

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 gözlenmek 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 programlama 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 DL¹, Unix tabanlı Linux ve Mac-OS işletim sistemlerinde çalışan Image Reduction and Analysis Facility (IRAF)², platformdan bağımsız olarak çalışabilen C-Munipack³ adlı programlardır. IRAF yazılımı astronomi amaçlı verilerin indirgenmesinde yaygın olarak kullanılan bir yazılım olup Python programlama dilinin avantajları kullanılarak yazılmış olan PyRAF⁴ arayüzünün de eklenmesiyle oldukça popüler hale gelmiştir. Interactive Data Language (IDL)⁵ ve Python⁶ 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 programlama dilleri ile astronomi verilerinin yukarıda anlatıldığı şekilde indirgeme işlemlerinin yapılması haricinde teleskop yönetmekten atmosferik sönümleme hesabına ve zaman hesaplarından tayfsal veri analizine kadar pek çok farklı işlem yapılabilmektedir. Astronomide veri analizinde gelinen noktada bir bilgisayar programlama dilini bilmek 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/products/services/idl.aspx>

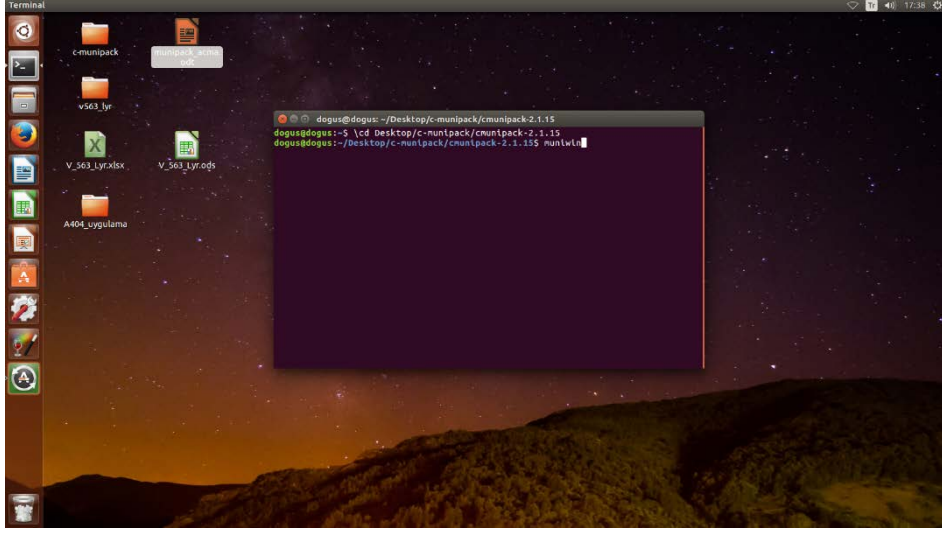
⁶ <http://www.python.org/>

C_Munipack Programı

C-Munipack programı C/C++ dillerinde yazılmış olup farklı işletim sistemlerinde ve platformlarda kullanılabilen bir astrofotometri yazılım programıdır. CCD veya DSLR (Digital Single Reflex Camera veya Dijital Lensi Değiştirilebilir Makina) fotoğraf makinalarıyla yapılmış değişen yıldız gözlemlerinin ve Güneş sistemi dışındaki veya içindeki gezegen gözlemlerinin indirgenmesi için oldukça idealdir. Basit bir kullanıcı arayüzüne sahip olması nedeniyle kullanımı oldukça kolaydır ve bu arayüz sayesinde indirgeme sürecindeki her bir aşama ayrı ayrı yürütülebilmektedir. C-Munipack programına <https://sourceforge.net/projects/c-munipack/files/?source=navbar> adresinden ulaşılabilmektedir. Programın genel özellikleri kısaca sıralanacak olursa;

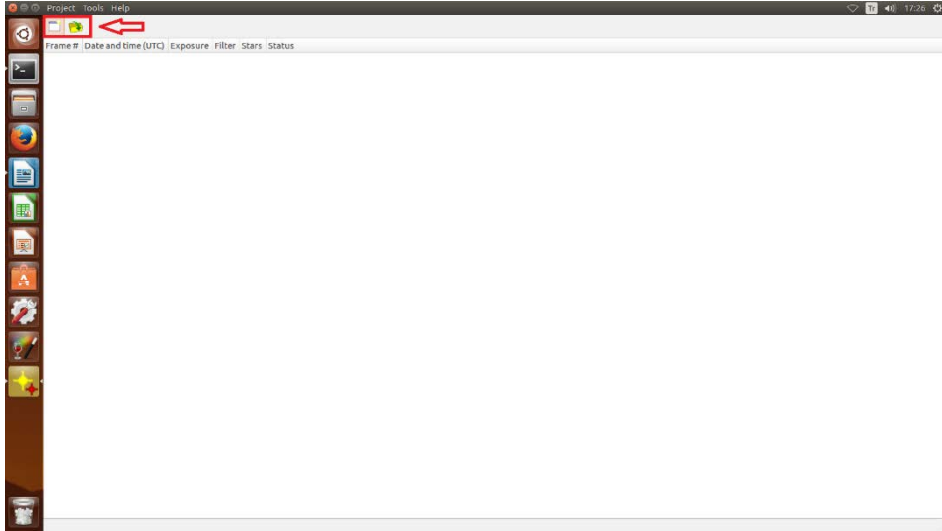
- Basit, anlaşılması ve kullanması kolay grafiksel bir kullanıcı arayüzünün olması,
- Açıklık fotometrisi yardımıyla CCD karelerini indirgeyebilmesi,
- DSLR kameraları tarafından üretilen RAW formatlı (çekilen görüntüdeki her bir veriyi kaydeden dolayısıyla veri kaybına ve görüntü kalitesinin bozulmasına sebebiyet vermeyen bir dosya formatı) görüntüleri indirgeyebilmesi,
- Verilen bir dizi görüntüdeki yeni ve bilinmeyen değişen yıldızları yarı otomatik olarak tespit edebilmesi,
- Bir dizi dark, bias ve flat görüntüsünü birleştirerek yüksek kaliteli masterbias, masterdark ve masterflat görüntüsüne dönüştürebilmesi,
- Birden fazla mukayese yıldızının verilerini birleştirip bir ortalamasını alarak bir fark fotometrisi (differential photometry) yapabilmesi,
- Basit bir uygulama programlama arayüzü kullanarak çağırılabilen kapsamlı bir fonksiyon setine sahip bir kütüphanesinin olması,
- Işık eğrilerini AAVSO uzantılı bir formatta kaydedebilmesi,
- Güneş sisteminde bulunan küçük cisimlerin fotometrisini yapabilmesi.

C-Munipack Programı Yardımıyla Verilerin İndirgenmesi



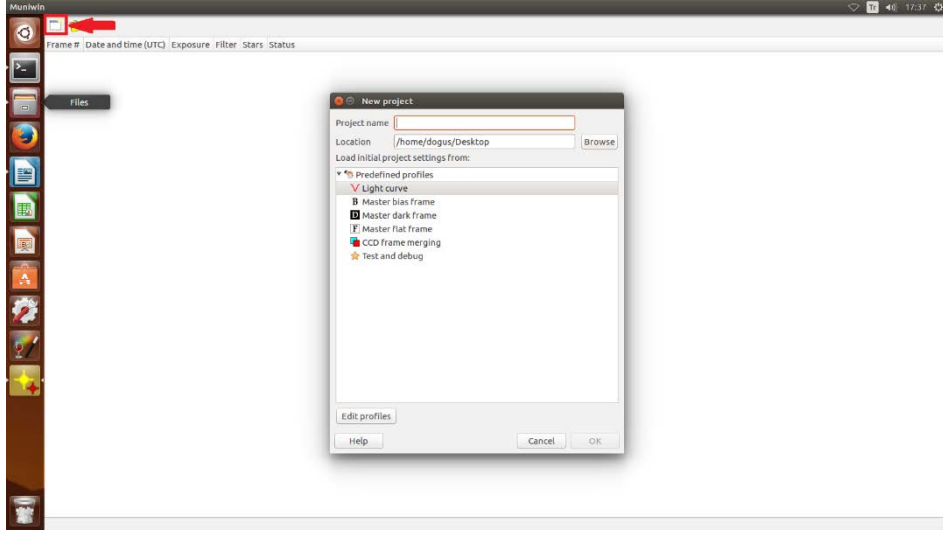
Şekil 1. Linux işletim sistemli bir bilgisayarın terminalinden C-Munipack programına erişim.

1. Windows işletim sistemine sahip bilgisayarlarda .exe dosyası tıklanarak yüklenebilen program, otomatik olarak oluşturulan muniwin ikonuna tıklanarak açılmaktadır. Linux tabanlı bilgisayarlarda ise açılan bir terminal sayfasına, yüklenen programın bulunduğu klasör yolu yazılarak ulaşılabilmektedir (Şekil 1).



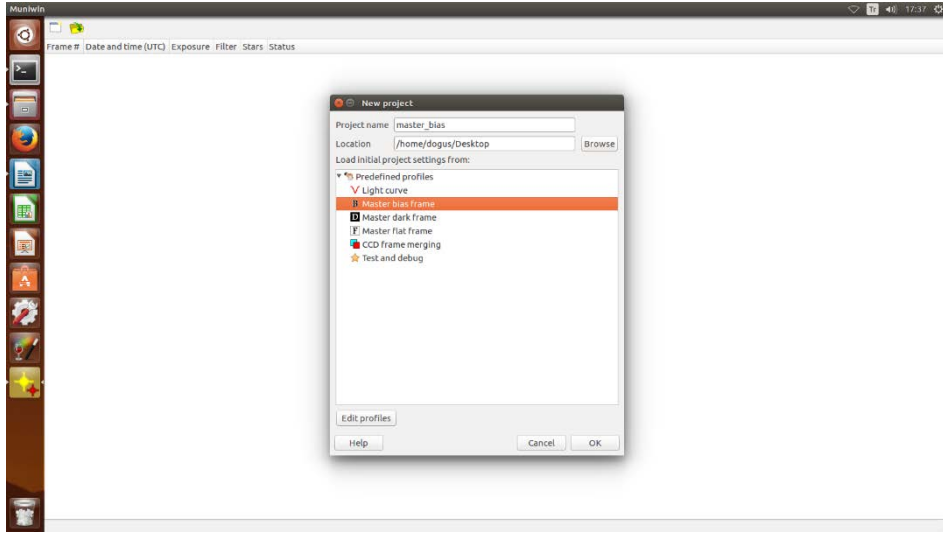
Şekil 2. Muniwin programı arayüzü.

2. Program açıldıktan sonra ekrana gelecek arayüz Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu arayüzde sol üstteki *dosya* ikonundan (kırmızı kutunun içinde) varolan projelere ulaşılabilirken dosya ikonunun yanındaki *arayüz* ikonundan ise yeni projeler yaratılabilmektedir.



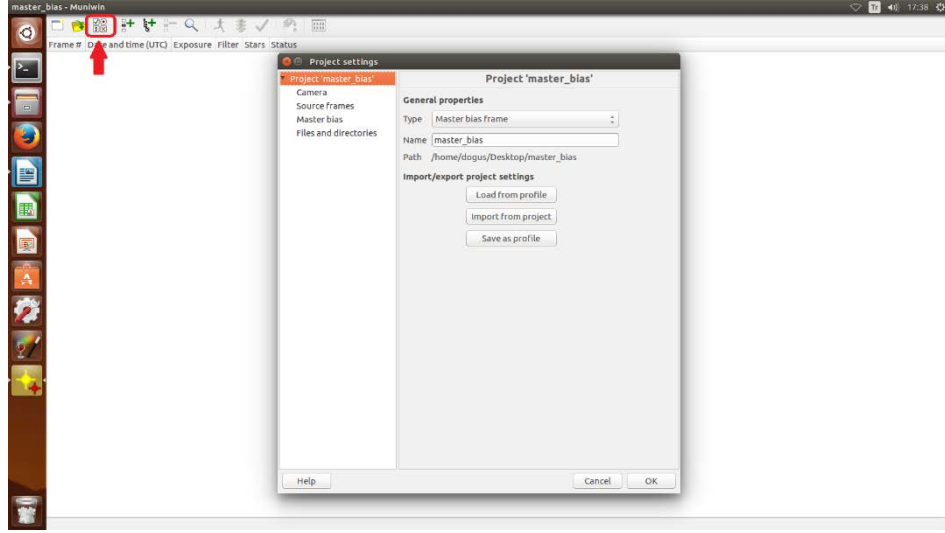
Şekil 3. Muniwin programında arayüz ikonuna tıklanarak yeni proje oluşturma.

3. Master kalibrasyon görüntülerinin elde edilmesi ve yıldız görüntüsünün indirgenmesi için ilk adım, *arayüz* ikonuna tıklatılarak yeni bir proje oluşturulmasıdır (Şekil 3). Masterdark ve masterflat görüntülerini elde edebilmek için masterbias görüntüsüne ihtiyaç duyulmasından dolayı öncelikle bias verilerinin analiz edilmesi gerekmektedir.



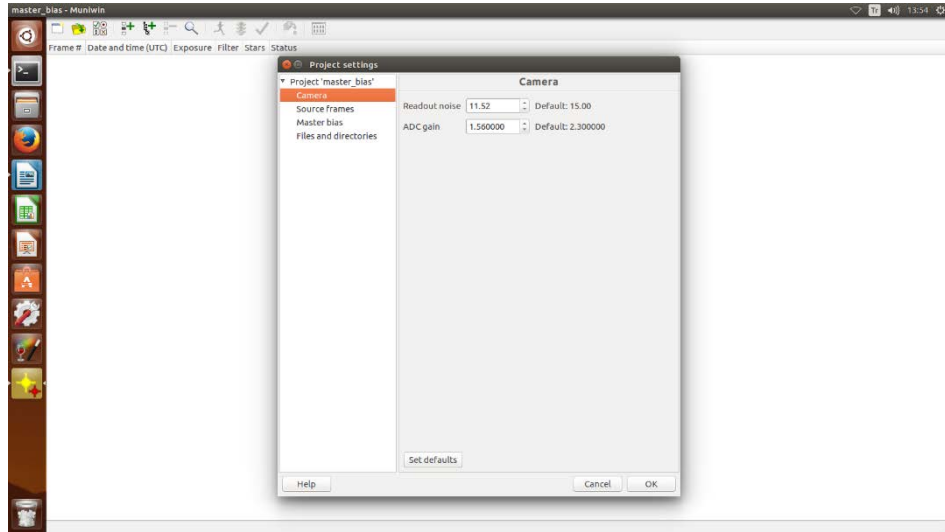
Şekil 4. Masterbias görüntüsü için yeni bir proje oluşturma.

4. Bias verilerini bir araya getirerek masterbias görüntüsü elde etmek için açılan yeni proje arayüzünde öncelikle proje adı yazmak ve böylece görüntünün kaydedileceği dosyayı belirlemek gerekmektedir. Şekil 4'te ki örnekte */home/dogus/Desktop* olarak belirlenen hedefe *master_bias* adında bir dosya oluşturulacak ve görüntü daha sonra bu dosyanın içine kaydedilecektir. Ayrıca masterbias görüntüsü elde edileceği için şekilde turuncu renkle gösterildiği üzere *master bias frame* seçeneği seçilmelidir.



