Bölüm 10. CCD Fotometri

10.1. Giriş

"Teleskoplar ve Dedektörler" bölümünde CCD dedektörler konusunda geniş bilgi verilmişti. Astronomide CCD dedektörler, her bir piksel üzerine ne kadar ışık düştüğünü ölçmek için kullanılır. Bir CCD görüntüsü, her pikselin CCD çipi üzerindeki koordinatları ve bu koordinatlara karşılık gelen pikselin üzerine düşen ışığın şiddetini ifade eden bir sayısal değerden oluşan sayısal (dijital) bir görüntüdür. Sayısal bir görüntü olması sebebiyle CCD görüntüleri bilgisayar programları aracılğıyla kolaylıkla görüntülenebilir, üzerinde ölçümler yapılabilir ve manipüle edilebilir.

Çalışma prensipleri detaylı olarak "Teleskoplar ve Dedektörler" bölümünde anlatılmış olan CCD'ler fotoelektrik olayı temel alarak çalışırlar. O halde "Bir CCD görüntüsü üzerinde herhangi bir pikselden okuduğumuz değer o pikselin üzerine düşen foton sayısı mıdır?" sorusu akla gelir. Yanıt herşeyden önce bu sayının bir sayma işleminin sonucu olmadığı, bir akım ölçme işleminin sonucu olduğu şeklinde verilmelidir. Bu değer üzerinde sistemin elektroniğinden kaynaklanan gürültünün yanı sıra ısınmasından kaynaklanan termal gürültü gibi istenmeyen etkiler de bulunmaktadır. Görüntünün öncelikle bu etkilerden arındırılması gereklidir. Bu işlem gerçekleştirildikten sonra her bir piksel üzerinde geriye kalan sayı, o piksel üzerine düşen foton sayısı ile orantılıdır. Gerçekte bir CCD üzerine düşen her fotona cevap veremez. Üzerine düşen fotonların ne kadarına cevap verdiği CCD'nin kuantum etkinliğidir ve arkadan aydınlatmalı modern CCD dedektörlerde bu değer %90 civarındadır. (Yani CCD dedektör, üzerine düşen 100 fotonun ortalama oalrak 90'ına cevap verebilmektedir.)

10.2. Bir CCD Gözleminde Veri Üzerine Binen İstenmeyen Etkiler ve Bu Etkilerden Görüntülerin Arındırılması

10.2.1. Okuma Gürültüsü (Read Out Noise)

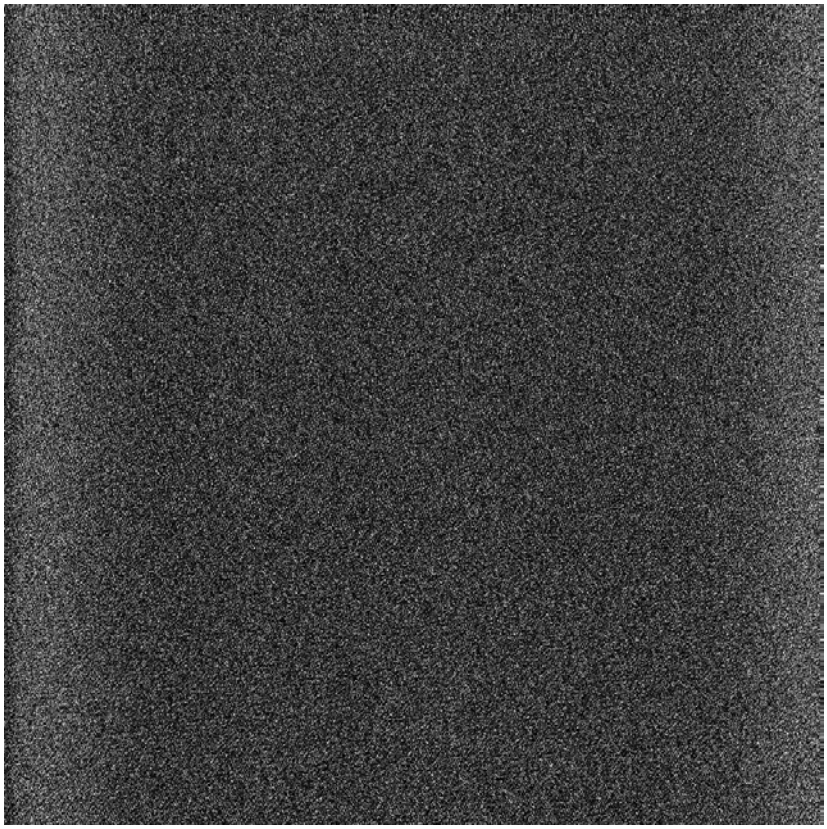
CCD dedektörü belirli bir süre için (poz süresi) ışığa maruz bırakıldıktan sonra, her bir pikselin üzerine düşen foton sayısına verdiği cevabı ölçmek için bir okuma işleminin yapılması gerekir. Bu okuma işleminin kendisi de elektron üreten bir süreç olup üretilen bu

