







DAG-ODA Laboratuvarında Dedektör ve Filtreler için Test ve Kalibrasyon Çalışmaları

Burak Kay¹  , Süleyman Fişek^{1,2} , Tolga Güver^{1,2} , Sinan Aliş^{1,2} , Ayşe Erol³ 

¹ İstanbul Üniversitesi Gözlemevi Uygulama ve Araştırma Merkezi, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul, Türkiye

³ İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, İstanbul, Türkiye

Accepted: December 23, 2022. Revised: December 13, 2022. Received: November 13, 2022.

Özet

İstanbul Üniversitesi Gözlemevi Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesinde kurulan Doğu Anadolu Gözlemevi Odak Düzlemi Aygıtları Geliştirme Laboratuvarında (DAG-ODA) test ve kalibrasyon çalışmaları yürütülmektedir. Laboratuvarında, gözlemevleri için önemli olan optik bileşenlerin çalışma performanslarını ölçmek, yeni nesil odak düzlemi aygıtları tasarlamak ve AR-GE çalışmalarının yapılması öngörülmektedir. Laboratuvarın olağan hali ile limitlerini öğrenmek ve eksik yönlerini anlayarak limitlerini genişletmek amacıyla kapasite artırımına gitmek test ve kalibrasyon çalışmaları için çok önemlidir. Bu çalışmada mevcut altyapı kullanılarak İstanbul Üniversitesi Gözlemevi Uygulama ve Araştırma Merkezi envanterinde bulunan bir CCD dedektörün dalgaboyuna bağlı kuantum verimliliği elde edilerek, dedektörün sağlayıcısı tarafından tescillenmiş sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca birkaç filtrenin geçirgenlik eğrileri ölçülerek bu sonuçlar da üreticilerinin elde ettikleri test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, sözü edilen sonuçlar ile kullanılan deneysel yöntemler sunulmaktadır.

Abstract

East Anatolian Observatory Focal Plane Devices Development Laboratory (DAG-ODA), established within the Istanbul University Observatory Application and Research Center, carries out test and calibration studies at Istanbul University. In the laboratory, it is aimed to measure the working performance of optical components that are important for observatories and to carry out R&D studies by designing next generation focal plane devices. It is very important for test and calibration studies to increase the capacity in order to learn the limits of the laboratory in its usual state and to expand our limits by understanding its deficiencies. In this study, using our existing infrastructure, the wavelength dependent quantum efficiency of a CCD in the observatory inventory was obtained, compared with the results registered by the detector's supplier, and the transmittance curves of several filters were measured and these results were compared with the test results obtained by the manufacturers. In this work, results of the aforementioned measurements and the details of the methods are presented.

Anahtar Kelimeler: DAG-ODA – CCD Calibration – Filter tests

1 Giriş

Teleskoplar uzak kaynaklardan foton toplayabilen aygıtlardır. İnsan gözü yalnızca anlık tepki verebilen bir organ olduğu için, foton biriktirebilme ve kaydetme özelliğine sahip değildir. Bu nedenle fotonların taşıdığı bilgiyi işleyebilmek ve bu bilgiyi kullanabilmek için teleskoplar ile birlikte dedektörler ve çeşitli optik bileşenler kullanılmaktadır.

Kullanılacak olan filtreler ve dedektörler, kullanılacakları teleskobun özelliklerine uygun olarak seçilir. DAG-ODA Laboratuvarı olarak, seçilen bu filtre ve dedektörlerin, istenilen performansta çalışıp çalışmadıklarını test etmek, yıllar içerisinde oluşacak yıpranmaları tespit etmek ve buna paralel olarak raporlar düzenleyerek doğru ölçüm verisine ulaşmak için kalibrasyon kontrolü yapmayı hedeflemekteyiz.

