

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve ÖZCAN

**CMS'DEKİ HADRONİK DIŞ KALORİMETRE (HO) İÇİN HO904
KARARLILIK TESTİLERİNDE LED ANALİZİ**

FİZİK ANABİLİM DALI

ADANA, 2013

ÖZ

YÜKSEKLİSANS TEZİ

**CMS'DEKİ HADRONİK DIŞ KALORİMETRE (HO) İÇİN HO904
KARARLILIK TESTLERİNDELEDE ANALİZİ**

Merve ÖZCAN

**ÇUKUROVAÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Eda EŞKUT
Yıl: 2013 Sayfa: 69

Jüri : Prof. Dr. Eda EŞKUT
: Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ
: Yrd. Doç. Dr. Deniz SUNAR ÇERÇİ

Hadronik dış kalorimetre (HO), CMS'in alt detektörlerinden biridir. HO'da mevcut foto dedektörlerin (HFD) silikon foto çoğaltıcı (SiFC) larla değiştirildiği iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışma, SiFC' ların kararlılık analizi ile ilgilidir.

Anahtar Kelimeler: CMS, HFD, SiFC, HO

ABSTRACT

MScTHESIS

**LED ANALYSIS IN THE HO904 STABILITY TESTS FOR HADRONIC
OUTER(HO) IN THE CMS.**

Merve ÖZCAN

**ÇUKUROVAUNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF PHYSICS**

Supervisor :Prof. Dr. Eda EŞKUT

Year:2013 Page:69

Jury :Prof. Dr. Eda EŞKUT

:Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ

:Asst. Prof. Dr. Deniz SUNAR ÇERÇİ

The hadronic outer calorimeter (HO) is a subsystem of the Compact Muon Solenoid (CMS). HO is undergoing an upgrade to replace the existing photo detectors (HPDs) with Silicon Photo Multipliers (SiPMs). This study is based on the stability analysis of the SiPMs.

Keywords: CMS, HPD, SiPM, HO

TEŞEKKÜR

Öncelikle hem ders hem de tez sürecinde bana her zaman destek ve bu aşamaya gelmeme yardımcı olan danışman hocam Prof. Dr. Eda EŞKUT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

CERN'de yürüttüğümüz çalışmalar esnasında bilimsel tecrübelerini benimle paylaşan Benjamin LUTZ ve Si XIE'ye çok teşekkür ederim. Birlikte çalıştığımız Candan DÖZEN'e ve özellikle de kendisinden çok şey öğrendiğim Gül GÖKBULUT'a çok teşekkür ederim. Doğrudan veya dolaylı katkıları için Prof. Dr. Gülsen ÖNENGÜT'e, Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ'e, Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU'na, Prof. Dr. Aysel KAYIŐ TOPAKSU'ya teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım süresince daima desteğini gördüğüm Fehime Hayal GEÇİT'e ve birlikte çalıştığım Semra TÜRKÇAPAR'a teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimim süresince bir çok yönden destek ve katkılarını hissettiğim yüksek enerji fiziğı grubundaki arkadaşlarıma gösterdikleri dostluk için teşekkür ederim.

Hayatım boyunca daima yanımda olup her konuda desteklerini benden esirgemeyen anneme, babama ve abilerime teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca CERN'deki çalışmalarımı maddi olarak destekleyen TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu)'e çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	IX
1. Giriş	1
2. Önceki Çalışmalar.....	3
2.1. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı	3
2.2. CMS (Compact Müon Solenoid) Deneyi.....	6
2.2.1. SüperİletkenMıknatıs.....	7
2.2.2. İçİzleyiciSistem	8
2.2.3. ElektromanyetikKalorimetre (EKAL)	10
2.2.4. HadronikKalorimetre (HKAL)	13
2.2.4.1.Hadronik Fıçı (HB).....	14
2.2.4.2. Hadronik Kapak (HE).....	15
2.2.4.3.Hadronik Dış Kalorimetre (HO)	17
2.2.4.4. İleri Hadronik Kalorimetre (HF)	18
2.2.5.Müon Sistemi	19
3. MATERYAL VE METHOD	21
3.1. HO'nunGenelYapısı	21
3.1.1. SintilatörDöşemeler.....	25
3.1.2. Tabla	26
3.1.3. ÇokluÖrgü.....	27
3.2. HKAL'ninÖnUç Okuma ElektronikleriveVeriAlımı	28
3.2.1.Okuma Kutusu (RBX)	29
3.3. Foto Dedektörler	31

3.3.1. FotoDiyotlar	31
3.3.1.1. HibridFotoDiyot (HFD)	33
3.3.1.1.(1). HFD’lerdeFotoelektrikEtki.....	34
3.3.1.1.(2). HFD’lerinKazancı	35
3.3.2. Foto Çoğaltıcı Tüp (FÇT)’ler.....	35
3.3.3. Silikon Foto Çoğaltıcı Tüp (SiFÇ)’ler	37
3.3.3.1. SiFÇ’lerin Temel Özellikleri	39
3.3.3.1.(1). Sinyal Zaman Karakteristiği.....	39
3.3.3.1.(2). Kazanç	40
3.3.3.1.(3). Karanlık Oran ve Atım Sonrası.....	40
3.3.3.1.(4). Optik Karışım.....	41
3.3.3.2. SiFÇ’nin Yanıtı.....	41
3.3.3.2.(1). Foton Algılama Etkinliği.....	41
3.3.3.2.(2). Yanıt Fonksiyonu ve Dinamik Kapasite	42
3.3.3.3. Kalibrasyon ve Görüntüleme Sistemi	43
3.3.3.4. Yüksek Enerji Fiziği (YEF) DedektörlerindeSiFÇ’nin Kullanılması.....	43
3.3.3.5. SiFÇ’lerin Avantajları.....	44
3.4. HKAL Kalibrasyon Sistemi.....	44
3.4.1. LED	45
3.4.1.1. LED’lerin Genel Yapısı ve Özellikleri	46
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR	47
4.1. HO904 Test Düzenegi	47
4.1.1. Okuma Kutusu(RBX) Mekanizması.....	47
4.1.2. Okuma Modülü (RM) DeğişikliğiveVeriAlımı	48
4.2. SiFÇveKalibrasyon.....	49
4.3. HO904 KararlılıkTestlerinde LED Analizi	49
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 4.1. Kararlılık Testlerinde Kullanılan Uzun Veriler	50
Çizelge 4.2. 27 Kasım 2012 Tarihinde HO1M02'nin RBX'i İçin Alınan Uzun Veriler	51
Çizelge 4.3. 14 Şubat 2013 Tarihinde HO1M04'ün RBX'i İçin Alınan Uzun Veriler	54
Çizelge 4.4. 28 Mart 2013 Tarihinde HO1M04'ün RBX'i İçin Alınan Uzun Veriler	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 2.1.	BHÇ Halkası.....	5
Şekil 2.2.	BHÇ'deki Deneyler	6
Şekil 2.3.	CMS Dedektörü.....	7
Şekil 2.4.	Süper İletken Solenoid Mıknatıs	8
Şekil 2.5.	İzleyicideki Şerit Dedektörler.....	10
Şekil 2.6.	Kurşun Tungstant Kristalleri	11
Şekil 2.7.	EKAL'ın Geometrik Konfigürasyonunu Gösteren Enine Bir Kesit.....	12
Şekil 2.8.	Yapım Aşamasındaki Elektromanyetik Kalorimetrenin Fıçı Kısmı.....	13
Şekil 2.9.	Hadronik Kalorimetre	14
Şekil 2.10.	Hadronik Fıçı.....	15
Şekil 2.11.	Hadronik Kapak.....	16
Şekil 2.12.	HO Katmanları	18
Şekil 2.13.	İleri Hadronik Kalorimetre	19
Şekil 2.14.	Müon Sistemi	20
Şekil 3.1.	HO Katmanlarının Yandan ve Enine Görünümü	22
Şekil 3.2.	CMS Dedektörünün Bir Çeyreği (1/4'ü)	23
Şekil 3.3.	Döşemeler ve WLS fiberlerine karşılık gelen kanallarla birlikte HO tablasının şematik görünümü. Her optik (4 WLS fiber) döşeme, HB kulesi ile eşleştirilmiştir. Tabladan gelen optik fiberler foto dedektörler ve ön uç elektroniklerden oluşan okuma kutularına yönlendirilmiştir.....	24
Şekil 3.4.	HO Sintilatör Döşemesi.....	25
Şekil 3.5.	HO Tablasının Enine Kesiti.....	26
Şekil 3.6.	Çoklu Örgü	27
Şekil 3.7.	RM.....	30
Şekil 3.8.	Kontrol Kartı.....	30
Şekil 3.9.	Işık Karıştırıcı.	31

Şekil 3.10. Foto Diyotun Aydınlatma Penceresi.....	32
Şekil 3.11. HFD, kule demetlerindeki fiberleri okuyan okuma kutusunun içindedir. Fiber demetlerinin HFD'nin ön yüzüneiletimini sağlayan plastik disk yaylı yapıdadır.....	33
Şekil 3.12. HFD'nin Kesiti	34
Şekil 3.13. Vakum Tüp içindeFÇT Kesiti	36
Şekil 3.14. Çeşitli FÇT'ler.....	37
Şekil 3.15. Piksel Yapısı.....	38
Şekil 3.16. Montaj Kartı	39
Şekil 3.17. Farklı Üreticilerden SiFÇ İçin Foto Yayınım Spektrumları.....	42
Şekil 3.18. Mavi LED Kaynağı	45
Şekil 3.19. LED'in İç İşleyişi	46
Şekil 4.1. HO1M02 RBX'i ve RM'ler (Soldan sağa: RM1, RM 2, RM 3, RM 4).	47
Şekil 4.2. HO1M04 RBX'i ve RM'ler (Soldan sağa: RM 5,RM 6, RM 7, RM 8).	48
Şekil 4.3. RBX sisteminin soğutucu ünitesi	48
Şekil 4.4. 27 Kasım 2012 tarihi için referans verisinin sıcaklık grafiği	51
Şekil 4.5.a. HO1M02 RBX'deki RM 2'nin özet grafiği.....	52
Şekil 4.5.b. HO1M02 RBX'deki RM 3'ün özet grafiği.....	52
Şekil 4.5.c. HO1M02 RBX'deki RM 4'ün özet grafiği.....	53
Şekil 4.6. 14 Şubat 2013 tarihi için referans verisinin sıcaklık grafiği.....	55
Şekil 4.7.a. HO1M04'ün RBX'indeki RM 6'nın özet grafiği	55
Şekil 4.7.b. HO1M04'ün RBX'indeki RM 7'nin özet grafiği.....	56
Şekil 4.7.c. HO1M04'ün RBX'indeki RM 8'in özet grafiği.....	56
Şekil 4.8. 28 Mart 2013 tarihi için referans verisinin sıcaklık grafiği	58
Şekil 4.9.a. HO1M04'ün RBX'indeki RM 6'nın özet grafiği.....	58
Şekil 4.9.b. HO1M04'ün RBX'indeki RM 7'in özet grafiği.....	59
Şekil 4.9.c. HO1M04'ün RBX'indeki RM 8'in özet grafiği.....	59
Şekil 4.10. HO1M04'ün RBX'indeki RM 8'in özet grafiği.....	61

SİMGELER VE KISALTMALAR

CERN	: Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
SM	: Standart Model
SÜSİ	: Süper Sİmetri
BHÇ	: Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
LEP	: Büyük Elektron Pozitron Çarpıştırıcısı
LINAC	: Doğrusal Hızlandırıcı
CMS	: Sıkı Müon Solenoid
ATLAS	: Büyük Toroidal Detektör
ALICE	: Büyük İyon Çarpıştırma Deneyi
LHCb	: LHC b Fiziği Deneyi
LHCf	: LHC İleri Deneyi
TOTEM	: Toplam Elastik ve Difraktif Tesir Kesit Ölçümü
EKAL	: Elektromanyetik Kalorimetre
EE	: Elektromanyetik Kapak
EB	: Elektromanyetik Fıçı
HKAL	: Hadronik Kalorimetre
HB	: Hadronik Fıçı
HE	: Hadronik Kapak
HO	: Hadronik Dış
HF	: İleri Hadronik Kalorimetre
HAD	: Hadronik
EM	: Elektromanyetik
LED	: Işık Yayan Diyot
FÇT	: Foto Çoğaltıcı Tüp
APD	: Çığ Foto Diyot
HV	: Yüksek Voltaj
HTR	: Hadronik Tetikleme Bölgesi
HFD	: Hibrid Foto Diyot
MHz	: MegaHertz

ODU	: Optik Kod Çözücü Birimi
PIN	: Çıĝ Silikon Diyot
SiFÇ	: Silikon Foto Çoĝaltıcı Tüp
RM	: Okuma Modülü
RBX	: Okuma Kutusu
VPT	: Foto Triot
YB	: Dönüş Boyunduruk Fıçısı
WLS	: Dalga Boyu Kaydırıcı Fiber
TeV	: Trilyon Elektron Volt
L	: Işıklık
QIE	: Yük Toplayıcı Kodlayıcı
η	: Psüdo rapidite
\sqrt{s}	: Kütle Merkezi Enerjisi

1. GİRİŞ

Yüksek Enerji Fiziği (YEF) temel parçacıklar ve bu parçacıklar arasındaki etkileşimleri araştıran bir çalışma alanıdır. Atom altı parçacıkların ömürleri çok kısa olduğundan düşük enerjili deneylerde gözlenemezler. Temel parçacıkların yapısını inceleyebilmek için yüksek enerjilere gereksinim duyulmaktadır. Parçacıkları yüksek enerjilerde çarpıtmak için hızlandırıcılara, parçacıkların özelliklerini anlayabilmek için ise dedektörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla, parçacık hızlandırıcısı adı verilen dev düzenekler tasarlanmıştır. Hızlandırıcılarda, yüksek elektrik alan etkisi ile hızlandırılan parçacıklar, uygun manyetik alan ile odaklanarak sabit hedeflere ya da birbirleriyle kafa kafaya çarpıştırılmakta ve çarpışmalar sonucunda ortaya çıkan parçacıklar araştırılmaktadır. Böylece büyük patlamadan bu yana evrenin evrimi ve maddenin temel yapısı konusunda merak edilen sorular yanıt bulmaktadır.

Doğadaki parçacıkları gruplandırmak ve aralarındaki etkileşimleri incelemek için Standart Model (SM) denilen bir kuram geliştirilmiştir. Büyük Patlamadan bu yana evrenin hangi evrelerden geçtiği ve maddenin temel yapısında nelerin olduğu deneysel olarak dünyanın bir çok yerinde bulunan parçacık hızlandırıcı laboratuvarlarında merakla araştırılmaktadır. Bugün dünyanın en büyük parçacık hızlandırıcı laboratuvarı 1954 yılında kurulan ve İsviçre ve Fransa sınırını içine alan CERN (Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi) dir. CERN'ü dünyanın en büyük hızlandırıcı merkezi yapan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ)'dir. BHÇ'de ulaşılan ve ulaşılmaya hedeflenen yüksek enerjilere daha önce hiçbir hızlandırıcı ile erişilememiştir.

BHÇ, ilk kez 10 Eylül 2008'de çalışmaya başlamış fakat süper iletken miktatsızlamaya gelen problemler nedeni ile 19 Eylül 2008'de işlemini durdurulmuştur. Teknik arızaların giderilmesinden sonra 21 Ekim 2009'da proton-proton(p-p) çarpışmaları için tekrar çalışmaya başlayan hızlandırıcının toplam hüzmeye enerjisi hedeflenen 14 TeV'e ulaşmak için yavaş yavaş artırılmaktadır. BHÇ'de hem p-p hem de ağır iyonlar (Kurşun-Kurşun (Pb - Pb)) çarpıştırılmaktadır.

İlk ağır iyon çarpışmaları 8 Kasım 2010'da çekirdek çifti başına $\sqrt{s} = 2.26 \text{ TeV}$ 'lik Pb - Pb çarpışmaları ile başlamıştır. 30 Mart 2012'de her biri 3.5TeV kütle merkezi enerjisine sahip p - p hüzmeleri birbirleriyle çarpıştırıldıktan sonra, toplam 7 TeV'lik deneysel periyodun tamamlanmasının ardından 5 Nisan 2012 tarihinden itibaren toplam enerji 8 TeV'e ulaşmış ve veri alımına 2012 yılının sonlarında ara verilmiştir. BHÇ halkası ve üzerinde bulunan deneylerin dedektörleri için gerek duyulan yenilenme ve iyileştirme çalışmalarının 2015 yılına kadar tamamlanması planlanmaktadır.

Bu tez CERN'deki CMS deneyinin hadronik kalorimetre (HKAL)'sinin alt dedektörlerinden olan hadronik dış kalorimetre (HO)'deki sinyallerin varlanması için kullanılan Hibrid Foto Diyotlar (HFD)'lerin Silikon Foto Çoğaltıcı (SiFÇ)'lar ile değiştirilmesi konusunda yapılan çalışmaların bir bölümünü içermektedir. Tezin önceki çalışmalar kısmında, CMS dedektörü hakkında kısa bilgi verilmiştir. HO'nun tasarımı ile ilgili ayrıntılar, HO'da foto dedektör olarak kullanılan mevcut HFD'ler ve HFD'lerin görevini üstlenecek olan SiFÇ'ler tezin materyal ve metod kısmında tartışılmıştır. Araştırma bulgular kısmında ise kullanılması planlanan SiFÇ'lerin kararlılık testi ile ilgili genel bilgiler, test düzeneğinden alınan veriler ve bu veriler kullanılarak yapılan analizler bulunmaktadır. SiFÇlerle ilgili yorumlar tezin sonuç ve öneriler kısmında özetlenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ)

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ), CERN'deki hızlandırıcı kompleksinin en büyük çaplı (3.8 m) tünelindedir. İsviçre – Fransa sınırında dairesel bir yol üzerinde yerin yaklaşık 100 m altında bulunan BHÇ'nin çevresi 27 km dir. Daha önce elektron-pozitronların çarpıştırıldığı Büyük Elektron Pozitron (LEP) çarpıştırıcısı olarak bilinen hızlandırıcı hadron ve ağır iyon çarpışmaları için yeniden yapılandırılmıştır. BHÇ'de hem proton-proton (p-p) hem de ağır iyonlar (kurşun-kurşun) hızlandırılmakta ve çarpıştırıcı halka üzerinde bulunan dedektörlerde birbirleri ile kafa kafaya gelecek biçimde çarpıştırılmaktadır. BHÇ'nin p-p çarpışmaları için toplam 14 TeV 'lik kütle merkezi enerjisinde $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ışıklılık, kurşun-kurşun (Pb - Pb) çarpışmaları için $\sqrt{s} = 5.5 \text{ TeV}$ 'lik toplam enerji ve $L = 10^{27} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ışıklılığa ulaşılması planlanmaktadır. BHÇ çarpışmalarında saniyede üretilen olay sayısı $N_{olay} = L\sigma_{olay}$ ile verilmektedir. Burada σ_{olay} çarpışmanın olay tesir kesiti, L ise çarpıştırıcı makinenin ışıklılığıdır. Makinenin ışıklılığı sadece hüzme parametrelerine bağlıdır ve hüzme Gaussian dağılım gösteriyorsa ışıklılık aşağıda verilen denklemlerle tanımlanır.

$$L = \frac{N_b^2 n_b f_{dönme} \gamma_r}{4\pi \epsilon_n \beta^*} F$$

N_b her demetteki (bunch) parçacık sayısı, n_b hüzme başına demet sayısı, $f_{dönme}$ dönme frekansı, γ_r rölativistik gama faktörü, ϵ_n normlanmış dik hüzme yayma gücü, β^* çarpışma noktasındaki beta fonksiyonu, F etkileşim noktasındaki geçiş açısından dolayı geometrik ışıklılıktaki azalmadır (TDR, 2008).

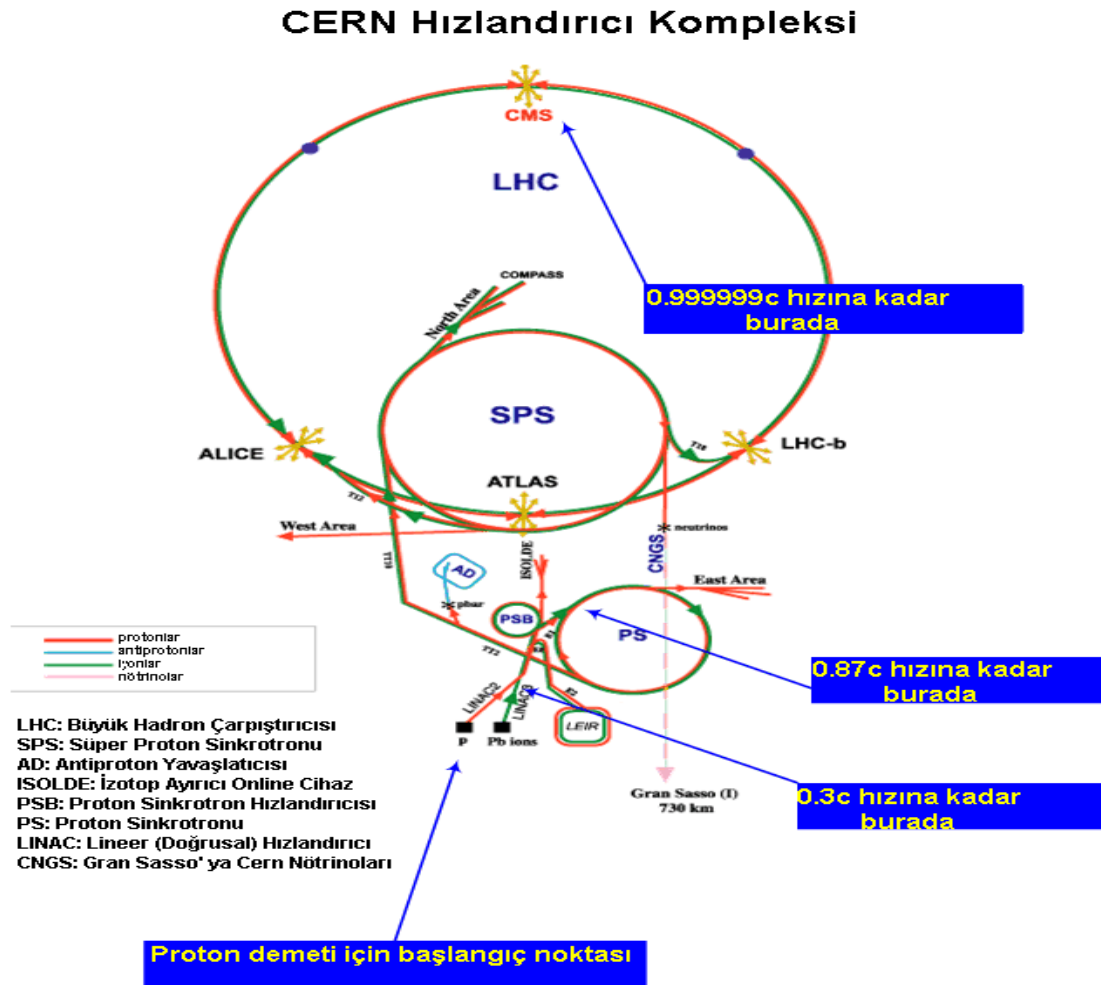
Süper iletken ve soğutma teknolojisinin uygulandığı BHÇ'de çarpışan parçacıkların enerjileri gittikçe arttırılmaktadır. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi hem

protonlar hem de kurşun iyonları istenilen toplam kütle merkezi enerjisi ve ışıklılığına eriştiklerinde hızları ışık hızına yaklaşacaktır. BHÇ her bölümünde 154 çift kutuplu ve 54 tane dört kutuplu süper iletken elektro mıknatısın bulunduğu sekiz bölümden oluşmuştur. Çift kutuplu elektro mıknatısların görevi parçacık demetlerini vakum tüp içinde yörüngede tutmaktır. Bu demetler dört kutuplu elektro mıknatıslarla odaklanmaktadır.