Şekil 5. Masterbias görüntüsünü elde etmek için yaratılan projenin ayarları.

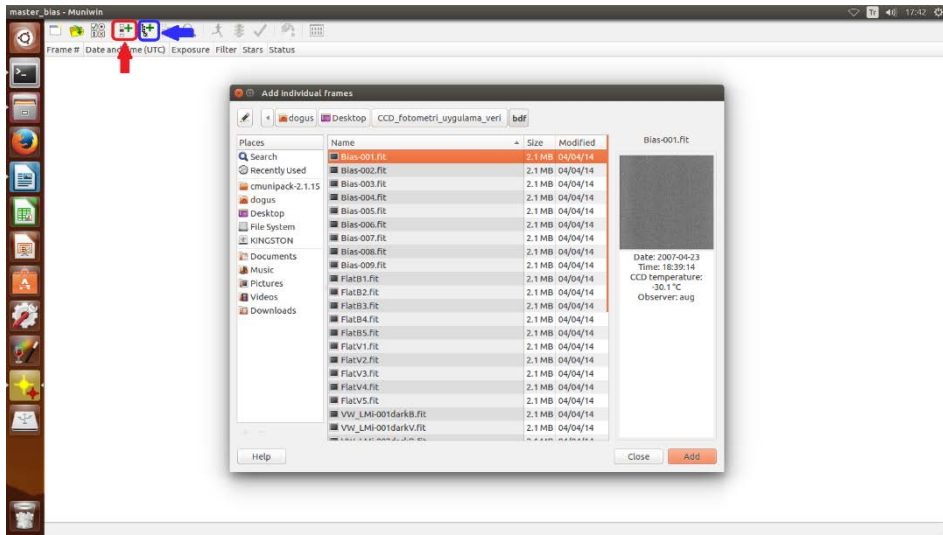
5. Masterbias görüntüsünün elde edileceği proje oluşturulduktan sonra program arayüzünde Şekil 5'te kırmızı ok ile gösterilen ayarlar ikonuna tıklanarak ayarlar bölümü açılmalı ve analiz için gerekli ayarlamalar yapılmalıdır.



Şekil 6. Masterbias projesi için kamera ayarlarının düzeltilmesi.

6. Ayarlar bölümünde masterbias için yapılması gereken tek düzeltme turuncu renk ile gösterilen *camera* kısmındaki *readout noise* (okuma gürültüsü) ve *ADC gain* (Analog to Digital Converter gain ya da Analog Sayısal Dönüştürücü kazancı) ayarlarını değiştirmektir. Okuma gürültüsü, elektriksel bir gerilim üreten fotoelektronların yükseltilmesi ve dönüştürülmesi sürecinden ortaya çıkan gürültü kaynaklarının bir birleşimidir. Bu değer T35 teleskobu için pixel başına 11.52 elektrondur (Şekil 6).

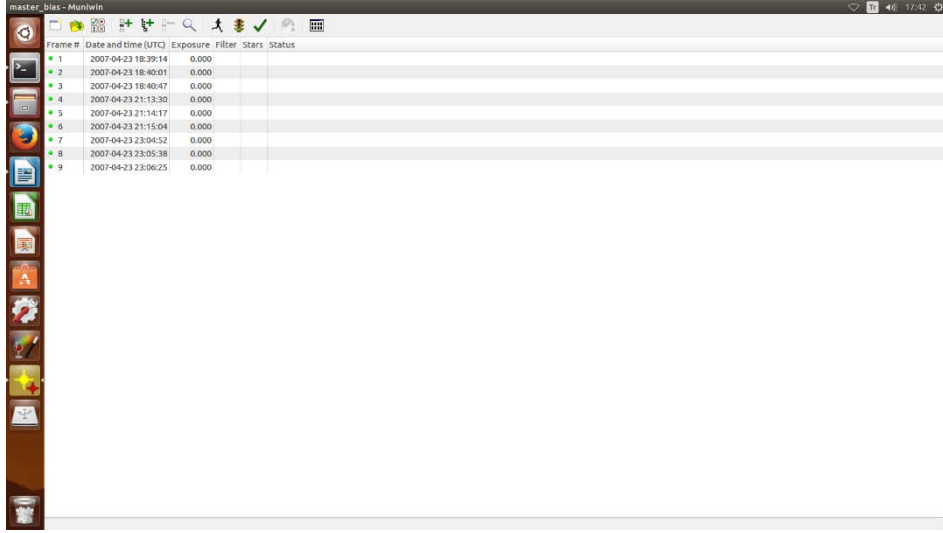
Analog sayım yalnızca 0 ve 1 gibi iki değeri değil, bir minimum ve bir maksimum arasında geniş bir yelpazede değişen sayımları ifade etmektedir. Dış dünya daha çok analog değerlerden oluşurken, bilgi işleyen cihazlar dijital değerler kullanmaktadır. Bu cihazlarda, dış dünyadaki sıcaklık, basınç gibi değerler algılayıcı ve çeviriciler yardımıyla elektrik gerilimine çevirilirler ki bunlar analog gerilimlerdir. Daha sonra bu gerilim Analog-Dijital Çevirici kullanılarak dijital bir sayıya dönüştürülmektedir¹. Bu durumu astronomiye uyarlayacak olursak, elde edilen foton sayısının analog bir değer olduğunu söylemek yanlış olmaz. Bu fotonların CCD üzerine düşmesiyle ortaya çıkan elektronların yarattığı gerilim ise ADC yardımıyla dijital bir sayıya dönüştürülmektedir. Bu dönüşüm için ADC belirli sayıda elektrona gereksinim duymaktadır. Bu değer, T35 teleskobu için 1.52 elektrondur (Şekil 6).



Şekil 7. Bias dosyalarının açılan arayüzde seçilmesi ve arayüze aktarılması.

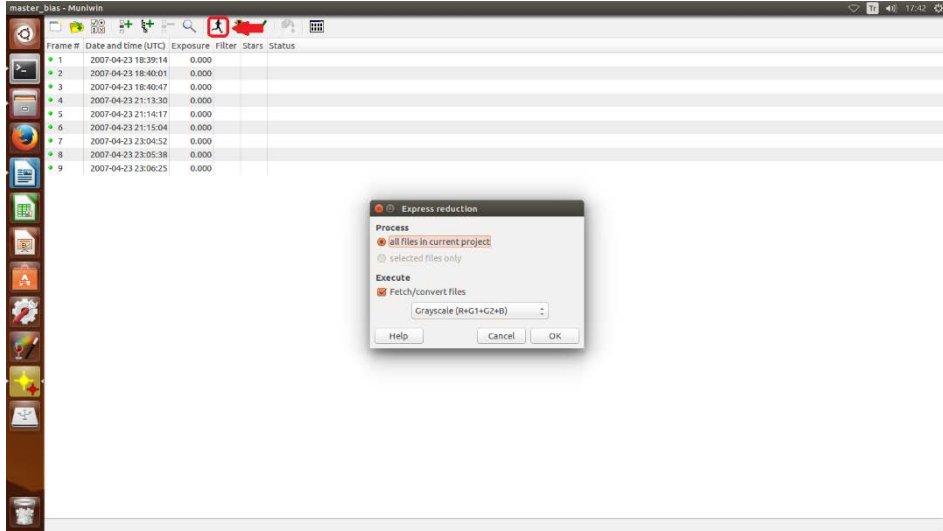
7. Kamera ayarları düzeltildikten sonra bias dosyalarının yüklenmesi aşamasına geçilebilir. Bias dosyalarını yüklemek için Şekil 7'de kırmızı ve mavi kutucuklar ile gösterilen ikonlardan biri tıklanmalıdır. Bu ikonlardan kırmızı ile belirlenmiş olan ikon tıklandığında belirli bir klasörde bulunan bias görüntülerinin tamamı seçilebilirken, şekilde mavi ile işaretlenmiş ikon tıklatıldığında ise farklı klasörler içindeki farklı bias görüntüleri seçilerek bir proje altında toplanabilmektedir. Şekildeki örnekte kırmızı ile gösterilen ikon tıklanarak *add individual frames* (bireysel görüntüleri ekle) arayüzü açılmış ve burada bias görüntülerinin bulunduğu */home/dogus/Desktop/CCD_fotometri_uygulama_veri/bdf* dosyası seçilmiştir. Buradaki tüm bias görüntüleri işaretlenerek *add* (ekle) tuşuna basılır ve bu arayüz kapatılarak bias görüntüleri ana arayüze aktarılır.

¹ [www.feteknik.com/FileUpload/bs322184/File/analog_dijital_cevirici_\(tez\).pdf](http://www.feteknik.com/FileUpload/bs322184/File/analog_dijital_cevirici_(tez).pdf)



Şekil 8. Ana arayüze aktarılan bias görüntüleri.

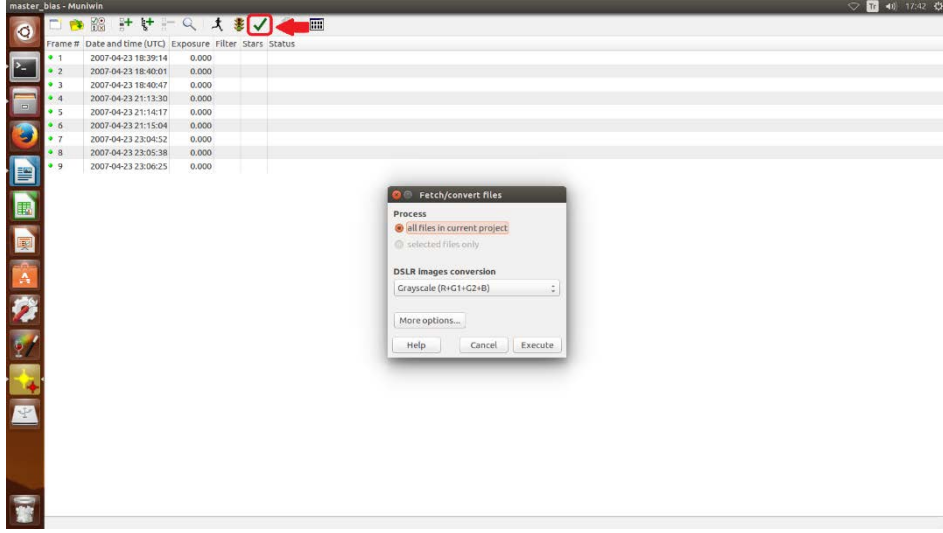
8. Şekil 8’de ana arayüze aktarılan bias görüntüleri gösterilmektedir. Bundan sonraki aşamada masterbias görüntüsünün elde edilmesinden önce, eklenen bu görüntülerin munipack programının kullanabileceği bir formata dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için takip edilebilecek iki yol vardır.



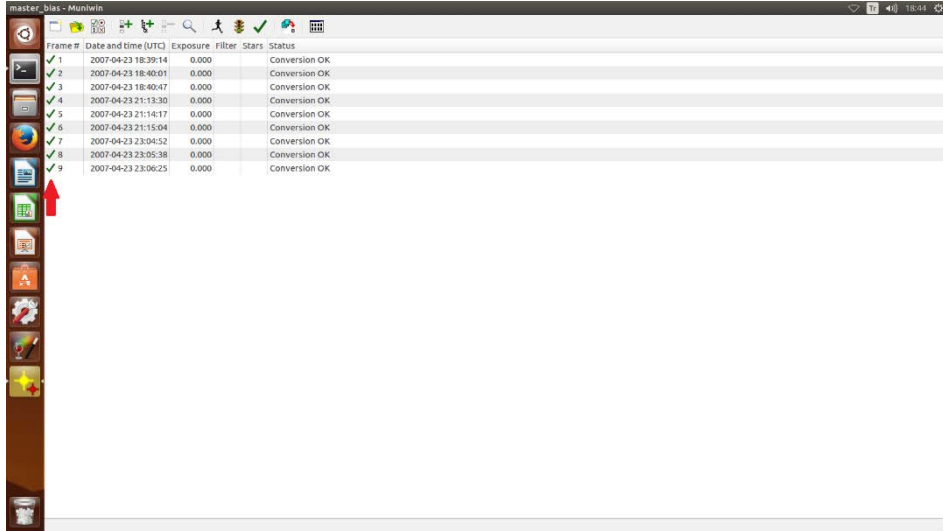
Şekil 9. *Express reduction* (hızlı indirgeme) yardımıyla görüntüleri dönüştürme.

9. Bu yollardan birincisi, dönüşümün Şekil 9’da kırmızı kare ile çerçelenmiş *express reduction* (hızlı indirgeme) ikonu yardımıyla yapılmasıdır. Adından da anlaşılacağı üzere tüm indirgeme için gerekli olan adımları içinde barındıran bir seçenektir (masterflat, masterdark ve yıldız görüntüleri elde edilirken bu adımların neler olduğu daha iyi anlaşılacaktır). Bu ikona tıklatıldığında açılan arayüzde *process* (işlem) bölümünde, ana arayüzdeki tüm bias görüntüleri indirgenebildiği gibi bu görüntüler içinden yalnızca seçilmiş olanlar da indirgenebilmektedir. *Execute* (uygula) bölümünde ise görüntülere

uygulanacak renk dönüşümleri tercih edilebilmektedir. Analizler için Grayscale (R+G1+G2+B) yani gri tonlamalı seçeneği seçilmiş olmalıdır. Daha sonra *OK* tuşuna basılarak arayüzden çıkılır.



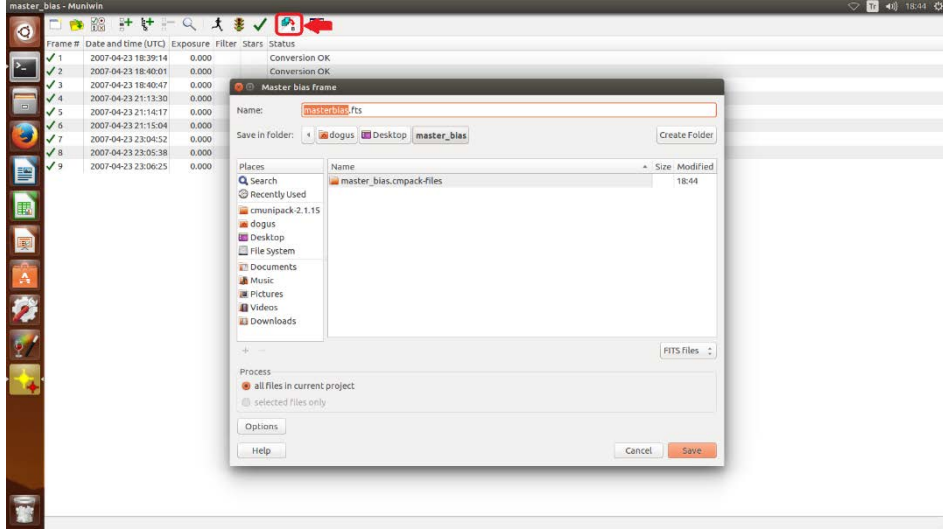
Şekil 10. a- *Convert input files to working format* (girilen dosyaların çalışır bir formata dönüştürülmesi) seçeneği yardımıyla görüntüleri dönüştürme.



b- Dönüştürme işlemi tamamlanmış olan bias görüntüleri.

