleri	47
Dijital Görüntü Bilgilerine Erişme	47
Geometrik Çözünürlük (spatial resolution)	48
Radyometrik Çözünürlük	53
Niceleme Seviyesi:	57
Spektral Çözünürlük.....	59
Renkli Görüntü.....	67
Renkli Görüntünün Algılanması.....	67
Renkli Sayısal Görüntü.....	68
Dijital Gerçek Renkli Görüntü (True Color Image)	74
Siyah Beyaz Görüntü	76
Dijital Fotogrametrik Uygulama Çalışma Örnekleri.....	78
Uydu Fotoğrafları kullanılarak Tanımlanmış Bazı İndexler:	81
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Çalışması	81
Sadece RGB Bantları ile Bitki Alanlarının Belirlenmesi	86
Sentinel 2A Uydusu Bantlarıyla NDVI Bitki Endeksinin Oluşturulması.....	87
Sentinel 2A Uydusuyla Normalized Differences Moisture Index (NDMI) Nemlilik Endeksinin oluşturulması	88

Sentinel 2A Uydusuyla Normalized Differences Water Index (NDWI) Su Endeksinin oluşturulması	89
Dijital Görüntüdeki Coğrafik Objelerin Kontrollü Sınıflandırılma ile Belirlenmesi.....	90
Yükseklik Veri Ürünleri	91
Yükseklik Verisi Ürün Çeşitleri	91
Fotogrametri Çalışmalarında Digital Görüntü Geometrisi.....	98
Görüntü Ölçeği (Resim Ölçeği).....	98
Resim Ölçeğinin Hesaplanması:.....	98
Yer Örnekleme Aralığı/Mesafesi (Ground Sample Distance).....	101
Yer Örnekleme Aralığı (Ground Sample Distance) Hesaplanması ve İlgili Örnekler ...	103
Yersel Fotogrametri (Terrestrial Photogrammetry), Yakın Çekim Fotogrametri (Close-Range Photogrammetry) ve Hava Fotogrametrisi (Aerial Photogrammetry) Çalışmaları	113
Yersel Fotogrametri ve Yakın Mesafe Fotogrametri Çalışmalarında Kamera Ayarlamalarında Dikkat Edilmesi Gerekenler	114
Yersel Fotogrametride Resim Çekilmesinde Dikkat Edilecekler	115
Uygulamalar.....	119
Sayısal Orto Görüntüler Kullanılarak OrtoMozaik Harita Oluşturmak.....	125
Dijital Görüntü Üzerinde İyileştirme Çalışmaları	144
Görüntü Zenginleştirme.....	144
Görüntü Keskinleştirme.....	144
Kaynakça.....	145

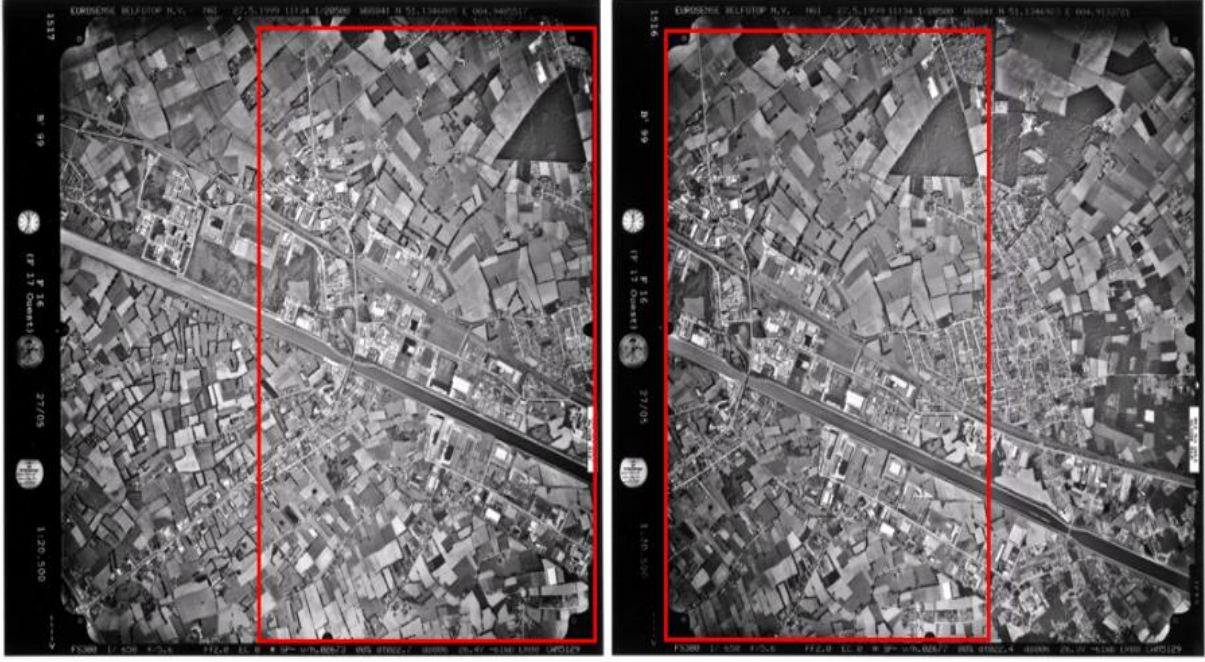
Sayısal Görüntü

Dijital resim var olmadan evvel harita yapımı amaçlı kullanılan (hava fotogrametrisinde ve uzaktan algılamada) görüntü (image) fotoğraf olarak fiziksel kayıt formunda parça kâğıda veya kimyasal yüzeyle kaplı filmlere kaydedilirdi. Bu tip görüntüler analog görüntü olarak adlandırılırdı. Analog görüntü denmesinin nedeni, elde edilen sonuç fotoğrafta, çekilen sahnedeki parlaklık (brightness) değerinin fiziksel kayıt ortamına benzer (analogous) şekilde aktarılmasından kaynaklı olmasıdır (Campbell & Wynne, 2011).



Şekil 1

Şekil 1 hava fotogrametrisiyle elde edilmiş bir görüntünün fiziksel ortamda kayıt altına alınmış şeklini tasvir eder. Şekil 2 ortak alanlara sahip peşi sıra çekilmiş analog hava fotoğraflarını temsil ediyor. Analog fotoğraflar siyah – beyaz veya renkli olabiliyor. Belirlenen güzergâh doğrultusu boyunca Şekil 2 'deki sol fotoğraf zaman olarak önce çekilmiş, sağ fotoğraf peşi sıra sonra çekilmiştir. İki fotoğraf stereo görüntü (3 boyutlu görüntü) elde etmek için kırmızı ile gösterilmiş ortak alanlara sahiptir.



Şekil 2 (SEOS 3d-modellen, 2008)

Altta yazılarda sayısal görüntüye dair tanımlar mevcuttur:

Sayısal görüntü (Digital image), analog fotoğraftan farklı olarak fiziksel ortamdaki sahneyi her biri bağımsız değere sahip resim elemanlarının (pikseller) oluşturduğu dizilerden oluşan görüntüdür (Campbell & Wynne, 2011).

Sayısal görüntü, fiziksel ortamdaki sahnenin bilgisayar uyumlu olarak resim şeklinde sunulmasıdır. Bu sunumda görüntü muntazam karelere (hücre) bölünmüş resim elemanlarına (hücre = piksel) ayrılmıştır. Sayısal görüntü gri seviyesi veya karanlık derecesi değerini ifade eden bir dizi tamsayıdan oluşur, ki bu tam sayı değeri resim elemanı olarak ifade edilen pikselde tutulur. Sonuç görüntü on binlerce veya milyonlarca pikselden oluşabilir. (Wolf, Dewitt, & Wilkinson, 2014).

Yukarıdaki farklı kişilerce yapılmış sayısal görüntü tanımlarını bir araya getirdiğimizde ortak bir tanı olarak: Sayısal görüntü (digital image), fiziksel ortamdaki sahnedeki parlaklık değerlerini, ya da diğer bir deyişle gri değer aralığına denk gelen parlaklığı, ifade eden sayısal değeri tutan resim elemanlarının (pikseller) oluşturduğu dizilerden oluşur. Her bir piksel fiziksel objelerden yansıyan parlaklığa ait sayısal değeri tutacağı için parlaklık değerleri kesin sonuçları ifade etmelidir. Bu sebeple parlaklık değerleri tam sayılarla temsil edilir.

Sayısal görüntü iki boyutlu bir fonksiyon $f(x,y)$ ile tanımlanabilir. $f(x,y)$ fonksiyonunun parametreleri olan x ve y konum (düzlem) koordinatlarıdır. Bu koordinatlar resim elemanı pikselin (hücre) resim üzerindeki konum değeridir. $f(x,y)$ fonksiyonunun dönen sonucuda, resimde o noktadaki (pikseldeki) yoğunluk veya gri düzeyidir (Gonzalez & Woods, 2008).

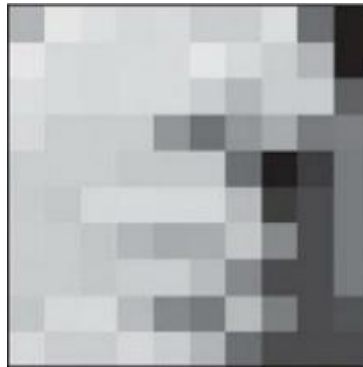
Bir görüntü (resim, fotoğraf,...) gerçekteki objenin veya sahnenin 2 boyutlu temsil edilmesinden oluşur. Temsil edilen görüntüdeki bilgi, parlaklık tonu veya renktir. Sayısal görüntü, iki boyutlu dizilerden (matris) oluşur. **İki boyutlu dizinin her bir hücresi piksel olarak adlandırılır ve pikselde tutulan sayısal değer parlaklığı ifade eder.** Bir sayısal görüntü (iki boyutlu diziler -matris-) satırlar ve sütunlardan oluşur. Pikselin konumu satır ve sütun değeriyle belirlenir (Liu & Mason, 2016).

Yukarıdaki iki paragrafta sayısal görüntünün, iki boyutlu dizilerden oluştuğu ve dizilerdeki hücreleri temel eleman olan piksel olarak ifade edildiği ve piksel içinde tutulan sayısal değer görüntüdeki objeye ait parlaklığı veya gri tonu ifade etmekte kullanılan sayısal değer olduğu yinelenmiştir. Ek olarak her bir pikselin sayısal resim içinde satır ve sütun ile konumlandırıldığı belirtilmiştir.

Şekil 3 örneği incelendiğinde Özgürlük Heykeli'ne ait (a) sayısal görüntüsü 72 satır ve 72 sütundan oluşmaktadır. 72 satır ve 72 sütun içinde pikseller fiziksel objeden yansıyan parlaklık değerlerini tutmakta ve bu değerleri depolama alanında tam sayı değerler ile ifade etmektedirler. Şekil 3 (b) resminde, (a) resmindeki obje heykelinin sadece ağız kısmına denk gelen kısım çıkartılarak elde edilmiştir. (b) resmi 10 satır ve 10 sütundan oluşmaktadır ve her bir pikseldeki parlaklık değerinin tam sayı karşılığı (c) resminde temsil edilmiştir.



(a)



(b)

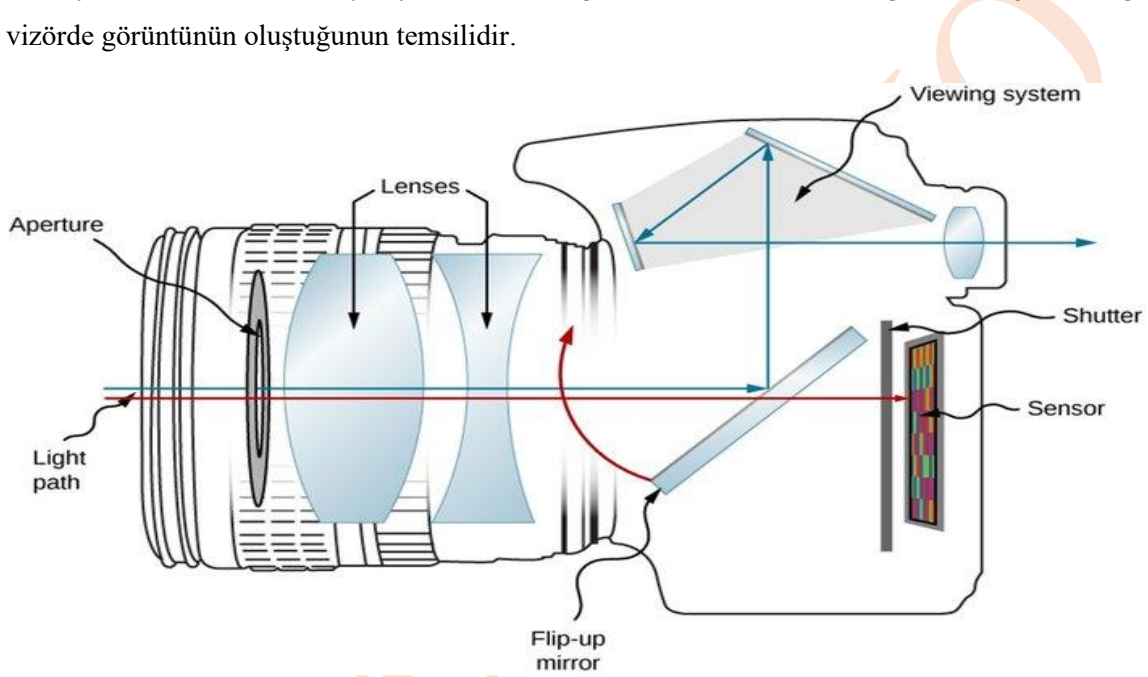
190	237	234	223	227	220	219	231	115	2
237	227	223	228	229	237	229	219	190	1
231	227	223	227	229	219	196	216	217	96
229	218	220	219	160	120	164	183	127	136
219	218	219	213	214	210	113	2	54	127
217	213	223	227	223	222	199	54	70	128
219	217	207	196	183	187	207	149	74	126
217	216	210	218	217	203	145	70	73	127
207	223	227	203	145	127	200	136	75	80
227	219	218	223	219	190	115	70	71	74

(c)

Şekil 3 (Wolf, Dewitt, & Wilkinson, 2014)

Dijital Kamera ve Kamer Ayarları

Analog makinelerde film yüzeyine veya dijital makinelerde sensör yüzeyi üzerine düşecek obje görüntüsünü vizöre yansıtan kamera çeşidine Single Lens Reflex (tek mercek yansıtma) kamera denir. Single Lens Reflex kameralar için SLR kısaltması kullanılır. SLR kameralarda sensör kullanıp dijital resim elde edildiğinde kameranın adı Dijital Single Lens Reflex (DSLR) kamera olarak anılmaktadır (Şekil 4). Sahnedeki objeden yansıyan ışık ilk olarak objektiften geçer, gövde içindeki aynadan yansır ve vizöre görüntünün iletilmesini sağlayan prizma içine düşer. Işık prizma içinden vizöre gelir. Reflex kelimesi yansıtma anlamı taşır. Ayna yansıtma işlemi görür. Şekil 4 mavi ışın doğrultusu objektiften giren ve vizörde görüntünün oluştuğunun temsilidir.



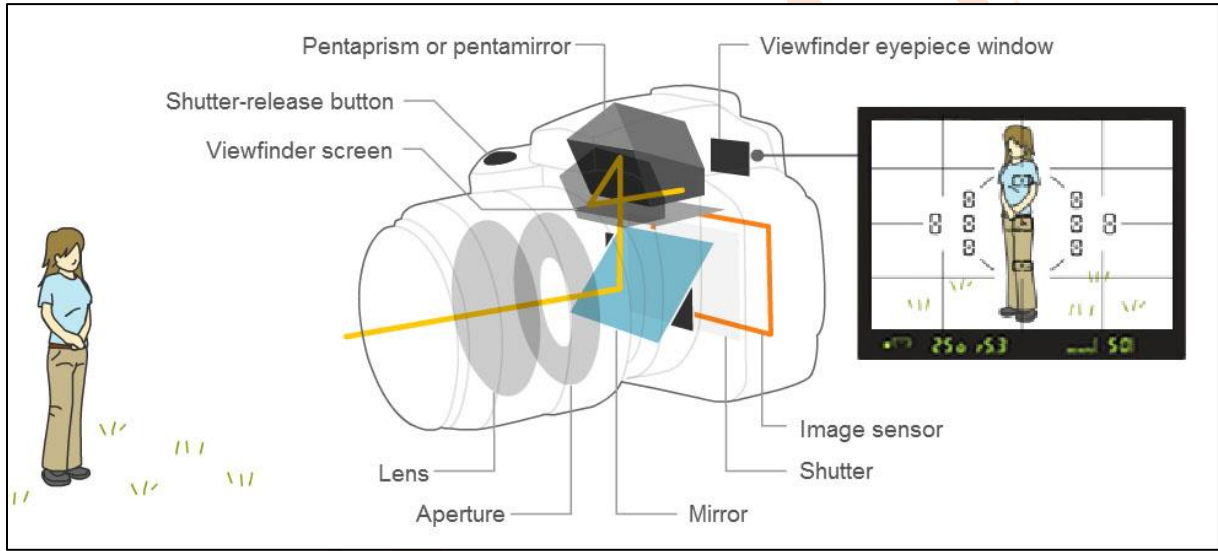
Şekil 4 (Finkbeiner, Mastering Your Camera Controls, 2021)

Vizör (bacaç), sahnedeki görüntünün sensör yüzeyine düşecek sonuç durumunun izlendiği kamera kısmıdır (Şekil 5 (kameranın arka kısmına dair görüntü)).



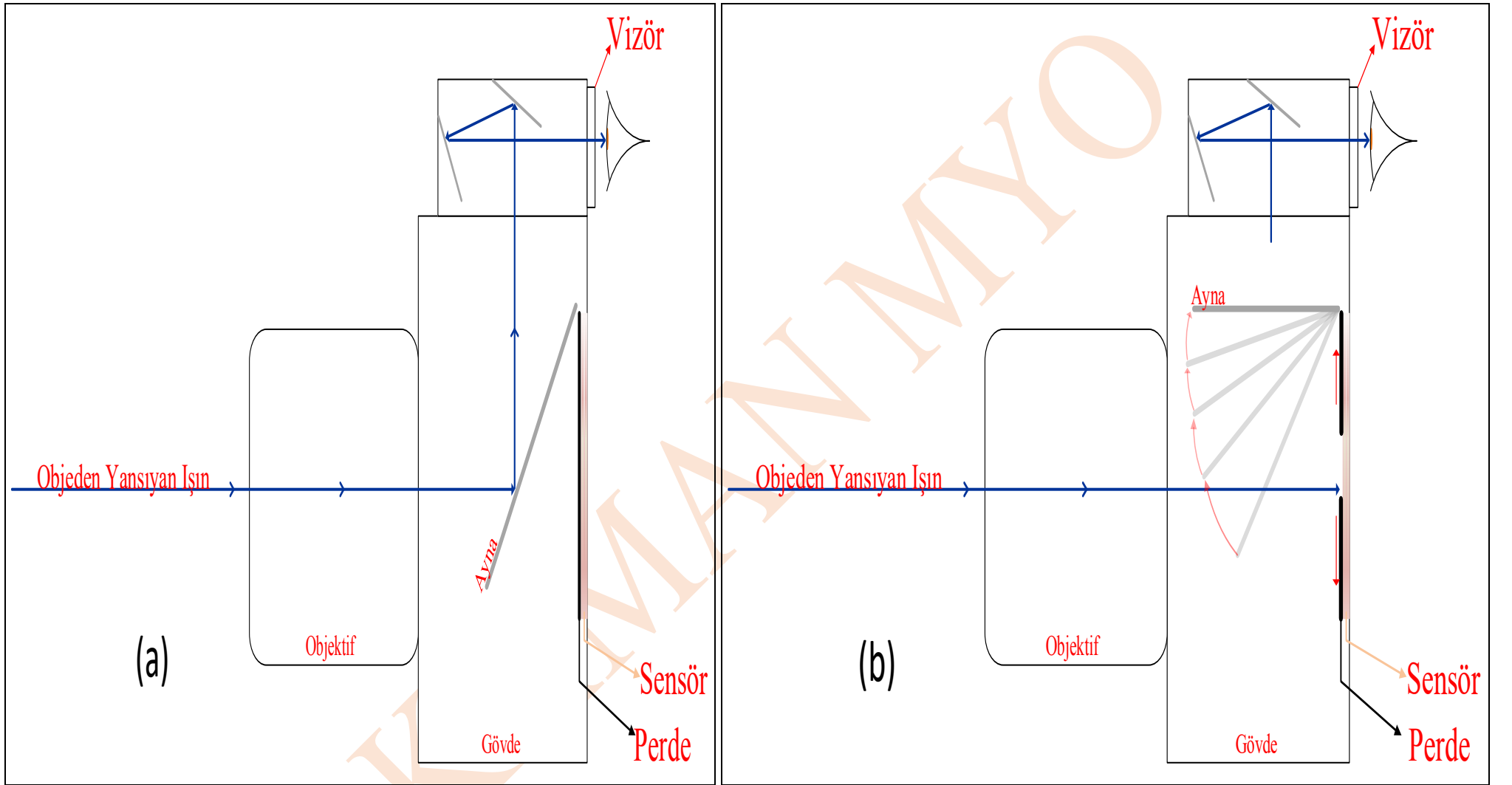
Şekil 5 (kameranın arka kısmına dair görüntü)

DSLR Kameranın Çalışma Prensibi

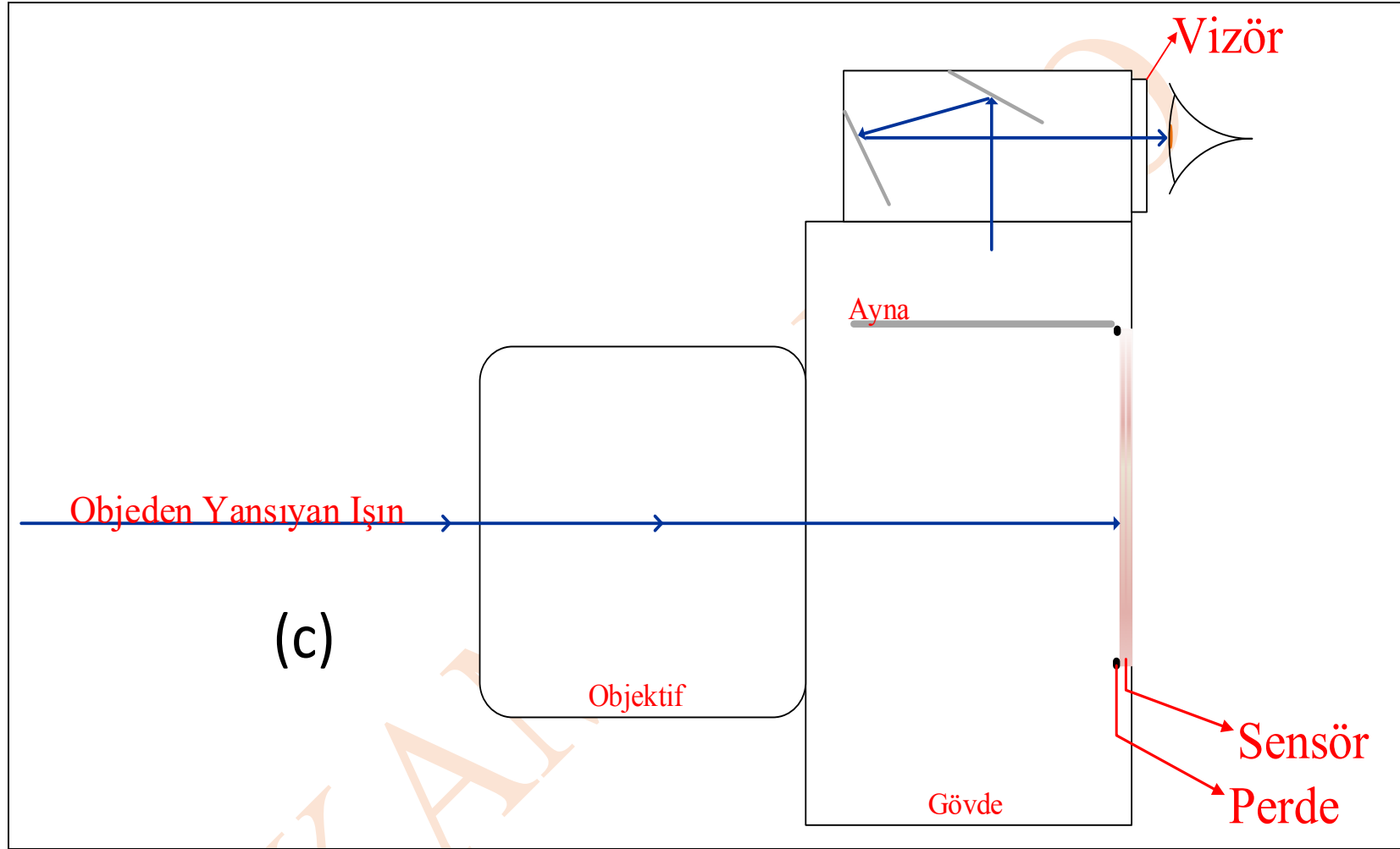


Şekil 6 (Ranjan, 2021)

DSLR makine çalışma prensibinde, ışın objektiften geçtikten sonra aynaya çarpar, aynadan yansıyan ışın vizöre gidecek şekilde farklı aynalardan yansıyarak vizör için girer ve fotoğrafçı sensör yüzeyinde oluşacak görüntüyü, görüntü kaydolmadan, görür (Şekil 7 (a)). Fotoğrafçı optüratör düğmesine (deklanşör) bastığında ayna yukarı yönlü hareket edip ışığın sensör yüzeyine doğru gitmesini sağlar (Şekil 7 (b)). Bu işlemler esnasında optüratör (perde = shutter =enstantane) açılır ve objeden yansıyan ışınlar sensör yüzeyine düşer (Şekil 8 (c)). Perdenin belirlenen açılıp kapanma hızı kadar perde açık kalır ve sonrasında kapanır. Perde kapandıktan sonra ayna tekrar eski yerine gelir ve Şekil 7 (a) temsilini yeniden oluşturur.



Şekil 7



Şekil 8

DSLR Kamera Parçaları

DSLR kamera temelde iki ayrı parçadan oluşur. Bu parçalar

- Lens yapısı ve diyaframı içeren **Objektif Mekanizması**,
- Sensör mekanizması ve perdeyi (optüratör = shutter = enstantane) içeren **Gövde** parçalarından oluşur (Şekil 4).

Gövde ve objektif birbirlerine gövdedeki montaj yuvası sayesinde monte olurlar. Her kamera markasının sensör boyutuna göre, objeden yansıyan görüntüyü tümüyle sensör yüzeyine düşmesini sağlayacak objektif bulunur. Bu sebeple fotoğraf çekmek için satın alınan kameranın kendi aynı marka objektifleri kullanılır.



Şekil 9

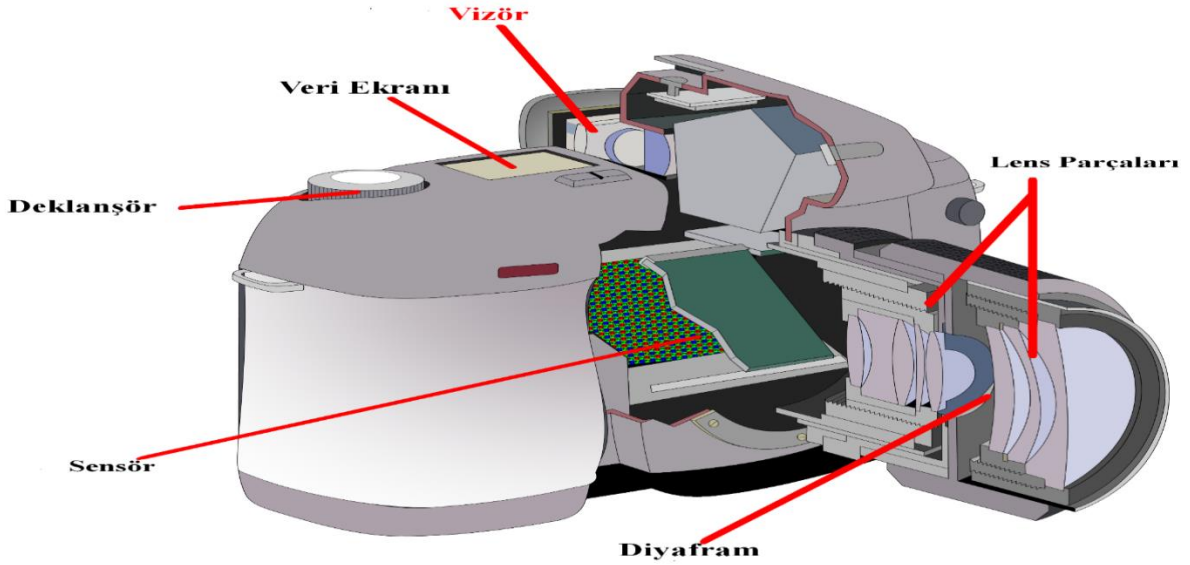
Sonraki konularda objektif ve gövde yapısı incelenirken hem donanımlarının özellikleri incelenecek hem de bu donanımların harita yapımı veya üç boyutlu obje oluşturma amacıyla kullanımda dikkat edilmesi gereken hususlara değinilecek.

Objektif Mekanizması

Kamera gövdesi ve objektif birbirlerine monte edildiğinde oluşan bütün haline kamera denir. Objeden yansıyan ışığın kameraya ilk girdiği kısım objektiftir. Objektif mekanizması lens parçalarından oluşan lens grupları ve diyafram mekanizmasını taşır (Şekil 10).

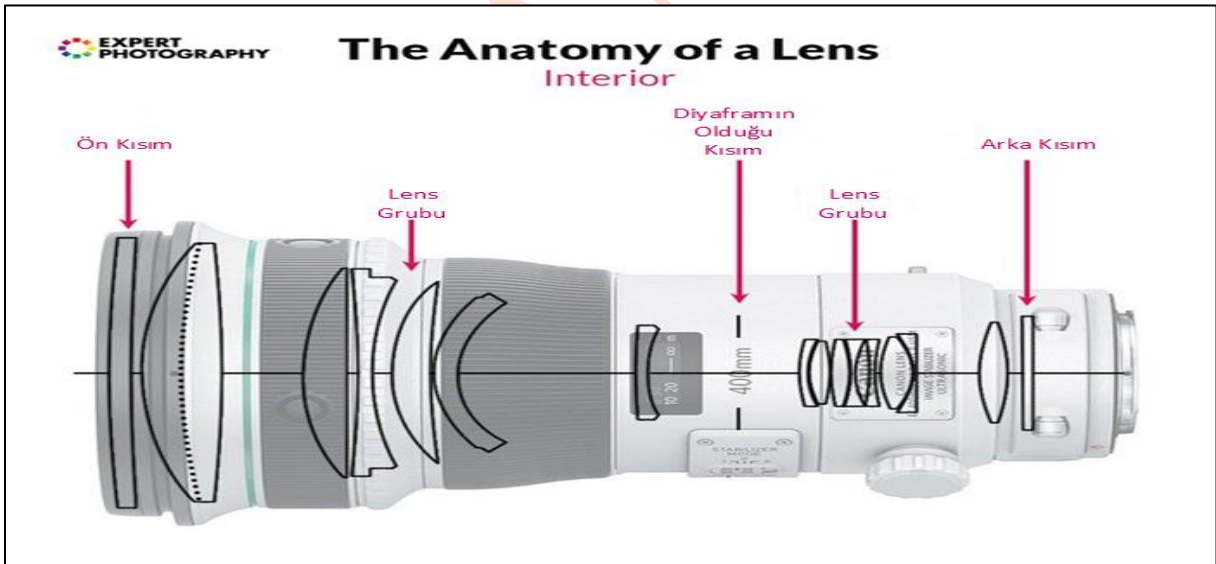
Objektif içindeki lens grupları sayesinde sensör üzerinde oluşan görüntüde sahneye yaklaşma veya sahnedan daha uzaklaşma sağlanır. Lens grupları sayesinde sensör üzerine düşen görüntünün netliğini sağlama işlemleri yapılır.

Objektif içindeki diyafram mekanizmasının kısılıp açılması sayesinde, objektiften geçecek ışık miktarının belirlenmesi sağlanır. Diyaframın kısılıp açılmasıyla görüntüde odaklanılan objenin daha keskin hatlara sahip olması ya da görüntünün tamamının daha net görünmesi sağlanır.



Şekil 10 (By astrocog - own work, Wikipedia, 2021)

Şekil 11 dar açılı bir objektifin iç yapısının temsilidir. Objektif birden fazla lens grubundan oluşabilir. Eğer kullanılan objektif içindeki lens grubunun yeri objektif sabitken değiştirilebiliyorsa, lens grubu ile sensör yüzeyi arasında kalan mesafe (objektifin odak uzaklığı) değiştirilmiş olur. Bu sayede sensör yüzeyinde oluşan görüntüdeki objeye yaklaşılr veya bir önceki görüntüye göre objeden uzaklaşılabılır. Bu işleme objektifin **optik yakınlaştırma (zoom)** özelliği denir.



Şekil 11 (Expertphotography, 2021)

Lens grubunun yerinin değiştirilmesi işlemi için objektif üzerindeki zoom halkasının kendi etrafında döndürülmesi gerekir (Şekil 12 9 numaralı parça). Objektif üzerinde görüntüde objeye yaklaşma dışında görüntü netliği de sağlanır. Sensör üzerinde oluşan görüntünün daha net olması için objektif üzerindeki netlik halkası kullanılır (Şekil 12 10 numaralı parça).



Şekil 12 (Canon, 2021)

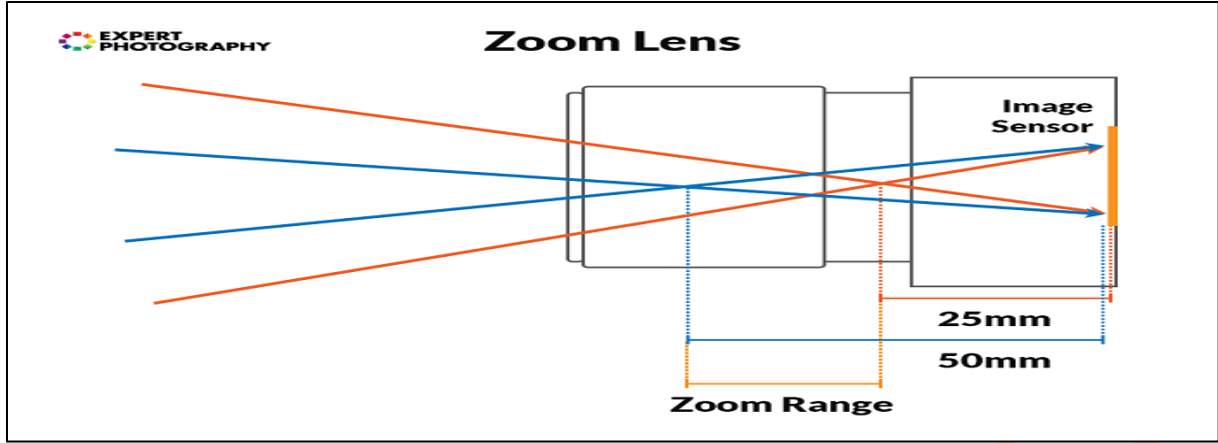
Objektifin Odak Uzaklığı

Lens grubunun objektif içinde bulunduğu yer ile görüntünün oluştuğu yüzey arasında kalan uzaklığa *objektifin odak uzaklığı* denir. Temel olarak iki çeşit objektif grubu vardır. Bu gruplar:

- Değiştirilebilir odak uzaklıklı (zoom) Objektif,
- Sabit odak uzaklıklı Objektifler.

Eğer objektifin içindeki lens grubunun yeri değiştirilir ve sonuç görüntüdeki objeye yaklaşılır veya bir önceki görüntüye göre uzaklaşırsa, odak uzaklığının değeri değişmiş olur. Odak uzaklığının değiştirilebilir olduğu objektif grubuna **Değiştirilebilir Odak Uzaklıklı (Zoom) objektif** denir. Şekil 12 9 numara ile gösterilmiş zoom halkası objektifin odak uzaklığını değiştirmek için kullanılmaktadır.

Şekil 13 odak uzaklığı değişebilen bir objektifi temsil eden bir kamera şeklidir. Objektif içindeki lens grubunun yeri ile sensör arasındaki mesafe (odak uzaklığı) 25 mm değerindeyken, zoom halkası yardımı ile objektif içindeki lens grubunun odak uzaklığı değiştiriliyor. Bu sayede objektifin odak uzaklığı 50 mm oluyor.



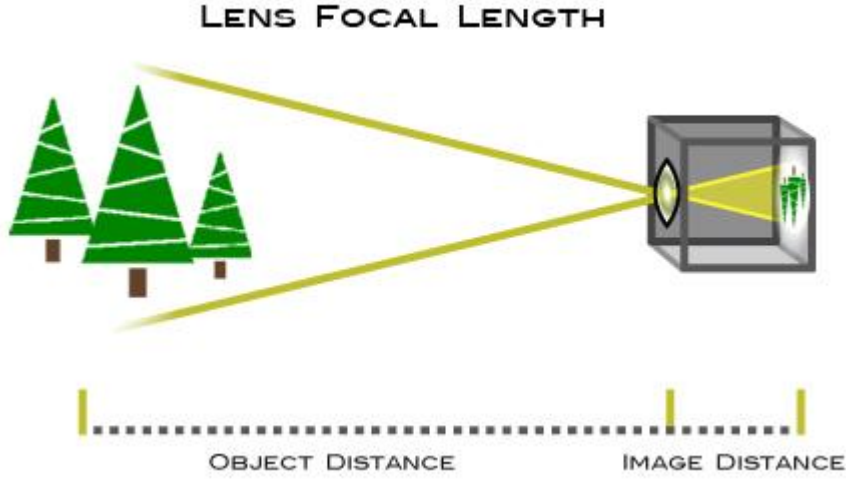
Şekil 13 (Holtzer, 2021)

Bazı objektif türlerinde görüntüdeki objeye yaklaşma veya bir önceki görüntüye göre uzaklaşma özelliği (zoom özelliği) yoktur. Objektifte yer alan lens grubu ile görüntünün oluştuğu sensör yüzeyi arasındaki odak uzaklığı sabittir. Bu tip objektif türüne **sabit odak uzaklıklı objektif** denmektedir. Şekil 14 sabit odak uzaklığına sahip bir lens örneği temsilidir. Sabit odak uzaklıklı bir lenste (prime lens) sadece netlik halkası bulunmaktadır. Şekil 14 örneğinde 50 mm odak uzaklıklı bir lens örneği bulunmaktadır.



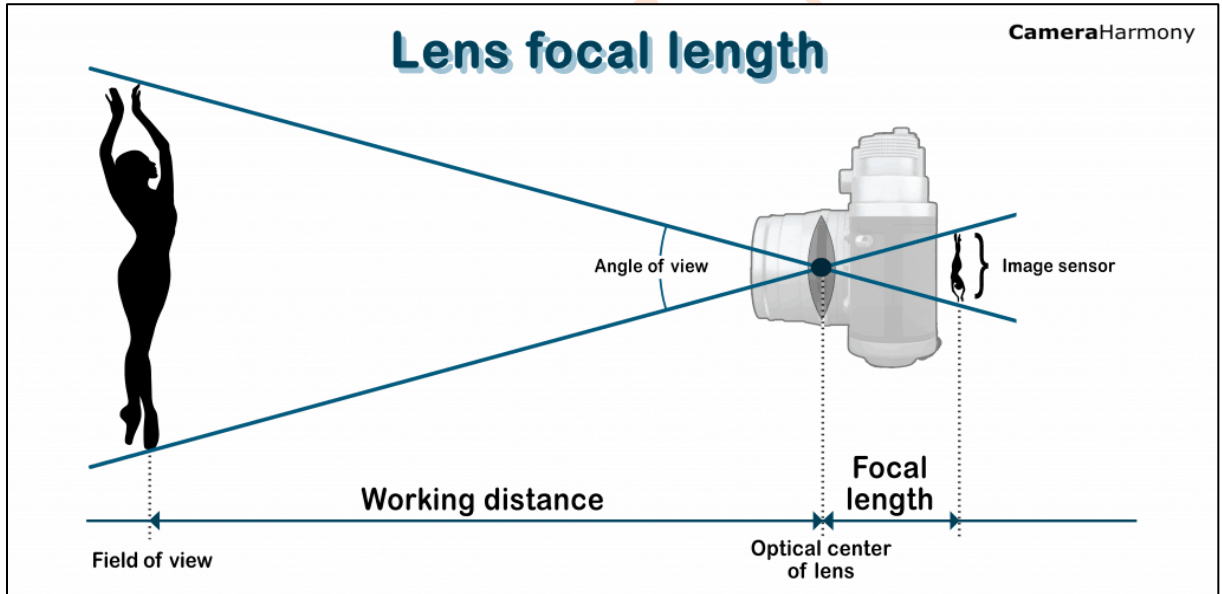
Şekil 14

Genellikle milimetre (mm) uzunluk biriminde ifade edilen odak uzaklığı (örneğin, 28 mm, 50 mm veya 100 mm), bir objektifin temel tanımıdır. Bu, bir merceğin gerçek uzunluğunun ölçümü değil, ışık ışınlarının bir nesnenin keskin bir görüntüsünü oluşturmak üzere birleştiği noktadan kameradaki odak düzleminde dijital sensöre veya 35 mm filme olan optik mesafenin hesaplanmasıdır (Şekil 15). Bir merceğin odak uzaklığı, mercek sonsuza odaklandığında belirlenir (BERKENFELD, 2021).



Şekil 15 (BERKENFELD, 2021)

Görüntünün objektifte birleştiği odak noktası lensdir. **Odak uzaklığı lens ile görüntünün oluştuğu sensör arasında kalan kısımdır (Şekil 16)**. Kameranın odak uzaklığı, objeye odaklandığı anda mercek ile görüntü sensörü arasındaki *milimetre* cinsinden mesafedir (Nikon, 2021).



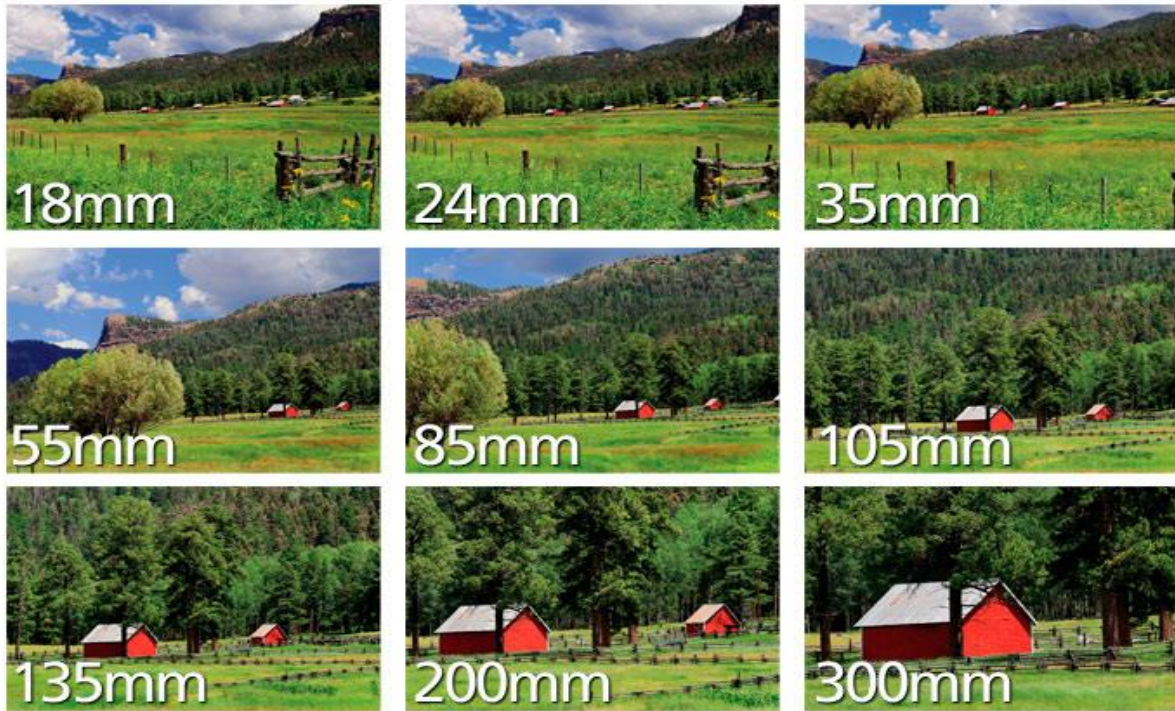
Şekil 16 (Gintaras, 2021)

Zoom lensler söz konusu olduğunda hem minimum hem de maksimum odak uzunlukları belirtilir. Objektifteki lens uzaklığı objektif ön kısmı üzerinde belirtilir (Şekil 17). Şekil 17 ve sağ resimde bir zoom objektif örneğinin temsili vardır. Objektifin en küçük odak uzaklığı 18 mm ve en büyük odak uzaklığı 55 mm olduğu gösterilmiştir. Şekil 17 ve sol resimde sabit odak uzaklıklı bir objektif örneği verilmiştir. Sadece 50 mm değeri odak uzaklığının sabit olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 17 (Gray, 2021) ve (Nikon, 2021)

Objektifin odak uzaklığı, bize o objektifin görüş açısını (sahnenin ne kadarının çekileceğini) ve büyütme- tek tek öğelerin ne kadar büyük olacağını söyler (Şekil 18). Odak uzaklığı değeri milimetre olarak büyüdüğü takdirde, görüş açısı o kadar dar ve objeye yaklaşma o kadar yüksek olur (Şekil 18). Odak uzaklığı milimetre olarak azaldığında, görüş açısı o kadar geniş (Şekil 18 18 mm) ve yakınlaşma azalır daha geniş bir görüntü oluşur (BERKENFELD, 2021).

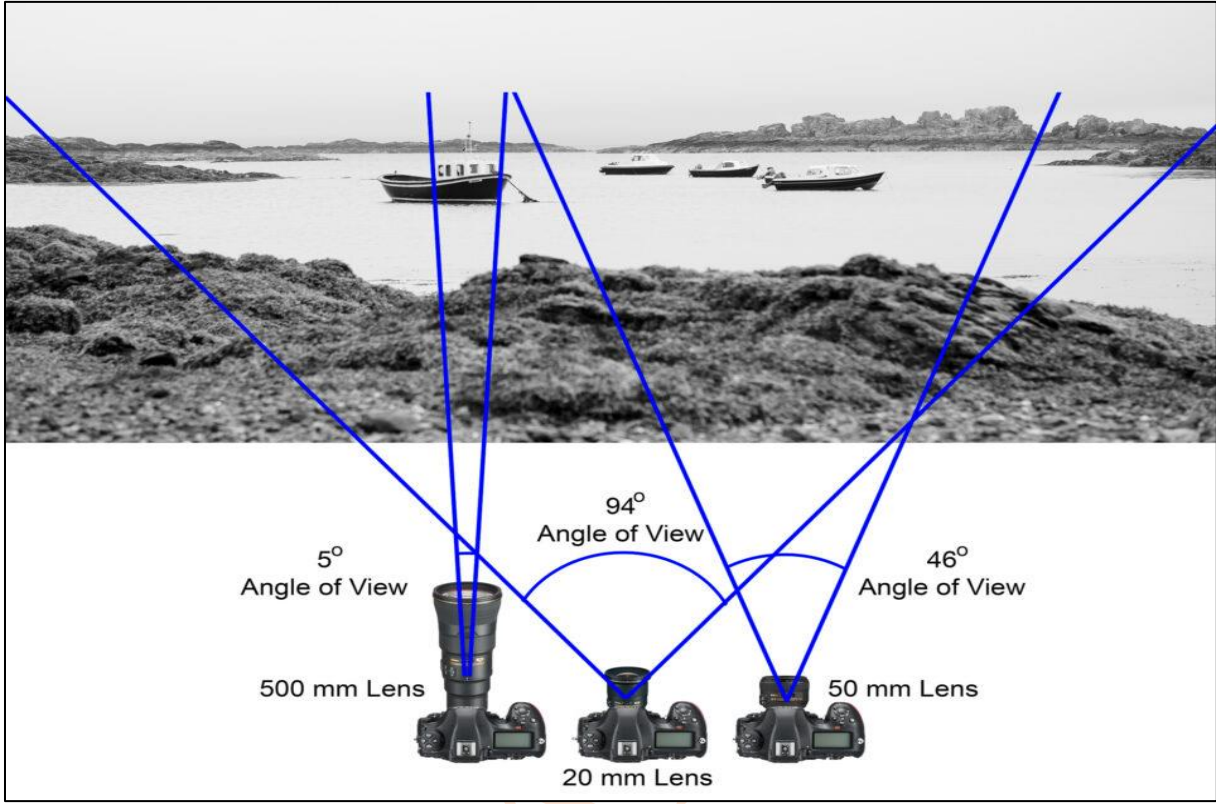


Şekil 18 (BERKENFELD, 2021)

Objektifler odak uzaklıkları ve bu odak uzaklıklarının sağladığı görüş açlarına göre sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırmaya göre:

- Dar Açılı objektifler (50 mm'den daha büyük odak uzaklığına sahip objektifler),

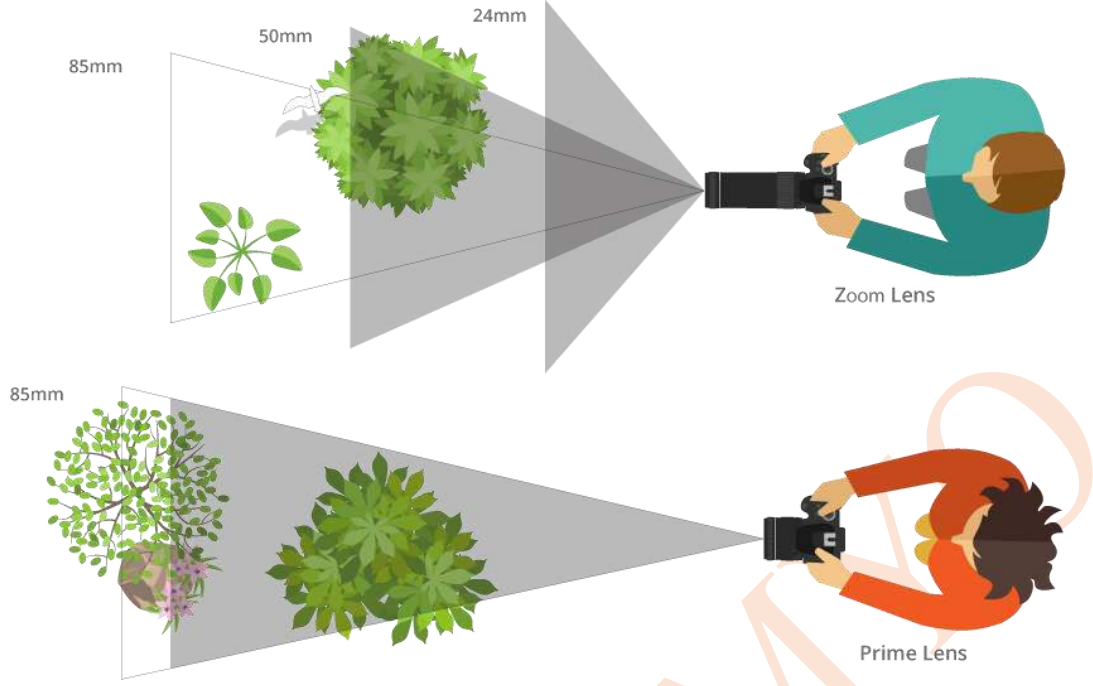
- b) Geniş açılı objektifler (24 mm ile 35 mm arasında odak uzaklığı olan objektifler),
- c) Balık gözü objektifler (Ultra geniş açılı) 24 mm'den küçük odak uzaklıklı objektifler,
- d) Normal açılı objektifler (50 mm odak uzaklıklı objektifler),



i İnsanın tek bir gözünün gördüğü görüş açısı 46°'dir. Normal açılı objektifler (50 mm odak uzaklıklı objektifler) insan görüş açısına sahiptir. Harita yapımı amacıyla çekilecek görüntüler için kullanılacak kameraya seçilecek objektifin odak uzaklığı değerleri 35 mm ile 50 mm aralıkta olan objektiflerin seçilmesi daha uygun olacaktır. Harita yapımı için kullanılacak objektif sabit odak uzaklıklı olmalı. Eğer değişken odak uzaklıklı bir objektif kullanılacaksa tüm çekim boyunca zoom yapılmadan objektif sabit odak uzaklığına ayarlanmalıdır.

i Sensör konusu işlenirken odak uzaklığının seçimi bir daha işlenmesi gerekecektir. Çünkü tam kare sensör boyutundaki sensöre sahip kameralar ile kırılmış sensöre sahip kameraların odak uzaklıklarında farklılıklar oluşacaktır.