elektronlardan doğan akım istenmeyen bir etkidir. Çünkü, ölçülmek istenen sadece gökyüzünden gelen fotonlardan kaynaklanan akımdır. Okuma gürültüsü, verilen poz süresinden bağımsızdır ve her CCD için sabit bir değerdir. Ankara Üniversitesi Rasathanesi T40 Kreiken Teleskobu'nun CCD dedektörü için okuma gürültüsü değeri 1.1 é'dur. CCD görüntülerinin indirgenmesinde kullanılan bütün programlarda (Maxim DL, IRAF vb.) okuma gürültüsü değeri hesaplara katılır. Özellikle görüntü birleştirme işlemlerinde bu değerin programa doğru girilmesi büyük önem taşır. Okuma gürültüsünden gözlemleri arındırmak için gözlemcinin ve indirgemeleri yapan araştırmacının yapması gereken artı bir işlem yoktur.

10.2.2. Taban Gürültüsü ve Bias Görüntüleri

Bir CCD dedektörü, üzerine hiç ışık düşmese dahi elektron üretir. Bu elektronların bir kısmı poz süresi boyunca üretilirken bir kısmı ise sürekli olarak her bir pikselde yer alır. Poz süresi boyunca üretilen elektronlar kara akımı oluşturur ve bir sonraki gürültü kaynağı olarak incelenecektir. Her pikselde birbirine yakın ama ayrı miktarlarda ve sürekli olarak sistemde bulunan elektronlar ise taban gürültüsünün kaynağıdır. Bu elektronlardan kaynaklanan sayımları, toplam sayımdan çıkarmak gereklidir. Her ne kadar çok yakın değerler alsa da bu elektronlardan kaynaklanan sayımlar pikselden piksele ve gece boyunca değişir.

Bu etkiyi gidermek için, gözlem başında, gözlemi etkilemeyecek şekilde gecenin belirli bölümlerinde ve gözlem sonunda sıfır saniye poz süresiyle CCD'nin üzerine hiç ışık düşürülmeden görüntüler alınır. Bu görüntülere “bias görüntüleri” denir. Sıfır saniye poz süresi teoride mümkündür. Ancak pratikte sıfır saniyede görüntü almak mümkün değildir. CCD ile gözlem yapmak için kullanılan yazılımların tümünde bias görüntüleri almak için bir seçenek mevcuttur. Bu seçenek yardımıyla, olabilecek en kısa sürede bias görüntüleri alınır. Gece boyunca bu gürültünün çok az miktarlarda değiştiği ve pikselden piksele farklı olduğu gözönünde bulundurularak alınan bias görüntülerinin birleştirilip kullanılması bu gürültünün CCD dedektörü üzerindeki değişiminin daha sağlıklı olarak modellenmesini sağlar. Sonuçta elde edilen bias görüntüleri veya bu bias görüntülerinin birleştirilmesiyle elde edilen “master” görüntü ya da görüntüler, alınan diğer görüntülerden çıkarılır. Böylece bilimsel görüntüler her an sistemde bulunan elektronlardan arındırılmış olur (Şekil 10.1).



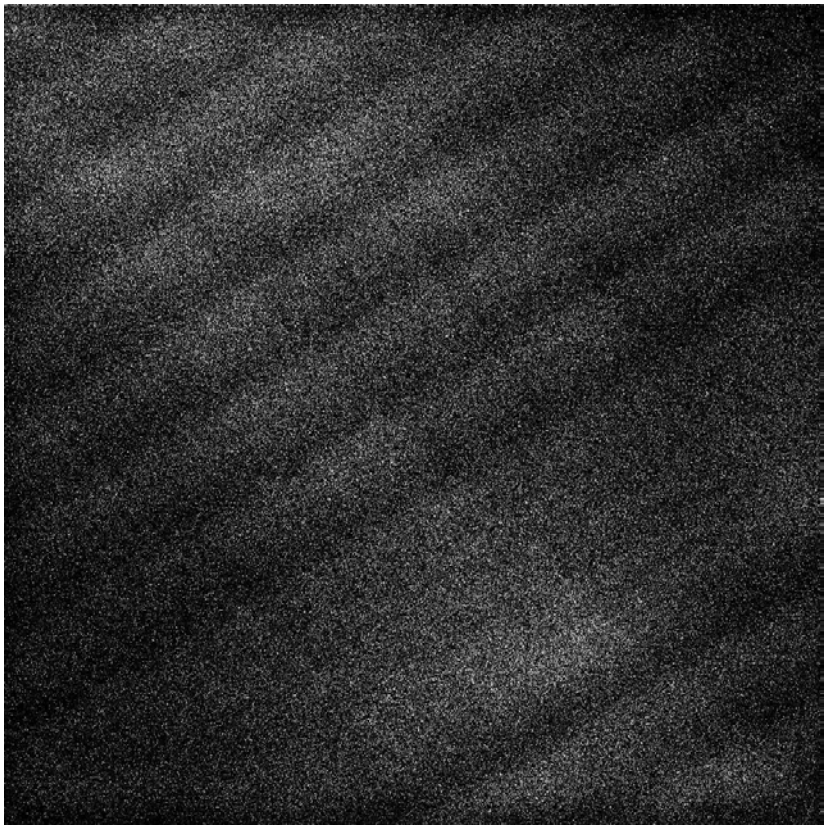
Şekil 10.1 Ankara Üniversitesi Rasathanesi Apogee Alta U47 CCD'si örnek bias görüntüsü
Ankara Üniversitesi Rasathanesi, 8 Eylül 2007