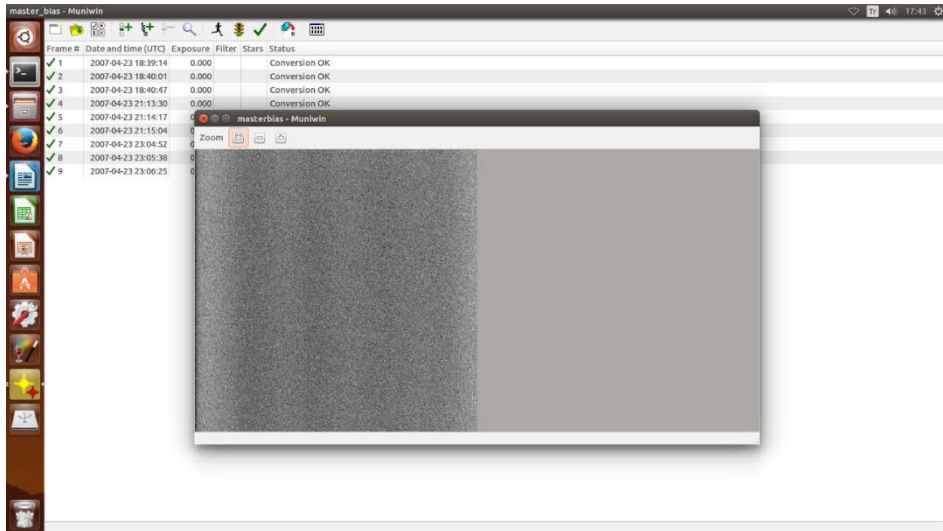
10. Bu yol dışında, görüntüler Şekil 10a'da kırmızı çerçeveyle gösterilen *Convert input files to working format* (girilen dosyaların çalışır bir formata dönüştürülmesi) ikonu yardımıyla da dönüştürülebilmektedirler. Bu ikona tıklanarak açılan arayüzde yapılacak ayarlamalar Madde 9'da anlatılmıştır. Bu arayüzde Madde 9'dan farklı olarak *more options* seçeneği mevcuttur ve Madde 6'da anlatılan kamera ayarlarının bulunduğu arayüze geçiş yapılmasını sağlamaktadır. Son olarak *execute* (uygula) butonuna basılarak bu arayüz kapatılır. Görüntülerin solundaki yeşil noktalar dönüştürme

işlemi tamamlandıktan sonra Şekil 10b’de gösterildiği üzere yeşil tik işaretlerine dönüşürler. Bu işaretler işlemin başarıyla yapıldığını göstermektedir.



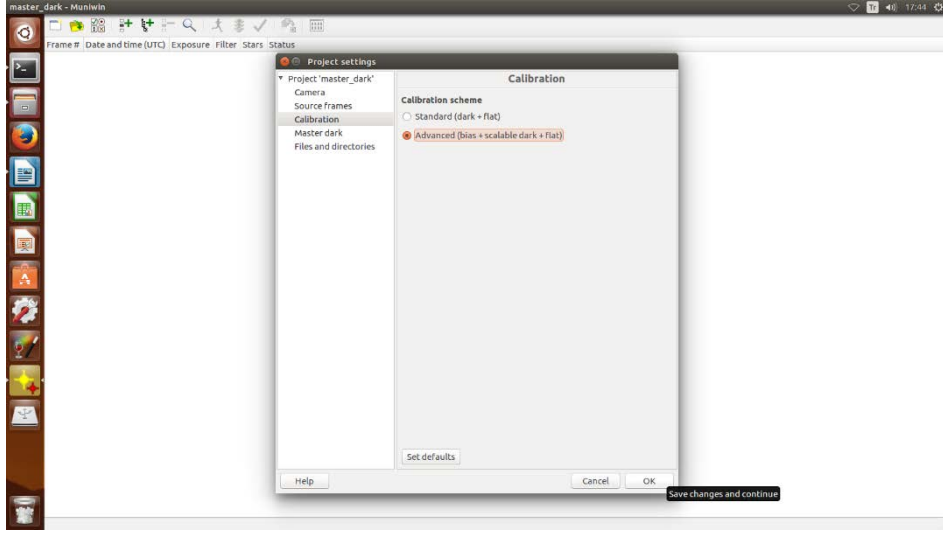
Şekil 11. Masterbias görüntüsünün elde edilmesi ve kaydedilmesi.

11. Görüntüler uygun formata dönüştürüldükten sonra arayüzde *make masterbias frame* (masterbias görüntüsünün yapılması) ikonu aktif hale gelmektedir (kırmızı çerçeve, Şekil 11). Bu ikona tıkkatıldığında masterbias görüntüsünü isimlendirmek ve kaydedileceği dosyayı seçmek için bir arayüz açılmaktadır. Şekil 11’deki örnekte görüntünün adı *masterbias* olarak verilmiştir. Oluşturulan görüntü ise Madde 4’te yaratılan dosya */home/dogus/Desktop/master_bias* klasörünün içine kaydedilecektir.



Şekil 12. Elde edilen masterbias görüntüsü.

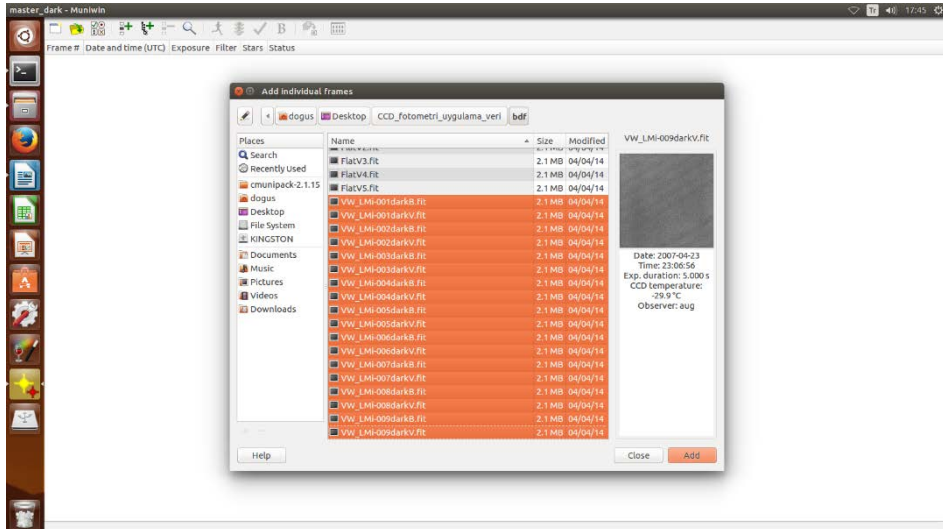
12. Masterbias görüntüsünün ismi ve kaydedileceği yer belirlendikten sonra kaydet butonuna basıldığında masterbias görüntüsü otomatik olarak ekrana gelmektedir (Şekil 12).



Şekil 13. Masterdark görüntüsünü elde edebilmek için yapılması gereken kalibrasyon ayarı.

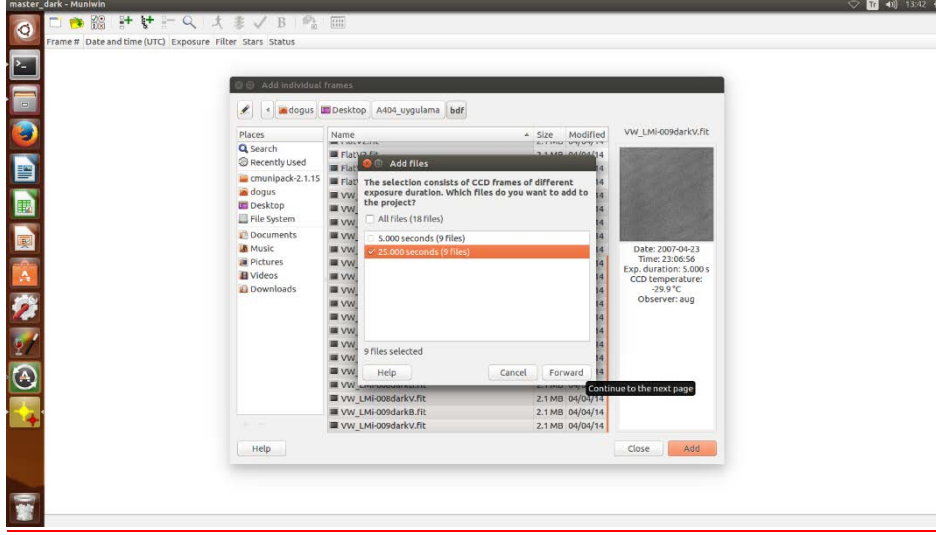
13. Masterbias görüntüsünün elde edilmesinden sonraki adımda masterdark görüntüsü oluşturulmaktadır. Bunun için ise Madde 3'te anlatıldığı üzere tekrar yeni bir proje oluşturulur. Açılan arayüzde Madde 4'te anlatıldığına benzer şekilde *master dark frame* seçeneği işaretlenmelidir. Projenin kaydedileceği dosyanın adı bu örnekte *master_dark* olarak verilmiştir. Son olarak, *OK* tuşuna basılarak yeni proje oluşturulur ve arayüz kapatılır.

Masterdark görüntüsünü oluşturmak için yaratılan yeni projede ilk olarak Şekil 5'te gösterilen ayarlar ikonuna tıklanarak ayarlar bölümü açılır ve analiz için gerekli ayarlamalar yapılır. Kamera ayarları Şekil 6'da verildiği gibi okuma gürültüsü 1.52 ve ADC kazancı 1.56 olacak şekilde düzenlenir. Daha sonrasında *calibration* (kalibrasyon) seçeneğine geçilir (Şekil 13). Burada *advanced (bias+scalable dark+flat)* seçeneği şekilde turuncuyla gösterildiği gibi işaretlenir. Buradaki amaç dark görüntüsünün bias etkilerinden arındırılmasıdır.



Şekil 14. Dark görüntülerinin açılan arayüzde seçilmesi ve ana arayüze aktarılması

14. Dark görüntülerinin yüklenmesi iki adımdan oluşmaktadır. İlk adımda bias görüntülerinde yapıldığı gibi Şekil 7’de kırmızı ile gösterilen ikon tıklanarak *add individual frames* (bireysel görüntüleri ekle) arayüzü açılır. Burada dark görüntülerinin bulunduğu hedef klasöre gidilerek tüm dark görüntüleri işaretlenir ve *add* (ekle) tuşuna basılır. Şekil 14’te verilen örnekte dark görüntüleri */home/dogus/Desktop/CCD_fotometri_uygulama_veri/bdf* klasörünün içinde bulunmaktadır.

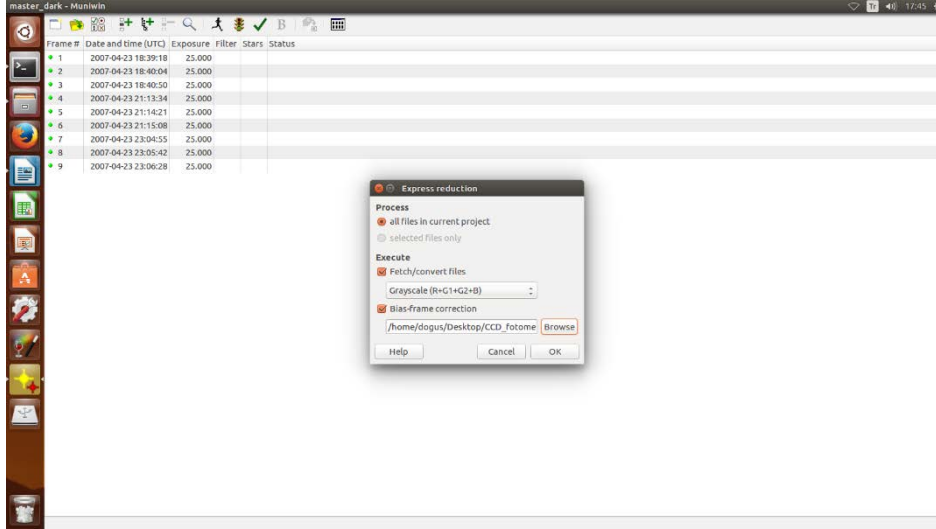


Şekil 15. Yıldız görüntüsünün alındığı poz süresine uygun dark görüntülerinin seçimi.

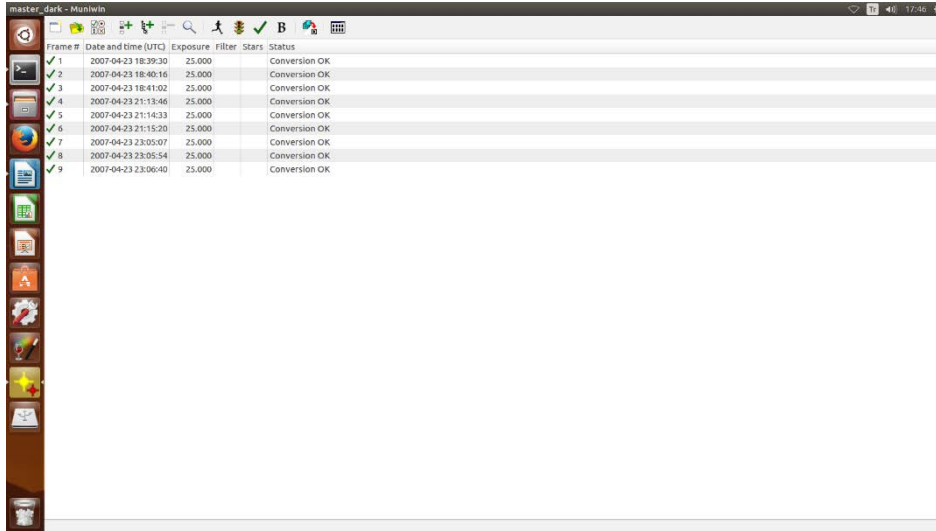
15. Bir yıldızın görüntüsünü elde edebilmek için gerekli olan poz süresi, kullanılan filtreye göre farklılık göstermektedir. Farklı poz süreleri ile alınan görüntülerde oluşan gürültüleri ortadan kaldırmak için yıldız görüntüsüyle aynı poz sürelerinde alınmış dark görüntülerine ihtiyaç vardır. Bu nedenle, Madde 14’te bahsi geçen hedef klasörde farklı sürelerde alınmış dark görüntüleri bulunabilir. Şekil 15’te ekle butonuna basıldıktan sonra dark görüntülerini poz sürelerine göre otomatik olarak gruplayan bir arayüzün açıldığı görülmektedir. Dark görüntülerinin yüklenmesi için gerekli olan ikinci adımda, hangi poz süresiyle alınan yıldız görüntüsü indirgenecekse o poz süresinde alınmış dark görüntüleri seçilir ve *forward* (ileri) butonuna basılarak görüntüler ana arayüze aktarılır. Şekil 15’teki örnekte 25 saniyelik dark görüntüleri seçilmiştir. Bununla birlikte, Şekil 14’te gösterildiği üzere açılan hedef klasörde 25 saniyelik dark görüntüleri (darkB.fit dosyaları) teker teker işaretlenerek te seçilebilir ve ana arayüze aktarılabilir.