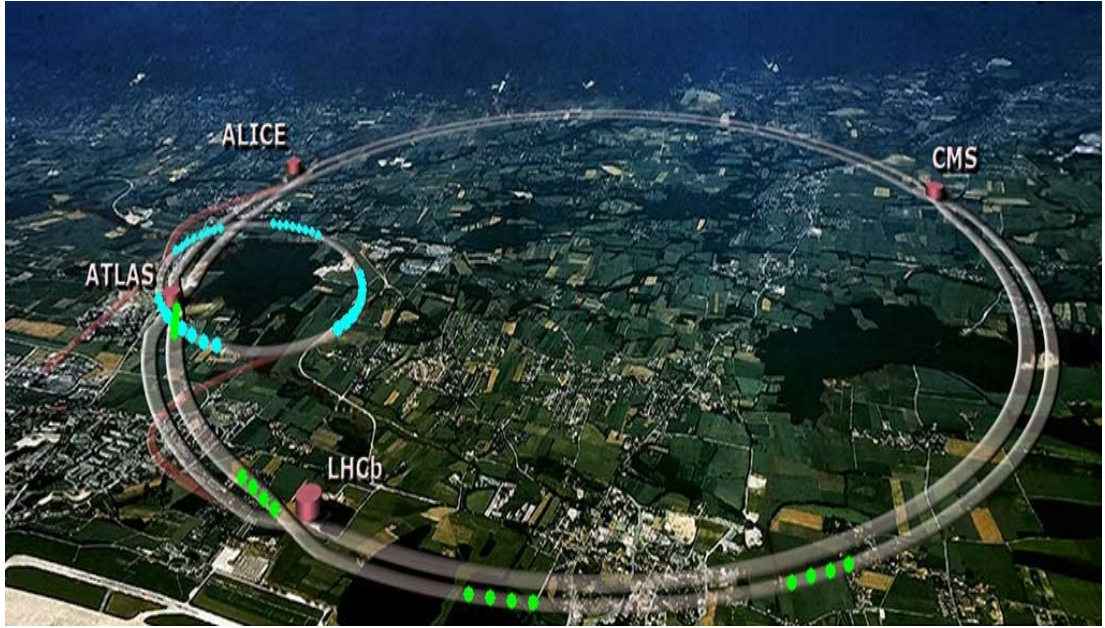
BHÇ'nin iki farklı halkasında birbirlerine zıt yönde hareket eden parçacıklar çok yüksek vakumlu tüp içindedir. Bu parçacıklar, süper iletken mıknatısların oluşturduğu güçlü manyetik alanlarla hızlandırıcı halkada yönlenmektedir. Hızlandırıcı, mıknatısı soğutan bir sıvı helyum dağıtım sistemine bağlanmıştır ve mıknatıs -271°C civarında soğutulmaktadır. Bu değer mutlak sıfırın sadece 2 derece üzerindedir. BHÇ halkasında parçacık hüzmelerini bükme için 15 m uzunluğunda 1232 tane dipol mıknatıs ve parçacıkları odaklamak için her biri 5-7 m uzunluğunda olan 392 tane kuadropol mıknatıs kullanılmıştır (<http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/HowLHC-en.html>). İki proton demeti dört deney noktasında birbirleriyle yaklaşık 40 MHz'de çarpıştırılmaktadır.

BHÇ üzerinde CMS (Compact Muon Solenoid - Sıkı Müon Solenoidi), ATLAS (A Torodial LHC ApparatuS - Büyük Toroidal Dedektör), ALICE (A Large Ion Collider Experiment - Büyük İyon Çarpıştırma Deneyi), LHCb (A Large Hadron Collider beauty - LHC b Fiziği Deneyi), TOTEM (TOTAl Elastic and diffractive cross section Measurement – Toplam elastik ve difraktif tesir kesiti ölçümü) ve LHCf (Large Hadron Collider forward - İleri Büyük Hadron Çarpıştırıcı) olmak üzere altı deney bulunmaktadır. Bu deneylerden CMS ve ATLAS'ın dedektörleri diğer deneylerin dedektörlerinden daha büyüktür. İki deney de aynı fizik problemlerini araştırmak üzere tasarlanan genel amaçlı dedektörlere sahiptir. Orta büyüklükteki ALICE ve LHCb deneyleri sırasıyla maddenin kuark-gluon plazma yapısı ve b kuarkı araştırmaları gibi ilginç fizik konularını incelemektedir. TOTEM ve LHCf ise daha küçük ölçekli deneyler olup ileri yöndeki parçacıkları (protonlar ve ağır iyonlar) araştırmaktadır. (<http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/LHCExperiments-en.html>).

BHÇ deneyleri öncelikle Higgs mekanizmasının sorumlu olduğu elektrozayıf simetri kırınımının doğasını açıklamayı hedeflemektedir (TDR 2008). Ayrıca deneyler Higgs araştırmalarının dışında Süpersimetrik (SÜSİ) parçacıklar, ekstra boyutlar, B fiziği araştırmaları, CP (yük-parite, madde-anti madde asimetrisi) kırınımı ve diğer ilginç fizik konularına da bakmaktadır. BHÇ'nin ağır-iyon programında ise kurşun-kurşun hüzmeleri çarpıştırılmaktadır. ALICE, ATLAS ve CMS dedektörleri kullanılarak ağır iyon fiziği araştırmaları da yapılmaktadır. Bu deneyler büyük patlamadan sonra ortaya çıktığı düşünülen maddenin Kuark Gluon Plazma (KGP)'nin yapısını anlamaya çalışmaktadır. BHÇ halkası üzerindeki dört büyük deneyin konumları Şekil 2.2'de verilmiştir.



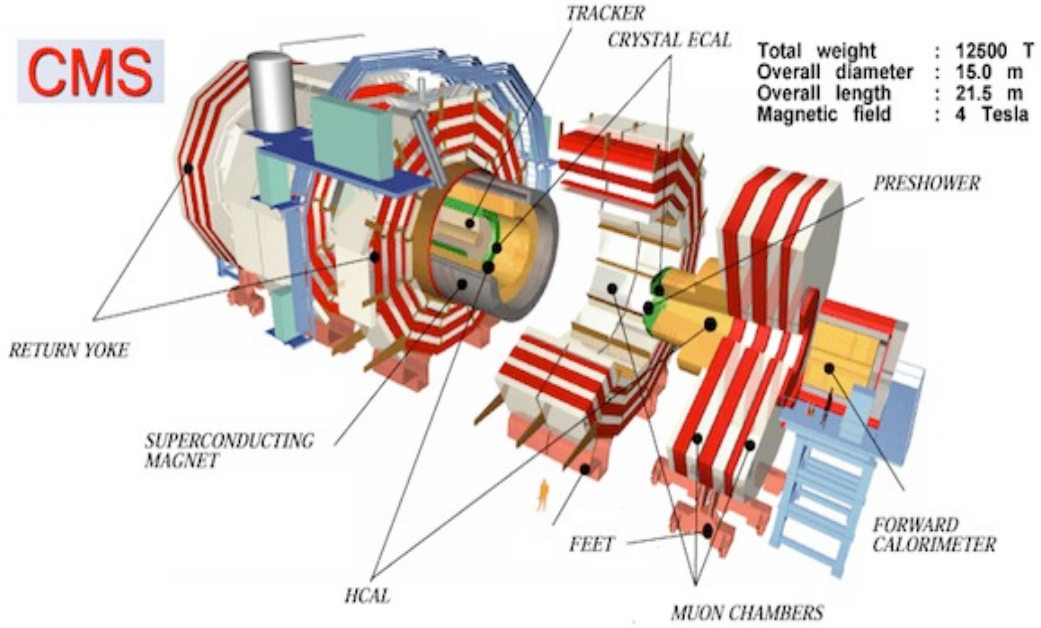
Şekil 2.1. BHÇ Halkası (<http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/images/complex/Cern-complex.gif>).



Şekil 2.2. BHÇ'deki Dört Büyük Deney
(<http://scienceblogs.com/startswithabang/2011/12/13/the-large-hadron-collider-the/>).

2.2. CMS (Compact Müon Solenoid) Deneyi

CMS deneyi, 14 TeV'lik kütle merkezi enerjisinde proton-proton ($p-p$) ve 5.5 TeV'lik kütle merkezi enerjisinde ise kurşun-kurşun ($Pb-Pb$) çarpışmaları için tasarlanmıştır. Dedektör 21.5 m uzunluğunda, 15 m çapında, **14500** ton ağırlığında olup soğansız bir yapıya ve silindirik geometriye sahiptir. Dedektör parçacıkları yakalamak, enerji ve momentumlarını ölçmek için parçacıkların farklı özelliklerini tespit etmeyi sağlayan materyal tabakalarından oluşmuştur (<http://cms.web.cern.ch/news/cms-detector-design>). CMS'in alt dedektörleri; silikon tabanlı izleyici dedektör, kristal elektromanyetik kalorimetre, süper iletken solenoid mıknatıs, hadronik kalorimetre ve müon odacıklarıdır. Şekil 2.3'te CMS dedektörü gösterilmektedir.



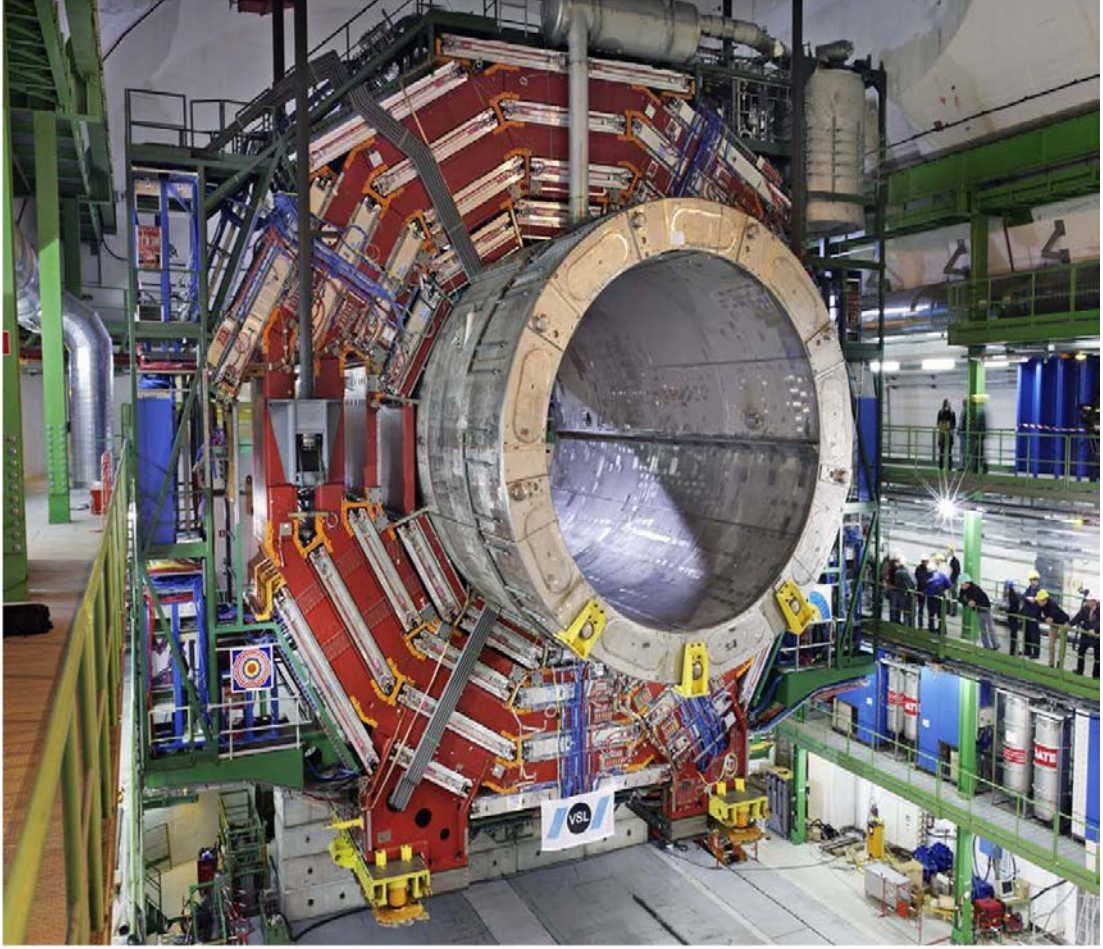
Şekil 2.3. CMS Dedektörü

(http://readwrite.com/2012/02/09/hangout_with_the_scientists_looking_for_the_god_particle).

2.2.1. Süper İletken Mıknatıs

Dedektörler tasarlanırken müon momentumunu doğru olarak ölçebilen manyetik alanın seçilmesi gerekir. Yüksek enerjili yüklü parçacık momentumunun kesin olarak ölçülmesi için manyetik alanın parçacıkları bükerek güce sahip olması gerekir. Bu gereksinim CMS’de süper iletken solenoid mıknatıs kullanılarak giderilmiştir (TDR, 2008).

CMS’nin merkezine yerleştirilmiş olan ve 4 T’lık manyetik alan sağlayan süper iletken solenoid mıknatıs 12.5 m uzunluğunda ve 6 m çapındadır. Mıknatıs bobin, oyuğu içine iç izleyici ve kalorimetreleri alacak genişliktedir. Şekil 2.4’de gösterilen mıknatıs şimdiye kadar inşa edilen en büyük süper iletken solenoid olup ağırlığı 220 ton dur.



Şekil 2.4. Süper İletken Solenoid Mıknatıs

(http://irfu.cea.fr/en/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast_visu.php?id_ast=3011).

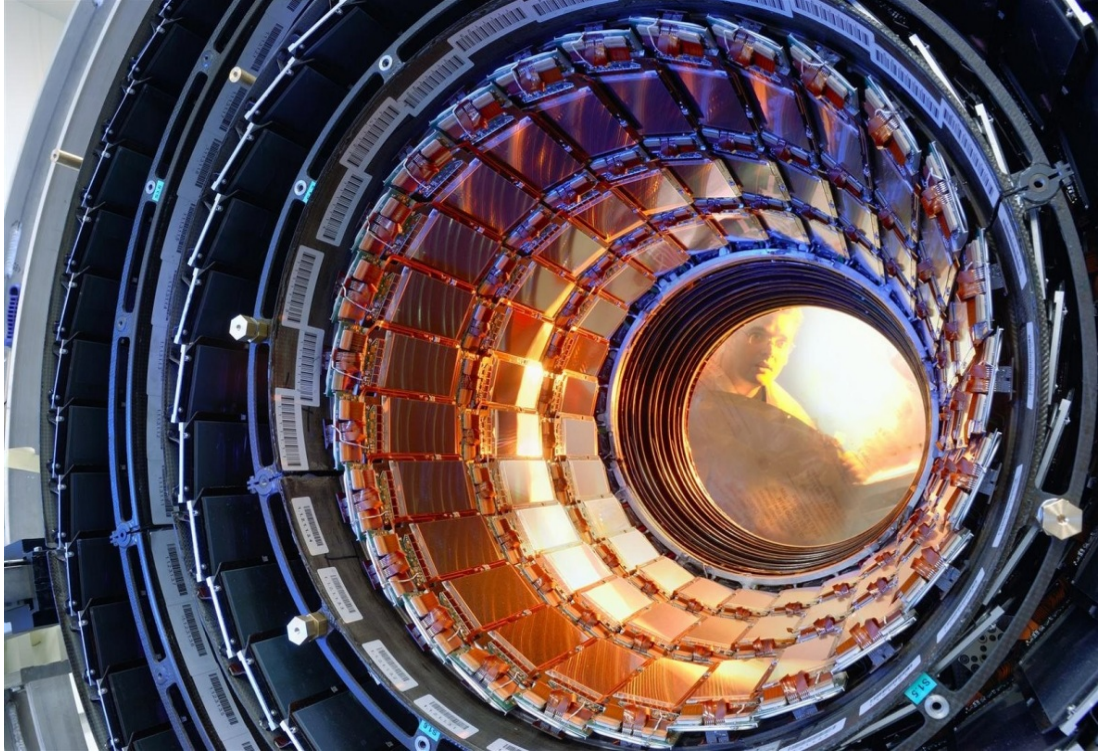
2.2.2. İç İzleyici Sistem

Hüzme borusuna en yakın alt dedektör olan iç izleyici parçacıkların çarpışması sonucunda oluşan yüklü parçacıkların yönlerini bulmaktadır (TDR, 2008). İzleyici yüksek enerjili müon, elektron veya kuarkların bir araya gelmesinden oluşan hadronların yollarını yeniden yapılandırmayı sağlar. Ayrıca b (güzel veya alt) kuarkı gibi madde - anti madde arasındaki farkı açıklamayı sağlayan çok kısa ömürlü parçacıkların bozunmasıyla ortaya çıkan izleri belirlemektedir.

CMS'deki izleyici sistem, etkileşme noktasında birbirleri ile kafa kafaya çarpıştıktan sonra zıt yönlerde doğru giden yüklü parçacıkların bıraktıkları izleri hassas ve doğru bir biçimde belirlemek, parçacıkların etkileşme köşelerini bulmak ve

parçacıkların momentumlarını ölçmek üzere tasarlanmıştır. Bu nedenle izleyici etkileşme noktasının çok yakınına yerleştirilmiştir. Parçacıkların momentumu parçacıkların manyetik alan boyunca izledikleri yol takip edilerek bulunabilir (<http://cms.web.cern.ch/news/tracker-detector>). CMS’de yüksek iz çözünürlüğü elde etmek ve gerekli hassaslığı sağlamak için izleyici sistemde silikon piksel ve silikon mikro şerit dedektörleri kullanılmaktadır. Yüksek iz çözünürlüğü silikon mikro şerit dedektörlerle sağlanmaktadır. Bu dedektörlerin istenilen taneciklilik ve hassasiyeti için gereklidir. Piksel dedektörler ise yüklü parçacık izlerinin vuruş parametresi ölçümünü iyileştirmek için kullanılmaktadır (TDR, 2008).

CMS deneyindeki iç izleyici sistem 5.8 m uzunluğunda, 2.5 m çapındadır ve $|\eta| < 2.5$ psüдорapidite aralığını kapsamaktadır. Solenoid mıknatıs tüm izleyici hacmi üzerinden 4 T’lık homojen bir manyetik alan sağlamaktadır. İz yoğunluğu yarıçap arttıkça hızla azalmaktadır. Bu nedenle **65 M** silikon piksel dedektör etkileşme bölgesinin çok yakınına yerleştirilmiştir ve **210 m²**’lik silikon mikro şerit dedektör ile kuşatılmıştır. Piksel dedektörler yarıçapları **4.4 cm**, **7 cm** ve **10.2 cm** arasında değişen üç silindirik katmandan, silikon şerit izleyiciler ise dışa doğru 1.1 m kadar genişleyen on katmanlı bir silindirden oluşmuştur. Tüm piksel dedektör sistemi **1440** dedektör modülünden meydana gelmiştir. Silikon şerit dedektör sisteminde 15148 modül bulunmaktadır (TDR, 2008). İzleyicideki şerit dedektörler Şekil 2.5’de gösterilmektedir.



Şekil 2.5. İzleyicideki Şerit Dedektörler

(http://onlyhdwallpapers.com/wallpaper/cern_large_hadron_collider_particle_accelerator_compact_muon_desktop_1600x1071_hd-wallpaper-785734.jpg)

2.2.3. Elektromanyetik Kalorimetre (EKAL)

Higgs bozonu ve SM ötesi diğer yeni fizik araştırmaları için, CMS deneyi çarpışmalar sonucunda ortaya çıkan parçacıkların özellikle de elektron ve fotonların enerjilerini belirlemekle yükümlüdür. Elektromanyetik etkileşme yapan bu parçacıkların enerjileri elektromanyetik kalorimetreler kullanılarak ölçülmektedir. Yüksek manyetik alan, yüksek radyasyon seviyeleri, çarpışmaların arasında sadece 25 ns olması gibi BHÇ'deki zorlu koşullar dedektörlerin özel materyallerden yapılmasını zorunlu kılar (<http://cms.web.cern.ch/news/electromagnetic-calorimeter>).

CMS deneyinde kullanılan elektromanyetik kalorimetre (EKAL) bir fiç ve iki kapak bölgesinden oluşmuştur. EKAL'de aktif materyal olarak yüksek yoğunluklu (8.28g/cm^3), kısa radyasyon uzunluğuna (0.89 cm) ve küçük Moliere yarıçapına (2.2 cm) sahip olan kurşun tungstant (PbWO_4) kristalleri kullanılmaktadır. EKAL

hermitik ve homojen yapıda olup fiçı kısmında 61200 adet, her iki kapak kısmında ise 7324 adet $PbWO_4$ kristali kullanılmıştır. Şekil 2.6'da $PbWO_4$ kristalleri gösterilmektedir. Hızlı ve radyasyona dayanıklı olan kristaller EKAL'in enerji çözünürlüğünü artırmaktadır.

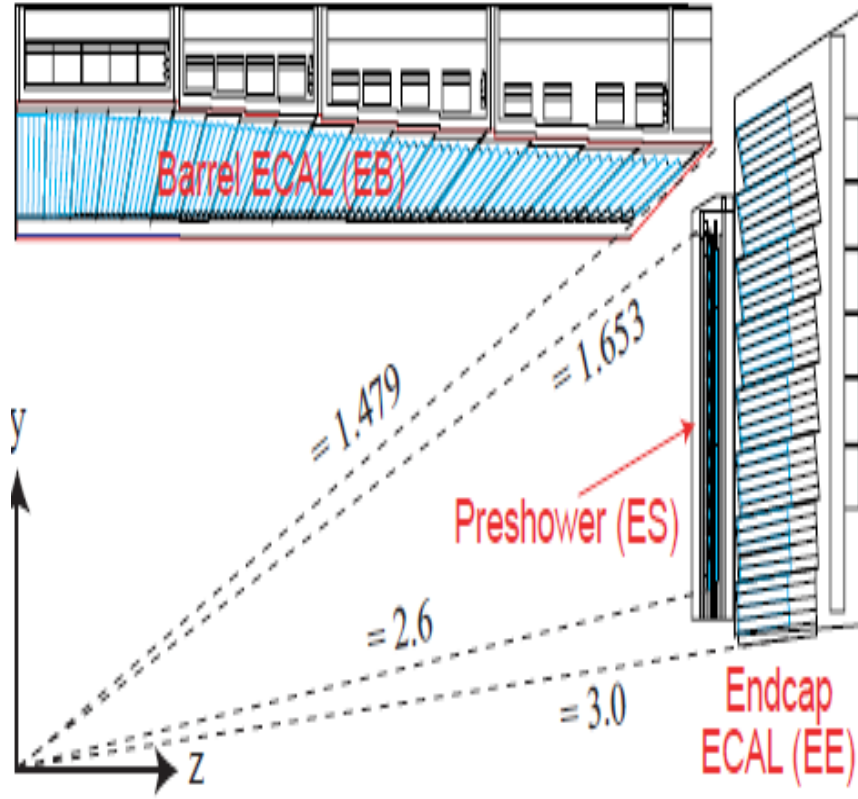


Şekil 2.6. Kurşun Tungstant Kristalleri
(<http://cms.web.cern.ch/news/electromagnetic-calorimeter>).

Kristallerin oksijen ile temas etmesi kristalin saydamlaşmasına, elektron ve fotonların geçişi sırasında kristallerde ışıldamalara neden olur. Bunun sonucunda parçacığın enerjisi ile orantılı bir ışık oluşur. Her kristalin arkasına, yüksek manyetik alana karşı dayanıklı olan ve sintilasyon ışığını algılayarak bu ışığı elektrik sinyaline dönüştüren foto dedektörler yerleştirilmiştir (<http://cms.web.cern.ch/news/electromagnetic-calorimeter>).

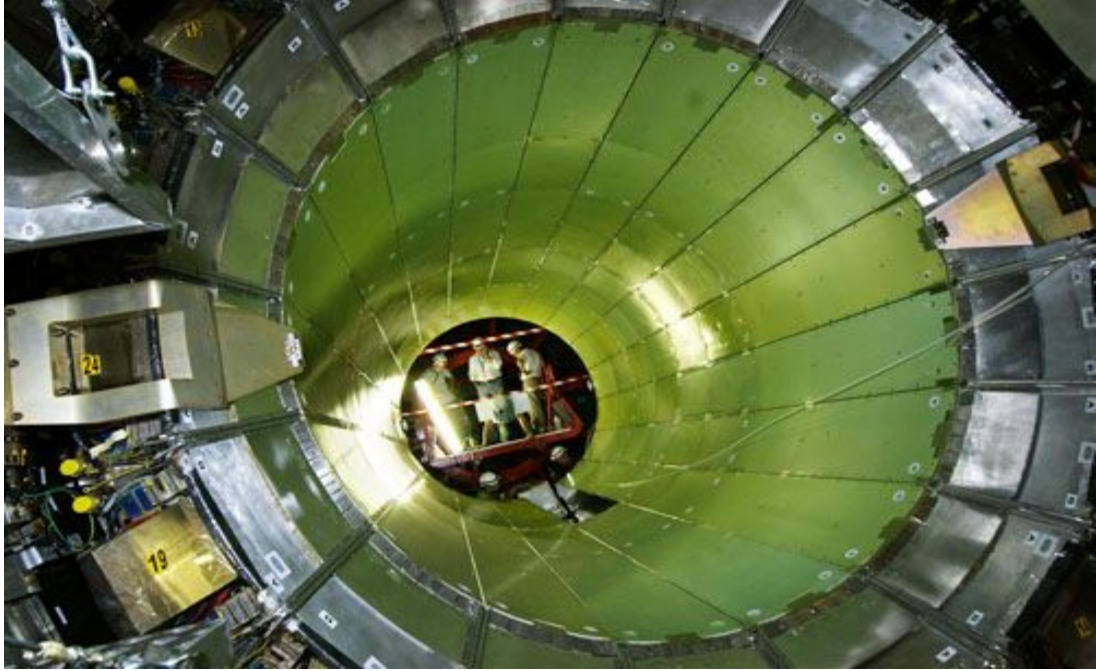
EKAL bir fiçı ve bu fiçiyi kapatan iki uç kapak modülünden oluşmuştur. Fiçı bölgesi $|\eta|=1.48$ pseudorapidite aralığını kapsamaktadır. Kapak bölgeleri $|\eta|<3.0$ aralığına kadar uzanmaktadır. Sintilasyon ışığı, fiçı bölgesinde (EB) çığ foto diyot

(APD)'lar, uç kapak bölgesinde (EE) ise vakum foto triot (VPTs)'lar kullanılarak varlanır. EKAL'in şematik bir görünümü Şekil 2.7'de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. EKAL'in Geometrik Konfigürasyonunu Gösteren Enine Bir Kesit.