Bu çalışma ile astronomik gözlemler için önemli olan filtre ve dedektör kalibrasyon kontrol testleri yapabileme kabiliyetimizi öğrenmek amacıyla envanterimizde bulunan ve farklı dalgaboylarında geçirgenliğe sahip filtreler ile yarı-iletken tabanlı silikon malzemeli yük bağdaştırıcı aygıt (ing. Charge

Coupled Device, CCD) dedektörümüzün geçirgenlik eğrilerini ve kuantum verimliliklerini elde ettik ve bu sonuçları fabrika kalibrasyon verileriyle karşılaştırdık.

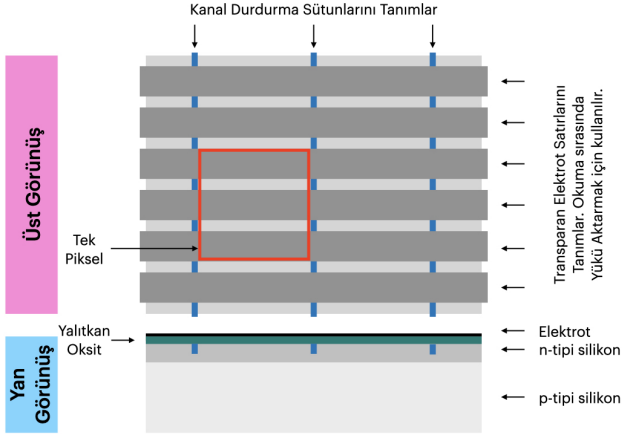
2 CCD

CCD'ler genel olarak 0,3-1 μm dalgaboyu aralığında en fazla %90 en az %10 kuantum verimliliğine (ing. Quantum Efficiency, QE) sahiptir. Bir CCD basitçe iki farklı silikon malzemenin oluşur; üst kısımda yaklaşık 2 μm kalınlığında fosfor içeren n-tipi silikon malzeme bulunurken, alt kısımda boronla zenginleştirilmiş (yaklaşık 260 μm) p-tipi silikon malzeme yer alır (Holland ve diğ. 2003). Oluşan bu kompozisyon p-n eklemi olarak adlandırılır. Bu sistemle fotonlar vasıtasıyla elektron-boşluk çiftleri oluşturulur ve bu sayede fotoakım ölçülebilir.

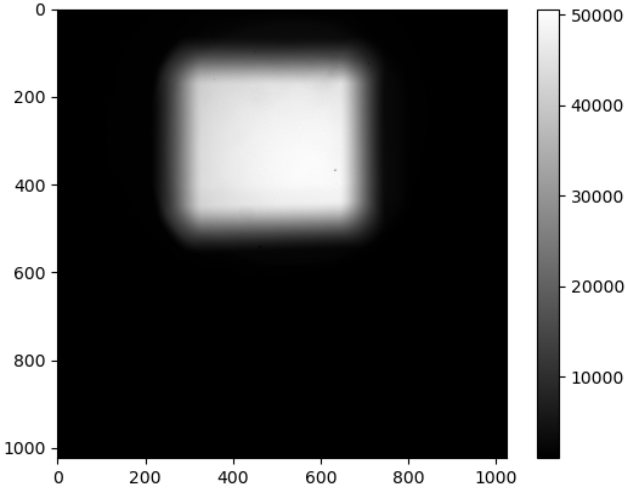
CCD'ler milyonlarca dizi pikselden oluşmaktadır. Her bir piksel için sırayla satırlardaki veri okunur. Şekil 1'de görüleceği gibi her bir piksel üç elektronik kapı ile tanımlanmıştır. Her sütun sırayla transparan elektrotlar ile bir sonraki sütuna aktarma yapılarak, her bir pikseldeki yük okuma devresine iletilir. Her bir piksel anlık okunamayacağı için piksel sayısı arttıkça okuma süresi de artar.

CCD'ler elektromanyetik spektrumun tüm dalgaboylarında

* burak.kay@istanbul.edu.tr



Şekil 1. CCD'nin temsili olarak üstten ve yandan kesiti.



Şekil 2. CCD'nin aktif bölgesi üzerinde aydınlatılan alanın görüntüsü.