Şekil 19 değiştirilebilir odak uzaklığı olan 24 mm ile 85 mm odak uzaklıkları arasında kalan bir objektifin odak uzaklığı değişimiyle görüş açısının da değişimini göstermektedir. Ayrıca Şekil 19 (alt resimde) 85 mm sabit odak uzaklıklı bir objektif örneği verilmiştir.



Şekil 19 (Vorenkamp , 2021)



Harita yapımında kullanılacak görüntülerin elde edilmesinde objektif kullanırken dikkat edilmesi gerekenler:

- Objektifin odak uzaklığı tüm çekim esnasında sabit olmalıdır, zoom işlemi yapılmamalıdır,
- Görüntüsü elde edilecek olan coğrafik obje ile kamera arasındaki mesafenin sabit tutulması gerekir.



Yukarıda belirtilen iki kriter de sonuç görüntünün ölçeğini değiştirecektir.

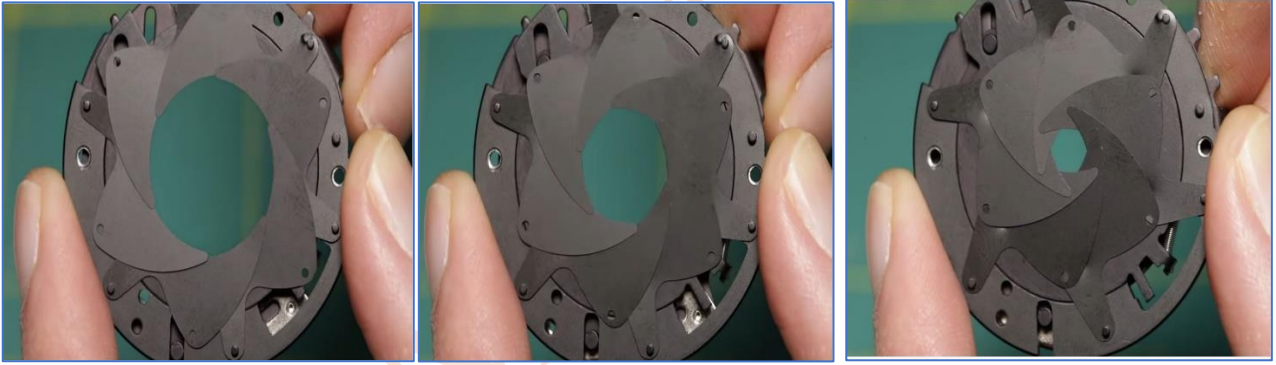
Objektif İçindeki Diyafram (Aperture) Mekanizması ve Diyafram Açıklığının Belirlenmesi:

Diyafram, objektifin içinde olan mekanik bir mekanizmadır (Şekil 20). Diyafram iç içe geçen diyafram bıçaklarından oluşur.



Şekil 20 (Chen, 2021)

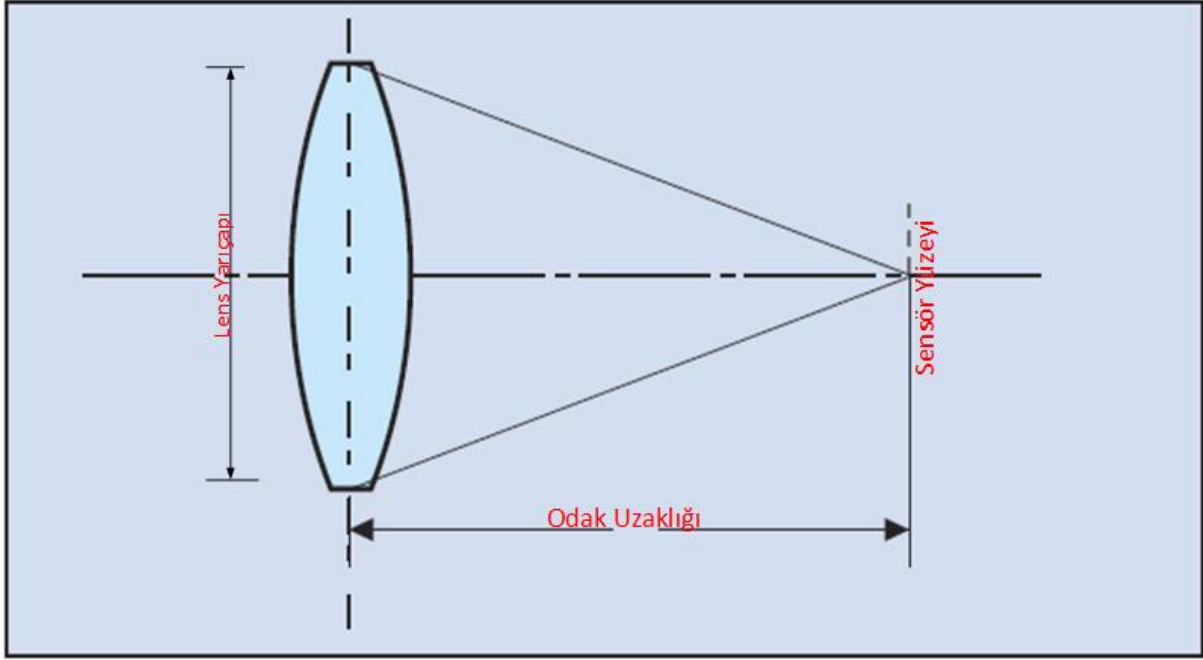
Diyafam bıçaklarının iç içe geçen mekanizması sayesinde, *diyaframın ilk görevi olan objektiften sensör düzlemine gidecek olan ışık miktarı belirlenir*. Diyafram bıçaklarının ortasında kalan boşluğa diyafram açıklığı denir. Şekil 21 objektif içinden diyafram mekanizmasının çıkarılmış görselidir. Şekil 21 en sol resimde diyafram bıçaklarının mekanizması hareket ettirilerek diyafram açıklığı artırılmış, orta resimde diyafram açıklığı bir önceki açıklığa göre küçülmüş, en sağ resimde ise diyafram açıklığı en az olacak şekilde mekanizma çalıştırılmıştır. Diyafram açıklığı büyüdüğünde sensör yüzeyine daha çok ışık girecek; diyafram açıklığı küçüldüğünde sensör yüzeyine daha az ışık girecektir.



Şekil 21 (DDPPhotoTips, 2021)

Diyafam değeri açıklığını ifade ederken objektifin odak uzaklığı (f) ve objektifteki lens yarıçapı (D) değerleri kullanılır. Aşağıdaki formülün sonucu *diyafram açıklığının değerini* verecektir.

$$\frac{f}{D} = \text{diyafram açıklık değeri}$$



Şekil 22 (Panasonic Corporation, 2021)



Şekil 23

Objektiflerin üzerinde en büyük diyafram açıklığı değeri Şekil 23'de kare içine alınmış şekilde ifade edilir.

$$\frac{f}{(\text{diyafram açıklık değeri})} = D$$

Eğer objektifin odak uzaklığı değeri de biliniyorsa, yukarıdaki denklem kullanılarak objektif lens yarıçapı da elde edilmiş olur. Şekil 23 örneğindeki objektifin yarıçap değeri hesaplanırsa:

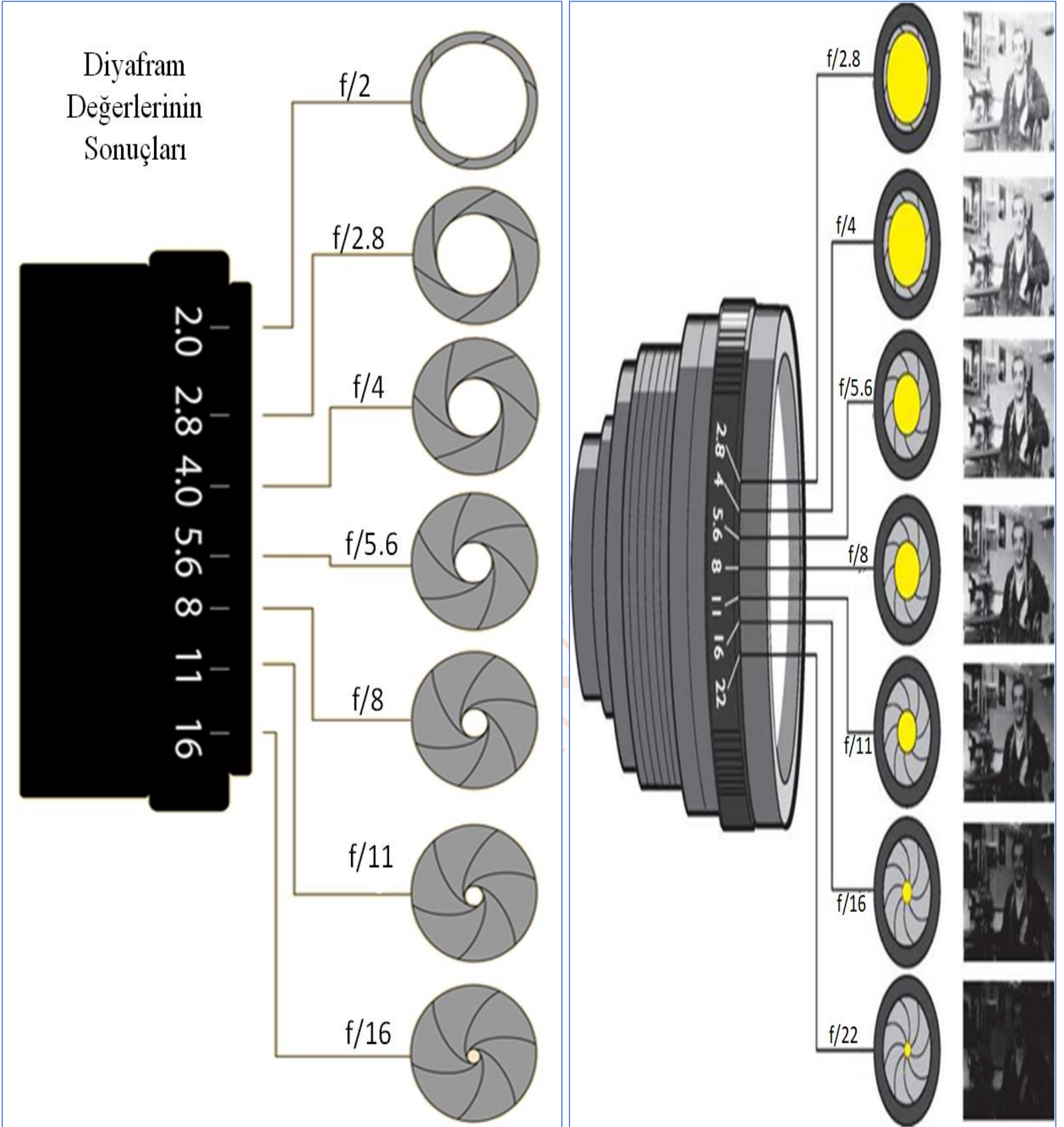
$$\frac{50\text{mm}}{1.8} = 27.8\text{ mm}$$

Diyafram açıklığı değeri bir oran katsayısıdır ve bir birimle ifade edilmez. Gösterim olarak:

$$f/(\text{diyafram açıklık değeri})$$

şeklinde gösterilir. Diyafram açıklığı değeri artarsa,

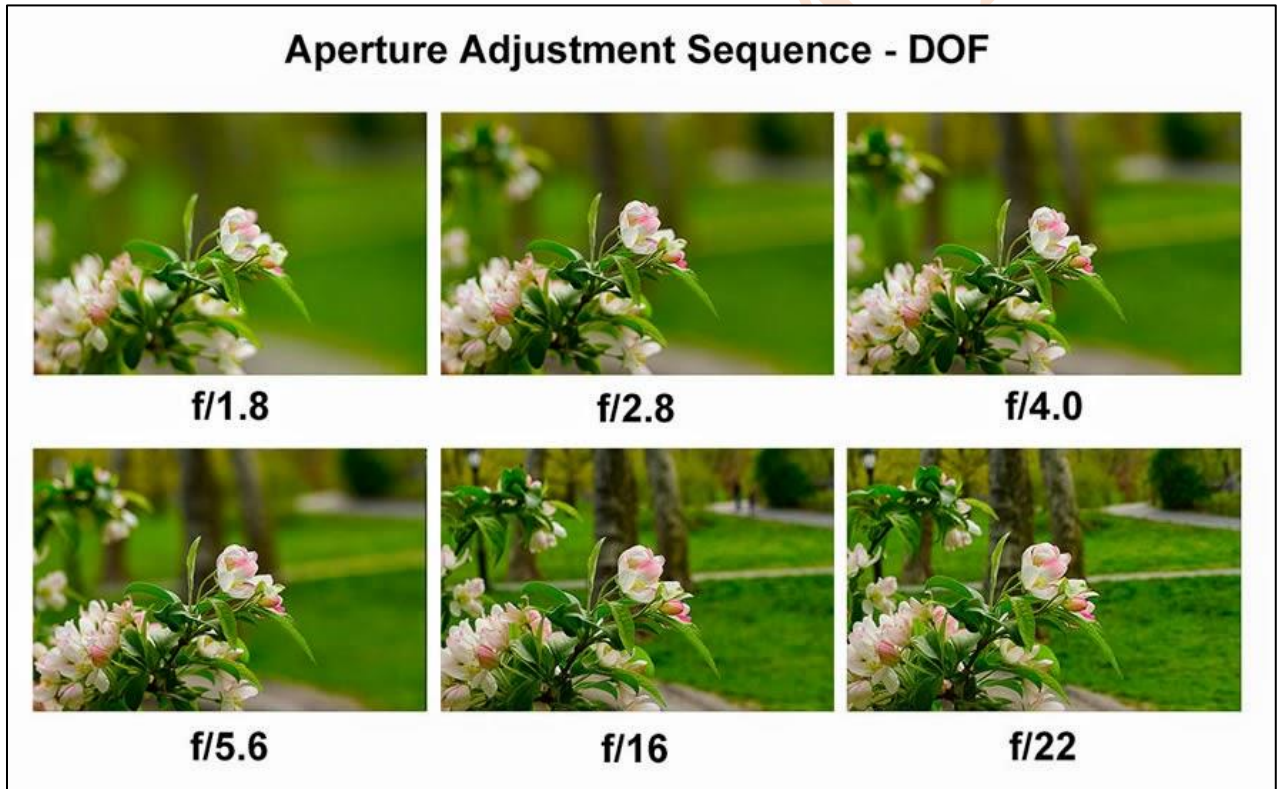
$f/(\text{diyafram açıklık değeri}) \rightarrow$ oran sonuç değeri azalacaktır. Bunun sonucu olarak da diyafram açıklığı küçülecek (daralacaktır). Şekil 24 sol resim diyafram açıklığı değerine göre diyafram açıklığının sonuç değerini, sağ resim ise diyafram açıklığına göre diyaframdan geçen ışığın miktarının resimdeki etkisini göstermektedir.



Şekil 24 (Georgia State University, 2021)

Diyaframın bir diğer görevi görüntüdeki *sonuç alan derinliğinin belirlenmesidir*. Alan derinliği, görüntüde odaklanılan objenin veya görüntünün tümünün görüntü netliğidir. Şekil 25 alan derinliği kavramına örnek bir görüntüdür. Görüntüdeki objeye odaklanıldığında diyafram aralığı değeri maksimum değere (sayısal olarak en küçük diyafram aralığı değeri) getirildiğinde, sadece görüntüde odaklanılan obje net bir şekilde görülecektir. Görüntüde odaklanılan objenin detayları daha keskin hatlara sahip olacaktır. Görüntüde odaklanılan obje dışındaki objeler net olmayacak ve detay keskinlikleri azalacaktır. Şekil 25 örneğinde $f/1.8$ görüntüsü buna örnektir.

Diyafram aralığı azaltılmaya başladığında (diyafram aralığı değeri artmaya başladığında, $f/2$ 'den $f/16$ 'ya doğru gittiğinde) görüntünün genelinde netlik oluşmaya başlıyor. Görüntüdeki objelerin genelinde obje keskin hatları daha belirgin olmaya başlıyor. Diyafram aralığı en düşük seviyeye doğru gittiğinde (Şekil 25 $f/22$ diyafram aralığı değeri örneğinde olduğu gibi) görüntünün geneli netleşiyor fakat bu seferde görüntüdeki objelerin hatlarında keskinlik azalıyor.



Şekil 25 (PIXELRAJEEV, 2021)



Harita yapımı amacıyla veya görüntüdeki objelerin üç boyutlu görüntüleri elde edilmek için çekilen görüntülerde, diyafram aralığı değeri $f/8$ ile $f/11$ arasında alınmalıdır. Diyafram açıklığının maksimum alındığında (Şekil 25 $f/1.8$ örneği), görüntüdeki objenin odaklanıldığı alan dışındaki kısımları net olmayacak, ilgili yazılımlarda mozaikleme veya görüntü eşleme işlemleri istenildiği sonucu vermeyecektir. Diyafram değeri en düşük alındığında (Şekil 25 $f/22$ örneği) ise, görüntüdeki odaklanılan obje dışında kalan kısımlarda da netlik

sağlanacak ve obje keskinlikleri azalacak. Bu yüzden obje detaylarına ait bilgileri elde ederken sıkıntı yaşanacaktır.

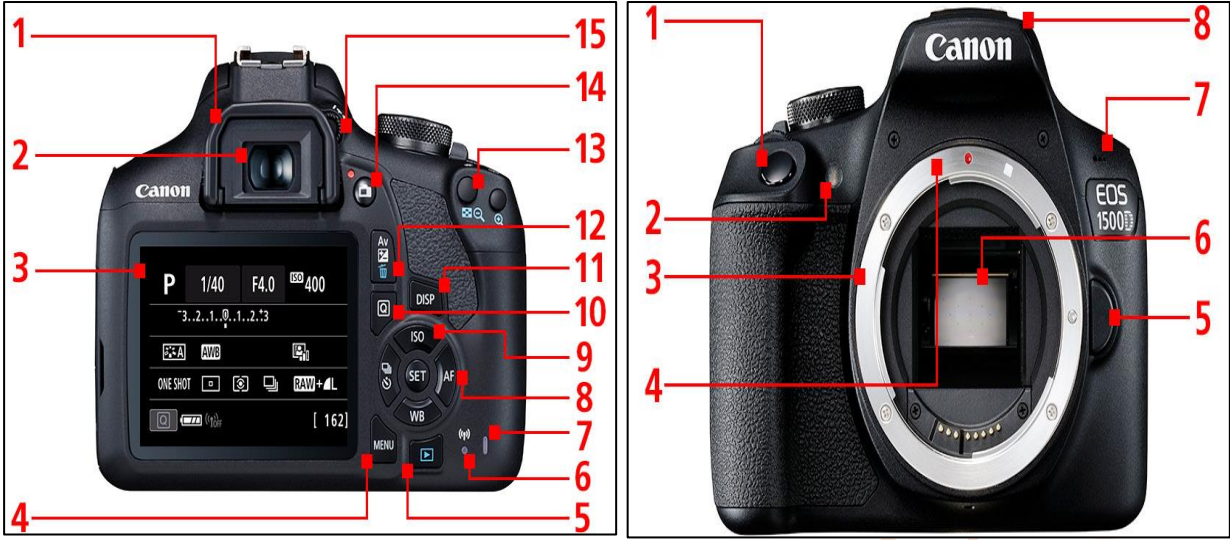
Kameranın Gövde Mekanizması

Kameranın ikinci kısmı gövdedir (Body). Gövde, sensör ve perde (optüratör = shutter = enstantane) mekanizmasını içeren kısımdır. Şekil 26’da objektif olmadan sadece gövde yapısını birden farklı açıdan örnek görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 26 (Canon, 2021)

Gövde yapısı sayesinde sahnedeki objeye odaklanması, gövdeye birleşen objektif içindeki diyafram ayarının yapılması, gövde içindeki perdenin açılıp kapanma hız ayarının yapılması, doğru pozlama yapılması ve kamera içinde var olan ek fonksiyon ayarlarının yapılması sağlanır. Şekil 27 kameranın hem ön hem de arka yüzüne ait temsili bir görüntüdür. Şekil 27 sol resimde 2 numara ile gösterilen gövde parçası vizör olarak adlandırılır. Vizör, sahnedeki objeden yansıyan ve objektiften geçen ışınların, aynaya çarptıktan sonra algılandığı yerdir (Şekil 7 C resmi). Fotoğrafi çeken kişi vizörde sonuç oluşacak görüntüyü görmektedir. Şekil 27 sağ resimde 1 olarak gösterilen düğme deklanşördür. Deklanşöre yarım basılması ile pozlama yapılır. Pozlama sonucunda objektiften giren ışık miktarı ölçülüp, diyafram ve perde ayarlamaları yaparak görüntü için olması gereken doğru pozlama ayarları gövde üzerinden yapılır.

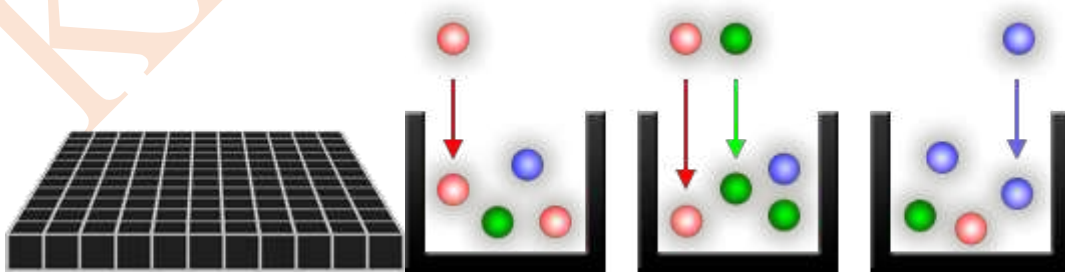


Şekil 27 (Canon, 2021)

Devam eden konularda gövde içindeki sensör teknolojisi ve perde mekanizması hakkında bilgi verilecektir. Ek olarak bu parçaların harita yapımı amacıyla çekilecek görüntülerdeki önemi ve dikkat edilmesi gereken kriterler anlatılacaktır.

Sensör Teknolojisi ve Sensör Teknolojisiyle Görüntünün Kaydedilmesi

Bir dijital kamera resmi kaydetmek için milyonlarca küçük ışık çukurları (piksel = hücre) kullanır. Kameranın deklanşör düğmesine basıldığında (Şekil 7) ayna mekanizması yukarı yönlü hareket eder ve sensör önündeki perde belirlenen süre boyunca açık kalır. Belirlenen süre boyunca perdenin açık kalmasıyla, boş hücrelerin her biri ışık fotonlarını bir elektrik sinyali olarak toplamaya ve depolamaya başlar. Önce pozlama biter, kamera her boşluğu kapatır ve sonrasında kamera her bir hücreye ne kadar foton düştüğünü elektrik sinyalinin gücünü ölçerek belirlemeye çalışır (Şekil 28 Işık Fotonlarını depolayan boşluklar (Hücre = Piksel)). *Elektrik sinyali gücü kayıt altına alınırken belirlenmiş bit değerlerine göre sayısal değerler ile değerlendirilip belirlenir ve kayıt altına alınır* (DIGITAL CAMERA SENSORS, 2019). Bu anlatımın yapıldığı teknoloji sensör olarak adlandırılır.



Şekil 28 Işık Fotonlarını depolayan boşluklar (Hücre = Piksel) (DIGITAL CAMERA SENSORS, 2019)

Sensör İçindeki Piksel Yapısı

Piksel (hücre), sensör yüzeyi üzerinde, kare düzgün geometrik şekliyle, satır ve sütun sıralamasıyla yerleşmiş birimlerdir. Sahnedeki objeden yansıyıp objektifin içinden geçen ışınlar, sensör yüzeyi üzerine düşerler. Sensör yüzeyi üzerindeki her bir piksel, kendine denk gelen ışığın parlaklık miktarını ölçme ve bu parlaklık değerinin miktarına karşılık gelecek tam sayı bir değerle kayıt altına alınmasını sağlar. Parlaklık değeri sayısal bir değer ile kayıt altına alınması için bir renk skalası ve o renk skalasındaki parlaklığa karşılık gelecek sayısal değer belirlenmelidir. Renk skalasının içindeki farklı parlaklık tonlarının sayısının artıp azalması sensör teknolojisine bağlıdır. Örneğin sensör teknolojisi sadece 256 farklı parlaklık tonunu kaydedebilir ya da 1024 farklı parlaklık tonunu kaydedebilir. Sensör içindeki pikseller parlaklık değerlerini gri ton skalasıyla kayıt altına alırlar. Sahnedeki objeden renkli parlaklık değerleri piksellere denk gelebilir. Piksel belirli renk uzayında (Örneğin Kırmızı – Yeşil – Mavi RGB renk uzayı) parlaklığı algılar ve renk uzayındaki her bir renk tonuna göre parlaklık kuvvetini ayrı ayrı tam sayı değerlerle kayıt altına almaya çalışır. Renk tonuna göre kayıt işlemini ayrı kayıt yaparken gri tonundaki parlaklıkla da kayıt altına alabilir. Sensör parlaklık değerlerini belirli sayı aralığını kullanarak kayıt altına alır. Örneğin piksel parlaklık değerini algıladı, belirlediği parlaklığın kuvvet değerinin 0 ile 255 arasında denk gelecek miktarı da belirler. Örnekte verilen sayı aralığı kamera teknolojisinin kabiliyetine bağlıdır. Bir kamera pikselin algıladığı parlaklıkları 0 ile 255 sayı arasında belirleyebilirken, farklı bir kamera parlaklığı 0 ile 1024 arasında bir sayı aralığında kaydedebilir.

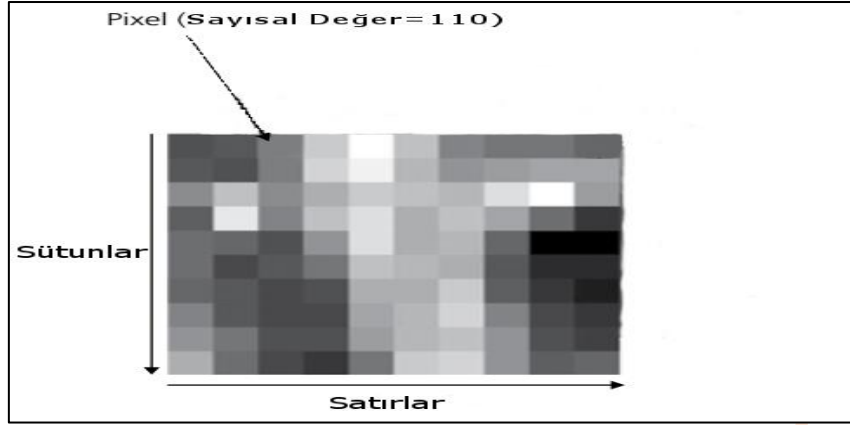
Sensördeki pikseller kameranın teknolojisinin kullandığı renk uzayındaki (örneğin RGB renk uzayı) her bir renk tonu için (sarı, mor, turkuaz,...) parlaklığı ayrı kayıt alma imkânı yoktur. Örneğin kırmızı renk tonu olan bir parlaklığı algıladığında parlaklık tonunu ölçer ve bu değeri kırmızı bant adı verilen renk uzayına göre ayrı kayıt ortamında saklar. Yeşil ve mavi parlaklık değerlerini de kendi bant ortamlarında saklar. Diğer renk tonları oluşturulurken, bu üç rengin karışımı ile diğer renkler elde edilir. Ama piksel ölçtüğü parlaklığı saklarken, gri tonu olacak şekilde ve ölçülen parlaklık miktarının gri renk skalasındaki parlaklık tonu karşılığına denk gelen sayısal değerle kaydedilmesini sağlar.



Sensör yüzeyindeki piksellerin boyutları, sensör yüzeyine düşen görüntünün her bir parlaklık değerini ayrı ayrı algılama ve görüntüdeki objenin detaylarına ayrı ayrı erişilmesi amacıyla çok önemlidir.

Görüntüdeki Resim Koordinat Sistemi (Pikselin Sensör Üzerindeki Adres Sistemi)

Sayısal görüntü satır ve sütunlar boyunca piksellerden oluşmuştur. Her bir piksel sahnedeki objeden yansıyan parlaklık değeri veya gri ton değeri ile kaplı/doludur. Gri ton değerleri (veya parlaklık değeri) **“tam sayı”** sayı tipinde bir değer ile bilgisayar tarafından anlaşılabilir şekilde ifade edilmektedir. Şekil 29 bir pikseli ve pikselin sayısal parlaklık değerini temsil eder.

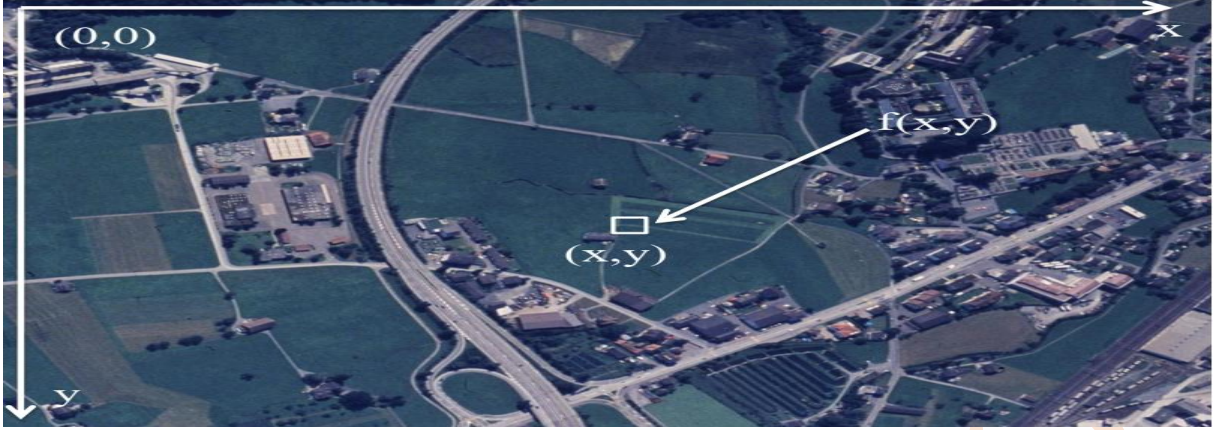


Şekil 29 (Liu & Mason, 2016)

Bir önceki konuda sensör üzerindeki pikselin kendisine karşılık gelen parlaklığı ölçtüğü ve bu parlaklık değerini kayıt altına alınmasını sağladığından bahsedilmişti. Pikselin kayıt altına aldığı parlaklık değerinin tekil hale gelmesi, parlaklık değerlerinin işleme tabi tutulduğunda parlaklığın bulunduğu pikselin bilinmesi, dijital görüntünün tekrar işleme sokulması gibi bir dizi işlemde ilgili piksele her istendiğinde ulaşılması gerekmektedir. Bu işlemin yapılması için piksel değerleri adreslenir.

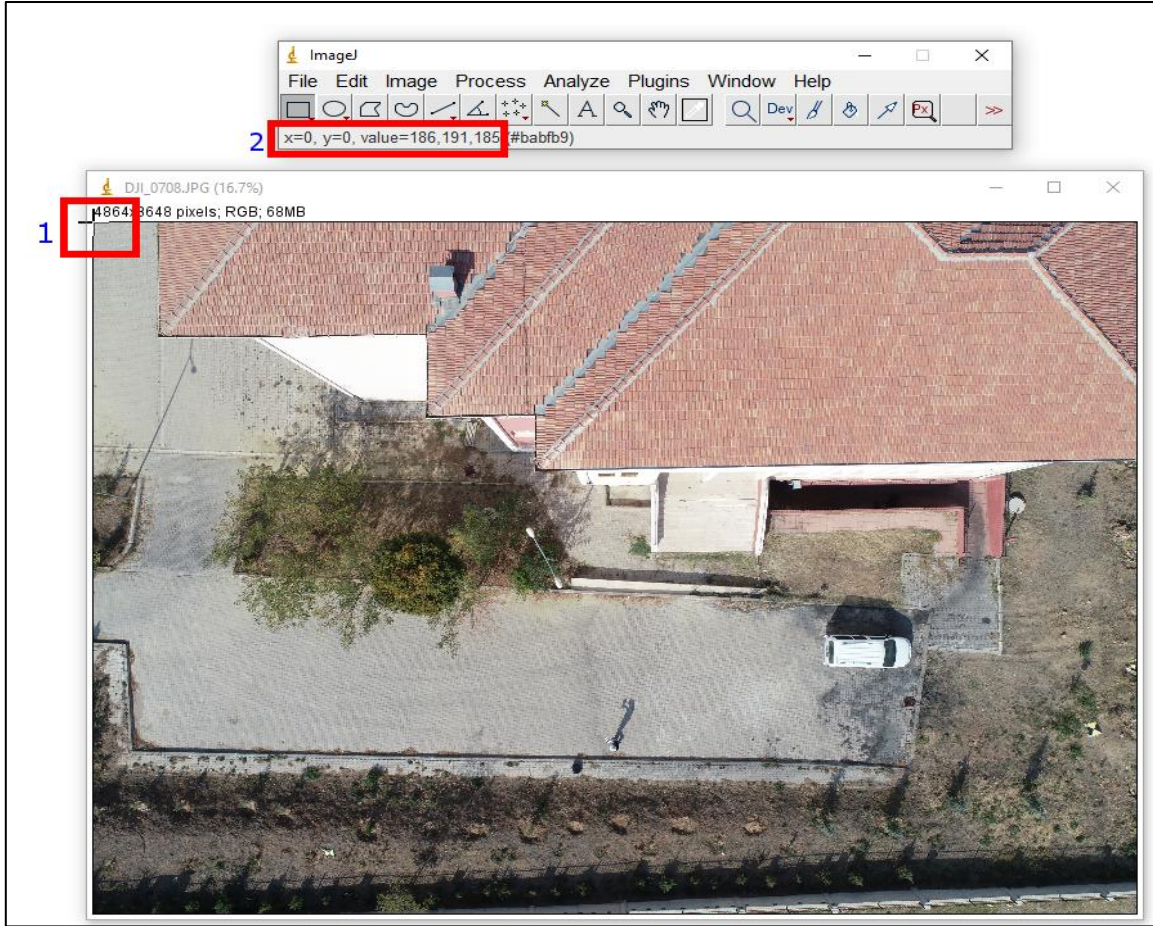
Dijital görüntü, fiziksel objeden yansıyan parlaklık değerlerini piksellere kayıt altına alındığında, piksele ulaşabilmek için kullanılacak ve pikselin bulunduğu konumu ifade edecek olan satır ve sütun değerleriyle resim koordinat sisteminde kayıt altına alınmıştır. *Parlaklık değeri satır ve sütun koordinatlarıyla (resim koordinatları satır ve sütunlardan oluşmakta) dijital ortamda kayıt altına alınır.* Şekil 29 resim koordinat sisteminin basit bir temsili göstermektedir. Genellikle görüntünün koordinat sisteminin başlangıç noktası (X – Y yatay düzleminin orijin noktası), görüntünün sol üst köşesinden başlar. X sütun değerlerini, Y satır değerlerini ifade edecek şekilde kullanılır.

Daha önce bahsi geçen sayısal görüntünün iki boyutlu bir fonksiyon olarak tanımlanmasında (Gonzalez & Woods, 2008) kullanılan fonksiyonu $f(x, y)$ 'de ki x vey parametreleri görüntü koordinat sistemine dair x parametresi sütunları, y parametresi satırları ifade eder (Şekil 30).



Şekil 30 (Brostow)

Şekil 31 ImageJ programı ile resim koordinat sisteminin başlangıç noktasının gösterimine dair temsili görüntüdür. 1 numaralı kırmızı kutu fare imlecinin resmin sol üst köşedeki konumunu göstermektedir. 2 numaralı kırmızı kutu ise fare imlecinin olduğu yerdeki x sütun *koordinat* değeri olan 0 (sıfır), y *satır koordinat* değeri olan 0 (sıfır) resim koordinatları ile renk değerlerini göstermektedir. Resim koordinat sisteminin, resmin sol üst köşesinden başladığına bir örnektir.



Şekil 31

Dijital Görüntüde Belirli Boyuttaki Piksel Sayısı

Sahnedeki objenin görüntüsü sensör üzerine düştüğünde, görüntü üzerindeki her bir objeye ve/veya her objenin detaylarına ulaşılması gerekebilir. CAD (Computer Aided Design = Bilgisayar Destekli Tarasım) yazılımları ile oluşturulmuş tasarımlardaki objeler ya da haritalarda temsil edilen coğrafik objeler nokta – çizgi – alan grafik objeleriyle düzlem üzerinde temsil edilir. Bu objeler nokta – çizgi – alan grafik objeleriyle temsil edilirken objenin her bir detayı ayrı bilgi içerebilir. CAD yazılımının sorgulama araçları sayesinde gerek obje, gerekse de objenin detayları hakkında bilgi sahibi olmak çok kolaydır.

Dijital görüntü üzerinde algılanan bir coğrafi objenin gerek kendisi hakkında gerekse de objenin detayları (köşe notkaları) hakkında bilgi edinmek CAD yazılımındaki göre daha zordur. Çünkü dijital görüntü üzerindeki objeler, piksellerden oluşur. Görüntü üzerindeki veri bir süreklilik içerir. Süreklilikten bahsedilen, görüntü üzerindeki bir duvar objesinin tümüne ulaşmak için peşi sıra gelen (komşu, yan yana olan) pikseller bütününe elde etmek gerekir. Eğer objenin tüm detaylarına ulaşmak gerekirse, piksellerin boyutları, sensör üzerinde bir satırda ve bir sütunda var olan piksel sayısı, sensör boyutu önem kazanmaktadır. Dijital görüntü üzerindeki objenin her bir detayına (köşesine) ait bilgilere ulaşmak için her bir pikselin içinde, coğrafik objenin bir detayı (köşesi) olmalıdır. Objenin detayı birden

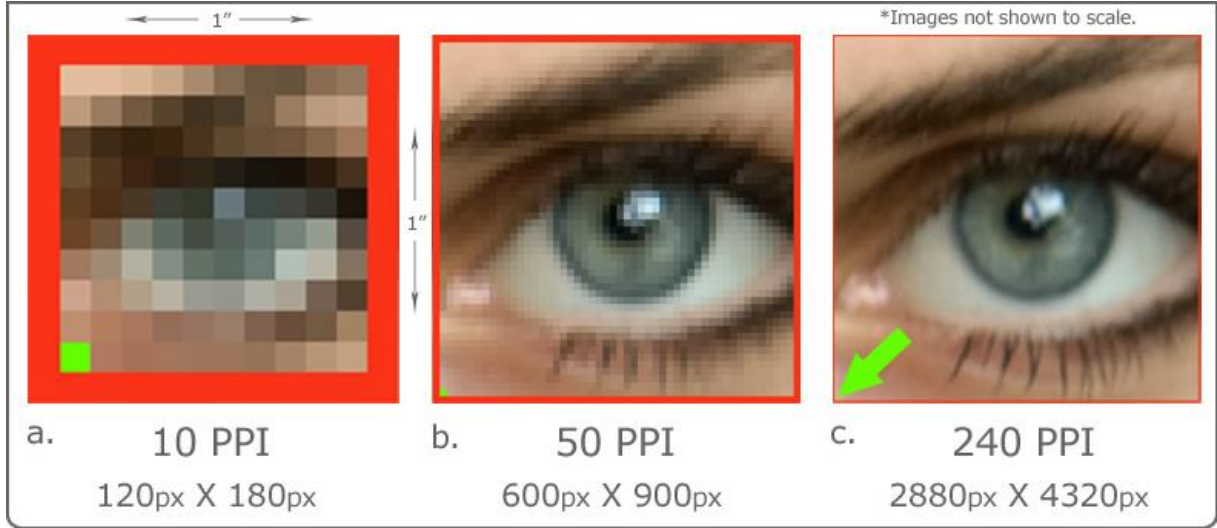
fazla piksele denk gelmemelidir. Bunun olması için piksel boyutlarının küçülmesi, sensör içinde daha fazla piksel olmalıdır. Bu sayede seçilecek piksel üzerinden tek bir obje detayına ulaşılmış oluruz.

Coğrafik objelerin görüntü üzerinden algılanması için, aynı alana ait elimizde birden fazla ve görüntü olsun. Görüntüler arasında tercih yapmak için görüntülerdeki piksel boyutlarını bilmek veya belirli bir boyutta/uzunluktaki piksel sayısını bilmemiz gerekir. *Aynı objeye ait iki görüntü arasında, belirli bir boyutta daha fazla pikselin olduğu görüntü obje detaylarıyla çalışılması için daha uygundur.*

Görüntüler üzerindeki coğrafik objelerin detaylarına ulaşılmak isteniyor ve birden fazla görüntü (veya kamera) arasında tercih yapılmak isteniyorsa piksel boyutları incelenebilir. *Eğer piksel boyutu veya sensör boyutu veya sensör üzerinde bir satırdaki ya da bir sütundaki piksel sayıları bilinmiyorsa görüntüdeki belirli bir birim uzunluktaki piksel sayısını veren birimler dikkate alınır.* Genel kullanımda bu tanıma uyan iki birim vardır. Birisi PPI (Pixsels Per Inch) bir diğeri de DPI (Dots Per Inch). DPI yazılı medya üzerindeki (çıktı alınan ortam) görüntülerin üzerindeki piksel sayısı ile ilgilidir. Dijital görüntü üzerinde kullanılan birim PPI değeridir. PPI değeri bir inç (1 inch yada 1") başına düşen piksel sayısını ifade etmektedir.

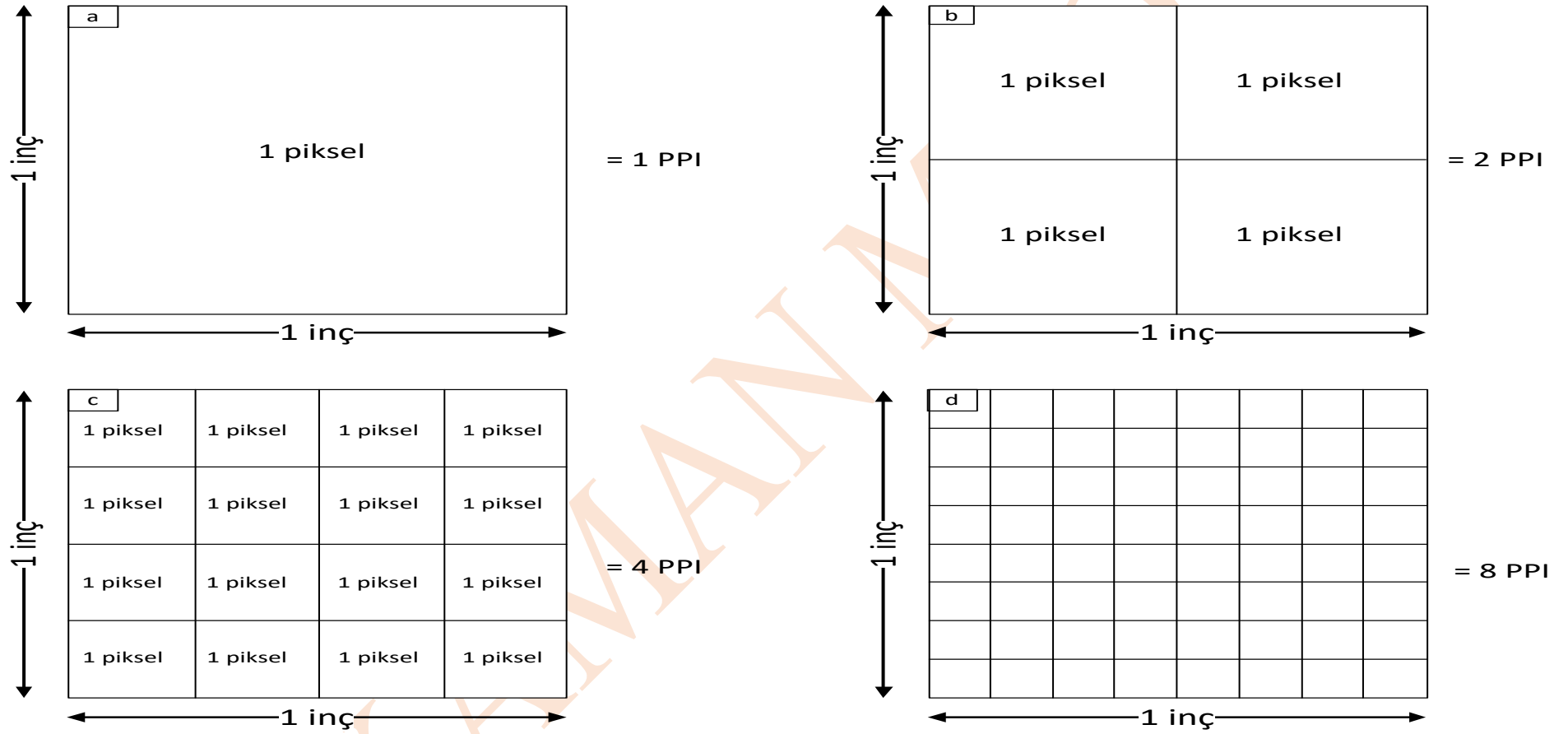
$$1" = 2.54 \text{ cm}$$

Aynı coğrafik objeyi içeren görüntüler arasında, 1 inch başına düşen piksel sayısı (PPI sayısı) daha fazla olan görüntü üzerinden objelerin detay bilgileri (koordinat bilgileri, renk yada parlaklık bilgileri,...) hakkında daha kesin sonuçlar elde edilir. Şekil 32 bir kişinin gözüne ait 3 farklı dijital görüntüyü içerir. Her bir görüntünün PPI değeri farklıdır. Görüntüler arasında a görüntüsü 10 PPI değeriyle en düşük PPI değerine; c görüntüsü 240 PPI değeriyle en büyük PPI görüntüsüne sahiptir. C görüntüsünde dikkat edilirse, göz ve gözün etrafındaki tüm detaylar ayrı ayrı piksellerde ifade edilmiştir. a ve b görüntüsünde PPI değerleri daha düşüktür, göz ve gözün etrafındaki detaylar birden fazla pikselle ifade edilmektedir. Şekil 32 üzerinde resimlerin bir satırdaki ve bir sütundaki piksel sayıları verilmiştir. 240 PPI değerine sahip görüntüde bir satırda 2880 piksel bir sütunda 4320 piksel vardır. inç başına piksel sayısı arttığında tüm görüntüdeki piksel sayısı da artmaktadır.



Şekil 32 (PIAMULHOLLAND, 2021)

Şekil 33 boyutları 1 inç * 1 inç olan aynı görüntünün farklı durumlarını temsil ettiğinin temsildir. Görüntülerdeki piksel sayılarını ifade ederken sabit bir kavram olan Piksel Per Inch (PPI = her inç'deki piksel) kullanılır. PPI Türkçe karşılığı, sayısal görüntüdeki X eksenini boyunca ve Y eksenini boyunca her inç uzunluğuna denk gelen piksel sayısıdır. Örneğin Şekil 33 b görüntüsünde 1 inç uzunluğuna karşılık 2 piksel karşılık geldiği için b görüntüsünün PPI değeri 2'dir.

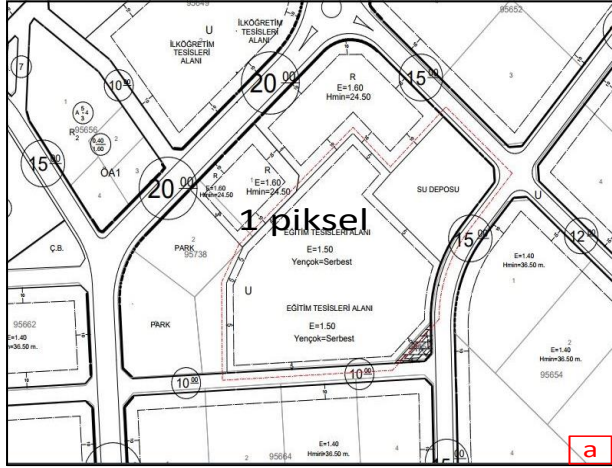


Şekil 33

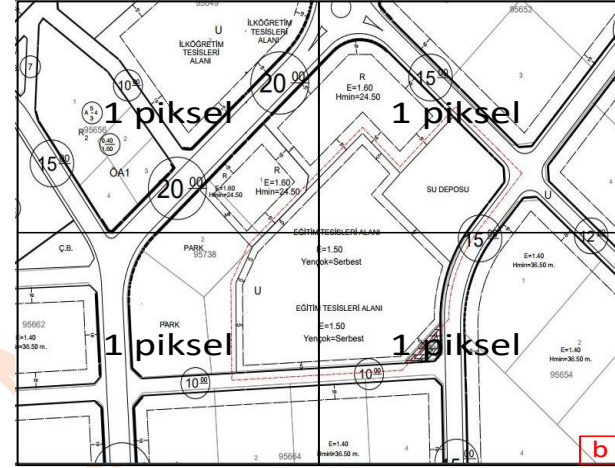
Sayısal görüntü, kullanılan görüntü kaydedici sayesinde fiziksel objeden yayılan enerjiyi algılayıp enerjinin depolanmasını sağlar. Depolanma sırasında her piksel sahneden yayılan enerjiyi ayrı ayrı parlaklığa karşı gelecek sayısal değerle tutar. Şekil 33 aynı sahneyi depolayan 4 ayrı görüntüyü temsil etmektedir. **a** görüntüsü *tüm sahneyi tek bir pikselde ve tüm sahne tek bir parlaklık değeriyle depolanacaktır*. Diğer görüntüler (b, c ve d görüntüleri) incelendiğinde piksel sayıları daha fazladır. Piksel sayısının artması sahneden yayılan parlaklık değerlerinin ayrı ayrı depolanmasını sağlayacaktır. Bu sayede sahnedeki objelere ait detayların parlaklık değerleri ayrı ayrı depolanacak, oluşan sonuç görüntü üzerindeki her bir objeye ait bilgiler kolaylıkla ayırt edilip üzerlerinde ayrı ayrı işlem yapılabilecektir.