10.2.3. Kara Akım Gürültüsü ve Dark Görüntüleri

CCD ile görüntü alınırken verilen poz süresi boyunca sistemin sıcaklığından dolayı bazı elektronlar termal olarak uyartılır. Bu elektronlar kara akım adı verilen ve görüntülerde istenmeyen bir gürültünün kaynağıdır. Kara akım sistemin sıcaklığına oldukça hassastır. Bu nedenle astronomi amaçlı kullanılan CCD'ler çok iyi soğutulur. Örneğin, Ankara Üniversitesi Rasathanesi T40 Kreiken Teleskobu'na bağlı Apogee Alta U47 CCD'si -30ºC 'ye kadar elektronik olarak soğutulur. Gözlemlere başlamadan önce CCD'nin bu değere kadar soğutulması ve sıcaklığının bu değerde kararlı hale gelmesi sağlanır. Her ne kadar CCD çok iyi soğutulsa da bir kara akım üretir. Bu kara akım, alınan görüntülerin üzerinde ek olarak bulunan, istenmeyen bir gürültüdür.

Bu etkiden görüntüleri arındırmak için, görüntülerin alındığı poz süresine eşit sürede fakat CCD dedektör üzerine ışık düşürülmeden görüntü alınması gerekir. Bu görüntülere "dark görüntüsü" adı verilir. Tıpkı bias görüntüleri gibi dark görüntüleri de kullanılacak poz süreleri

belirlendikten sonra, bias görüntülerinden farklı olarak bu poz süreleriyle gözlem başında, gözlem sırasında uygun zamanlarda ve gözlem sonunda alınır. Alınan bu dark görüntüleri uygun bir algoritmayla birleştirilerek ya da ayrı ayrı tüm görüntülerden çıkarılır. Böylece görüntüler kara akım gürültüsünden arındırılmış olur (Şekil 10.2).



Şekil 10.2 Ankara Üniversitesi Rasathanesi Apogee Alta U47 CCD'si örnek dark görüntüsü
Ankara Üniversitesi Rasathanesi, 8 Eylül 2007

10.2.4. CCD Dedektörün Cevabının Yüzey Boyunca Değişimi ve Flat Görüntüleri

Bütün CCD dedektörlerinde, her piksel üzerine düşen fotona farklı cevap verir. Yani, bir CCD dedektörün üzerine düşen ışığa verdiği cevap dedektör yüzeyi boyunca tekdüze olmaz. CCD dedektörünün yüzeyi boyunca bir pikselden diğerine tekdüzelikten küçük sapmalar olduğu gibi, CCD'nin bir bölgesinden diğerine de tekdüzelikten daha büyük sapmalarla genellikle karşılaşılır. Pikselden piksele farklar, genellikle piksel boyutlarının tam olarak eşit olmamasından, bölgeden bölgeye farklar ise silikon kalınlığındaki farklardan kaynaklanır. Piksellerin aynı miktarda ışığa farklı tepkiler vermesi değerleri bir çarpan olarak etkiler. Görüntüleri bu sorundan arındırmak için piksellerin ışığa verdiği tepkiler modellenmelidir.

Bunun için CCD yüzeyinin her noktasına aynı miktarda ışık düşürülür. Bunun için çeşitli yöntemler uygulanabilir.

Bir yöntem, teleskobun içinde bulunduğu kubbeye bir perde asmak ve bu perdeyi bir lamba ile aydınlatmak ve teleskobu perde üzerinde bir noktaya doğrultarak yeterli bir poz süresiyle görüntü almaktır ("kubbe düz alan görüntüsü" ya da "dome flat"). Bu yöntem, perde üzerinde gözle algılanamayan farkların görüntüye yansıması, perdenin aynı mkitarda aydınlatılmasının zorluğu ve bu aydınlatma için kullanılan lambaların pahalılığı sebebiyle dezavantajlıdır. Ancak, ideal bir poz süresi belirlendikten sonra hep bu poz süresini kullanmak, hava kapalı olsa dahi düz alan görüntüsü alabilmek gibi önemli avantajları vardır (Şekil 10.3).