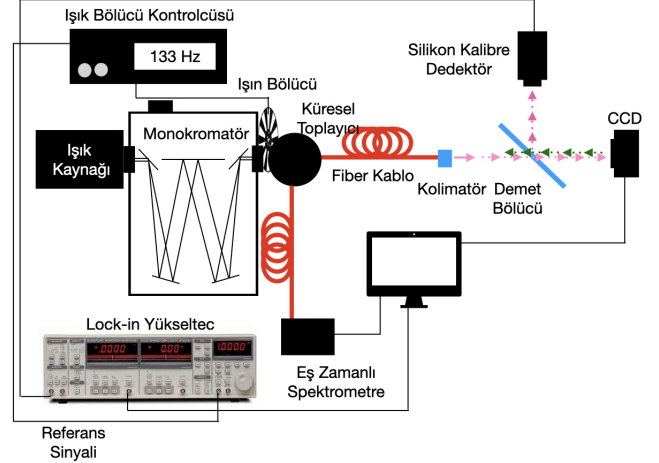
aynı duyarlığa sahip değildir. Dalgaboyu duyarlılığı ya da QE, CCD'nin üretildiği malzemeye doğrudan bağlıdır. Çünkü her malzemenin soğurma kabiliyeti farklıdır. Farklı dalgaboylu fotonlar malzeme içerisinde farklı derinliklerde soğurlur bu nedenle aktif bölgenin kalınlığı da belirli bir noktaya kadar soğurma kabiliyeti için önemlidir. Ayrıca, yüzeyde yansıma önleyici kaplama ya da mikro mercekler de yerleştirilerek soğurma kabiliyeti artırılabilir.

Her bir unsur CCD'nin verimini etkileme birlikti, Silikon tabanlı CCD'ler için QE eğrisi karakteristik olarak birbirlerine benzemektedir (Lesser 2015).

Bu çalışmada karakterizasyon kabiliyetimizi test etmek amacıyla SBIG marka STL-1001E model CCD kullanılmıştır.

3 Filtreler

Filtreler, gök cisimlerinin seçilen dalgaboylarındaki foton sayısının ölçümünü kolaylaştırmak ya da çok parlak gök cisimlerinin foton akısını kısıtlayarak azaltmak amacı ile kullanılan optik bileşenlerdir. Gözlem türüne bağlı olarak farklı türleri bulunur. Filtreler, belirli bir dalgaboyu bölgesini



Şekil 3. CCD test ve kalibrasyonu için kurulan deney düzeneğinin şematik gösterimi.

geçireceği gibi belirli bir dalgaboyundan öncesini ya da sonrasında geçirebilir ya da belirli bir oranda tüm dalgaboylu fotonların geçişini kısıtlayabilir. Filtreler göz merceği ya da CCD'lerden hemen önce konumlandırılırlar.

Deneme amacıyla envanterimizde bulunan bir Güneş filtresi ile Newport marka kesme kesme dalgaboyu bilinen birkaç filtrenin geçirgenlikleri ölçülmüştür.