Şekil 34 imar planı örneğinin sayısal görüntüsü Şekil 33'de ki örnekte olduğu gibi farklı durumlarda incelenmiştir. Raster görüntü sürekliliği olan bir veri yapısına sahiptir. Sürekliliği tanımlamak için vektör yapıda çizilmiş bir CAD (computer aided design) dosyası örneğini ele alalım. Vektör yapıda coğrafik objeler nokta, çizgi ve alan grafik objeleriyle temsil edilirler. Fakat raster veri yapısı satır ve sütunlar üzerinde piksellerden oluşur ve görüntü üzerindeki her bir objeye ait bilgi alabilmek için objeler piksellere bölünmüş olmalıdır. CAD dosyasındaki duvar objesini temsil eden çizgiye kolaylıkla ulaşılır ve çizgi hakkında ki (Çizginin adı, uzunluğu, çizgi stili, katman bilgisi,...) bilgilere kolaylıkla ulaşılabilir. Fakat raster veri yapısında görüntü üzerinde görünen duvar objesini temsil eden çizgi tek bir obje değildir. Çizgi görüntüdeki birden fazla bitişik komşu pikselin üzerinde görünür. Görüntü üzerindeki tek bir piksele tıklandığında tüm çizgi objesine ulaşılması kolay olmayabilir.

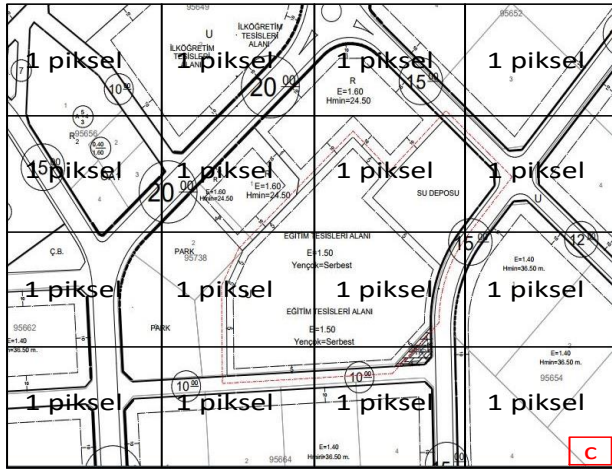
Şekil 34 **a** görüntüsünde tüm görüntü tek bir piksel ile temsil edilmekte. Görüntüdeki parseller ve imar adalarına ait bilgilere ayrı ayrı ulaşamaz. Şekil 34 **d** görüntüsü incelendiğinde görüntü üzerindeki coğrafik objelere ait verilere ulaşmak **a** görüntüsüne göre daha anlamlıdır. Hatta görüntü üzerindeki parsel veya imar adası gibi objelerin detay verilerine (köşelerine) ulaşmak için görüntü PPI değeri daha yüksek olması gerekir.



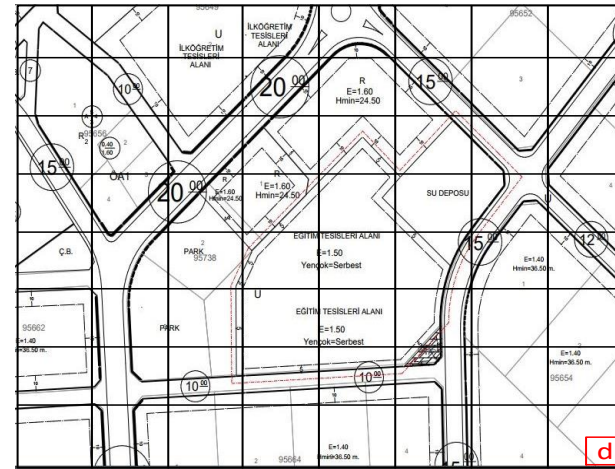
= 1 PPI



= 2 PPI



= 4 PPI



= 8 PPI

Şekil 34

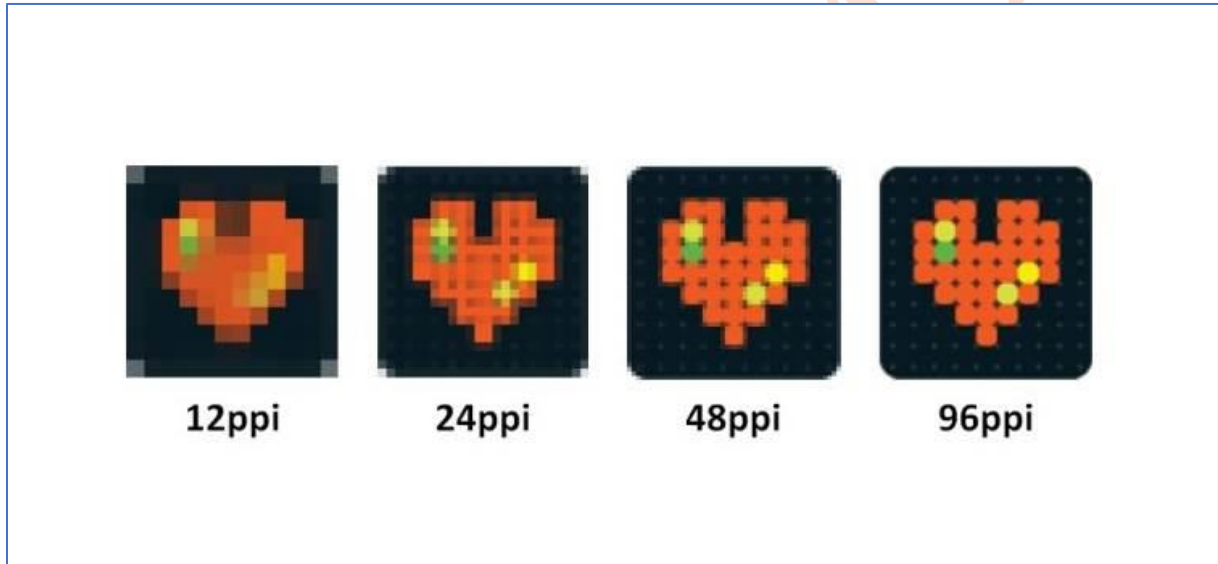


PPI (Piksel Per Inch): Türkçe karşılığı *her inç başına düşen piksel sayısı* olarak çevrilebilir. 1 inç (1 inç = 2.54 cm) uzunluğuna ne kadar piksel denk gelir.



DPI (DOTS Per Inch): Türkçe karşılığı *her inç başına düşen nokta sayısı* olarak çevrilebilir. 1 inç (1 inç = 2.54 cm) uzunluğuna ne kadar piksel denk gelir.

Fiziksel bir objeye ait sayısal görüntü oluşturulacaksa ve görüntü üzerindeki detaylar (örneğin doğal veya yapay yapılar, parseller, göl, yol gibi coğrafik objeler) önem arz ediyorsa görüntünün X eksen ve Y eksen boyunca piksel sayısının fazlalığı görüntü çözünürlüğünü arttıracaktır. O taktirde geometrik çözünürlüğünün iyi olduğunu, eksenler boyunca var olan piksel sayısına göre ya da bilinen PPI sayısına göre belirlenebilir (Şekil 35).



Şekil 35 (Storeh24 SRL, 2018)

Görüntüsü elde edilecek olan fiziksel obje büyüklüğü de (hava fotogrametrisi ile halihazır haritası yapılacak alan büyüklüğü) görüntü çözünürlüğünün belirlemede önemlidir. Örneğin insansız hava aracı ile yapılacak hava fotogrametrisinde kullanılacak kameranın çözünürlüğü belirliyse bir çekim anında ne kadarlık bir alana dair görüntü elde edileceği belirlenebilir (Şekil 36).



1024x1024



512x1024



512x512

Şekil 36 (Brostow)

Şekil 33 a resminde Y eksenini boyunca 1 inç değerine bir piksel karşılık gelirken, c resminde Y eksenini boyunca 1 inç uzunluğuna 4 piksel karşılık gelmektedir. Bu mantıkta a görüntüsü 1 PPI, b görüntüsü 2 PPI, c görüntüsü 4 PPI ve d görüntüsü 8 PPI değerleriyle 1 inç değerinde kaç piksel olduğu belirtilir. Görüntü üzerinde toplamda **kaç piksel olduğu** ise Y eksenini üzerinde piksel sayısı ile X eksenini üzerindeki piksel sayısının çarpımı ile bulunur.

Şekil 33 (d) görüntüsünde ki piksel sayısı:

X ekseninde 1 inc'de 8 piksel

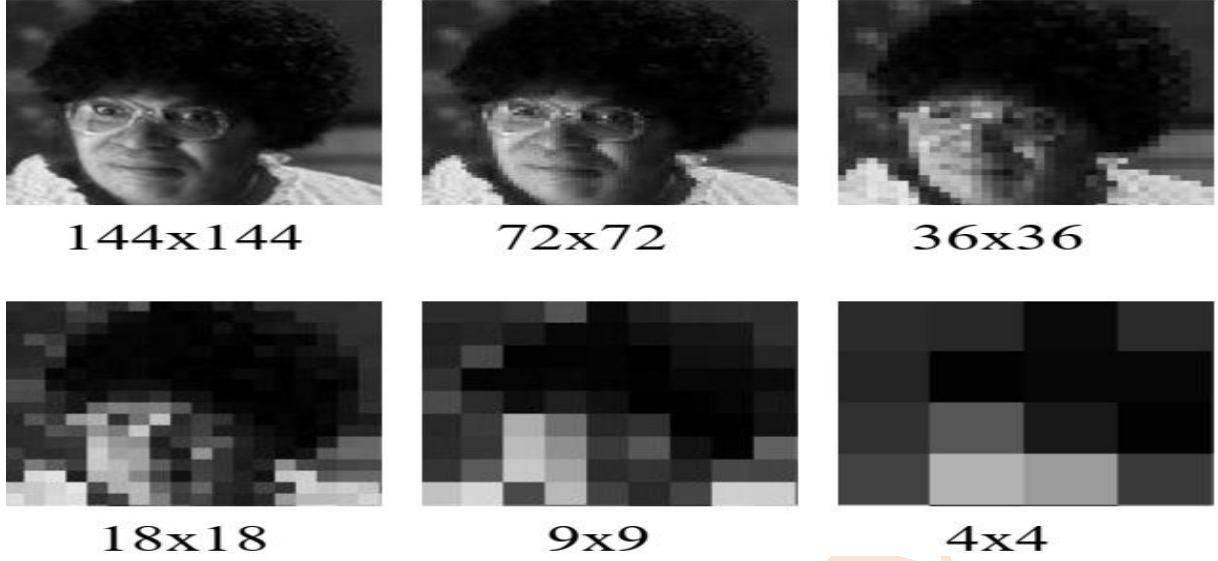
Y ekseninde 1 inc'de 8 piksel

*Görüntüdeki toplam piksel sayısı = 8 * 8 = 64 piksel*

Şekil 37 Y ve X eksenleri boyunca farklı sayıda piksele sahip aynı insan görüntüsüne ait sonuçlar temsil edilmektedir. Şekil 37 'da ki görüntüler içinde detayların en iyi ayrıldığı görüntü Y eksenini boyunca 144 ve X eksenini boyunca 144 piksel değerine sahip görüntüdür. Bu görüntüde toplam:

*144 * 144 = 20736 adet piksel bulunmaktadır.*

Şekil 37 'da görüntüdeki detayların algılanamadığı (veya algılanmakta güçlük çekildiği) görüntü Y eksenini boyunca 4 piksele ve X eksenini boyunca 4 piksele sahip olan, toplamda da $4 * 4 = 16$ piksele sahip olan görüntüdür.



Şekil 37 (Brostow)

Eğer bir sayısal resmin yüksekliğinde 600 piksel, genişliğinde 800 pikselden oluşuyorsa, bu resimde toplamda $600 * 800 = 480000$ piksel'den oluşmaktadır. **Genelde elde edilen değer büyük bir sayıya karşılık geldiği için toplam piksel sayısı megapiksel ifadesi ile kullanılmaktadır.** Bu değeri ifade etmek için toplam sonuç 1000000 değerine bölünür. $480000 \text{ piksel} = 0.48 \text{ Megapiksel} = 0.48 \text{ MP}$ olarak ifade edilir.

Örnek: Genişliği 5163 piksel yüksekliği 3872 pikselden oluşan bir sayısal resim toplamda ne kadar pikselden oluşur?

Çözüm: $5163 * 3872 = 19991136$ piksel = 19.99 MP (megapiksel)

Çözülen örnekteki sonuç değer olan 19.99 MP değeri 20 MP olarak da ifade edilir.

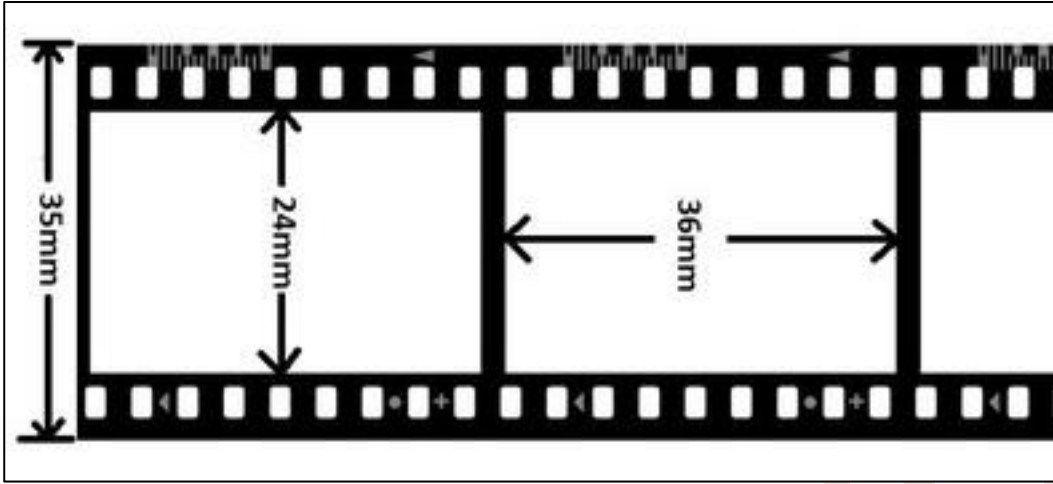


Harita yapımı amacıyla kullanılacak veya üç boyutlu obje oluşturulmasında kullanılacak görüntülerin tercih edilmesi gerekirse, görüntünün PPI değeri bilgisine bakılmalıdır.

Farklı görüntüler arasında PPI değeri daha yüksek olan görüntü üzerindeki coğrafik objelerin detaylarına (köşelerine) ait bilgiler (koordinat değerleri, parlaklık değerleri,...) daha hassas bir şekilde elde edilir.

Dijital Kamera Sensör Boyutu

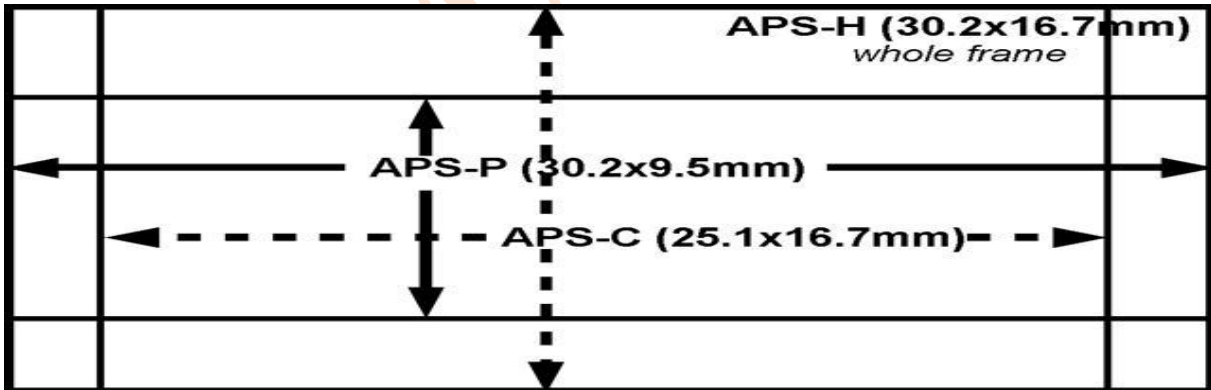
Film bazlı kameralarda, film boyutu hep aynıydı. 35 mm film olarak adlandırılan film boyutunda görüntü 36 mm boy 24 mm en değerinde karelerden oluşuyordu (Şekil 38). Kullanılan kameranın markasından bağımsız olarak sonuç görüntündeki görüş açısını belirleyen kullanılan objektifin odak uzaklığıydı. Örneğin 35 mm odak uzaklığına sahip film bazlı 3 farklı marka kamera ile aynı görüş açısına sahip görüntü elde ediliyordu. Örneğin 3 farklı film bazlı makinaya 50 mm odak uzaklıklı objektifle görüntü elde edilirse, her görüntü 46° görüş açısına sahip görüntü elde ediliyordu.



Şekil 38 (EASY BASIC PHOTOGRAPHY, 2021)













DSLR kameralarda, görüntü sensör düzleminde oluşuyor. 35 mm film boyutuyla aynı boyutta sensöre sahip DSLR kameralara full frame (Tam kare) kameralar denmektedir. Gelişen teknolojiler sayesinde tam kare boyutundan küçük boyutlu sensöre sahip DSLR kameralar oluşturuldu. Daha küçük sensörler ile daha küçük çaplı objektif kullanabilen kameralar tasarlandı. Bu sayede daha hafif, taşınabilir DSLR kameralar oluşturuldu. Tam kare sensörden daha küçük boyutta sensöre sahip kameralardaki sensörler Advanced Photo System (APS) adı altında çeşitlere ayrıldılar (Şekil 39). APS formatları ve boyutları:

- APS-H (30.2 mm * 16.7 mm),
- APS-P (30.2 mm * 9.5 mm),
- APS-C (25.1 mm * 16.7 mm) formatları.

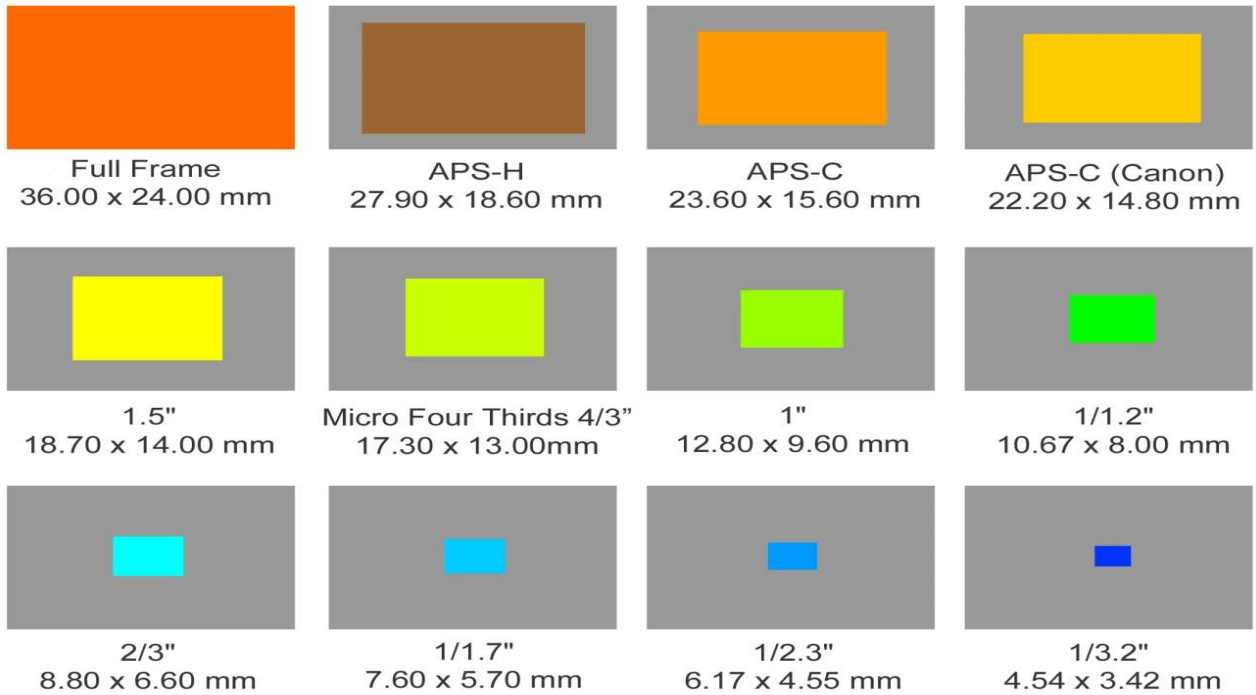


Şekil 39 (Raccoon, 2021)

DSLR kameralarda en çok kullanılan APS formatı APS-C formatıdır. APS formatları dışında farklı firmalar, farklı boyutlarda sensörler geliştirdi. Her yeni sensör, tam kare formattaki sensör boyutuna göre kıyas yapılacağı bir Crop Faktör (kırılma faktörü) çarpanı kadar küçük veya büyük olarak geliştirildi. APS-C formatındaki bir sensör, tam kare formatındaki bir sensöre göre 1.52 çarpanı kadar küçüktür (Şekil 40).

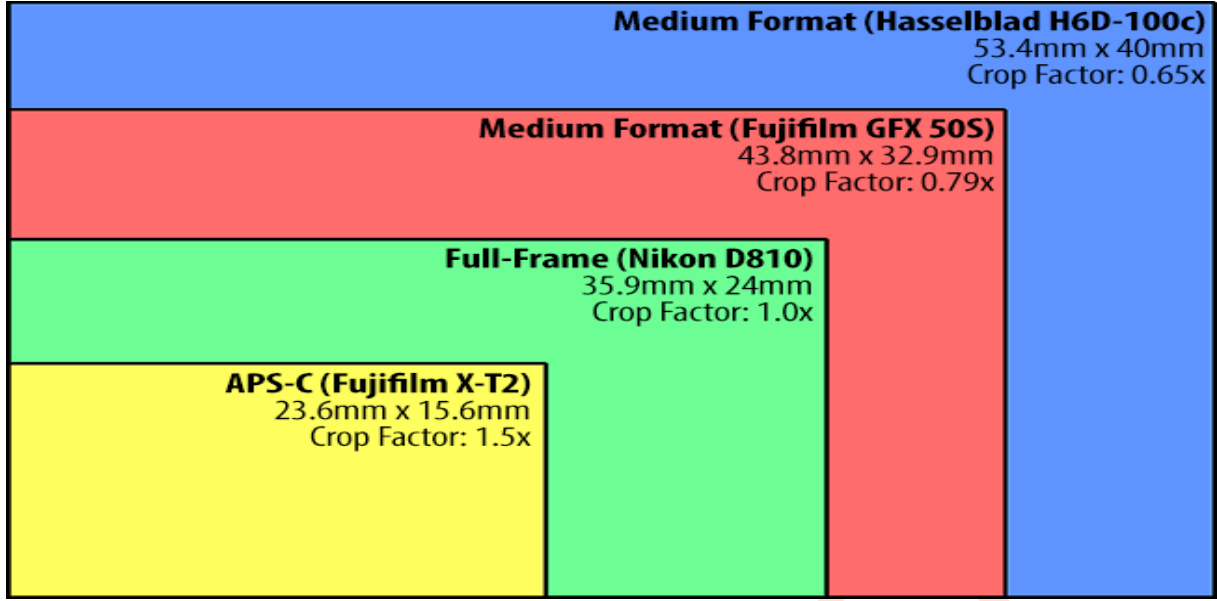
	MEDIUM FORMAT	FULL-FRAME	APS-C	MICRO 4/3	1"	1/2.55"
PICTURE						
SENSOR SIZE	53.0 X 40.20 MM	35.00 X 24.00 MM	23.6 X 15.60 MM	17.00 X 13.00 MM	12.80 X 9.60 MM	6.17 X 4.55 MM
CROP FACTOR	0.64	1	1.52	2	2.7	5.62
CAMERA						

Şekil 40 (ZAFRA, 2021)

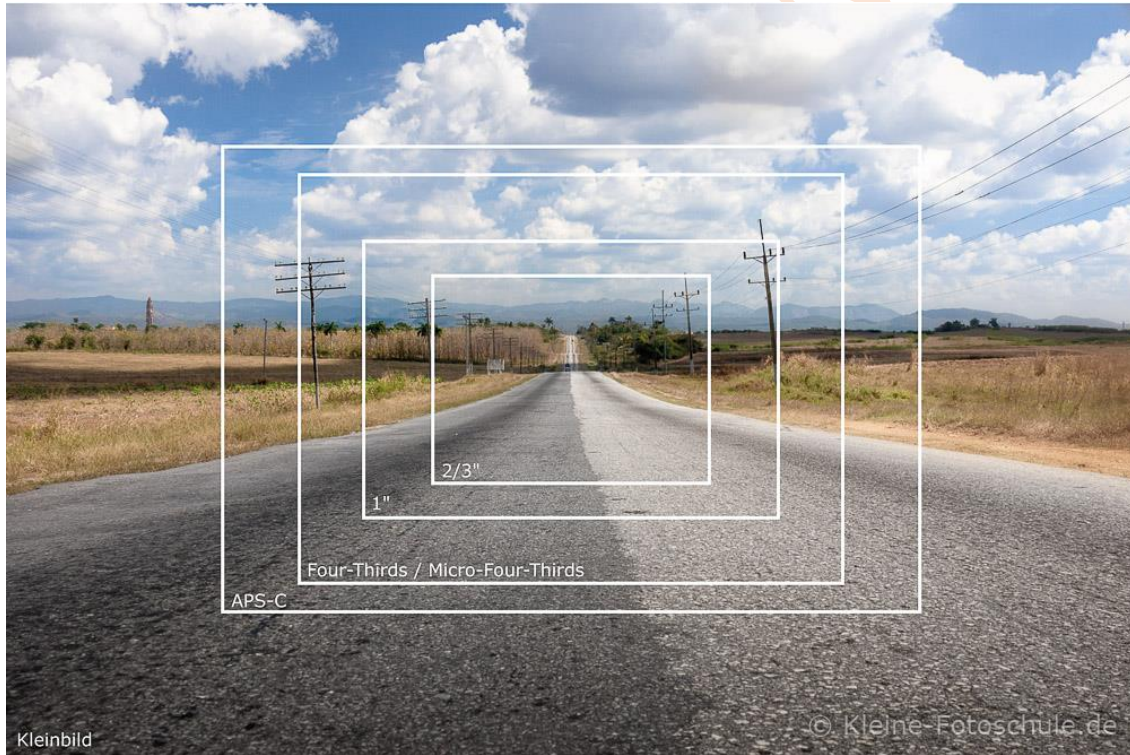


Şekil 41 (Crisp, 2021)

Her markanın sensör boyutunun kırpma faktörü farklı olmaktadır (Şekil 42). Kırpma faktörü daha dar açılı bir görüntü oluşmasına sebebiyet verecektir (Şekil 44). Çünkü tam kare formattın belirli bir kısmı kırpılmış faktörlü sensörde (APS-C formatta) gözükmeyecektir (Şekil 43).



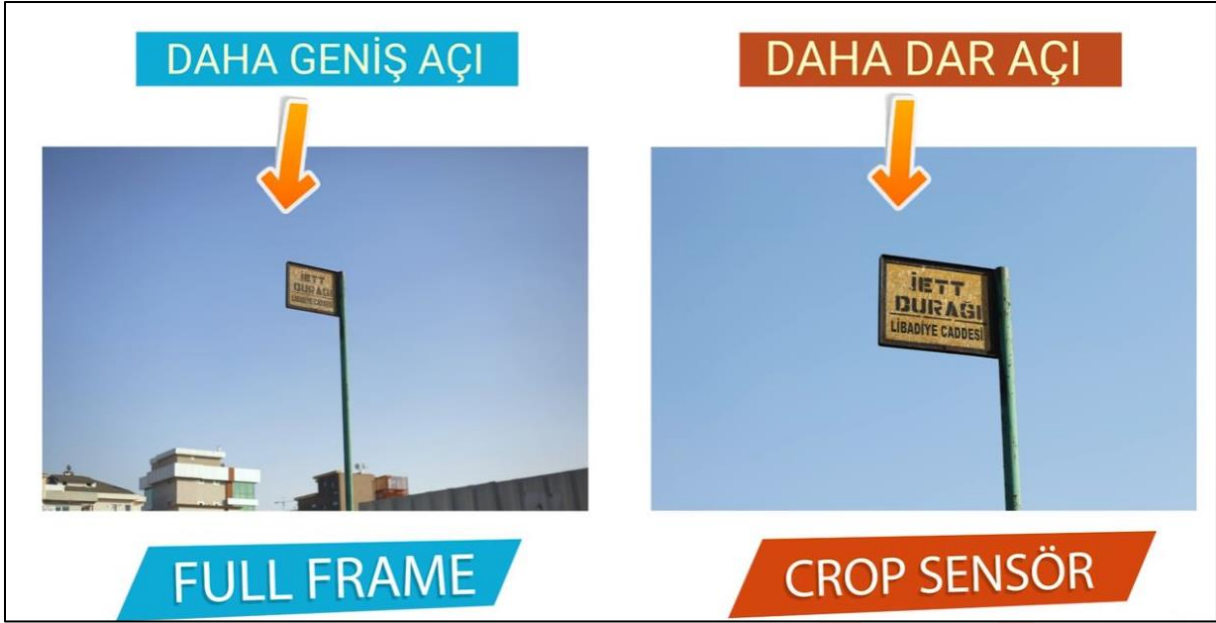
Şekil 42 (MANSUROV , 2021)



Şekil 43

Kırpma faktörü daha dar açılı bir görüntü oluşmasına sebebiyet verecektir (Şekil 44). Örneğin kırpma faktörü 1.5 olan bir sensörü olan kamerada, 50 mm sabit odaklı bir lens kullanıldığında elde edilen görüntü:

$$1.5 * 50 \text{ mm} = 75 \text{ mm odak uzaklığında çekilmiş bir görüntüye dönüşür}$$



Şekil 44 (Fotografım, 2021)

Sensör teknolojisini oluşturan en küçük yapı taşı olan piksel boyutları, sensör bilgilerinden elde edilebilir (MANSUROV, 2021). Örneğin Fuji Marka GFX 50S modelinde sensör 8256 piksel * 6192 piksel boyutlarındadır. İlk yazılan değer genişlik, ikinci yazılan değer yükseklikteki piksel sayısını vermektedir. Sensörün genişlik boyutu 43.8 mm. Genişlik boyutu değeri, genişlikteki piksel sayısına bölündüğünde tek bir pikselin boyutu elde edilecektir. ($0.001 \text{ mm} = 1 \mu\text{m} = 1 \text{ mikrometre}$)

$$\frac{43.8 \text{ mm}}{8256} = 0.0053 \text{ mm} = 5.3 \mu\text{m}$$

Örneğin Nikon D750 35.9 mm * 24.0 mm boyutlarında sensöre sahiptir. Piksel sayısı genişlik * yükseklik = 6016 * 4016 olduğunda tek bir pikselin boyutu

$$\frac{35.9 \text{ mm}}{6016} = 0.0059 \text{ mm} = 5.9 \mu\text{m}$$

Her iki kamera sensörü karşılaştırıldığında Nikon D 750 sensörünün piksel boyutu daha büyüktür. Daha sonrasında işlenecek olan konularda, belirli bir alana düşecek olan piksel sayısının artması harita yapımı için gerekli görüntüler için gereklilik arz edecektir.

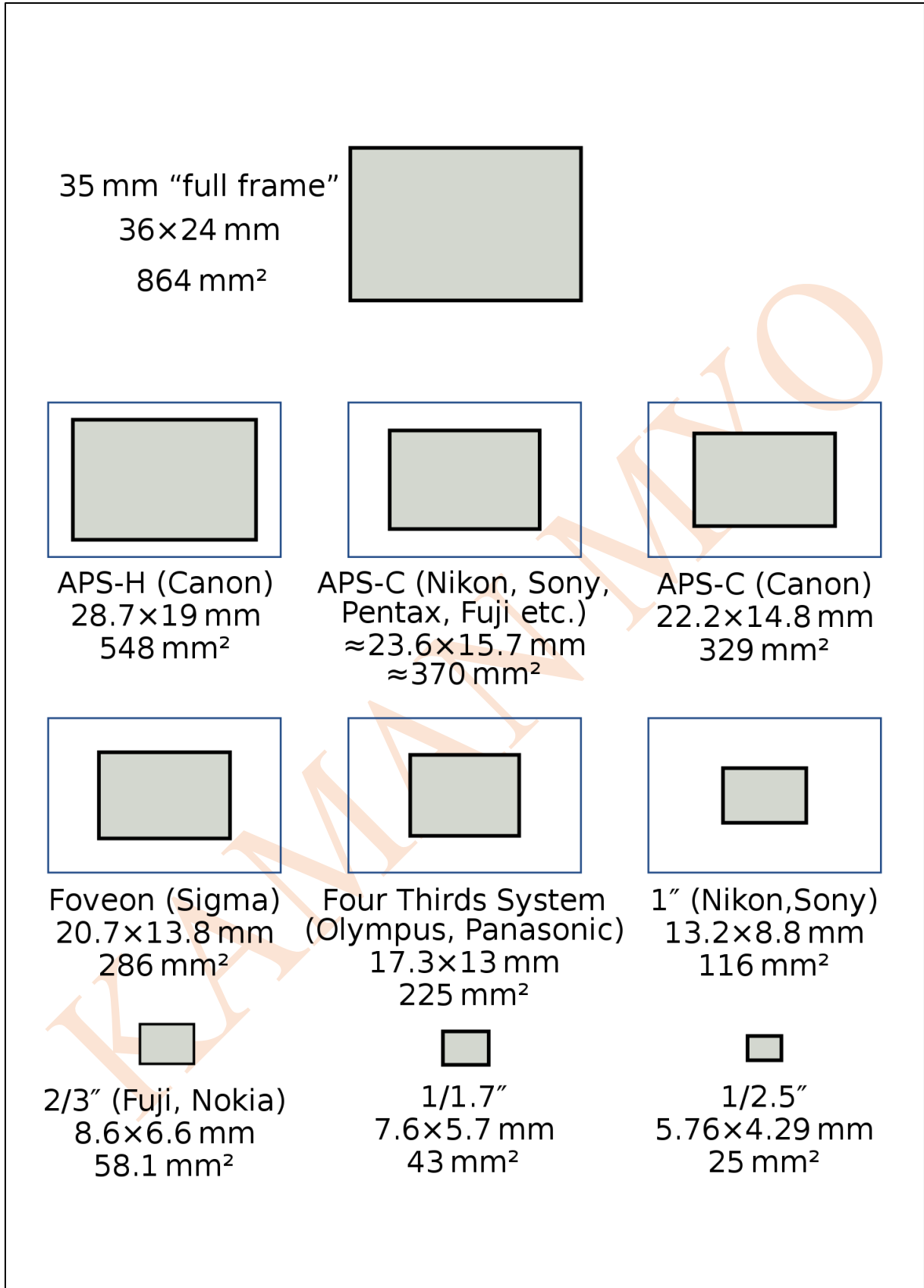


Harita yapımı veya üç boyutlu obje oluşturmak için kullanılacak kamera tercih edilmesinde sensör boyutu önem arz etmektedir. ÖRNEĞİN: aynı özellikte iki insansız hava aracıyla (İHA), aynı uçuş yüksekliğinde uçuş yapılsın. A İHA'sı daha büyük boyutta sensöre sahip kamera olsun, B İHA'sında daha küçük boyutta sensörlü kamera olsun. A İHA'sında elde edilen tek bir görüntüde daha büyük alanı kaplayacaktır. Bu sayede daha kısa sürede haritası yapılacak alan üzerinde uçuş yapılması sağlanacaktır. B İHA'sıyla yapılan uçuşta, aynı büyüklükteki bir ölçüm alanı için daha fazla sürede uçuş tamamlanır, çünkü daha küçük boyutlarda resim çekilecektir.



Harita yapımı veya üç boyutlu obje oluşturmak için kullanılacak kamera tercih edilmesinde sensörün piksel boyutları da önem arz etmektedir. Daha küçük piksel boylarına sahip sensör ile elde edilen görüntüdeki coğrafik objenin detaylarına (köşelerine) ait bilgilere (koordinat bilgisi, parlaklık bilgisi,...) ulaşmak daha kolay olacaktır. Şekil 45 üretilen sensörlerin boyutlarının listesi bulunmaktadır. Piksel boyutlarını hesaplamak için bu bilgilerin kullanılması gereklidir.

KAMAMMYO

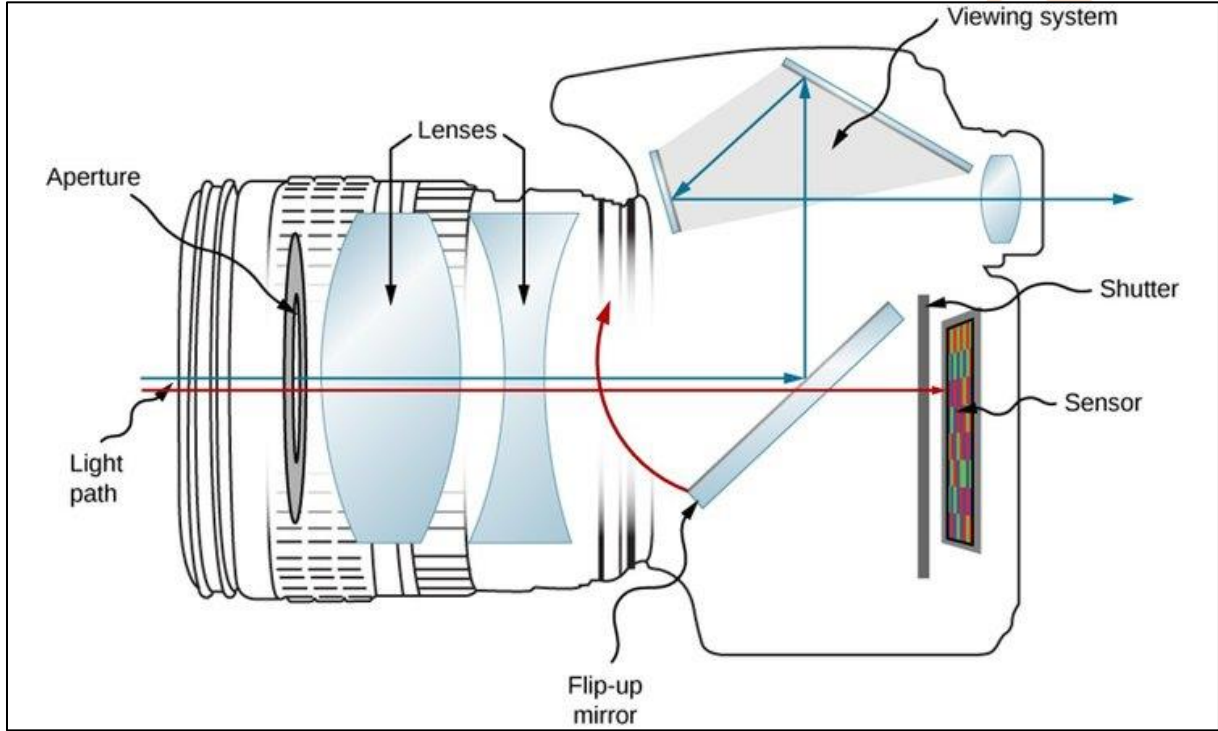


Şekil 45 (Wikipedia, 2021)

Perde Mekanizması ve Perde Açılıp Kapanma Hızı (Enstantane Hızı) Belirlenmesi

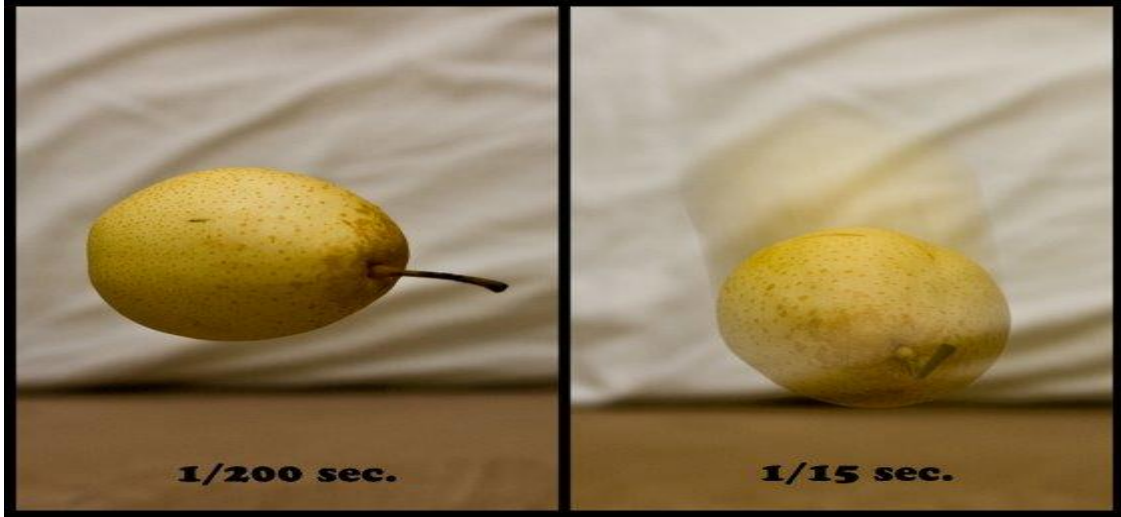
Gövde içerisinde sensör teknolojisinin önünde perde (optüratör = shutter = perde) bulunmaktadır (Şekil 46). Deklanşöre basıldığı anda, perde açılır ve objeden yansıyan ışınlar sensör yüzeyine düşer. Perdenin iki görevi vardır:

1. Objektiften gelen ışığın sensör yüzeyine düşecek miktarını belirlemede kullanılır,
2. Perdenin açılıp kapanış süresinin belirlenmesiyle hareketli objelerin anlık görüntüsü sağlanır.



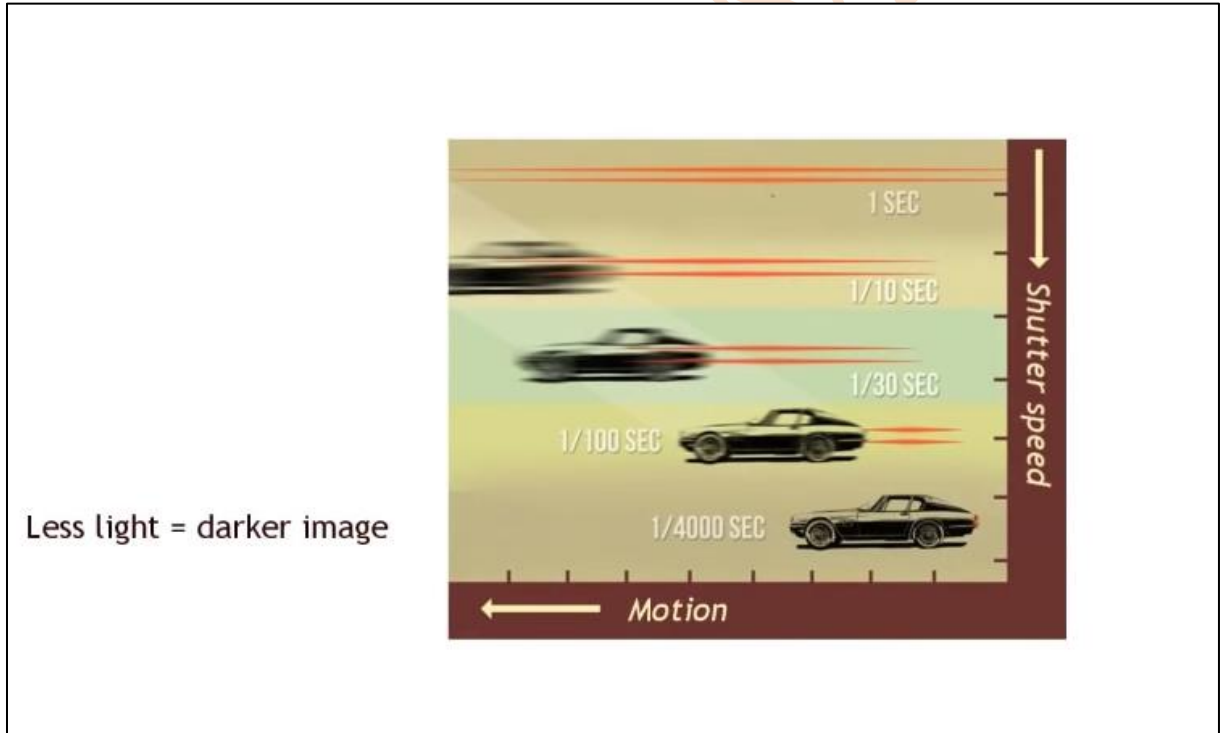
Şekil 46 (Finkbeiner, Mastering Your Camera Controls, 2021)

Enstantane hızı, pozlama süresini belirlemek için kullanılır. Pozlama süresi ile ışığın fotoğraf makinesine ne kadar süre gireceği belirlenir. Deklanşöre bastığımızda perde açılır. Belirlediğimiz süre boyunca perde açık kalır. Süre bittiğinde perde kapanır ve ışık kesilir. Perdenin açık kaldığı süreye enstantane hızı denir. Hareketin belirli bir hızda yakalamanın öncelikli olduğu çekimlerde önemlidir. Hareketi bulanıklaştırmak, dondurmak veya ışık izleri oluşturmak için kullanılır. Kameraların S veya TV modlarında ayarlanır. Genelde kesirli sayı değerleri ile belirlenir. Şekil 47 enstantane hızının bir temsili şeklidir. 1/20 ifadesi saniyenin 20'de 1'i hızda perdenin açılıp kapanacağını söyler. Hızlı bir hareketin resim de dondurulması için sonuç sayı değeri düşük tutulur. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** incelenirse 1/200 daha düşük bir değerdir ve görüntüde objenin hareketinde donma etkisi sağlanmıştır.



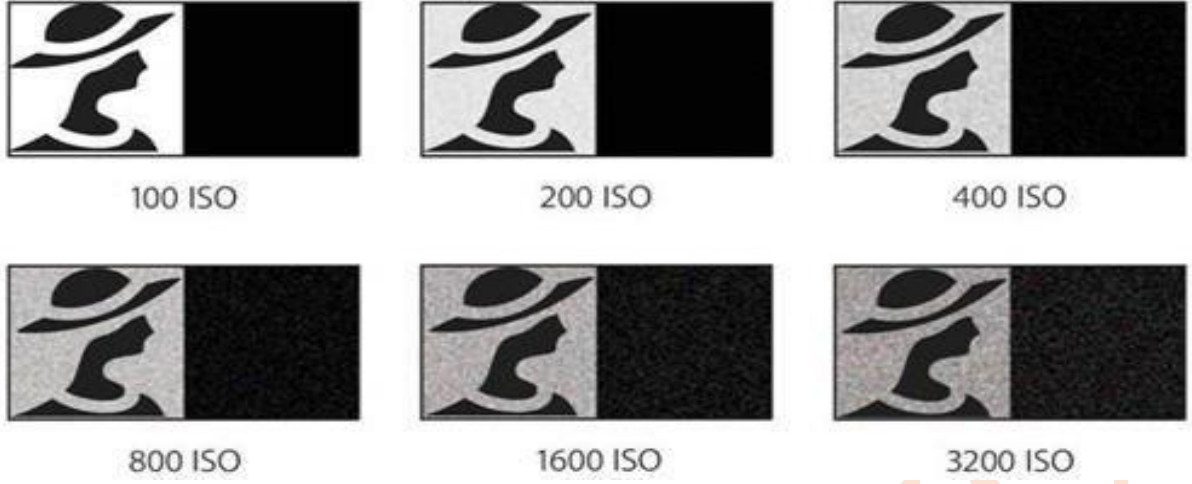
Şekil 47

Diğer yönden enstantene hızı düşük olması ışık oranına da etki eder. Enstantane oranı değerlerinin yükselmesi ile resim daha karanlık hale gelecektir.



ISO Değeri:

Kamerada bulunan sensörün ışığa karşı duyarlılığını kontrol etmek için kullanılır. ISO değeri artarsa sensörün ışığa karşı daha hassas hale gelmesi sağlanır. Sonuç resimler daha aydınlık hale gelecektir. Şekil 48 ISO değerlerinin artış ve azalışlarında sonuç resme örnektir.

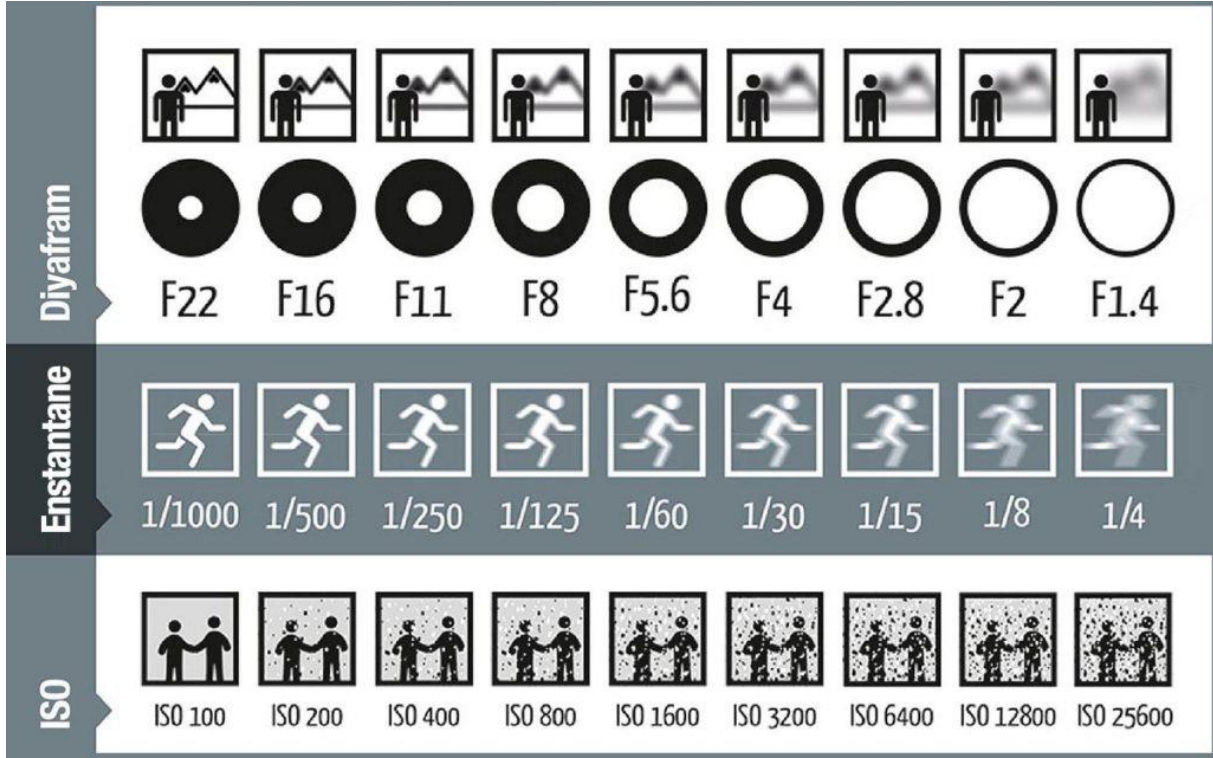


Şekil 48

ISO değeri 800 değerin geçtikçe resimde kumlanma olacaktır. Bu etkiye noisy yani gürültü etkisi denmektedir.



