ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Semra TÜRKÇAPAR

CMS DENEYİNDEKİ HO VE HF KALORİMETRELERİ İÇİN PEDESTAL ANALİZLERİ

FİZİK ANABİLİM DALI

ADANA, 2014

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CMS DENEYİNDEKİ HO VE HF KALORİMETRELERİ İÇİN PEDESTAL ANALİZLERİ

Semra TÜRKÇAPAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

Bu tez 13/02/2014 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/~~Oyçokluğu~~ İle Kabul Edilmiştir.

…….....	.....	…….....
Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ	Prof. Dr. Eda EŞKUT	Doç. Dr. Kenan SÖĞÜT
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE

Bu tez Enstitümüz Fizik Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: FEF2013YL1

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CMS DENEYİNDEKİ HO VE HF KALORİMETRELERİ İÇİN PEDESTAL ANALİZLERİ

Semra TÜRKÇAPAR

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman :Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ
Yıl: 2014, Sayfa: 89
Jüri :Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ
:Prof. Dr. Eda EŞKUT
:Doç. Dr. Kenan SÖĞÜT

BHÇ'de 2015 yılına kadar sürmesi planlanan teknik mola süresince, CMS'in alt detektörlerinde iyileştirme ve geliştirme çalışmaları yapılacaktır. HKAL'in alt detektörleri olan HO ve HF kalorimetrelerinde de bu süre boyunca bir takım yenileme çalışmalarının yapılması planlanmıştır. HO kalorimetresinde foto detektör olarak kullanılan HFD'lerin manyetik alan ortamında geniş gürültü pulsları ürettiği tespit edilmiştir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için HO'daki mevcut HFD'ler SiFÇ'lerle değiştirilecektir. SiFÇ'lerin detektöre yerleştirilmeden önce pedestal testlerinin yapılması gerekmektedir. Ayrıca HF kalorimetresinde foto detektör olarak kullanılan tek anotlu FÇT'ler çok - anotlu FÇT'lerle değiştirilecektir. Bu yeni FÇT'lerin de pedestal testleri yapılmaktadır. Bu tez çalışması SiFÇ'lerin ve dört - anotlu FÇT'lerin pedestal çalışmalarını içermektedir.

Anahtar Kelimeler: HKAL, HO, SiFÇ, HF, Pedestal

ABSTRACT

MSc THESIS

PEDESTAL ANALYSIS FOR HO AND HF CALORIMETERS IN CMS EXPERIMENT

Semra TÜRKÇAPAR

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF PHYSICS

Supervisor :Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ
Year: 2014, Pages: 89
Jury :Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ
:Prof. Dr. Eda EŞKUT
:Asst. Prof. Dr. Kenan SÖĞÜT

During the technical break at the LHC, which is planned to last until 2015, the improvement and development of the CMS sub-detectors will be conducted. During this time, the renovation work will be done at HCAL calorimeter sub-detectors HO and HF. HPDs, which are used as photo - detectors at HO calorimeter, have been found to produce large noise pulses in the presence of magnetic field. In order to eliminate this problem, the current HPDs at the HO will be replaced by SiPMs. SiPMs' pedestal tests have to be made prior to insertion into the detector. Also single anode PMTs, which are used as photodetectors in HF calorimeter will be replaced with multi anode PMTs. The pedestal tests also applied to the new PMTs. This thesis study includes SiPMs' and multi anode PMTs' pedestal works.

Key Words: HCAL, HO, SiPM, HF, Pedestal

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu çalışma süresince gerek ders aşamasında, gerekse tez aşamasında benden bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, bana her konuda yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ'e ve bu gruba ilk adım attığımda beni umutlu bakışlarıyla karşılayan Sayın Prof. Dr. Gülsen ÖNENGÜT'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doğrudan ve dolaylı katkıları için Çukurova Üniversitesi Yüksek Enerji Fiziği Grubu öğretim üyeleri Prof. Dr. Eda EŞKUT, Prof. Dr. Aysel KAYIŞ TOPAKSU, Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU'na teşekkür ederim.