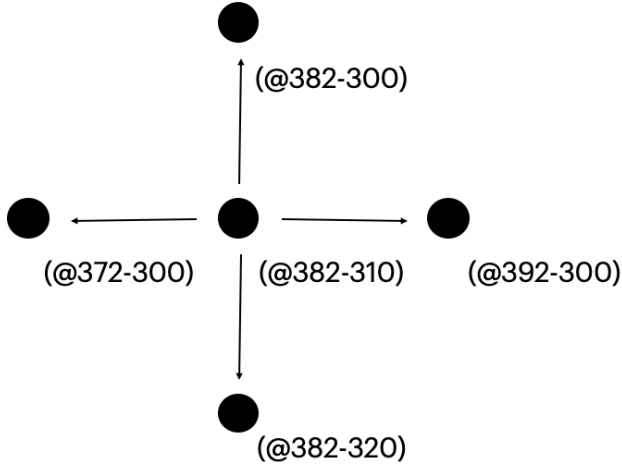
4 CCD Kalibrasyonu ve Ölçüm Metodu

CCD'nin dalgaboyuna bağlı QE eğrisini elde etmek için 400-1000 nm aralığında 10 nm'lik adımlarla ölçümler alınmıştır. Işık kaynağı olarak, ozsuz 300 W gücünde xenon lamba kullanılarak, monokromatör vasıtası ile belirtilen dalgaboyu aralığında 4 nm spektral çözünürlükte fotonlar elde edilmiştir. Monokromatör çıkışında ışık bölücü ve ardında tam yansıtıcı iç yüzeye sahip küresel toplayıcı konumlandırılmıştır. Küresel toplayıcının iki çıkışı kullanılarak bir çıkışına elde edilen monokromatik ışığın dalgaboyu ve çözünürlüğü; eş zamanlı spektrometre aracılığı ile kontrol edilerek kayıt altına alınmaktadır. Küresel toplayıcının diğer çıkışına ise kolimatör ile fiber optik kablo bağlanmıştır. Fiber optik kablo çıkışı kolimatöre bağlanarak üç eksenli hareket kabiliyeti olan konumlandırıcı ile optik düzleme paralel olacak şekilde hizalanmıştır.

Konumlandırıcının önüne kare bir açıklık yerleştirilmiştir. Optik ray üzerinde aynı doğrultuda ince kenarlı mercek kullanılarak ışık bölücü merceğe odaklanarak odaklanmıştır. Işık bölücü kullanılarak fotonlar %40 ve %60 olmak üzere ikiye bölünmüştür. %60'lık kısım ince kenarlı mercek ile toplanarak CCD'nin aktif bölgesine (ince kenarlı merceğin odak noktasının bir miktar uzağına), aktif bölgenin tamamını kaplamayacak şekilde düşürülmüştür (Şekil 2). %40'lık kısım ise silikon tabanlı kalibre dedektörün aktif bölgesine ince kenarlı mercek kullanılarak odaklanmıştır. Şekil 3'te deney düzeneğinin şematik gösterimi verilmektedir.

4.1 Kalibre Dedektör ile Ölçüm

Deney düzeneğinde fotonların gücünü ölçmemiz ve dedektör üzerine düşen foton sayısını bilmemiz gereklidir. Bu sebeple kalibre bir dedektörden yararlanılmıştır. LIDA Radyometre



Şekil 4. CCD'nin aktif bölgesi üzerinde aydınlatılan alan içerisinde ölçmek için seçilen piksellerin koordinatları.

Sistemi ile Newport marka DET-L-SIUV-R-C Silikon tabanlı kalibre dedektörü kullanılmıştır. 10×10 mm aktif bölgesi bulunan dedektör, 200-1100 nm aralığında duyarlı ve $10^4 - 10^9$ V/A kazanca sahiptir.

Kalibre dedektör ile üzerine düşen fotonların oluşturduğu voltaj değeri ölçülmekte olup; optik gücün hesaplanması için aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır;

$$\text{Optik Güç (W)} = \left[\frac{V}{G_{\text{det}}} \right] \left[\frac{1}{SR_{\text{det}}} \right] \quad (1)$$

V kalibre dedektörden okunan voltaj, G_{det} kalibre dedektörün kazanç parametresi, SR_{det} kalibre dedektörün duyarlılığı olarak tanımlanmıştır.

Xenon lamba ölçüm yaptığımız aralıkta her dalgaboyu aralığı için eş güçte çalışmamaktadır. Bu nedenle her dalgaboyunda aynı etkiyi yaratacak şekilde normalize edilmiştir. CCD'nin aktif bölgesinde aydınlatılan alana karşılık gelen piksel sayısı hesap edilmiştir. Toplam optik güç piksel sayısına bölünerek piksel başına düşen optik güç hesaplanmıştır. Aktif bölgenin homojen aydınlatıldığı varsayılmıştır. Kalibre dedektör ile CCD'de piksel başına düşen foton sayıları elde edilmiştir.