Şekil 49



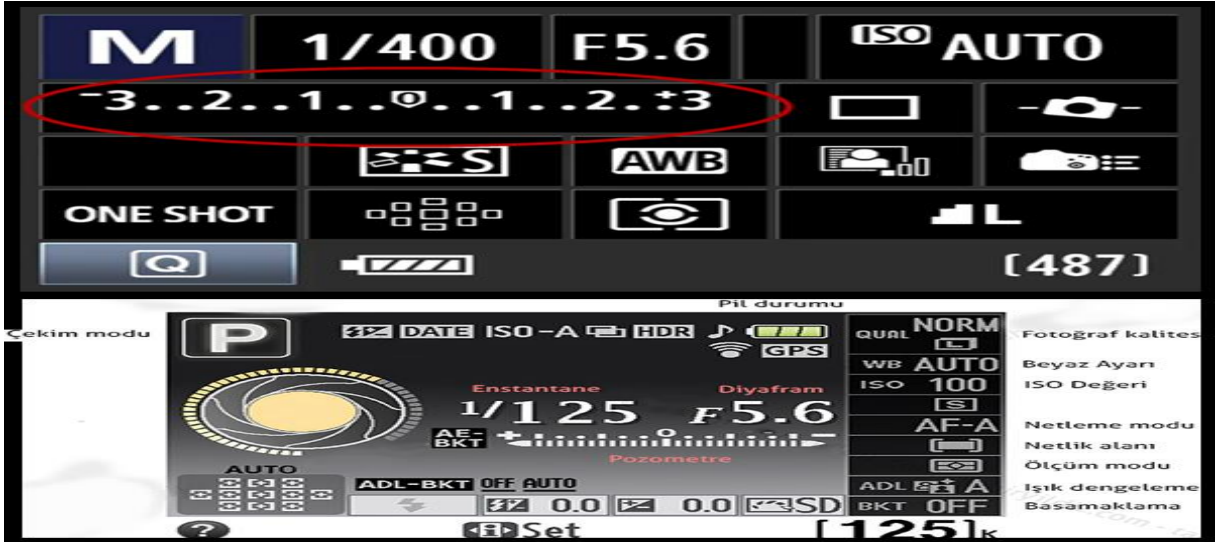
Pozlama ve Pozlama telafisi

Pozlama, fotoğrafın çekildiği anda sahneden yansıyan ve sensör yüzeyine düşen ışık miktarının belirlenmesidir. Pozlama işleminin yapılabilmesi için harici pozometre kullanılabilir (Şekil 50). Pozometre sahneden yansıyan ışık miktarını belirler. Ayrıca sonuç görüntünün daha doğru olabilmesi için diyafram ve perde açılıp kapanma süresinin miktarlarının olması gereken değerlerini söyler.



Şekil 50

DSLR kameraların içerisinde dahili pozometreler bulunmaktadır. Deklanşöre yarım basıldığında kamera içindeki pozometre çalışır ve kameranın diyafram ve perde hız miktarları durumuna göre sonuç görüntünün durumunu belirten sayısal değerler belirtir.



Makinenin Eksi Değerlerde Çektiği (Eksik Pozlama)



Makinenin Normal Değerlerde Çektiği (Doğru Pozlama)



Makinenin Artı Değerlerde Çektiği (Fazla Pozlama)



Sayısal Görüntü Özellikleri

Uydular, uçaklar, insansız hava araçları gibi araçlara montelenmiş dijital kameralar veya taşınır vaziyette kameralar ile dijital görüntü elde edilebilir. Farklı teknolojik özelliklere sahip kameralar kullanılabilir. Farklı teknolojik özelliklere sahip kameralar kullanılıp elde edilen farklı dijital görüntüler farklı özelliklere sahip olacaktır. Yapacağımız uygulamada istenilen kriterlere göre uygun olan dijital görüntü tercih edilmelidir. Uygun olandan kastedilen sadece göze hoş gözüken bir görüntü değildir. Dijital görüntünün özellikleri uygunluğun belirleyicisidir. Yapılacak uygulamaya göre dijital Görüntünün belirlenmesinde, dijital görüntünün özellikleri/öznitelikleri olarak değerlendireceğimiz çözünürlük (resolution) bilgileri incelenmelidir. Çözünürlük bilgileri:

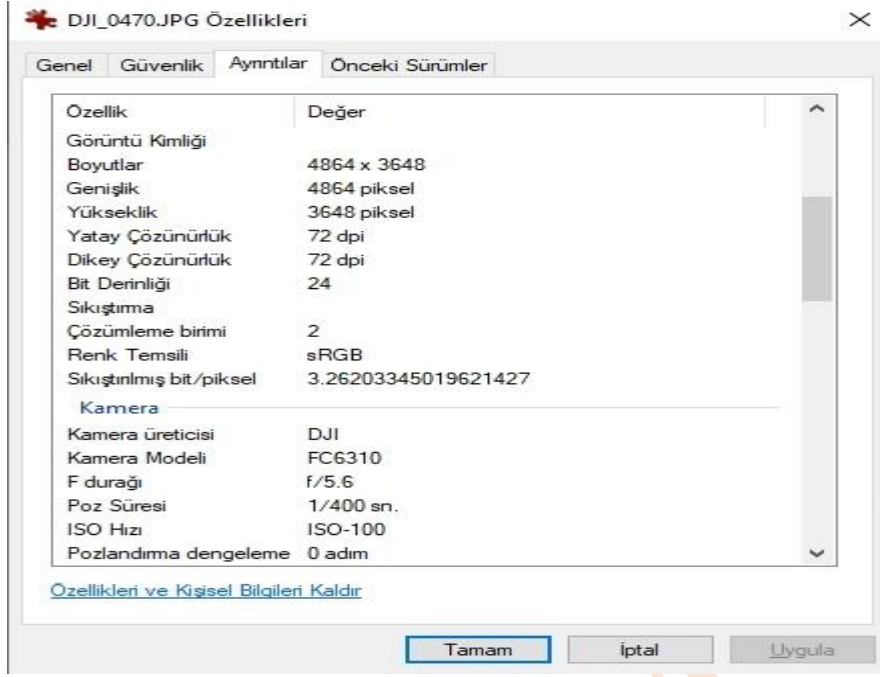
- Geometrik Çözünürlük (spatial resolution),
- Radyometrik Çözünürlük (radiometric resolution),
- Spektral Çözünürlük (spectral resolution),
- Zamansal çözünürlük (Temporal resolution) olarak sınıflandırılır.

Elde edilen dijital görüntüde hem yüksek geometrik çözünürlüğe sahip olması, hem yüksek spektral çözünürlüğe sahip olması, hem yüksek radyometrik çözünürlüğe sahip olması, hem de yüksek zamansal çözünürlüğe sahip olması beklenmemelidir. Görüntülerin tüm çözünürlük değerlerinin yüksek çözünürlükte elde edilmesi hem zor hem de pahalı olduğundan, bir proje için hangi tür çözümlerin en önemli olduğunu belirlemek gerekir (Hanna & Madurapperuma, Resolution, 2020).

Dijital Görüntü Bilgilerine Erişme

Dijital kamerayla fotoğraf çektiğinizde, kamera fotoğraf hakkında yararlı bilgileri dijital resim dosyasının içine işler. Dijital görüntüye işlenen bilgiler kullanıcı tarafından seçilmiş olan bilgiler olduğu gibi yapılan işe göre kamera veya kamera ile ilişkili yazılımların görüntüye eklediği bilgilerdir. Bu bilgiler genellikle kameranın çekim anındaki kamera ayarlarından oluşur. Pozlama süresi, netleme, diyafram açıklığı, flaşın etkin olup olmadığı ve odak uzaklığı hakkında bilgiler içerir (Snavely, 2019). Bunlara ek olarak kameranın markası, modeli, çekim anında ki coğrafik konum ve yükseklik bilgileri gibi ek bilgilerde resim içine işlenmiştir.

Fotoğraf hakkındaki bu öznitelik bilgilerine yabancı literatürde *Exchangeable Image File Format (EXIF)* olarak adlandırılır. Türkçe karşılığı *Değiştirilebilir Görüntü Dosyası* olarak çevrilebilir. Herhangi bir dijital resmin Exif verisine ulaşmak için bilgisayar ortamında resmin üzerine sağ tuşla tıkladıktan sonra açılan menüden özellikler alt menüsü seçilir. Açılan resme ait özellikler penceresinde ayrıntılar sekmesi açıldığında resme ait Exif öznitelik değerlerine erişilir (Şekil 51).



Şekil 51

Geometrik Çözünürlük (spatial resolution)

Geometrik Çözünürlük, bir görüntüdeki algılanabilen detayın insan gözüyle görüldüğünü tanımlar. Görüntüdeki küçük ayrıntılar için "karar verme" veya ayırma yeteneği, geometrik çözünürlük dediğimiz şeyi açıklamanın bir yoludur (August , 2020). Bu bağlamda görüntüdeki tek bir pikselin gerçekteki boyutları (X eksenini boyunca genişlik ve Y eksenini boyunca yükseklik değerleri) görüntünün geometrik çözünürlüğünü verir. Farklı bir bakış açısıyla, dijital görüntüdeki geometrik çözünürlük tek bir pikselin görüntüdeki sahnede kapladığı alanın gerçekteki boyutlarıdır.

Dijital görüntünün geometrik çözünürlük değeri arttığında, piksel boyutları küçülecektir. Bu sayede sahnedeki coğrafik obje daha detaylı algılanabilecek, her bir detaydan yansıyan parlaklık ayrı ayrı kayıt altına alınabilecek, görüntüdeki objeye ait küçük unsurları tanımlamak kolaylaşacaktır.

Şekil 53, Şekil 54 ve Şekil 55, Şekil 52’de yer alan bina alanını kapsayacak görüntülerdir.



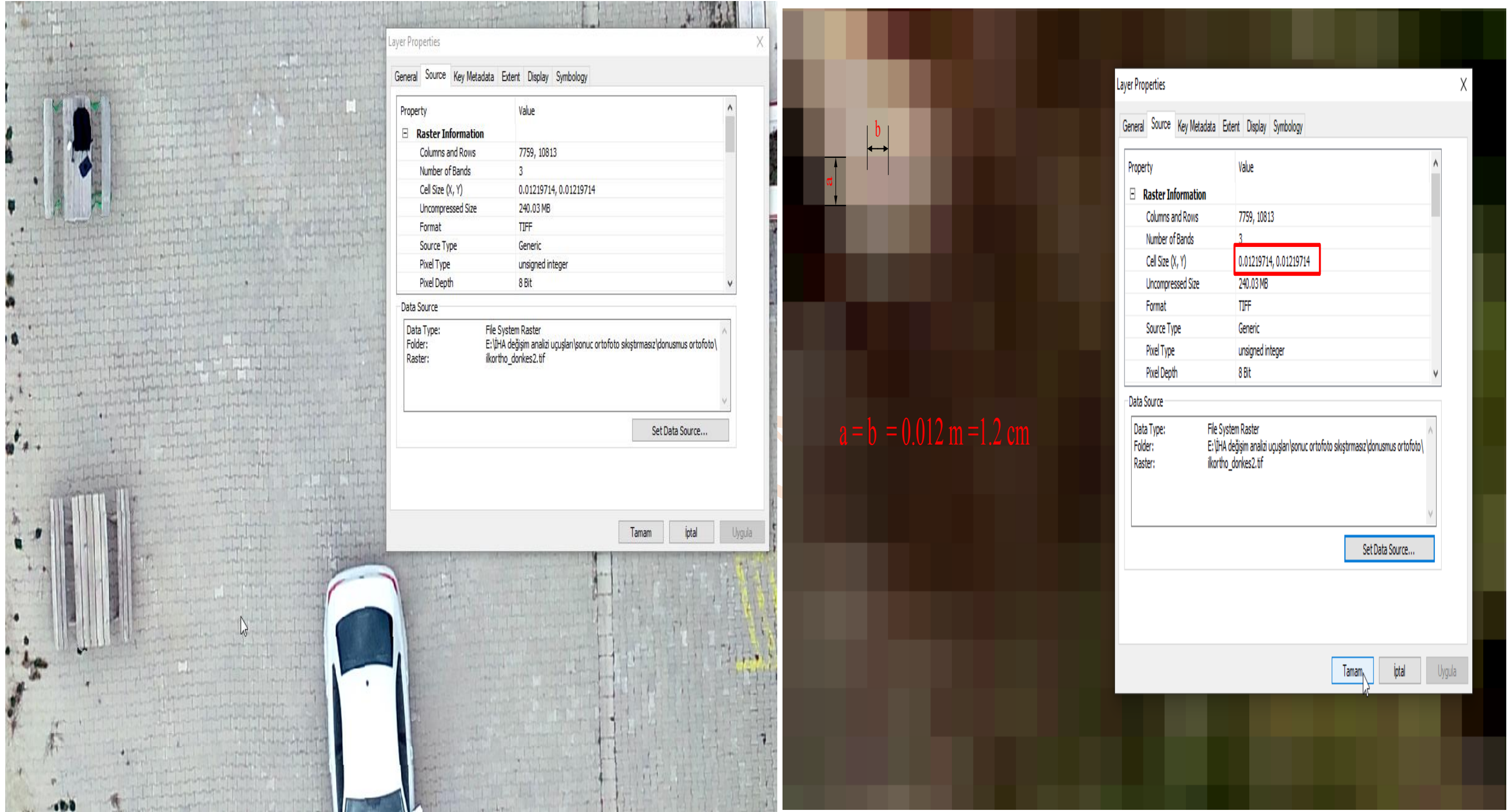
Şekil 52

Şekil 53 insansız hava aracı ile elde edilmiş bir ortofoto görüntüsüdür. Görüntünün özellikleri incelendiğinde pikselin yükseklik değeri (Y eksenindeki boyutu) **a**, pikselin genişliği (X eksenindeki boyutu) **b** harfleri ile temsil edilmiştir. Her iki uzunluk değeri de aynı olacak şekilde: $a = b = 0.012 \text{ m} = 1.2 \text{ cm}$ dir. Bu değerler görüntünün **Geometrik Çözünürlüğünü** vermektedir. Örneklerde geometrik çözünürlük değerlerine ArcGIS yazılımı ArcMap modülü kullanılarak ulaşıldı.



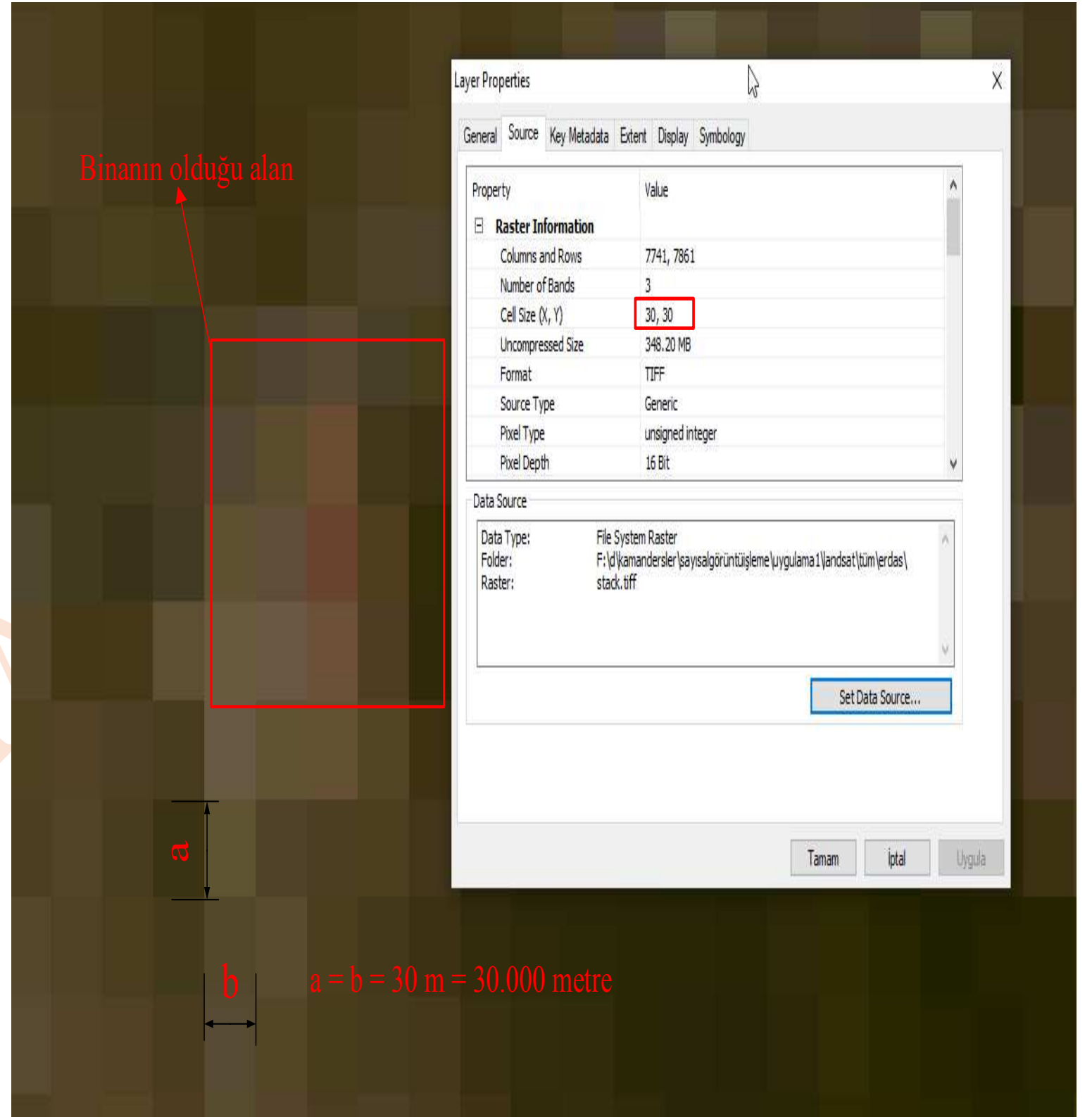
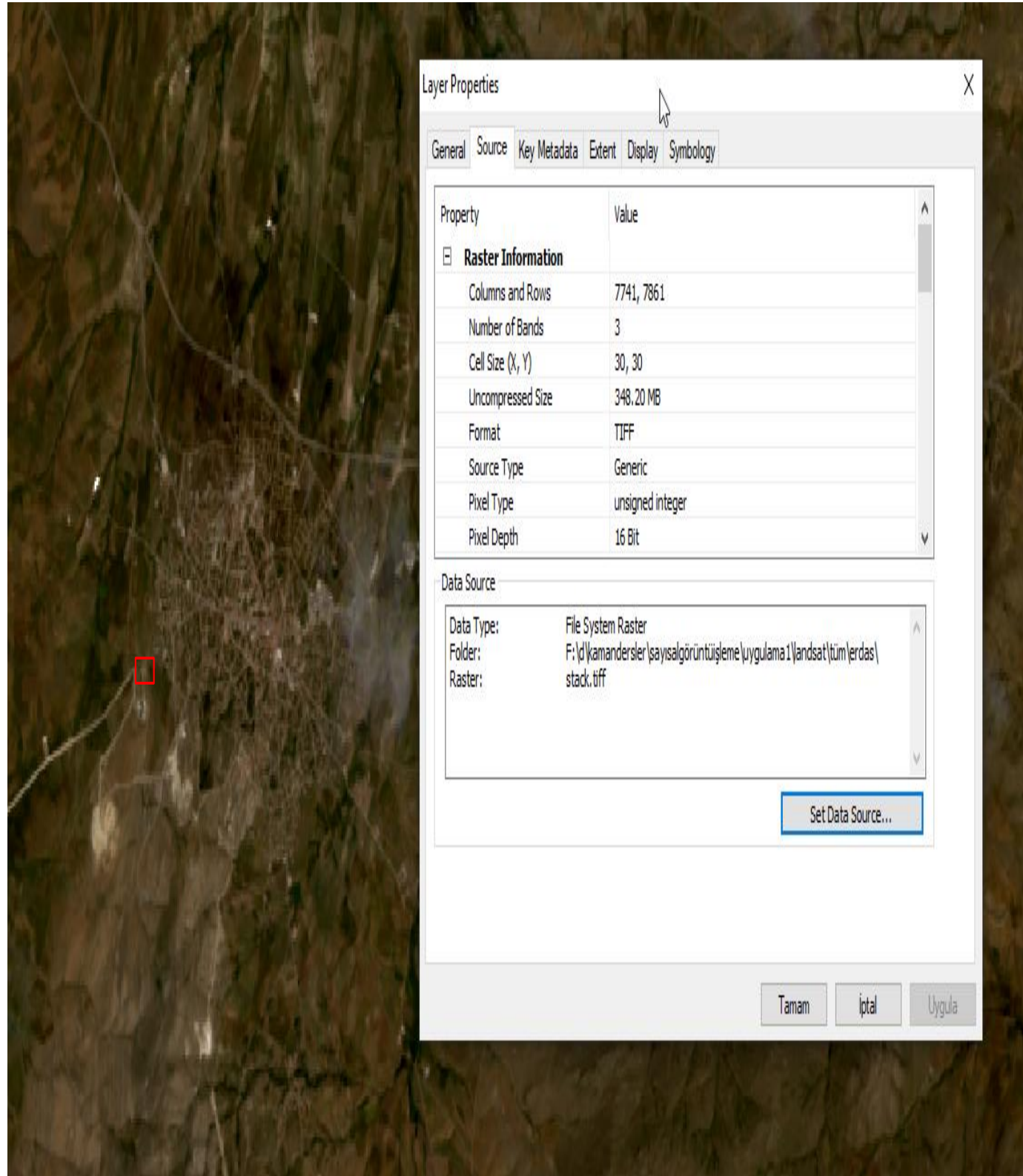
Geometrik çözünürlük değeri metre uzunluk birimi ile ifade edilmektedir. Pikselin genişlik ve yüksekliği geometrik çözünürlük değerini bize verir. Değer ne kadar küçük olursa, görüntüdeki objelerin detaylarına ayrıntılı bir şekilde ulaşmak daha kolay olacaktır.

Aynı görüntünün daha küçük boyutta piksellerle ifade edilmesi, görüntünün geometrik çözünürlüğünü arttığını belirtir.



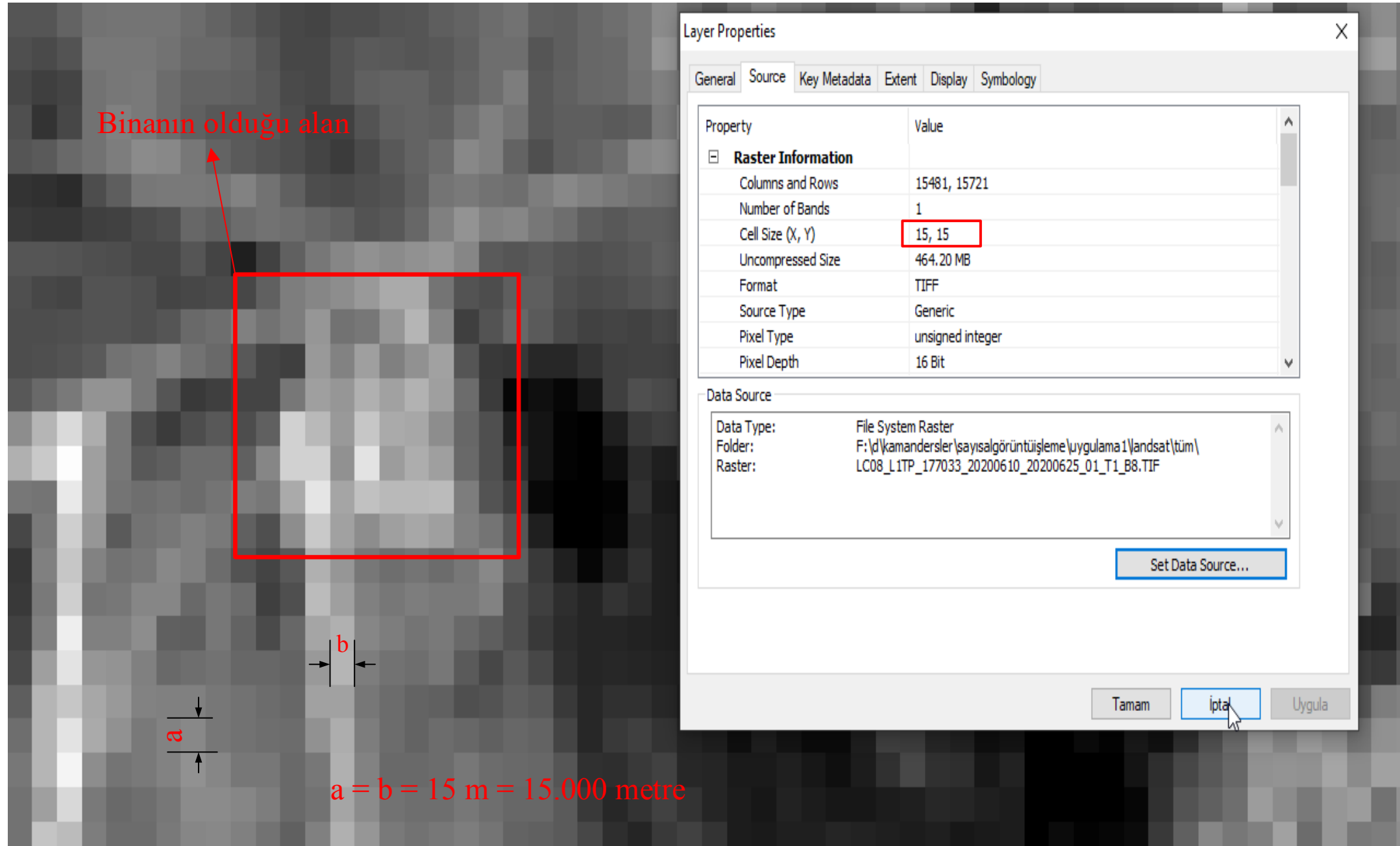
Şekil 53

Şekil 54 Landsat 8 OLI birinci seviye uydu görüntüsünün bant 4, bant 3 ve bant 2 ile oluşturulmuş gerçek renkli dijital görüntüdür. Soldaki resimde ki kırmızı kutu, Şekil 52’de yer alan binanın bulunduğu alanı işaret etmektedir. Sağdaki resimde görüntüdeki piksellerin yükseklik ve genişlik değeri olan 30.000 m değeri verilmiştir. Görüntünün geometrik çözünürlüğü 30 m’dir. Bir piksel sahnedeki $30\text{ m} * 30\text{ m} = 900\text{ m}^2$ alanı kaplamaktadır.



Şekil 54

Şekil 55 Landsat 8 OLI görüntüsüne ait bant8 yani pankrometrik bant görüntüsüdür. Şekil 55 içindeki Layer Properties penceresinde görüntünün çözünürlük değeri kırmızı kutu içine alınmıştır. Bir pikselin X ve Y eksenini yönünde gerçekte karşılık geldiği değerin 15 m olduğu gösterilmiştir.



Şekil 55

İnsansız hava aracıyla elde edilen ortofoto görüntünün geometrik çözünürlüğü diğer iki görüntüye göre daha yüksektir. Bu sayede ortofoto görüntü üzerindeki objelerin detaylarına ayrıntılı bir şekilde ulaşılabılır.

Geometrik çözünürlük, görüntüdeki obje/objelerin ayırt edilmesine bağlı olan görüntü özelliğidir. Şekil 37 örneği ele alınırsa bir görüntünün geometrik çözünürlüğünün yüksek olması için piksel boyutunun küçük olmasına bağlıdır. Piksel boyutları küçüldüğünde, resim üzerindeki objelerin tanımlanması/tanınması o kadar artacaktır. Eğer piksel boyutları küçük olursa sahnedeki yansıyan parlaklıkların her birinin ayrı ayrı piksellerde tutulması sağlanır. Bu sayede görüntü üzerindeki detaylar daha kolay algılanır.



Geometrik çözünürlük, harita yapımında kullanılacak olan sayısal görüntülerde aranan en önemli sayısal (dijital) görüntü özelliğidir. *Resim üzerinden haritaya aktarılacak olan her bir coğrafik objeye ulaşmak için geometrik çözünürlüğünün yüksek olması gerekmektedir.*



İki boyutlu sayısal resim, *satırlar ve sütunlarda düzenli bir şekilde* pikseller ve sahnedeki yansıyan parlaklığı ifade eden gri tonuna karşılık gelen sayısal değerin bu piksellerde tutulduğu yapıya genellikle **RASTER VERİ** (Raster Data) olarak adlandırılır. Vektör veride coğrafik objeler nokta – çizgi – alan grafik objeleriyle tutulur.

Radyometrik Çözünürlük

Günlük matematik işlemlerinde kullandığımız sayı sistemi ondalık (decimal) sayı sistemi ile ifade edilen sayılardır. Ondalık sayı sisteminde kullanılan sayılar, 0 ile 9 arasındaki sayılar kullanılarak ifade edilir. Ondalık sayı sistemi haneleri sayı içinde buldukları yere göre 10'nun kuvvet değeri olacak şekilde hanelere ayrılırlar. Ondalık sayının en sağdaki hane 10⁰ katı yani 1 katı olacak şekilde, en sağdaki hanenin bir solundaki hane 10¹ katı yani 10 katı olacak şekilde hanelere ayrılır. (Gregg, 2018)

Örneğin ondalık sayı sisteminde 498 sayısı hanelerine ayrılması:

$$498 = 4 * 10^2 + 9 * 10^1 + 8 * 10^0 = 4 * 100 + 9 * 10 + 8 * 1 \text{ şeklinde hanelere ayrılır.}$$

Bilgisayar elektronik bir cihaz olduğu için elektrik akımının geçirilmesi (1) ya da geçirilmemesi (0) durumlarını işleyebilir. Bu nedenle ikili sayı sistemini temel alarak veri işler ve saklarlar. (ŞENYAY, 2018).

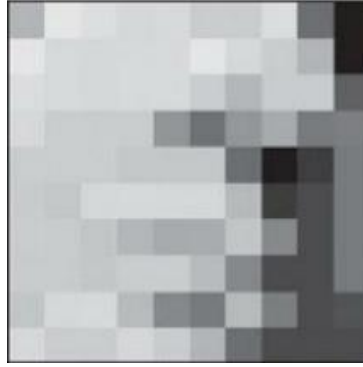
İkili (binary) sayı sisteminde sayılar 0 ve 1 sayıları ile ifade edilir. İkili sayı sisteminde hane kelimesi İngilizcede **Binary Digits** kelimelerindeki harfler kullanılarak **bits** olarak ifade edilir. Ondalık sayı sistemine benzer şekilde ikili sayı sistemi haneleri sayı içinde buldukları haneye göre 2'nin kuvvet değeri olacak şekilde hanelere ayrılır. Örneğin ikilik sayı sisteminde (110)₂ sayısının ifadesi ve ondalık sistemdeki karşılığı:

$$(110)_2 = 1 * 2^2 + 1 * 2^1 + 0 * 2^0 = 1 * 4 + 1 * 2 + 0 * 1 = 6 \text{ şeklinde hanelere ayrılır}$$

(Gregg, 2018).



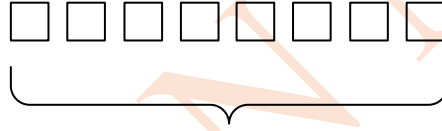
(a)



(b)

190	237	234	223	227	220	219	231	115	2
237	227	223	228	229	237	229	219	190	1
231	227	223	227	229	219	196	216	217	96
229	218	220	219	160	120	164	183	127	136
219	218	219	213	214	210	113	2	54	127
217	213	223	227	223	222	199	54	70	128
219	217	207	196	183	187	207	149	74	126
217	216	210	218	217	203	145	70	73	127
207	223	227	203	145	127	200	136	75	80
227	219	218	223	219	190	115	70	71	74

Modern bilgisayarlar ikili sayıdaki her bir bit (hane) değeriyle çalışmazlar. Bilgisayarlar için daha elverişli olması için bit değerleri gruplara ayrılır. Bir bilgisayarın işlediği en küçük grup bit değeri 1 byte olarak tanımlanır ve 8 haneden oluşur (Gregg, 2018).



8 Haneli
sayı

İkili sayı sisteminde sayısal değerler 0 ve 1 ile ifade ediliyor ve bilgisayarların işlediği en küçük birim 8 bit (hane) değerinden oluşuyor ise, ikili sayı sistemi kullanılarak ifade edilebilecek en büyük ve en küçük sayısal değerler ve ondalık sayı biriminde karşılığı:

$$(00000000)_2 = 0 * 2^7 + 0 * 2^6 + 0 * 2^5 + 0 * 2^4 + 0 * 2^3 + 0 * 2^2 + 0 * 2^1 + 0 * 2^0 = 0$$

$$(11111111)_2 = 1 * 2^7 + 1 * 2^6 + 1 * 2^5 + 1 * 2^4 + 1 * 2^3 + 1 * 2^2 + 1 * 2^1 + 1 * 2^0 = 255$$

Bilgisayarlarda 8 bit (hane) olarak ikilik sayı biriminde, 0 ile 255 arasında kalan toplam 256 farklı tam sayı değeri olabilir.

Sayısal görüntülerin en küçük birimi olan piksel, fiziksel sahneden yayılan parlaklık değerini algılar ve parlaklık değerinin yoğunluğuna karşılık gelecek bir tam sayı değer ile depolama alanında tutar. Bilgisayar ikili sayı biriminde verileri işliyor ve sayısal değerler 8 bit (hane) olucaksa **bir piksel ile algılanan parlaklık değeri dijital olarak kayıt edilirken 0 ile 255 tam sayı değerleri arasında olmalıdır. Eğer piksele denk gelen parlaklık en düşük parlaklık olan siyah ise tam sayı olarak 0 (sıfır)**

değeri ile parlaklık dijital olarak kaydedilir. Eğer piksele denk gelen parlaklık en yüksek parlaklık olan beyaz ise tam sayı olarak 255 değeri ile parlaklık dijital olarak kaydedilir.

Her bir piksel kendine denk gelen parlaklık değerini 0 ila 255 arasında 256 farklı sayısal değerde tutabilir. Her bir piksel 8 bit yani 1 byte değerinde bilgisayar hafızasında yer kaplayacaktır.

$$256 = 2^8 = 8 \text{ bit} = 1 \text{ byte}$$

Şekil 37 içinde Y ekseni boyunca 144 piksel ve X ekseni boyunca 144 piksel'den oluşan resmin bilgisayar hafızasında kaydettiği alanı bulmak için eksenler boyunca var olan pikselleri çarpmamız yeterli olacaktır.

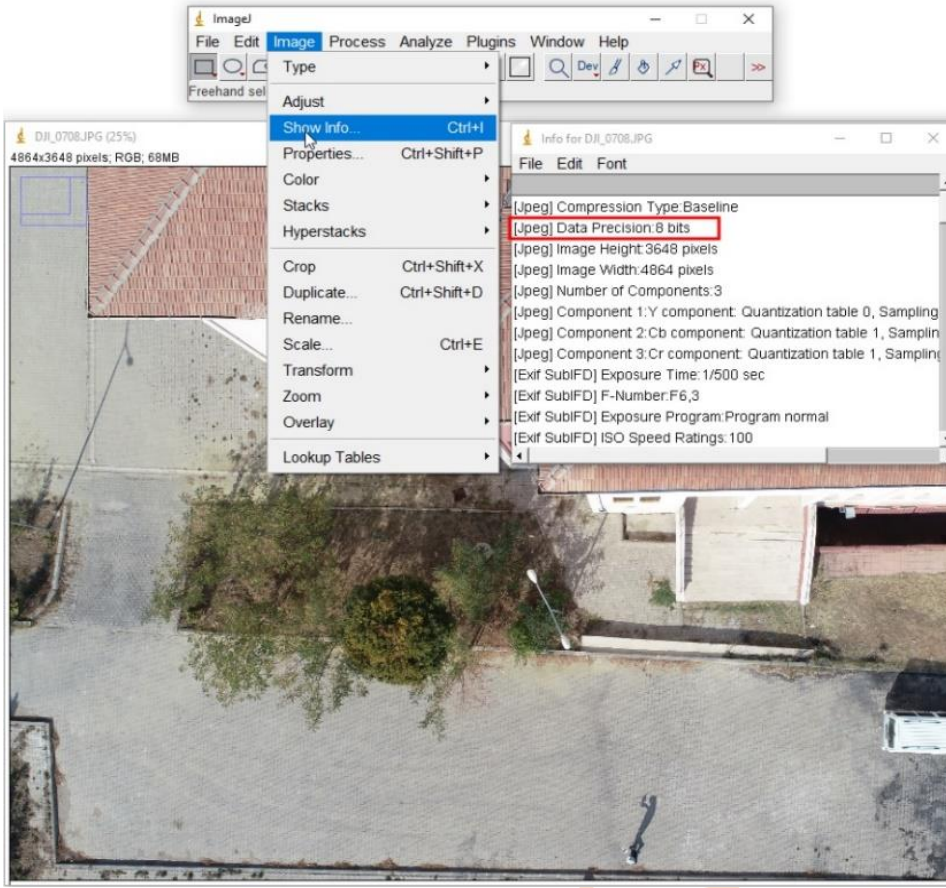
$$144 * 144 = 20736 \text{ byte} \rightarrow \text{resmin hafızada kapladığı alan.}$$

- 1 Bayt (Byte) = 8 Bit
- 1024 Byte = 1 KiloByte (KB)
- 1024 KB = 1 MegaByte (MB)
- 1024 MB = 1 GigaByte (GB)
- 1024 GB = 1 TeraByte (TB)

$$20736 \text{ byte} = 20.25 \text{ KB}$$

Radyometrik çözünürlük, dijital resmin karakteristik özelliklerinden biridir. Radyometrik çözünürlük, kullanım amacına göre resmin seçiminde geometrik çözünürlüğe göre daha farklı özellikler barındırır. Geometrik çözünürlük, resim üzerindeki detayların algılanabilmesi için gerekenleri söylerken, radyometrik çözünürlük resim üzerindeki detaylar hakkında daha fazla bilgi alınması için gereklidir.

Dijital görüntünün Radyometrik çözünürlük değeri bit kavramı ile ifade edilir. Kameranın Sensörünün algılayabildiği parlaklık tonu sayısı arttıkça radyometrik çözünürlük artacaktır. Eğer kameranın sensörü 2 tabanın sayı sisteminde 8 bit (8 haneli) değer tutuyorsa toplam 256 farklı parlaklık tonu algılar ve algıladığı tonu dijital (sayısal) olarak kaydeder.

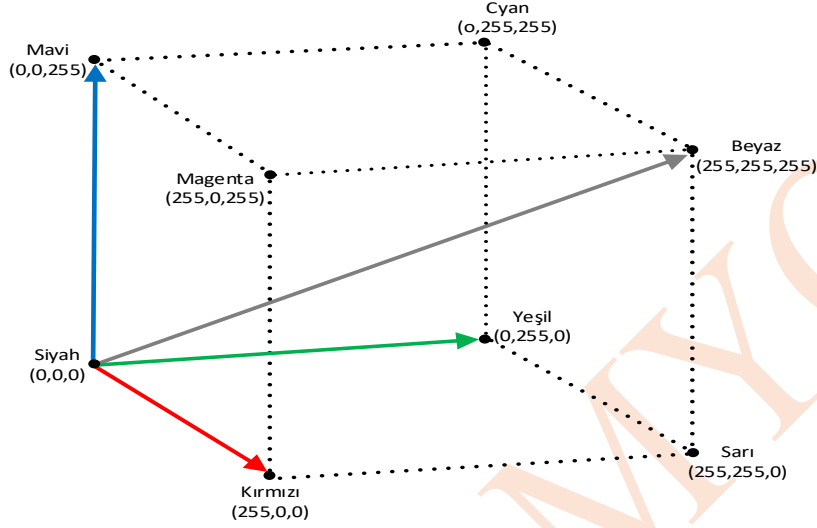


derinliğine sahiptir.

Şekil 56 ImageJ yazılımı ile resmin kaç bit (hane) değeriyle parlaklık değerlerinin kaydedildiği bilgisi elde edildiği gösterilmiştir. Görüntü renkli bir resim olduğundan her bir pikselde ki kırmızı kanal (bant) için, yeşil kanal için ve mavi kanal için toplamda $8 \text{ bit} * 3 \text{ bant} = 24 \text{ bit}$ olacak şekilde bit

Şekil 56

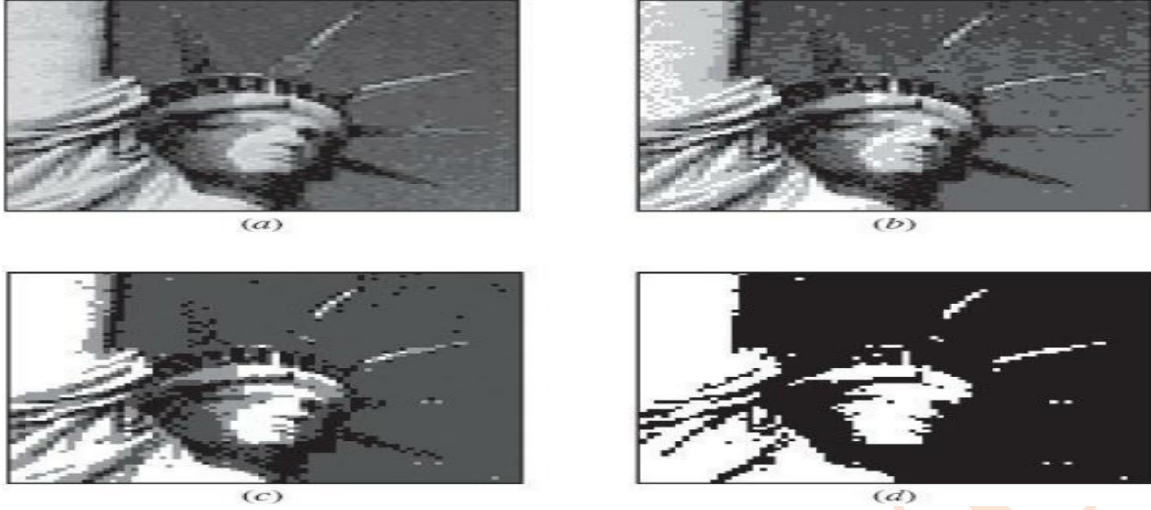
8 bit (Kırmızı,Yeşil,Mavi)=(Red,Green,Blue) renk yoğunlukları sonucu



Şekil 57

Niceleme Seviyesi:

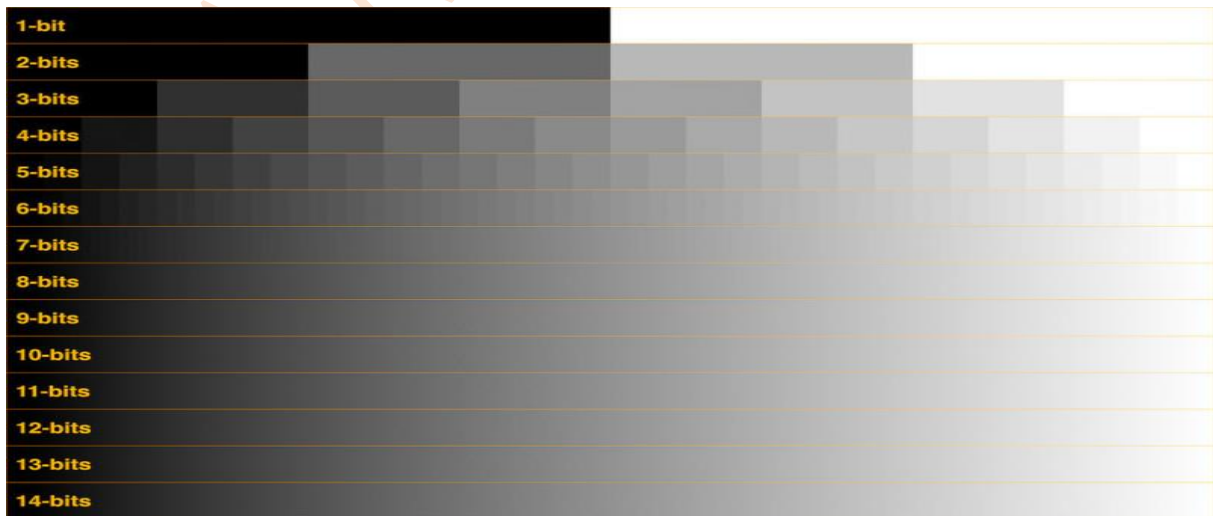
Niceleme seviyesi, radyometrik çözünürlüğe bağlı bir tanımdır. Niceleme seviyesi, objelerden yansıyan parlaklık değerlerinin ifade edileceği tam sayı aralığıdır. Şekil 58 incelendiğinde, a görüntüsü 256 ayrı parlaklık değeriyle ifade edilirken, b görüntüsü 8 ayrı parlaklık değeriyle; c görüntüsü 4 parlaklık değeriyle; d görüntüsü 2 parlaklık değeriyle ifade edilmektedir. Dört görüntü içerisinde d görüntüsü, niceleme seviyesini en iyi anlatan görüntüdür. 2 parlaklık değeri siyah ve beyazdan oluşmaktadır. D görüntüsü incelendiğinde, düşük niceleme seviyesine (parlaklığı ifade veya algılama aralığı) sahip olduğu için büyük alanlara dair görüntü alanlarında homojenlik oluşmuş ve ince ton varyasyonları artık tespit edilemiyor. Niceleme seviyesi aralığı ne kadar çok olursa resim üzerindeki objelere ait bilgiler daha fazla algılanır. Detaylar daha fazla belirginleşir (Wolf, Dewitt, & Wilkinson, 2014).



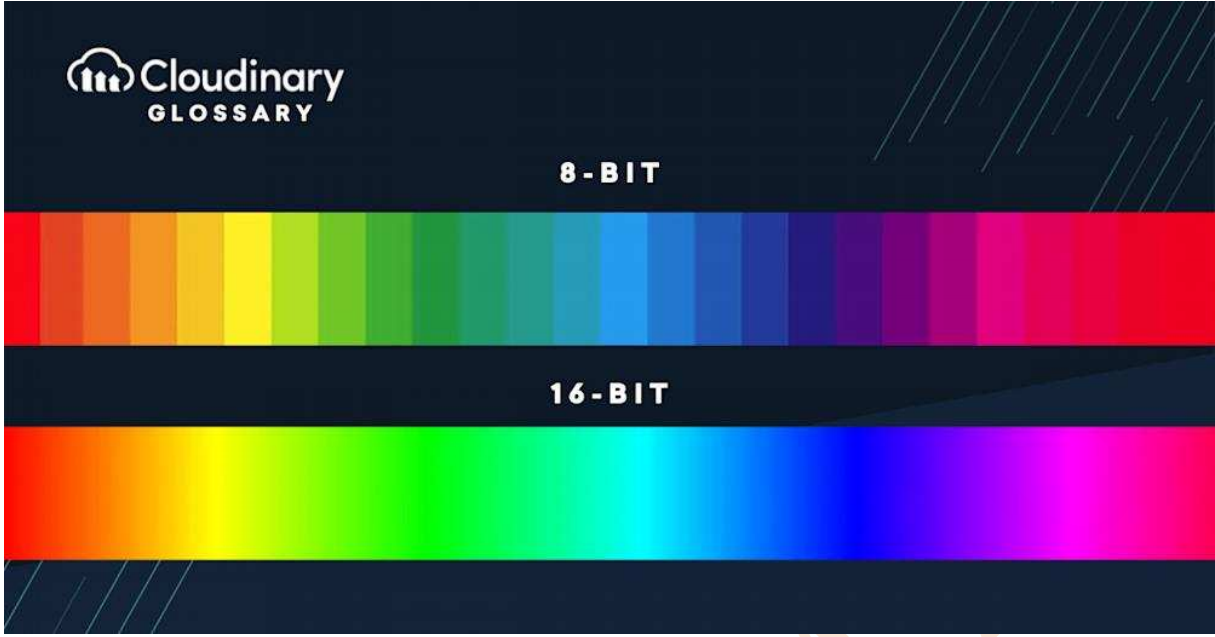
Şekil 58 (Wolf, Dewitt, & Wilkinson, 2014)

Eğer resimleri elde etmede kullanacağımız teknoloji daha yüksek bit değerlerinde resim elde ediyor ise o takdirde daha hassas gösterimde resimler elde edilir (Wolf, Dewitt, & Wilkinson, 2014). Örneğin 10 bit bir resimde $2^{10} = 1024$ farklı parlaklık değeri algılanabilecek. Eğer 12 bit bir resim olduğu takdirde $2^{12} = 4096$ farklı parlaklık tonu algılanacak ve daha fazla ve farklı parlaklık değeri piksellerde kaydedilebilecek. Objelerden yayılan farklı parlaklıklar algılanabilecek. Ek olarak geometrik çözünürlük değeri de yüksek olursa haritacılık açısından daha kullanımlı görüntüler elde edilmiş olacaktır. İnsanın göz algısı, parlaklık değişimlerine olan hassasiyeti, renk değişimlerine olan hassasiyeten daha hassastır (Canıklıgil, 2019).

Şekil 59 incelendiğinde bit değeri (hane sayısı) arttığında, objelerden yayılacak parlaklık farklılıklarını daha fazla algılayabilecek parlaklık aralığının (nicelik seviyesinin) oluştuğu görülmektedir.