Kısa ömürlü yüksüz pionlar parçacık çarpışmaları sonucu ortaya çıkar ve bu pionlar iki düşük enerjili fotona bozunurken yüksek enerjili fotonlar gibi davranış gösterebilir. Bundan dolayı uç kapakların önüne bir ön duş dedektörü yerleştirilmiştir. Ön duş dedektörlerinin amacı yüksüz pionları tespit etmektir (<http://cms.web.cern.ch/news/ecal-preshower>). Şekil 2.8'de EKAL'in fiçi kısmının bir kesiti verilmiştir



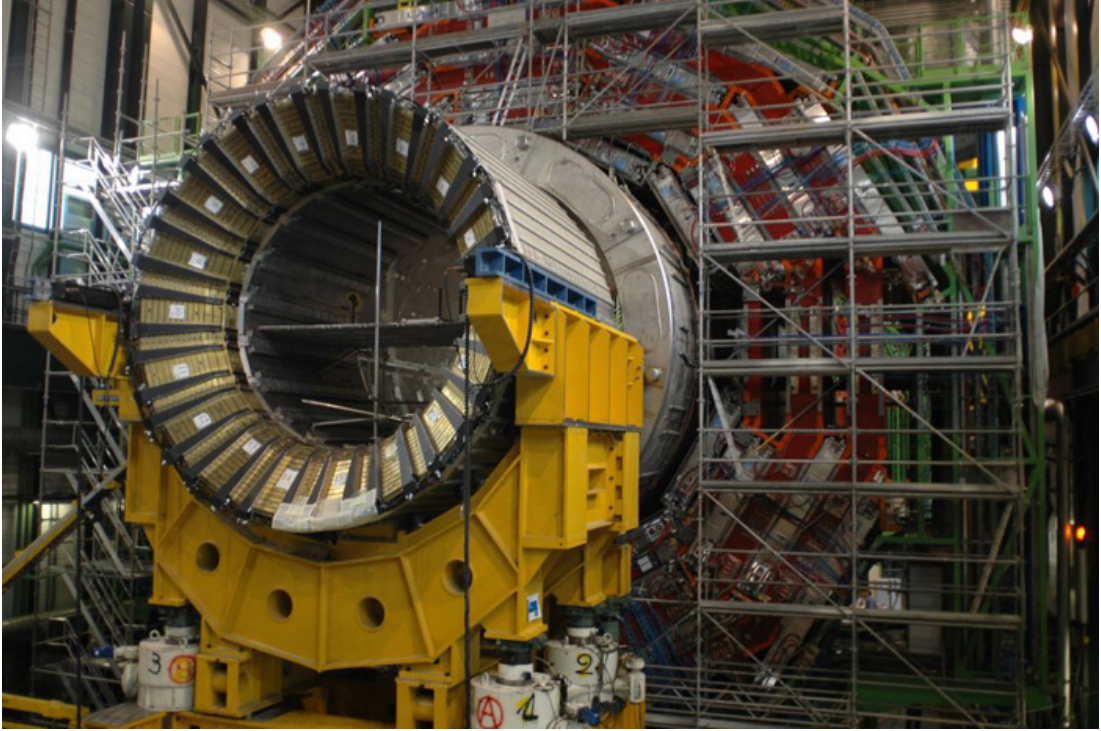
Şekil 2.8. Yapım Aşamasında Elektromanyetik Kalorimetrenin Fıçı Kısımını
(<http://cms.web.cern.ch/news/electromagnetic-calorimeter>).

2.2.4. Hadronik Kalorimetre (HKAL)

Hadronik kalorimetre (HKAL) kuark ve gluonlardan oluşan hadronların (proton, nötron, pion, kaonlar...) dedektörde bıraktığı enerjiyi ölçer. HKAL, EKAL'in alt dedektörleri ile birlikte hadron jetlerinin ve kayıp dik enerjilerle sonuçlanan egzotik parçacıkların ölçülmesi için tasarlanan birleşik bir kalorimetre sistemidir. Bu ölçümler kuark ve gluonların SÜSİ eşleri gibi yeni parçacıkların varlanmasında etkilidir. Ayrıca geniş bir kütle aralığında Higgs bozonu araştırmalarında önemli rol oynamaktadır.

Hadronik kalorimetre bir örnekleme kalorimetre olup parçacıkların yerini, enerjisini ve varış zamanlarını belirlenmek için kullanılmaktadır. Bunun içinde kalorimetrelerde soğurucu tabakalar ve sintilatör materyaller kullanılmıştır. Sintilatör materyaller, parçacık geçtiği esnada ani bir ışık atımı (pulsu) üretir. Özel optik fiberler, oluşan bu ışığı sinyallerin güçlendirildiği foto dedektörlerdeki okuma kutuları içinde toplar ve çoğaltır. Belirlenen bölgede, kuleler üzerinden toplanan ışık miktarı parçacığın enerjisidir (<http://cms.web.cern.ch/news/hadron-calorimeter>).

CMS deneyindeki HKAL, Hadronik Fıçı (HB), Hadronik Kapak (HE), İleri Hadronik Kalorimetre (HF) ve Hadronik Dış Kalorimetre (HO) olmak üzere dört alt dedektörden oluşmuştur. HKAL'in yapımı esnasındaki görünümü Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Hadronik Kalorimetre

(<http://www.fnal.gov/pub/today/images/images06/CMS6.jpg>).

2.2.4.1. Hadronik Fıçı (HB)

4 T'lık manyetik alan sağlayan solenoid mıknatısın içinde, hüzmeye borusunu saracak biçimde, en içte izleyici dedektör onu saran EKAL ve daha sonra HKAL dedektörleri bulunmaktadır. HKAL'in HB'si $|\eta| < 1.3$ psüdo-rapidity aralığını kapsamaktadır. HB+ ve HB- olmak üzere iki yarım modülden oluşan HB modüllerinden biri Şekil 2.10'da gösterilmektedir. HB'de sinyaller fiber optikler aracılığı ile varlanırlar.

Kalorimetrede fiber optikler kullanılarak alınan ışık sinyalleri, üzerlerine düşen ışığı elektrik akımına dönüştüren Hibrid Foto Diyot (HFD)'lara iletmektedir.

HFD'lerden gelen bu elektrik sinyalleri, yük toplayıcı kodlayıcı (QIE)'lar aracılığı ile sayısal sinyale dönüşür. Bu sinyaller daha sonra ön uç elektroniklerdeki veri akış alımından sorumlu olan hadronik tetikleme bölgesi (HTR) kartına iletilir. HTR kartı farklı türdeki verileri işleyerek bu verileri diğer sistemlere iletmektedir.

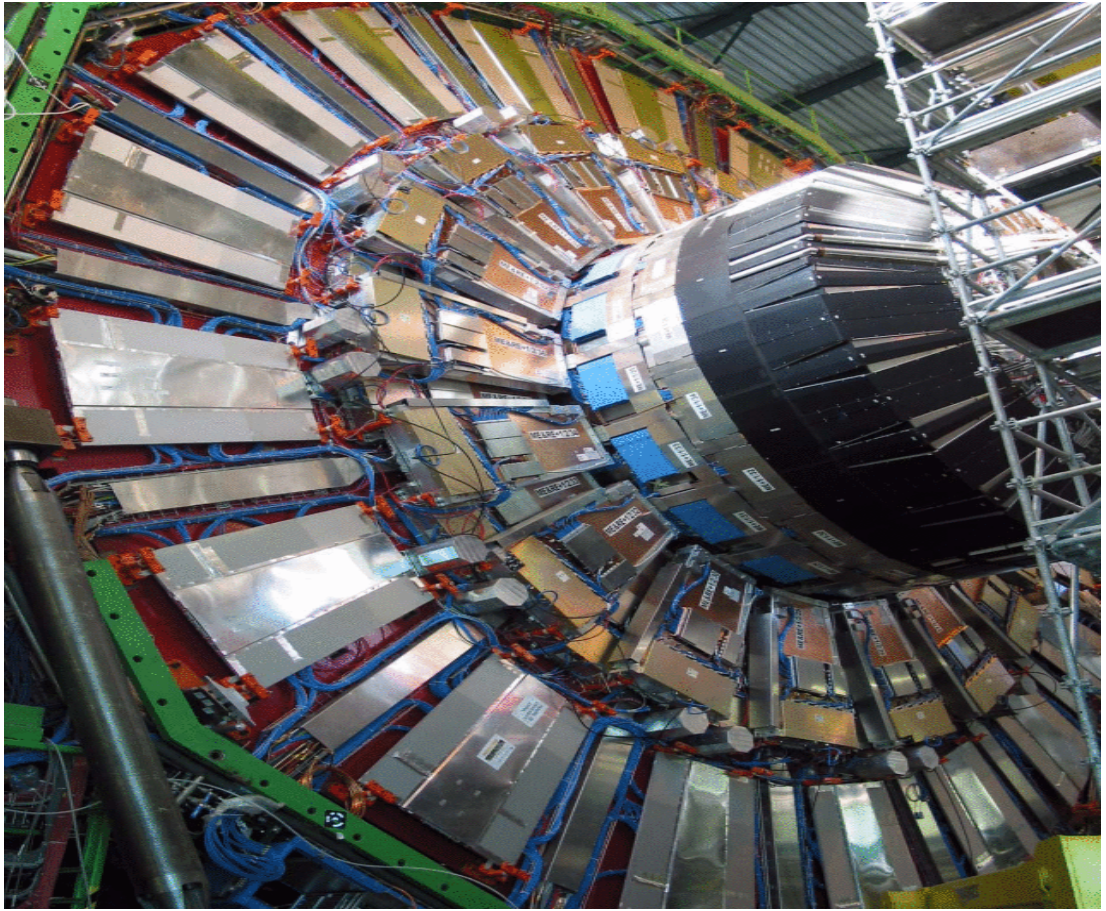


Şekil 2.10. Hadronik Fıçı (TDR, 2008).

2.2.4.2. Hadronik Kapak (HE)

Hadronik kapak, HE+ ve HE- olmak üzere iki modülden oluşmuştur ve $1.3 < |\eta| < 3.0$ psüdorapidite aralığını kapsamaktadır. HE, müon kapak

boyunduruğuna tutturulmuştur. Dış tabakalar 10 cm kalınlığındaki paslanmaz çelik levhalar ile kaplanmıştır. Bu tabakalara foto dedektörler ve ön uç elektronikleri yerleştirilmiştir. Son durumda üretilen parçacıkların yaklaşık %34'ü bu bölgede bulunmaktadır (TDR, 2008). HE alt dedektörü Şekil 2.11'de gösterilmektedir. HB ve HE etkileşme noktasından itibaren izleyici sistem ve EKAL'in arkasında yer almaktadır.



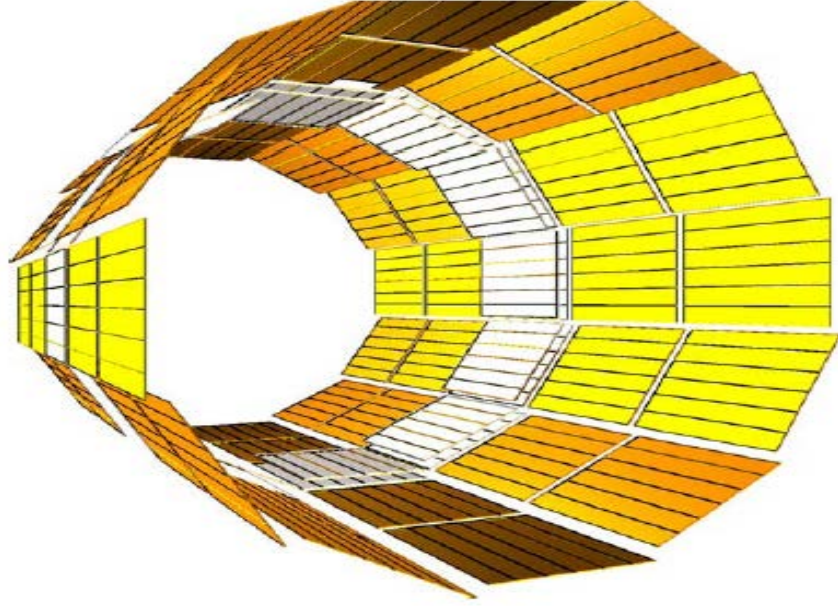
Şekil 2.11. Hadronik Kapak (<http://cds.cern.ch/record/1431487>).

2.2.4.3. Hadronik Dış Kalorimetre (HO)

Hadronik dış kalorimetre (HO), $-1.26 < |\eta| < 1.26$ psüdorapidite aralığını kapsamaktadır. 4 T'lık manyetik alan sağlayan solenoid mıknatıs içerisinde bulunan HB yeterli kalınlığa sahip değildir, bu nedenle hadron duşlarını algılamakta yetersiz kalmaktadır. Gereken örneklemeyi sağlamak için, pseudo rapidite $|\eta| < 1.3$ 'ye kadar yani solenoid mıknatısın dışına uzatılmış ve eklenen bu kalorimetre HO olarak adlandırılmıştır (TDR, 2008).

Sintilatör katmanlarından oluşan HO, solenoid mıknatısa ek bir soğurucu olarak başlangıç duşlarını tanımlamak ve HB'den sızan parçacıkların HB'nin çevresinde bıraktıkları enerjileri ölçmek için kullanılmaktadır. HO, ilk müon odası katmanının önüne yani dönüş boyunduruğuna yerleştirilmiştir ve -2, -1, 0, 1, 2 olarak adlandırılan beş halkaya bölünmüştür. Numaralandırma, z eksenine göre olup beş halkanın z eksenindeki konumları sırasıyla -5.342 m -2.686 m, 0, $+2.686$ m, $+5.342$ m dir. $|\eta| = 0$ 'da HB, minimum soğurucu derinliğindedir. Böylece, merkezi halka (0), iki katmanlı HO sintilatörüne sahiptir. Bu sintilatörlerin, her iki yanında radyal uzaklığı 3.82 m ve 4.07 m olan 19.5 m kalınlıklı demir bloklar bulunmaktadır. Diğer halkalar, 4.07 m radyal uzaklığında tek bir HO katmanından oluşmuştur. HO, müon sisteminin geometrisine uygun olacak biçimde yapılandırılmıştır (TDR, 2008). HO katmanları Şekil 2.12'de gösterilmiştir.

HO'da sinyaller Hibrid Fotodiyot (HFD)'lar aracılığı ile varlanmaktadır. Sintilatör katmanlarının her biri, içerisinde dalga boyu kaydırıcı (WLS) fiberlerin bulunduğu dört özdeş kanaldan oluşmuştur. Kalorimetre kulelerinden alınan ışık sinyalleri, özel optik fiberler aracılığı ile HFD'lere aktarılır. HFD'nin foto katodu olarak bilinen ışığa duyarlı yüzeyi, foto elektrik etki ile ışığı elektrona dönüştürür. Bu dönüşüm esnasında, ışık kaybını en aza indirmek için WLS fiberlerinin ucu temiz fiberlerle birleştirilmiştir.



Şekil 2.12. HO Katmanları (TDR, 2008).

2.2.4.4. İleri Hadronik Kalorimetre (HF)

$3 \leq |\eta| \leq 5$ rapitide aralığında bulunan ileri hadronik kalorimetre (HF), HF+ ve HF- olmak üzere iki modülden oluşmuştur. Bu modüllerün etkileşim noktasından olan uzaklığı 11.2 m'dir. Yoğun bir parçacık akısına maruz kalan HF radyasyona dayanıklı malzemelerden yapılmıştır. Aktif malzeme olarak seçilen kuvars fiberler oluklu levhalardan oluşan çelik soğurucuların içine gömülmüştür. Okuma sinyalleri için Foto Çoğaltıcı Tüp (FÇT)'ler kullanılmıştır. Kuvars fiberler, parçacıkların yön bilgisini sağlamada yardımcı olan ve FÇT'ler ile tespit edilen Çerenkov ışımaya neden olur. HF ışıklılığın, kayıp dik enerjinin (E_T) ölçülmesinde ve ileri jetlerin tanımlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. HF modüllerinden biri Şekil 2.14'de verilmiştir.



Şekil 2.13. İleri Hadronik Kalorimetre (<http://cds.cern.ch/record/1431489>).

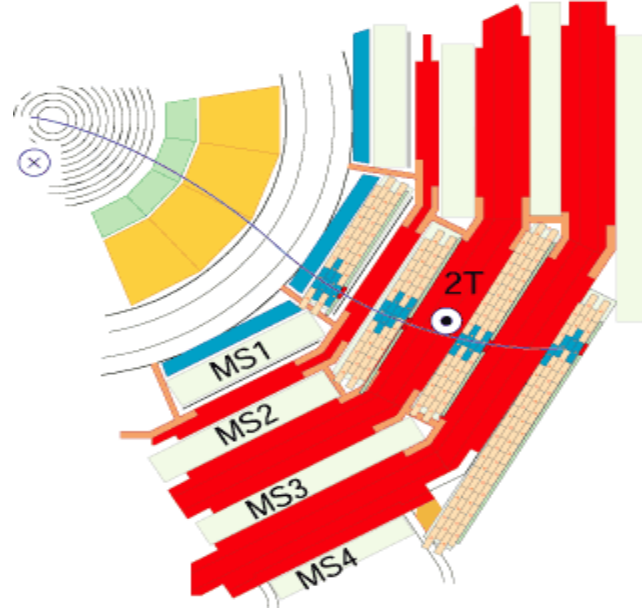
2.2.5. Müon Sistemi

Müonların belirlenmesi ve momentumun ölçülmesi CMS'in en önemli amaçlarından biridir. CMS'in müon sistemi, yüklü müonların ve onların momentumun yeniden yapılandırılması için tasarlanmıştır. Şekil 2.14'te gösterilen müon sistemi yaklaşık 250000 m² algılama düzleminden oluşmaktadır ve solenoid mıknatısın geometrisinden dolayı silindirik olarak devam etmektedir.

Müonlar, elektron ve pozitronlar gibi yüklü parçacıklardır fakat onlardan 200 kez daha ağırdır. Müonlar, bir çok parçacığın aksine hiçbir etkileşmeye girmeden ve CMS'in herhangi bir kalorimetresi tarafından durdurulmadan demir blok içinde metrelerce gidebilir. Bu yüzden, müonlar deneyin en ucuna yerleştirilen müon odacıkları ile varlanmaktadır. Müon sistemi, dört müon istasyonundan oluşmaktadır. Parçacıkların konumu, her bir istasyondaki parçacık izleri takip edilerek belirlenmektedir. Yeni parçacık bozunumlarında müonların ortaya çıkması beklenmektedir, örneğin en belirgin imzalardan biri Higgs'in dört müona bozunumudur.

Müon sisteminde toplam 1400 müon odacığı bulunmaktadır. Bunlardan 250 sürüklenme tüpü (DT) ve 540 katot şerit odacığı (CSC) parçacıkların konumlarını

belirleyip tetikleme yi sağlamaktadır. Tetikleme sistemini oluşturan 610 dirençli plaka odacığı (RPC) ise elde edilen o müon verisinin tutulup tutulmamasına karar vermektedir (<http://cms.web.cern.ch/news/muon-detectors>).



Şekil 2.14. Müon Sistemi (<http://cms.web.cern.ch/news/muon-detectors>).

3. MATERYAL VE METHOD

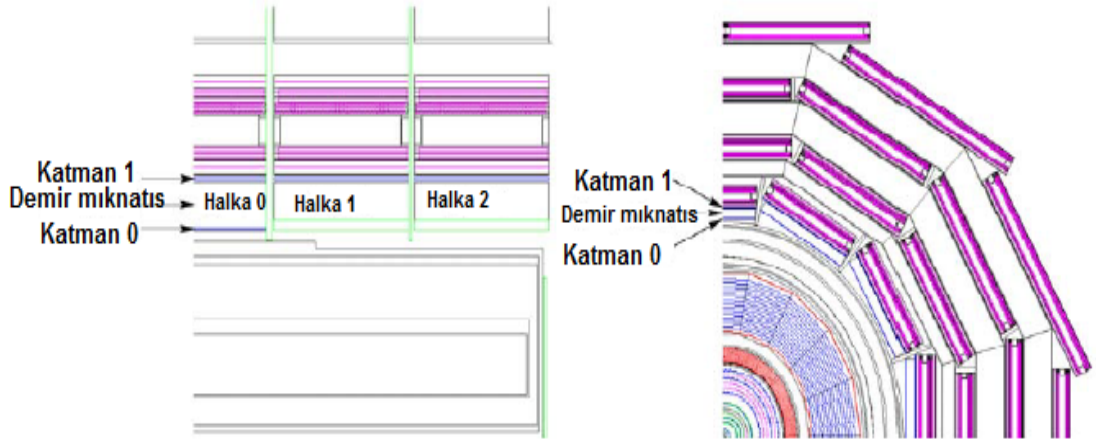
BHÇ 2015 yılına kadar devam edecek olan teknik mola süresince veri alımına ara vermiştir. Bu uzun arada hızlandırıcıda kullanılan mıknatıslar güçlendirilecek ve $p-p$ çarpışmalarında her bir hüzenin enerjisi aşamalı olarak 7 TeV'e çıkarılacaktır. Hedeflenen toplam 14 TeV'lik hüzen enerjisine ulaşmak için hızlandırıcı ve dedektörlerde bir takım yenilenme çalışmaları yapılmaktadır. Bu kadar yüksek enerjilerde süpersimetrik parçacıkların gözlenmesi beklenmektedir. CMS ortaklığı dedektörlerin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi programına hadronik kalorimetre (HKAL)'in alt dedektörlerini de eklemiştir. Bu program kapsamında HKAL'ın alt dedektörlerinden hadronik dış kalorimetre (HO)'de bir takım iyileştirme çalışmaları yürütülmektedir. HO'da yapılan iyileştirme çalışmalarından biri ön uç elektronikler ve foto dedektörler için yeni bir okuma kutusu (RBX)'in geliştirilmesidir. Tezin bu bölümünde, şu an HO'nun RBX'lerinde bulunan HFD'lerin yerini alacak olan SiFC'lerin testleri ve bu konuda yapılan çalışmaların bir kısmı tartışılacaktır.

3.1. HO'nun Genel Yapısı

HO, hadronik kalorimetrenin fiçi kısmı (HKAL-HB) ve elektromanyetik kalorimetrenin fiçi kısmı (EKAL-HB)'nin soğuramadığı parçacık enerjilerini ölçmek için tasarlanmıştır. Mekan kısıtlanmasından dolayı HKAL'in HB dedektörü hadronik duşların tamamını soğurmada ve parçacıkların bıraktığı enerjiyi ölçmekte yetersiz kalmaktadır. Kalorimetreden sızan enerjiyi ölçmek için HO, müon sisteminin önüne yerleştirilmiştir (CMS NOTE, 2008/020).

Solenoidin vakum tankı dışında, manyetik alan demir boyunduruk boyunca dolanımlıdır. Demir boyunduruk 2.536 m genişliğindedir ve z ekseninde boyunca yerleştirilen beş halkadan oluşmuştur. HO, her bir halkanın ilk duyarlı katmanı olarak yerleştirilmiştir. Halkalar -2, -1, 0, 1, 2 olarak numaralandırılmıştır. Şekil 3.1'de müon istasyonlarının halkaları önünde bulunan HO katmanlarının konumları gösterilmektedir. HO dedektör bölmeleri, müon fiçi sistemini takip eder. Her bir

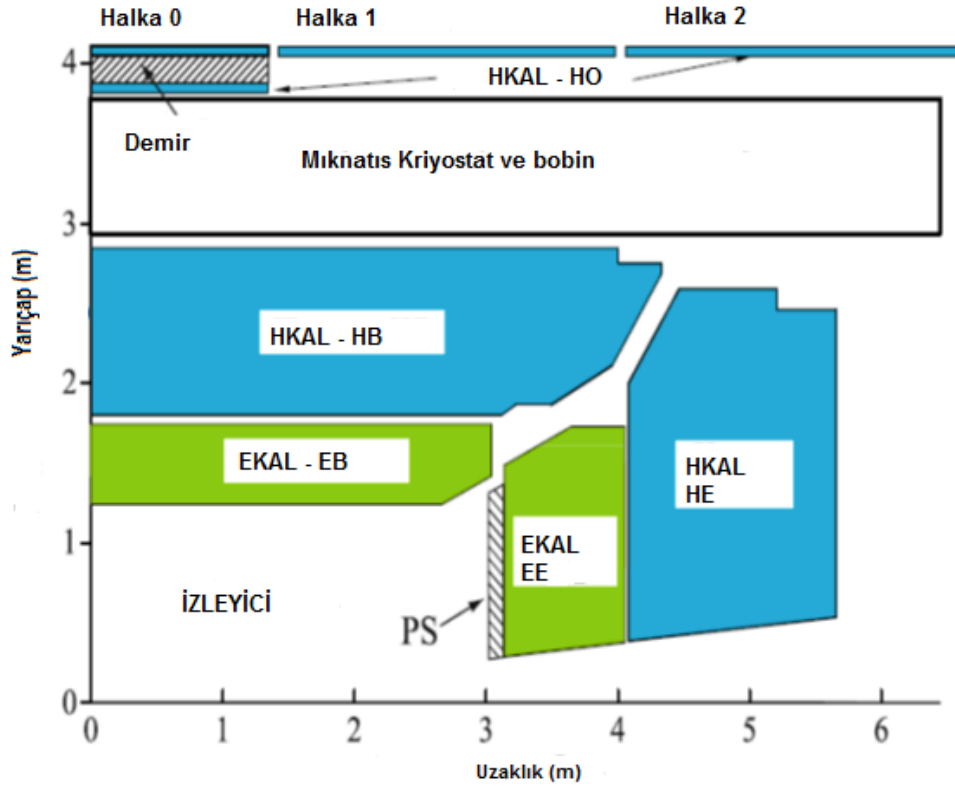
halka 12 özdeş φ sektörüne sahiptir. 12 sektör, 75 mm kalınlığındaki paslanmaz çelik kirişlerle birbirlerinden ayrılmıştır. Bu kirişler, müon sisteminde olduğu gibi, dönüş boyunduruğunun demir katmanlarını da desteklemektedir. Şekil 3.2’de CMS hadron kalorimetresindeki HO’nun yerleştirildiği konum gösterilmektedir.