16. Daha sonraki adımda, Madde 8’de anlatıldığı gibi dark görüntüleri programın kullanabileceği uygun bir formata dönüştürülür. Şekil 9’da kırmızı kare ile çerçevesiz *express reduction* (hızlı indirgeme) ikonu yardımıyla masterdark görüntüsünü oluşturmak için gerekli olan tüm adımlar tek seferde yapılabilir. Yalnız, bu ikona tıklatıldığında açılan arayüzün *execute* (uygula) bölümü masterbias için kullanılan arayüzden farklıdır (Şekil 16). Burada, grayscale (R+G1+G2+B) seçeneğinin yanı sıra bias

düzeltilmesinin yapılmasına imkan veren *bias frame correction* (bias görüntü düzeltmesi) seçeneği de verilmektedir. Bu seçenek işaretlendikten sonra *browse* butonu tıklanarak masterbias görüntüsünün katedildiği dosya yolu seçilir (genellikle otomatik olarak bu dosya yolu görünür). Daha sonra *OK* tuşuna basılarak işlem tamamlanır. Bu işlemin sonucu olarak ana arayüzde Şekil 18’de mavi ok ile gösterildiği gibi bias düzeltmelerinin başarıyla yapıldığına işaret eden “B” harfi görünür.



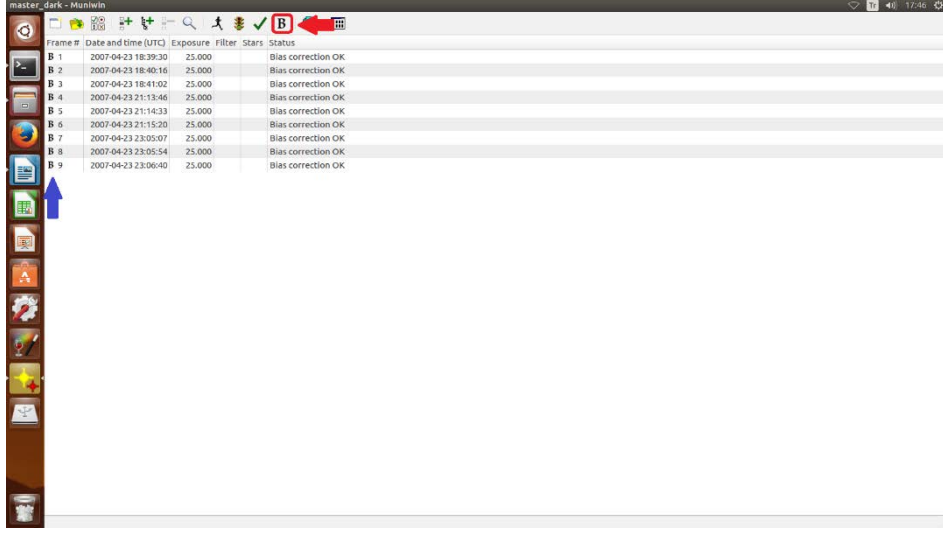
Şekil 16. Arayüze aktarılan dark görüntüleri ve bu görüntülerin tek seferde indirgenmesi.



Şekil 17. Dark görüntülerinin *convert input files to working format* seçeneği ile uygun formata dönüştürülmesi.

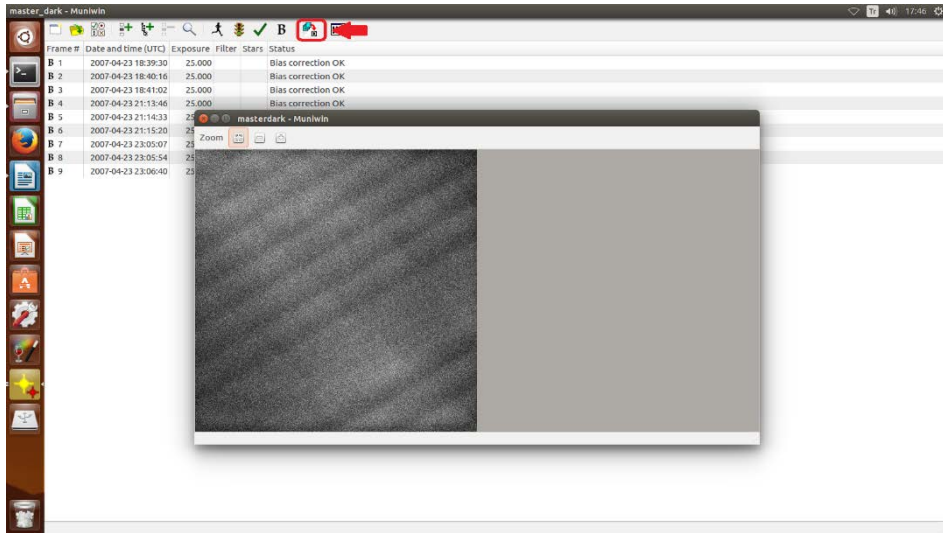
17. Bununla birlikte, görüntülerin uygun formata dönüştürülmesi ve bias düzeltmeleri Madde 10’da anlatıldığı gibi adım adım da yapılabilmektedir. Şekil 10a’da kırmızı çerçeveye gösterilen *Convert input files to working format* (girilen dosyaların çalışır bir formata dönüştürülmesi) ikonu yardımıyla görüntüler uygun bir formata dönüştürülebilmektedirler. Görüntülerin solundaki yeşil noktalar

dönüştürme işlemi tamamlandıktan sonra Şekil 17’de gösterildiği üzere yeşil tik işaretlerine dönüşürler. Bu işaretler işlemin başarıyla yapıldığını göstermektedir.



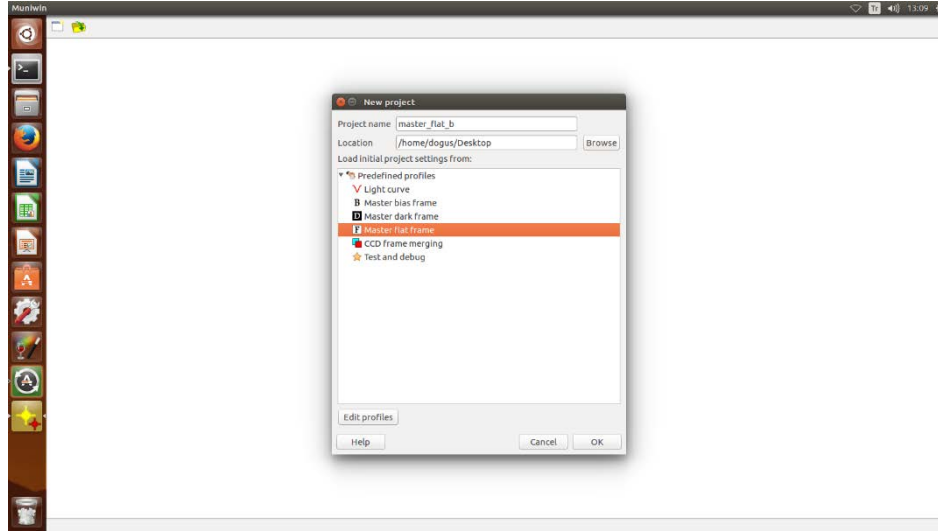
Şekil 18. Dark görüntülerine bias düzeltmesinin yapılması.

18. Madde 13’te anlatılan proje ayarlarında *calibration* (kalibrasyon) seçeneğinin *advanced (bias+scalable dark+flat)* olarak işaretlenmesi arayüzde bias düzeltmesi yapılmasına olanak sağlayan ve kırmızı çerçeve ile işaretlenmiş olan “B” ikonunun aktif hale gelmesini sağlamaktadır. Bu ikona basılarak uygun formata dönüştürülen görüntüye bias düzeltmesi uygulanmaktadır. İşlem tamamlandığında görüntülerin sol tarafındaki tik işaretleri “B” harfine dönüşmektedir (Şekil 18).



Şekil 19. Elde edilen masterdark görüntüsü.

19. Görüntülerde bias düzelmesi yapıldıktan sonra arayüzde *make masterdark frame* (masterdark görüntüsü yap) ikonu aktif hale gelmektedir (kırmızı çerçeve, Şekil 19). Madde 11’de anlatıldığı üzere, bu ikona tıklatıldığında masterdark görüntüsünü isimlendirmek ve kaydedileceği dosyayı seçmek için bir arayüz açılmaktadır. Örnekte görüntünün adı *masterdark* olarak verilmiştir. Oluşturulan görüntü ise Madde 13’te yaratılan dosya */home/dogus/Desktop/master_dark* klasörünün içine kaydedilecektir. Masterdark görüntüsünün ismi ve kaydedileceği yer belirlendikten sonra kaydet butonuna basıldığında masterdark görüntüsü otomatik olarak ekrana gelmektedir (Şekil 19).

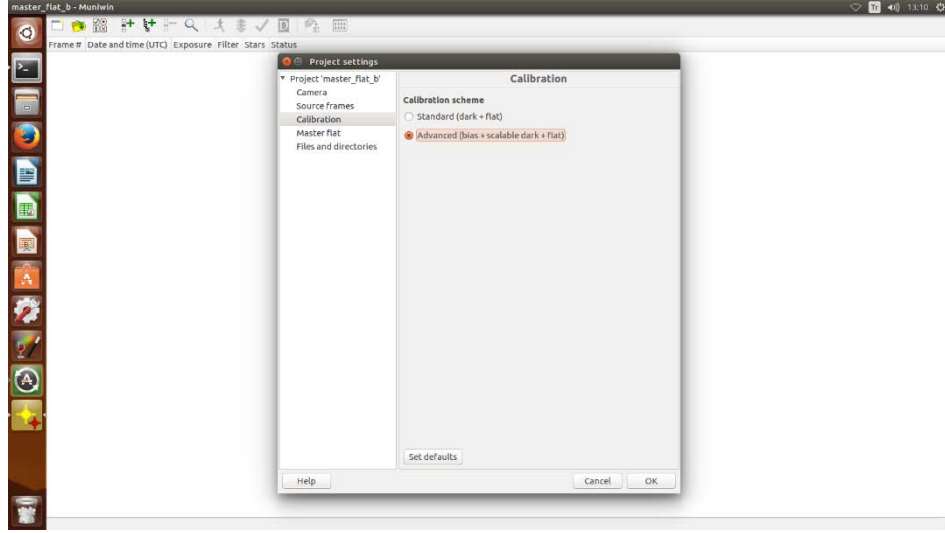


Şekil 20. Muniwin programında arayüz ikonuna tıklanarak masterflat için yeni proje oluşturma.

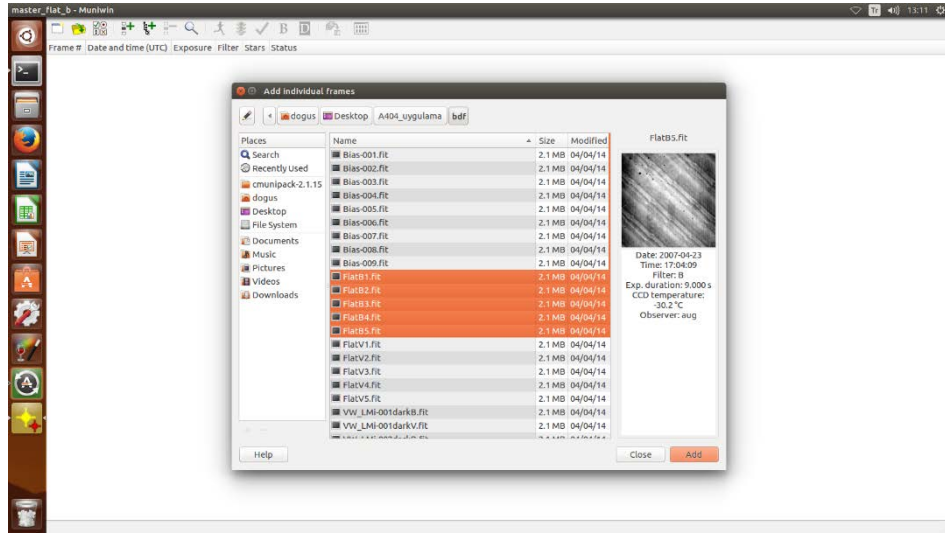
20. Masterdark görüntüsünün elde edilmesinden sonraki adımda masterflat görüntüsü oluşturulmaktadır. Bunun için ise Madde 3’te anlatıldığı üzere tekrar yeni bir proje oluşturulur. Açılan arayüzde Şekil 4’tekine benzer şekilde *master flat frame* seçeneği işaretlenmelidir.

Bilindiği üzere, flat görüntülerinin hedef yıldızın gözleneceği filtrelerde alınması gerekmektedir. Bu nedenle birden fazla filtrede alınmış flat görüntüsüyle uğraşılması gerekebilir. Dolayısıyla her bir filtre için ayrı bir flat projesi oluşturulmalıdır. Bu projede B filtresine ait flat görüntüleri kullanıldığı için projenin kaydedileceği dosyanın adı *master_flat_b* olarak verilmiştir. Son olarak, *OK* tuşuna basılarak yeni proje oluşturulur ve arayüz kapatılır.

21. Masterflat görüntüsünü oluşturmak için yaratılan yeni projede ilk olarak Şekil 5’te gösterilen ayarlar ikonuna tıklanarak ayarlar bölümü açılır ve analiz için gerekli ayarlamalar yapılır. Kamera ayarları Şekil 6’da verildiği gibi okuma gürültüsü 11.52 ve ADC kazancı 1.56 olacak şekilde düzenlenir. Daha sonrasında *calibration* (kalibrasyon) seçeneğine geçilir (Şekil 21). Burada *advanced (bias+scalable dark+flat)* seçeneği şekilde turuncuyla gösterildiği gibi işaretlenir. Buradaki amaç flat görüntülerinin hem dark hem de bias etkilerinden arındırılmasıdır.

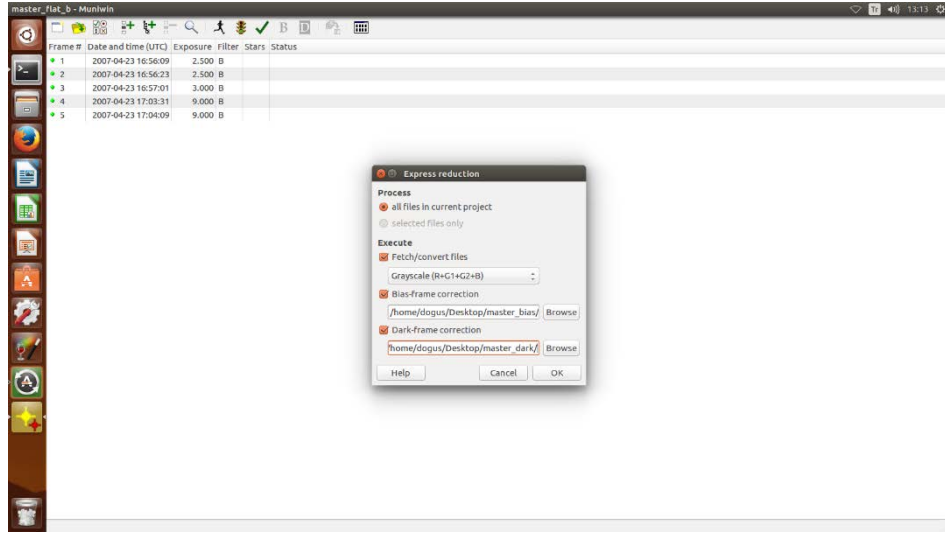


Şekil 21. Masterflat görüntüsünü elde edebilmek için yapılması gereken kalibrasyon ayarı.