Şekil 59 (Benz, 2019)



Şekil 60 (Clouinary, 2023)

Spektral Çözünürlük

Renkli dijital görüntü konusunda, renkli görüntünün sahnedeki parlaklık değerlerinin elektromanyetik spektrumdaki 3 ana rengin (Kırmızı, yeşil ve mavi renkleri) enerji aralıklarına göre 3 farklı bantta kayıt altına alınması ile oluştuğu belirtilmiştir. Elektromanyetik spektrum enerji aralığı tanımındaki Spektral kelimesi İngilizcede ki spectral kelimesinin Türkçe’de kullanım şeklidir. Spectral kelimesi specter kelimesiyle ilişkilidir. Specter ise enerji tayfına karşılık gelmektedir. Enerji tayfından kastedilen, farklı enerji aralıkları anlatılmak istenmektedir. Renkli dijital görüntüde sadece insan gözünün algılayabildiği 3 enerji aralığı algılanıyor. Eğer objelerden yayılacak farklı elektro manyetik enerjiler ayrı ayrı kaydedilebilirse, objelerdeki farklılıklar, hastalıklar, değişimler dijital resim üzerinden algılanabilir. Elektromanyetik spektrum (Şekil 61) üzerindeki farklı enerji aralıklarının sensör tarafından algılanması, bu enerji aralıklarının farklı bantlarda saklanması ve bu bantlarla yeni görüntülerin oluşturulması görüntüdeki Spektral çözünürlüğü arttıracaktır.

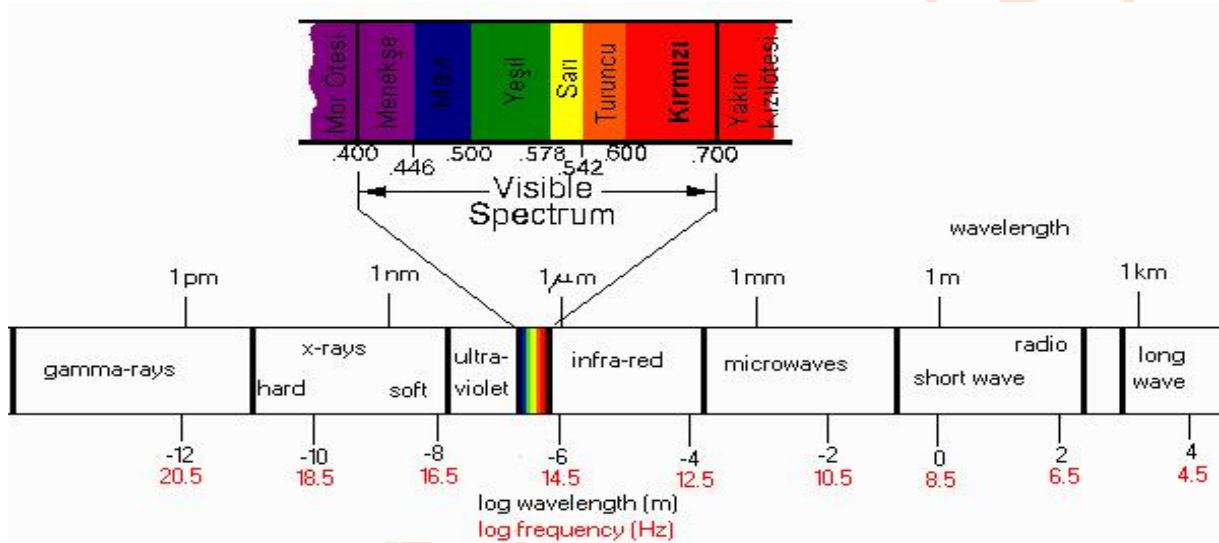
Dijital görüntünün spektral çözünürlüğünü arttıran bir diğer faktör, sensörün enerjiyi dar aralıklar ile algılamasıdır. Algılanan enerji aralıkları daraldığı takdirde, objelerde yayılan farklı enerjiler ile görüntü üzerinden objelerin tanımlanması ve sınıflandırması daha kolay olacaktır.

Günlük hayatta kullanılan kompact kamera üzerindeki sensörler veya DSLR dijital fotoğraf makineleri üzerindeki sensörler, firmaların ürettiği hazır İHA – 0 sınıfındaki insansız hava araçlarının kameraları üzerindeki sensör donanımları sadece görünür enerji aralığını algılamakta ve sonuç elde edilen görüntüler 3 bantta sahip olmaktadır. Uydular üzerinde farklı enerji aralıklarını algılayabilecek

sensörler sayesinde yeryüzünden yayılan enerji aralıkları ayrı bantlara kayıt altına alınmakta ve farklı bantlar ile yeryüzüne dair çalışmalar yapılmaktadır.

Diğer görüntüleme cihazları birkaç, hatta yüzlerce banttan örnekler alabilir. Daha yüksek bir spektral çözünürlük seviyesiyle, bir nesnenin spektral tepki modelinin daha doğru bir temsili yapılabilir (Wolf, Dewitt, & Wilkinson, 2014).

Proba -1 Uydusu üzerinde elektromanyetik spektrum üzerindeki farklı enerji aralığını algılayacak sensör teknolojileri ve bu enerji aralıklarını algılayacak bantlar bulunmaktadır (University of twente, 2020). Göktürk -2 uydusu Ülkemize ait uydumuz olup görünür bölge (3 band) haricinde NIR ve SWIR enerji aralıkları ve pankromatik (siyah – beyaz) görüntü olmak üzere 6 bant bulunmaktadır.



Şekil 61

Bant aralığının fazla olması elde edilecek görüntülerin spektral çözünürlüklerini arttıracaktır. Bu sayede doğal veya yapay coğrafik objelerden yansiyacak enerji aralıkları daha detaylı algılanacak ve üzerinden analiz yapılması sağlanacaktır.

Spektral çözünürlüğü algılamak için renkli filmleri yorumlayabiliriz. Renkli görüntüler, farklı enerji aralığına karşılık gelen, üç temel renk olan Kırmızı – Yeşil – Mavi renk tonlarının miktarlarının değişikliği ile oluşur. Renkli filmleri elde etmek için kullandığımız teknolojiler, objelerden yansıyan bu üç tonu algılayabilirler. Her bir renk tonunu ayrı ayrı kaydedip, üç kaydı Kırmızı – Yeşil – Mavi sıralamasıyla üst üste koyarak tek bir renkli görüntü elde edilmesi sağlanır. Bu üç ayrı kayıt sayesinde mor ile kırmızı arasındaki tüm tonlar ayırt edilebilir. Fakat siyah – beyaz görüntü gri tonları şekilde ifade edildiği için mor ile kırmızı arasındaki tonlar tek bir parlaklık değeri ile kaydedilecektir.



Spektral bantların her birinin bilgisayar belleğinde ayrı ayrı depolanması gerektiğinden, bant sayısı, gerekli görüntü depolama miktarı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir (Wolf, Dewitt, & Wilkinson, 2014).

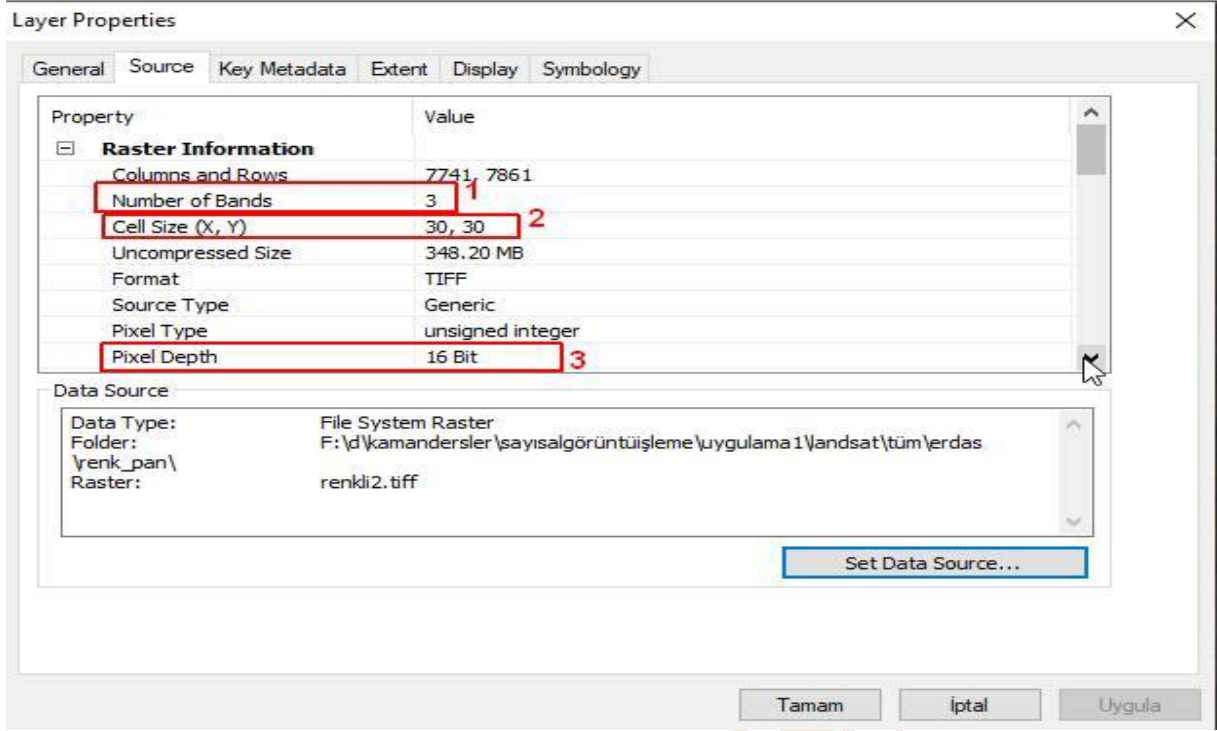
Şekil 62 (Parrot marka spectral kamera ile bitkilerden yayılan enerji algılanabiliyor) insansız hava aracına (iha) bağlanmış farklı enerji aralıklarını algılayabilen spektral kamera örneği bulunmaktadır. Günümüzün gelişen teknolojileri, görünür enerji aralıkları haricinde enerjileri algılayabilen ufak boyutlu sensör teknolojileri sağlamıştır. Bu sayede yeryüzüne daha yakın uçabilen insansız hava araçlarına yerleştirilen teknolojiler ile geometrik çözünürlüğü ve spektral çözünürlüğü yüksek görüntüler elde edilmektedir.



Şekil 62 (Parrot marka spectral kamera ile bitkilerden yayılan enerji algılanabiliyor (All in one drone solution for precision agriculture , 2018))

Şekil 65 Parrot Spektral kamera algılayıcıları ve boyutları'da gösterilen kamera iha'ya bağlanan kameranın yakın görüntüsüdür.

Şekil 63 ve Şekil 64 ArcGIS ve Erdas IMAGINE programları kullanılarak dijital görüntülerin özelliklerinin nasıl okunmasına örnektirler. Şekil 63 ArcGIS yazılımı kullanılarak dijital görüntünün özelliklerine (Properties) ulaşılmıştır. Görüntü üzerinde çözünürlük değerlerinin olduğu alanlar kırmızı kutular içine alınmış ve kenarlarına numaralar konulmuştur. 1 numaralı kısım görüntünün spektral çözünürlük değerini vermektedir. Görüntü 3 bant birleşmesiyle oluşmuştur. 2 numaralı kısım dijital resmin geometrik çözünürlüğünü göstermektedir. Görüntü üzerindeki her pikselin genişliği 30 m ve pikselin yüksekliği 30 m olmak üzere her piksel sahnedeki $30\text{ m} * 30\text{ m} = 900\text{ m}^2$ alanı kapsamaktadır. 3 numaralı kısım dijital görüntünün radyometrik özelliğini göstermektedir. Dijital görüntünün radyometrik özelliği 16 bit (16 hane)'dir. 16 bit değerinin anlamı, kameranın sensörü üzerindeki pikseller $2^{16} = 65536$ farklı parlaklığı algılayabilir anlamındadır. Algılanan 65536 farklı tondaki parlaklık, dijital ortamda 0 ile 65535 tam sayı değerleri ile kayıt altına alınır.

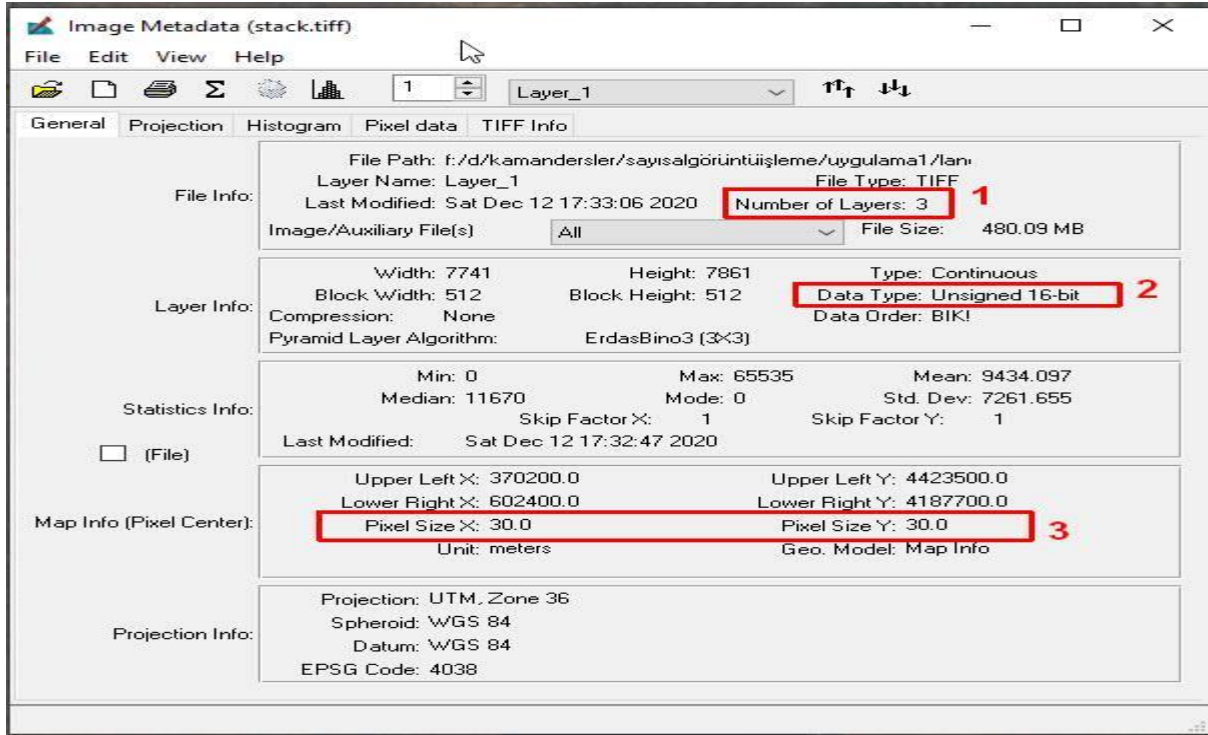


Şekil 63

Şekil 64 aynı dijital görüntünün Erdas IMAGINE yazılımı kullanılarak dijital görüntü özellikleri sayfasıdır. Her bir çözünürlük değerinin ifade edildiği alan kutu içine alınmış ve yanlarına numaralar yazılmıştır. 1 numaralı alan görüntünün spektral çözünürlüğünün olduğu alandır. 2 numaralı alan görüntünün radyometrik çözünürlüğünün olduğu alandır. 3 numaralı alanda görüntünün geometrik çözünürlüğünün olduğu alandır.



Çalışılacak görüntülerin üç çözünürlük değerinin de yüksek olması görüntü maliyetini arttıracaktır. Yapılacak uygulamada yeterli çözünürlük değerleri belirlenip, görüntünün elde edileceği teknoloji platformuna karar verilip görüntü elde edilmelidir.



Şekil 64



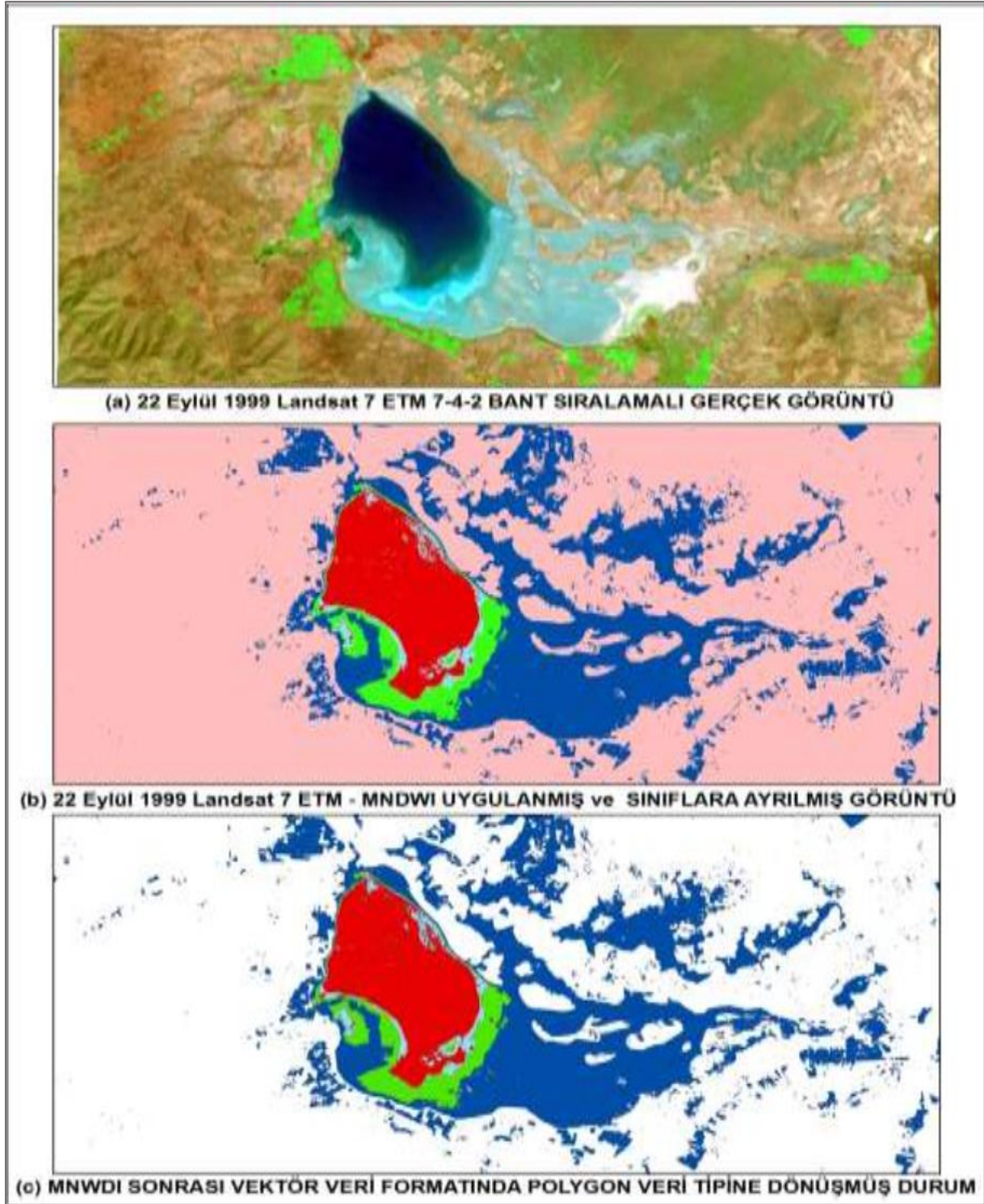
Şekil 65 Parrot Spektral kamera algılayıcıları ve boyutları

Şekil 66 Yapılan çalışma sonucu hektar başına elde edilen ürün miktarının haritalanması İHA ile yapılan uçuşlar ve İHA üzerindeki spektral kamera sayesinde tarlalardan elde edilecek rekolte oran değerleri örneği bulunmaktadır.



Şekil 66 Yapılan çalışma sonucu hektar başına elde edilen ürün miktarının haritalanması

Şekil 67 Seyfe gölündeki su miktarının belirlenmesi çalışması Seyfe gölünde ki su miktarının spektral uydu görüntüsü yardımıyla belirlenmesine dair bir örnek gözükmektedir. Örnekte Landsat spektral uydusuna ait görüntü kullanılmıştır. Uydunun kamerası tek bir resim çekiminde, birden fazla enerji aralığında aynı sahneye ait görüntü elde edebilir. Belirli enerji aralıklarının algılanıp kayıt altına alındığı kısımlar BANT olarak ifade edilir. Bantlar arasında yapılan işlemler (yani farklı enerji aralıklarındaki görüntüler arasında yapılan işlemler) sayesinde görüntülerde ki objeler algılanabilir. Şekil 67 Seyfe gölündeki su miktarının belirlenmesi çalışması(a) Landsat uydu görüntüsündeki 7, 4 ve 2 numaralı bantların sıralamasıyla gerçekte görünen görüntü elde edilmiştir, (b) Bantlar Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) su indeksi formülünde kullanılarak Seyfe gölündeki su alanı, bataklık alan sınırları belirlenmiş ve bu sınırlar sayesinde görüntü üzerinden alan miktarları hesaplanmıştır. Bu sayede farklı yıllarda elde edilmiş görüntülerde analizler yapılarak su miktarındaki azalma veya artış miktarları elde edilebilir.



Şekil 67 Seyfe gölündeki su miktarının belirlenmesi çalışması

Şekil 68 Balık solungaçlarına ait görüntü analizinden balık kalitesinin belirlenmesi çalışması balıkların kalitesini belirlemek için görüntü işleme yöntemleri kullanılmasına bir örnektir. Balıkların kalitesinin belirlenmesi için balık solungaçlarına ait spektral aralıkları algılayabilen kameralar kullanılmış ve fotoğraflar çekilmiştir. Şekil 68 Balık solungaçlarına ait görüntü analizinden balık

kalitesinin belirlenmesi çalışması görüntülerde elde edilmiş farklı enerji aralık değerlerini birden farklı tekniklerle sınanması sonucu elde edilen sonuçları göstermektedir.

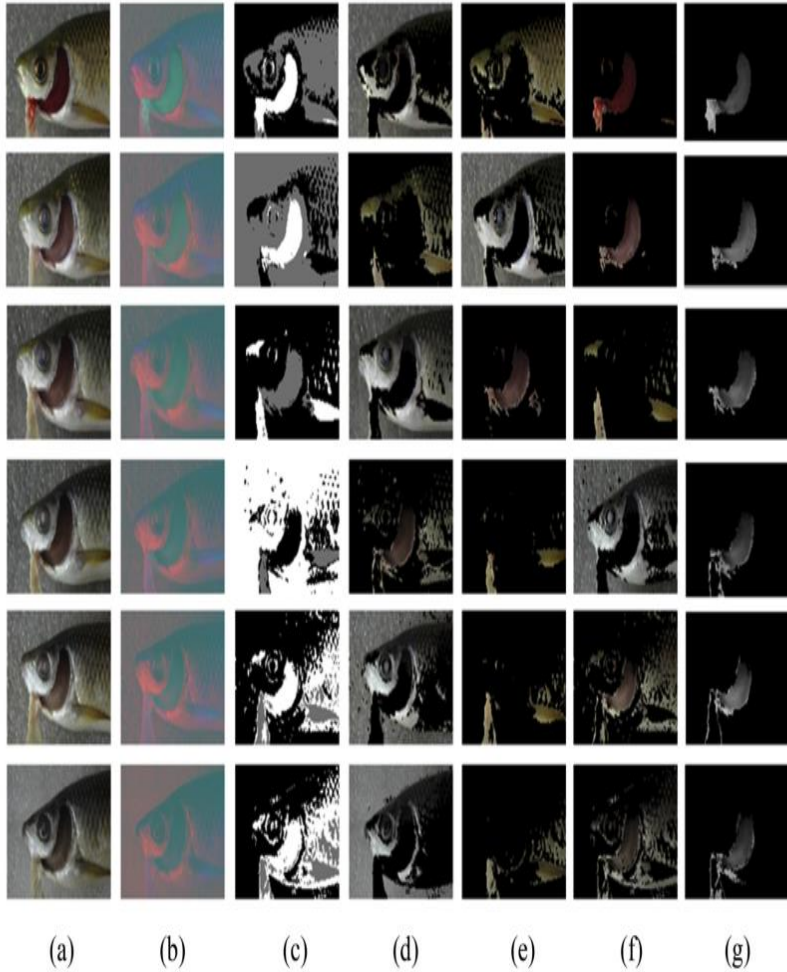


Fig. 4. Automatic Segmentation of Fish Gill (a) Input RGB Image (b) Lab Color Space Transformed Image (c) Clusters formed by Clustering algorithm (d) Cluster 1 (e) Cluster 2 (f) Cluster 3 (g) Red Channel of segmented ROI. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

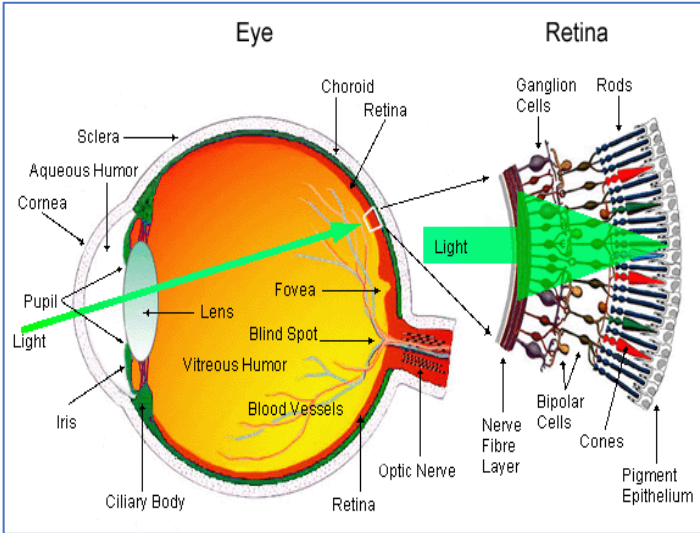
Şekil 68 Balık solungaçlarına ait görüntü analizinden balık kalitesinin belirlenmesi çalışması (Dutta, Issac, Minhas, & Sarkar, 2016)

Yukarıdaki üç basit ve farklı örnek yapay veya doğal objelerden yansıyan radyasyonun (enerjinin) algılanması ve algılanan enerjiler üzerinden objelere ait bilgilerin elde edilmesinin temsildir. Örneklerde görüldüğü gibi görüntüler iha'lara eklenecek kameralarla, uydu görüntülerinden veya normal kameralardan elde edilebilir. Önem verilmesi gereken görüntülerdeki enerjiler üzerinden objelerin algılanması ve analizlerin yapılmasıdır. Mesleğimizde görüntü işleme teknolojileri yardımıyla bir çok uygulamamıza dair çözüm üretilmektedir.

Renkli Görüntü

Dijital görüntünün oluşma mantığında insan gözünün çalışma mantığı yatmaktadır. Bu bağlamda, ilk önce insan gözü ile renk algısı anlatılmış sonrasında dijital görüntüde piksel içindeki rengin oluşmasına değinilmiştir.

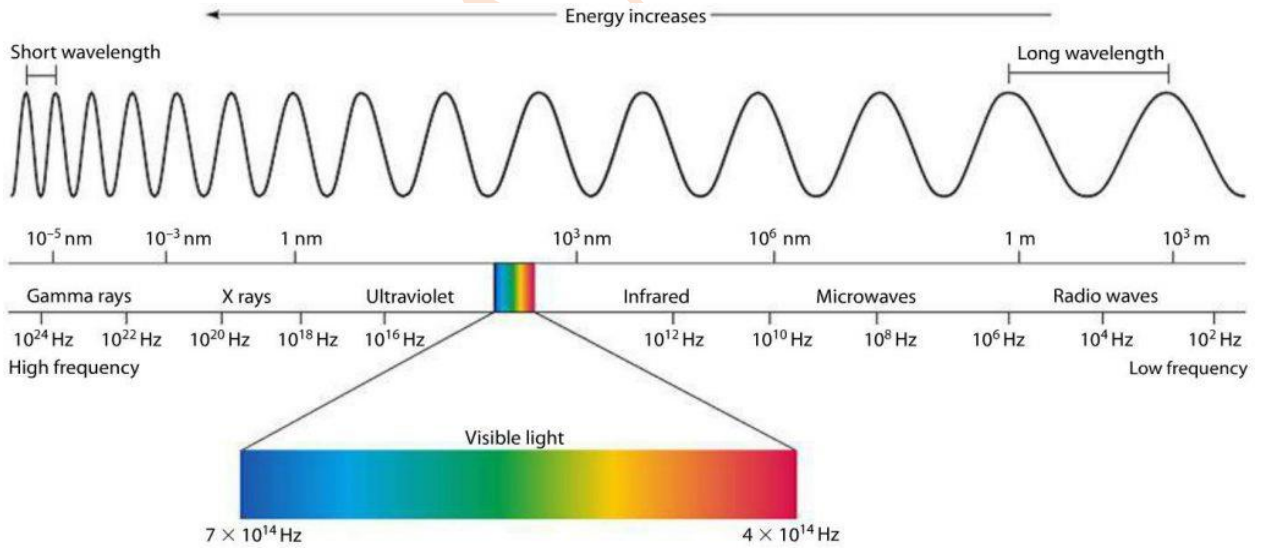
Renkli Görüntünün Algılanması



Şekil 69

İnsan retinasında, renklerin algılanmasını sağlayan üç tür göz hücresi (cone = koni) (Şekil 69) vardır ve her bir hücrenin tepkisi gelen ışığın dalga boyunun bir fonksiyonudur; 440 nm'de (mavi), 545 nm'de (yeşil) ve 680 nm'de (kırmızı) zirve yaparlar (Şekil 70). Başka bir deyişle, her bir hücre türü ana renklerden birine karşı duyarlıdır: mavi, yeşil veya kırmızı. Bir kişi tarafından algılanan bir renk, uyarılan bu üç hücre türünün her birinin algılama oranına bağlıdır ve bu nedenle görünür ışık elektromanyetik radyasyon spektrumunun 380 nm –

750 nm'lik aralığında olsa da (r, g, b) sayı üçlüsü olarak ifade edilebilir. (Liu & Mason, 2016).



Şekil 70 (Roth-Wells, 2020)

Bir nesneden yansıyan ışık, görsel sistemimizdeki retinanın koni hücreleri tarafından absorbe edilerek (emilerek/özüm senerek/içine alınarak) beynimizin renkleri algılamasına yol açar. İnsan görme sisteminde, rengi algılamak için üç koni sınıfı vardır. Nesneden yansıyan ışık, insan gözündeki bu üç koni sınıfında farklı miktarlarda absorbe edilmesine yol açar. Bu konilerin absorbe işlemlerinin

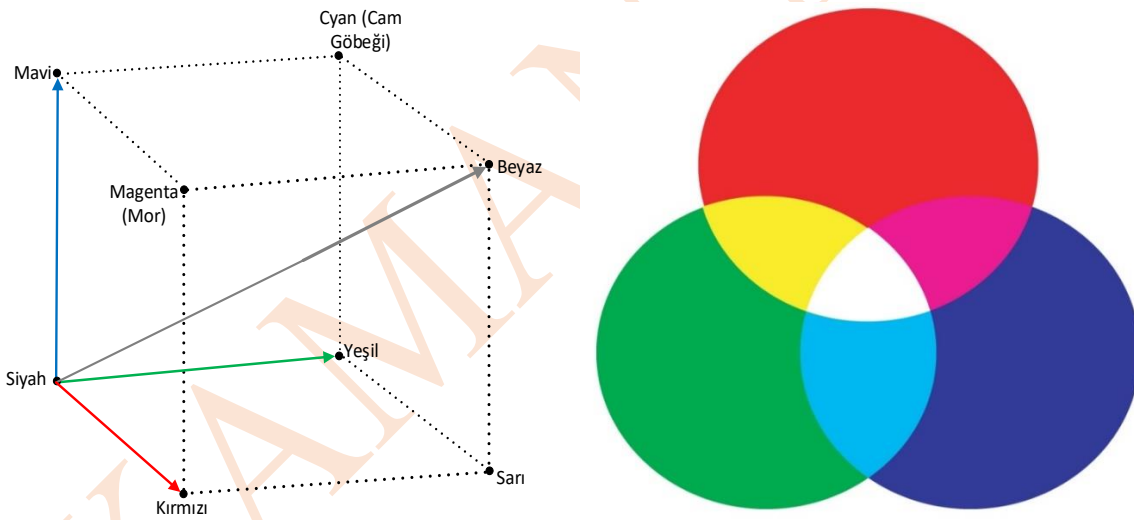
¹ nm=Nanometre = 1 metrenin milyarda biridir. → 1nm = 0.000000001 m

yorumlanması, sinir sistemimiz tarafından renk algılamamızın temelini oluşturur. Dolayısıyla renk, bir nesnenin yüzey yansıtmasının algısal bir temsilidir (Acharya & Ray, 2005).

Ana renk (kırmızı, mavi, yeşil) olmayan bir renge ait ışık C olarak ifade edildiğini düşünelim. C ışığının rengi, insan gözünde ki retinada var olan hücrelerin farklı oranda uyarılmasını sağlar, bu oran değerleri her renk için kendi hücresinde sayısal olarak *kırmızı algılama hücresi = r değeriyle; mavi rengi algılama hücresi b değeriyle; yeşil rengi algılama hücresi g değeriyle* ifade edilirse, sonuç oluşacak renk değeri:

$$C = r * \text{Kırmızı} + b * \text{Mavi} + g * \text{Yeşil} \quad \text{algılanması sağlanır (Liu & Mason, 2016).}$$

Renkli kavramında, üç ana rengin eşit oranda değer almasıyla ($r = g = b$) beyaz veya grinin en açık tonu oluşurken, iki ana rengin en yoğun ve eşit oranda değer almasıyla tamamlayıcı renk olarak adlandırılan renkler (Magenta=mor, cyan=cam göbeği, sarı) ortaya çıkar (Şekil 71). Örneğin kırmızı ve yeşil ana renklerinin birleşmesiyle sarı; kırmızı ve mavi ana renklerin birleşmesiyle magenta=mor renk oluşur (Şekil 71) (Liu & Mason, 2016).



Şekil 71

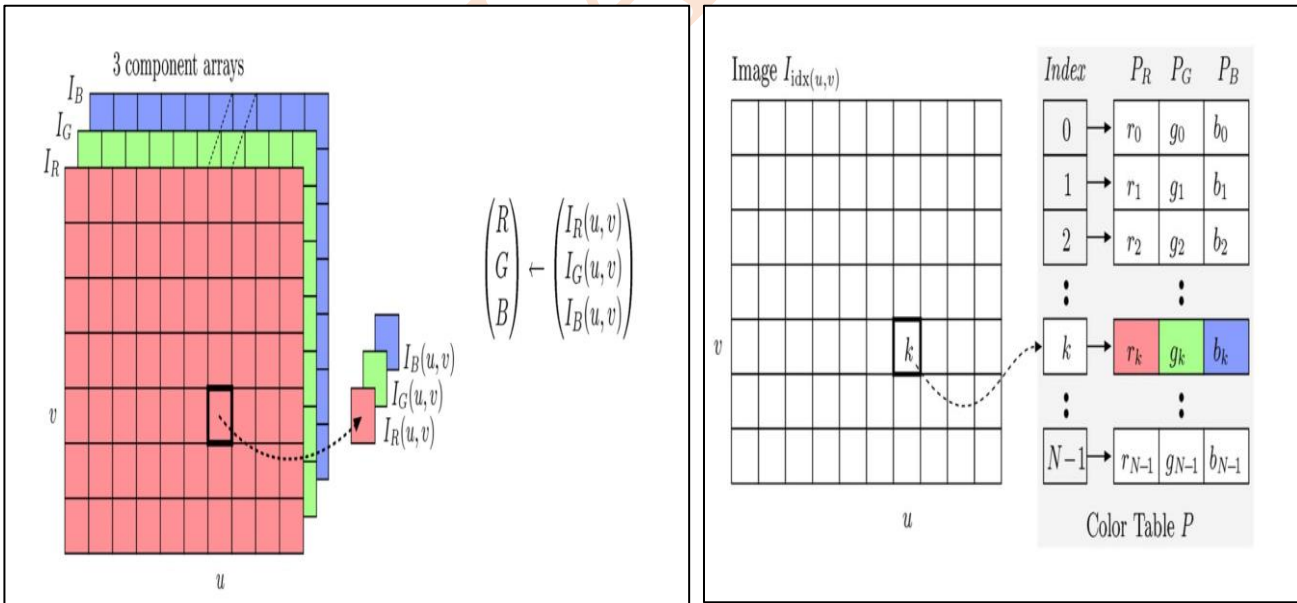
Renkli Sayısal Görüntü

Renkli dijital görüntüler, genellikle televizyon ekranı ile aynı prensibe dayanan bir basitleştirmeyi kullanır. Televizyon açıkken, TV (veya bilgisayar) ekranınızdaki beyaz bir alana büyüteç tutun. Bölgenin binlerce küçük kırmızı, yeşil ve mavi nokta veya dikdörtgenle kaplı olduğunu görebilirsiniz. Eğer Ekranın mavimsi bir renkte olan bir bölgesine bakarsanız, mavi noktaların parlak yandığını, kırmızı ve yeşil noktaların soluk kaldığını göreceksiniz. Normal görüş mesafesine çekildiğinizde, gözleriniz renk tonlarının süreklilik gösterdiğini algılar. Bu davranışın aynısı dijital

görüntülerde, üç ana rengin (veya bandın) çeşitli seviyelerde parlaklıklarıyla renk tonunu temsil eder. Bu yapı, insan gözündeki üç tip koninin (retinanın renk algılayan bileşenleri) aynı şekilde mavi, yeşil ve kırmızı enerjiye duyarlı olduğu teorisine dayanmaktadır. (Wolf, Dewitt, & Wilkinson, 2014).

Görüntüleme, elektromanyetik enerji örnekleri normalde yalnızca spektrumdaki dar bantlar içinde algılanır. Örneğin renkli film, spektrumun görünür kısmında mavi, yeşil ve kırmızı olmak üzere üç bant örnekler. Renkli filmin spektral çözünürlüğü, üç spektral bant veya kanala karşılık gelir (Wolf, Dewitt, & Wilkinson, 2014).

Renkli dijital görüntü, üç ana rengin ayrı ayrı kayıt altına alınmasıyla oluşur. Her ana renk için ayrı bir tabakada ya da bantta (kanalda) sahneye ait parlaklık değeri tutulur. Bir diğer bakış açısıyla, aynı insan gözünde olduğu gibi, algılanan farklı enerji aralıkları ilgili bantlarda kayıt altına alınır. Dijital kamerada parlaklık değerlerinin algılandığı donanım, “Dijital Görüntüyü Sağlayan Sensör Teknolojisi” konu başlığında da değinildiği, sensör teknolojisi ve üzerindeki hücrelerdir (piksellerdir). Sahneden yansıyan parlaklık sensör üzerine gelir ve her bir piksel kendisine denk gelen parlaklık değerini (enerji değerini) algılar. Piksel enerji aralığına göre parlaklık değerini ilgili bantta kayıt altına alır. Her bantta sensör üzerindeki satır ve sütun sayısı kadar piksel bulunmaktadır. Piksel algıladığı enerjinin yoğunluğuna göre parlaklık değerini ilgili bantta ilgili piksele sayısal olarak kaydeder. Kayıt yapılırken renk tonunda değil gri tonunda kayıt altına alınır. Dijital görüntü açıldığında ilgili piksel üzerinde üç banttaki yoğunluk değerlerinin toplamına denk gelen renk uzayında ki ilgili renk gözükcektir (Şekil 72).

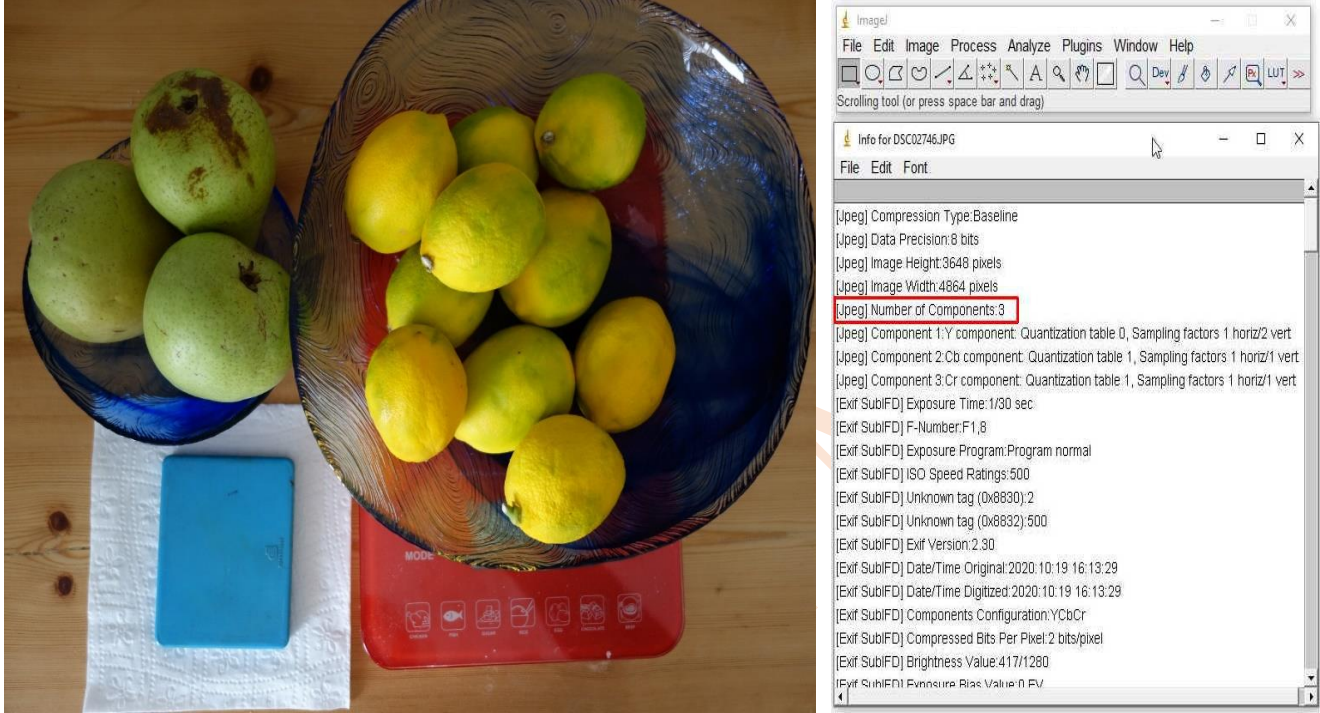


Şekil 72 (Agu, 2014)

Şekil 72 RGB renk uzayını tasvir eder. Binary (ikili) sayı sisteminde 8 bit (hane) olarak kaydedilmiş bir renkli dijital görüntüde, her bir banttaki piksellerde parlaklık değerleri en çok $2^8 = 256$ farklı nicelik aralık değerinde tutulur. En genel görüntü sistemleri 8 bit ile 24 bit $=256^3$ arasında

radymetrik çözünürlüğe sahiptirler. Bu değer aralığı dijital resimde gözükken, sahnede ki coğrafik objelerden yansıyan parlaklık değerlerini göstermek için yeterlidir. (Liu & Mason, 2016).

Şekil 73 üç ana rengin de olduğu, compact dijital bir fotoğraf makinesinden çekilmiş görüntü ve görüntü hakkında bilgiler bulunmaktadır. Görüntü bilgilerinde kırmızı kutu içinde görüntünün 3 bileşenden oluştuğu bilgisi belirtilmektedir. Bileşenden kastedilen, görüntünün kaç banttan oluştuğudur.



Şekil 73

ImageJ yazılımı kullanılarak, görüntünün oluştuğu bantlar ayrı görüntü olarak açılmıştır. Şekil 74 Blue Channel görüntünün mavi renge ait enerjilerin kayıt altına alındığı banda ait görüntü, Şekil 75 Green Channel görüntünün yeşil renge ait enerjilerin kayıt altına alındığı banda ait görüntü ve Şekil 76 Red Channel görüntünün kırmızı renge ait enerjilerin kayıt altına alındığı banda ait görüntüdür. Her bir ana renge ait görüntüler incelendiğinde görüntüler gri tonlarında kayıt altına alındığına dikkat edilmelidir. Gerçek görüntü ile bantlar karşılaştırıldığında mavi bantta gerçek görüntüdeki mavi renkler daha parlak olduğuna dikkat edilmelidir. Aynı karşılaştırma gerçek görüntü ile diğer bantlar için de yapıldığında her bandın temsil ettiği ana renk gerçek görüntüdeki karşılık gelen renk tonu için daha parlak tonlara sahip olduğu görülür.



Şekil 74 Blue Channel



Şekil 75 Green Channel

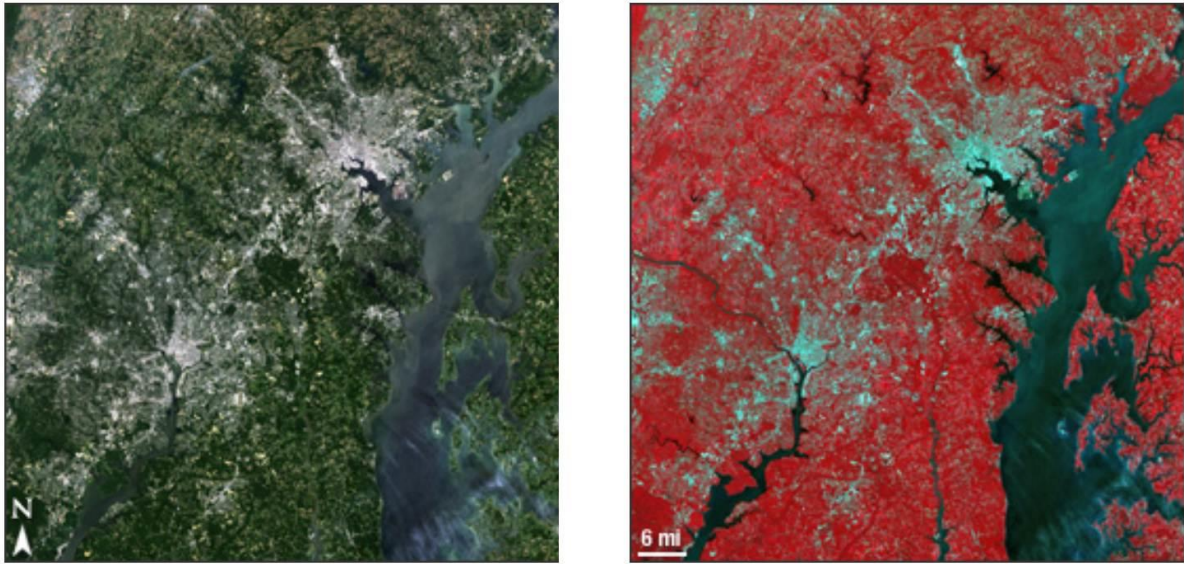


Şekil 76 Red Channel

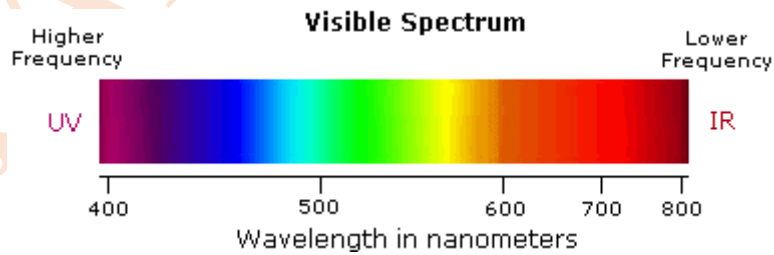
Dijital Gerçek Renkli Görüntü (True Color Image)

Gerçek Renkli görüntüler, Dünya'yı kendi gözlerimizle görebileceğimize benzer renklerle göstermek için tasarlanmıştır. Oluşan görüntü, üç bandın bir birleşimidir. **Dijital gerçek renkli görüntü**, elektro manyetik spektrumdaki kırmızı, yeşil ve mavi (görünür enerji aralığı) enerji aralıklarından oluşur. Her bir kırmızı, yeşil ve mavi görünür enerji aralığının her birini ayrı ayrı kayıt altına alındığı bantlardan oluşur. Gerçek Renkli görüntüler, yüzey türlerinin (çöl, bitki örtüsü, kar örtüsü) ve atmosferik özelliklerin (örneğin, bulutlar, duman, toz, duman, sis ve volkanik kül) hızlı bir şekilde tanımlanmasını kolaylaştırır. (Miller, Schmidt, Schmit , & Hillger, 2012).

Şekil 77 soldaki resim "gerçek renkli" bir resimdir, bu resmin normalde gözlerinizin göreceği renklerdeki nesnelere gösterdiği anlamına gelir. Şekil 77 sağdaki resim "sahte renk" resmidir, bu, renklerin insan gözünün normal olarak göremeyeceği üç farklı dalga boyuna atandığı anlamına gelir.



Şekil 77 (NASA's Landsat Program. The Landsat 7 Composer, 2019)



Şekil 78 (Michigan State University - Chemistry, 2020)

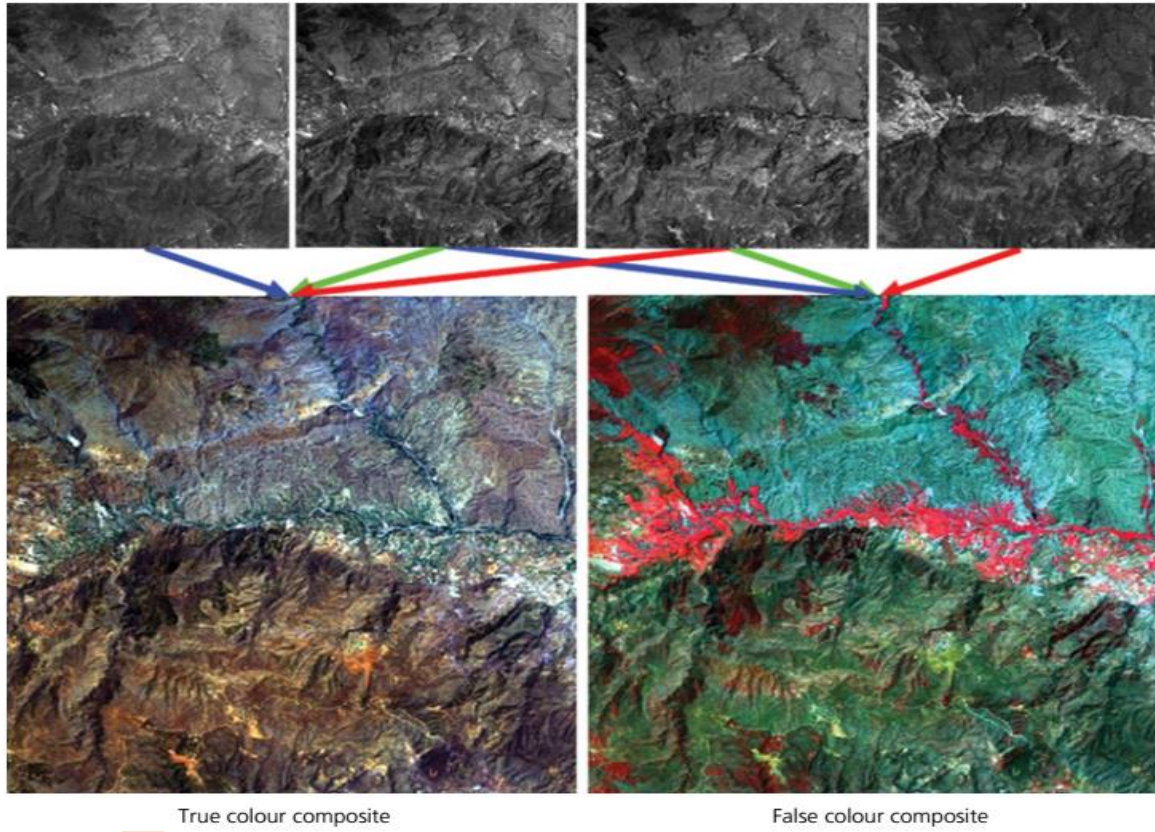
Enerji Aralık Adı	Enerji Aralığı
Violet (eflatun):	400 - 420 nm
Indigo (Çivit):	420 - 440 nm
Blue (Mavi):	440 - 490 nm
Green (yeşil):	490 - 570 nm
Yellow (sarı):	570 - 585 nm
Orange (turuncu):	585 - 620 nm

Red (Kırmızı):

620 - 780 nm

Görünür renkler, elektromanyetik spektrumun 380-750 nm²lik görünür spektral aralıkta olmasına rağmen, renkler bilgi görselleştirme için bir araç olarak kullanılırlar. Bu nedenle, dijital görüntü gösterimi için, bir spektral bant veya katmana birincil rengin atanması keyfi olarak uygulamanın gereksinimlerine bağlı olabilir (Liu & Mason, 2016).