4.2 CCD ile Ölçüm

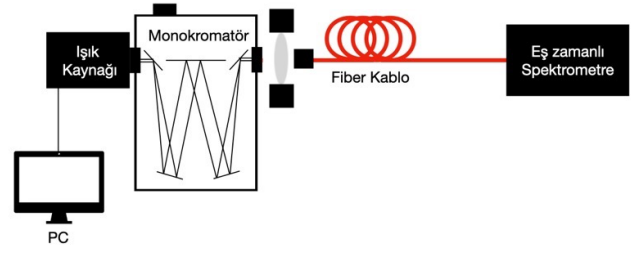
CCD, MaximDL programı kullanılarak çalıştırılmış ve her bir ölçüm için veriler; fits dosyasına kaydedilmiştir. SBIG STL-1001E'de için kazanç $2 e^- / \text{ADU}$ 'dur. Fits dosyasından okunan veri bu katsayı ile çarpılarak pikselde oluşan ADU sayısına karşılık e^- sayıları hesaplanmıştır. CCD'nin aktif bölgesine 1 s'lik pozlar verilmiştir.

4.3 CCD'nin Kuantum Veriminin Hesaplanması

Kuantum verimliliği, dedektör üzerine gelen foton sayısına karşılık elde edilen elektron sayısının oranıdır.

$$\text{QE} = \frac{e^-}{N_v} \quad (2)$$

e^- oluşan elektron sayısını, N_v gelen foton sayısını temsil eder. Kalibre dedektör kullanılarak gelen foton sayısı, CCD ile de e^- sayısı elde edilmiştir. Bu iki verinin oranı ile kuantum verimliliği hesaplanmıştır. Deney 400-1000 nm aralığında 10^4



Şekil 5. Filtre için geçirgenlik ölçüm deney düzeneği

nm aralıklarla tekrar edilmiştir ve her bir piksel için dalgaboyuna karşılık kuantum verimliliği elde edilmiştir.

CCD üzerinde her piksel eş duyarlılığa sahip değildir. Bu nedenle istatistiksel olarak rasgele bir bölgeden piksel seçilmiş, bu piksele komşu eş uzaklıkta (10 piksel sağında, solunda, yukarısında ve aşağısında) dört adet piksel seçilerek toplamda beş piksel için kuantum verimlilikleri hesaplanmıştır. Piksellerin konum bilgileri Şekil 4'te gösterilmektedir.

5 Filtrelerin Geçirgenliklerinin Ölçümü

Filtrelerin geçirgenlik eğrilerini elde etmek amacıyla ozonsuz 300 W gücünde xenon monokromatör lamba grating 0 pozisyonu ile kullanılarak tüm dalgaboylarını içeren fotonlar elde edilmiştir. Monokromatörün çıkış eksenine bir filtre tutucu konumlandırılmıştır. Eş zamanlı spektrometrenin fiber optik kablosu ucunda yer alan kolimatör bir tutucu ile filtre tutucusunun ardına dik şekilde konumlandırılmıştır. Filtre tutucu boş pozisyondayken ölçüm alınarak referans ölçümü olarak kaydedilmiştir.

Filtre tutucuya geçirgenliği ölçülmek istenen filtre konularak ölçüm tekrarlanmıştır. Eş zamanlı spektrometre olarak Ocean Optics firmasının FLAME-S modeli kullanılmıştır. Bu spektrometre 200-1100 nm aralığında eş zamanlı ölçüm alınabilmektedir. Alınan filtre ölçümü, referans ölçümüne normalize edilerek filtre için geçirgenlik eğrileri elde edilmiştir. Deney düzeneği Şekil 5'te verilmektedir.