Şekil 3.1. HO Katmanlarının Yandan ve Enine Görünümü (TDR, 2008).

Her HO katmanındaireesel yönde 40 mm ile ayrılmıştır.40 mm’nin sadece 16 mm’si dedektör katmanı için kullanılırken, geriye kalanı mıknatıs ve müon sistemi arasındaki dengeyi sağlamak üzere destekleyici olarak kullanılmaktadır. HO modülleri her bir φ sektörünün her iki yanında bulunan çelik kirişlerle desteklenmektedir.

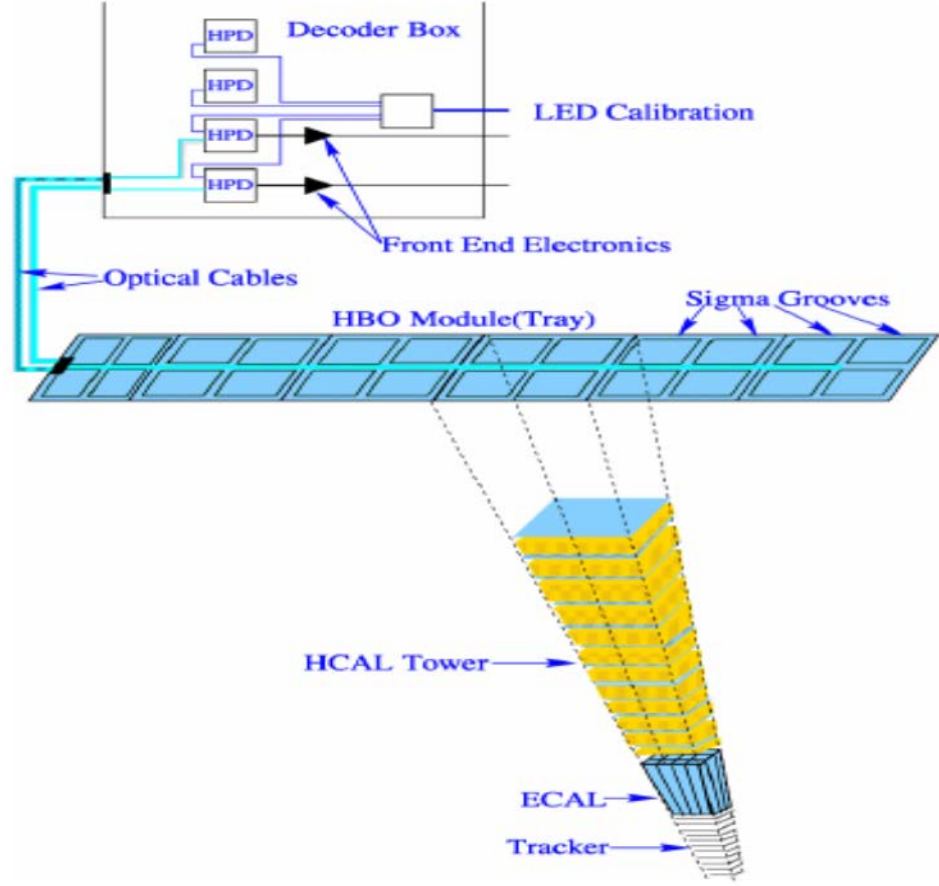
HO, müon sisteminin geometrisinden dolayı kısıtlı bir bölgeye sıkıştırılmıştır. Boyunduruğun demir kirişlerinin boyutu ve kalınlığı HO’nun şeklini ve bölmelerini daha da kısıtlamaktadır. HO döşemelerinin boyut ve pozisyonlarını, η ve φ ’de 0.087 x 0.087 tanecikli kuleler biçiminde oluşturmak için HO, HB katmanları ile kabaca eşleştirilmiştir. HO, müon dedektörünün ilk katmanının önünde bulunan bir yada iki sintilatör döşeme katmanından oluşmuştur. ± 1 ve ± 2 halkalarında bir sintilatör döşemesi bulunurken, 0 halkasında iki sintilatör döşemesi vardır.



Şekil 3.2. CMS Dedektörünün Bir Çeyreği (1/4'ü) (Lutz B., 2012).

Döşemelerden gelen sintilasyon ışığı, 0.94 mm çaplıçoklu-koruyucu ile kaplıolan Y11 Kuraray dalga boyu kaydırıcı fiber (WLS)'ler aracılığıyla toplanmaktadır. Toplanan ışık yine aynı fiberlerle dönüş boyunduruğuna yerleştirilen foto dedektörlere iletilmektedir.

HO'nun yapısını basitleştirmek için sintilatör döşemeler tabla olarak adlandırılan tekli birimler içinde paketlenmiştir. Her bir tabla, 5° 'lik φ dilimine karşılık gelmektedir. Şekil 3.3'de bir döşemenin HB kulesi ile eşleştiği yerde bulunan HO tablası ve tabladan gelen optik kablonun okuma kutusuna bağlantısı şematik olarak gösterilmiştir (TDR, 2008).



Şekil 3.3. Döşemeler ve WLS fiberlerine karşılık gelen kanallarla birlikte HO tablasının şematik görünümü. Her optik (4 WLS fiber) döşeme, HB kulesi ile eşleştirilmiştir. Tabladan gelen optik fiberler foto dedektörler ve ön uç elektroniklerinden oluşan okuma kutularına yönlendirilmiştir (TDR, 2008).

HO'nun foto dedektörü olan HFD'ler müon dedektörünün halkaları üzerinde bulunmaktadır ve dönüş boyunduruğundaki boşluklardan gelen solenoidin dönüş alanına rastgele yerleştirilmiştir. Manyetik alan ortamında çalıştığında kalorimetrenin dış halkaları ($\pm 1 \pm 2$)'nda bulunan HFD'ler gürültü atımları oluşturmaktadır. Bu bölgede manyetik alan 0.2 T – 0.3 T aralığındadır. Bu koşullar altında HFD'lerin büyükbir kısmında (%10 yada daha fazla) kalıcı zararlara neden olan geniş elektrik boşalimleri görülmektedir. Bu problemleri ortadan kaldırmak için HFD'lerin sökülüp yerine SiFÇ'lerin yerleştirilmesine karar verilmiştir (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1).

3.1.1. Sintilatör Döşemeler

Şekil 3.4’de gösterilen tipik HO sintilatör döşemesi, içine WLS fiberlerinin yerleştirildiği dört kanaldan oluşmuştur. Her bir kanal 1.35 mm çapında dairesel bir yapıda olup 0.86 mm genişliğinde ve 2.05 mm derinliğe sahiptir.

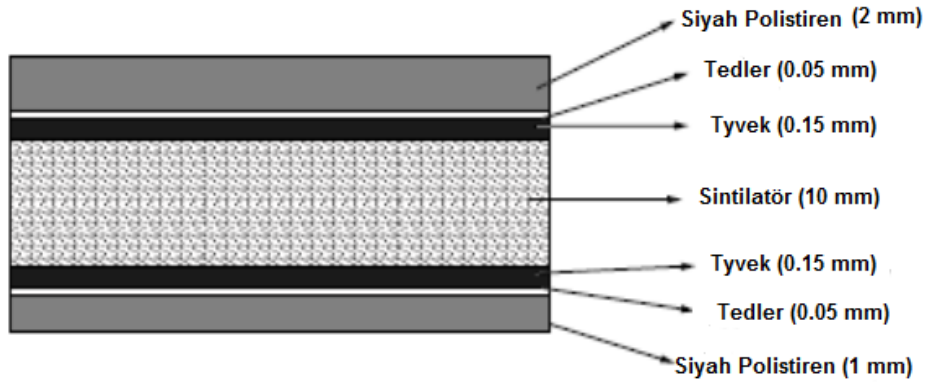


Şekil 3.4. HO Sintilatör Döşemesi (TDR, 2008).

Sintilatör döşemenin her çeyreğinde bir kanal bulunmaktadır. Her sintilatör döşemesi dört özdeş kanaldan oluşmuştur. Kanallar, çeyrek düzlemi yakından takip etmektedir. Kanalların köşesi fiberlere gelebilecek herhangi bir zararı önlemek için yuvarlanmıştır. HO katman 1 için 75, katman 0 için 20 olmak üzere 95 farklı döşeme boyutuna sahiptir. Katman 1 için 2154, katman 0 için 576 olmak üzere toplam 2730 döşeme bulunmaktadır (TDR, 2008).

3.1.2. Tabla

φ dilimli her bir sektördeki bütün döşemeler bir araya getirilerek tabla biçiminde gruplandırılmıştır. Her tabla, ∓ 2 halkasında beş, ∓ 1 halkasında altı, 0 halkasında ise sekiz döşemeye sahiptir. Döşemelerin köşesi, ışığı daha iyi toplamak için yansıtıcı beyaz boya ile kaplanmıştır. Döşemelerin izolasyonu için bitişik döşemeler arasına siyah tedler parçalar yerleştirilmiştir. Tablalardaki döşemeler, yansıtıcı tyvek kağıt ile kaplıdır. Bu yapıların hepsi de ışık kaybını engellemek için siyah tedler kağıt ile kaplanmıştır. Şekil 3.5’de bir tabladakibileşenleri daha iyi göstermek için tablanın enine kesiti verilmiştir.



Şekil 3.5. HOTablasının Enine Kesiti (TDR, 2008).

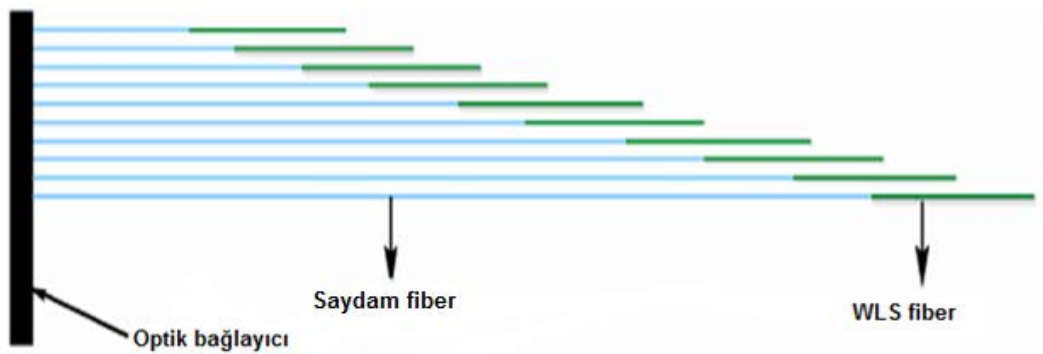
Şekil 3.5’deki paket, mekanik sabitlik ve kullanım kolaylığı için iki siyah plastik tabla arasına yerleştirilmiştir. Plastik’in üst kısmı 2 mm alt kısmı ise 1 mm kalınlığındadır. Plastik (üst ve alt kısmı) döşeme delikleriyle eşleşen deliklere sahiptir. 2 mm’lik plastik’in üst kısmında ise döşemelerden gelen fiberleri tabla kenarındaki kanala yerleştirilen optik bağlayıcıya iletmek için dış kısma gömülmüş derinliği 1.6 mm olan kanallar bulunmaktadır. Her bir bağlayıcının iki deliğivardır ve örtüşen delikler aracılığıyla sintilatör plastik düzeneğesabitlenmiştir.

Her bir halkada bulunan her sektörde altı tabla vardır. Tabaka 1’de 360, tabaka 0’da 72 adet tabla bulunmaktadır (TDR, 2008).

3.1.3. Çoklu Örgü

Sintilatör döşemelerinin içine yerleştirilen WLS fiberler toplanan sintilasyon ışığını müon halkalarının ilerisinde bulunan foto dedektörlere iletmekten sorumludur. Kanalların içindeki her bir WLS fiberinin bir ucu boyanarak alüminyum ile kaplanmış ve ince polimer kaplama ile korunmuştur. WLS fiberlerinin diğer ucu ise 2 mm kalınlığındaki siyah plastik kaplı tabaka üzerinden delik boyunca yayılmaktadır. İletim sırasında ışık kaybını en aza indirmek için WLS fiberlerinin ucu saydam fiberlerle birleştirilmiştir. Her bir döşemeden gelen saydam fiberler, plastiğin üst kısmındaki kanalları optik bağlayıcıya kadar takip etmektedir.

Her tablada iki optik bağlayıcı vardır. Tablaların döşeme kanalları, γ boyunca iki sütun biçiminde oluşturulmuştur. Bir sütun üzerindeki bütün kanallardan gelen fiberler, bir bağlayıcıda sonlanmaktadır. Fiber demetler optik bağlayıcıda sabitlenmiştir, bu yapı çoklu örgü olarak bilinir. Çoklu örgü Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Her tabla iki çoklu örgüye sahiptir. Tabaka 1 için 720, tabaka 0 için 144 olmak üzere toplam 864 çoklu örgü bulunmaktadır. Çoklu örgüdeki her bir fiber, sintilatörden tabla sonundaki optik bağlayıcıya kadar sintilatör içindeki kanal uzunluğuyla eşlenebilecek biçimde gerekli uzunluklarda kesilmiştir (TDR, 2008).



Şekil 3.6. Çoklu Örgü (TDR, 2008).

3.2. HKAL'in Ön Uç Okuma Elektronikleri ve Veri Alımı

HKAL'in ön uç elektronikleri, 40 MHz oranındaki hüzme etkileşiminde elde edilen verileri sayısallaştırmaktadır.

HKAL yaklaşık 70000 sintilatör döşemesinden oluşmuştur. Optik kod çözücü birimi (ODU) kullanılarak, sintilatör tabanlı dedektörlerden (HB, HE, HO) saydam fiberler aracılığı ile alınan optik sinyaller okuma kutuları (RBX)'nin içine yerleştirilen foto dedektörlere iletilmektedir. HB, HE ve HO'da foto dedektör olarak HFD'ler kullanılırken, merkezi dedektöre göre manyetik alanın daha az yoğun olduğu HF'de foto dedektör olarak FÇT'ler kullanılmaktadır.

Sintilatör tabanlı dedektörlerden WLS fiberleri aracılığı ile toplanıp foto dedektörlere iletilen sintilasyon ışığı, foto dedektörler aracılığıyla analog sinyallere dönüştürülmektedir. HFD'leryada FÇT'lerden gelen analog sinyaller yük toplayıcı ve kodlayıcı(QIE)'lar aracılığı ile sayısal sinyale dönüştürülerek bir dizi gibi sıralanan fiber optiklerle ön uç elektroniklerdeki veri akış alımından sorumlu olan hadronik tetikleme (HTR) kartına iletilir. HTR kartı farklı türdeki verileri işleyerek bu verileri diğer sistemlere iletmektedir.

HKAL-HO'da üretilen sinyaller şu ana kadar HFD'ler aracılığı ile varlanmaktaydı. HO'nun kenar alan bölgelerinde, işletim problemlerinden dolayı, HFD'lerin optimum yüksek voltaj (HV) yerine daha düşük bir voltajda çalışması gerekmiştir. Düşük voltaj düşük kazanç ve düşük kazançtan kaynaklanan elektronik gürültü ise HO dedektörünün performansının azalmasına neden olmaktadır. Bu durum HO'da jet ve müon fiziği araştırmalarını zorlaştırmaktadır. Yüksek gürültü sorununu giderebilmek için okuma kutularında HFD'lerin yerine SiFÇ'lerin kullanılması kaçınılmaz olmuştur. SiFÇ'ler yerleştirildikten sonra dedektör performansının artması beklenmektedir. Ayrıca dedektörde istenmeyen gürültünün ortadan kalkması mükemmel bir müon tanımlama ve merkezi müonların düşük momentumu için CMS'in özelliklerinin geliştirilmesine de yarar sağlayacaktır (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1).

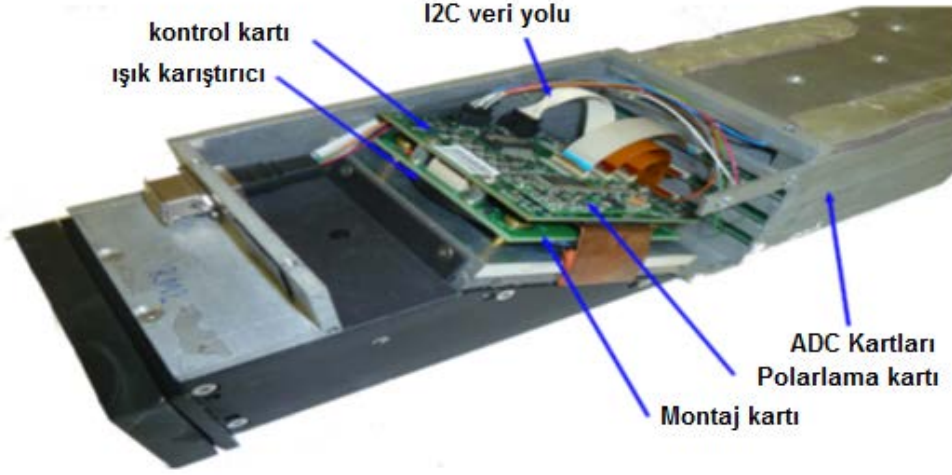
3.2.1. Okuma Kutusu (RBX)

Foto dedektörler ve ön uç elektronikler miknatısın dönüş boyunduruğunda bulunan özel okuma kutu (RBX)'larının içindeki bağımsız okuma modülleri (RM)'nin içine yerleştirilmiştir. RBX sistemini soğutmak için, soğutucu bir ünite tasarlanmıştır. Bu soğutucu ünite RBX'de bulunan boşluğun içindedir, alüminyum soğutucu tabakalardan ve dolaşım suyundan oluşmuştur.

RM üç dolaşım kartı, SiFÇ'ler ve optik kod çözücü biriminden (ODU) oluşmaktadır. Dolaşım kartları sırası ile montaj kartı (Mounting Board), kontrol kartı (Control Board) ve bayas kartı (Bias Board)dır. ODU gruplanmış fiber girişlerini SiFÇ piksellerine iletmek görevinden sorumludur. RM aynı zamanda, yüksek voltaj (HV) dağıtıcısına bağlı olan parça aracılığıyla SiFÇ'lere HV sağlamaktadır. Şekil 3.7'de RBX içinde bulunan RM gösterilmektedir.

Montaj kartının bir yüzünde 18 pikseli SiFÇ dizini diğer yüzünde ise SiFÇ'lerin sıcaklığını sabit tutmak için Peltier soğutucu bulunmaktadır. Peltier soğutucu, termoelektrik Peltier etkisi olarak bilinen prensiplere dayanarak çalışan elektronik bir cihazdır. Termoelektrik cihaza elektrik (doğru akım) uygulandığında cihazın bir tarafı ısınırken diğer tarafı soğumaktadır.

Şekil 3.8'de gösterilen kontrol kartı, SiFÇ sinyallerini biçimlendirerek bu sinyalleri 40 MHz şiddetinde QIE'lere iletmektedir. Ayrıca kontrol kartı, bayas voltajını (bias voltage) düzenlemekte, sızıntı akımlarını okumakta, sistemin voltajını ve sıcaklığını ölçmektedir.

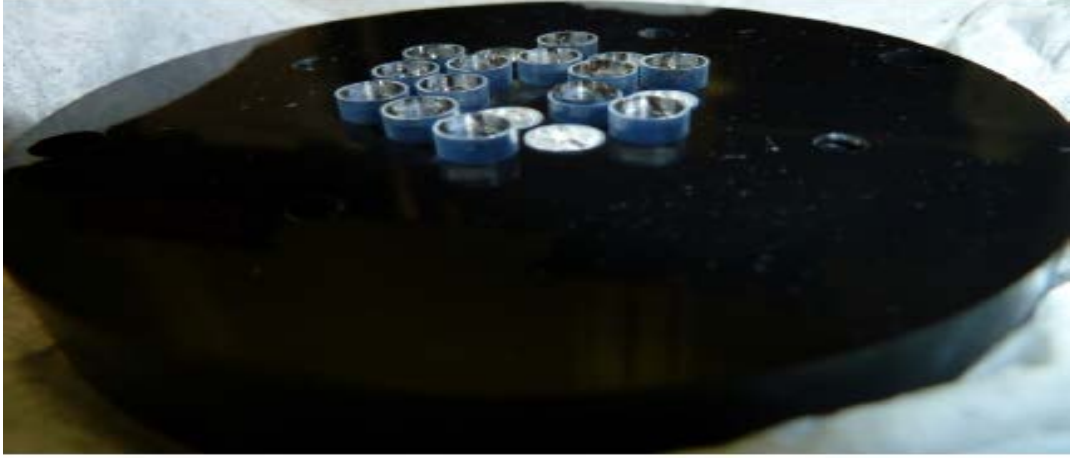


Şekil 3.7. RM (Lutz B., 2012).



Şekil 3.8. Kontrol Kartı (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1).

Optik sistem ışık karıştırıcı aracılığı ile SiFÇ'lere bağlanmıştır. Işık karıştırıcı gelen sinyali SiFÇ'lere düzgün bir biçimde dağıtmaktadır (Lutz B., 2012). Işık karıştırıcı Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Işık Karıştırıcı (Lutz B., 2012).

3.3. Foto Dedektörler

Temel parçacıkların enerjilerini belirlemenin bir başka yolu, parçacıkların enerjilerini ışık fotonlarına dönüştürmek ve daha sonra fotoelektrik süreç ile bu ışık fotonlarının elektrik sinyallerine dönüşmesini sağlamaktır (Shi J-W., 2011).

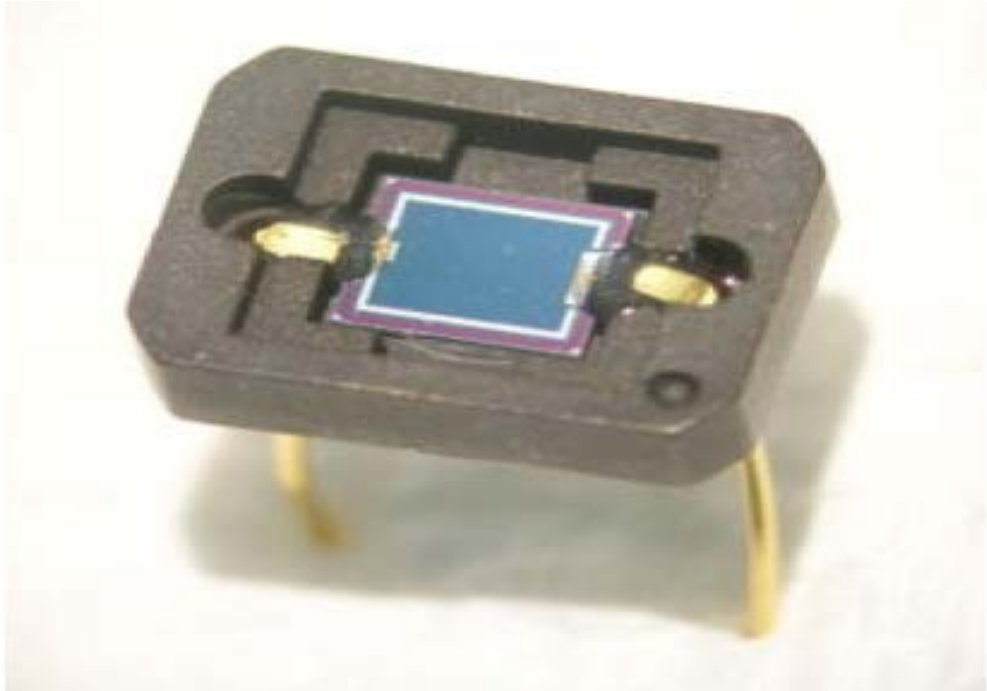
Foto dedektörler, üzerlerine düşen ışıktaki değişimleri elektrik akımına çeviren ışığa karşı duyarlı olan cihazlardır. Bu algılama sistemleri, bir çok alanda özelliklede yüksek enerji fiziğinde, gereksinimler doğrultusunda çok güçlü manyetik alanlarda kullanılmaktadır (Kanaya N., 1999). Foto diyot günümüzde en yaygın kullanılan foto dedektördür.