Şekil 22. Flat görüntülerinin açılan arayüzde seçilmesi ve ana arayüze aktarılması.

22. Flat görüntülerinin yüklenmesi Madde 14 ve 15'te anlatıldığı gibi iki basamaklı olarak yapılabilir. Ancak zamandan kazanmak için farklı bir yol daha tercih edilebilir. Bunun için öncelikle bias ve dark görüntülerinde yapıldığı gibi Şekil 7'de kırmızı çerçeve ile gösterilen ikon tıklanarak *add individual frames* (bireysel görüntüleri ekle) arayüzü açılır. Burada flat görüntülerinin bulunduğu hedef klasöre gidilerek bilgisayarın *CTRL* tuşu yardımıyla yalnızca B filtresinde alınmış flat görüntüleri seçilir ve *add* (ekle) tuşuna basılır. Böylelikle yalnızca seçili görüntüler ana arayüze aktarılmış olur. Şekil 22'te gösterildiği üzere B filtresindeki flat görüntüleri */home/dogus/Desktop/CCD_fotometri_uygulama_veri/bdf* klasörünün içinde bulunmaktadır.

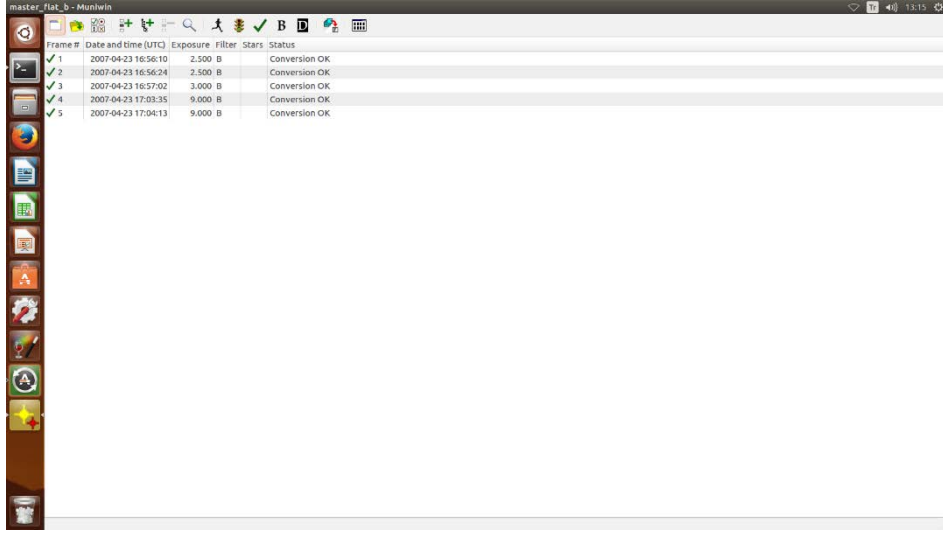


Şekil 23. Arayüze aktarılan flat görüntüleri ve bu görüntülerin tek seferde indirgenmesi.

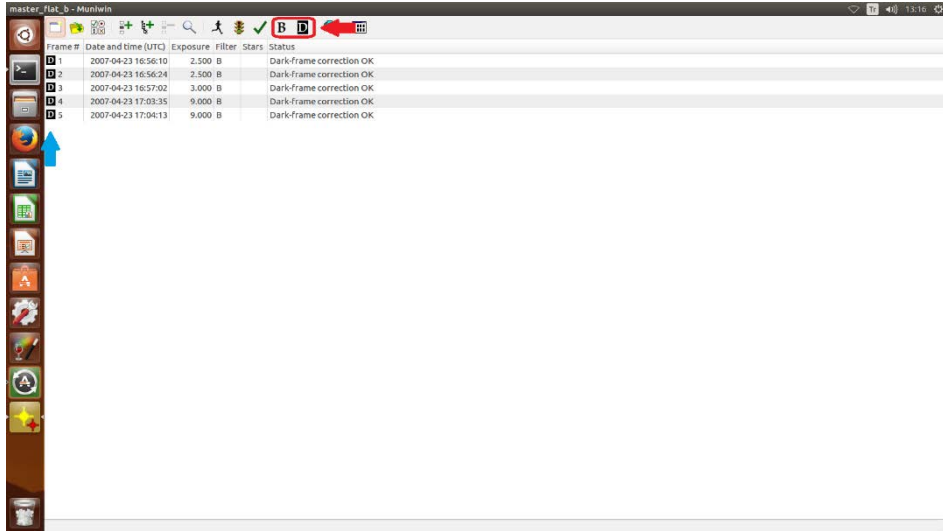
23. Daha sonraki adımda, Madde 8’de anlatıldığı gibi flat görüntüleri programın kullanabileceği uygun bir formata dönüştürülür. Şekil 9’da kırmızı kare ile çerçevelenmiş *express reduction* (hızlı indirgeme) ikonu yardımıyla masterflat görüntüsünü oluşturmak için gerekli olan tüm adımlar tek seferde yapılabilir. Yalnız, bu ikona tıklatıldığında açılan arayüzün *execute* (uygula) bölümü masterbias ve masterdark için kullanılan arayüzden farklıdır (Şekil 23).

Burada, grayscale (R+G1+G2+B) seçeneğinin yanı sıra bias düzeltmesinin yapılmasına imkan veren *bias frame correction* (bias görüntü düzeltmesi) seçeneği ve dark düzeltmesinin yapılmasına imkan veren *dark frame correction* (dark görüntü düzeltmesi) seçeneği verilmektedir. Bu seçenekler işaretlendikten sonra *browse* butonlarına tıklatılarak masterbias ve masterdark görüntülerinin kaydedildiği dosya yolları seçilir (genellikle otomatik olarak bu dosya yolları görünür). Daha sonra *OK* tuşuna basılarak işlem tamamlanır. Bu işlemin sonucu olarak ana arayüzde Şekil 25’de mavi ok ile gösterildiği gibi önce bias ve sonrasında ise dark düzeltmelerinin başarıyla yapıldığına işaret eden “D” harfi görünür.

24. Bununla birlikte, görüntülerin uygun formata dönüştürülmesi ile bias ve dark düzeltmeleri Madde 10’da anlatıldığı gibi adım adım da yapılabilmektedir. Şekil 10a’da kırmızı çerçeveye gösterilen *Convert input files to working format* (girilen dosyaların çalışır bir formata dönüştürülmesi) ikonu yardımıyla görüntüler uygun bir formata dönüştürülebilmektedirler. Görüntülerin solundaki yeşil noktalar dönüştürme işlemi tamamlandıktan sonra Şekil 24’te gösterildiği üzere yeşil tik işaretlerine dönüşürler. Bu işaretler işlemin başarıyla yapıldığını göstermektedir.

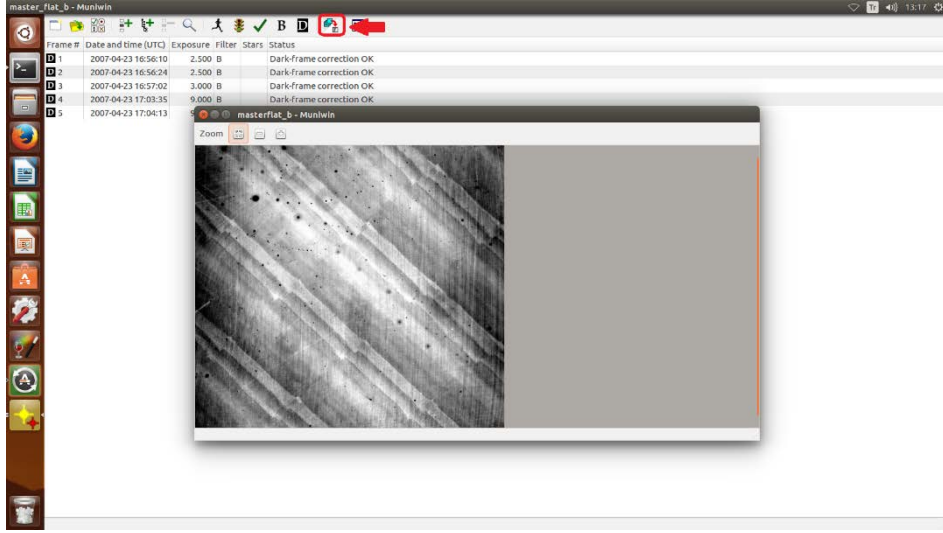


Şekil 24. Flat görüntülerinin *convert input files to working format* seçeneği ile uygun formata dönüştürülmesi.



Şekil 25. Flat görüntülerine bias ve dark düzeltmelerinin yapılması.

25. Madde 13'te anlatılan proje ayarlarında *calibration* (kalibrasyon) seçeneğinin *advanced (bias+scalable dark+flat)* olarak işaretlenmesi arayüzde bias ve dark düzeltmelerinin yapılmasına olanak sağlayan ve Şekil 25'te kırmızı çerçeve ile işaretlenmiş olan "B" ve "D" ikonlarının aktif hale gelmesini sağlamaktadır. Öncelikle "B" ikonuna basılarak görüntülere bias düzeltmesi uygulanmaktadır. İşlem tamamlandığında Şekil 18'de gösterildiği gibi görüntülerin sol tarafındaki tik işaretleri "B" harfine dönüşmektedir. Daha sonra bu görüntülere dark düzeltmesi yapılması gerekmektedir. Bunu yapabilmek için ise "D" ikonuna basılır. İşlem tamamlandığında Şekil 25'te mavi ok ile gösterildiği gibi görüntülerin sol tarafındaki "B" harfleri "D" harfine dönüşür.

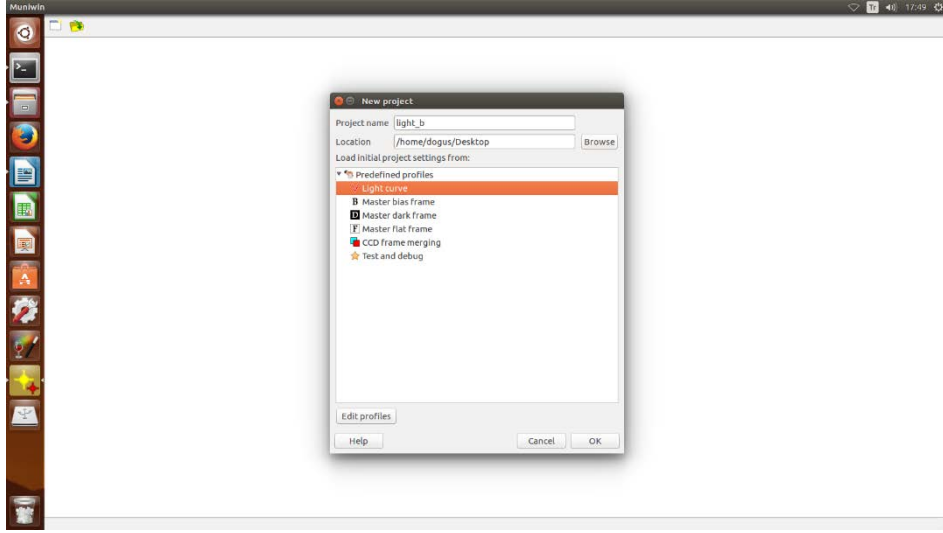


Şekil 26. Elde edilen masterflat görüntüsü.

26. Görüntülerde bias ve dark düzelmesi yapıldıktan sonra arayüzde *make masterflat frame* (masterflat görüntüsü yap) ikonu aktif hale gelmektedir (kırmızı çerçeve, Şekil 26). Madde 11’de anlatıldığı üzere, bu ikona tıklatıldığında masterflat görüntüsünü isimlendirmek ve kaydedileceği dosyayı seçmek için bir arayüz açılmaktadır. Örnekte görüntünün adı *masterflat_b* olarak verilmiştir. Oluşturulan görüntü ise Madde 20’de yaratılan dosya */home/dogus/Desktop/master_flat_b* klasörünün içine kaydedilecektir. Masterflat görüntüsünün ismi ve kaydedileceği yer belirlendikten sonra kaydet butonuna basıldığında masterflat görüntüsü otomatik olarak ekrana gelmektedir (Şekil 26).

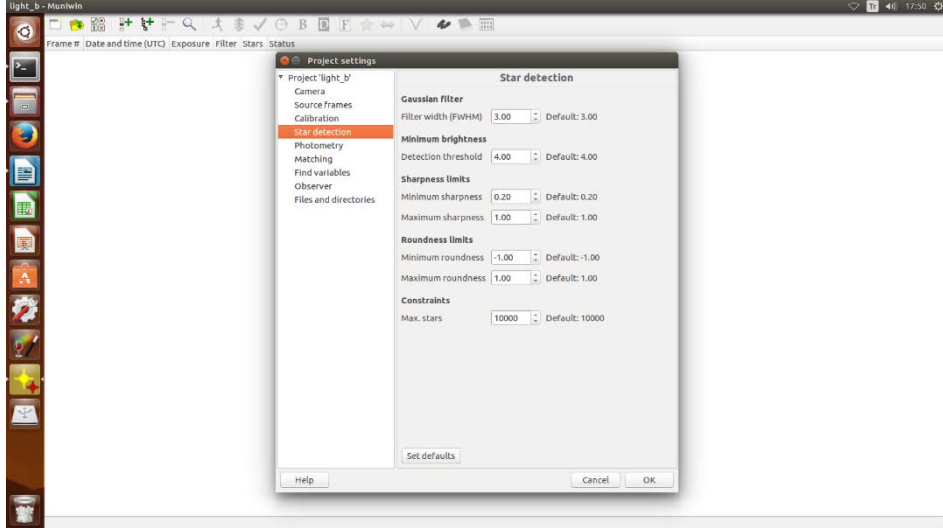
CCD ile alınan bir veriyi bilimsel platformda kullanabilmek için taban gürültüsü veya okuma gürültüsü gibi gözlenen veriye ait olmayan elementlerden ve tekdüze olmayan CCD yüzeyinden kaynaklanan problemlerden arındırmak gerekir. Bu işleme kalibrasyon denir. Bias, dark ve flat görüntüleri ise kalibrasyon görüntüleridir. Ham bir görüntüyü kalibre edebilmek için en az 10 bias görüntüsünün medyanı alınarak birleştirilmiş masterbias görüntüsüne, her bir poz süresi için en az 5 dark görüntüsünün medyanı alınarak oluşturulmuş masterdark görüntüsüne ve her bir filtre için en az 5 flat görüntüsünün medyanı alınarak elde edilmiş masterflat görüntüsüne ihtiyaç vardır. Daha sonra bu master görüntüler ile ham görüntüler arasında basit aritmetik işlemler yapılarak final görüntüler elde edilmektedir.

Aşağıdaki bölümde ham görüntülerin master görüntüler yardımıyla istenmeyen etkilerden arındırılması ve indirgenmiş görüntülerin elde edilmesi; daha sonraki bölümde ise bu görüntülerden parlaklıkların ve ardından evrelerin elde edilmesi anlatılmaktadır.