6 CCD Kuantum Verimliliği Ölçüm Sonuçları

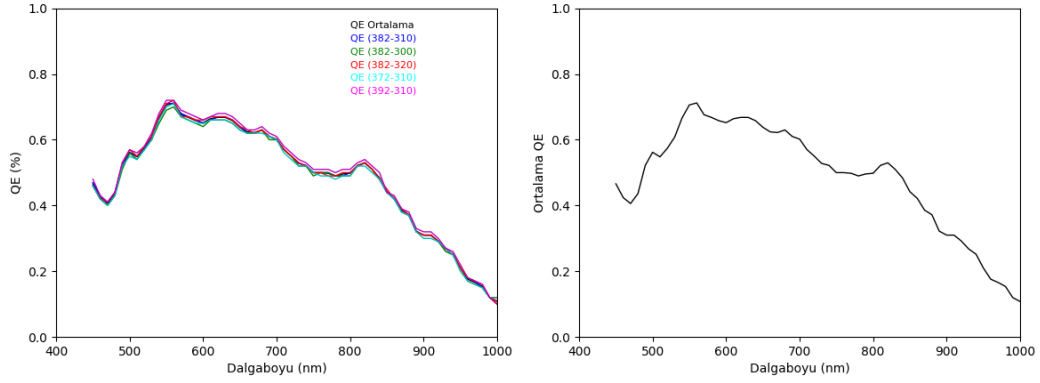
CCD için rasgele tercih edilen beş pikselin kuantum verimlilikleri hesap edilerek dalgaboyuna karşılık kuantum verimliliği grafikleri çizilmiştir. Şekil 6 üst panelde beş pikselin kuantum verimlilikleri üst üste çizdirilerek gösterilirken, alt panelde ise ortalama kuantum verimliliği grafiği göstermektedir.

7 Filtre Geçirgenlik Ölçüm Sonuçları

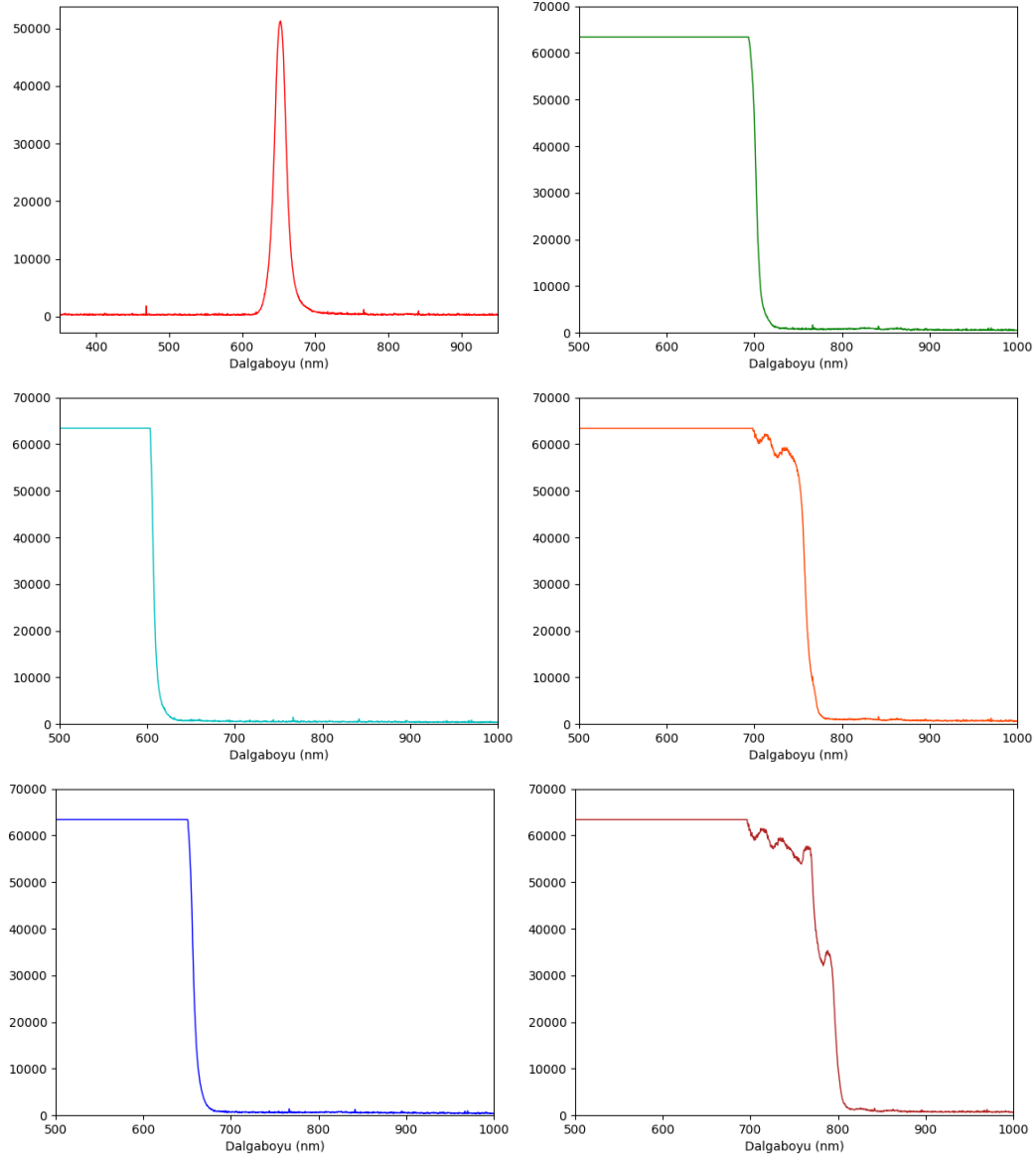
Geçirgenlik ölçüm düzeneği ile 652 nm'de maksimum geçirgenliğe sahip dar bant filtre, kesme dalgaboyu 600 nm olan filtre, kesme dalgaboyu 650 nm olan filtre, kesme dalgaboyu 700 nm olan filtre, kesme dalgaboyu 750 nm olan filtre ve kesme dalgaboyu 800 nm olan filtrenin geçirgenlikleri ölçülmüştür (Şekil 7).