3.3.1. Foto Diyotlar

Diyot belirli bir eşik enerjisi olan, bu eşik enerjisi geçildikten sonra tek bir yönde akım geçiren, fakat diğer yönde akımı geçirmeyen bir devre elemanıdır. Anot ve katot olmak üzere iki ucu vardır ve akım anottan katota doğru akmaktadır. Zener diyot, kristal diyot, tünel diyot, foto diyot ve ışık yayıcı diyot (LED) gibi çeşitleri bulunmaktadır.

Foto diyotlar, ışığa karşı duyarlı malzemelerdir ve yarı iletkenlerdeki gibi N-P tipi zıt katkılı bölgelerin bir araya getirilmesinden oluşmuştur. Bu durum, yüksek

direnç oluşturan yük taşıyıcılarının tükendiği bir bölge yaratır. Yüksek direnç, düşük sıcaklıkta yüksek hassasiyetle çalışabilen silikon ve germanyumun kullanıldığı dedektörlerin yapılmasını sağlamıştır. Foto diyotlar Şekil 3.10'da gösterilen aydınlatma pencerelerine sahiptir. Aydınlatma pencereleri foto diyotların dışarıdan ışık almasını sağlar. Foto diyot ışık enerjisiyle iletme geçtiğinden normal diyotlara göre ters yönde bir voltaj uygulanmaktadır.



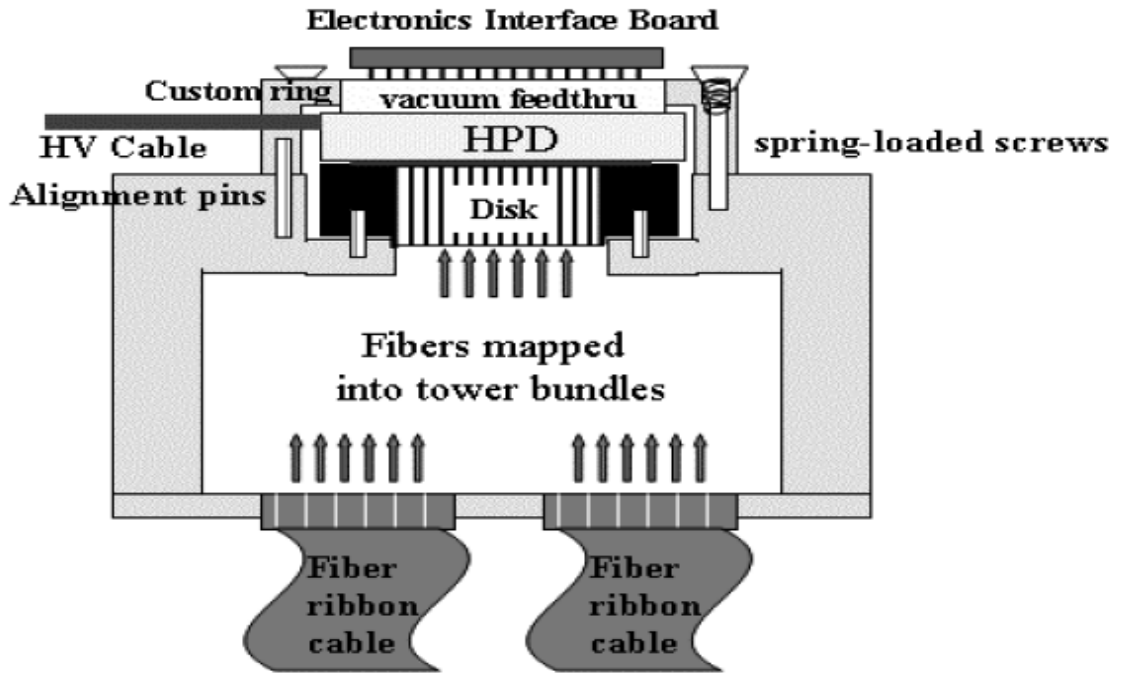
Şekil 3.10. Foto Diyotun Aydınlatma Penceresi

(http://www.ele.uri.edu/courses/ele432/spring08/photo_detectors.pdf).

Foto diyotlar, genellikle silikon yerine galyum arsenit'den (GaAs) yapılıdır. Çünkü silikon fotonlar soğurulduğu zaman elektron - deşik çiftleri oluşturmak için fonon olarak adlandırılan kristal örgü titreşimlerini oluşturur. GaAs ise yavaş hareket eden fononlar olmadan, elektron - deşik çiftleri üretebilir. Bu açık – kapalı durumlar ve GaAs arasındaki bağlantıyı sağladığı gibi ayrıca ışık yoğunluğuna karşı duyarlılığı da artırır (http://www.ele.uri.edu/courses/ele432/spring08/photo_detectors.pdf).

3.3.1.1. Hibrid Foto Diyot (HFD)

HFD'ler Şekil 3.11'de gösterilen özel vakum tüp içine yerleştirilen foto katot ve PIN (çığ) silikon diyottan oluşmuştur. HFD'ler yüksek manyetik alanda çalışan ve parçacık enerjilerinin geniş bir aralığı için orijinal (ilk) sinyalle orantılı olarak güçlendirilmiş yanıt verebilen foto dedektörlerdir. HFD'ler CMS için özel olarak tasarlanmıştır(<http://cms.web.cern.ch/news/hadron-calorimeter>).

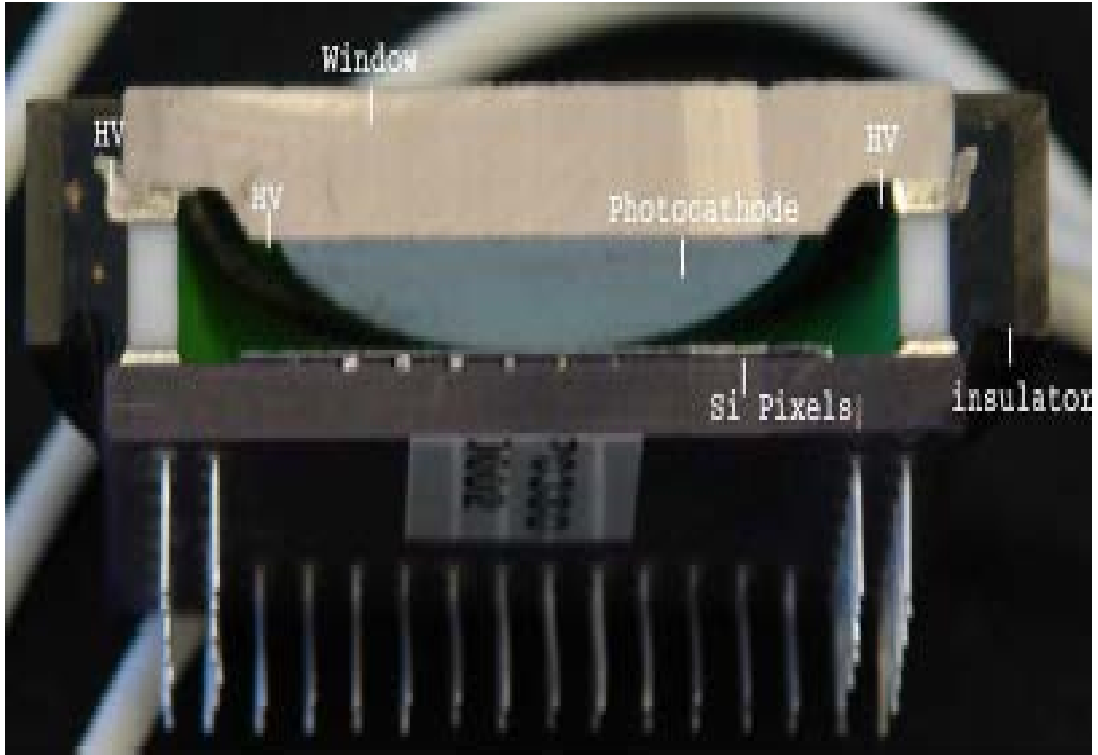


Şekil 3.11. HFD kule demetlerindeki fiberleri okuyan okuma kutusunun içindedir. Fiber demetlerinin HFD'nin ön yüzüne iletimini sağlayan plastik disk yaylı yapıdadır (Cushman P. B. ve Heering A.H., 2002).

HKAL sintilatör döşemelerinden oluşan bir örnekleme kalorimetredir. Aktif malzeme olarak kullanılan sintilatör döşemelerde depolanan (toplanan) enerji dalga boyu 520 nm olan ışık yayar. Sintilatör döşemelerden dalga boyu kaydırıcı fiberler (WLS) aracılığı ile toplanan sintilasyon ışığı, WLS fiberlerinin ucuyla birleştirilmiş olan saydam fiberlere iletilmektedir. Saydam fiberler ışığı, kalorimetre dışına yerleştirilen, içinde HFD'lerin ve ön uç elektroniklerin bulunduğu RBX'e iletmek için WLS fiberlerin ucuna eklenmiştir. Yatay katmanlar halinde yerleştirilen fiberler,

fiber şerit kablolar aracılığı ile okuma kutusuna iletilir. Demetlerin içinde sıralanan fiberler, RBX'ler ile birlikte kuleleri oluşturmaktadır(Cushman P.B. ve Heering A.H., 2002).

Bir RBX içinde dört okuma modülü (RM) bulunmaktadır ve her RM'de her ϕ bölümüne karşılık gelen bir HFD vardır. HFD'ler 18 pikselden oluşmuştur,Şekil 3.12'de HFD'nin enine kesiti gösterilmektedir.



Şekil 3.12. HFD'nin Kesiti (TDR, 2008).

3.3.1.1.(1). HFD'lerde Fotoelektrik Etki

Fotoelektrik etki, bir kaynaktan yayılan ışık yada yüksek enerjili elektromanyetik dalganın metal bir yüzeyden elektron sökmesi olayıdır. Maddeden yayımlanan bu elektronlar foto elektron olarak adlandırılır.

HFD'ler kalorimetrede bulunan özel okuma kutularına yerleştirilmiştir. Çok büyük kalorimetre döşemelerinden gelen ışık sinyalleri özel optik dalga kılavuzları aracılığı ile HFD'lere iletilmektedir. Bir HFD'nin ışığa duyarlı yüzeyi, fotoelektrik

etki ile ışığı elektrona dönüştürür. HFD içinde, bu düşük enerjili elektronlar silikon diyot hedef üzerinde bulunan birkaç milimetrelik dar bir boşluk boyunca hızlandırılır. Hedef, 18 piksele bölünmüştür ve hızlandırılmış elektronlar piksellere çarptığında piksellerin her biri kendi güçlendirilmiş elektronik sinyalini üretirler. Buda, bir HFD ile birlikte 18 ayrı kalorimetre sinyalinin algılanması ve güçlendirilmesini sağlar. Böylece elektronik sinyaller her bir çarpışma için örneklendirilir ve QIE çipi olarak adlandırılan HKAL – tasarım toplama devreleri kullanılarak sayısallaştırılan sinyaller, analiz için tetikleyici ve veri alım sistemine iletilirler. CMS’de bulunan 420 adet HFD, kalorimetre sinyalini yaklaşık 200 kat güçlendirmektedir(<http://cms.web.cern.ch/news/hadron-calorimeter>).

3.3.1.1.(2). HFD’lerin Kazancı

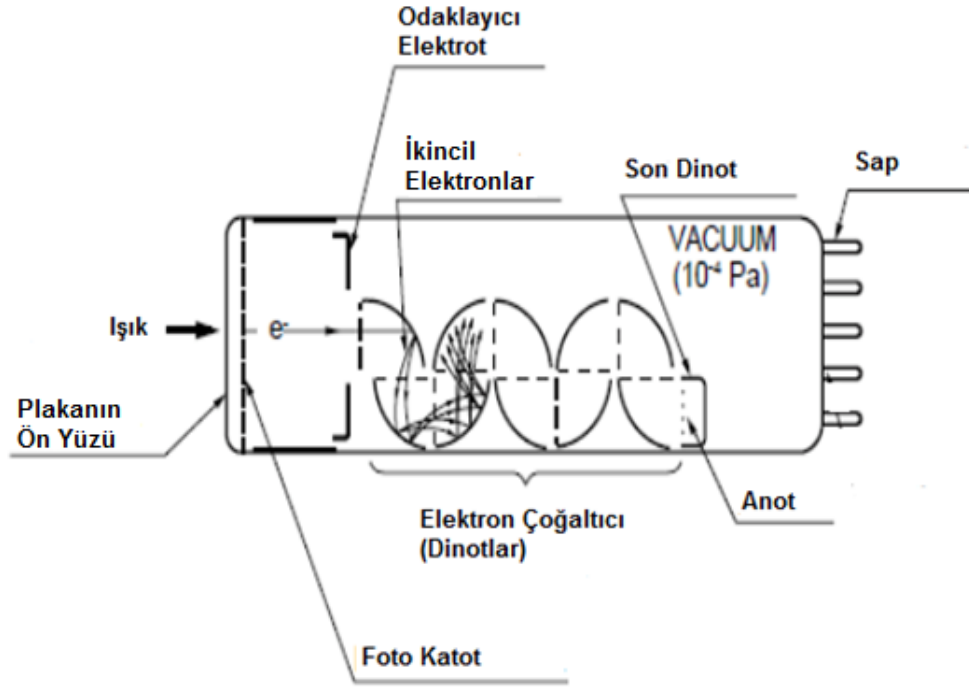
Foto katotta yayımlanan foto elektronlar elektrik alanı tarafından hızlandırılarak diyota gönderilir. Bu foto elektronlar, enerjilerinin bir kısmını diyodun boşalım bölgesine ulaşmadan önce, ölü bölge yüzeyinden geçerken kaybederler. HFD’lerin kazancı, foto elektronlar boşalım bölgesine ulaştığı anda, foto elektronların kinetik enerjilerine bağlıdır. PIN diyotlu bir HFD’nin kazancı G , foto katodun voltajı (V_c), eşik voltajından (V_{th}) büyük olduğu durumlarda

$$G = e (V_c - V_{th}) / E_{pair}$$

ile verilir. Burada e , elektron yükü E ise elektrik alandır (Kanaya N., 1999).

3.3.2. Foto Çoğaltıcı Tüp (FÇT)’ler

FÇT’ler, ışığa karşı duyarlılık gösteren ve çok hızlı yanıt veren cihazlardır. Tipik bir FÇT Şekil 3.13’de gösterildiği gibi vakum tüp içinde bulunan foto katot, elektron çoğaltıcı, elektrotlar ve anottan oluşmaktadır.



Şekil 3.13. Vakum Tüp içindeki FÇT Kesiti
(<http://physik.uibk.ac.at/hephy/muon/pmtcnste.pdf>).

FÇT'ler ışık akımını elektrik akımına çeviren foto katot, katottan gelen elektrik akımını hızlandırıp ilk dinoda odaklayan elektron-optik giriş sistemi, dinot serisinden oluşan ve katot akımının yükseltilmesi için kullanılan elektron çoğaltıcı sistemi ve elektron akımını toplayıp bunu çıkış sinyali haline getiren anottan oluşmaktadır.

Işık foto katota girdiği zaman foto katot, vakum tüpünün içine foto elektronları yayar. Bu foto elektronlar daha sonra, elektron çoğaltıcılar boyunca elektrotlar (dinot) tarafından odaklanarak yönlendirilir. Elektron çoğaltıcı ise ikincil yayılım süreci ile elektronları çoğaltır. Sayıları artan elektronlar anot tarafından çıkış sinyali olarak toplanır. İkincil yayımlamadaki artış FÇT'ler de oldukça yüksek hassasiyet ve olağanüstü düşük gürültü sağlar. Şekil 3.14'de vakum tüp içinde ve çeşitli boyutlara sahip foto çoğaltıcı tüpler gösterilmektedir.



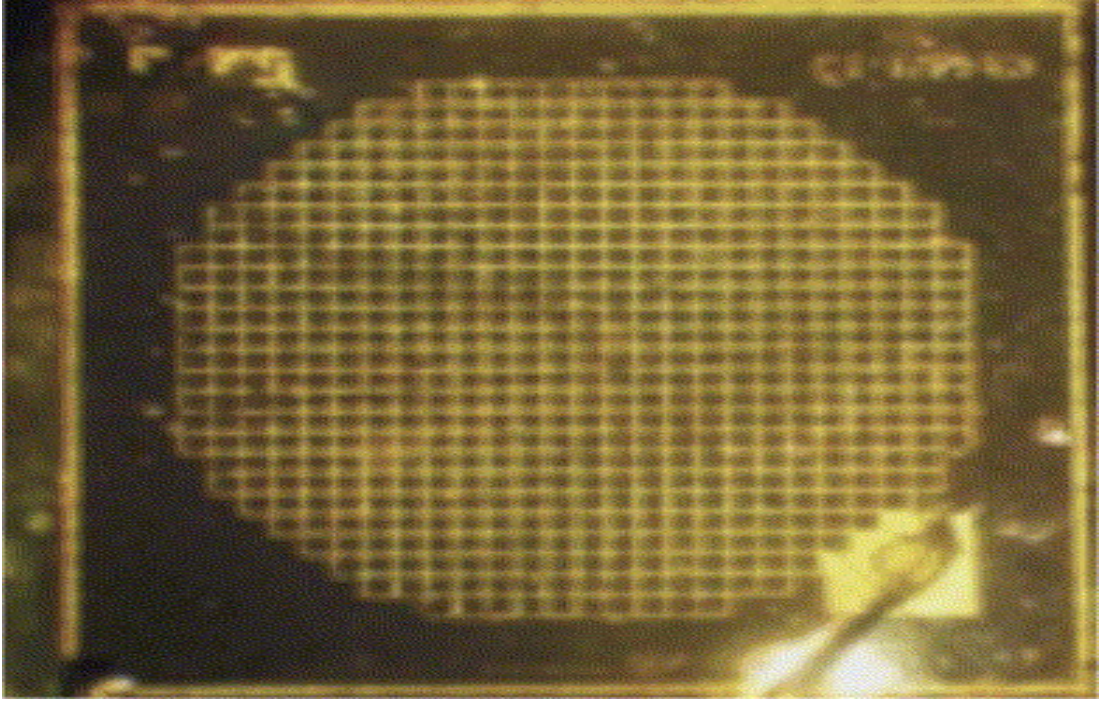
Şekil 3.14. Çeşitli FÇT'ler (http://en.wikipedia.org/wiki/Vacuum_tube).

3.3.3. Silikon Foto Çoğaltıcı Tüp (SiFÇ)'ler

Çok pikseli, silikon tabanlı ve Geiger modda çalıştırılan çığ foto diyot (APD)'lartıp ve astrofizikte olduğu kadar son yıllarda Yüksek Enerji Fiziği (YEF) uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu aygıtları bilinen FÇT'lerden daha cazip hale getiren başlıca özellikleri manyetik alana karşı duyarsızlıkları, bazı durumlarda yüksek foton algılama etkinliği göstermeleri, dayanıklı olmaları ve düşük maliyetleridir (Garutti E., 2011).

SiFÇ'ler, düşük foton akılarını belirlemek için geliştirilen yarı iletken tabanlı foto dedektörlerdir. Her mm^2 'de birbirine paralel olarak bağlı olan $30 \times 30 \mu\text{m}^2$ boyutunda 1000 bağımsız çığ foto diyot (APD) piksel dizisi, silikon bir taban üzerine yerleştirilmiştir. Piksellerin boyutu, 20 ile 100 mikrometre arasında değişmekle birlikte, her bir piksel Geiger modda çalışmaktadır. SiFÇ $10^5 - 10^7$ oranında kazanç sağlar, buda sıcaklık ve voltaj değişimlerine karşı tepki kararlılığını arttırmaktadır. SiFÇ'ler aynı zamanda nükleer sayaç etkisi gibi iyonlaştırıcı radyasyona karşı da duyarsızdır. Ayrıca hızlı zamanlama ve tekli foton sayma yeteneğine sahiptirler. Çok

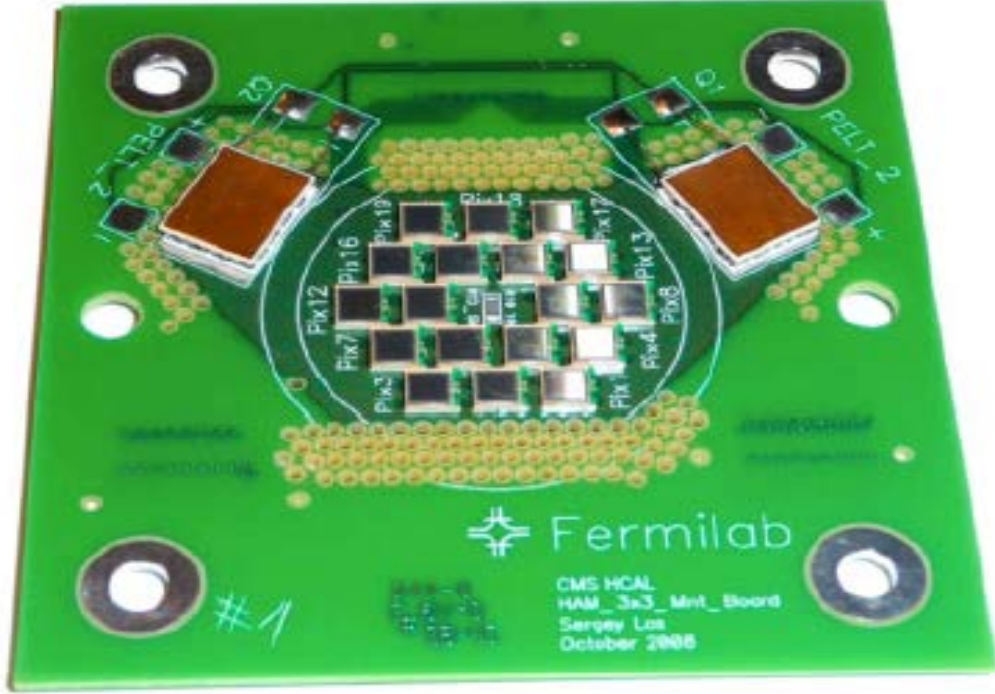
pikselli foton sayacı olarak da bilinen SiFÇ'ler ışığa karşı duyarlı aygıtlardır. Bir pikselin yapısı Şekil 3.15'de verilmiştir.



Şekil 3.15. Piksel Yapısı (HeeringA., 2007).

SiFÇ'in her bir pikseli bir foton belirlediği anda atım sinyali üretir ve SiFÇ'den gelen sinyal, bütün APD piksellerinden gelen sinyallerin toplamıdır. SiFÇ analog bir aygıt olmasına rağmen, her bir piksel sayısal modda çalışır çünkü bütün pikseller paralel olarak okunmaktadır. Buda, bir tek fotondan çok sayıdaki fotona kadar dinamik kapasiteli sinyallerin üretilmesine neden olmaktadır (Johnson K.F., 2010).

18 pikseli SiFÇ dizini, Peltier soğutucu ile birlikte RM dolaşım kartlarından biri olan montaj kartının ön yüzünde yer almaktadır. Şekil 3.16'da montaj kartı gösterilmektedir.



Şekil 3.16. Montaj Kartı (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1).

3.3.3.1. SiFÇ'lerin Temel Özellikleri

SiFÇ elektrik devresi SiFÇ piksellerindeki diyotların paralel olarak okunmasını sağlamaktadır. Cihazın kırılma noktasının birkaç volt üzerinde çalışması için bütün diyotlara ters ön besleme gerilimi uygulanmaktadır. Her bir diyot, Geiger boşalımının aktif sönümüne ihtiyaç duyar, Geiger boşalımının aktif sönümü ise, diyot serisine bağlanan rezistör ile elde edilmektedir (Garutti E., 2011).

3.3.3.1.(1). Sinyal Zaman Karakteristiği

Bir pikselin boşaldıktan sonra tekrar etkin hale gelebilmesi için gereken zaman, pikselin iyileşme zamanı olarak bilinir. Pikselin iyileşme zamanı, sönüm rezistörü ve piksel kapasitansına bağlıdır.

Çıgın sönmesi için direnç değeri $100 \text{ k}\Omega$ 'dan daha fazla olmalıdır. Bu değeri bazen isteğe bağılı olarak $20 \text{ M}\Omega$ 'a kadar çıkabilir. Piksel kapasitans değeri ise, piksel alanı ile orantılıdır ve 20 ile 50 fB arasında değışir. Böylece pikselin iyileşme zamanı, 10 ns ile birkaç μs aralığında değışebilir(Garutti E., 2011).