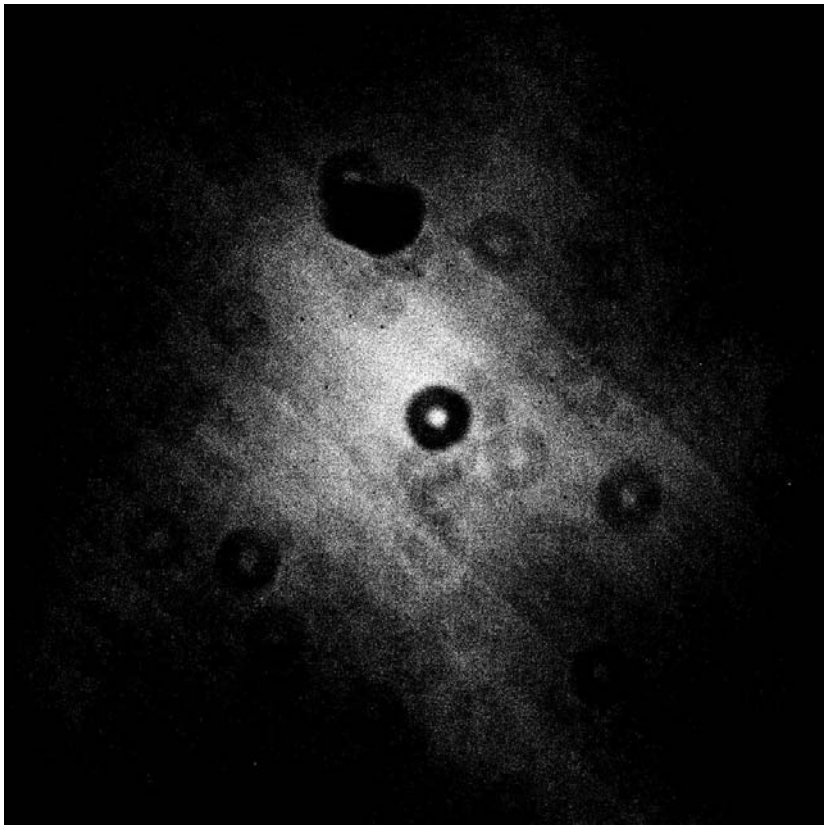
Şekil 10.3 Kitt Peak 3.5 metre ayna çaplı WIYN Teleskobu'nda perdeyle düz alan görüntüsü almak için kurulmuş düzenek. http://www.noao.edu/wiyn/

Bir başka yöntem ise Ankara Üniversitesi Rasathanesi'nde de uygulandığı gibi "alacakaranlık düz alan görüntüleri" almaktır. Teleskoplar gökyüzünde çok dar bir alan görürler. Gökyüzünde, içerisinde yıldız görülmediği sürece bu alan boyunca ışık şiddeti sabit kabul ediliebilir. Düz alan görüntüsü alınırken teleskop, CCD piksellerinin hemen doymaması için alacakaranlıkta gökyüzünde, ufuktan en az 20º yukarıda bir noktaya çevrilir. Sabah güneşten doğmadan önce doğudan, akşam üzeri güneş batmadan önce batıdan alacakaranlık görüntüsü almak, bu bölgelerde gökyüzünün parlaklığı çok hızlı değiştiğinden doğru değildir.

Alacakaranlık görüntüsü alınırken görüntünün içine yıldız girmemesine dikkat edilmelidir. Poz süresi buna izin vermeyecek şekilde belirlenir. Ayrıca bulutlu havalarda düz alan görüntüsü alınmaz. Bulut içerisinde dar bir alanda dahi ışık şiddeti değişim gösterir. Ancak parçalı bulutlu havalarda açık olduğundan emin olunan bir bölgeden düz alan görüntüsü alınabilir. Önemli olan görüntüsü alınan alan boyunca ışık şiddetinin değişmemesi, tüm piksellere eşit miktarda ışığın düşürülmesidir.

Bütün CCD'ler belirli bir ADU değerinden sonra doğrusallığını (lineerliğini) kaybeder. Yani dedektör, üzerine düşen ışığa şiddetin artmasıyla doğru orantılı olarak tepki vermez. Bu nedenle piksel değerlerini doğrusallığın korunduğu değer aralığında bırakacak bir poz süresi belirlemek idealdir. Ankara Üniversitesi Rasathanesi T40 Kreiken Teleskobu'na bağlı Apogee Alta U47 CCD'si için 30000 ADU civarında piksel değerleri veren düz alan görüntüleri idealdir (Şekil 10.4). CCD gözlemleri için kullanılan bilgisayar programlarının çoğunda düz alan görüntüsü (flat) alma seçeneği vardır. Eğer böyle bir seçenek yoksa bilimsel görüntüler alındığı şekilde de düz alan görüntüsü alınabilir. Düz alan görüntüleri ve bilimsel amaçla alınan gökcismi görüntüleri bias ve kara akım gürültülerinden arındırıldıktan sonra, bilimsel görüntüler düz alan görüntülerine bölünür. Böylece, CCD'nin tüm yüzeyi aynı miktarda ışığa aynı tepkiyi (aynı ADU değerini) verecek şekilde modellenmiş olur.