CERN'deki çalışmalarım boyunca benden bilgi ve desteğini esirgemeyen, yeri geldiğinde iki arkadaş gibi her şeyi konuşabildiğim sevgili Candan DÖZEN'e ve diğer süpervizörlerim Gül ÖNENGÜT GÖKBULUT ve Semiray GİRGİS'e teşekkürü bir borç bilirim. Çalışma arkadaşım Merve ÖZCAN ve CERN'deki çalışmış olduğum gruptaki Benjamin LUTZ'a teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen anne, baba, kardeşime ve benim yüksek lisans yapmamda beni yüreklendiren sevgili ablama çok teşekkür ederim.

Hayatıma gerçekten çok anlamlı bir zamanda giren, ufkumu genişleten, bana büyük düşünmeyi öğreten, hayallerimin peşinden giderken elimden sımsıkı tutan ve hayatıma girdiği andan itibaren benimle her şeyi paylaşan özel insan Zekeriya UYSAL'a yürekten teşekkür ederim.

Yüksek lisansa başladığım tarihten itibaren benden manevi desteğini esirgemeyen, her zor zamanımda beni yüreklendirerek bu yolda yürümekten vazgeçmemem gerektiğine beni gerçekten inandıran dostum Cafer ASLAN'a teşekkür ederim.

Ayrıca CERN'deki çalışmalarımı maddi olarak destekleyen TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu)'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
İÇİNDEKİLER IV
ÇİZELGELER DİZİNİ VI
ŞEKİLLER DİZİNİ VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR XII
1. GİRİŞ 1
1.1. Parçacık Fiziği 1
1.2. Temel Parçacıklar ve Kuvvetler 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 7
2.1. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ) ve Üzerinde Bulunan Detektörler 7
2.2. CMS Detektörü 13
2.2.1. İzleyici Sistem 15
2.2.2. Elektromanyetik Kalorimetre (EKAL) 16
2.2.3. Hadronik Kalorimetre (HKAL) 17
2.2.4. Süper İletken Mıknatıs 19
2.2.5. Müon Sistemi 20
3. MATERYAL VE METOD 23
3.1. Hadronik Kalorimetre (HKAL) 23
3.1.1. Hadronik Fıçı Kalorimetresi (HB) 24
3.1.2. Hadronik Kapak Kalorimetresi (HE) 25
3.1.3. Hadronik Dış Kalorimetresi (HO) 26
3.1.3.1. Hibrit Foto Diyot (HFD). 32
3.1.3.2. Silikon Foto Çoğaltıcı (SiFÇ) 34
3.1.4. İleri Hadron Kalorimetresi (HF) 37
3.1.4.1. Foto Çoğaltıcı Tüp (FÇT). 39
3.2. HKAL Elektronikleri ve Veri Toplama 44
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR 47

4.1. HO SiFÇ Analizi 47
4.1.1. HO904 Test Düzeneği ve Veri Alımı 47
4.1.2. HO904 Kararlılık Analizindeki Pedestal Çalışmaları ve Tekil Kanal Problemleri 49
4.1.2.1. Kararlılık Analizindeki Pedestal Çalışmaları 49
4.1.2.2. Kararlılık Analizindeki Tekil Kanal Problemleri 57
4.2. HF FÇT Analizi 65
4.2.1. B904 Test Düzeneği ve Veri Alımı 65
4.2.2. HF'te Yenilenecek FÇT'lerin Pedestal RMS Analizi 68
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 83
KAYNAKLAR 85
ÖZGEÇMİŞ 89