Şekil 27. Muniwin programında arayüz ikonuna tıklanarak görüntü kalibrasyonu için yeni proje oluşturma.

27. Master görüntülerin elde edilmesinden sonraki adımda bilimsel çalışmalarda kullanmak için ham görüntüler kalibre edilir. Bunun için ise Madde 3'te anlatıldığı üzere tekrar yeni bir proje oluşturulur. Bu aşamada artık gözlenen yıldızın ham verileri indirgeneceği için açılan arayüzde Şekil 27'deki gibi *light curve* (ışık eğrisi) seçeneği işaretlenmelidir. Projede B filtresiyle alınan yıldız görüntüleri analiz edileceği için projenin kaydedileceği dosyanın adı *light_b* olarak verilmiştir.

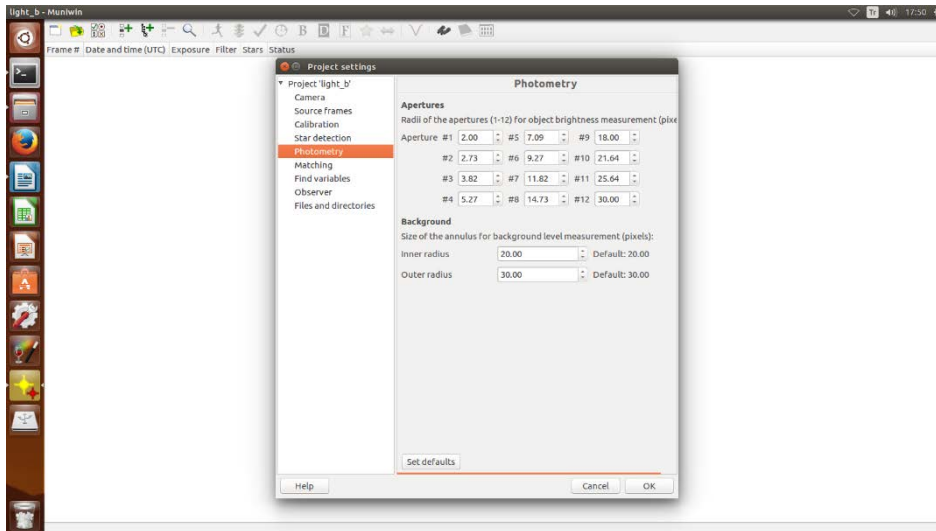


Şekil 28. Ham verilerin indirgenmesi için gereken yıldız tespiti ayarlarının yapılması.

28. Ham görüntüleri kalibre etmek için yaratılan yeni projede ilk olarak Şekil 5'te gösterilen ayarlar ikonuna tıklanarak ayarlar bölümü açılır ve analiz için gerekli ayarlamalar yapılır. Kamera ayarları Şekil 6'da verildiği gibi okuma gürültüsü 11.52 ve ADC kazancı 1.56 olacak şekilde düzenlenir. Daha sonrasında *calibration* (kalibrasyon) seçeneğine geçilir (Şekil 13). Burada *advanced (bias+scalable dark+flat)* seçeneği şekilde turuncuyla gösterildiği gibi işaretlenir. Amaç, master kalibrasyon görüntülerini

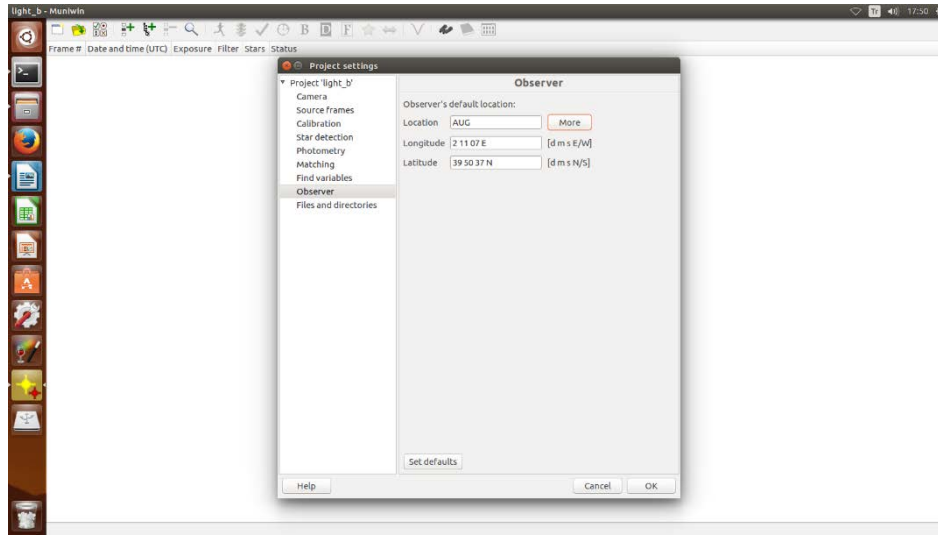
kullanarak ham görüntüleri optik sistemden ve CCD'den kaynaklanan etkilerden arındırmaktır. Şekil 28'den de görüldüğü üzere ham görüntüler için yapılacak proje ayarları diğer maddelerde anlatıldığından farklıdır. Fotometrinin yapılabilmesi için alınan gökyüzü alanındaki yıldızların akılarının ölçülmesi gerekmektedir. Görüntü üzerinde hangi piksellerin gerçekten yıldızdan gelen ışınımı barındırdığını saptayabilmek için *Star detection* (yıldız tespiti) seçeneğinde bazı parametreler verilmiştir. Burada *sharpness limits* yıldızın hatlarının belirgin olup olmadığını tespit etmek için kullanılırken *roundness limits* ise yıldızın bir nokta kaynak olarak görünüp görünmediğini kontrol etmek için kullanılmaktadır. Noktasallıktan sapmış görüntüler (sosis şeklinde) bu ayarlar kullanılarak analizlerden çıkarılmaktadır.

Muniwin programı açıklık fotometrisi denilen bir yöntem kullanmaktadır. Açıklık fotometrisi, bir CCD görüntüsü üzerinde, fotometrisi yapılacak kaynağın belirlenmiş orta noktası merkezli, dairesel bir açıklık kullanarak, açıklık içinde kalan piksel sayım değerlerini toplamaktan ibarettir. Bu yöntemde birbirine içine geçmiş üç halka yardımıyla yıldızın ve çevresindeki gökyüzü alanının ışık şiddeti ayrı ayrı ölçülür. En içteki halka yıldızı çevreler ve yalnızca yıldızdan gelen ışık şiddetini ölçmek için kullanılırken dıştaki iki halka ise gökyüzünün ışık şiddetini ölçmek için kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yıldız görüntüleri atmosferik etkiden dolayı saçılmış olarak görünürler. Kaynağın görüntü üzerindeki bu dağınık ışığını temsil eden profile Noktasal Dağılım Fonksiyonu adı verilir ve genellikle bir gauss profili ile ifade edilir. Bundan dolayı munipack programında *Gaussian filter* seçeneği kullanılmıştır. Buradaki *filter width (FWHM)* değeri kullanılacak gauss profilinin yarı yüksekliğinin genişliğini vermektedir. *Detection threshold* seçeneği ise piksel hatalarından kaynaklanan ve gerçekten yıldız olmayan ölçümleri belirleyebilmek için kullanılan bir sınır değerdir. Bu değer altındaki ölçümler analiz dışında bırakılır. Şekil 28'de verilen değerler genellikle her indirgeme de kullanılan değerlerdir. Ancak gözlenen gökyüzü alanına göre değiştirilebilir.



Şekil 29. Fotometri için gereken açıklık ayarlarının yapılması.

29. Madde 28’de bahsedildiği üzere açıklık fotometrisinin yapılabilmesi için merkezi, yıldız görüntüsünün orta noktası olan dairesel bir alan belirlemek ve bu alanın içinde kalan piksellerin değerlerini ölçmek gerekmektedir. Bu dairesel alanın çapını belirlemek için Munipack programının ayarlarında *photometry* seçeneğinin altında *apertures* bölümü yer almaktadır. Burada 2 ile 30 pixel aralığında 12 adet başlangıç değeri verilmektedir. Bununla birlikte *background* bölümünde ise gökyüzü alanının piksel değerlerini ölçmek için kullanılacak çemberlerin çapları (iç çember için 20 ve dış çember için 30 pixel) verilmektedir. Bu değerler genel olarak değiştirilmeden bırakılır ancak isteğe bağlı olarak artırılıp azaltılabilir.

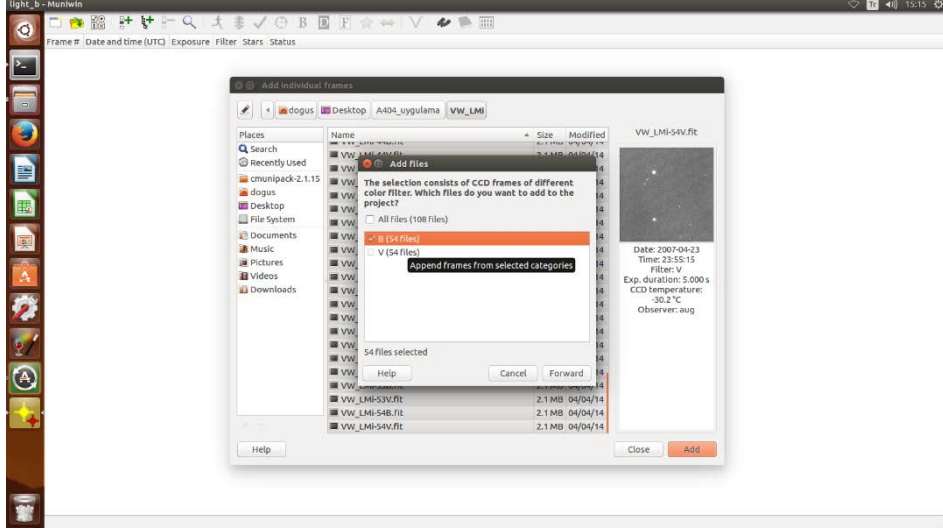


Şekil 30. Gözlem yapılan yerin koordinatlarının ayarlanması.

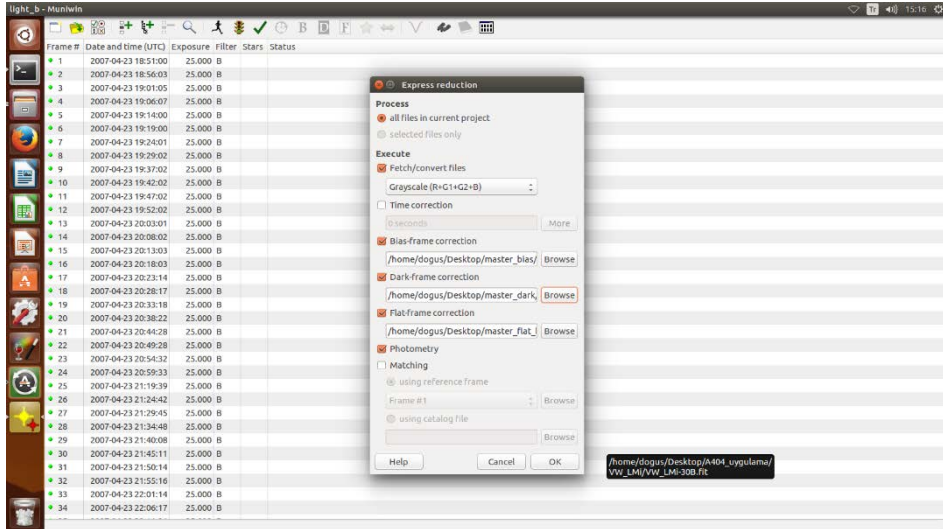
30. Son olarak ayarlar seçeneğinde yapılması gereken işlem gözlem yapılan yerin koordinatlarının belirlenmesidir. Bunun için *observer* (gözlemci) bölümüne tıklanarak açılan arayüzde, enlem ve boylam değerleri girilerek programın yıldız yüksekliği, hava kütlesi, doğma-batma zamanları gibi değerleri hesaplaması sağlanmaktadır. *More* butonuna basıldığında gözlem evinin adının ve koordinatlarının kaydedildiği bir sekme açılır. Ankara Üniversitesi Gözlemevi için enlem ve boylam değerleri olarak 02 11 07 E ve 39 50 37 N değerleri girilir. Daha sonra *OK* butonlarına basılarak ana arayüze geri dönülür.

31. Ham veri görüntülerinin yüklenmesi de iki adımdan oluşmaktadır. İlk adımda Şekil 7’de kırmızı ile gösterilen ikon tıklanarak *add individual frames* (bireysel görüntüleri ekle) arayüzü açılır. Burada ham görüntülerin bulunduğu hedef klasöre gidilerek tüm görüntüler işaretlenir ve *add* (ekle) tuşuna basılır. Şekil 31’de verilen örnekte yıldız görüntüleri */home/dogus/Desktop/A404_uygulama/VW_LMi* klasörünün içinde bulunmaktadır.

Bir yıldız çalışılacak konuya bağlı olarak birden fazla filtre kullanılarak gözlenmiş olabilir. Bu nedenle, hedef klasörde farklı filtrelerde alınmış yıldız görüntüsü bulunabilir. Şekil 31’de ekle butonuna basıldıktan sonra yıldız görüntülerini gözlenen filtreye göre otomatik olarak gruplayan bir arayüzün açıldığı görülmektedir. Yıldız görüntülerinin yüklenmesi için gerekli olan ikinci adımda, analiz edilecek olan filtreye alınmış görüntüler seçilir ve *forward* (ileri) butonuna basılarak görüntüler ana arayüze aktarılır. Şekil 31’deki örnekte B filtresiyle gözlenmiş görüntüler seçilmiştir.



Şekil 31. Ham yıldız verilerinin seçilmesi.

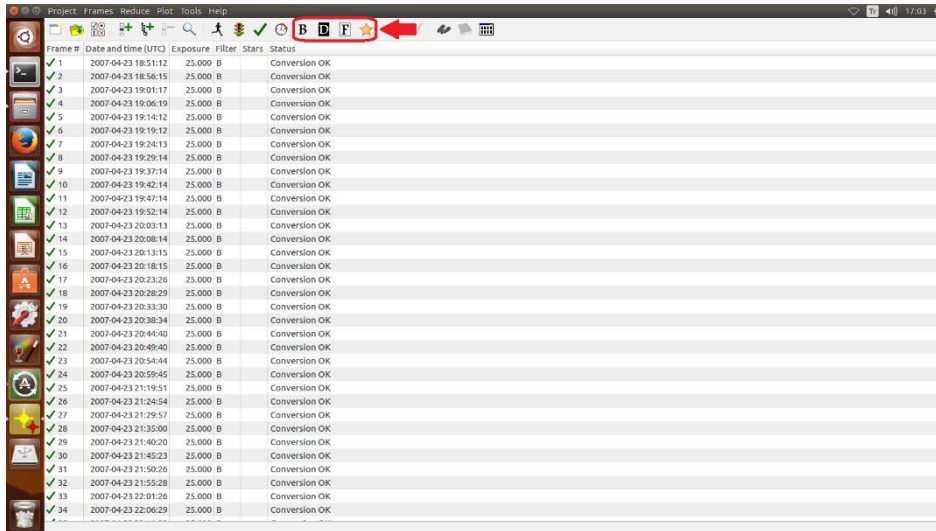


Şekil 32. Ham yıldız verilerinin tek seferde indirgenmesi.