8 CCD'nin Ölçülen Kuantum Verimliliği ile Fabrika Çıkışında Verilen Kuantum Verimliliği Eğrilerinin Kıyaslanması

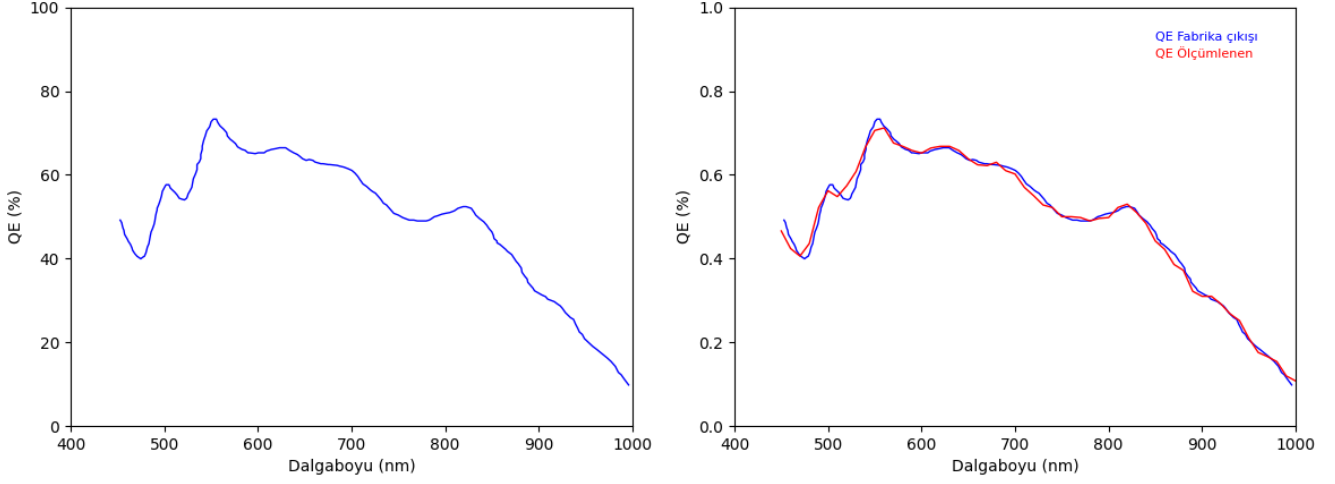
SBIG STL-1001E dedektörünün fabrika çıkışında sertifikalandırılan dalgaboyuna karşılık kuantum verimliliği



Şekil 6. Rasgele seçilen 5 pikselin dalgaboyuna karşılık kuantum verimlilikleri (sol panel) ve ortalama kuantum verimlilikleri (sağ panel).