Gerçek görüntüde birincil bant kırmızı, ikincil olan bant yeşil, üçüncül olan bant mavi olmalıdır. Eğer bu bant sıralaması farklı olursa hatalı görüntü oluşur. Çünkü dijital görüntüdeki piksellerde farklı bir karışım oluşur. Bu durum görüntüdeki farklı objelerin ortaya çıkmasını sağlayacaktır veya nesnelere yansıyan farklı parlaklıkların ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Şekil 79 bu duruma bir örnektir.



Şekil 79 (Liu & Mason, 2016)

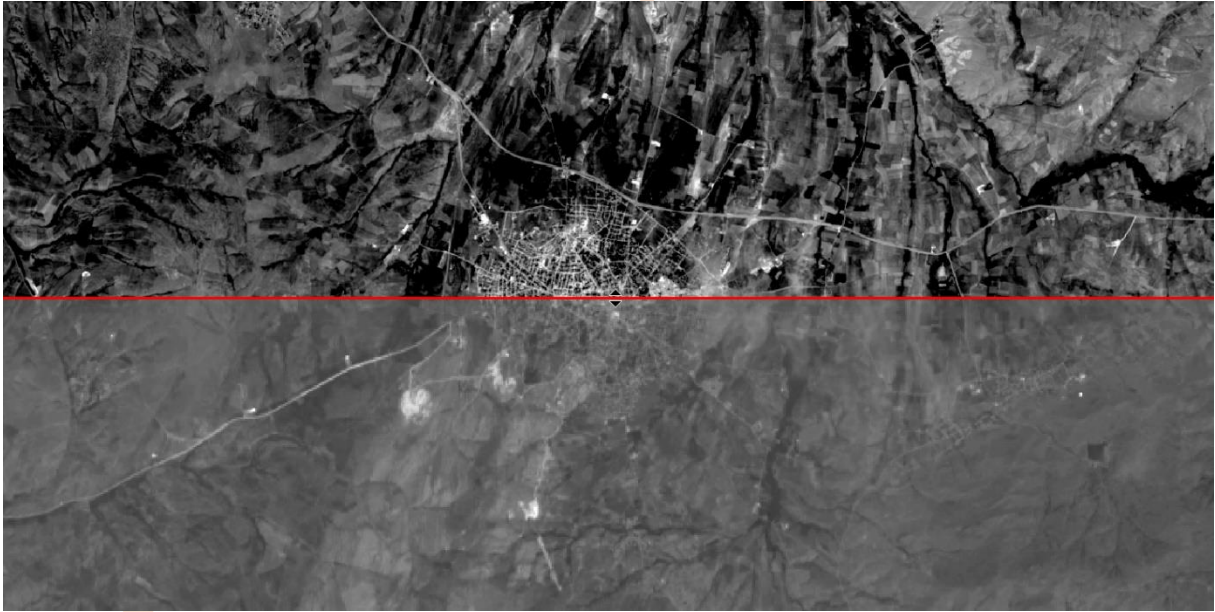
² Nanometre (nm), 1 metrenin milyarda biridir. 1nm = 0.000000001 m, 380 nm=0.000000038 m

Siyah Beyaz Görüntü

Pankromatik kelimesinin “renklerin zıttı” anlamında kullanılır. Burada kullanılan renkler kelimesi, elektromanyetik spektrumda ki görünür bölgeyi (kırmızı, yeşil ve mavi ana renkler arasında ayırım yapmadan tüm görünür bölge) ifade eder. Bir pankromatik görüntü, objeden yansıyan elektromanyetik spektrumun görünür bölge kısmından gelen enerjiyi farklı renklere ayırmadan parlaklık değerini kaydeden siyah ve beyaz bir görüntü sağlar (Campbell & Wynne, 2011).

Uzaktan algılama sistemleri sıklıkla pankromatik bant kullanır. Pankromatik görüntü, üç ana renge ait bantta kaydetmeye ayrılan veri kapasitesini kullanarak sahnenin ayrıntılı bir versiyonunu yakalamak için tasarlanmıştır. Yani pankromatik görüntü, bir renge ait bantların görünümüne göre konumsal detayın algılanmasında daha değerli bilgiler sağlar (Campbell & Wynne, 2011).

Şekil 80 25.06.2020 tarihli Landsat 8 OLI uydusunun 177 sütun ve 33 satırdaki 1. Seviye uydu görüntüsünün 8. ve 4. Bantlarının görüntüsü bulunmaktadır. Kırmızı çizginin üzerindeki bant 8 numaralı bant olan pankromatik bant, kırmızı çizgini altındaki 4 numaralı bant olan görünür bölgedeki kırmızı ana renk enerjilerinin toplandığı banttir. Görüntü incelendiğinde kırmızı çizginin üzerindeki kısımda bulunan pankromatik bant daha keskin bir görünüme sahiptir.



Şekil 80

Pankromatik görüntü, elektromanyetik spektrumdaki görünür enerji aralığının tümünün (440 nm ile 700 nm arası tüm enerji aralığı) algılayan sensör ile oluşur. Bu sensör belirtilen enerji aralığının tümünü tek bir bantta kaydolmasını sağlar. Bu sayede pankromatik bant üzerindeki görüntü konum hassasiyeti yüksektir.

KAMAMMYO

Dijital Fotogrametrik Uygulama Çalışma Örnekleri

Dijital (sayısal) görüntü, dijital görüntü özellikleri, dijital görüntünün elde edilmesinde kullanılan kamera ve kamera teknolojileri ve harita yapımı faaliyetleri için elde edilecek dijital görüntü özellikleri hakkında bilgiler paylaşılmıştır. Dijital Fotogrametrik Uygulama Çalışma Örnekleri konu başlığı altında dijital görüntünün fotogrametri disiplinin alt disiplinlerinde örnek çalışmalar paylaşılacaktır.

Spektral Çözünürlük Örnekleri:

Uydular üzerine monte edilmiş uzaktan algılama uyduları, dünya üzerindeki objelerin yaydıkları enerjileri elektromanyetik spektrumda belirlenmiş enerji aralıklarına göre ayrı enerji aralıklarında kayıt altına alırlar. Her bir enerji aralığının kayıt altına alındığı kısma kanal (channel) veya bant (band) adı verilir. Kullanılan kameranın algılayabildiği farklı enerji aralığı sayısına göre kullanılan kameranın spektral çözünürlüğü ifade edilir. Örneğin günlük hayatta kullandığımız compact veya DSLR kameralar elektromanyetik spektrumdaki sadece görünür enerji aralığını algırlarlar. Bu aralıkta toplam 3 bant vardır. Kırmızı bant, yeşil bant ve mavi bant. Sentinel L2A uydusu yaklaşık 15 bant farklı enerji aralıklarını kayıt altına alabiliyor. Karşılaştırdığımız Sentinel L2A uydusunun spektral çözünürlüğü daha fazladır.

Kullanılan kameranın spektral çözünürlüğünün yüksek olmasının faydaları, elde edilen bantlar arasında yapılacak bant kombinasyonları sonucu elde edilen yeni görüntülerle belli olur. Bant kombinasyonlarından kastedilen bantlar belirli fonksiyonlara veya bantların görünüm sıralamalarıyla oluşan yeni görüntülerdir. Bu kombinasyonları sonucu oluşan yeni görüntü üzerinden bitkilerdeki hastalıklar, toprak nemliliği, su veya kara olan alanların belirlenmesi gibi çalışmalar yapılabilir.

Aşağıda Sentinel L2A uydusunun bant numaraları ve bantlarda kaydedilen enerji karşılıkları belirtilmiştir.

Bant Numarası	Tanım	Bant Adı	Geometrik Çözünürlük (m)	Dalga Boyu (nm)	Bant Genişliği (nm)
B1	Ultra Blue (Coastal and Aerosol)	Coastal aerosol	60	443	20
B2	Blue	Blue	10	494	65
B3	Green	Green	10	560	35

B4	Red	Red	10	665	30
B5	Visible and Near Infrared (VNIR)	Vegetation red edge	20	704	15
B6	Visible and Near Infrared (VNIR)	Vegetation red edge	20	740	15
B7	Visible and Near Infrared (VNIR)	Vegetation red edge	20	781	20
B8	Visible and Near Infrared (VNIR)	NIR 1	10	834	115
B8a	Visible and Near Infrared (VNIR)	Narrow NIR or NIR 2	20	864	20
B9	Short Wave Infrared (SWIR)	Water vapour	60	944	20
B10	Short Wave Infrared (SWIR)	SWIR – Cirrus	60	1375	30
B11	Short Wave Infrared (SWIR)	SWIR 1	20	1612	90
B12	Short Wave Infrared (SWIR)	SWIR 2	20	2194	180

Coastal aerosol: Kıyılarıdaki havada bulunan nemliliği ortaya çıkarmak için kullanılır.

Vegetation red edge: Canlı bitkilerin hızlı bir şekilde belirlenmesi için kullanılan yakın kızıl ötesi aralığında bulunan enerji aralığı.

Aşağıda Sentinel L2A uydusu ile elde edilmiş bantların bazı örnek kombinasyonlarıyla bulunmaktadır.

Kombinasyon Adı	Bant Kombinasyonu
Doğal renkler (Natural Color)	B4-B3-B2

Hatalı Renkler (False Color)	B8-B4-B3
Tarım (Agriculture)	B11-B8A-B2
Sağlıklı Bitki (Healthy Vegetation)	B8A-B11-B02
Atmosferik Penetrasyon	B12 – B11 – B8A
Kar ve Bulutlar	B02 – B11 – B12
Su - Kara	B8- B11- B4

Hatalı Renkler (False Color):

Sahte Renk Kızılötesinde bitki örtüsüyle kaplı alanlar kırmızı tonlarında görünür. Genellikle koyu kırmızı tonlar geniş yapraklı ve/veya daha sağlıklı bitki örtüsünü gösterirken, daha açık kırmızı tonlar otlakları veya seyrek bitki örtüsüne sahip alanları belirtir. Kentsel ve çıplak alanlar camgöbeği renkte görünürken, toprak kahverenginin tonlarında görünür. Buz, kar ve bulutlar beyaz veya açık camgöbeği rengindedir. Bu çok popüler bir bant kombinasyonudur ve bitki örtüsü çalışmaları, drenaj ve toprak modellerinin izlenmesi ve ürün büyümesinin çeşitli aşamaları için faydalıdır (Staridas Geography, 2023).

Tarım (Agriculture):

Adından da anlaşılacağı gibi bu bant kombinasyonu tarımsal ürünlerin izlenmesinde faydalıdır. Parlak yeşil, güçlü ve sağlıklı bitki örtüsünü temsil ederken, olgun ağaçlar gibi mahsul olmayanlar ise yumuşak bir yeşil renkte görünür. İğne yapraklı ormanlar koyu, zengin bir yeşil renkte görünürken, yaprak döken ormanlar parlak yeşil renkte görünür. Seyrek bitki örtüsüne sahip ve çıplak alanlar kahverengi ve leylak rengi görünür. Kar ve buz canlı açık mavi renkte görünür (Staridas Geography, 2023).

Sağlıklı Bitki (Healthy Vegetation):

Sağlıklı bitki örtüsü kırmızı, kahverengi, turuncu ve sarı tonlarında görünür. Topraklar yeşil ve kahverengi olabilir, kentsel özellikler beyaz, camgöbeği ve gri olabilir, parlak mavi alanlar yakın zamanda kesilmiş alanları temsil eder ve kırmızımsı alanlar yeni bitki örtüsünün, muhtemelen seyrek otlakların büyümesini gösterir. Bu kombinasyonda berrak, derin su çok koyu olacaktır; eğer su sığsa veya çökeltiler içeriyorsa, daha açık mavinin tonları olarak görünecektir.

Atmosferik Penetrasyon

Bu kombinasyon görünür bantlar içermez ve en iyi atmosferik nüfuzu sağlar. Bitki örtüsü mavi renkte, çıplak toprak ise kahverengi ve sarı tonlarında görünür. Su çok koyu tonlarda veya siyah renkte görünür, bu nedenle kıyı şeritleri ve kıyılar iyi tanımlanmıştır.

Kar ve Bulutlar:

Kalın buz ve kar, canlı kırmızı veya kırmızı-turuncu renkte görünür. Görüntüde bitki örtüsü yeşilimsi, toprak ise parlak camgöbeği görünecektir. Bulutlar beyaz görünür, dolayısıyla bu bant kombinasyonu özellikle bulutları kardan ayırmak için kullanışlıdır (Staridas Geography, 2023).

Uydu Fotoğrafları kullanılarak Tanımlanmış Bazı İndexler:

Uzaktan algılama, görüntüler yardımıyla coğrafik objeler hakkında bilgi edinme uygulamalarını kapsar. Uydulara takılan multi-spektral veya hiper-spektral kameralar yardımıyla uzaktan algılama çalışmaları yapılabilir. Uzaktan algılama çalışmalarında bantların birbirleriyle kombinasyonu veya belirlenecek fonksiyonlar içine eklenecek farklı bantlar yardımıyla objeler hakkında bilgi elde edilebilir veya obje hakkında yorum yapılabilir.

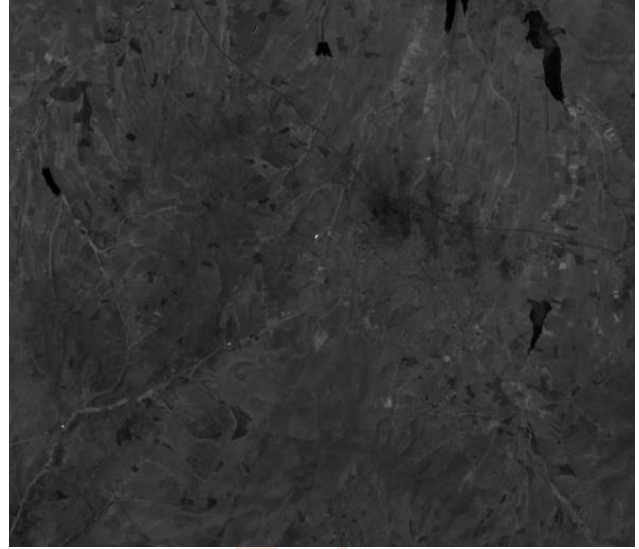
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Çalışması

Bir arazi parçasındaki yeşilin yoğunluğunu belirlemek için araştırmacılar, bitkiler tarafından yansıtılan görünür ve yakın kızılötesi güneş ışığının farklı renklerini (dalga boylarını) gözlemlemelidir. Bir prizmadan görülebileceği gibi, birçok farklı dalga boyları güneş ışığının spektrumunu oluşturur. Güneş ışığı nesnelere çarptığında, bu spektrumun belirli dalga boyları emilir ve diğer dalga boyları yansıtılır. Bitki yapraklarındaki pigment olan klorofil, fotosentezde kullanılmak üzere görünür ışığı (0,4 ila 0,7 μm) güçlü bir şekilde emer. Yaprakların hücre yapısı ise yakın kızılötesi ışığı (0,7 ila 1,1 μm) güçlü bir şekilde yansıtır. Bir bitki ne kadar çok yaprağa sahipse, bu ışık dalga boyları sırasıyla o kadar fazla etkilenir (Goddard Space Flight Center - Nasa, 2020).

Uygulamada Kırşehir ili Kaman ilçesinin de görüntüde bulunduğu Landsat 8 uydusu ile elde edilmiş görüntüler kullanılmıştır. Görüntüler 25.06.2020 tarihine ait olup, bitki endeksinin oluşturulması için 5. Bant ve 4. Bant görüntüleri kullanılmıştır. Bitki endeksi için ImageJ yazılımı kullanılmıştır. Şekil 81 4. Banda (kırmızı görünür bölge) ait görüntü, Şekil 82 5.banda (yakın kızıl ötesi) ait görüntüdür.



Şekil 81

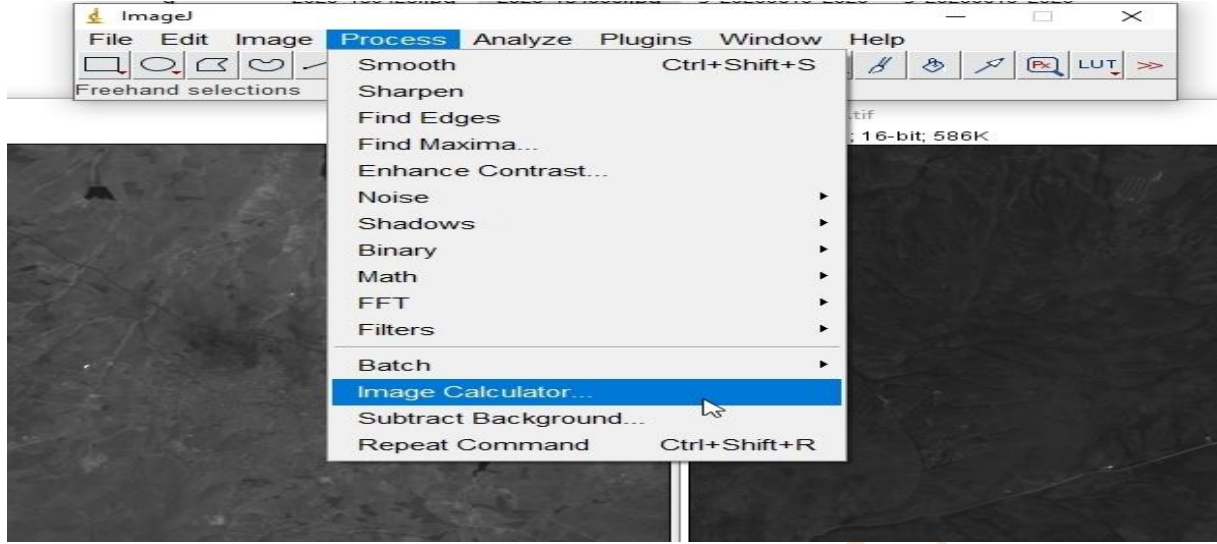


Şekil 82

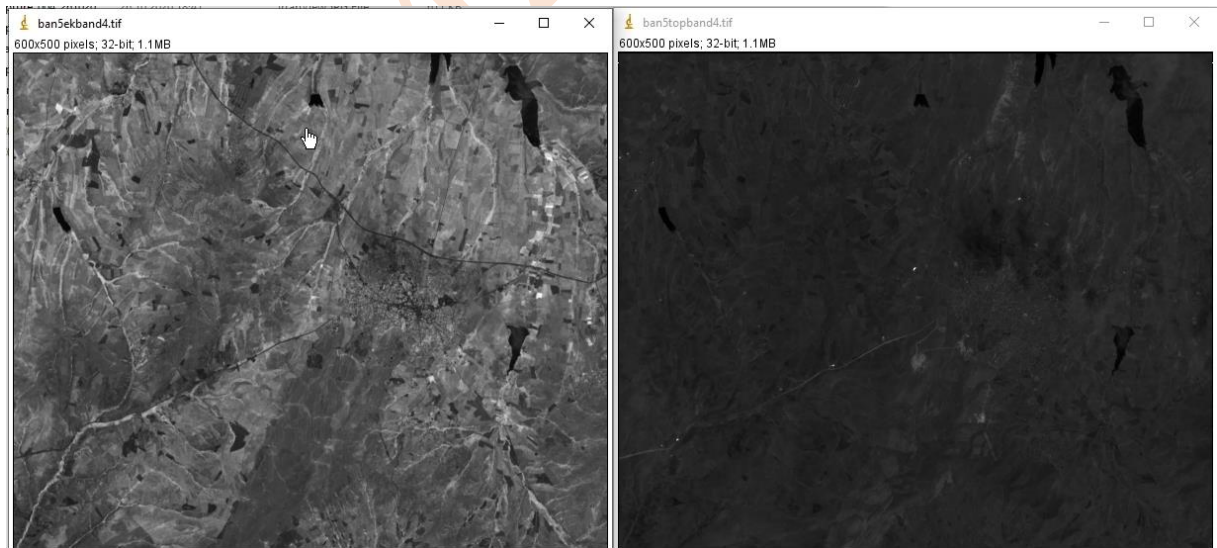
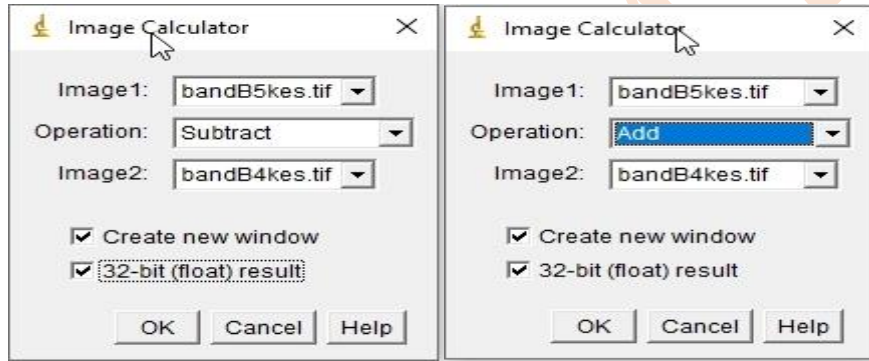
Bitki endeksinin oluşturulması için kullanılacak bantlar matematiksel bir işleme sokulacaktır. İşleminde aşağıdaki formül kullanılır.

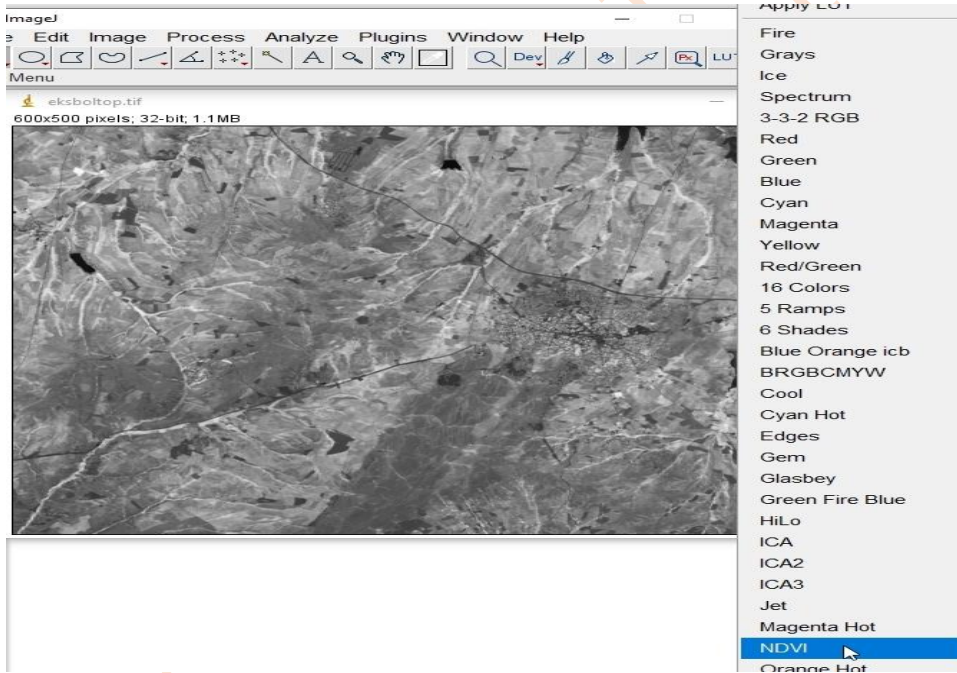
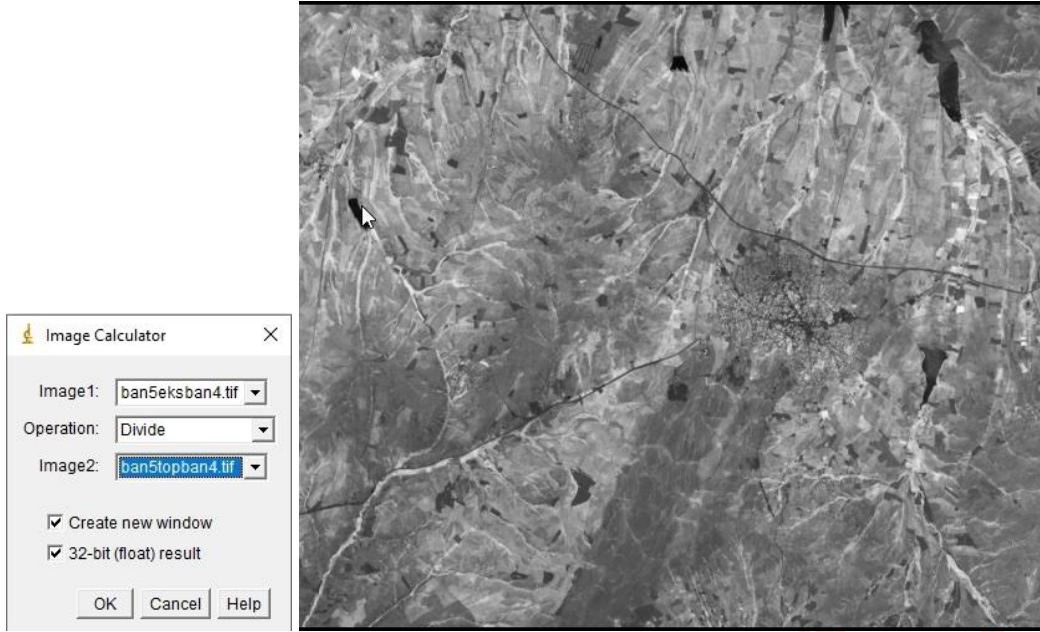
$$NDVI = \frac{(Bant\ 5 - Bant\ 4)}{(Bant\ 5 + Bant\ 4)}$$

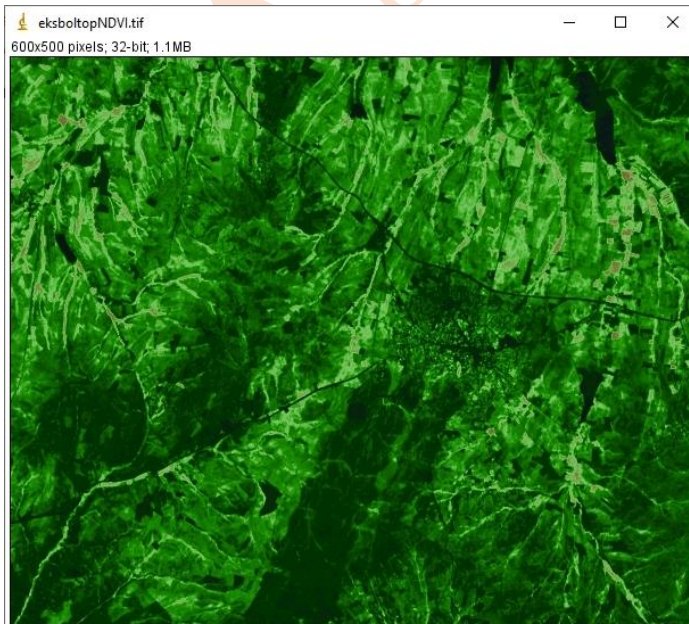
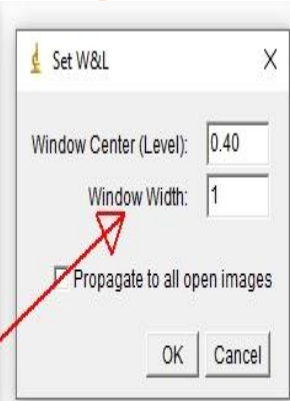
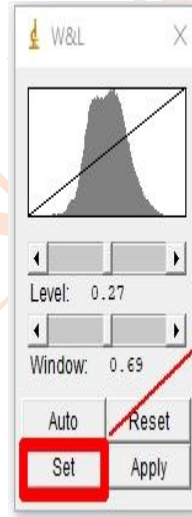
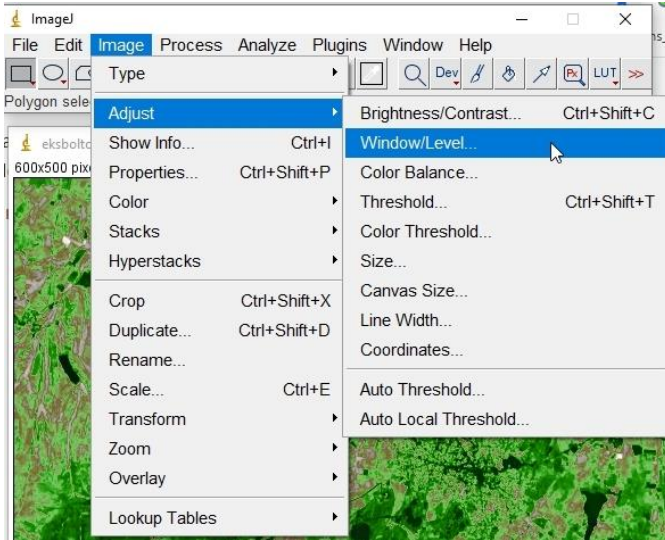
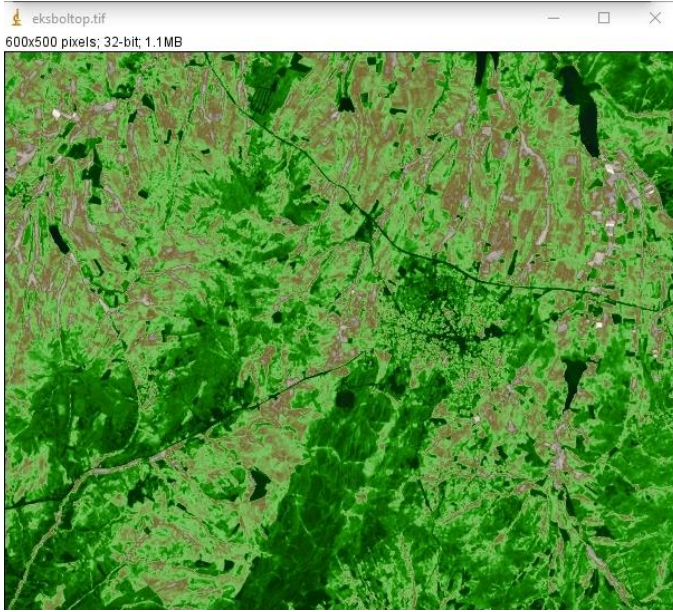
İlk aşamada, yukarıdaki formüle göre işlemleri oluşturmak için pay ve payda ayrı işlemlere sokulup iki ayrı görüntü oluşturuldu. İşlemler ImageJ yazılımında açılmış olan iki ayrı bandın görüntüsü Process menü alt menüsünde Image Calculator... işlemlerinden Add (toplama) ve Subtract (çıkarma) kısmında yapıp iki ayrı görüntü oluşturuldu (Şekil 83).

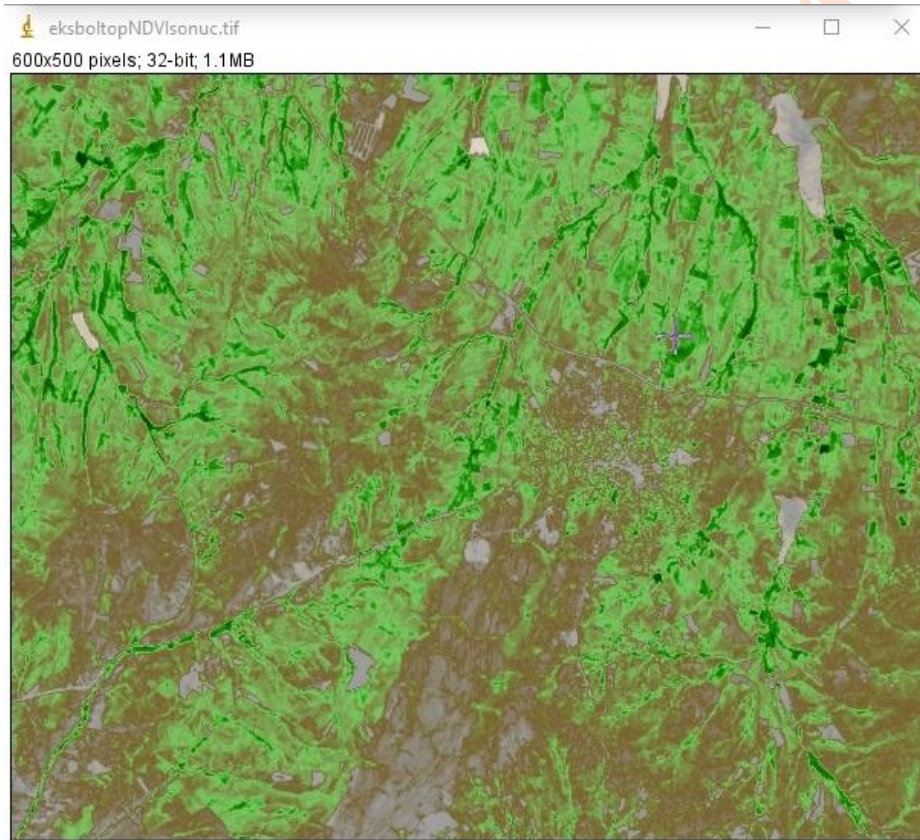
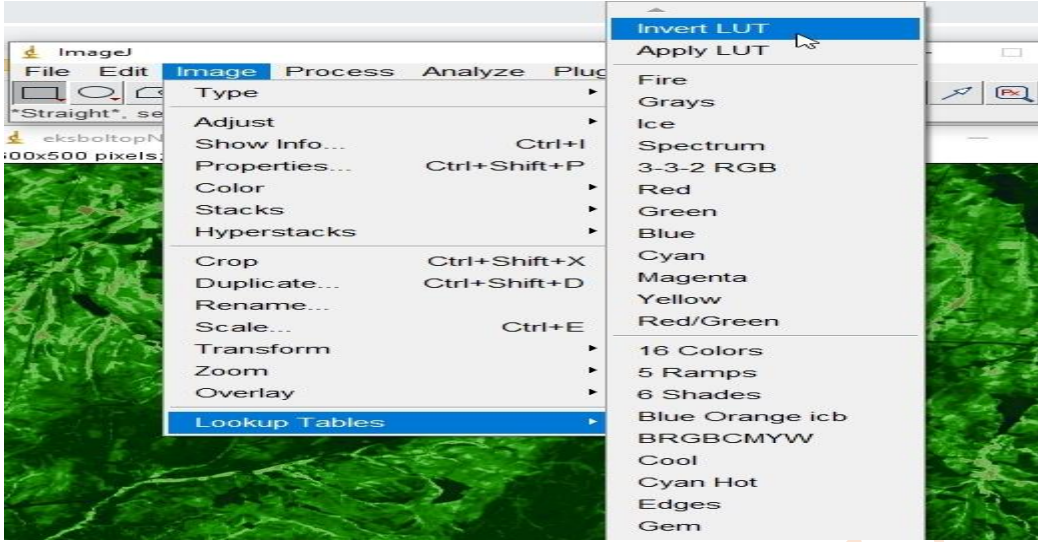


Şekil 83









Sadece RGB Bantları ile Bitki Alanlarının Belirlenmesi

İnsansız hava araçları (iha) üzerindeki kameralar, özellikle seçim yapılmadıysa sadece görünür bölgedeki renkleri algılayabilirler. Elde edilen görüntülerdeki kırmızı (red), yeşil (green) ve mavi (blue) enerjilerin olduğu bantlar yardımıyla da görüntü üzerindeki bitki alanları belirlenebilir. İHA uydulara kıyasla daha alçakta uçuş yapıp görüntü elde edecektir fakat görüntü çözünürlüğü daha yüksek olacaktır.

Bu sayede daha görüntü üzerinde objelerin belirlenmesi, objeler üzerinden analiz yapılması daha kolay olacaktır.

Şekil 84 iha ile elde edilmiş bir ortofoto görüntüsüdür. Görüntü 60 metre yükseklikten yapılan uçuşta çekilen fotoğraflardan elde edilmiştir. Görüntülerin çekilmesinde %80 boyuna ve %80 enine bindirme oranları kullanılmış ve toplamda 122 fotoğraf elde edilmiştir.



Şekil 84

Landsat 8 level 1 uydu görüntüsü üzerinden yapılan bitki alanlarının belirlenmesi işlemlerinin aynısı bu görüntü üzerinde de uygulanacaktır. Yapılacak işlemlerin tek farkı bitki indeksi formülü aşağıdaki Excess Green Index olacak şekilde kullanılacaktır.

$$\text{Excess Green Index} = 2 * \text{Green} - \text{Red} - \text{Blue}$$

Sentinel 2A Uydu Bantlarıyla NDVI Bitki Endeksinin Oluşturulması

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$$

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}$$

Tablo 1 (Sentinel, 2023)

NDVI Aralık	Renk Skalası
NDVI < -0.5	Black
-0.5 < NDVI ≤ 0	Light Gray
0 < NDVI ≤ .1	Yellow-Green
.1 < NDVI ≤ .2	Light Green
.2 < NDVI ≤ .3	Medium Green
.3 < NDVI ≤ .4	Dark Green
.4 < NDVI ≤ .5	Very Dark Green
.5 < NDVI ≤ .6	Dark Green
.6 < NDVI ≤ 1.0	Very Dark Green

Sentinel 2A Uydusuyla Normalized Differences Moisture Index (NDMI) Nemlilik Endeksinin oluşturulması

NDMI topraktaki nemliliği göstermek için kullanılan bir indekstir. Elektromanyetik spektrum SWIR (kısa dalga kızıl ötesi) ve NIR (yakın kızıl ötesi) bantlarının kullanılmasıyla hesaplanır. NDMI, yaprakların su içeriğindeki değişiklikleri izlemek için kullanılır

$$NDVI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

$$NDVI = \frac{B8 - B11}{B8 + B11}$$

Sentinel 2A Uydusuyla Normalized Differences Water Index (NDWI) Su Endeksinin oluşturulması

NDWI su alanlarının belirlenmesi için kullanılan indextir.

$$NDVI = \frac{NIR - MIR}{NIR + MIR}$$

$$NDVI = \frac{B3 - B8}{B3 + B8}$$

KAMAMMYO

Dijital Görüntüdeki Coğrafik Objelerin Kontrollü Sınıflandırılma ile Belirlenmesi

Dijital görüntü özellikleri konusu anlatılırken, geometrik çözünürlük ve radyometrik çözünürlük kavramları detaylı bir şekilde anlatılmış, hatta bu iki özelliğin harita yapımı amaçlı elde edilen görüntülerde dikkat edilmesi gereken kriterlere değinilmiştir. Spektral çözünürlük ve zamansal çözünürlük kavramları konuları bu konu başlığı altında anlatılacaktır.

Yapılacak uygulamada farklı zamanlarda aynı coğrafik bölgeye ait elde edilmiş iki uydu görüntüsü arasındaki farklılığa dair bir uygulama anlatılacaktır. Benzer bir çalışma da aynı coğrafik bölgeye ait iki farklı zamanda İHA ile elde edilmiş görüntülerden oluşturulan iki ayrı ortofoto görüntü arasındaki farklılığa dair bir çalışma yapılacaktır.

Uzaktan

Yükseklik Veri Ürünleri

Yükseklik Verisi Ürün Çeşitleri

Bir arazi yüzeyi, son kullanıcının ilgisine ve bakış açısına bağlı olarak birçok şekilde karakterize edilebilir. Yükseklik verisi ürün çeşitleri konu başlığı altında, haritalama ve CBS uygulamaları için en sık karşılaşılan arazi modeli türleri için tanımlar sağlar.

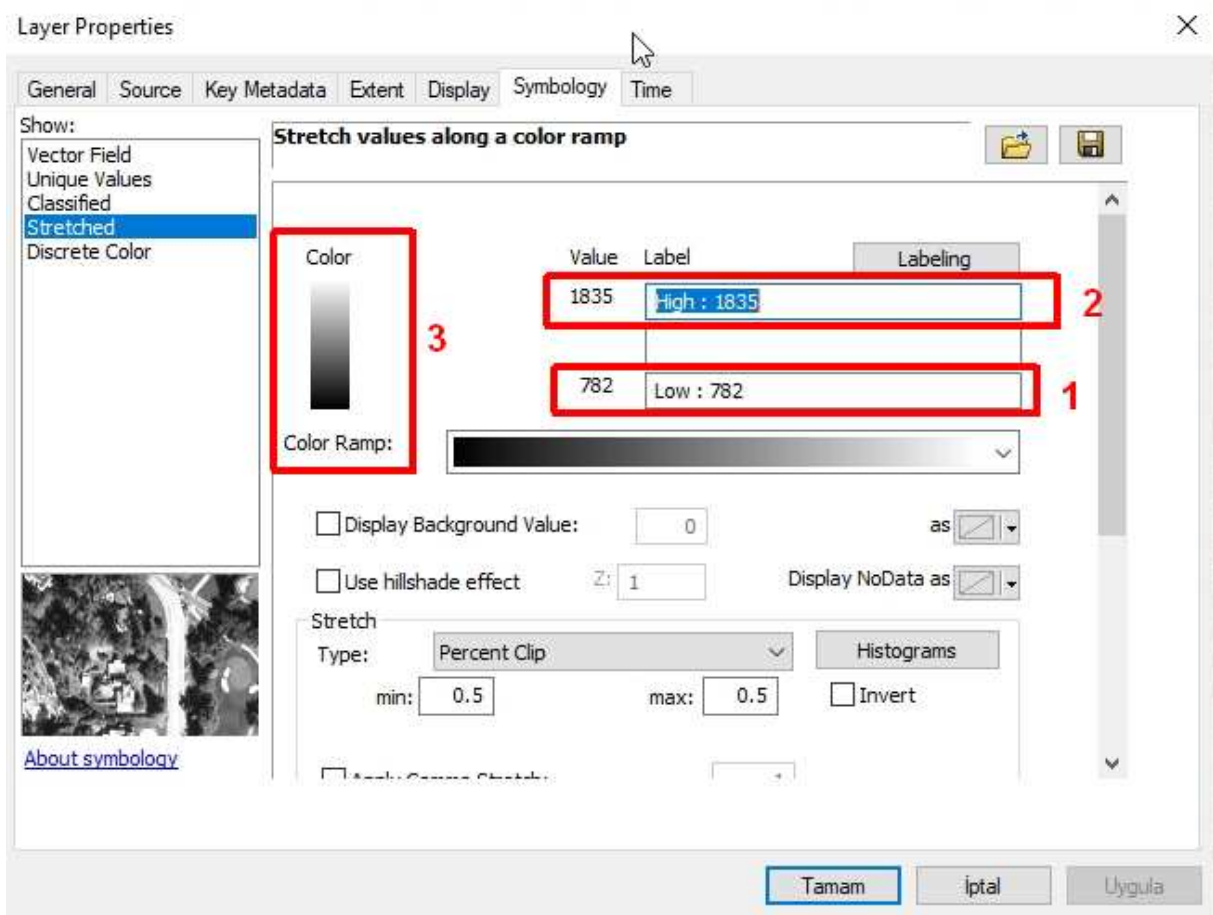
Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model - DEM)

Sayısal yükseklik modeli (DEM) arazinin hem 2 boyut koordinat değerlerine sahip hem de arazinin yükseklik koordinat değerlerine sahip dijital resim formatında arazi modelidir. Şekil 85 DEM verisine bir örnek görüntü temsilidir.



Şekil 85

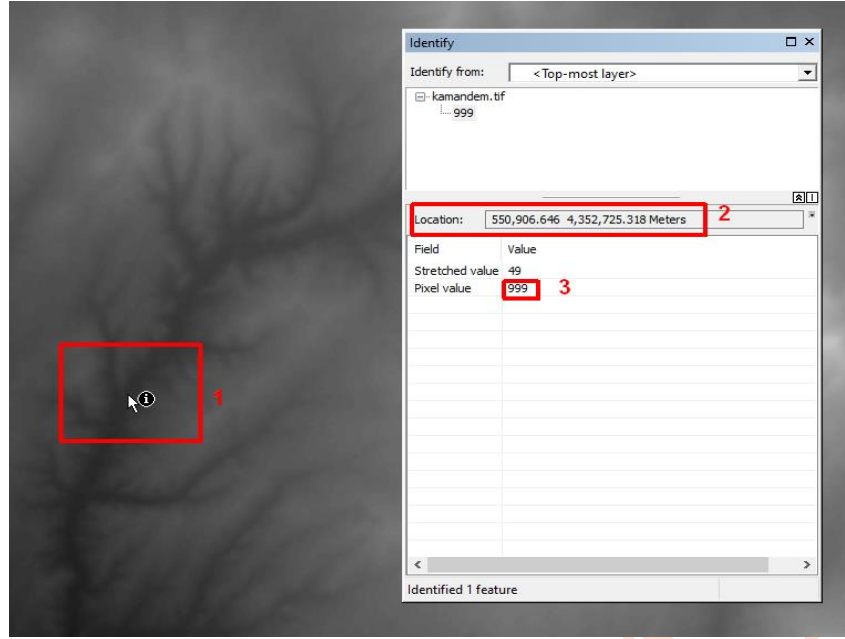
Şekil 86 dikkatli incelenirse, DEM verisi koordinatlarıyla 2 boyutlu internet ortamındaki bir haritanın üzerine konumlandırıldığında DEM verisi Kırşehir ili Kaman ilçesi sınırlarını kapsamaktadır. Görüntü 3 derecelik UTM koordinat sistemine göre koordinatlandırılmıştır.



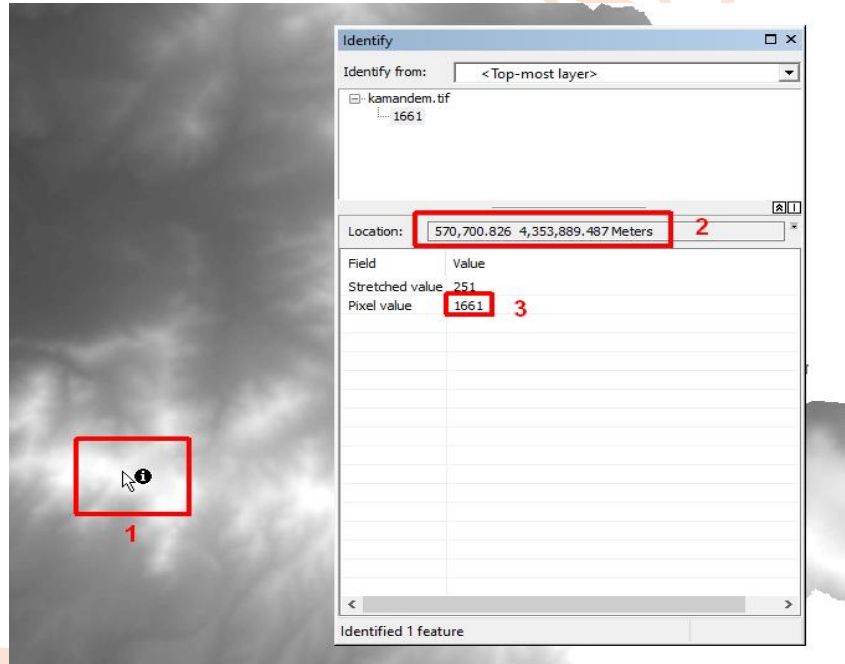
Şekil 87

Yükseklikleri ifade eden gri tonları piksel değerleridir. DEM üzerinde bir piksel üzerinden bilgi alındığında hem pikselin adresi hem de parlaklık değeri tonu değeri görülecektir. Şekil 88 DEM görüntüsü üzerinde koyu gri tonu olan bir alana (piksele) tıklandığında (Şekil 88 1 numaralı alan) ortaya çıkan bilgi penceresini göstermektedir. Bilgi penceresinde 2 numaralı alanda, tıklanılan pikselin adres bilgisini 3 derecelik UTM koordinatları (X-Y koordinatları), 3 numaralı alanda ise pikselin tuttuğu parlaklık değerini yani araziadaki o noktanın yükseklik değerini (resimde 999 m olarak gözüküyor) göstermektedir. Şekil 89 grinin en açık parlaklık tonu olan bir noktaya tıklandığında bir önceki noktanın yüksekliğine göre daha fazla yükseklik değerine ulaşılmaktadır. Nokta yüksekliği 1661 m olarak tanımlanmaktadır.

DEM verisi örneklere göre yorumlanırsa, arazinin topografik haritasının (yükseklik verisinin de olduğu harita) dijital resim formatında temsilidir. Görüntü üzerinde hem X-Y yatay düzlem koordinatları hem de arazinin yükseklik verileri vardır. Yükseklik verileri piksellerin parlaklık değerlerinde saklı tutulmaktadır. Resim üzerinde Arazinin topografik durumunu (yani yükseklik farklılıklarını) daha iyi sunabilmek için bir renk skalası oluşturulmuştur.