3.3.3.1.(2). Kazanç

SiFÇ kazancı, SiFÇ pikselinde bir Geiger boşalması ileoluşan elektrik yüklerinin sayısı ile tanımlanır. Bu değeri, $10^5 - 10^7$ civarında olup Geiger boşalımı için sabit bir değerdır. Bu nedenle, SiFÇ tek piksel sinyali ön yükseltme olmadan sadece osiloskop kullanılarak doğrudan görülebilir.

Piksel iyileştirme zamanı okuma elektroniklerinin tasarımını etkilemektedir. HO dedektörünün tasarımında etkilenen kısımlar entegrasyon veya şekillendirme zamanıdır. Bu iki kısım sinyalin uzunluğuna bağılı olan geniş SiFÇ kazancından faydalanmak için gerekli olan kısımlardır. SiFÇ'in kazanç etkisi, bir pikselin Geiger boşalımının ardından verilen zaman aralığında ölçülen elektrik yüklerinin sayısıdır (Garutti E., 2011).

3.3.3.1.(3). Karanlık Oran ve Atım Sonrası

Işığın olmadığı durumlarda sinyal, SiFÇ içinde boşalım bölgesinde üretilen termal taşıyıcılar tarafından üretilebilir. Atım sonrası olarak adlandırılan ikincil çığ, birincil Geiger çığı sırasında silikon kristalinde hapsolan taşıyıcıların serbest bırakılmasından kaynaklanan birincil çığı takip edebilir. Karanlık oran, SiFÇ üretiminde kullanılan silikon plakanın kalitesinden ve yapım sürecindeki kirlilikten çok etkilenmektedir (Garutti E., 2011).

3.3.3.1.(4). Optik Karışım

P – N birleşme bölümünde çığ süreci sırasında, görünür bölgedeki fotonlar yayımlanır. $1\ \mu\text{m}$ 'den daha küçük dalga boyuna sahip yük taşıyıcı başına tipik foton sayısı 3×10^{-5} 'dir. Eğer bu fotonlar komşu piksellere ulaşırsa ek bir çığ oluşturabilirler. Pikseller arasındaki optik karışım olarak adlandırılan bu etki çok sık görülebilir.

Optik karışım, SiFÇ kazancı ile birlikte üssel olarak artar. Bu iki faktörün birleşik etkisi sonucunda boşalımda üretilen fotonların sayısı taşıyıcıların sayısı ile artış gösterir. Çığ tetikleyici etkinliği ise artan yüksek voltajla artış göstermektedir. Fotonlar, silikondaki optik dilimler tarafından durdurulabilen piksellerin arasında hareket edebilirler (Garutti E., 2011).

3.3.3.2. SiFÇ'nin Yanıtı

SiFÇ'nin yanıtı, SiFÇ'in aktif alanına çarpan bir miktar fotonun uyardığı bütün piksellerden gelen yüklerin toplamıdır. Çarpan fotonların oldukça düşük sayısı N ile tanımlanırken, uyarılan piksellerin sayısı N_{pix} ile tanımlanır. N_{pix} , N ve foton algılama etkinliğinin ürünüdür (Garutti E., 2011).

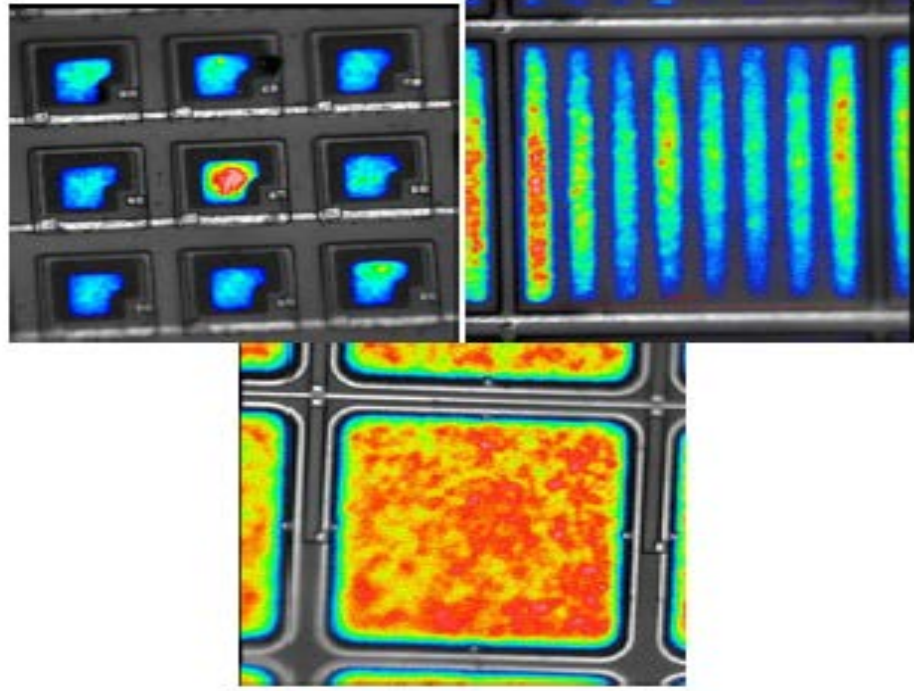
3.3.3.2.(1). Foton Algılama Etkinliği

Foton algılama etkinliği (FDE) aşağıda tanımlanan üç bileşene bağlıdır;

$$FDE(\lambda, U, T) = QE(\lambda) \cdot G_{ff} \cdot P_{bd}(\lambda, U, D)$$

$QE(\lambda)$ pikselin kuantum etkinliğine bağlı dalga boyudur. G_{ff} SiFÇ'in geometrik doldurma faktörü, $P_{bd}(\lambda, U, D)$ dalga boyu, voltaj ve sıcaklığa bağlı olan olasılıktır. Doldurma faktörü, birim alandaki piksellerin sayısı ile ters orantılıdır

(Garutti E., 2011). Farklı üreticilerin SiFÇ foto-yayınım örnekleri Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17. Farklı Üreticilerden SiFÇ için foto yayınım spektrumları (Garutti E., 2011).

3.3.3.2.(2). Yanıt Fonksiyonu ve Dinamik Kapasite

Piksel sayısının sınırlı olması ve sonlu piksel iyileşme zamanından dolayı SiFÇ'ler lineer olmayan aygıtlardır. SiFÇ'in yanıt fonksiyonu, optik karışım ve darbe sonrası da göz önüne alındığında gözlenen uyarılmış piksel sayısı (N_{Pix}) üretilmiş etkin foto elektron sayısı ile ilişkilidir. SiFÇ yanıtı aşağıda verilen fonksiyonla yaklaşık olarak elde edilebilir.

$$N_{Pix} = N_{tot} \cdot (1 - e^{-N_{Pix}/N_{td}})$$

N_{tot} , SiFC'de maksimum uyarılmış piksel sayısıdır. Pikselin iyileşme zamanı kısa ışık atımları ile karşılaştırıldığında ve pikseller üzerinden düzgün ışık dağılımı yapıldığı durumda bu formül yararlı bir yaklaşımdır (Garutti E., 2011).

3.3.3.3. Kalibrasyon ve Görüntüleme Sistemi

SiFC'leri kullanmanın yararlarından biri de aygıtın kazancının tekli foto elektron tepe spektrumuyla ayarlanması ve görüntülenmesidir. Bu, düşük ışık yoğunluklu SiFC bilgisi ile yapılabilir.

SiFC'in kazancı sıcaklık ve voltaj değişimine karşı duyarlılık göstermektedir. Kazancın görüntülenmesi, dedektör tepkisinin değişimlerini anlamak açısından önemlidir. Bu metodun bir avantajı ışık kaynağından yayımlanan ışık yoğunluğundaki küçük değişimlere karşı duyarsızlığıdır. SiFC tepkisi, orta dereceli ışık yoğunluğu kullanılarak görüntülenebilir. Fakat bu durumda, ışık yoğunluğunun kararlılığı lazer yada ekstra bir görüntüleme sistemi (LED+PIN foto diyot) ile de doğrulanmalıdır. SiFC'nin yanıt fonksiyonunun doyma noktasının görüntülenmesi cihazdaki aktif piksellerin sayısını görüntülemeyi de sağlamaktadır (Garutti E., 2011).

3.3.3.4. Yüksek Enerji Fiziki (YEF) Dedektörlerinde SiFC'nin Kullanılması

YEF'de yapılması planlanan yeni nesil deneyler için çok sayıda foton dedektörüne ihtiyaç duyulmaktadır. SiFC'leri YEF dedektörlerinde kullanmanın en önemli avantajlarından biri dedektörün tanecikliliğini FÇT ve APD tabanlı okumaya göre daha fazla oranda artırıyor olmasıdır. WLS'ler kullanılarak yapılan okumalar yüksek taneciklilik gerektiren dedektörler için oldukça etkili bir çözümdür.

Bu uygulamada, en uç örnekler parçacık akısı uygulamalarında lineer çarpıştırıcı dedektörleri için tasarlanan kalorimetrelerdir. Böyle kalorimetreler, $3.0 \times 3.0 \text{ cm}^2$ hatta $1.0 \times 4.5 \text{ cm}^2$ boyutunda olan hücreler gerektirmektedir. Ayrıca, kalorimetreler mıknatıs içine yerleştirildiğinden burada kullanılan foto dedektörler manyetik alana karşı dayanıklı olmak zorundadır (Garutti E., 2011).

3.3.3.5. SiFC'lerin Avantajları

SiFC'leri kullanmak HFD'lere göre daha avantajlıdır. SiFC'lerin kuantum etkinliği HFD'lere oranla iki kat daha yüksektir. Ayrıca HFD'lerle karşılaştırıldığında daha düşük işletim voltajlarında çalışırlar (100 V'dan daha az).

SiFC'lerin manyetik alandan etkilenmemeleri ve manyetik alana karşı dayanıklı olmaları HFD'ler yerine kullanılmalarını daha cazip hale getirmektedir. Bunun dışında, SiFC'ler nispeten yüksek foton algılama etkinliğine ve yüksek kazançla sahiptir (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1).

SiFC'ler görünür fotonların belirlenmesi için geliştirilen henüz çok yeni teknoloji ürünleridir. SiFC'lerin küçük boyutlu olması onları bölmelendirilmiş dedektörlerin tek kanallı yönleri için oldukça kullanışlı kılmaktadır (Garutti E., 2011).

SiFC'ler HO sintilatörlerinin okunmasında kolaylık sağlayacağından bu durum, müon tetikleyicideki minimum iyonize parçacıkların sayısını önemli derecede arttıracaktır. Uzun vadede ise, CMS'deki ışıklılık kalitesini artırmak bakımından dedektörün iyileştirilmesinde önemli rol oynaması beklenmektedir (Heering A., 2007).

3.5.4. HKAL Kalibrasyon Sistemi

HKAL kalibrasyon sistemi; başlangıçtaki mutlak enerji ölçeğini ayarlamak, dedektörün tepkisini ve değişmezliğini anlamak, fizik verileri alındığı esnada zaman kararlılığını ölçmek için kullanılmaktadır. HKAL'ın başlangıç kalibrasyonu

1) Sintilatör döşemeleriyle örtüşen özelliklerle uyumlu olan kolime edilmiş radyasyon kaynak testleri,

2) Geçerli bir sayısal dönüştürücü kullanılarak bir yük enjektörü ile yapılan kalite kontrol testlerinden oluşmaktadır.

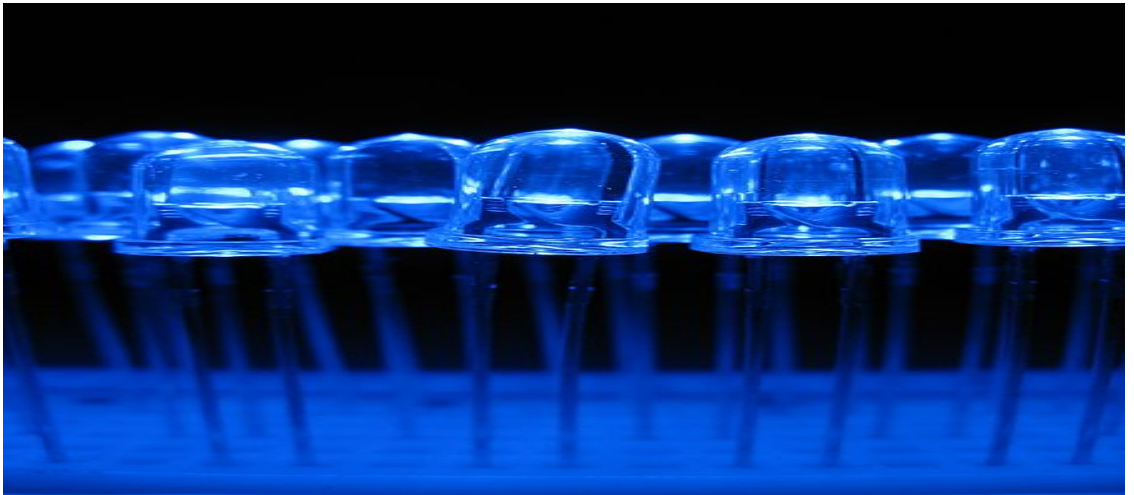
Enerji ölçüm sabitleri e^\pm , π^\pm 'li müon hüzme testleri ve radyasyon kaynaklı müon hüzme verileri birleştirilerek elde edilmiştir. Dedektör tek tip olmadığından

test hüzmesinde enerji ölçüm bilgisi, bütün kanallar için radyasyon kaynağından alınan verilerle karşılaştırılarak tüm sisteme dönüştürülmüştür. Her bir kanalın (sintilatör, fotodedektörler, elektronikler) tepkisi radyasyon kaynakları ve UV-lazer ışığı kullanılarak gözlemlenmektedir. Ek olarak, elektronikler UV-lazer ve LED kullanılarak kontrol edilmiştir (TDR, 2006).

3.4.1. LED

LED, üzerinden akım geçtiğinde üretiminde kullanılan maddenin cinsine göre ışık yayan yarı iletken bir malzemedir. Günümüzde pek çok ışık kaynağı bulunmaktadır. Fakat enerji etkinliği, yaşam süresi ve kontrol edilebilir olmaları LED'leri gelecekte bir çok uygulama için çekici hale getirmektedir. LED'lerin optik etkinliğini artırmak için geniş kapsamlı araştırmalar yapılmaktadır Şekil 3.18'de mavi LED kaynağı gösterilmektedir (<http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1110/1110.0537.pdf>).

LED'in en önemli bölümü yarı iletken malzemedir yapılan ve ışık yayan LED çipidir. LED çipi, noktasal bir ışık kaynağıdır ve yansıtıcı elemanı sayesinde ışığın belirli bir yöne doğru yayılmasını sağlar. LED'lerin yaydığı ışık, LED çipinin içindeki yarı iletken katkı maddelerine bağlıdır. LED'lerin yaydığı ışığın frekansı, spektrumun görünür ışık bölgesindedir. Bununla birlikte gözle görülmeyen frekansta ışık yayan kızılötesi veya morötesi LED'lerde bulunmaktadır.

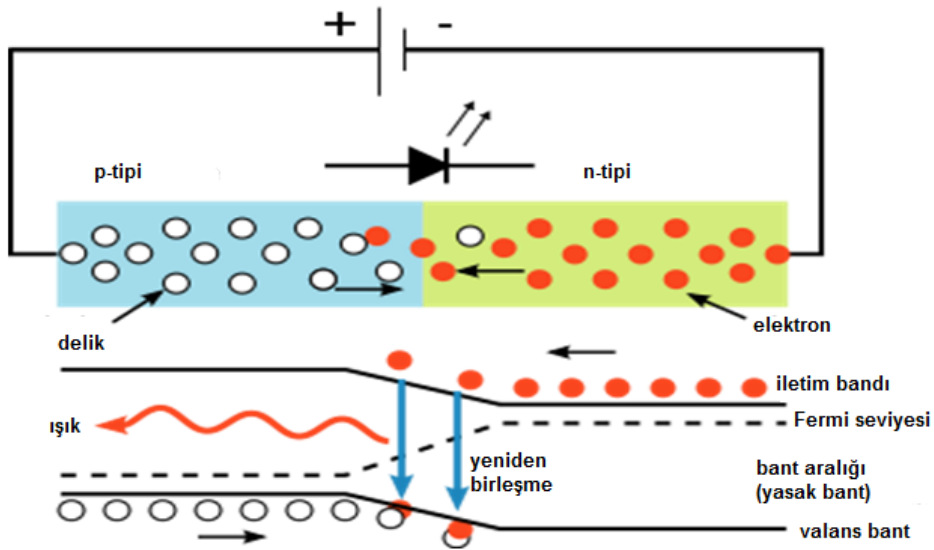


Şekil 3.18. Mavi LED Kaynağı (http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode).

3.4.1.1. LED'lerin Genel Yapısı ve Özellikleri

LED'ler elektrik enerjisini ışığa dönüştüren yarı iletken devre elemanlarıdır ve doğru akım ile çalışırlar. LED'lerin temel maddesi silikondur. Bir LED parçası yapısal olarak N ve P tipi yarı iletken katmanlar arasına yerleştirilen bir aktif katman tabaka ve bunların elektriksel bağlantılarından oluşan elektronik bir malzemeden yapılmıştır.

LED üzerinden akım geçtiğinde elektronlar aktif katmanı uyarır ve aktif katmanda ışık üretilir. LED'ler aktif katmanın üretiminde kullanılan malzemenin yapısına bağlı olarak görünür ışık tayfında ışık yayarlar. Aktif katmanda kullanılan malzeme LED ışığının rengini belirler. LED'lerden elde edilen ışığın şiddeti LED'in üzerinden geçen akımla doğru orantılıdır. Dolayısıyla, akım arttıkça ışık şiddetide artacaktır. Yüksek enerji tasarrufu, ısı yaymaması ve uzun ömürlü oluşu LED'lerin en bilinen özellikleridir. Şekil 3.19 bir LED'in iç işleyişini göstermektedir.



Şekil 3.19. LED'in İç İşleyişi

(<http://en.wikipedia.org/wiki/File:PnJunction-LED-E.svg>).

4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

4.1. HO904 Test Düzeneği

HO'dan gelen sinyalleri varlayabilmek için mevcut HFD'lerin sökülmesine ve yeni RBX'lerde foto dedektör olarak SiFÇ'lerin kullanılmasına karar verilmiştir. Tezin bu bölümünde önce HO'yu geliştirmek ve iyileştirmek üzere tasarlanan RBX ve test düzeneği hakkında genel bilgiler verilecektir. Daha sonra CERN'ün Preveşsin yerleşkesindeki 904 nolu binada yapıldığı için adını oradan alan HO904 kararlılık testlerinden alınan veriler kullanılarak yapılan LED analizleri tartışılacaktır.

4.1.1. Okuma Kutusu(RBX) Mekanizması

HO904 test düzeneğinde HO -'nin ilk halkasında HO1M02 ve HO1M04 adı verilen RBX ve her bir RBX içerisindeki set halinde dörder okuma modülü (RM) bulunmaktadır. HO1M02'nin RBX'inde RM 1, RM 2, RM3 ve RM 4'den oluşan ilk set, HO1M04'ün RBX'nde ise RM 5, RM 6, RM 7, RM 8'den oluşan ikinci set yer almaktadır. Her bir okuma kutusu içinde ayrıca RM'lerdeki SiFÇ'lere LED sinyalini sağlayan LED sürücüsü vardır. Sayısallaştırma elektroniklerinden biri olan RM'lerin birbirinden bağımsız olarak yerleştirildiği HO1M02 ve HO1M04 RBX'leri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. HO1M02 RBX'i ve RM'ler (Soldan sağa: RM 1, RM 2, RM 3, RM 4).



Şekil 4.2. HO1M04 RBX'i ve RM'ler (Soldan sağa RM 5, RM 6, RM 7, RM 8).

RBX sistemini soğutmak için Şekil 4.3'de gösterilen soğutucu bir ünite tasarlanmıştır. Soğutucu ünite alüminyum soğutucu tabakalardan ve dolaşım suyundan oluşmaktadır.



Şekil 4.3. RBX Sisteminin Soğutucu Ünitesi.

4.1.2. Okuma Modülü (RM) Değişikliği ve Veri Alımı

Çalışmanın ilk aşamasında RBX'lerin içindeki RM'lerin doğru çalışıp çalışmadığı kontrol edilmiştir. Bir haftalık periyodlar halinde HO1M02 ve HO1M04 okuma kutularındaki dörtlü setlerden oluşan RM'lerden üçü değiştirilerek test edilmiştir. HO1M02 ve HO1M04'deki RBX'ler için problemsiz olduğu tespit edilen

RM 1 ve RM 5, RM değışiklik testlerinde değıştirilmeyen daima sabit tutulan referans RM'leridir.

RM değışikliğinin ardından PVSS sistemi adı verilen hızlı kontrol sisteminde eski RM bilgileri yeni RM bilgileri ile değıştirilmiştir. Test edilecek her RM'in SiFÇ'lerine barkod numaraları verilmiştir. SiFÇ'lerin kazancı sıcaklıkla ters orantılı olduğundan sistem için en iyi çalışma sıcaklığı 21 derece olarak belirlenmiştir. Başlangıçta, sistemi hızla kontrol etmek için yaklaşık on dakika içinde 50K (50000) olay verisi alınmıştır. İkinci aşama olarak alınan veriler kullanılarak, RM'lerin gürültü ve sinyal değerleri incelenmiş ve RM'lerde herhangi bir sorun olup olmadığı araştırılmıştır. Problemlerle karşılaşmadığı durumlarda veri alımına kararlılık testlerinde kullanılan uzun süreli verilerle (en az iki saatlik) devam edilmiştir. Bu veriler için en fazla alınan olay sayısı 4 M (4×10^6)'dur .

4.2.SiFÇve Kalibrasyon

Düşük foton akılarını belirlemeye yarayan yarı iletken tabanlı bir foto dedektör olan SiFÇ'ler sıcaklık ve voltaj değışimlerine karşı güçlü yanıtlar vermektedir. SiFÇ, sahip olduğu uyarılmış piksellerin sayısına karşılık gelen güçlendirilmiş analog sinyaller üretmektedir. Ayrıca, sınırlı piksel sayısından dolayı SiFÇ'nin kendi kalibrasyon özelliği kullanılarak kazanç görüntülenmesi düşük yoğunluklu LED ışığı kullanılarak yapılmaktadır (Zalesak J., 2012).

LED bilgisi, dedektörün sistem kontrolünde büyük önem taşır. Bu bilgi, kayıp ve kararsız kanalların tespit edilmesi, fizik verileri alındığı sırada zaman kararlılığının gözlenmesi ve dedektörün kalibrasyonu bakımından önemlidir.

4.3.HO904 Kararlılık Testlerinde LED Analizi

Her RBX'de okuma modüllerine ek olarak, LED sisteminde bulunmaktadır. LED sinyali, fiber optik kablolar aracılığı ile RM'lerin içinde bulunan SiFÇ'lere iletilmektedir. RBX'in içinde yer alan LED sürücüsünden çıkan LED sinyali, SiFÇ'lere gittikten sonra 18'e bölünerek piksellere iletilmektedir.

Çalışmada HO904'un kararlılık testleri yapılmıştır. Testlerde bir RM değişikliğinden bir sonraki RM değişikliğine kadar geçen süre içinde alınan uzun süreli veriler kullanılarak her bir RBX'deki RM'lerin sıcaklık, akım, LED ve pedestal kararlılıkları incelenmiştir. Analizde kullanılan uzun süreli veriler, Çizelge 4.1'de gösterilen LED ve pedestal bilgisini birlikte içeren birleştirilmiş verilerdir.

Çizelge 4.1. Kararlılık Testlerinde Kullanılan Uzun Süreli Veriler.