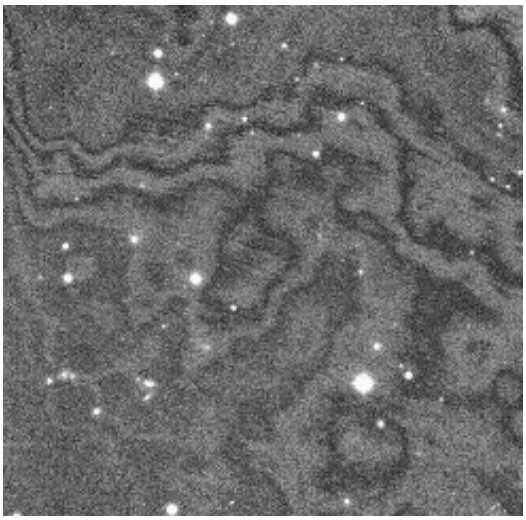
CCD dedektörlerde, gelen ışığa verilen tepkinin yüzey boyunca değişmesi nedeniyle oluşan görüntü bozulmalarından biri **"vignetting"** etkisidir. Bu etki, kullanılan ikincil mercekler, filtreler gibi optik elemanların ya da koruyucu camların, gelen ışığın CCD'nin tüm yüzeyi üzerine aynı açıyla düşmesini engellemesi nedeniyle, ışığın dik geldiği piksellerde yüksek, dik gelmediği piksellerde düşük sinyal yaratması sonucu oluşur. Işığın dik geldiği merkezi pikseller daha parlak görünürken, eğik geldiği dış pikseller daha sönük görünür (Şekil 10.5). Vignetting etkisi aynı koşullarda (tercihen teleskop ve tüm optik sistemin aynı açıyla gökyüzüne doğrultulduğu) alınan düz alan görüntüleri ile düzeltilebilir. Vignetting etkisi ile zayıf ışık kaynaklarının ve karanlık bir gökyüzünün görüntülendiği astronomi gözlemlerinde sıkça karşılaşılmaz. Ancak etkinin görüntülere bir çarpan olarak dahil olduğunu, dolayısı ile uygun düz alan görüntülerine bölünerek giderilebildiğini bilmekte fayda vardır.



Şekil 10.4 Ankara Üniversitesi Rasathanesi Apogee Alta U47 CCD'si örnek R Bandı flat görüntüsü. Ankara Üniversitesi Rasathanesi, 8 Eylül 2007

Şekil 10.5 Görüntü merkezinin parlak, kenarların sönük algılanması sonucu oluşan "vignetting etkisi" http://en.wikipedia.org/wiki/Vignetting

CCD yüzeyinin tamamının aynı şekilde cevap vermesini engelleyen bir diğer görüntü bozulması **"fringing"** ya da **"saçaklanma"** olarak bilinir. Arkadan aydınlatmalı, inceltilmiş CCD dedektörlerde özellikle kuvvetli uzun dalga boylu ışınımın (Yer atmosferi kaynaklı salma çizgileri) bir bölümü CCD çipin silikon yüzeyi tarafından soğurulmadan geçerek CCD'nin tabanından yansır ve gelen ışıkla girişim yapar (Şekil 10.6). Dedektör yüzeyinde oluşan girişim desenleri, yüzey boyunca piksellere artı bir ışık katkısı olarak yansır. Giderilmesi için "saçaklanma haritalarının" (fringe maps) elde edilmesi ve bu haritaların gözlemlerden çıkarılması gereklidir. Modern görüntü işleme programlarında (iraf gibi) saçaklanma haritaları hazırlamak üzere geliştirilmiş rutinler bulunmaktadır.



Şekil 10.6 Bir astronomi gözleminde saçaklanma (fringing) etkisi
http://www.astro.uni-bonn.de/~mischa/datareduction/fringing.html

10.3. Bir CCD Gözlemi

10.3.1. Gözleme Çıkmadan Önce Yapılması Gereken Hazırlıklar

Öncelikle gözlenecek yıldızın, varsa mukayese ve standart yıldızların haritaları çıkarılmalıdır. (bkz. Değişen Yıldızlar Bölümü) Gözlenecek yıldızların gece boyunca ufuktan olan yükseklikleri, değişen yıldızsa evreleri ve gözlemin hangi filtrelerle yapılacağı önceden belirlenmelidir.

Gözlenecek cisimler ufkun en az 30º üzerindeyken gözlenmelidir. Daha düşük ufuk yüksekliklerinde sönümleme ve şehir ışıkları gözlemleri çok fazla etkiler, bu nedenle bu yüksekliklerde gözlem yapılmamalıdır.

Gözlemin saat kaçta başlayıp saat kaçta biteceği, gece boyunca kaç yıldızın gözleneceği en ince ayrıntılarına kadar planlanmalıdır. Gözlemevlerinden teleskop zamanı elde etmek çok zordur. Bu nedenle teleskop zamanı değerlidir ve çok etkin kullanılmalıdır.