Şekil 88



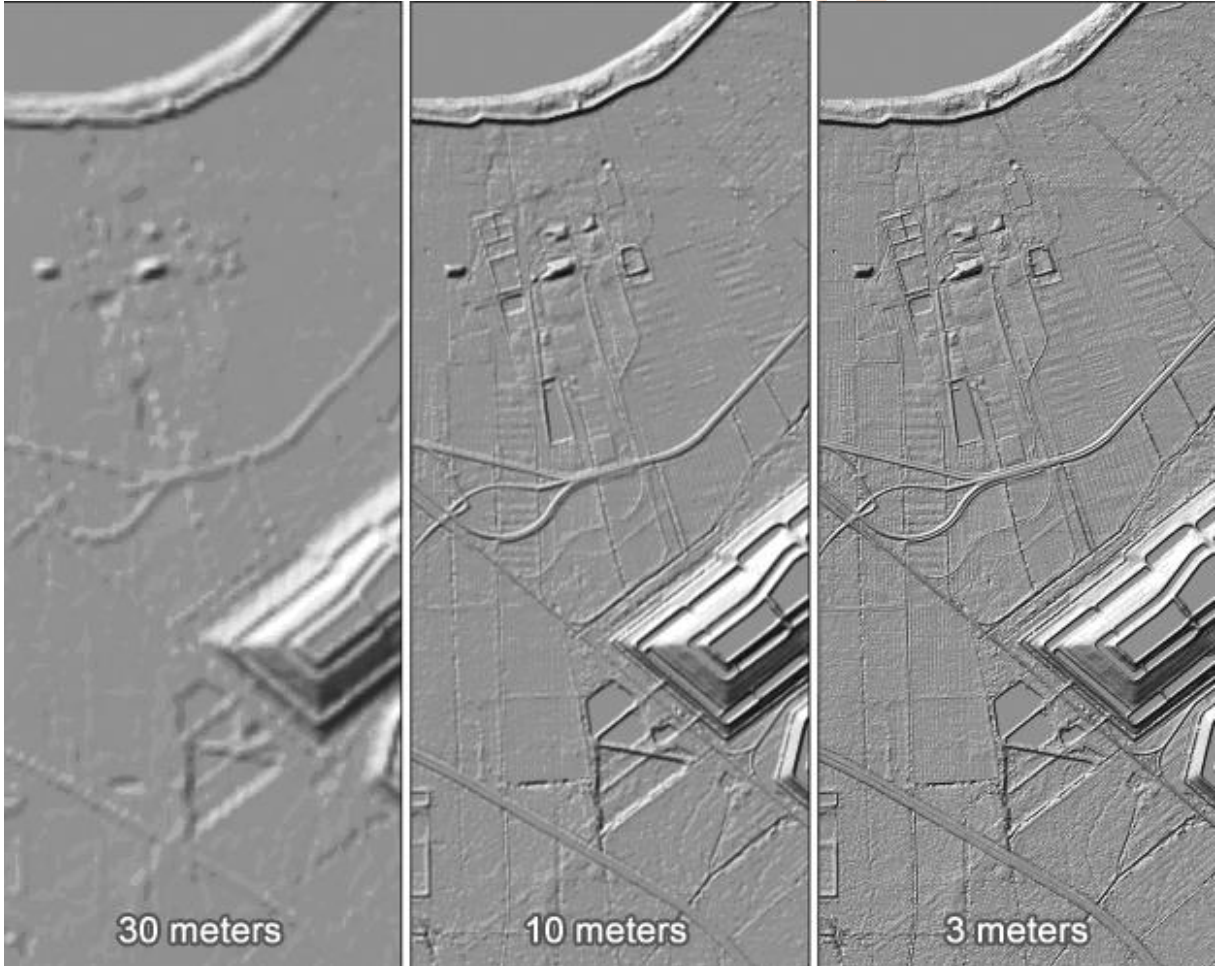
Şekil 89

DEM verisini oluşturabilmek için uyduların üzerine monte edilmiş radar cihazları ve bu cihazların dünyaya gönderdiği radar sinyallerinin dünyadan yansıması verilerinin kaydıyla oluşabilir. Uyduların üzerine monte edilmiş kameralar ile elde edilmiş görüntüler üzerinden oluşabilir. Uçak veya İHA üzerine monte edilmiş kameralarla çekilmiş fotoğrafların, kameraların fotoğraf çekmesiyle ilişkili GNSS sinyal alıcılarıyla havadaki koordinat bilgileriyle ilişkilendirilmesi ve uçuş yüksekliği bilgisi yardımıyla oluşturulabilir.

DEM verisi kendi içinde ikiye ayrılmaktadır.

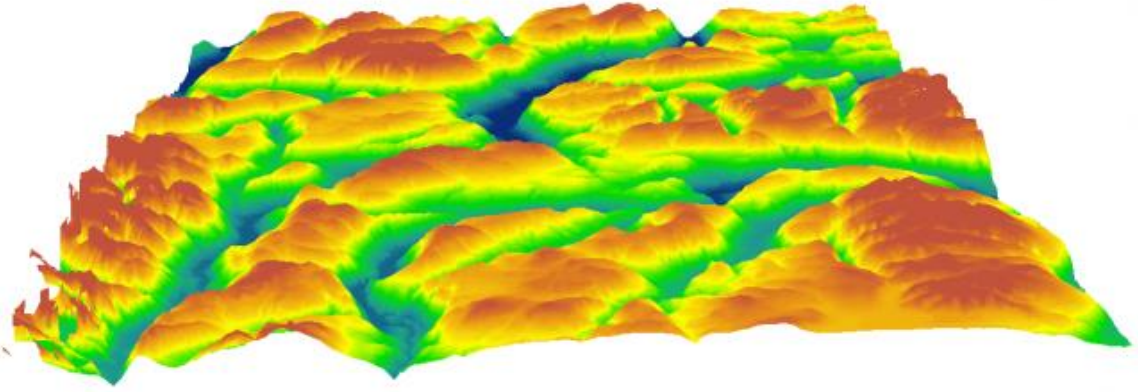
- 1) **Sayısal yüzey modeli (Digital Surface Model – DSM)**= Bu dem türünde arazideki yapay coğrafik objeler (bina, yol, duvar,...) ve doğal objeler (ağaç) görülür ve bu objelerin yükseklik verisi pikselin parlaklık değeri olarak saklanır. DSM verisi, özellikle hacim hesabı (kübjaj işlemi) işlemlerinde çok kullanılır. Örneğin, bir açık maden ocağının olduğu alanın kazı yapılmadan önceki DSM verisi ile kazı yapıldıktan sonraki DSM verisi arasındaki değişim farkı bize kazı hacmini hesaplamamızı sağlayacaktır. DSM verisi kullanılarak yapılacak hesap, arazide total station veya GNSS sinyal alıcısıyla yapılacak alım veya plankote işlemlerine göre çok daha kısa sürede, daha az maliyet ve daha az insan gücünün kullanımını sağlayacaktır.

DSM verisi, yapıların üç boyutlu görüntü üzerinden röleve değerlerinin alınmasını kolaylıkla sağlayacaktır. DSM verisi üzerinde ağaç yapısı da algılanacağı için, tarımsal faaliyetli çalışmalarda kullanılabilir. Şekil 90 farklı geometrik çözünürlükteki DSM verilerine ait görüntüdür.



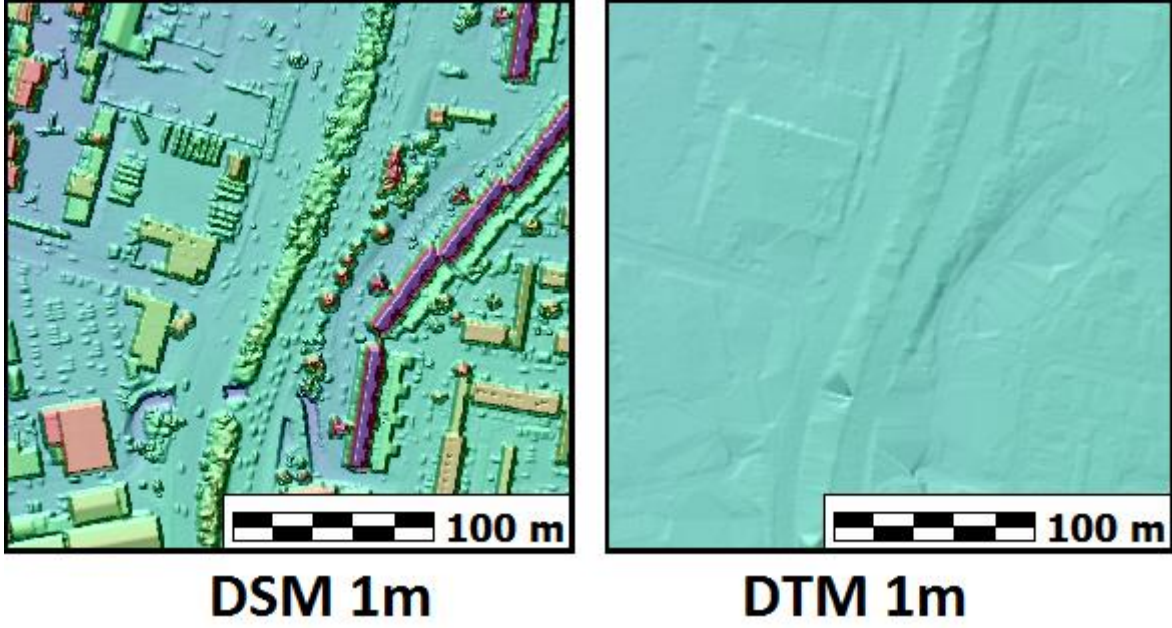
Şekil 90

2) **Sayısal Arazi Modeli (Digital Terrain Model - DTM):** Bir dijital arazi modeli (DTM) veri yapısı da yükseklikleri temsil eden z değerlerine sahip noktaların, düzensiz veya rastgele aralıklı yoğun oluşmasından elde edilir. DTM verisinin DSM verisinden farkı ise Bitki örtüsünü ve insan yapımı (bina, köprü,...) objeleri yükseklik verilerinden çıkarıldığında oluşan DEM verisidir. Arazinin yapay (bina) veya doğal (ağaç) coğrafik objelerden arındırılmış çıplak halindeki DEM DTM olarak adlandırılır. Şekil 91 <https://gisgeography.com/free-global-dem-data-sources/>)DTM verisine bir örnektir.



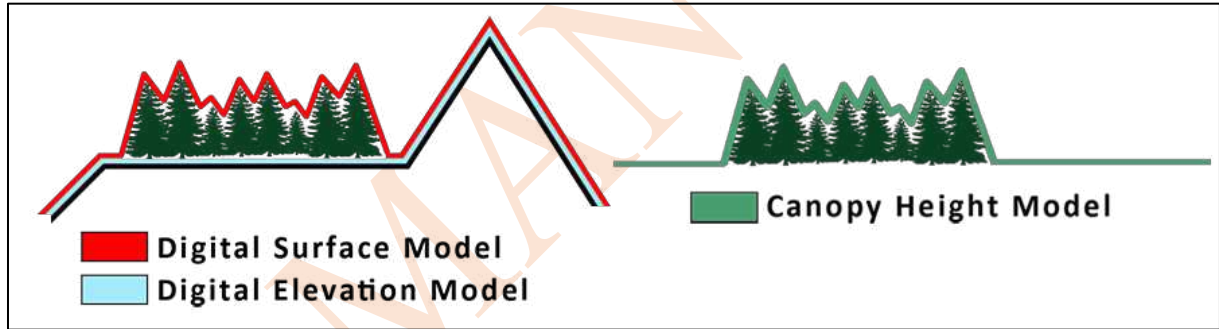
Şekil 91 <https://gisgeography.com/free-global-dem-data-sources/>)

Şekil 92 aynı coğrafik alana ait sınırlandırılmış alandır. Soldaki DSM resminde binalar ve yol objelerin çok rahat seçilirken, sağdaki DTM resminde binalar, yollar ve ağaç yapıları ortadan kaldırılmıştır.



Şekil 92

DTM verisi, haritası yapılacak alanın eğim haritalarını, yükseklik haritalarını ve cephe - baki haritalarını (arazinin baktığı coğrafik yönü gösteren harita) oluşturmak için kullanılır.



(http://gsp.humboldt.edu/olm/Courses/GSP_216/labs/lab12.html)

Fotogrametri Çalışmalarında Digital Görüntü Geometrisi

Görüntü Ölçeği (Resim Ölçeği)

Hava fotogrametrisi ve yersel fotogrametri çalışmaları için elde edilmiş fotoğraflarla hazırlanmış ortofoto veya ortomozaik görüntülerde de ölçek kavramı mevcuttur. Düzlem haritada ölçek, harita üzerindeki coğrafik objeye ait uzunluk değerinin, gerçekteki karşılık gelen yaklaşık uzunluğuna oranıdır. Ölçek kavramı haritadaki (veya resimdeki) coğrafik objenin kapladığı alan değerinin gerçekteki karşılık gelen yaklaşık alan değerini belirlemede de kullanılır.

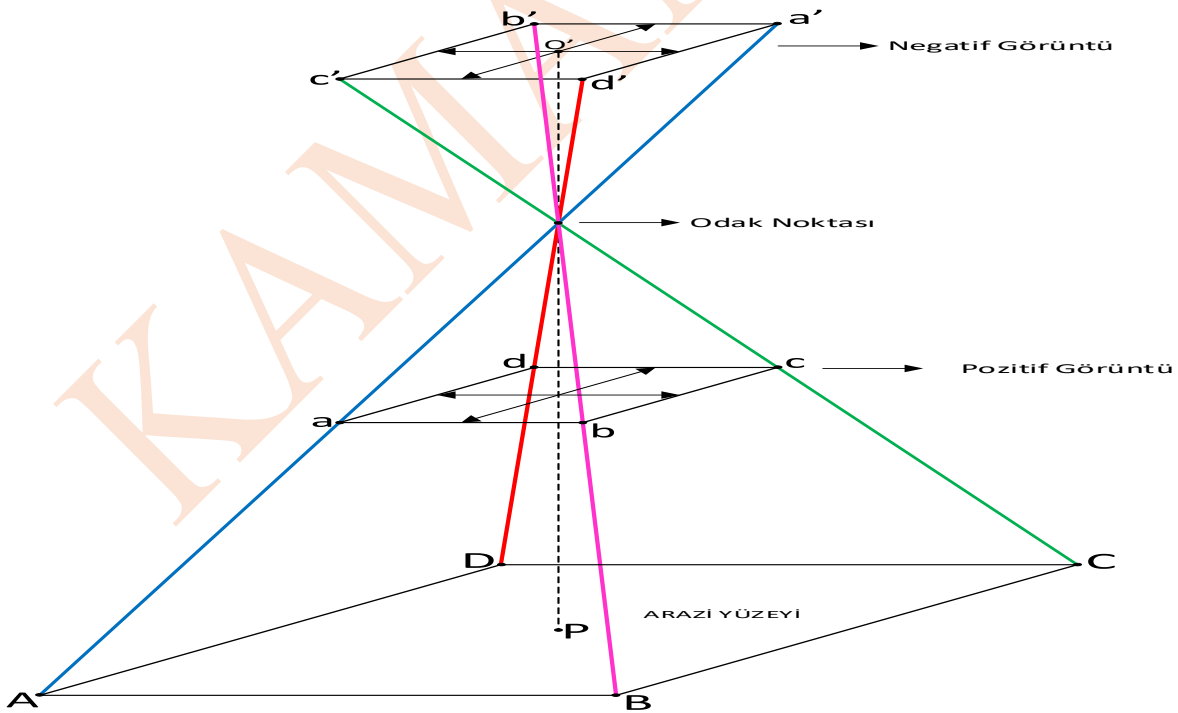
Fotogrametride ölçek, Resim Ölçeği olarak ifade edilir. Hava fotogrametrisi veya yersel fotogrametride kullanılan resim ölçeği düzlem haritada kullanılan ölçek kavramıyla aynıdır. Resim ölçeği, resim üzerindeki bir büyüklüğün arazideki karşılık değerini hesaplamak için kullanılan oran katsayısıdır.

Resim Ölçeğinin Hesaplanması:

Hava fotoğrafında ölçek değerini hesaplamak için üç ayrı yöntem kullanılabilir.

a) Resimdeki Uzunluk ile Arazideki Uzunluğun Oranı

Resim ölçeğini hesaplamanın yöntemlerinden birisi, resim üzerindeki iki nokta arasındaki doğru parçasının uzunluğunun arazide aynı iki nokta arasında karşılık gelen gerçek uzunluğa oranıdır (Şekil 93).



Şekil 93

Şekil 93’de görüntünün pozitif halindeki a ve b noktaları arasındaki $\overline{a-b}$ resim uzunluğunun (negatif görüntüde $\overline{a'-b'}$), arazideki karşılık gelen $\overline{A-B}$ uzunluğuna oranı resim ölçeğini verecektir.

$$\text{Resim Ölçeği} = \frac{\overline{a-b}}{\overline{A-B}}$$

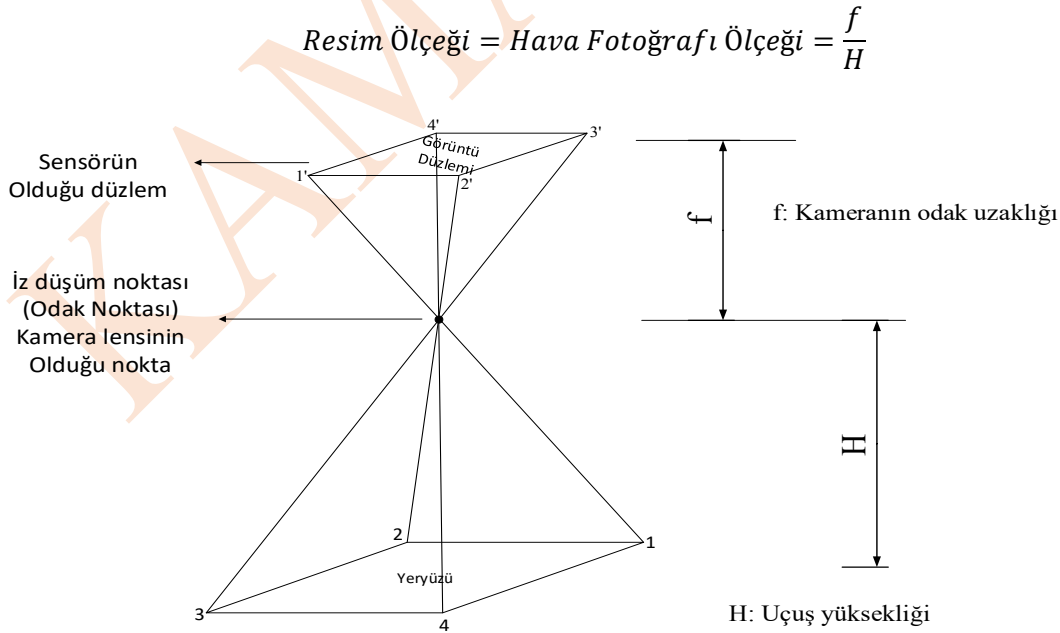
b) Kameranın odak uzaklığı ve Objeye olan Mesafe Değerleriyle Resim Ölçeğinin Hesaplanması:

Resim ölçeği kullanılan kameranın odak uzaklığıyla görüntünün elde edildiği sırada sahnedeki objeye olan mesafenin oranıyla belirlenir. Ölçeği anlamak, bir proje için uygun hava fotoğrafını seçmenin ve elde etmenin anahtarıdır (Hanna, Scale and Aerial Photogrammetry, 2021).

$$\text{Resim Ölçeği} = \frac{\text{odak Uzaklığı}}{\text{Objeye Mesafe}} = \frac{f}{\text{Objeye mesafe}}$$

Resim ölçeğindeki objeye mesafe değeri, hava fotogrametrisinde kameranın objektifindeki lens ile obje arasında kalan düşey mesafeye karşılık gelir. Yersel fotogrametride objeye mesafe değeri, kamera objektifindeki lens ile obje arasındaki yatay mesafe değerine karşılık gelir.

Odak uzaklığı, kamera merceğinin ortasından odak düzlemine (sensör yüzeyi) olan mesafedir (Şekil 94 f değeri). Odak uzaklığı, kameralar kalibre edildiğinde kesin olarak ölçülür ve tipik olarak milimetre (mm) cinsinden ifade edilir (Hanna, Scale and Aerial Photogrammetry, 2021). Uçuş yüksekliği odak noktası (kamera merceği) ile yeryüzü arasında kalan düşey mesafedir (Şekil 94 H değeri). Hava fotoğrafının ölçeği (resim ölçeği) bu iki değerın oranı ile bulunur:



Şekil 94

Örnek:

DJI marka Phantom 4 Pro model insansız hava aracının (İHA) kamerası ile çekilmiş bir hava fotoğrafının ölçeği bulunmak istenmektedir. İHA üzerindeki kameranın odak uzaklığı (f) 8.8 mm değerindedir. Fotoğrafın çekildiği anda zeminden yükseklik 50 m olduğuna göre hava fotoğrafının ölçeği:

$$\text{Ölçek} = \frac{f}{H} = \frac{8.8 \text{ mm}}{50 \text{ m}} = \frac{0.88 \text{ cm}}{5000 \text{ cm}}$$

Ölçek değeri hesaplanırken $\frac{1}{x}$ oranını hesaplamak gerekir. Yani payda kısmının bulunması gereklidir:

$$\left. \begin{array}{l} 0.88 \text{ cm} \\ 1 \text{ cm} \end{array} \right\} \frac{5000 \text{ cm}}{x} = \frac{1 \text{ cm} * 5000 \text{ cm}}{0.88 \text{ cm}} \cong 5682$$

$$\text{Resim Ölçeği} = \text{Hava Fotoğrafı Ölçeği} = \frac{1}{5682}$$

Örnek:

1850 m yükseklikten uçan bir uçağın alt gövdesine monte edilmiş, hava fotogrametrisi için kullanılan kamera ile fotoğraflar çekilmektedir. Kameranın odak uzaklığı 152.4 mm. Çekilen resmin ölçeğini hesaplayınız.

$$\left. \begin{array}{l} 15.24 \text{ cm} \\ 1 \text{ cm} \end{array} \right\} \frac{185000 \text{ cm}}{x} = \frac{1 \text{ cm} * 185000 \text{ cm}}{15.24 \text{ cm}} \cong 12139$$

$$\text{Resim Ölçeği} = \text{Hava Fotoğrafı Ölçeği} = \frac{1}{12139}$$

c) Sensör Boyutları ve Sensör Boyutlarına Karşılık Gelen Gerçek Uzunluk Kullanılarak Resim Ölçeğinin Hesaplanması:

Dijital kameranın sensör yüzeyinin genişlik ve/veya yükseklik boyutları biliniyorsa ve sensör boyutlarının gerçekte ki karşılık gelen arazi uzunluğu değeri biliniyorsa resim ölçeği hesaplanabilir. Şekil 94 1' ve 2' noktaları sensör yüzeyinin iki köşe noktasıdır. 1' ve 2' noktaları arasındaki uzunluk, kamera içindeki sensörün kenar uzunluğu. Eğer $\overline{1' - 2'}$ arasındaki uzunluk biliniyor ve bu uzunluğun arazideki karşılığı biliniyor ise resim ölçeği hesaplanabilir.

Örnek:

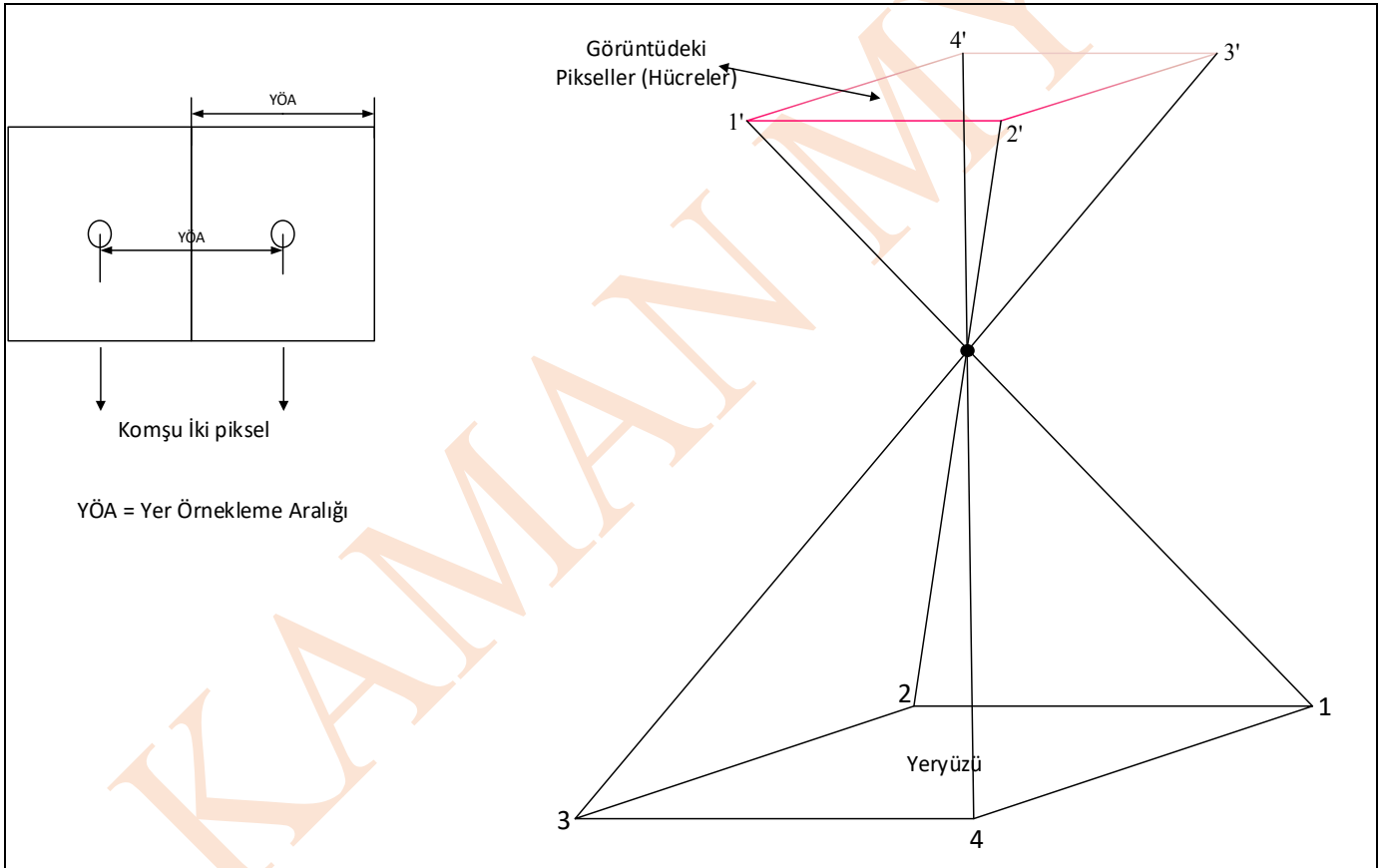
Hava fotogrametrisi için kullanılan kameranın sensör genişliği 0.040 mm (40 mikrometre), ve bu genişliğin yerdeki karşılığı 60 cm. Resim ölçeğini hesaplayınız. ($1\mu\text{m} = 1 \text{ mikrometre} = 10^{-6} \text{ m}$, $1\mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm}$)

$$\left. \begin{array}{l} 0.004 \text{ cm} \\ 1 \text{ cm} \end{array} \right\} \begin{array}{l} 60 \text{ cm} \\ x \end{array} \} x = \frac{1 \text{ cm} * 60 \text{ cm}}{0.004 \text{ cm}} = 15000$$

$$\text{Resim Ölçeği} = \text{Hava Fotoğrafı Ölçeği} = \frac{1}{15000}$$

Yer Örnekleme Aralığı/Mesafesi (Ground Sample Distance)

Dijital resimde komşu iki pikselin merkezlerinin arasındaki mesafenin dünya yüzeyi üzerinde yaklaşık karşılığına yer örnekleme aralığı (Ground Sample Distance) ya da yer örnekleme mesafesi denir. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** yer örnekleme aralığı temsilidir. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** sol resimde dijital görüntü üzerindeki iki komşu pikselin temsili vardır. İki pikselin merkezleri arasındaki zemindeki mesafe YÖA kısaltması ile temsil edilmiştir. YÖA aynı zamanda bir pikselin genişliği (veya piksel kare olduğu için yüksekliği) değerini de verir.



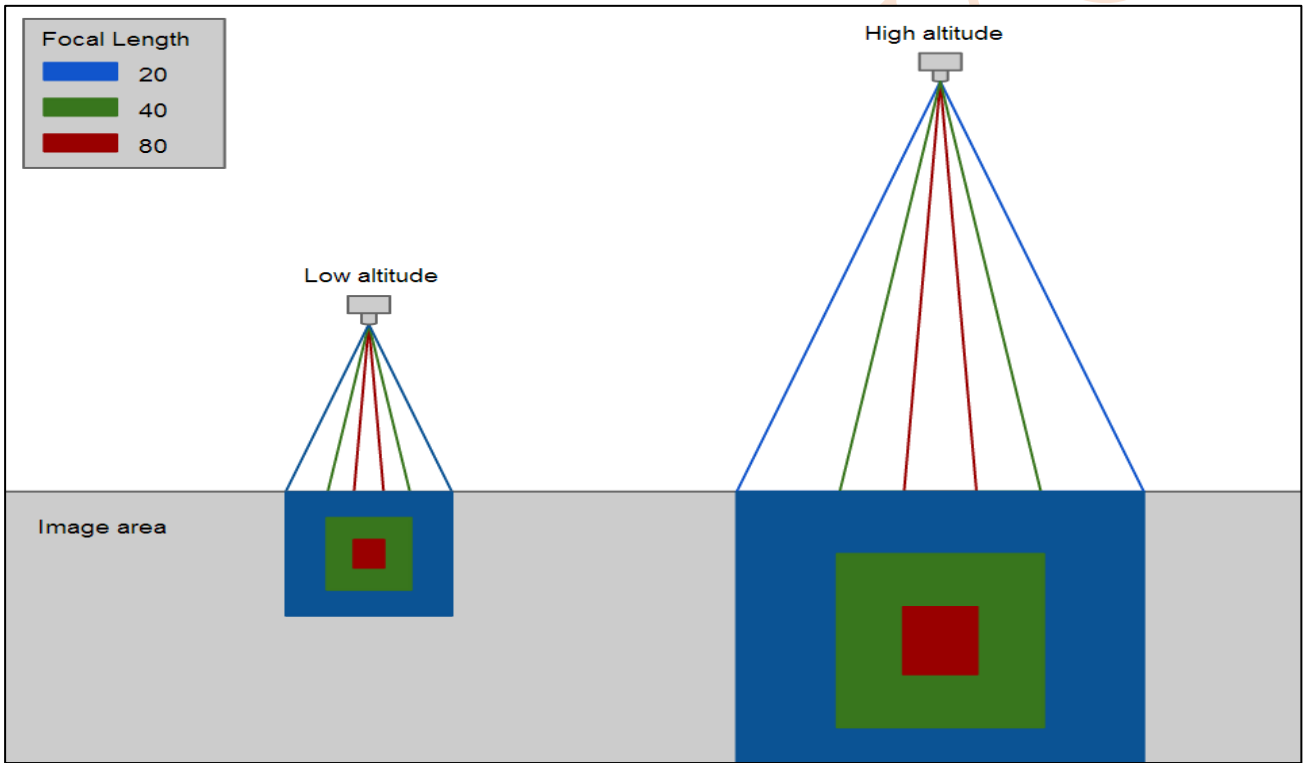
Şekil 95

Dijital görüntünün temel bileşeni olan piksel bir kare olduğuna göre, iki pikselin merkezleri arasındaki yeryüzündeki mesafesi olan YÖA değeri eş zamanlı olarak bir pikselin zemindeki genişliğine karşılık gelen değeri de verecektir. YÖA değeri bilinirse/bulunursa görüntü hakkında birçok büyüklük değeri de elde edilecektir. **Örneğin** YÖA değeri 5 cm olarak **biliniyorsa** hem ardışık iki pikselin merkezlerinin arasındaki büyüklüğün yeryüzündeki karşılığı 5 cm'dir hem de bir görüntü üzerindeki bir pikselin yeryüzündeki genişlik ve yükseklik değerinin karşılığı 5 cm'dir. Piksel bir kare olduğuna göre,

görüntüdeki bir pikselin yeryüzünde kapladığı alan $5 \text{ cm} * 5 \text{ cm} = 25 \text{ cm}^2$ büyüklüğündedir (Pix4D, 2021).

Yer örnekleme aralığı piksel büyüklüğü ile ilişkili bir değer olduğu için geometrik çözünürlükle de alakalıdır. *Yer örnekleme aralığı değeri düşerse (yani piksel boyutu küçülürse) görüntünün geometrik çözünürlüğü artacaktır.* Bu sayede görüntü sahnesindeki coğrafik obeye/objelere ait detaylara (köşe noktalarına) görüntü üzerinden ayrıntılı ve kolay erişilecektir. Yer örnekleme aralığının düşük olması hava fotogrametrisi ve haritacılık açısından çok önemlidir. Hava fotogrametrisi ile elde edilen fotoğraflarda Yer örnekleme aralığının düşük olması için (geometrik çözünürlüğün yüksek çıkması için) dikkat edilecekler (Pix4D, 2021):

1) Eğer uçuş yüksekliği sabit olarak belirlenirse, odak uzaklığı arttırılmalıdır (Şekil 96).



Şekil 96 (Pix4D, 2021)

Odak uzaklığını arttırabilmek için kameranın objektifi değiştirilmeli, ya da kamera değiştirilmelidir.

Şekil 96 lensin odak uzaklığı ve uçuş yüksekliğinin yer örnekleme aralığına etkisinin temsilidir. Odak uzaklığı küçük olan lensler kullanıldığında daha büyük alanlar görüntüde oluşacak. Şekil 96 20 mm odak uzaklıklı (fish eye – balık gözü lens) lens kullanılmış. Alçaktan da uçulsa yüksekte de uçulsa YÖA değeri daha büyük olacaktır. Daha büyük odak uzaklıklı lensler kullanıldığında (40 mm veya 80 mm odak uzaklıklı lensler) YÖA aralığı küçülmektedir ve bu sayede görüntünün geometrik çözünürlüğü artacaktır.

2) Eğer odak uzaklığı sabit alınırsa,

YÖA değerinin küçülmesi için uçuş yüksekliği düşürülmeli daha alçaktan uçulmalıdır. Odak uzaklığı daha büyük bir prime lens alınamıyorsa, uçuş yüksekliği düşürülerek YÖA azalacak pikselin yeryüzünde kapladığı alan azalacak ve görüntünün geometrik çözünürlüğü artacaktır. Hava fotogrametrisi için yapılan çalışmalarda daha alçaktan uçulduğunda da daha fazla resim çekilmiş olacak, uçuş süresi uzayacak, uçuş süresine yetecek sayıya İHA için gerekli bataryaya ihtiyaç duyulacak.

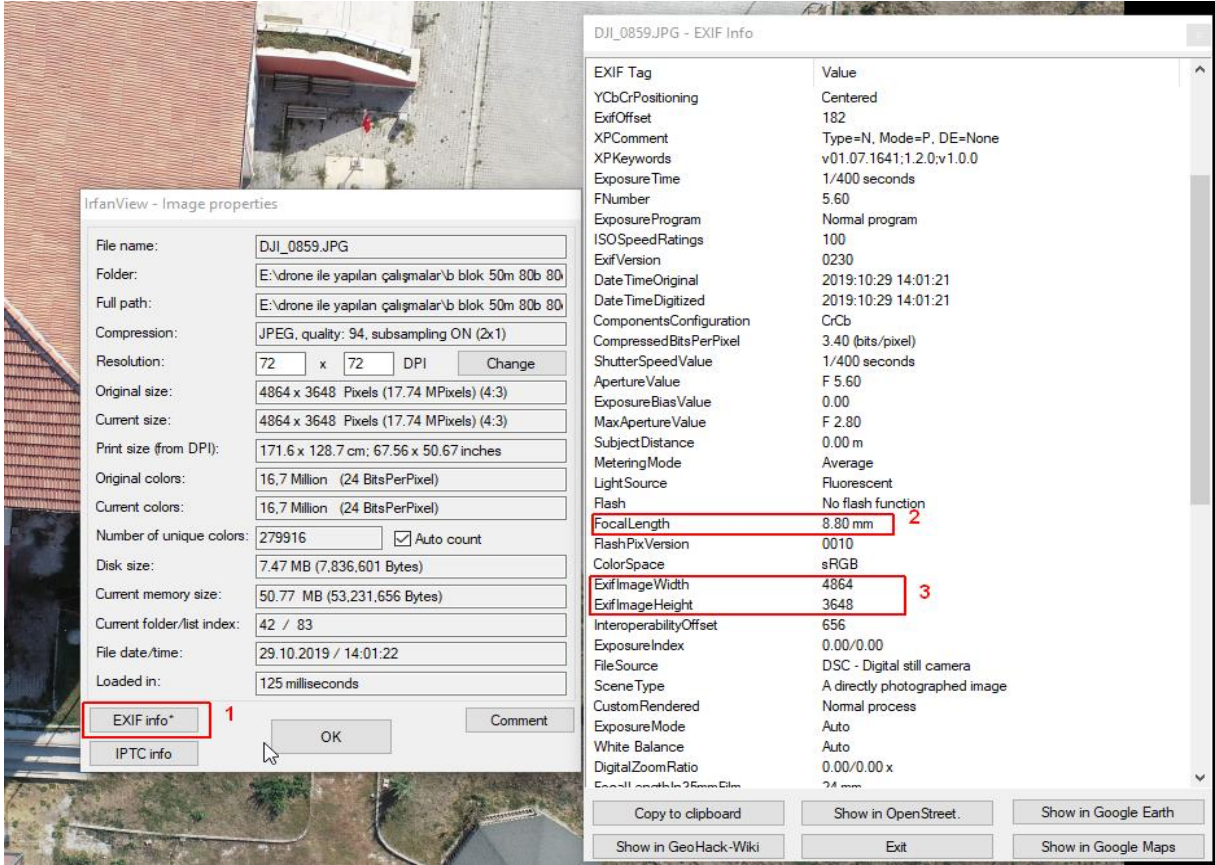
Yer Örnekleme Aralığı (Ground Sample Distance) Hesaplanması ve İlgili Örnekler

Yer örnekleme aralığının hesaplanması sayesinde yapılan fotogrametrik çalışma ve elde edilen görüntü hakkında birden fazla detay hesaplanabilir. Eğer yer örnekleme aralığı hesaplanırsa:

- Görüntünün yer yüzü üzerinde kapladığı alan değerinin hesaplanması,
- Görüntü üzerinde ölçülen uzunluk değerlerinin arazideki karşılığı gelen değer hesaplanması,
- Uçuş güzergahında çekilecek resim sayısının hesaplanmasını ve buna göre planlanacak toplam sürenin hesaplanmasını, ölçüm için gerekli batarya sayısı gibi değerlerin hesaplanmasını sağlayacaktır.

YÖA değerini belirlemek için elde edilen hava fotoğrafının exif bilgisindeki fotoğraf hakkındaki bazı değerlere ve fotoğrafın çekim esnasındaki yükseklik değerine ihtiyaç vardır.

Şekil 97 İnsansız hava aracı ile çekilmiş bir görüntünün EXIF bilgisine ulaşılmasını temsil etmektedir. EXIF bilgisine ulaşmak için IrfanView yazılımı kullanılmıştır. Şekil 97 2 numara ile gösterilmiş EXIF bilgisi, kameraya bağlı olan lensin odak uzaklığı (focal length) bilgisidir. Örnekte f değeri 8.80 mm olarak görülmektedir. 3 numara ile gösterilmiş EXIF bilgisi, dijital resmin genişliği ve yüksekliğini vermektedir. Dijital resmin genişlik ve yükseklik bilgileri piksel sayısı (px) cinsindedir ve resmin kaç sütundan (genişlikteki piksel sayısı) ve kaç satırdan (yükseklikteki piksel sayısı) oluştuğunu gösterir.



Şekil 97

Yer örnekleme aralığının belirlenmesi için gerekli parametreler:

- Resmin çekim anındaki yerden yüksekliği,
- Dijital Görüntünün genişlik (Width) bilgisi,
- Kameradaki lensin odak uzaklığı,
- Kameranın sensörünün genişliği.

Sensör genişliğinin (mm biriminde), görüntünün piksel genişliğine oranı görüntü ölçek (resim ölçeği) bilgisine eşittir.

ifade 1

$$\frac{f}{H} = \frac{\text{Sensör genişliği (mm)}}{\text{Görüntü genişliği (px)}}$$

ifade 1 eşitliğinin sol kısmında resim ölçeği oran değeri vardır. Resim ölçeği eşitliğinin sağında oran katsayısı olarak kullanıldığında YÖA değeri hesaplanabilir (ifade 2).

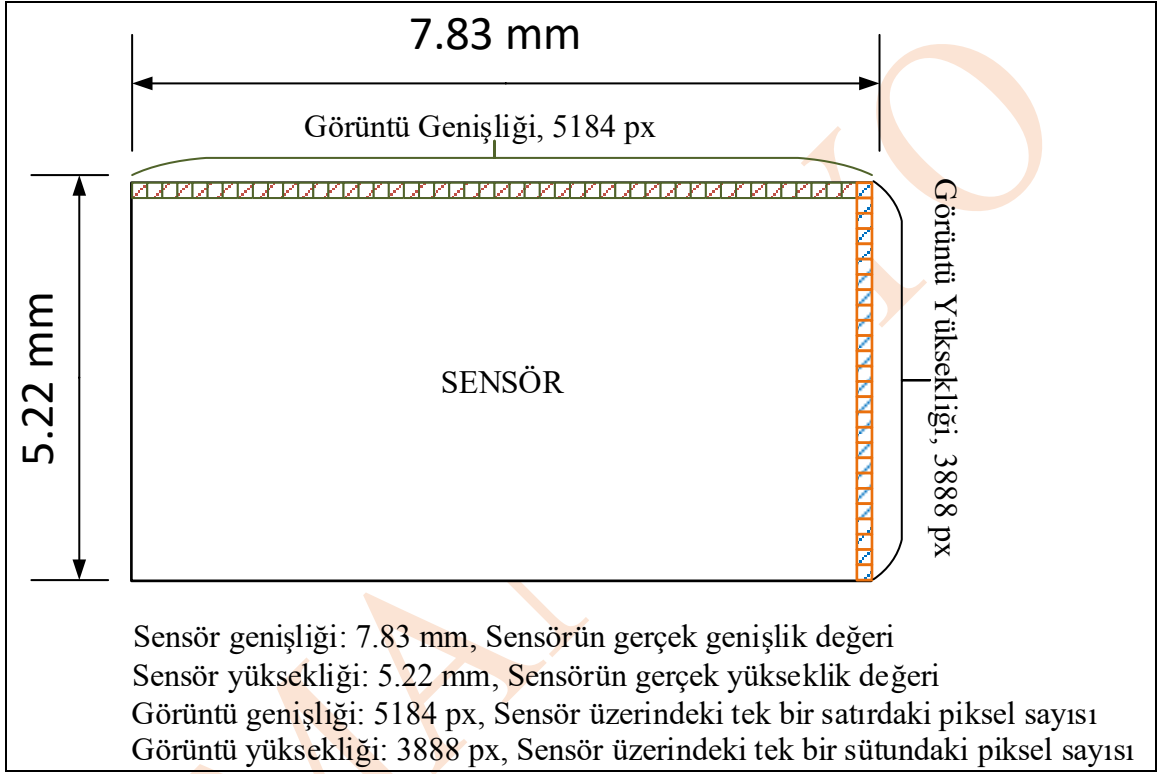
ifade 2

$$YÖA = \frac{H}{f} * \frac{\text{Sensör genişliği (mm)}}{\text{Görüntü genişliği (px)}} = \frac{m}{mm} * \frac{mm}{px} = \frac{m}{px}$$

Yükseklik (H) metre biriminde olduğu için YÖA sonuç birimi m/px olacaktır (ifade 2). Sensör genişliği ile odak uzaklığı cm biriminde olduğu ve sonucun cm bazlı çıkması için formülün 100 ile çarpılması gerekir (ifade 3).

ifade 3

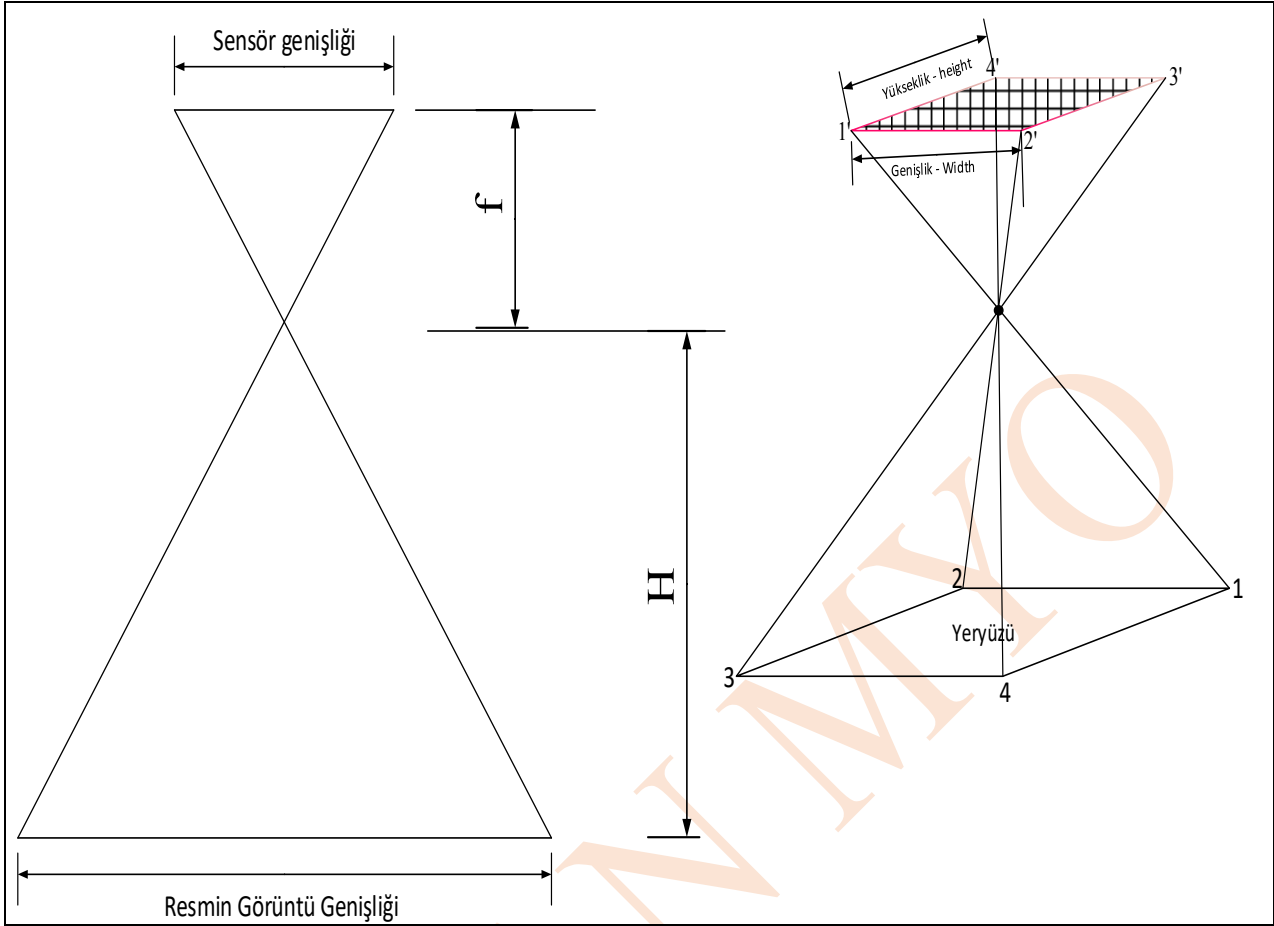
$$YÖA = \frac{H}{f} * \frac{\text{Sensör genişliği (mm)}}{\text{Görüntü genişliği (px)}} * 100 = \frac{cm}{px}$$



Şekil 98 (Sensör boyutları için verilen değerler örnek olarak verilmiştir.



Şekil 98 (Sensör boyutları için verilen değerler örnek olarak verilmiştir. Sensör boyutları hakkında örnek boyutların temsili vardır. Verilen boyut değerleri örneklerdir. Farklı sensör türlerinde farklı boyutlar olabilir. YÖA hesabı için Kullanılan kameranın bilgilerine erişilmesi gerklidir.



Şekil 99

Şekil 99 sensör genişliği ve görüntü genişliği hakkında temsili görüntüdür.



$$1 \mu m = 0.001 \text{ mm} = 0.0001 \text{ cm} = 0.000001 \text{ m}$$

Örnek: Dji marka Phantom 4 Pro modeli İHA ile hava fotogrametrisi çalışmaları için fotoğraflar çekilmektedir. Uçuş yüksekliği 50 m ($H = 50 \text{ m}$), kamera objektifinin odak uzaklığı $f = 8.8 \text{ mm}$, kameranın sensörünün genişliği 13.2 mm, elde edilen dijital görüntünün genişliği 4864 piksel ve görüntü yüksekliği 3648 pikseldir.. Görüntüdeki Yer örnekleme aralığı:

$$YÖA = \frac{H}{f} * \frac{\text{Sensör genişliği (mm)}}{\text{Görüntü genişliği (px)}} * 100 = \frac{50 \text{ m}}{8.8 \text{ mm}} * \frac{13.2 \text{ mm}}{4864 \text{ piksel}} * 100$$

$$YÖA = 1.54194 \text{ cm/px}$$

Bulunan değer tek bir sensör yüzeyi üzerindeki (ya da sonuç resimdeki) piksel boyutunun arazi yüzeyindeki karşılık gelen boyutudur. Bu değer dijital resmin genişlik piksel sayısı ile çarpıldığında:

$$\text{Dijital görüntü genişliği (uzunluk)} = 1.54194 \text{ (cm/px)} * 4864 \text{ px} = 7500 \text{ cm} = 75 \text{ m}$$

Dijital görüntü yüksekliği (uzunluk) = $1.54194 (cm/px) * 3648 px = 5625 cm = 56.25 m$

Görüntünün kapladığı alan = $4218.75 m^2$

Örnek: İnsansız hava aracı (İHA) kullanılarak fotogrametrik uçuş yapılıyor ve resimler çekiliyor. İHA üzerine monte edilmiş kamera objektifinin odak uzaklığı 15.4 mm, kameranın sensör genişliği 13.125 mm, sensör görüntü genişliği (sensör tek bir satırdaki piksel sayısı) 4608, sensör yüksekliğindeki piksel sayısı (sensör tek bir sütundaki piksel sayısı) 3456. Uçuş yüksekliği 100 m olarak sabit alınmış. Elde edilen görüntülerdeki YÖA değerini hesaplayınız.

$$YÖA = \frac{H}{f} * \frac{\text{Sensör genişliği (mm)}}{\text{Görüntü genişliği (px)}} * 100 = \frac{100 m}{15.4 mm} * \frac{13.125 mm}{4608} * 100 = 1.85 cm/px$$

Örnek: İnsansız hava aracı ile 30 m yükseklikten uçuluyor. Sensörünün bir satırındaki piksel sayısı 8000, sensör üzerindeki bir piksel boyutu 0.8 µm, sensör genişliği 6.4 mm. YÖA değerinin 0.46 cm/px olabilmesi için kullanılacak kamera objektifinin odak uzaklığı ne olmalıdır? (0.8 µm)

$$YÖA = \frac{H}{f} * \frac{\text{Sensör genişliği (mm)}}{\text{Görüntü genişliği (px)}} * 100 \rightarrow f = \frac{H}{YÖA} * \frac{\text{Sensör genişliği (mm)}}{\text{Görüntü genişliği (px)}} * 100$$

$$f = \frac{30 m}{0.46 cm/px} * \frac{0.64 cm}{8000} * 100 = 0.52 cm = 5.2 mm$$

İkinci çözüm yolu, eldeki verilere göre resim ölçeği de kullanılabilir:

$$\text{Resim Ölçeği} = \frac{f}{H} = \frac{\text{Piksel boyutu}}{YÖA} \rightarrow f = \frac{\text{Piksel boyutu}}{YÖA} * H = \frac{0.00008 cm}{0.46 cm/px} * 3000 cm = 0.52 cm$$

Örnek: İnsansız hava aracına takılan kameranın odak uzaklığı 15 mm, görüntü genişliği ve görüntü yüksekliği 5184 px * 3888 px, sensör genişliği ve yüksekliği 7.83 mm * 5.22 mm olarak verilmiş. İHA ile uçuş yüksekliği 80 m olarak verilmiş. Çekilen bir resmin arazi yüzeyinde kapladığı alan miktarı nedir?