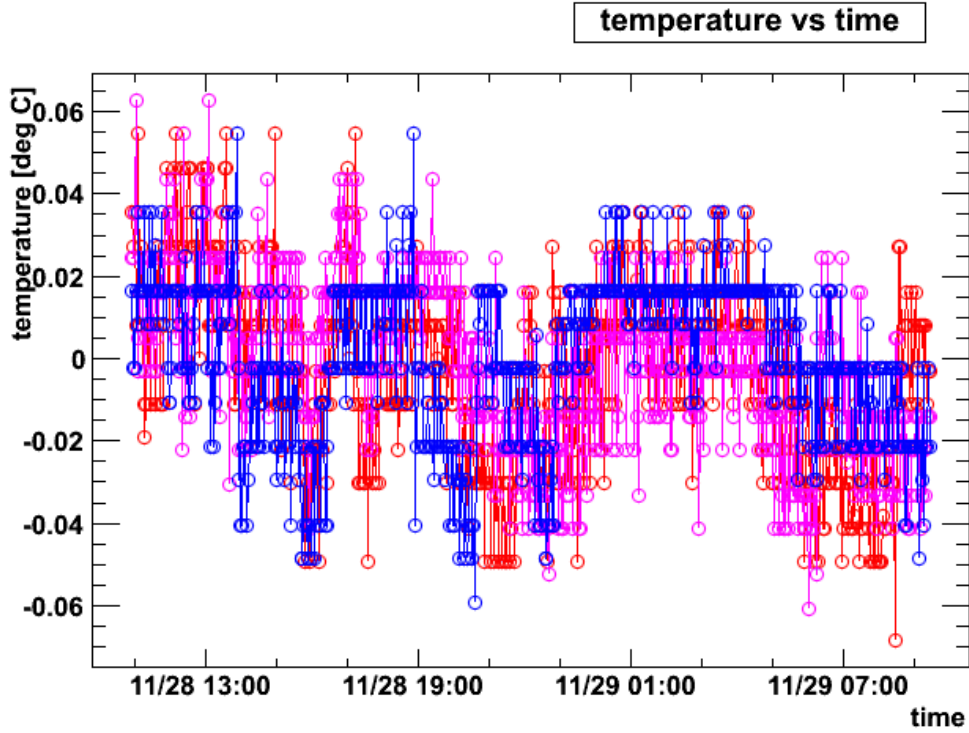
Veri Tipleri
HO_PeltierScan_LED_PED_longPulsed
HO_LED_PED_longPulsed
HO_LED_PED_long

SiFC'lerin kazancı sıcaklığa bağlı olduğundan HO904 kararlılık testinde, ilk adım olarak aynı periyotta alınan uzun süreli veriler içinden sıcaklık değeri en kararlı olan ($21 \pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$) veri referans olarak seçilmiştir. Seçilen referans verisi kullanılarak yine aynı periyottaki diğer veriler için RM'lerin kararlılıklarına bakılmıştır. Aynı periyottaki diğer verilerin sıcaklık değişimleri, referans verisi ile karşılaştırılarak bulunmuştur. Sıcaklıktaki toplam hata oranı ise öngörölmüş değer üzerinden ($\pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$) $\pm\% 1$ olarak belirlenmiştir.

27 Kasım 2012'de HO1M02 RBX'inde yapılan RM değişikliğinin ardından bir sonraki RM değişikliğine kadar alınan uzun süreli verilerin özellikleri Çizelge 4.2'de özetlenmiştir. Bu veriler kullanılarak çizelgedeki uzun süreli veriler arasından seçilen referans verisinin sıcaklık grafiği Şekil 4.4'de verilmiştir. Referans verisi sıcaklık grafiği beklenildiği gibi $\pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ değer aralığındadır.

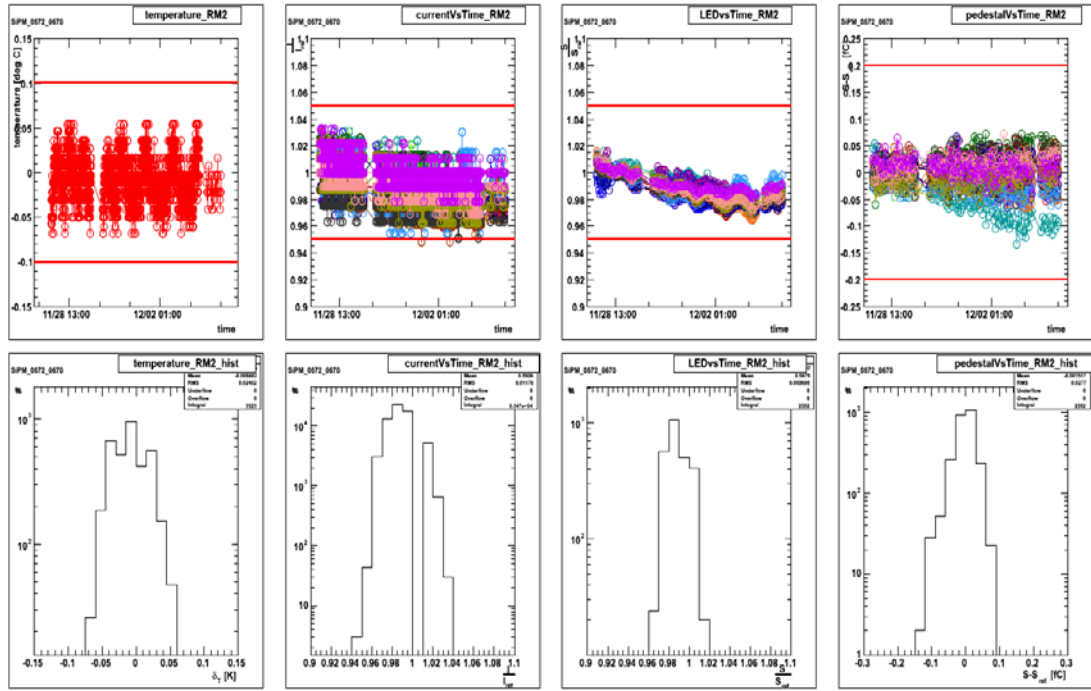
Çizelge 4.2. 27 Kasım 2012 Tarihinde HO1M02RBX'i İçin Alınan Uzun Süreli Veriler.

Veri Numarası	Tip	Olay Sayısı
5705	HO_PeltierScan_LED_PED_longPulsed	690 K
5706 (Referans verisi)	HO_LED_PED_long	475 K
5714	HO_PeltierScan_LED_PED_longPulsed	720 K
5715	HO_LED_PED_long	1.55 M
5717	HO_LED_PED_longPulsed	449 K

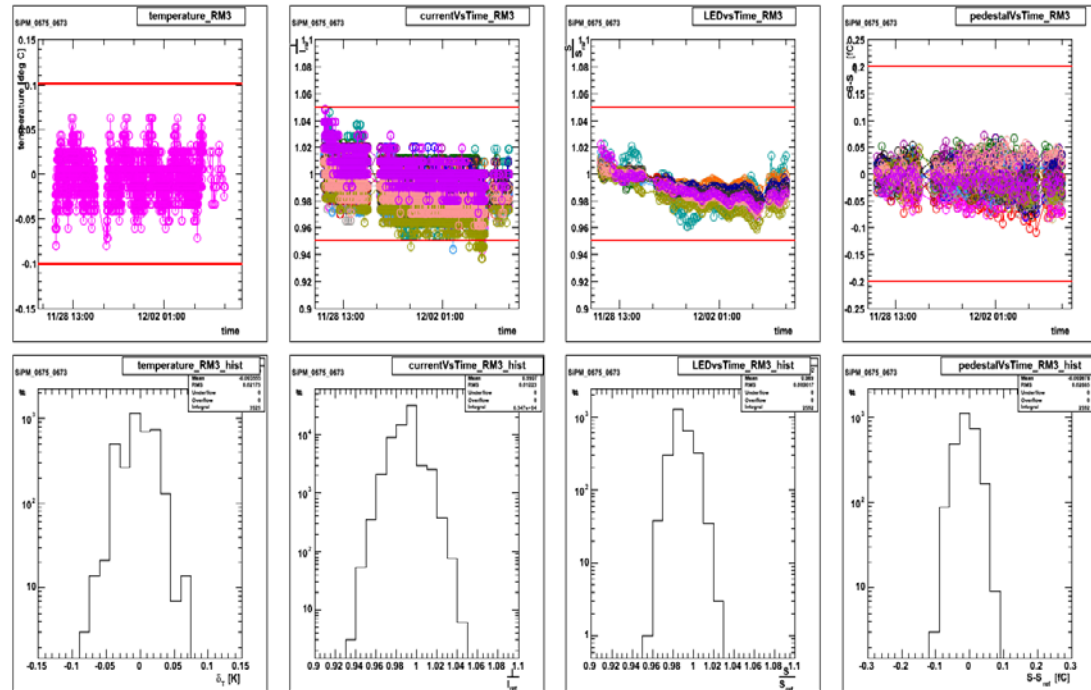


Şekil 4.4. 27 Kasım 2012 Tarihi İçin Referans Verisinin Sıcaklık Grafiği.

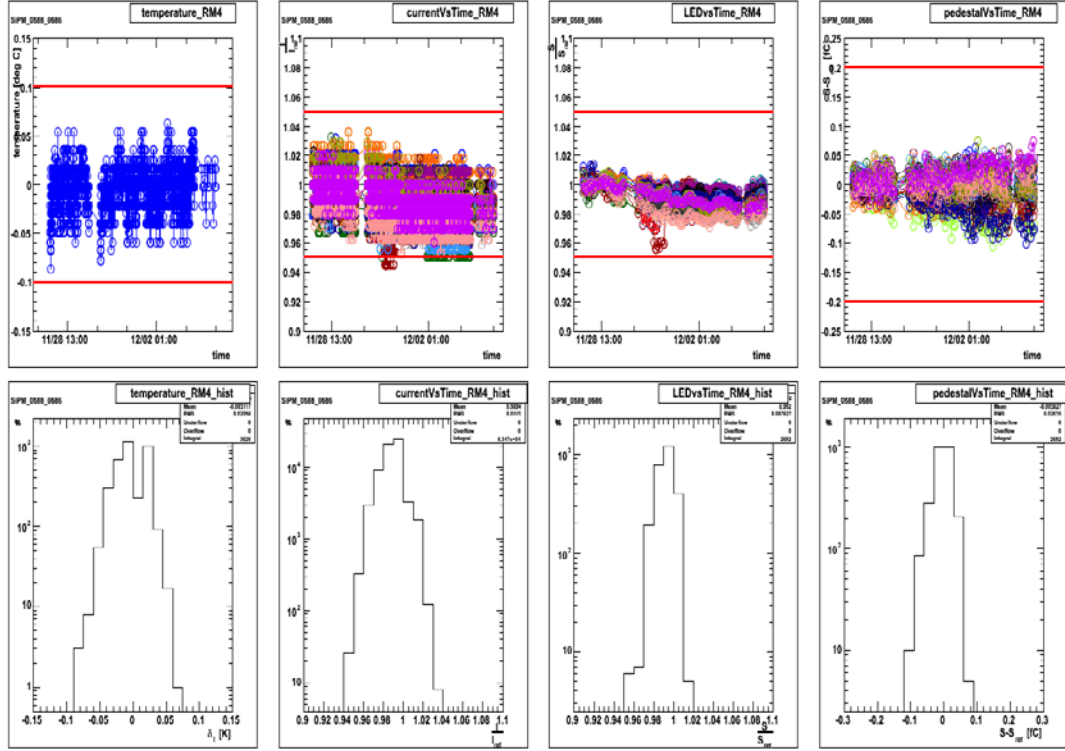
Referans verisi kullanılarak elde edilen, 27 Kasım 2012 tarihindeki diğer uzun süreli veriler için RM'lerin özet grafikleri (sıcaklık, akım, LED ve pedestal değerleri ve bu değerler için y ekseninin x eksenine göre izdüşümü) belirlenmiştir. Şekil 4.5.a, HO1M02'nin RBX'deki RM 2'nin, Şekil 4.5.b RM 3'ün, Şekil 4.5.c RM 4'ün özet grafiklerini göstermektedir.



Şekil 4.5.a. HO1M02 RBX'deki RM 2'nin Özet Grafiği.



Şekil 4.5.b. HO1M02 RBX'deki RM 3'ün Özet Grafiği.



Şekil 4.5.c. HO1M02 RBX'deki RM 4'ün Özet Grafiği.

Şekil 4.5.a, Şekil 4.5.b ve Şekil 4.5.c'de görüldüğü gibi sıcaklık grafiklerinde her bir RM farklı bir renkle verilmiştir. RM 2 kırmızı, RM 3 pembe ve RM 4 mavi renk ile gösterilmiştir. Akım, LED ve pedestal değerlerindeki her bir renk ise SiFÇ'nin sahip olduğu 18 pikselin her birine karşılık gelmektedir. RM 2, RM 3 ve RM 4 için sıcaklık değerleri öngörülen değer ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$) aralığında gözlemlenmiştir. Akım değeri ise aynı periyottaki verilerin akım değerlerinin, referans verisinin akım değerine oranından (I/I_{ref}) bulunmuştur. I/I_{ref} oranı zamanın bir fonksiyonu olarak çizdirilmiş ve bu oranın RM 2, RM 3 ve RM 4 için beklenen '1' değerinde doğrusal olduğu görülmüştür.

İncelenen her bir RM için, aynı periyotta alınan uzun süreli verilerin LED değeri, her bir verinin LED sinyalinin referans sinyaline oranından (S/S_{ref}) bulunmuştur. S/S_{ref} oranı zamanın bir fonksiyonu olarak çizdirilmiştir. Oran RM 2, RM 3 ve RM 4 için beklenen '1' değerinde doğrusaldır. Pedestal değeri aynı periyottaki verilerin sinyal değerlerinden, referans verisinin sinyal değeri çıkarılarak

elde edilmiştir ($S - S_{ref}$). $S - S_{ref}$ oranı zamanın bir fonksiyonu olarak çizdirilmiş ve bu oranın RM 2, RM 3 ve RM 4 için beklenildiği gibi '0' değerinde doğrusal olduğu görülmüştür.

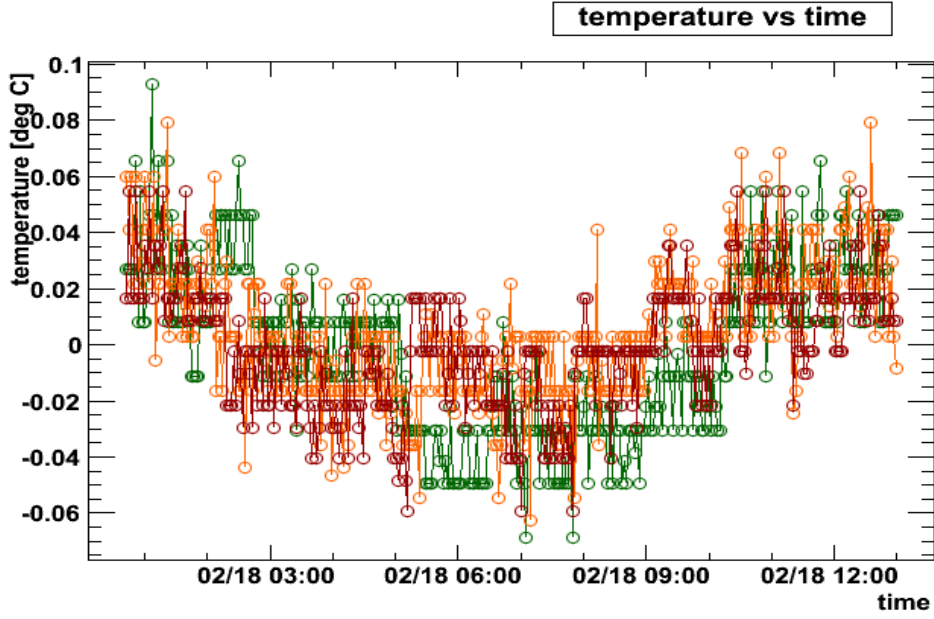
Sıcaklık, akım, LED ve pedestal için öngörülen hata sınırları kırmızı çizgilerle verilmiştir. Hata sınırları sıcaklık için $\pm\%1$, akım ve LED için $\pm\%5$, pedestal için ise ± 0.2 'dir. RM 2, RM 3 ve RM 4 için sıcaklık, akım, LED ve pedestal değerleri kararlı olup, LED değerlerinde kırmızı hata sınırlarını aşan herhangi bir düşüş yada yükseliş gözlenmemiştir.

Çizelge 4.3, 14 Şubat 2013'de HO1M04 RBX'inde yapılan RM değişikliğinin ardından bir sonraki RM değişikliğine kadar alınan uzun süreli verilerin özelliklerini göstermektedir. 14 Şubat 2013 tarihi için Çizelge 4.3'de gösterilen uzun süreli veriler arasından seçilen referans verisinin sıcaklık grafiği Şekil 4.6'da verilmiştir. Referans verisi sıcaklık grafiği beklenildiği gibi ± 0.1 °C değer aralığındadır.

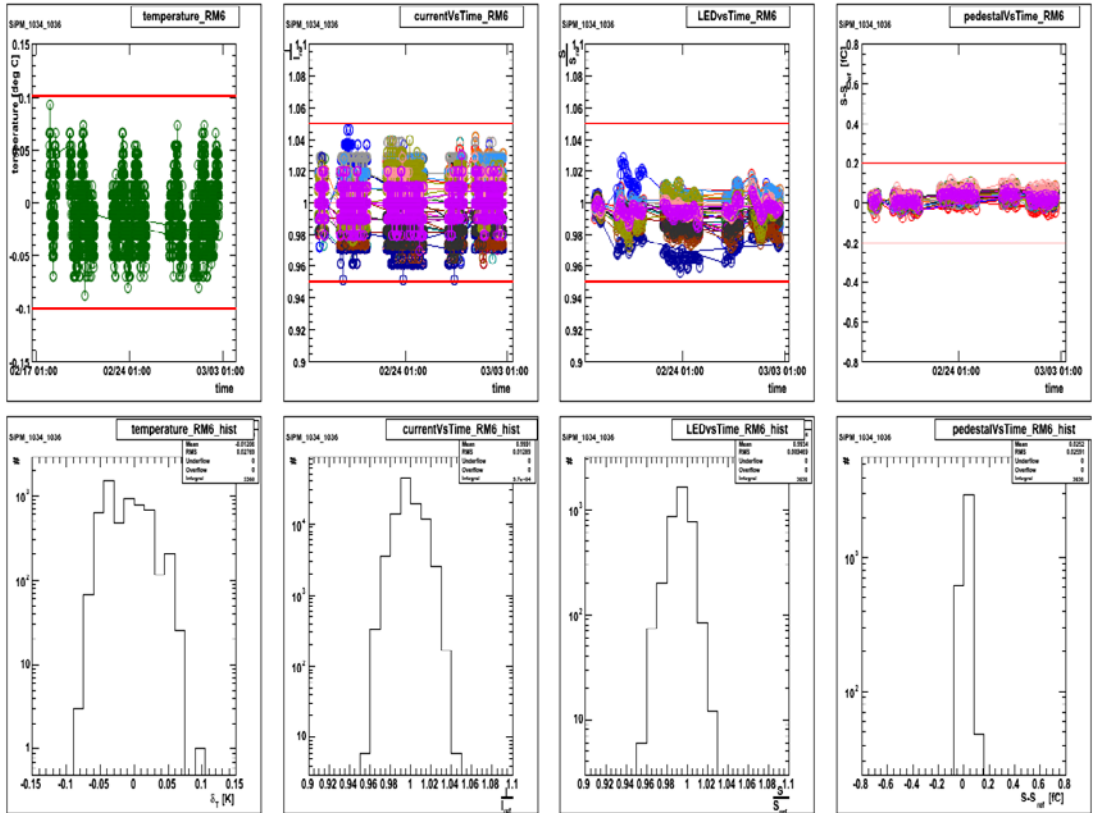
Çizelge 4.3. 14 Şubat 2013 Tarihinde HO1M04'ün RBX'i İçin Alınan Uzun Süreli Veriler.

Veri Numarası	Tip	Olay Sayısı
5937 (Referans verisi)	HO_LED_PED_long	280 K
5946	HO_LED_PED_long	960 K
5981	HO_LED_PED_long	1.3 M
6052	HO_LED_PED_long	260 K
6053	HO_LED_PED_long	260 K
6070	HO_LED_PED_long	1 M

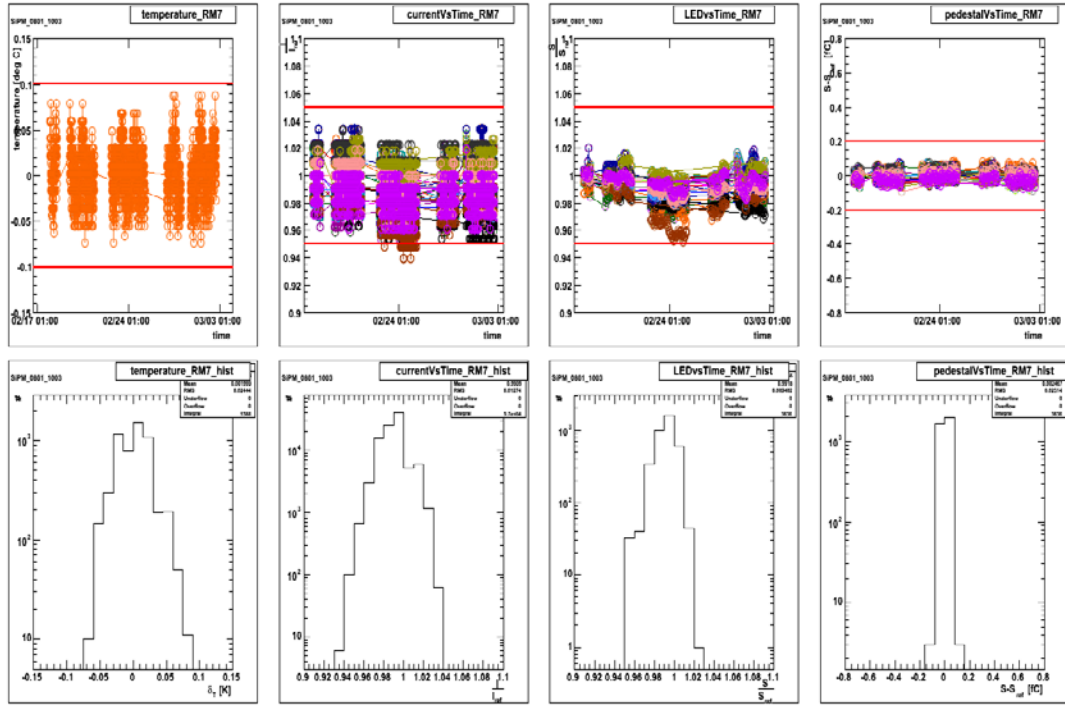
Referans verisi kullanılarak elde edilen, 14 Şubat 2013 tarihindeki diğer uzun süreli veriler için HO1M04'ün RBX'indeki RM 6, RM 7 ve RM 8'in özet grafikleri (sıcaklık, akım, LED ve pedestal değerleri ve bu değerler için y ekseninin x eksenine göre izdüşümün histogramları) sırasıyla Şekil 4.7.a, 6 Şekil 4.7.b, Şekil 4.57.c'de verilmiştir.



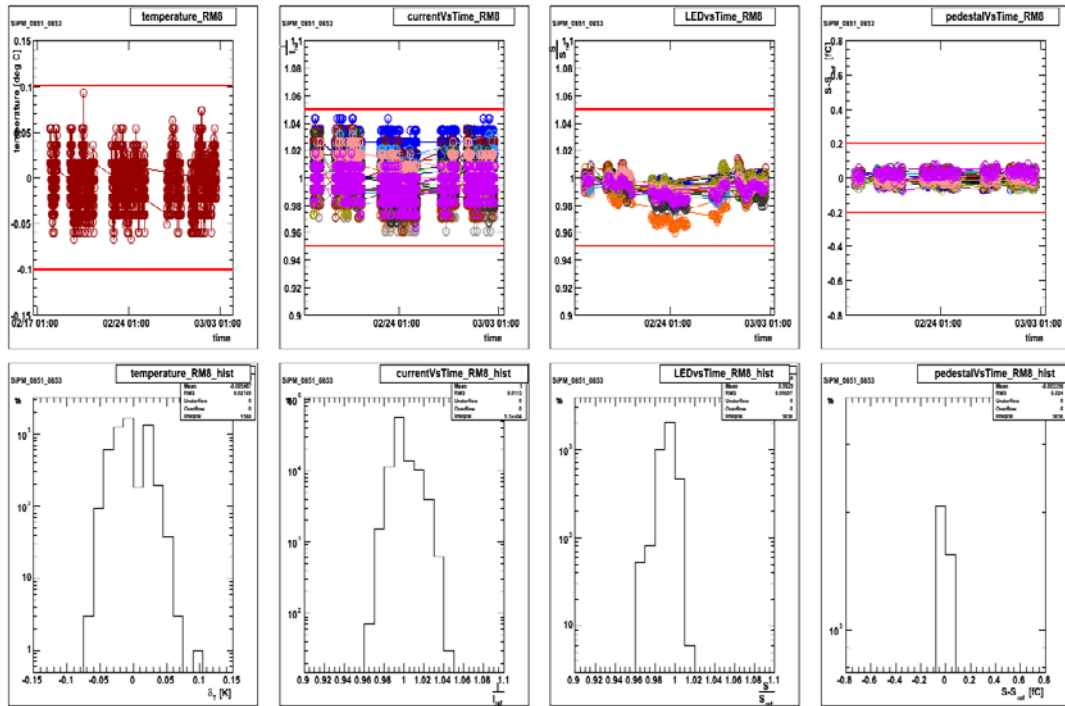
Şekil 4.6. 14 Şubat 2013 Tarihi İçin Referans Verisinin Sıcaklık Grafiği.



Şekil 4.7.a. HO1M04'ün RBX'indeki RM 6'nın Özet Grafiği.



Şekil 4.7.b. HO1M04'ün RBX'indeki RM 7'nin Özet Grafiği.



Şekil 4.7.c. HO1M04'ün RBX'indeki RM 8'in Özet Grafiği.