Gözleme astronomik tan vaktinden birbuçuk iki saat kadar önce çıkılmalıdır. Öncelikle, kubbe ve teleskop kapakları açılmalı, ortamın sıcaklığının dışarınınkiyle aynı olması sağlanmalıdır. Daha sonra sırasıyla bilgisayarlar, teleskop ve CCD dedektör açılır. Gözlemde kullanılan bilgisayar programı aracılığı ile teleskoba ve CCD'ye bağlantı yapılır. CCD soğutulmaya

gözleme başlamadan en az bir saat önce başlanmalıdır ki CCD soğutulduğu sıcaklıkta kararlı hale gelebilsin.

10.3.2. Düz Alan Görüntülerinin Alınması

Hangi bantlarda gözlem yapılacağı önceden bilindiği için öncelikle bu bantlarda düz alan görüntüleri alınır. Öncelikle ideal düz alan görüntülerine olabildiğnce yakın görüntüleri verebilecek poz süreleri saptanır. Her bantta ADU değerlerinin 10000 – 30000 aralığında kalacak şekilde olmasına dikkat edilmelidir. R bandında bu değerlere çok kısa sürelerde ulaşılırken, U bandında daha uzun zaman gerekir. Bu durum dikkat alınarak öncelikle gözlem için kullanılacaksa U filtresiyle düz alan görüntüleri alınmalıdır. Hava hızla kararacağından uzun zaman gerektirecek görüntüleri önce almak daha akılcı olur. Zaman geçtikçe istenen değerlere ulaşmak için daha da uzun poz süresi vermek gerekir ki; bu da daha fazla zaman kaybı demektir. CCD gözlemin en fazla hız, dikkat ve tecrübe gerektiren bölümü düz alan görüntülerinin alınmasıdır.

U bandı için uygun poz süresi belirlenir belirlenmez U filtresiyle düz alan görüntüleri alınır ve kaydedilir. Üç ile beş arası görüntü yeterli olacaktır. Daha sonra sırasıyla V, B ve I bantlarında ideal poz süreleri için deneme görüntüleri alınır, ideal poz sürelerine karar verildikten sonra bu poz süreleriyle düz alan görüntüleri alınmaya başlanır. En son R bandında düz alan görüntüleri alınır. Hava karardıkça alınan değerler yetersiz gelecek, poz sürelerini değiştirmek gerekecektir. Giderek poz süreleri uzatılır. Havanın kararmasıyla birlikte görüntülerde görünmese bile ADU değerlerini etkileyebilecek parlak yıldızlar var olabilir. Bu nedenle her görüntüden sonra teleskop bir miktar hareket ettirilir. Bunun amacı, daha sonra görüntüler birleştirildiğinde kullanılan istatistiksel yöntemler aracılığı ile görüntüye giren yıldızlardan kurtulabilmektir. Havanın daha da kararmasıyla yıldızlar daha da belirgin hale gelir. Bu durumda düz alan görüntüsünün alınması dudurulur.

10.3.3. Bilimsel Görüntülerin Poz Sürelerine Karar Verilmesi

Gözlenecek ilk yıldıza teleskop yönlendirilir. Gözlemin yapılacağı filtrelerde poz süresi belirlenmeye çalışılır. Poz süresi belirlenirken dikkate alınması gereken iki parametre, teleskobun takip duyarlılığı ve yıldızın parlaklığıdır.

Her filtre için ideal olan yıldız görüntülerinde 10000 – 30000 ADU değerleri arasıdır. Ancak, bu değerlere ulaşmak için çok uzun poz süresi verildiğinde teleskoptaki takip problemleri nedeniyle istenen görüntü elde edilemeyebilir. Bu nedenle çok sönük yıldızları ve gökcisimlerini gözlemek mümkün olmayabilir.

Ankara Üniversitesi Rasathanesi T40 Kreiken teleskobu için limit parlaklık V filtresinde 16 kadir yöresindedir. Sağlıklı, ideal gözlem verisi için yine V bandında parlaklığı 13 kadirin üstünde olan sönük yıldızlar iyi sonuç vermez. Diğer bantlarda daha uzun poz süreleri kullanmak gerekebilir. Özellikle U bandında çok uzun poz süresi vermek gerekmektedir. Takip 60 saniyeden fazla poz süreleri için güvenilir değildir.