32. Daha sonraki adımda, Madde 8’de anlatıldığı gibi yıldız görüntüleri programın kullanabileceği uygun bir formata dönüştürülür. Şekil 9’da kırmızı kare ile çerçevelenmiş *express reduction* (hızlı indirgeme) ikonu yardımıyla yıldız görüntülerini oluşturmak için gerekli olan tüm adımlar tek seferde yapılabilir.

Yalnız, bu ikona tıktıldığında açılan arayüzün *execute* (uygula) bölümü kalibrasyon görüntüleri için kullanılan arayüzden farklıdır (Şekil 32).

Burada, grayscale (R+G1+G2+B) seçeneğinin yanı sıra bias, dark ve flat düzeltmelerini aynı anda yapmaya imkan veren *bias frame correction*, *dark frame correction* ve *flat frame correction* seçenekleri verilmektedir. Bu seçenekler işaretlendikten sonra *browse* butonlarına tıktılarak masterbias, masterdark ve masterflat görüntülerinin kaydedildiği dosya yolları seçilir (genellikle otomatik olarak bu dosya yolları görünür). Ayrıca, bu bölümde yıldıza ilişkin ışık ölçümü de yapılacağı için *photometry* seçeneği de işaretlenmelidir. Daha sonra *OK* tuşuna basılarak indirmeye tamamlanır. Bu işlemin sonucu olarak ana arayüzde Şekil 34’de gösterildiği gibi sırasıyla bias, dark ve flat düzeltmelerinin başarıyla yapıldığına ve son olarak fotometri için gereken adımların tamamlandığına işaret eden yıldız simgesi görünür.



Frame #	Date and time (UTC)	Exposure	Filter	Stars	Status
1	2007-04-23 18:51:12	25.000	B		Conversion OK
2	2007-04-23 18:56:15	25.000	B		Conversion OK
3	2007-04-23 19:01:17	25.000	B		Conversion OK
4	2007-04-23 19:06:19	25.000	B		Conversion OK
5	2007-04-23 19:14:12	25.000	B		Conversion OK
6	2007-04-23 19:19:12	25.000	B		Conversion OK
7	2007-04-23 19:24:13	25.000	B		Conversion OK
8	2007-04-23 19:29:14	25.000	B		Conversion OK
9	2007-04-23 19:37:14	25.000	B		Conversion OK
10	2007-04-23 19:42:14	25.000	B		Conversion OK
11	2007-04-23 19:47:14	25.000	B		Conversion OK
12	2007-04-23 19:52:14	25.000	B		Conversion OK
13	2007-04-23 20:03:13	25.000	B		Conversion OK
14	2007-04-23 20:08:14	25.000	B		Conversion OK
15	2007-04-23 20:13:15	25.000	B		Conversion OK
16	2007-04-23 20:18:15	25.000	B		Conversion OK
17	2007-04-23 20:23:26	25.000	B		Conversion OK
18	2007-04-23 20:28:29	25.000	B		Conversion OK
19	2007-04-23 20:33:30	25.000	B		Conversion OK
20	2007-04-23 20:38:34	25.000	B		Conversion OK
21	2007-04-23 20:44:40	25.000	B		Conversion OK
22	2007-04-23 20:49:40	25.000	B		Conversion OK
23	2007-04-23 20:54:44	25.000	B		Conversion OK
24	2007-04-23 20:59:45	25.000	B		Conversion OK
25	2007-04-23 21:19:51	25.000	B		Conversion OK
26	2007-04-23 21:24:54	25.000	B		Conversion OK
27	2007-04-23 21:29:57	25.000	B		Conversion OK
28	2007-04-23 21:35:00	25.000	B		Conversion OK
29	2007-04-23 21:40:20	25.000	B		Conversion OK
30	2007-04-23 21:45:23	25.000	B		Conversion OK
31	2007-04-23 21:50:26	25.000	B		Conversion OK
32	2007-04-23 21:55:28	25.000	B		Conversion OK
33	2007-04-23 22:01:26	25.000	B		Conversion OK
34	2007-04-23 22:06:29	25.000	B		Conversion OK

Şekil 33. Yıldız görüntülerine bias, dark ve flat düzeltmesi yapılması ve fotometri süreci.

33. Ayrıca bias, dark ve flat düzeltmeleri adım adım da yapılabilir. Şekil 10a’da kırmızı çerçeveye gösterilen *Convert input files to working format* (girilen dosyaların çalışır bir formata dönüştürülmesi) ikonu yardımıyla görüntüler uygun bir formata dönüştürülebilmektedirler. Görüntülerin solundaki yeşil noktalar dönüştürme işlemi tamamlandıktan sonra yeşil tik işaretlerine dönüşürler (Şekil 33). Madde 28’de anlatılan proje ayarlarında *calibration* (kalibrasyon) seçeneğinin *advanced (bias+scalable dark+flat)* olarak işaretlenmesi arayüzde bias, dark ve flat düzeltmelerinin yapılmasına olanak sağlayan ve Şekil 33’te kırmızı çerçeve ile işaretlenmiş olan “B”, “D” ve “F” ikonlarının aktif hale gelmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu ikonların yanında bulunan ve fotometri yapılmasını sağlayan yıldız ikonu da aktif hale gelmektedir. Öncelikle “B” ikonuna basılarak görüntülere bias düzeltmesi uygulanmaktadır. İşlem tamamlandığında görüntülerin sol tarafındaki tik işaretleri “B” harfine

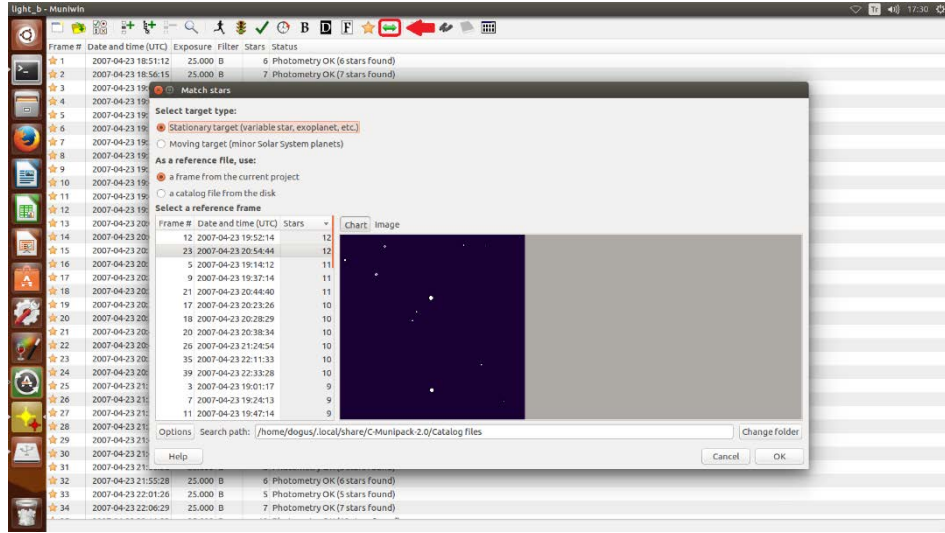
dönüşmektedir. Daha sonra bu görüntülere dark düzeltmesi yapılması gerekmektedir. Bunu yapabilmek için ise “D” ikonuna basılır. İşlem tamamlandığında sol taraftaki “B” harfleri bu kez “D” harfine dönüşür. Kalibrasyon için son olarak “F” ikonuna basılarak yıldız görüntülerinde flat düzeltmesi yapılır. Bunun sonucunda sol taraftaki “D” harfleri “F” harfine dönüşür. Son adımda ise fotometri için yıldız ikonuna tıklanır ve görüntüler bilimsel analiz için hazır hale getirilir. İşlemlerin başarıyla yapıldığını göstermek için sol taraftaki “F” harfleri yıldız simgelerine dönüşür (Şekil 34).

Frame #	Date and time (UTC)	Exposure	Filter	Stars	Status
1	2007-04-23 18:51:12	25.000	B	6	Photometry OK (6 stars found)
2	2007-04-23 18:56:15	25.000	B	7	Photometry OK (7 stars found)
3	2007-04-23 19:01:17	25.000	B	9	Photometry OK (9 stars found)
4	2007-04-23 19:06:19	25.000	B	5	Photometry OK (5 stars found)
5	2007-04-23 19:14:12	25.000	B	11	Photometry OK (11 stars found)
6	2007-04-23 19:19:12	25.000	B	7	Photometry OK (7 stars found)
7	2007-04-23 19:24:13	25.000	B	9	Photometry OK (9 stars found)
8	2007-04-23 19:29:14	25.000	B	7	Photometry OK (7 stars found)
9	2007-04-23 19:37:14	25.000	B	11	Photometry OK (11 stars found)
10	2007-04-23 19:42:14	25.000	B	7	Photometry OK (7 stars found)
11	2007-04-23 19:47:14	25.000	B	9	Photometry OK (9 stars found)
12	2007-04-23 19:52:14	25.000	B	12	Photometry OK (12 stars found)
13	2007-04-23 20:03:13	25.000	B	7	Photometry OK (7 stars found)
14	2007-04-23 20:08:14	25.000	B	5	Photometry OK (5 stars found)
15	2007-04-23 20:13:15	25.000	B	9	Photometry OK (9 stars found)
16	2007-04-23 20:18:15	25.000	B	6	Photometry OK (6 stars found)
17	2007-04-23 20:23:26	25.000	B	10	Photometry OK (10 stars found)
18	2007-04-23 20:28:29	25.000	B	10	Photometry OK (10 stars found)
19	2007-04-23 20:33:30	25.000	B	5	Photometry OK (5 stars found)
20	2007-04-23 20:38:34	25.000	B	10	Photometry OK (10 stars found)
21	2007-04-23 20:44:40	25.000	B	11	Photometry OK (11 stars found)
22	2007-04-23 20:49:40	25.000	B	9	Photometry OK (9 stars found)
23	2007-04-23 20:54:44	25.000	B	12	Photometry OK (12 stars found)
24	2007-04-23 20:59:45	25.000	B	8	Photometry OK (8 stars found)
25	2007-04-23 21:04:51	25.000	B	6	Photometry OK (6 stars found)
26	2007-04-23 21:09:54	25.000	B	10	Photometry OK (10 stars found)
27	2007-04-23 21:14:57	25.000	B	6	Photometry OK (6 stars found)
28	2007-04-23 21:19:57	25.000	B	6	Photometry OK (6 stars found)
29	2007-04-23 21:24:57	25.000	B	9	Photometry OK (9 stars found)
30	2007-04-23 21:29:57	25.000	B	7	Photometry OK (7 stars found)
31	2007-04-23 21:34:57	25.000	B	8	Photometry OK (8 stars found)
32	2007-04-23 21:39:58	25.000	B	6	Photometry OK (6 stars found)
33	2007-04-23 21:44:58	25.000	B	5	Photometry OK (5 stars found)
34	2007-04-23 21:49:58	25.000	B	7	Photometry OK (7 stars found)

Şekil 34. Optik etkilerden ve CCD'den kaynaklanan problemlerden arındırılmış görüntüler.

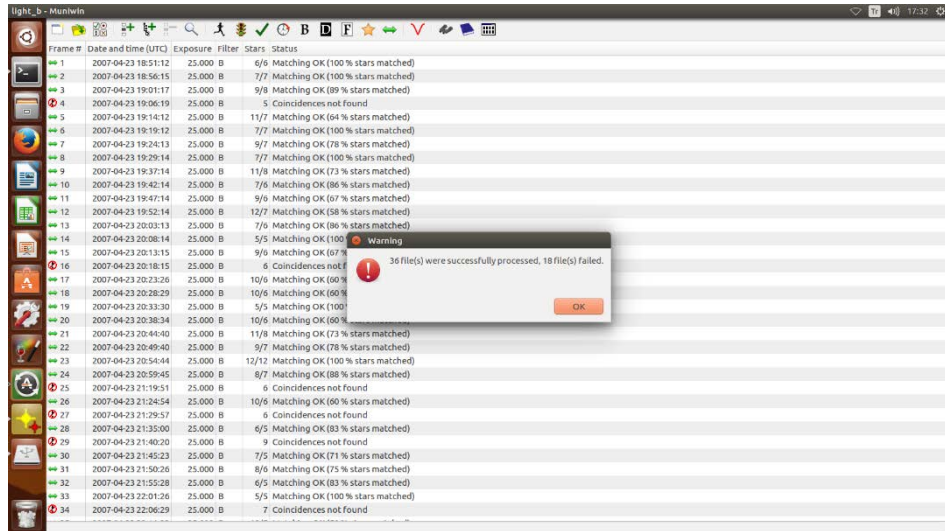
34. Madde 28'de anlatılan proje ayarlarından, *star detection* ve *photometry* seçeneklerinde girilen *threshold* ve *FWHM* değerleri kullanılarak her bir görüntüde kaçar tane yıldız tespit edildiği bu aşamada arayüzde gösterilmektedir. Örneğin Şekil 34'te verilen arayüzde *Frame* başlığı altında 1., 2., ve 3. görüntülere bakıldığında *star* başlığı altında 6, 7, ve 9 yıldız tespit edildiği görülmektedir.

35. Bundan sonraki aşamada her bir görüntüdeki yıldızları birbirleriyle eşleştirebilmek için referans bir görüntü seçilmesi gereklidir. Bunun için Şekil 35'te kırmızı çerçeve ile gösterilen *find cross-reference between photometry files* ikonu tıklanmalıdır. Daha sonrasında her bir görüntü karesinin teker teker görülebileceği bir arayüz açılır. Bu arayüzde Şekil 35'te gösterildiği üzere *stationary target* (sabit hedef) ve *a frame from the current project* (bu projeden seçilecek bir görüntü) seçenekleri işaretlenmelidir. Referans görüntü *select a reference frame* (bir referans görüntü seç) bölümünden seçilecektir. Burada görüntüler, en fazla yıldız içeren görüntüden en az yıldız içeren görüntüye doğru sıralıdır.



Şekil 35. Her görüntüdeki yıldızların eşleştirilmesi için *find cross-reference between photometry files* ikonu ile referans bir görüntü seçilmesi.