Resim ölçeğini oluşturmak için gerekenlerden odak uzaklığı $f = 15 mm$ ve uçuş yüksekliği değeri $H=80 m$ değerleri verilmiş. Resim ölçeği ve Sensör genişliği değerleri kullanılarak, sensör genişliğinin (bir nevi sensör üzerinde oluşan **resim genişliğinin**) arazi yüzeyindeki karşılığı bulunur.

$$\text{Resim Ölçeği} = \frac{f}{H} = \frac{\text{resim genişliği değeri (rgd)}}{\text{arazi yüzeyindeki karşılık genişlik değeri (agd)}}$$

$$\frac{f}{H} = \frac{rgd}{agd} \rightarrow agd = \frac{rgd}{f} * H = \frac{7.83 mm}{15 mm} * 80 m = 41.76 m$$

$$\text{Resim Ölçeği} = \frac{f}{H} = \frac{\text{resim yüksekliği değeri (ryd)}}{\text{arazi yüzeyindeki karşılık yükseklik değeri (ayd)}}$$

$$\frac{f}{H} = \frac{ryd}{ayd} \rightarrow ayd = \frac{ryd}{f} * H = \frac{5.22 mm}{15 mm} * 80 m = 27.84 m$$

Sensör bir dikdörtgen objesi olduğuna göre oluşacak resim de dikdörtgen geometrik objesi olacaktır, resmin arazide karşılık geldiği yüzey de dikdörtgen geometrik objesi oluşur. Alan değerini hesaplamak için yükseklik ile genişliğin çarpılması yeterli olacaktır.

$$\text{Resmin arazi yüzeyinde karşılık geldiği alan değeri miktarı} = 41.76 \text{ m} * 27.84 \text{ m} = 1162.60 \text{ m}^2$$

Örnek: İnsansız hava aracına takılan kameranın odak uzaklığı 24 mm, görüntü genişliği ve yüksekliği 4864 px * 3648 px, piksel boyutu 1.51 µm olarak verilmiş. İHA ile uçuş yüksekliği 60 m olarak verilmiş. Çekilen bir resmin arazi yüzeyinde kapladığı alan miktarı nedir?

Bir önceki soruda sensör genişliği ve yüksekliği değerleri verilmiştir. Bu soruda piksel boyutu verilmiştir. Soru çözümünde resim ölçeğini hesaplamak için f ve H değerleri verilmiş. Tek bir piksel boyutunun arazi yüzeyindeki karşılığının yani YÖA değerinin bulunması gerekir.

$$\text{Resim Ölçeği} = \frac{f}{H} \rightarrow \frac{f}{H} = \frac{\text{piksel boyutu}}{\text{YÖA}}$$

$$\text{YÖA} = \frac{\text{piksel boyutu}}{f} * H = \frac{1.51 \mu\text{m}}{24 \text{ mm}} * 60 \text{ m} = \frac{0.00151 \text{ mm}}{24 \text{ mm}} * 60 \text{ m} = 0.0038 \text{ m} \cong 4 \text{ mm}$$

$$\text{YÖA} = 0.0038 \text{ m} \cong 4 \text{ mm}$$

Verilen kamera sensör bilgisi, yükseklik bilgisi, piksel boyutu değerlerine göre, bir pikselin genişliği (veya yüksekliğinin) arazi yüzeyindeki karşılık gelen değeri 0.0038 m \cong 4 mm. Sensör genişliğindeki (sensör yüzeyindeki tek bir satırda) piksel sayısı 4864 olduğuna göre resmin genişliğinin arazi yüzeyindeki karşılığı:

$$\text{resim genişliğinin arazi yüzeyindeki karşılığı} = 4864 * 0.0038 \text{ m} = 18.362 \text{ m}$$

Sensör yüksekliğindeki (sensör yüzeyindeki tek bir satırda) piksel sayısı 3648 px olduğuna göre resim yüksekliğinin arazi yüzeyindeki karşılığı:

$$\text{resim yüksekliğinin arazi yüzeyindeki karşılığı} = 3648 * 0.0038 \text{ m} = 13.771 \text{ m}$$

$$\text{esmin arazi yüzeyinde karşılık geldiği alan değeri miktarı} = 18.362 \text{ m} * 13.771 \text{ m} = 252.86 \text{ m}^2$$

Örnek: İnsansız hava aracı ile fotogrametrik çalışma uçuş yapılmış ve resimler çekilmiştir. Kameranın sensör boyutları 13.2 mm* 8.8 mm, kullanılan objektif odak uzaklığı 8.8 mm, uçuş yüksekliği 60 m olarak belirlenmiş. Uçuşta kullanılan boyuna bindirme oranı %85 olarak belirlenmiş. Belirlenen bindirme oranı dikkate alınarak bir kolon boyunca fotoğraflar çekilmiştir. Peşi sıra çekilmiş iki fotoğrafın kapladığı alan miktarını hesaplayınız.

$$\text{Resim Ölçeği} = \frac{f}{H} \rightarrow \frac{f}{H} = \frac{\text{sensör yüksekliği}}{\text{sensör yüksekliğinin arazideki karşılığı}}$$

$$\frac{8.8 \text{ mm}}{60 \text{ m}} = \frac{8.8 \text{ mm}}{\text{Sensör Yüksekliğinin Arazideki karşılığı (SYA)}}$$

$$SYA = \frac{60 \text{ m} * 8.8 \text{ mm}}{8.8 \text{ mm}} = 60 \text{ m}$$

$$\text{Resim Ölçeği} = \frac{f}{H} \rightarrow \frac{f}{H} = \frac{\text{sensör genişliği}}{\text{sensör genişliğinin arazideki karşılığı}}$$

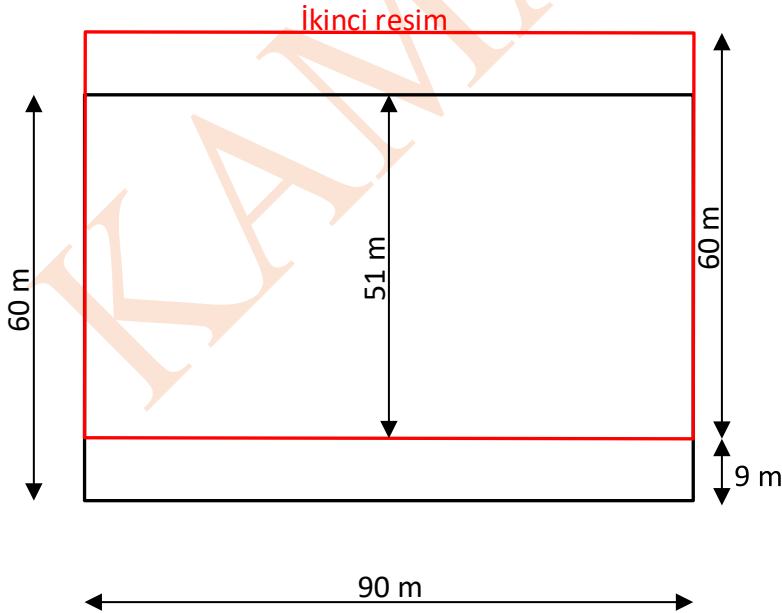
$$\frac{8.8 \text{ mm}}{60 \text{ m}} = \frac{13.2 \text{ mm}}{\text{Sensör Genişliğinin Arazideki karşılığı (SGA)}}$$

$$SGA = \frac{60 \text{ m} * 13.2 \text{ mm}}{8.8 \text{ mm}} = 90 \text{ m}$$



Bir resmin arazide kapladığı alan miktarı

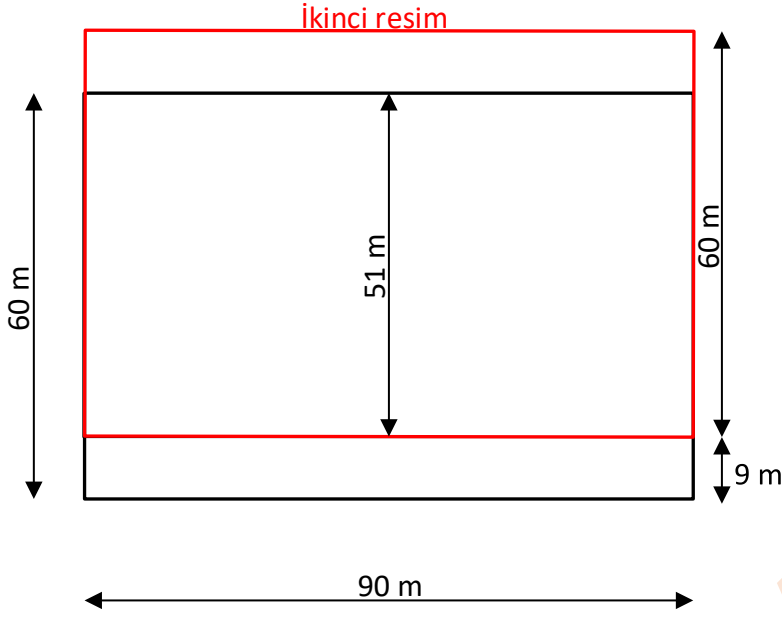
$$ALAN = SYA * SGA = 5400 \text{ m}^2$$



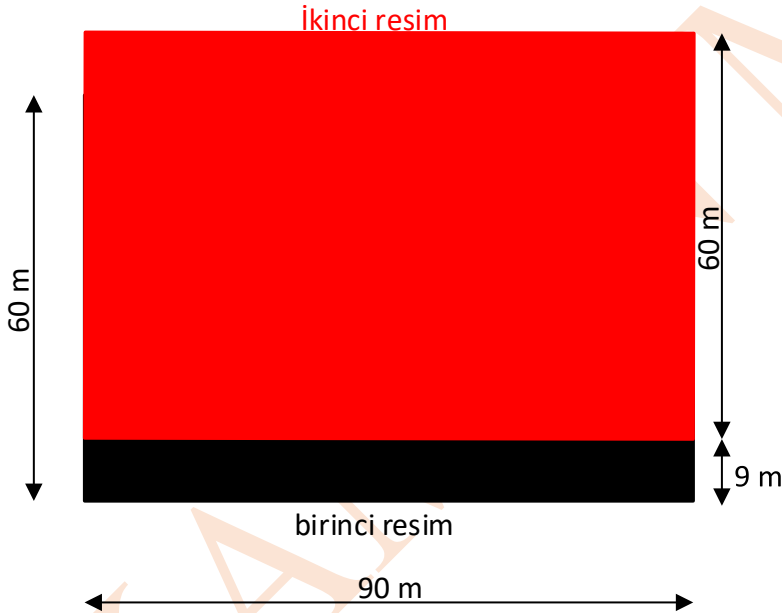
Yandaki resimde birinci çekilmiş resim (siyah çizgili) ve %85 bindirme oranı dikkate alınarak çekilmiş 2. Resim tasviri bulunmakta. Tek resmin arazideki karşılık gelen yükseklik değeri 60 m. Bu değerın %85'i:

$$60 * \frac{85}{100} = 51 \text{ m}$$

$$60 * \frac{15}{100} = 9 \text{ m}$$



İki resim %85 bindirme oranına göre peşi sıra çekildiğinde yandaki görüntü oluşur. Taralı alan bindirme olan alandır yani her iki resimde de ortak olan görüntüdür. İlk resmin (siyah çizgili) sadece 9 m yüksekliği gözükcektir. Yani resmin sadece %15'i gözükcektir.



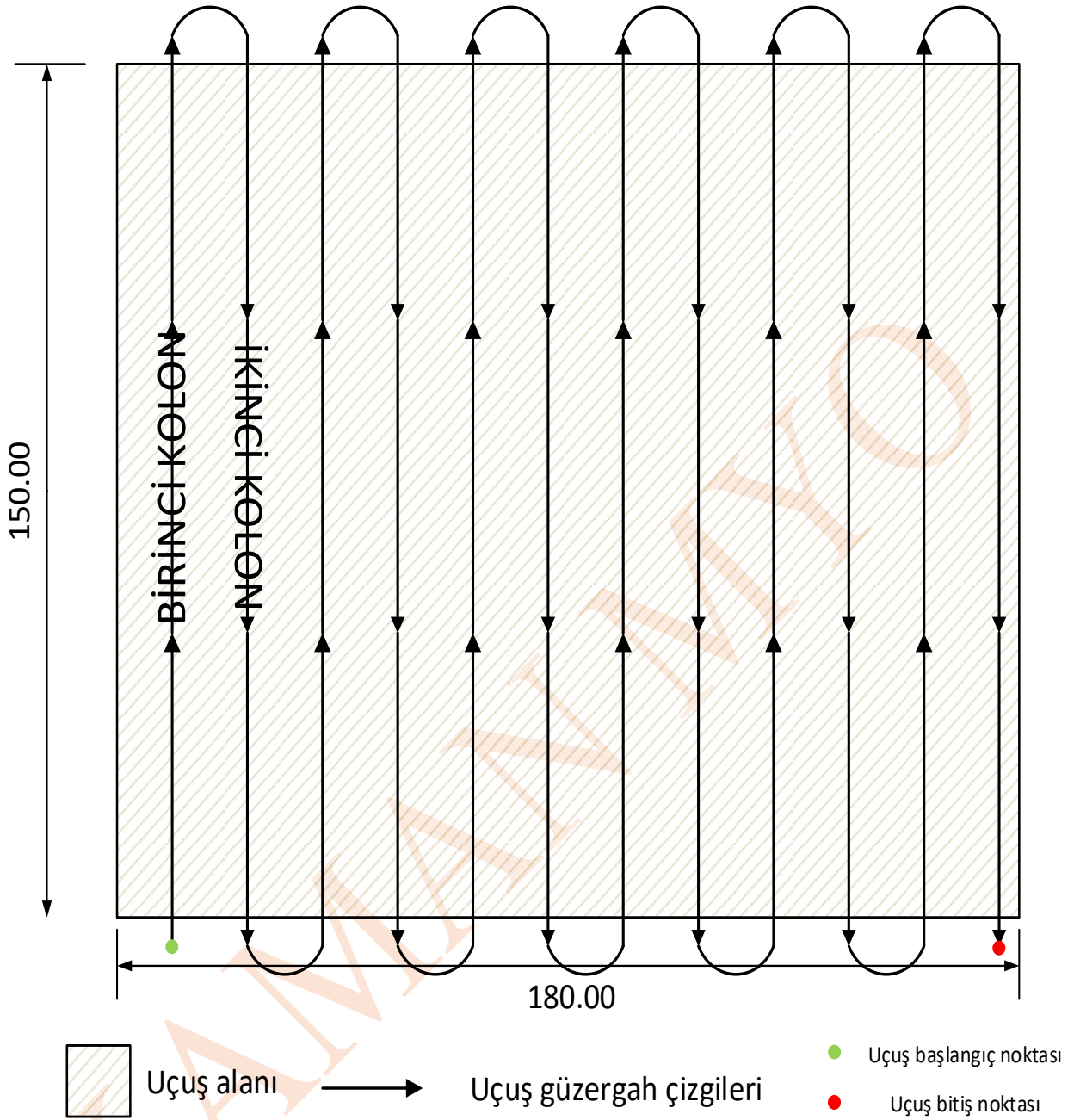
Yandaki resim peşi sıra çekilmiş iki görüntünün sonuç görüntüsünü verir. Birinci resmin %15 görünmektedir. İkinci resim birinci resmin %85'i kadar kısmını da içerek şekilde **tamamı** gözükmektedir. Bu bağlamda iki resmin kapladığı alan miktarı:

$$\text{İki resmin kapladığı alan} = \text{birinciresim} * \%15 + \text{ikinciresim}$$

$$\text{İki resmin kapladığı alan} = 5400 \text{ m}^2 * \%15 + 5400 \text{ m}^2 = 6210 \text{ m}^2$$

Örnek: İnsansız hava aracı ile fotogrametrik çalışma uçuş yapılmış ve resimler çekilmiştir. Kameranın sensör boyutları 13.2 mm* 8.8 mm, kullanılan objektif odak uzaklığı 8.8 mm, uçuş yüksekliği 50 m olarak belirlenmiş. Uçuşta kullanılan boyuna bindirme oranı %80, enine bindirme oranı %80 olarak belirlenmiş. Belirlenen bindirme oranı dikkate alınarak 150 m*180 m boyutlarında bir alan üzerinde uçuş yapılacaktır,

- Bir kolon boyunca toplamda kaç resim çekilir?
- Tüm arazi üzerinde toplamda kaç resim çekilir.



a) Peşi sıra çekilen resimlerde boyuna bindirme %80 oranında belirlenmiş. Birinci resmin %20'si ikinci resmin ise tamamı gözükecek mantığında düşünersek, birinci kolonun en sonunda çekilecek resmin tamamı gözüktür, sonuncu resme kadar olan tüm resimlerin %20'si kadar alanları gözüktür.

$$\text{Resim Ölçeği} = \frac{f}{H} \rightarrow \frac{f}{H} = \frac{\text{sensör yüksekliği}}{\text{sensör yüksekliğinin arazideki karşılığı}}$$

$$\frac{8.8 \text{ mm}}{50 \text{ m}} = \frac{8.8 \text{ mm}}{\text{Sensör Yüksekliğinin Arazideki karşılığı (SYA)}} \rightarrow SYA = 50 \text{ m}$$

Her resmin arazideki yüksekliği 50 m. 50m yükseklikteki resmin %20 uzunluğu

$$50 \text{ m} * \frac{20}{100} = 10 \text{ m}$$

Tek bir kolonun uzunluğu 150 m, Kolondaki son resmin tamamı gözüktüğünde geriye kalan kısımdaki resimlerde 10 m'lik kısımlar gözükecektir.

$$150 \text{ m} - 50 \text{ m} = 100 \text{ m} \rightarrow \text{son resmin yüksekliği çıkınca geriye kalan uzunluk}$$

$$\frac{\text{Geriye kalan uzunluk}}{\text{son resim dışındaki resimlerde gözüken miktar}} = \frac{100 \text{ m}}{10 \text{ m}} = 10 \text{ tane resim}$$

Bulunan 10 resim miktarı, kolondaki son resim dışındaki resimlerin sayısıdır.

$$10 \text{ tane resim} + \text{son resim} = 11 \text{ resim kolon boyunca çekilen resim}$$

KAMAMMYO

Yersel Fotogrametri (Terrestrial Photogrammetry), Yakın Çekim Fotogrametri (Close-Range Photogrammetry) ve Hava Fotogrametrisi (Aerial Photogrammetry) Çalışmaları

Fotogrametri kendi içinde alt disiplinlere ayrılır. Kendi alt disiplinleri,

- a) Kamera lensi ile görüntülenecek obje arasındaki mesafeye göre,
- b) Kameranın çekim esnasında bulunduğu zemine göre kavramlarına göre ayırım gösterir.

Kameranın çekim esnasında bulunduğu konum düşünülürse Yersel fotogrametrisinde görüntüler yeryüzünden görüntülenecek objeye doğru çekilmiştir, Hava fotogrametrisinde ise görüntüler, yerden yüksekte, havadan yeryüzüne doğru (orto-dik veya oblique-açılı görüş açılarıyla) çekilmiştir.

Yeryüzünde yapılan fotogrametrik çalışmalar da kendi arasında, kamera lensi ile görüntülenecek obje arasında kalan mesafeye göre, ikiye ayrılır. Objeye daha yakın mesafede görüntülerin elde edilmesi gereken çalışmalara Yakın Mesafe Fotogrametrisi (Close-Range Photogrammetry) denmektedir. Diş, insan vücudu ve organlarının yapısı, üç boyutlu obje veya cihaz modelleme, bitki ve böcek canlılarının incelenmesi, hücre yapısının incelenmesi gibi çalışmalar yakın mesafe fotogrametrik çalışmalarına girmektedir. Eğer obje ile kamera lensi arasındaki mesafe değeri daha fazla olduğu fotogrametrik çalışmalara Yersel Fotogrametri (Terrestrial Fotogrametri) olarak ifade edilir.

Kamera lensi ile görüntülenecek obje arasındaki mesafenin nicelik bakımından (sayılar ile ifade edilmesi) değerleri farklı yerli ve yabancı kaynaklarda değişmektedir. Bilinen yakın mesafe fotogrametri kaynaklarında 1 m ile 100 arasında (Hilton & Bales, 1985) kalan mesafelerdeki fotogrametrik çalışmaların yakın mesafe fotogrametrisi olacağını belirtirken, bilinen fotogrametri kaynaklarında kamera lensi ile obje arasındaki mesafenin yaklaşık 300 m'ye kadar olduğu fotogrametrik çalışmaların yakın mesafe fotogrametrisi olacağı belirtilmiştir (Wolf, Dewitt, & Wilkinson, 2014).

Yapılan bazı çalışmalarda, yakın mesafe fotogrametrisi ile yersel fotogrametri arasındaki farkın, kamera lensi ile görüntülenecek obje arasındaki mesafe dışında, kullanılacak kameranın geometrik çözünürlüğünün de belirleyeceği hakkında bilgi verilmektedir (AL-Baghdadi, Alizze, & AL-Hussein, 2018).

Günümüz koşullarında insansız hava araçlarıyla (İHA) yapılan hava fotogrametrisi çalışmalarında elde edilen görüntüler için kullanılan kamera ile görüntülenecek obje arasındaki mesafe bir arabanın modellenmesi için İHA yerden 5 m yükseklikte olması ya da bir binanın modellenmesi veya arazinin topoğrafyasının oluşturulması için İHA'nın 50 m yükseklikte olması uygulama için yeterli olacaktır.

Yukarıda verilen örneklerden yola çıkıldığında ve kameralarda kullanılan sensör teknolojisinin gelişmeleri düşünüldüğünde makro düzeyde yapılan fotogrametrik çalışmalarla görüntülenecek objelerin 3 boyutlu oluşturulması ve obje detaylarına ait bilgilerin verilerine görüntü üzerinden elde edilmesi işlemlerini yakın mesafe fotogrametrisi olarak tanımlayabiliriz. Sadece kamera lensi ile görüntülenecek obje arasındaki mesafeyi dikkate alarak fotogrametrik çalışmayı sınıflandırmak günümüz sensör teknolojilerinde yeterli olmayabilir.

Yersel fotogrametri, fotogrametri disiplinin alt disiplini. Fotoğrafların yerden elde edilmesi ile yapılan fotogrametrik işlemlere yersel fotogrametri denir. Genelde binaların 3 boyutlu (3D) modelinin oluşturulması; tarihi binaların restorasyon işlemlerinde gerekli röleve değerlerinin elde edilmesi; herhangi bir objenin veya canlının 3D modelinin oluşturulması amacıyla yapılan fotogrametrik çalışmalarda yersel fotogrametri teknikleri kullanılır.

Yersel Fotogrametri ve Yakın Mesafe Fotogrametri Çalışmalarında Kamera Ayarlamalarında Dikkat Edilmesi Gerekenler

Objektif Odak Uzaklığı Belirlenmesi

Yersel fotogrametri çalışmaları ve Yakın mesafe fotogrametri çalışmalarında görüntülenecek objeye ait farklı açılardan ve/veya objenin etrafındaki tüm detayları alacak şekilde çok sayıda görüntü elde edilir. Görüntülerin elde edilmesinde, kamera lensi ve görüntülenecek obje arasındaki mesafenin sabit kalmasına özen gösterilir. Diğer dikkat edilen detayda kameranın odak uzaklığının değişmemesidir. Kamera odak uzaklığı objektifteki lens ile sensör arasında kalan mesafedir. Eğer kullanılan objektif değişken odak uzaklığına sahipse (zoom özelliği varsa) ve görüntüler elde edilirken odak uzaklığı değiştirilirse (lensin yeri değiştirilirse) görüntü ölçeği değişecektir. Bu durumda elde edilen farklı açılardaki görüntülerin ölçekleri değişkenlik gösterecektir. Fotogrametri uygulamalarında elde edilen tüm görüntüler aynı görüntü ölçeğinde olmalıdır.

Fotogrametri uygulamalarında görüntülerin ölçeğinin değişmemesi için ya sabit odak uzaklıklı objektifler (prime lens) kullanılmalıdır, ya da değişken odak uzaklıklı objektifin odak uzaklığı sabitlenmelidir. Her iki seçimde de odak uzaklığı değeri, insanın tek bir gözünün gördüğü görüş açısına (46° görüş açısı) sahip olacak odak uzaklıklı objektifler olmalıdır.

Eğer sensör tam kare boyutunda değilse, seçilecek sabit odak uzaklıklı objektifin odak uzaklık değeri veya değişken odak uzaklığına sahip objektifteki ayarlanacak odak uzaklığı değeri, kameradaki sensör çarpan katsayısı dikkate alınarak belirlenmelidir. Şekil 100 sol resimde odak uzaklığı sabit ve 50 mm olan objektif gözükmemektedir. Şekil 100 sağ resimde farklı odak uzaklık değerleri olan (18 mm – 55 mm aralığında odak uzaklığı olan lens) objektif gözükmemektedir.



Şekil 100 (Canon -Lenslerimiz, 2019)

Fotogrametrik uygulamalar için en uygun odak uzaklığına sahip olan objektifler, insanın tek bir gözünün görüş açısı olan 46° görüş açısına sahip olan yani 50 mm odak uzaklığına sahip objektiflerdir. 20 mm ve daha küçük odak uzaklığına sahip objektifler ile elde edilmiş resimlerin merkezinden kenarlara doğru gidildiğinde bozulmalar olacaktır. Bu sebepten dolayı gerek haritaların oluşturulmasında veya 3D objelerin oluşturulmasında sıkıntılar oluşacaktır. 50 mm odak uzaklığından daha büyük odak uzaklığına sahip olan objektiflerde görüş açısı dar olacaktır. Yapılacak fotogrametri uygulamalarında istenilen bindirme oranlarını sağlamak zorlaşacak, ölçüm alanını tamamlamak için daha fazla görüntünün elde edilmesi gerekecektir.

Diyafram Aralığının Belirlenmesi

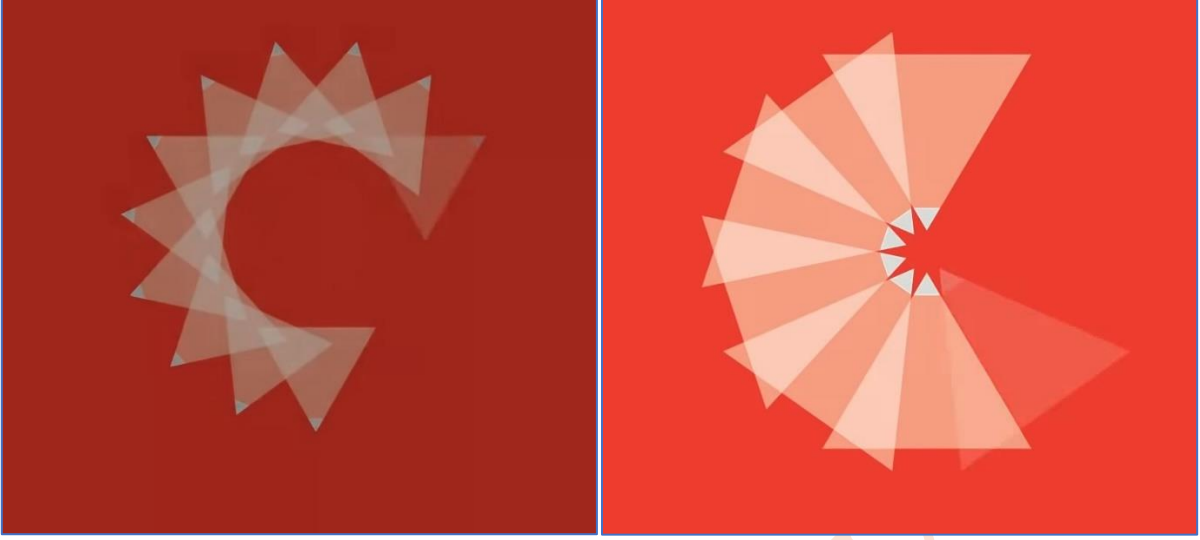
Perde Açılıp – Kapanma Hızının Belirlenmesi

ISO Ayarının Belirlenmesi

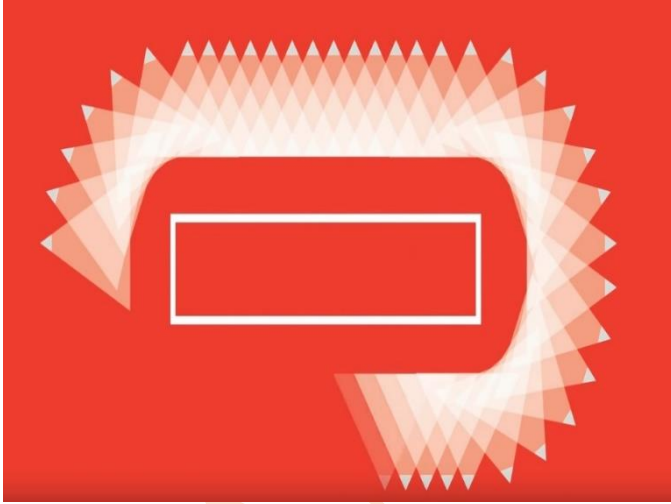
Dijital Görüntü Formatının Belirlenmesi

Yersel Fotogrametride Resim Çekilmesinde Dikkat Edilecekler

Yersel fotogrametri tekniği ile fotogrametrik çalışmalar yapılacaksa fotoğraf elde edilmesinde dikkat edilmesi gereken bazı durumlar vardır. Şekil 101 sol ve sağ resimde obje etrafında dönerek fotoğraflar çekilmiş ve bu fotoğraflar kullanılarak 3D obje oluşturulmak istenmektedir. Sol resimde dikkat edilirse, çekim anı tasarlanmasında kameradan objeye doğrudur. Sağ resimde ise planlamada bindirme alanlarının hesabı objeden kameraya olacak şekilde tasarlanmıştır. Sağ resimdeki planlama sonucunda paralaks durumu meydana gelecektir. Yani sağdaki resimde resmin çekildiği noktanın yeri değiştikçe elde edilecek objede bozulmalar olabilir. Yersel fotogrametride resmin çekildiği nokta değişebilir, fakat elde edilecek resimlerde bindirme alanları obje tarafında olmalıdır.

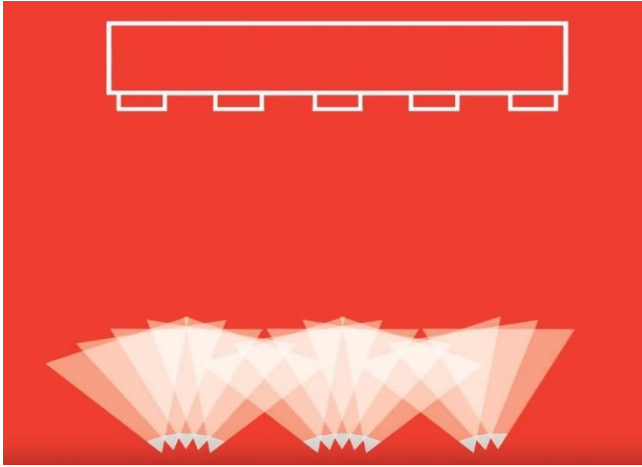


Şekil 101



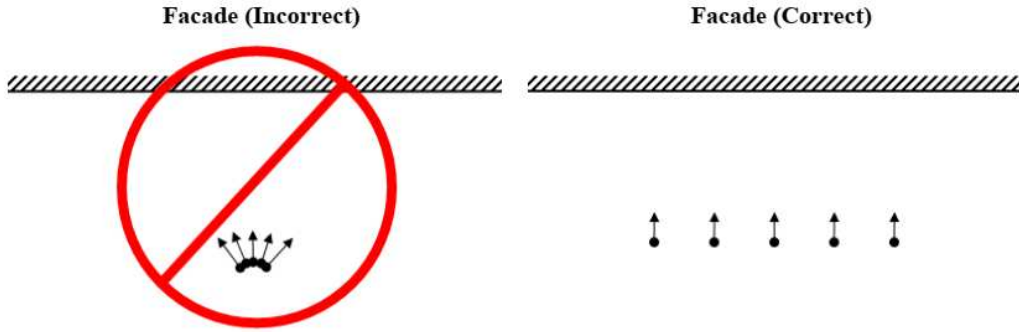
Şekil 102 (Agisoft LLC, 2018)

bir bina etrafında yapılacak yersel fotogrametri çalışmasına bir örnektir. Bina etrafına çekilecek resimlerde çekim konumu belirlenirken resimlerde bindirme oranları hesaba katarak işlem yapılmalıdır. Ayrıca obje (bina) ile çekim noktası arasındaki mesafe değerinin aynı olmasına dikkat edilmelidir.

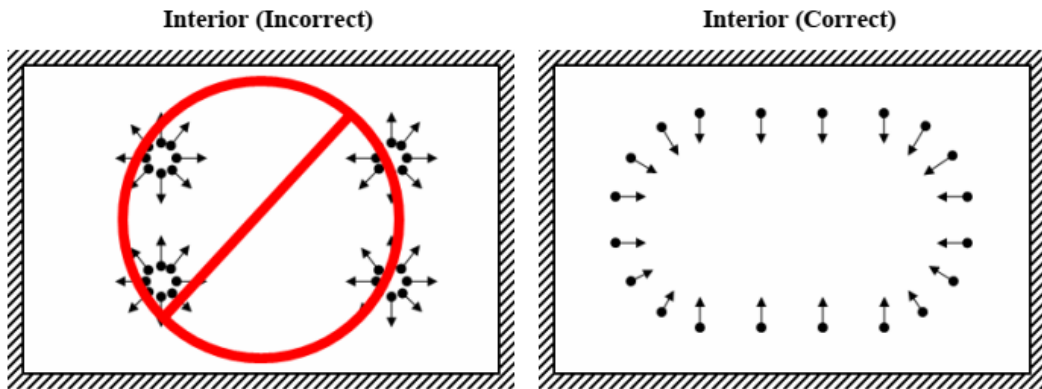


Şekil 103 (Agisoft LLC, 2018)

Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı. fazla detayları olan bir bina örneği bulunmaktadır. Eğer bu binaya ait bir yersel fotogrametri çalışması yapılacaksa, çekim noktası değişmeden farklı açılardan binanın fotoğrafları çekilmelidir. Bir sonraki çekim noktasında resim çekimi yapılacağına ilk dikkat edilmesi gereken, bir önceki noktadan çekilen birden fazla resimle bindirme alanı olacak şekilde fotoğrafların elde edilmesi sağlanmalıdır.

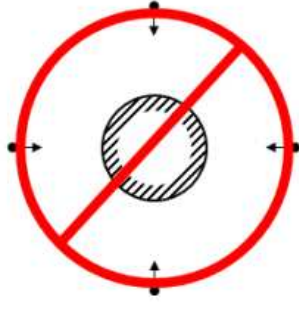


Şekil 104 Cephe Çekimi (Agisoft LLC, 2018)

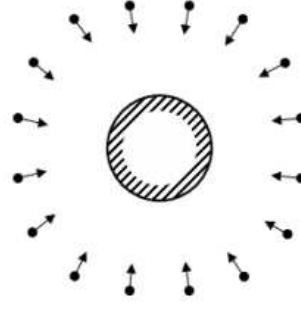


Şekil 105 İç mekân çekimi (Agisoft LLC, 2018)

Isolated Object (Incorrect)



Isolated Object (Correct)



Şekil 106 Tek başına Obje Çekimi (Agisoft LLC, 2018)

KAMAMMYC

Kaynakça

- AL-Baghdadi, J. A., Alizze, H. A., & AL-Hussein, K. A. (2018). Accuracy Assessment of Various Resolutions Digital Cameras For Close Range Photogrammetry Applications. *Journal of Engineering*, 78-95.
- August , P. (2020, 12 13). *Concepts in GIS and Remote Sensing*. Enviroment Data Center: <http://www.edc.uri.edu/nrs/classes/nrs409/rs/lectures/howremotesensonwork.pdf> adresinden alındı
- Dutta, M. K., Issac, A., Minhas, N., & Sarkar, B. (2016). Image processing based method to assess fish quality and freshness. *Journal of Food Engineering*, 50-58.
- MANSUROV , N. (2021, Ekim 17). *Fujifilm GFX 50S Considerations*. photographylife - Camera and Lens: <https://photographylife.com/fujifilm-gfx-50s-considerations> adresinden alındı
- Ranjan, R. (2021, Eylül 27). *BASIC PARTS OF DSLR CAMERA AND THEIR FUNCTIONS*. PixelRajeev: <http://www.pixelrajeev.com/basic-parts-of-dslr-camera-and-their-functions/> adresinden alındı
- Roth-Wells, N. (2020, Kasım 28). *THELANTERN*. Colby University: <http://web.colby.edu/thelantern/2017/05/25/a-trip-to-the-science-fair/> adresinden alındı
- Wolf, P. R., Dewitt, B. A., & Wilkinson, B. E. (2014). *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS, Fourth Edition*. McGraw-Hill Education.
- Acharya, T., & Ray, A. (2005). *Image Processing, Principles and Applications*. A JOHN WILEY & SONS, MC., PUBLICATION.
- Agisoft LLC. (2018). *Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition*.
- Agu, E. (2014, Eylül). Digital Image Processing Lecturer Note. *Lecture 9: Color Images (Part 2) & Introduction to Spectral Techniques (Fourier Transform, DFT, DCT)*. Worcester, Amerika Birleşik Devletleri: Worcester Polytechnic Institute.
- All in one drone solution for precision agriculture* . (2018, 09 09). Parrot: <https://www.parrot.com/global/parrot-professional/parrot-disco-pro-ag#the-all-in-one-drone-solution-for-precision-agriculture> adresinden alındı
- Baldwin, D. (2019, Ocak 26). *DroneBlocks: Math with Drones*. <https://learn.droneblocks.io/>: <https://learn.droneblocks.io/courses/droneblocks-math-with-drones/lectures/2908697> adresinden alındı
- Benz, G. (2019, Eylül 29). *8, 12, 14 vs 16-Bit Depth: What Do You Really Need?!* PetaPixel: <https://petapixel.com/2018/09/19/8-12-14-vs-16-bit-depth-what-do-you-really-need/> adresinden alındı

- BERKENFELD, D. (2021, 10 10). *Understanding Focal Length*. Nikon Learn & Explore: <https://www.nikonusa.com/en/learn-and-explore/a/tips-and-techniques/understanding-focal-length.html> adresinden alındı
- Blackbody / What are the wavelength boundaries of infrared radiation?* (2018, 09 09). EOI- Electro Optical Industries: <https://www.electro-optical.com/FAQ/Blackbody> adresinden alındı
- Brostow, G. (tarih yok). *Image Processing. Digital Image*. London: Lecturer Note.
- By astrocog - own work, Wikipedia. (2021, 10 10). *Camera*. Wikipedia the Free Encyclopedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Camera> adresinden alındı
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to Remote Sensing*. The Guilford Press.
- Canıklıgil, İ. (2019, Nisan 19). *FluTv. Vızıldayan Laflar: 10 Bit mi, 8 Bit mi?*: <https://www.youtube.com/watch?v=YLMuMqCqwDU> adresinden alındı
- Canon. (2021, 10 10). *Knowing the Different Parts of the Camera*. SnapShot: <https://snapshot.canon-asia.com/india/article/en/lesson-2-knowing-the-different-parts-of-the-camera> adresinden alındı
- Canon -Lenslerimiz*. (2019, Aralık 3). <https://www.canon.com.tr/lenses/lens-type/> adresinden alındı
- Chen, I. (2021, Ekim 30). *What is lens aperture?* Adobe Creative Cloud: <https://www.adobe.com/creativecloud/photography/discover/aperture.html> adresinden alındı
- Cloudinary. (2023, Kasım 09). *Bit depth*. [www.cloudinary.com: https://cloudinary.com/glossary/bit-depth](https://cloudinary.com/glossary/bit-depth) adresinden alındı
- Coyne, K. (2018, 09 08). *Faraday Cage*. National High Magnetic Field Laboratory: <https://nationalmaglab.org/about/around-the-lab/what-the/faraday-cage> adresinden alındı
- Crisp, S. (2021, Aralık 05). *Camera sensor size: Why does it matter and exactly how big are they?* PHOTOGRAPHY: <https://newatlas.com/camera-sensor-size-guide/26684/> adresinden alındı
- DDPPhotoTips. (2021, Ekim 30). *Dismantled lens aperture mechanism*. DDPPhotoTips: https://youtu.be/s2a4_J9t5Os adresinden alındı
- Demir, E., & Ateş, S. (2009). UZAKTAN ALGILAMADA ÇÖZÜNÜRLÜĞE BAĞLI VERİ KAZANIMI POTANSİYELİ. 12. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*. Ankara.
- DIGITAL CAMERA SENSORS*. (2019, Ocak 21). Cambridge in Colour: <https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/camera-sensors.htm> adresinden alındı
- EASY BASIC PHOTOGRAPHY. (2021, Ekim 17). *WHAT IS A 35MM EQUIVALENT FOCAL LENGTH?* EASY BASIC PHOTOGRAPHY: <https://www.easybasicphotography.com/35mm-equivalent.html> adresinden alındı

- Expertphotography. (2021, Ekim 24). *Beginners Guide to Camera Lenses: Parts, Functions and Types*. ExpertPhotography: <https://expertphotography.com/camera-lenses-guide/> adresinden alındı
- Finkbeiner, C. (2021, Eylül 21). *Mastering Your Camera Controls*. Carl Finkbeiner Fine Art Photography: <https://carlf.photos/blog/2019/7/31/mastering-your-camera-controls> adresinden alındı
- Finkbeiner, C. (2021, 10 10). *Mastering Your Camera Controls*. Carl Finkbeiner Fine Art Photography: <https://carlf.photos/> adresinden alındı
- Fotografim. (2021, Ekim 31). *Full Frame Sensör vs Crop Sensör | Uygulamalı Anlatım*. Youtube: <https://youtu.be/V1-sy-tMdpY> adresinden alındı
- Full Frame vs. Crop Sensors – What Are They And Which Should You Use?* (2021, Ekim 17). Life Pixel (infrared Camera Conversions): <https://www.lifepixel.com/tag/full-frame> adresinden alındı
- Georgia State University. (2021, Ekim 30). *Apertures and f-stops*. Hyperphysics: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/geoopt/stop.html> adresinden alındı
- GIMP. (2020, Ocak 26). GIMP: <https://www.gimp.org/downloads/> adresinden alındı
- Gintaras. (2021, 10 11). *What is Focal Length? Camera Zoom Explained*. Camera Harmony: <https://cameraharmony.com/focal-length-explained/> adresinden alındı
- Goddard Space Flight Center - Nasa. (2020, Ekim 26). *Measuring Vegetation*. <https://earthobservatory.nasa.gov/>:
https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php adresinden alındı
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2008). *Digital Image Processing, Third Edition*. Pearson Prentice Hall.
- Gray, E. (2021, 10 11). *What Is Focal Length in Photography?* photographylife: <https://photographylife.com/what-is-focal-length-in-photography> adresinden alındı
- Gregg, J. (2018, 09 02). *The Binary Number System*. <http://www2.lawrence.edu/fast/GREGGJ/CMSC210/intro/binary.html> adresinden alındı
- Hanna, S. (2021, Ocak 08). *Scale and Aerial Photogrammetry*. GSP 216 Introduction to Remote Sensing, Humboldt State University: http://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP_216_Online/lesson2-2/scale.html adresinden alındı

- Hanna, S., & Madurapperuma, B. (2020, 12 13). *Resolution*. GSP 216 Online - Introduction to Remote Sensing: https://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP_216_Online/lesson3-1/resolution.html adresinden alındı
- Hilton, M. H., & Bales, F. B. (1985). *Application Of Close-Range Terrestrial Photogrammetry To Bbridge Structures*. Virginia.
- Holtzer, G. (2021, Ekim 24). *How Does a Camera Work?* ExpertPhotography: <https://expertphotography.com/how-does-a-camera-work/> adresinden alındı
- How Landsat Images are made?* (2018, 09 09). Landsat Science: https://landsat.gsfc.nasa.gov/pdf_archive/How2make.pdf adresinden alındı
- Jiao, B. (2021, Eylül 27). *Shutter Sound Explained: DSLR vs Mirrorless, Silent Shooting Modes*. Belinda Jiao Photography: <https://www.belindajiao.com/blog/shutter-sound-dslr-mirrorless-silent-shooting-mode> adresinden alındı
- Liu, J. G., & Mason, p. J. (2016). *Image Processing and GIS For Remote Sensing, Second edItIon*. John Wiley & Sons.
- Michigan State University - Chemistry. (2020, 12 05). *Visible and Ultraviolet Spectroscopy*. <https://msu.edu/>: <https://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/VirtTxtJml/Spectrpy/UV-Vis/spectrum.htm> adresinden alındı
- Miller, S. D., Schmidt, C. C., Schmit , T. J., & Hillger, D. W. (2012). A case for natural colour imagery from geostationary satellites, and an approximation for the GOES-R ABI. *International Journal of Remote Sensing*, 3999-4028.
- NASA's Landsat Program. The Landsat 7 Compositor. (2019, 11 1). https://www.colby.edu/biology/BI352/Labs/satelliteim_info.pdf adresinden alındı
- Nikon. (2021, Ekim 17). *Focal Length and Angle of view*. DSLR Camera Basics: <https://imaging.nikon.com/lineup/dslr/basics/19/01.htm> adresinden alındı
- OLDHAM, T. (2021, Ekim 17). *Medium Format*. HASSELBLAD MEDIUM FORMAT ADVANTAGES: <https://www.hasselblad.com/learn/medium-format/> adresinden alındı
- Panasonic Corporation. (2021, Ekim 29). *Lens focal length and F-Stop*. Digital Camera Know-Hows: <https://av.jpn.support.panasonic.com/support/global/cs/dsc/knowhow/knowhow11.html> adresinden alındı
- PIAMULHOLLAND. (2021, Ekim 31). Pixel: <https://piamulholland.wordpress.com/unit-19/pixel/> adresinden alındı

- Pix4D. (2021, Ocak 09). *Ground sampling distance (GSD)*. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202559809-Ground-sampling-distance-GSD> adresinden alındı
- Pix4D. (2021, Ocak 05). *How to select Camera Focal Length and Flight Altitude considering the desired Ground Sampling Distance and Terrain to map?* Documentation: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558849-How-to-select-Camera-Focal-Length-and-Flight-Altitude-considering-the-desired-Ground-Sampling-Distance-and-Terrain-to-map> adresinden alındı
- Pix4D. (2021, Ocak 09). *How to select Camera Focal Length and Flight Altitude considering the desired Ground Sampling Distance and Terrain to map?* <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558849-How-to-select-Camera-Focal-Length-and-Flight-Altitude-considering-the-desired-Ground-Sampling-Distance-and-Terrain-to-map> adresinden alındı
- PIXELRAJEEV. (2021, Ekim 30). *APERTURE-FSTOP. UNDERSTANDING F STOPS IN PHOTOGRAPHY AND EXPOSURE*: <http://www.pixelrajeev.com/understanding-f-stops-in-photography-and-exposure/> adresinden alındı
- Raccoon, T. (2021, Ekim 18). *Konica Revio Z2. MY CAMERA CABINET*: <https://mycameracabinet.wordpress.com/2011/07/29/konica-revio-z2/> adresinden alındı
- Sentinel. (2023, Aralık 06). *Normalized difference vegetation index*. Sentinelhub: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/ndvi/> adresinden alındı
- SEOS 3d-modellen. (2008, 08 23). [www.seos-project.eu: http://www.seos-project.eu/modules/3d-models/3d-models-c02-p04-s01.nl.html](http://www.seos-project.eu/modules/3d-models/3d-models-c02-p04-s01.nl.html) adresinden alındı
- Snavely, N. (2019, Aralık 23). *Estimating the focal length of a photo from EXIF tags*. <http://phototour.cs.washington.edu/focal.html> adresinden alındı
- Sony A7R IV sensor review*. (2019, ocak 19). dxomark: <https://www.dxomark.com/sony-a7r-iv-sensor-review/> adresinden alındı
- Staridas Geography. (2023, Kasım 29). *staridasgeography*. How to Make Outstanding Maps with Sentinel-2 and ArcGIS Pro – Part 1: Band Combinations: <https://www.staridasgeography.gr/how-to-make-outstanding-maps-with-sentinel-2-and-arcgis-pro-part-1-band-combinations/> adresinden alındı
- Storeh24 SRL*. (2018, 08 31). <http://www.storeh24.it>: <http://www.storeh24.it/2016/07/12/densita-di-pixel-e-risoluzione-cosa-sono-e-come-si-calcolano/> adresinden alındı

- ŞENYAY, L. (2018, 09 2). *Bilgisayar Programlama*.
<http://kisi.deu.edu.tr/levent.senyay/bilgisayarprogramlama.html> adresinden alındı
- University of twente. (2020, Kasım 29). *ITC Satellite and sensor database*.
<https://www.itc.nl/research/research-facilities/labs-resources/satellite-sensor-database/>:
<https://webapps.itc.utwente.nl/sensor/default.aspx?view=allensors> adresinden alındı
- Vorenkamp , T. (2021, Ekim 30). *Why You Should Go Beyond the Kit Lens*. Explora News, Tips and Reviews: <https://www.bhphotovideo.com/explora/photography/features/why-you-should-go-beyond-the-kit-lens> adresinden alındı
- Wikipedia. (2021, Ekim 18). *Image sensor format*. Wikipedia:
https://en.wikipedia.org/wiki/Image_sensor_format adresinden alındı
- ZAFRA, D. (2021, Ekim 18). *CAMERA SENSOR SIZE IN PHOTOGRAPHY*. CAPTURE THE ATLAS:
<https://capturetheatlas.com/camera-sensor-size/> adresinden alındı