Şekil 7. Dalgaboyuna karşılık geçirgenlik ölçümleri: 652 nm dar bant filtre (sol panel, üst), kesme dalgaboyu 600 nm filtre (sol panel, orta), kesme dalgaboyu 650 nm filtre (sol panel, alt), kesme dalgaboyu 700 nm filtre (sağ panel, üst), kesme dalgaboyu 750 nm filtre (sağ panel, orta), kesme dalgaboyu 800 nm filtre (sağ panel, alt).



Şekil 8. SBIG STL-1001E CCD'si için fabrika çıkışında sertifikalandırılan dalgaboyuna karşılık kuantum verimliliği (sol panel) ve ölçümler sonucunda elde edilen dalgaboyuna karşılık kuantum verimliliği (sağ panel).

sonuçları Şekil 8 sol panelde verilmiştir. Mevcut altyapı sistemimiz ile ölçülen verilerin, SBIG STL-1001E dedektörünün fabrika çıkışı verilen kalibrasyon verileri ile uyumlu olduğu Şekil 8 sağ panelde görülmektedir. Sağ panelde görülen ufak farklılıklar; SBIG STL-1001E dedektörünün fabrika ölçüm şartlarının ve ölçüm adımlarının kaç nm'de bir yapıldığının tam olarak bilinmemesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Gelecek ölçümler için ölçüm adımlarının da küçültülmesi düşünülmektedir.

Bu sonuçla beraber laboratuvarımız; Silikon tabanlı CCD'ler için test ve kalibrasyon ölçümleri yapabileceği anlamını taşımaktadır. Aynı zamanda belirli periyotlar ile bu ölçümler tekrarlanarak CCD'de zamana bağlı yıpranmaların da tespiti yapılabilecektir. Ayrıca ileriki yıllarda AR-GE çalışmaları yapılabilecek yeni nesil odak düzlemi aygıtlarının da dedektör parametrelerinin elde edilebileceği düşüncesine de yaklaşılmıştır.

9 Filtrelerin Geçirgenlik Ölçüm Sonuçları ile Fabrika Çıkışı Geçirgenlik Ölçüm Sonuçlarının Kıyaslanması

Geçirgenlik ölçüm sonucu Şekil 7 sol üst panelde verilen dar bant filtre için fabrika çıkışı maksimum geçirgenlik dalgaboyu 652 nm'dir. Geçirgenlik ölçümü sonucunda ise maksimum geçirgenlik dalgaboyu 651,8 nm olarak ölçülmüştür.

Newport firmasından alınan ve ölçüm sonuçları Şekil 7 sol üst panel dışındaki panellerde verilen filtreler sırası ile 600 nm, 650 nm, 700 nm, 750 nm ve 800 nm dalgaboyu sonrasında kesme dalgaboyu olarak adlandırılan türdeki filtrelerdir. Bu tür filtreler, belirtilen kesme dalgaboyundan sonra fotonları geçirmezler. Ölçüm sonuçlarının fabrika çıkışında verilen kesme dalgaboyu büyüklükleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma 2016K121370 numaralı proje ile T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

Holland S., Groom D., Palaio N., Stover R., Wei M., "Fully-Depleted, Back-Illuminated Charge-Coupled Devices Fabricated on High-

Resistivity Silicon", IEEE Trans. Electron Dev. **50** (2003) 225-238

Howell, S., Handbook of CCD Astronomy, Cambridge University Press (2012).

Lesser, M., "A Summary of Charge-Coupled Devices for Astronomy", Publications of the Astronomical Society of the Pacific **127** (2015) 1097

Access:

M23-0372: [Turkish J.A&A — Vol.4, Issue 3.](#)