Grafiklerde RM 6 yeşil, RM 7 turuncu ve RM 8 bordo ile verilmiştir. RM 6, RM 7 ve RM 8 için sıcaklık, öngörülen değer olan ± 0.1 °C ile uyumludur. RM 6, RM 7 ve RM 8 için I/I_{ref} ve S/S_{ref} oranı beklenildiği gibi '1' değerinde, $S - S_{ref}$ değeri ise '0' değerinde doğrusaldır.

Sıcaklık, akım, LED ve pedestal değerleri için öngörülen hata sınırları kırmızı ile verilmiştir. Hata sınırları sıcaklık için $\pm \%1$, akım ve LED için $\pm \% 5$, pedestal için ise ± 0.2 'dir. RM 6, RM 7 ve RM 8 için sıcaklık, akım, LED ve pedestal değerleri karardır. LED değerlerinde hata sınırlarını aşan herhangi bir düşüş yada yükseliş gözlenmemiştir.

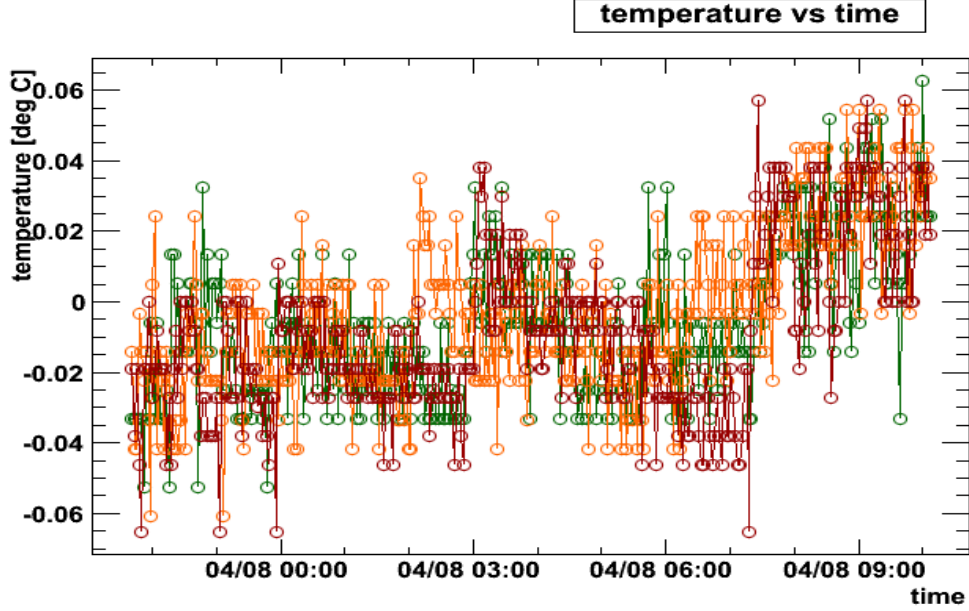
Çizelge 4.4, 28 Mart 2013'de HO1M04'ün RBX'inde yapılan RM değişikliğinin ardından bir sonraki RM değişikliğine kadar alınan uzun süreli verilerin özelliklerini göstermektedir. 28 Mart 2013 tarihi için Çizelge 4.4'deki uzun süreli veriler arasından seçilen referans verisinin sıcaklık grafiği Şekil 4.8'dedir. Referans verisi sıcaklık grafiği beklenildiği gibi ± 0.1 °C değer aralığındadır.

Çizelge 4.4. 28 Mart 2013 Tarihinde HO1M04'ün RBX'i İçin Alınan Uzun Süreli Veriler.

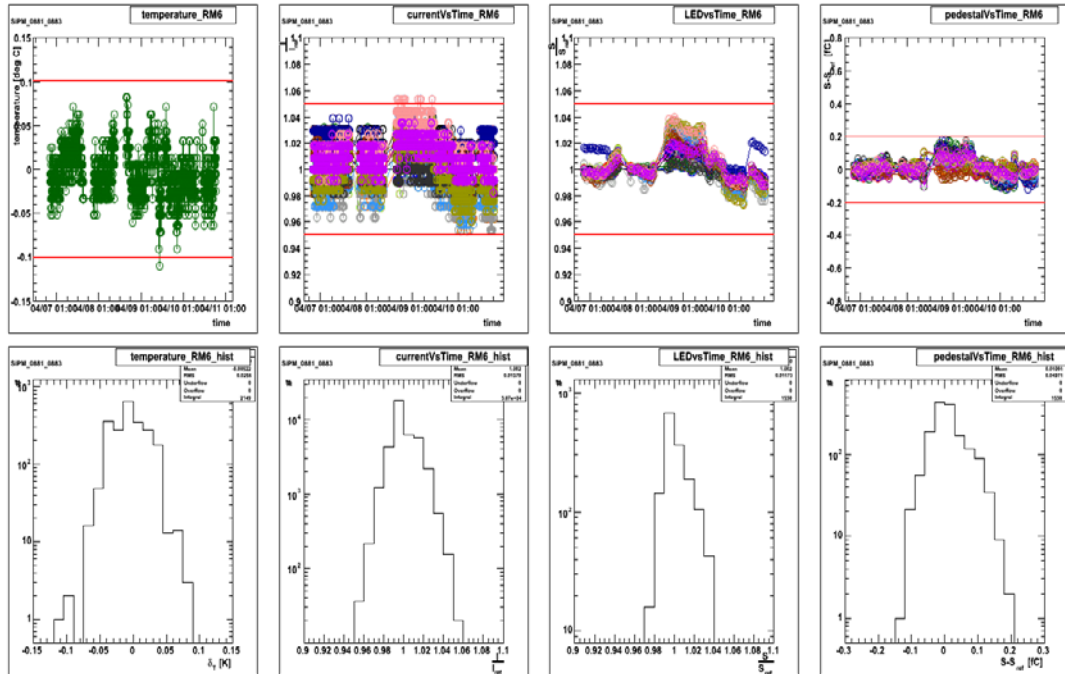
Veri Numarası	Tip	Olay Sayısı
6196	HO_LED_PED_long	400 K
6198 (Referans verisi)	HO_LED_PED_long	500 K
6202	HO_LED_PED_long	500 K
6203	HO_LED_PED_long	50 K
6204	HO_LED_PED_long	300 K
6205	HO_LED_PED_long	100 K
6206	HO_LED_PED_long	100 K
6207	HO_LED_PED_long	500 K
6210	HO_LED_PED_long	200 K
6212	HO_LED_PED_long	100 K

28 Mart 2013 deki diğer uzun süreli veriler kullanılarak elde edilen sıcaklık, akım, LED, pedestal değerleri ve bu değerler için y ekseninin x eksenine göre

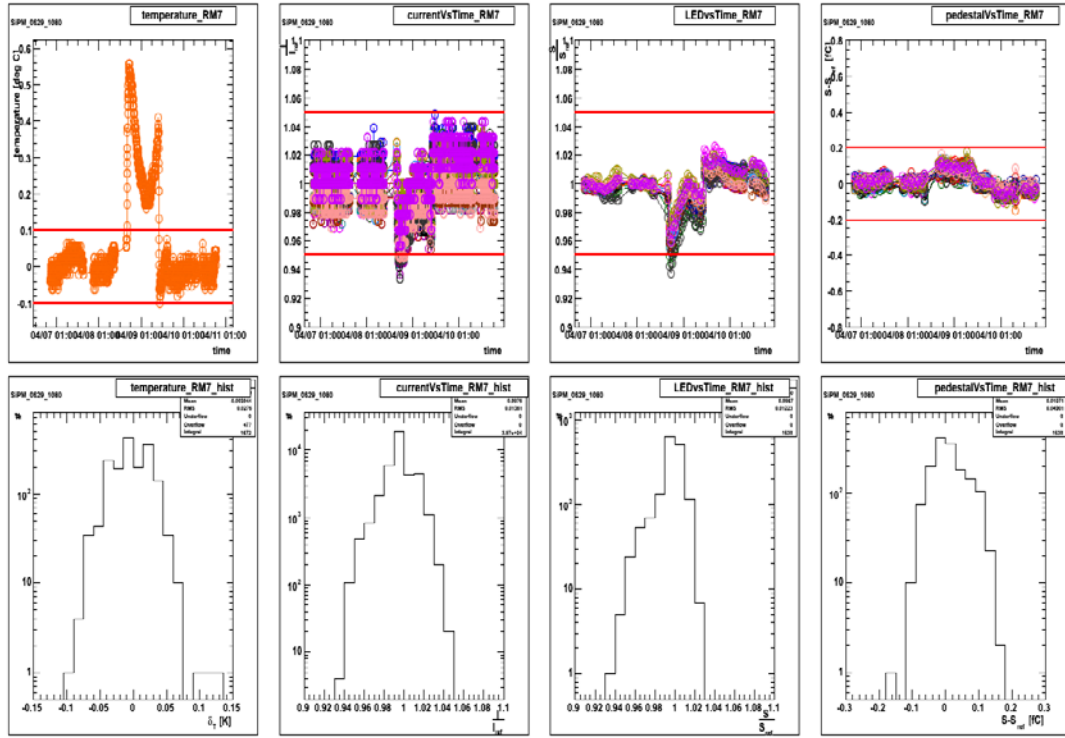
izdüşümün histogramları (özet grafikleri) HO1M04'ün RBX'indeki RM 6 için Şekil 4.9.a, RM 7 için Şekil 4.9.b ve RM 8 için Şekil 4.9.c'de verilmiştir.



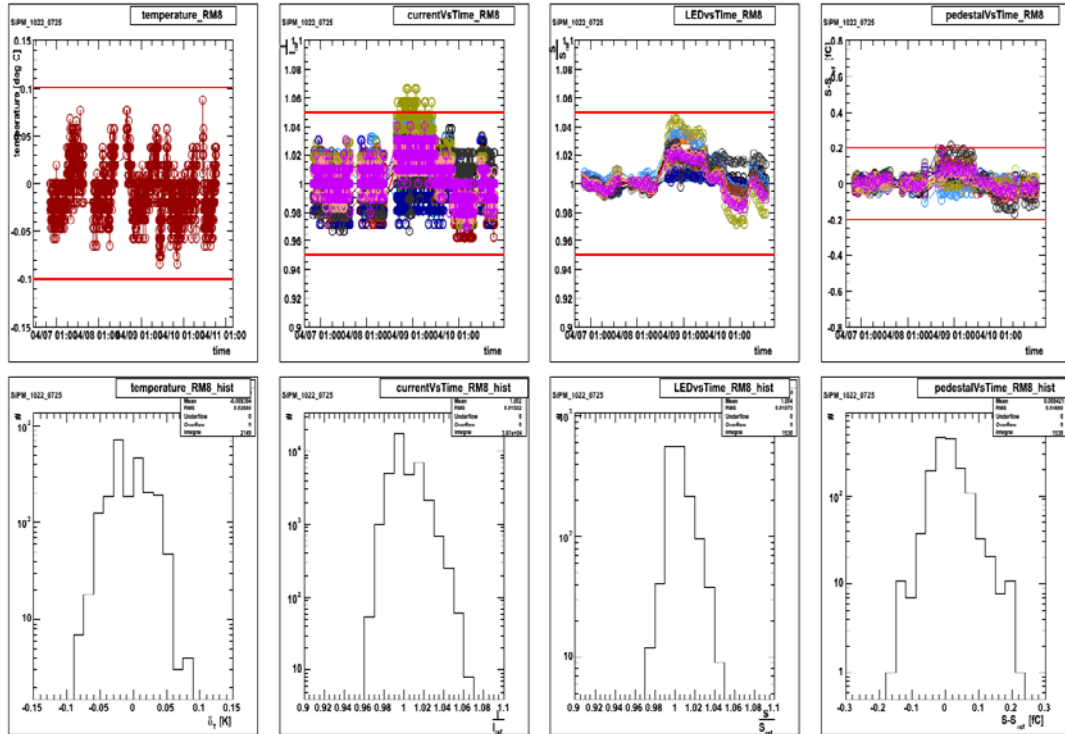
Şekil 4.8. 28 Mart 2013 Tarihi İçin Referans Verisinin Sıcaklık Grafiği.



Şekil 4.9.a. HO1M04'ün RBX'indeki RM 6'nın Özet Grafiği.



Şekil 4.9.b. HO1M04'ün RBX'indeki RM 7'in Özet Grafiği.

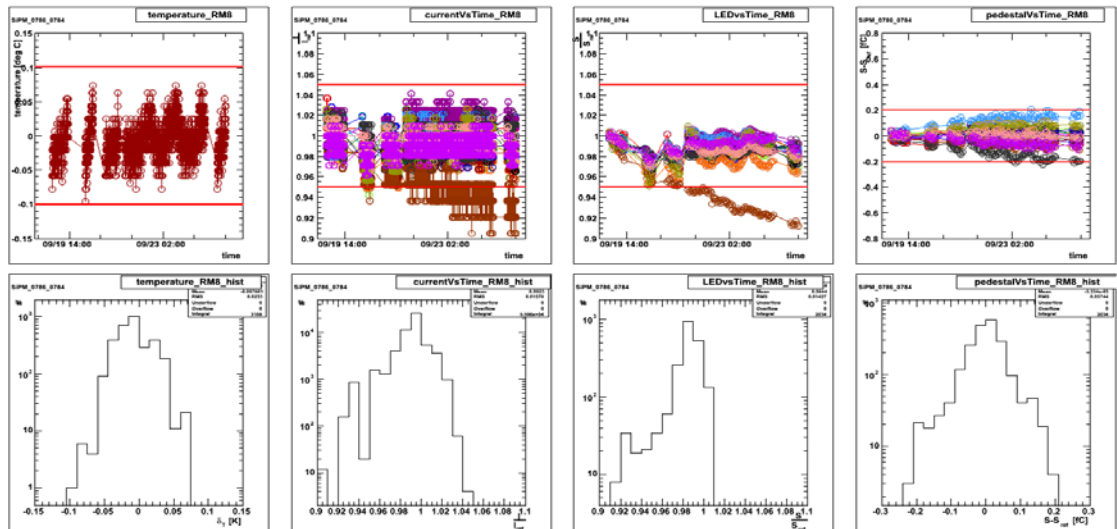


Şekil 4.9.c. HO1M04'ün RBX'indeki RM 8'in Özet Grafiği.

Şekil 4.9.a, Şekil 4.9.b ve Şekil 4.9.c'den görüldüğü gibi RM 6 ve RM 8 için sıcaklık değerleri öngörülen değer ($\pm 0.1^\circ\text{C}$) aralığındadır. RM 7'nin sıcaklık değerinde beklenen değer dışında ani bir yükseliş gözlenmiştir. I / I_{ref} oranı ise RM 6 ve RM 8 için beklenildiği gibi '1' değerinde doğrusaldır. S / S_{ref} oranı RM 6 ve RM 8 için beklenildiği gibi '1' değerinde doğrusaldır. $S - S_{ref}$ oranı RM 6, RM 7 ve RM 8 için beklenildiği gibi '0' da doğrusaldır. RM 7 için ise sıcaklıkdaki ani artıştan dolayı aynı zaman aralığında akım ve LED değerinde bir düşüş gözlenmiştir.

Sıcaklık, akım, LED ve pedestal için hata sınırları sıcaklık için $\pm \%1$, akım ve LED için $\pm \%5$, pedestal için ise ± 0.2 'dir. Sıcaklık, akım, LED ve pedestal değerleri RM 6 ve RM 8 için kararlı olup, LED değerleri hata sınırları içindedir. RM 7 için ise LED ve akım değerinde sıcaklık değerindeki ani yükselmeden kaynaklanan aynı zaman aralığında bir düşüş gözlenmiştir.

HO904 kararlılık testinde kullanılan verilerin analizleri yapılırken bazı periyotlarda tek bir pikselin beklenmeyen bir şekilde, diğer piksellerden farklı bir davranış gösterdiği gözlenmiştir. Şekil 4.10'da 18 Eylül 2012'de HO1M04'ün RBX'inde yapılan RM değişikliğinin ardından RM 8'in kararlılığı gösterilmektedir. LED değerinde, 14. pikselde diğer piksellerden farklı şekilde beklenmeyen bir düşüş vardır. Kararlılık analizindeki, bu tür tek bir pikselden gelen ani düşüşlerin nedenlerini anlamak konusunda yapılan araştırmalar halen devam etmektedir.



Şekil 4.10. HO1M04'ün RBX'indeki RM 8'in Özet Grafiği.

Bu problemin fiber optik kabloların zarar görmesinden kaynaklanıyor olabileceği düşünölmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

CERN’de 2009 yılının sonlarında faaliyete geçen BHÇ üzerindeki CMS deneyi genel amaçlı dört büyük deneyden biridir. BHÇ’de, 2015 yılına kadar fizik verisi alınmayacaktır. Bu verilen uzun arada, hızlandırıcı ve dedektörlerde iyileştirme ve yenilenme çalışmaları yapılmaktadır. İyileştirme çalışmalarından biride HKAL’ın alt dedektörlerinden HO’da kullanılan HFD’lerin SiFC’lerle değiştirilmesidir. Sinyallerin varlanması için kullanılan mevcut HFD’ler ile yer değiştirilmesi planlanan SiFC’lerin testleri için yeni RBX’ler tasarlanmıştır.

Bu tez çalışmasında HO’da kullanılmak üzere tasarlanan SiFC’li yeni RBX’lerin test düzeneği ve RBX’lerin içinde bulunan RM’lerin kararlılık testleri tartışılmıştır. Alınan lokal veriler kullanılarak RM’lerin sıcaklık, akım, LED ve pedestal kararlılıkları incelenmiştir.

Manyetik alanı yoğun olduğu kenar bölgelerde HO’daki işletim problemlerinden dolayı, HFD’leri optimum yüksek voltajdan daha düşük bir voltajda çalıştırmak gerekmiştir. Düşük voltaj düşük kazanç ve bu durumda dedektörün performansının düşmesine neden olmuştur. HFD’lerin SiFC’lerle değiştirilmesinden sonra dedektör performansının artması beklenmektedir.

HO, dönüş boyunduruğu fiçisinin (YB) içine ilk müon odacığının önüne yerleştirilmiştir. YB; YB0, $YB \pm 1$ ve $YB \pm 2$ olmak üzere beş halkadan oluşmaktadır. HO’nun sahip olduğu halkalar 0, ± 1 ve ± 2 ise sırasıyla YB0, $YB \pm 1$ ve $YB \pm 2$ ’ye karşılık gelmektedir. Beş halkadan oluşan HO’da halka 0’da 12 RBX ve her bir RBX’de üç RM olmak üzere 36 RM, halka ± 1 ’de 12 RBX ve her bir RBX’de dört RM olmak üzere 48 RM, halka ± 2 ’de ise 12 RBX ve her bir RBX’de dört RM olmak üzere 48 RM bulunmaktadır. Sonuçta HO’nun beş halkasında toplam 36 RBX ve 132 RM vardır.

HO904 test’inde, mevcut 157 SiFC’li RM kontrol edilmiştir. Test edilen SiFC’li RM’lerden on üç tanesinde LED değerinde tek bir pikselden kaynaklanan ani düşüş problemi gözlenmiştir. Kararlılıkları düzgün olmayan RM’ler tekrar test edilmekte ve diğer piksellerden farklı olarak gözlemlenen ani düşüşlerin nedeninin anlaşılabilmesi konusundaki yapılan çalışmalar devam etmektedir. Bu problemin daha

önce zarara uğrayan fiber optik kablolardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Şuan testte başarılı olan SiFÇ'ler HO'nun 0'ıncı halkasından itibaren takılmaya başlanmıştır.

KAYNAKLAR

- CMS Collaboration, 2006, “Detector Performance and Software”, CMS Physics Technical Design Report, Volume 1 (Erişim Tarihi: 10 Mart 2013).
- CMS Collaboration, 2008, “The CMS Experiment at the CERN LHC” (Erişim Tarihi: 3 Ocak 2013).
- CMS Collaboration,2011, “Technical Proposal for the Upgrade of the CMS Detector Through 2020” CMS-UG-TP-1(Erişim Tarihi: 5 Mart 2013).
- CMS NOTE, 2008 “Design, Performance, and Calibration of the CMS Hadron Outer Calorimeter” 2008/020 (EriřimTarihi: 18 şubat 2013).
- CUSHMAN P. B.ve HEERING A. H., 2002, “CMS HCAL Hybrid Photodiode Design and Quality Assurance Stations” ICFA Instrum. Bull 25 (2002) 1-16 (EriřimTarihi: 22 şubat 2013).
- GARUTTI E., 2011,“Silicon Photomultipliers for High Energy Physics Detectors” Workshop on Fast Cherenkov Detectors – Photon Detection, DIRC Design and DAQ, April 4-6 2011, Giesse, Germany (Erişim Tarihi: 18 şubat 2013).
- HEERING A., ve dięerleri 2007,“Performance of silicon photomultipliers with the CMS HCAL front end electronics” Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A 576 (2007) 341-349 (EriřimTarihi: 20 şubat 2013).
- JOHNSON K. F., 2010,“Extending the dynamic range of silicon photomultipliers without increasing pixel count” Nuclear Instruments andMethods in PhysicsResearch A 621 (2010) 387-389 (Erişim Tarihi: 20 şubat 2013).
- KANAYA N., ve dięerleri 1999, “Test Results on hybrid photodiodes” Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 421, 3 (1999) 512-521 (Erişim Tarihi: 19 şubat 2013).
- LUTZ B., 2012, “Upgrade of the CMS Hadron Calorimeter with SiPM Sensors” XVth International Conference on Calorimetry in High Energy Physics (CALOR2012) IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series 404 (2012) 012018 (EriřimTarihi: 23 Ocak 2013).

SHI J.-W., 2011, “The New Photo-Detectors for High Energy Physics and Nuclear Medicine”, Photodiodes-Communications, Bio Sensings, Measurements and High Energy Physics (September, 2011) (Erişim Tarihi: 11 Mart 2013).

ZALESAK J., 2012, “Calibration System with Optical Fibers for Calorimeters at Future Linear Collider Experiments (January, 2012) Arxiv: 1201.5762v1 (Erişim Tarihi: 25 Mart 2013).

<http://scienceblogs.com/startswithabang/2011/12/13/the-large-hadron-collider-the/>(Erişim Tarihi: 5 Ocak 2013).

<http://cms.web.cern.ch/news/cms-detector-design>(Erişim Tarihi: 23 Ocak 2013).

<http://cms.web.cern.ch/news/ecal-preshower>(Erişim Tarihi: 25 Ocak 2013).

<http://cms.web.cern.ch/news/electromagnetic-calorimeter>(Erişim Tarihi: 23 Ocak 2013).

<http://cms.web.cern.ch/news/tracker-detector>(Erişim Tarihi: 23 Ocak 2013).

<http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/HowLHC-en.html>(Erişim Tarihi: 23 Ocak 2013).

<http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/LHCExperiments-en.html>(Erişim Tarihi: 23 Ocak 2013).

http://readwrite.com/2012/02/09/hangout_with_the_scientists_looking_for_the_god_pa(Erişim Tarihi: 23 Ocak 2013).

<http://www.fnal.gov/pub/today/images/images06/CMS6.jpg> (Erişim Tarihi: 23 Ocak 2013).

http://irfu.cea.fr/en/Phoce/Vie_des_labos/Ast/ast_visu.php?id_ast=3011(Erişim Tarihi: 24 Ocak 2013).

<http://cms.web.cern.ch/news/hadron-calorimeter> (Erişim Tarihi: 26 Ocak 2013).

<http://cms.web.cern.ch/news/muon-detectors>(Erişim Tarihi: 26 Ocak 2013).

<http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/images/complex/Cern-complex.gif>(Erişim Tarihi: 26 Ocak 2013).

http://onlyhdwallpapers.com/wallpaper/cern_large_hadron_collider_particle_accelerator_compact_muon_desktop_1600x1071_hd-wallpaper-785734.jpg(Erişim Tarihi: 26 Ocak 2013).

<http://cds.cern.ch/record/1431487>(Erişim Tarihi: 28 Ocak 2013).

<http://cds.cern.ch/record/1431489> (Erişim Tarihi: 28 Ocak 2013).

<http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1110/1110.0537.pdf>(Erişim Tarihi: 10 Mart 2013).

WIKİPEDİA,http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode(Erişim Tarihi: 10 Mart 2013).

WIKİPEDİA,<http://en.wikipedia.org/wiki/File:PnJunction-LED-E.svg>(Erişim Tarihi: 10 Mart 2013).

http://www.ele.uri.edu/courses/ele432/spring08/photo_detectors.pdf (Erişim Tarihi: 14 Mart 2013).

<http://physik.uibk.ac.at/hephy/muon/pmtcnste.pdf>(Erişim Tarihi: 18 Mart 2013).

WIKİPEDİA,http://en.wikipedia.org/wiki/Vacuum_tube(Erişim Tarihi: 18 Mart 2013).

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Adana’da doğdu. Lise öğrenimini Adana İsmail Safa Özler Almanca Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2005 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi Fizik Bölümü’nden 2009 yılında mezun oldu. 2009 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalında tezli yüksek lisans programına başladı. 2012 yılının Ağustos-Aralık ve 2013 yılının Mart-Ağustos ayları arasında CERN’deki CMS deneyinde yürütülen çalışmalara katıldı. Halen Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.