Poz süresine karar verirken bir başka önemli sorun aynı görüntü içerisinde birden fazla yıldızın gözlenme gerekliliğidir. Diferansiyel fotometri yapmak isteyen gözlemci, alacağı görüntülerde hem değişen yıldızının, hem de mukayese ve denet yıldızlarının bulunmasını tercih eder. Küme gözlemlerinde bir görüntüde pek çok sayıda yıldız gözlenir. Bu durumda poz süresi belirlemek çok zordur ve deneyim gerektirir. Gözlenmek istenen en sönük yıldıza göre poz süresi belirlendiğinde parlak yıldızlar için doyma değeri (65535 ADU) aşılabilir, bu durumda parlak yıldız için ölçüm alınamaz. En parlak yıldıza göre poz süresi belirlenirse bu kez sönük yıldızlar için sağlıklı ölçüm almak mümkün olmaz. Bu nedenle diferansiyel fotometri yapılırken parlaklık ve renk indisleri uygun mukayese ve denet yıldızı seçmek astrofizik gerekçelerin dışında (bkz. Değişen Yıldızlar Bölümü) artı bir önem daha kazanır. Küme fotometrisinde ise gözlenmek isteyen yıldızlardan orta düzeyde parlaklığı olanları öncelikle dikkate alarak farklı poz süreleri belirlenir. Sönük yıldızları alabilmek için ayrı bir poz süresi (ki bu durumda parlak yıldızlar doyma sınırını aşabilir), parlak yıldızları alabilmek için ayrı bir poz süresi kullanmak gerekebilir. Anlamlı sonuçlar verebilecek kadar sinyal/gürültü oranına ulaşılabilen en küçük gökcismi parlaklığı ile piksellerin doyup, artık cevap veremeyeceği en yüksek gökcismi parlaklığı arasındaki fark, gözlenecek cisim, mukayese yıldızı ve poz süresi seçiminde önemlidir. Bu aralık bir CCD'nin **dinamik aralığı** (dynamic range) olarak tanımlanır.

Ayrıca CCD'nin gökyüzünde gördüğü sınırlı alana (Ankara Üniversitesi Rasathanesi T40 Kreiken teleskobunda bu alan 11 □' (kare yay dakikası) 'lık bir alandır) gözlenmek istenen tüm yıldızları denk getirmek de sorun teşkil edebilir. Özellikle limit durumlarda yıldızları CCD görüntüsünün kenarlarında bırakmak uygun bir çözüm değildir. CCD dedektörler

kenarlarda en az duyarlılığa sahiptir, Duyarlılık dedektörün (dolayısıyla görüntünün) merkezinde maksimum olur. Böyle durumlarda diferansiyel fotometri yerine mutlak fotometri yöntemini uygulamak daha uygun bir çözüm olur.

10.3.4. Bias ve Dark Görüntülerinin Alınması

Bilimsel görüntüler için poz süreleri belirlendikten sonra gözleme geçmeden önce bias ve dark görüntülerini almak iyi bir stratejidir. Böylece gözlem bu görüntülerin alınması için kesilmemiş olur. Ancak gözlenen yıldızın istenen bir evresi yakınsa bu durumda bu görüntüleri almak sona bırakılabilir. Bir gecede birden fazla yıldız gözlenecekse, bir gözlemden diğerine geçerken bias ve dark görüntülerini almak da iyi bir stratejidir. Gözlem tamamlandıktan sonra sabah hava aydınlanmaya başlayıp, alacakaranlık düz alan görüntüleri alınana kadar bütün gece için dark ve bias görüntüleri almak genellikle tercih edilir. Ancak, gece boyunca dedektörün sıcaklığındaki değişimler ve yaşanabilecek bütün aksaklıklar da dikkate alınarak bias ve dark görüntüleri uygun zamanlarda alınmaya çalışılmalı, ancak gözlenen yıldızın gözlendiği evre aralığında bulunduğu zamana dikkat edilmeli, gözlenmek istenen evrede mümkün olduğunca çok görüntü alınmaya çalışılmalıdır.

Bilimsel görüntüler için belirlenen poz süreleriyle eş poz sürelerinde dark görüntüsü alınmaya çalışılmalıdır. Bu görüntüler kaydedilirken dosya ismi olarak poz süresini ya da hangi banttaki görüntülerin indirgenmesinde kullanılacaksa o bandı çağrıştıracak isimler kullanılması indirgemede büyük kolaylık sağlar. (60 sn'lik bir dark görüntüsü için dark_60.fits ya da B bandındaki görüntüler için kullanılacak bir dark görüntüsü için dark_B.fits gibi) İndirgenmesinde kullanılacak bilimsel görüntü ile eşit poz süreli dark görüntüsü alınamadıysa, bilimsel görüntüye en yakın zamanda alınmış bir dark görüntüsü ölçeklendirilerek kullanılabilir. Aynı poz süreli dark görüntülerini birleştirerek kullanmak da iyi bir seçimdir. Farklı poz süreli dark görüntüleri de birleştirilebilir. Hatta gözlemin yapıldığı tarihe çok uzak olmamak kaydıyla aynı sistemle (teleskop + CCD dedektör) farklı bir günde alınmış dark ve bias görüntüleri dahi kullanılabilir ancak sonuç aynı gün alınmış görüntülerle yapılan indirgemeye göre kötü olur.

CCD gözleminde kullanılan bilgisayar programlarının gerek bias gerek dark almak için özel seçenekleri vardır. Her iki tür görüntüde de CCD dedektör üzerine ışık düşmez. Bu

görüntülerde filtrenin bir önemi yoktur. Kullanılan programlarda da bu tür görüntüler alınırken filtre seçme seçeneği inaktif durumda bulunur.