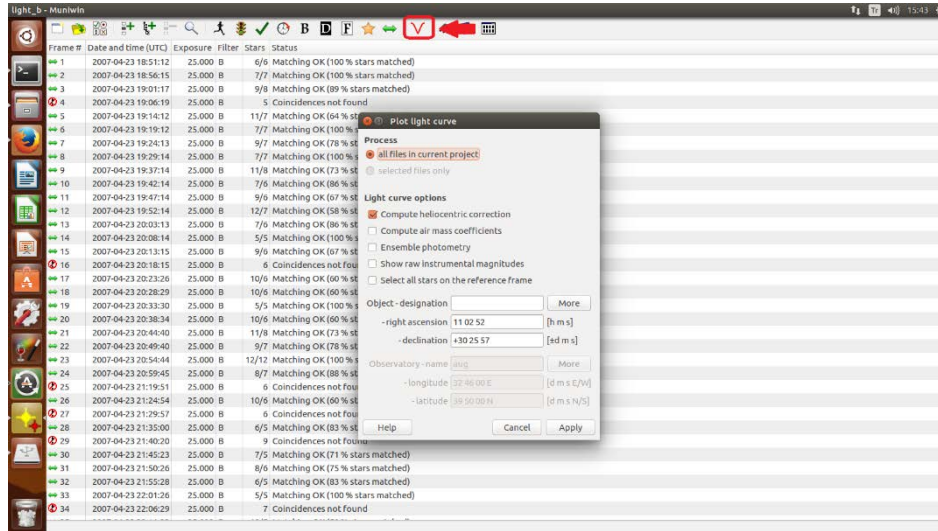
Seçim için genellikle çok sayıda yıldız olan bir görüntü tercih edilmelidir. Dolayısıyla her görüntüde farklı pozisyonlarda bulunan yıldızlar bu referansa göre rahatlıkla tanımlanabilir. Şekil 35'teki örnekte referans görüntü olarak 23. görüntü seçilmiştir. Bu görüntüde, bu gökyüzü bölgesi için seçilebilecek maksimum sayıda yıldız (12 adet) bulunmaktadır.



Şekil 36. Referans görüntü yardımıyla diğer görüntülerdeki yıldızların eşleştirilmesi.

36. Referans görüntü dosyasının üzerine tıklatılıp *OK* butonun basıldığında Şekil 36'de gösterildiği gibi tüm görüntüler referans görüntü ile eşleştirilmeye çalışılır. Bu arayüzde her bir görüntüde kaç yıldız olduğu ve bunlardan kaç tanesinin tanımlanabildiği bilgisi yer almaktadır. Açılan *warning* (uyarı) arayüzünde kaç görüntünün başarıyla tanımlandığı ve kaç tanesindeki yıldızların ise tanımlanamadığı

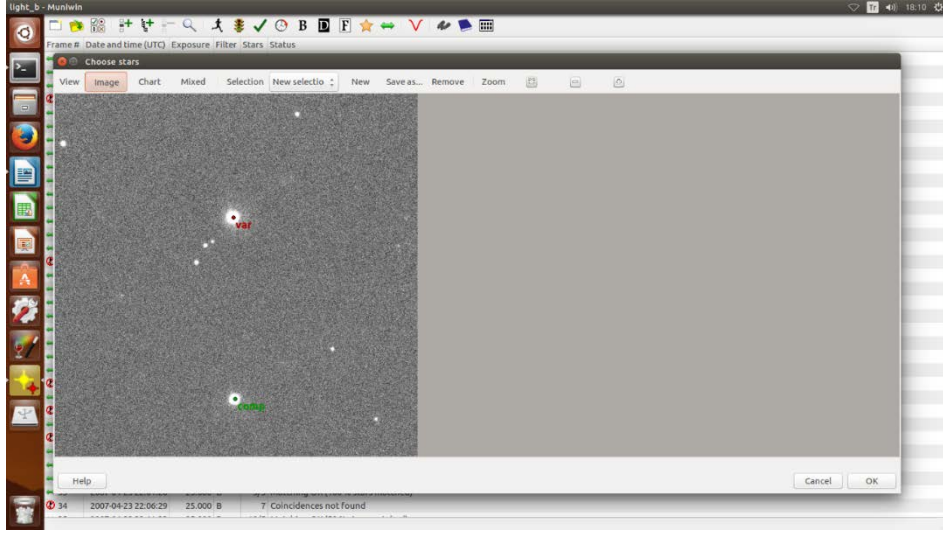
bilgisi verilmektedir. Eğer tanımlanamayan görüntü sayısı çok fazla ise Madde 35'e geri dönülerek yeni bir referans görüntü seçilmeli ve görüntüler yeniden eşleştirilmelidir. Şekil 36'da verilen uyarıda 23 numaralı referans görüntüsü kullanılarak 54 görüntü dosyasından 36'sının başarıyla işlendiği, 18 görüntüde bulunan yıldızların ise tanımlanamadığı bilgisi verilmektedir. 54 görüntü için 18 başarısız eşleştirme oldukça fazladır. Ancak diğer seçilen referans görüntüler için tanımlanamayan görüntü sayısı 18'den fazla olduğu için 23 numaralı görüntü referans alınarak analize devam edilmiştir.



Şekil 37. Işık eğrisinin oluşturulması.

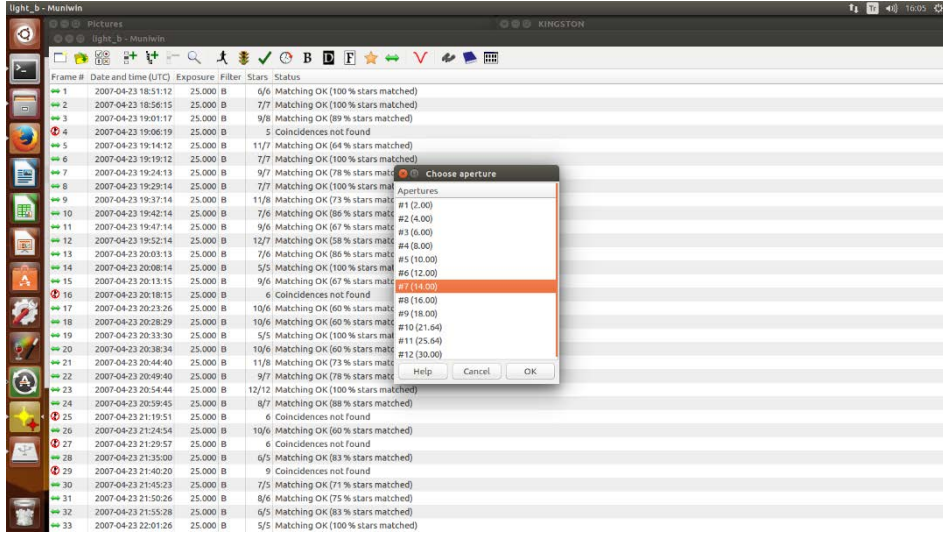
37. Yıldız görüntülerinin referans bir görüntüye göre tanımlanmasından sonra Şekil 37'de kırmızı çerçeve ile gösterilmiş *plot light curve* (ışık eğrisini çizdir) ikonu aktif hale gelmektedir. Bu ikon tıklatıldığında, yapılması istenilen bilimsel analizlerin (Güneş merkezli düzeltme, hava kütlelerinin katsayıları, birleştirilmiş fotometri ve aletsel parlaklıklar gibi) işaretlenebileceği bir arayüz ekrana gelmektedir. Şekil 37'deki örnekte JD değerlerini HJD cinsinden elde etmek için yalnızca Güneş merkezli düzeltme seçeneği işaretlenmiştir.

38. Daha sonra *apply* (uygula) butonuna basılarak işleme devam edilir. Açılan yeni arayüzde değişen ve mukayese yıldızı kapsayan bir alan görüntüsü ekrana gelmektedir. Tüm görüntülerde ölçüm yapılabilmesi için hedef yıldızların tanıtılması gerekmektedir. Bu yüzden, önce mouse değişen yıldızın üzerine getirilir ve sağa tıklanır. Çıkan seçeneklerden *variable* (değişen) seçeneği işaretlenir. Böylelikle seçilen yıldız değişen yıldız olarak tanımlanır (kırmızı ile gösterilen yıldız, Şekil 38). Daha sonra görüntüdeki hangi yıldız mukayese olarak kullanılacaksa mouse o yıldızın üzerine getirilir ve yine sağ



Şekil 38. Değişen ve mukayese yıldızın seçimi.

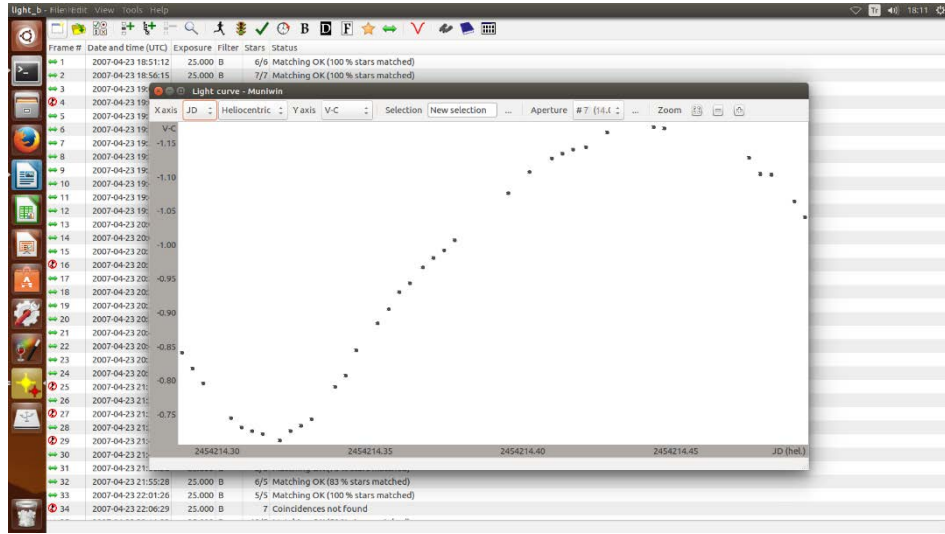
tuşa tıklanır. Bu kez açılan seçeneklerden *comparison* (mukayese) seçeneği seçilerek bu yıldızın mukayese yıldız olduğu belirtilir (yeşil ile gösterilen yıldız, Şekil 38).



Şekil 39. Parlaklık hesabı için aperture (açıklık) seçimi.

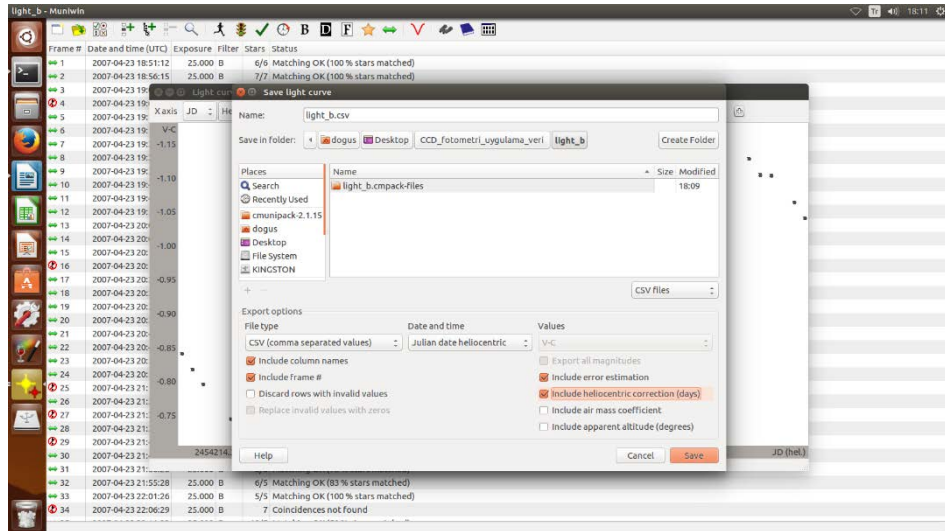
39. Analizleri yapılacak yıldızlar tanıtıldıktan sonra programda *aperture* (açıklık) seçmek için bir arayüz açılmaktadır. 12 farklı seçenekten genellikle 6, 7, veya 8 değerlerinden birisi tercih edilmektedir. Şekil 39'daki örnekte 7 değeri seçilmiştir.

40. Oluşturulan ışık eğrisi Şekil 40'ta gösterilmektedir. Bu eğri değişen yıldız ve mukayese yıldızın parlaklık farkları alınarak oluşturulmuştur. Yatay ekseninde HJD, dikey ekseninde ise V-C parlaklık değerleri bulunmaktadır. Eğer elde edilen ışık eğrisinde bozulmalar varsa grafik üzerinde bulunan *aperture* bölümünden farklı açıklık değerleri seçilerek daha düzgün eğriler elde edilmeye çalışılabilir.



Şekil 40. Oluşturulan ışık eğrisi.

41. Bu veriyi kaydetmek için ışık eğrisi arayüzü açıkken ekranın sol üst köşesinde görünen *file* (dosya) – *save* (kaydet) seçenekleri kullanılmakta ve sonuç olarak Şekil 41’de gösterilen başka bir arayüz açılmaktadır. Burada, veriler Madde 27’de açılan *light_b* dosyasına kaydedilmektedir. *Export options* (kaydetme seçenekleri) bölümündeki *file type* (dosya türü) kısmında *CSV (comma separated values)* (virgülle ayrılmış değerler) seçeneği tercih edildiğinde veriler bir excel sayfasına kaydedilmektedir. *Export options* bölümünde aşağıdaki seçenekler ise excel dosyasına kaydedilebilecek isteğe bağlı diğer verileri göstermektedir. Şekil 41’deki örnekte kolon isimleri, frame numaraları, hata değerleri ve Güneş merkezli düzeltmeler excel dosyasına ilave edilmiştir.



Şekil 41. Işık eğrisinin kaydedilmesi.

42. Son olarak buradan alınan veriler başka bir excel dosyasında açılır. Evre değerlerini hesaplayabilmek için JD(Hel) kolonunun yanına boş bir kolon açılır. Bu boş kolonda Munipack programından elde edilen HJD değerleri, yıldızın ışık elemanları (T_0 (başlangıç zamanı) ve P (dönem)) ve,

$$E = \frac{(HJD - T_0)}{P}$$

formülü kullanılarak HJD değerlerine karşılık gelen evre değerleri hesaplanır. Bundan sonraki aşamada evreye karşılık parlaklık değerlerinin grafiği çizdirilir.

FRAME	JD(Hel)	V-C	E
1	2454214.208369	-0.84163	0.00181
2	2454214.258836	-0.81832	0.0016
3	2454214.295887	-0.7969	0.00162
4	2454214.324378	-0.7859	0.00165
5	2454214.347799	-0.7394	0.00165
6	2454214.362236	-0.7298	0.00166
7	2454214.384769	-0.7217	0.00166
8	2454214.320322	-0.728	0.00165
9	2454214.323784	-0.7283	0.00163
10	2454214.327269	-0.7329	0.00163
11	2454214.330739	-0.7432	0.00162
12	2454214.338946	-0.79132	0.00165
13	2454214.343481	-0.8000	0.00163
14	2454214.348018	-0.8468	0.00165
15	2454214.352409	-0.86484	0.00162
16	2454214.359809	-0.9067	0.00161
17	2454214.363931	-0.9380	0.00163
18	2454214.369113	-0.9467	0.00162
19	2454214.3871471	-0.9620	0.00162
20	2454214.379181	-0.9618	0.00163
21	2454214.374177	-0.9646	0.00163
22	2454214.376308	-1.00762	0.00169
23	2454214.3950647	-1.07473	0.0016
24	2454214.4020681	-1.10796	0.0016
25	2454214.4136149	-1.1365	0.00162
26	2454214.414321	-1.14362	0.00162
27	2454214.420632	-1.14444	0.00162
28	2454214.4274781	-1.14954	0.00164
29	2454214.4426669	-1.17418	0.00165
30	2454214.446215	-1.17251	0.00168
31	2454214.4730791	-1.1394	0.00178
32	2454214.475442	-1.10527	0.00181

Şekil 42. Excel dosyasına aktarılan veriler.