10.3.5. Gözlemin Sonlandırılması

Bias ve dark görüntülerinin son kez alınmasıyla gözlem gecesi tamamlanır. Sabah alacakaranlığı ile birlikte tekrar düz alan görüntüleri akşam üzeri alınan düz alan görüntülerine benzer strateji ile, bu kez ters sıralamayla alınır. Akşam üzeri düz alan görüntüsü alınmış olsa dahi sabah mümkünse düz alan görüntüsü alınmalıdır. Bunun birkaç sebebi vardır. Öncelikle, sabahları atmosferik koşullar daha uygun olur. Tüm gün boyunca yükselen toz akşam gökyüzünü kirletirken, sabah gökyüzü sıcaklığın düşüklüğü nedeniyle de dahatemizdir. Ayrıca, tüm sistem (teleskop + dedektör) sabah çok daha kararlı halde olur.

Düz alan görüntüleri de alınıp gözlem tamamlandıktan sonra, CCD elektronik olarak ortam sıcaklığına getirilir. CCD'yi kapatıp ortam sıcaklığına bir anda getirmek çok tehlikelidir. Bu tür ani güç kesmeleri, uygulandığı zaman hissedilmese dahi zamanla CCD dedektörün kuantum etkinliğinin azalmasının en önemli nedenlerindendir. CCD dedekötrü kontrol etmek için kullanılan bilgisayar programlarında CCD'yi yavaş bir şekilde ortam sıcaklığına getirmek için seçenekler mevcuttur. CCD, ortam sıcaklığına getirlidikten sonra kontrol bilgisayarından ona yapılan bağlantı ve kontrol bilgisayarının teleskop bağlantısı, teleskop program aracılığı ile park konumuna getirildikten sonra kesilir. Daha sonra CCD, teleskop, kapakları, toz örtüsü ve kubbe kapatılarak gözlem sonlandırılır.

10.4. Gözlemsel Verinin İndirgenmesi

Gözlemlerle elde edilen fotometrik verinin analize hazır hale getirilmesi için okuma gürültüsü, taban gürültüsü ve kara akım gürültüsünden arındırılması, ışık algılayıcı yüzey tarafından verilen ve tekdüze olmayan cevabın modellenerek, gözlemlere etkisinin ortadan kaldırılması ve varsa saçaklanma etkisinin düzeltilmesi gereklidir. Tüm bu işlemler yapıldıktan sonra her bir piksele karşılık gelen akı değeri sayısal olarak okunur ve gözlenilmek istenen yıldızın denk geldiği piksellerdeki akılar toplanarak, yıldızın aletsel parlaklığına geçilir. Her bir görüntüde gözlenen yıldız için elde edilen parlaklıklar, mukayese yıldız ve denet yıldızı için elde edilen parlaklıklarla karşılaştırılarak nihai ışık değişimini elde etmek mümkün olur.

Söz konusu tüm bu işlemler, çeşitli paket programlarla yapılabildiği gibi, tercihe bağlı olarak seçilecek bir bilgisayar programlama dilinde (C, idl, python gibi) yazılacak bir programla da gerçekleştirilebilir. Astronomide veri analizi için sıklıkla kullanılan bu programa dillerinde neredeyse tüm görüntü formatlarıyla ve özellikle FITS formatındaki verilerle çalışabilmeyi olanaklı hale getiren kütüphaneler bulunmaktadır.

Bu programlardan bazıları MS Windows işletim sisteminde çalışan ve Diffraction Limited tarafından geliştirilmiş olan Maxim DL[1], Unix tabanlı Linux ve Mac-OS işletim sistemlerinde çalışan Image Reduction and Analysis Facility (IRAF)[2], platformdan bağımsız olarak çalışabilen C-Munipack[3] adlı programlardır. IRAF yazılımına Python programlama dilinde yazılmış olan PyRAF[4] arayüzü yazılıma Python dilinin avantajlarının da eklenmesiyle astronomi amaçlı verilerin indirgemesinde oldukça popüler hale gelmiştir. Interactive Data Language (IDL)[5] ve Python[6] programa dilleri astronomi verilerinin indirgenmesi için geliştirilmiş pek çok kütüphaneye sahiptir. Bu dillerde yazılmış pek çok indirgeme programına internetten ulaşmak ve kullanmak mümkündür. Tüm bu bilgisayar yazılımları ve programa dilleri ile astronomi verilerinin yukarıda anlatıldığı şekilde indirgeme işlemlerinin yapılması haricinde teleskop yönetmekten, atmosferik sönümleme hesabına, zaman hesaplarından, tayfsal veri analizine kadar pek çok farklı işlem yapılabilmektedir. Astronomide veri analizinde gelinen noktada bir bilgisayar programlama dilini ve bu programlardan en az birini iyi düzeyde kullanmak bir astronom için neredeyse standart hale gelmiş ve astronomun alet çantasının vazgeçilmezlerinden olmuştur.

---

[1] http://www.cyanogen.com/maxim_main.php
[2] http://iraf.net/
[3] http://sourceforge.net/projects/c-munipack/
[4] http://www.stsci.edu/institute/software_hardware/pyraf
[5] http://www.exelisvis.com/language/en-us/productsservices/idl.aspx
[6] http://www.python.org/