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 4.1. 11 Aralık 2012 HO1M02 periyodunda alınan veriler..... 50
Çizelge 4.2. 29 Mayıs 2012 HO1M04 periyodunda alınan veriler..... 54
Çizelge 4.3. 7 Haziran 2012 HO1M02 periyodunda alınan veriler 58
Çizelge 4.4. 2 Ekim 2012 HO1M02 periyodunda alınan veriler 59
Çizelge 4.5. 4 Ekim 2012 HO1M02 periyodunda alınan veriler 62
Çizelge 4.6. 15 Ocak 2013 HO1M04 periyodunda alınan veriler..... 64
Çizelge 4.7. Kazanca göre sıralanmadan önce alınan LED verileri ve özellikleri..... 70
Çizelge 4.8. Kazanca göre sıralanmadan sonra alınan LED verileri ve özellikleri..... 77

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 1.1. Fermiyonların Üç Ailesi....2
Şekil 1.2. Temel Kuvvetler....4
Şekil 2.1. BHÇ üzerinde yer alan deneyler 8
Şekil 2.2. ALICE detektörünün genel görünüşü 9
Şekil 2.3. ATLAS detektörünün genel görünüşü 10
Şekil 2.4. LHCb detektörünün genel görünüşü 11
Şekil 2.5. LHCf foto detektör 1 ve LHCf foto detektör 2 12
Şekil 2.6. Etkileşim noktasındaki montajı sırasında TOTEM T2 detektörünün bir kolu 13
Şekil 2.7. CMS detektörü 14
Şekil 2.8. CMS'in izleyici sistemindeki silikon şerit detektörleri 16
Şekil 2.9. EKAL'in enine kesiti 17
Şekil 2.10. HKAL detektöründeki HB, HE, HO ve HF kalorimetrelerinin CMS'deki konumları 18
Şekil 2.11. Süper iletken mıknatıs....20
Şekil 2.12. Müon sistemindeki DT, CSC ve RPC istasyonları 21
Şekil 2.13. CMS'deki Müon odacıkları....22
Şekil 3.1. CMS dedektörünün boyuna görünümü. HB, HE, HO ve HF'in CMS'deki yerleri....24
Şekil 3.2. HB kamalarının numaralandırma şekli 25
Şekil 3.3. Uç kapak demir boyunduruğuna yerleştirilmiş HE....26
Şekil 3.4. CMS genel kurulumunda müon istasyonları halkalarında HO katmanlarının konumları 27
Şekil 3.5. Bir HO tablasının şematik görünümü 28
Şekil 3.6. CMS detektöründeki tüm HO tablalarının düzeni 30
Şekil 3.7. Tipik bir HO sintilatör döşeme 30
Şekil 3.8. Bir HFD'nin enine kesiti 33
Şekil 3.9 Bir RBX'in bir RM'indeki CB, MB ve BB'lerin yerleştirilme şekilleri ...35
Şekil 3.10. MB'nin her iki tarafı....36

Şekil 3.11. Kontrol kartı 36
Şekil 3.12. Bir ışık karıştırıcı 37
Şekil 3.13. HF kalorimetresinin modüllerinden biri 38
Şekil 3.14. HF kalorimetresinin kamaları 39
Şekil 3.15. Vakum tüp içerisindeki bir FÇT'nin enine kesiti 40
Şekil 3.16. Çeşitli tip ve boyutlardaki FÇT'ler 41
Şekil 3.17. HF'te kullanılacak yeni FÇT'ler 42
Şekil 3.18. HF FÇT sisteminin tek anotlu okuyucusu için adaptör kartı 43
Şekil 3.19. HF için geliştirilen FÇT kablolama sisteminin bileşenleri 43
Şekil 3.20. HKAL'in veri toplama elektroniklerinin genel görünümü 44
Şekil 4.1. RBX (ReadoutBoX) 48
Şekil 4.2. 11 Aralık 2012 HO1M02 periyodunun referans verisinin (5759) sıcaklık-zaman grafiği. 51
Şekil 4.3. (a) 11 Aralık 2012 HO1M02 periyodundaki RM2 özet grafiği 52
Şekil 4.3. (b) 11 Aralık 2012 HO1M02 periyodundaki RM3 özet grafiği 52
Şekil 4.3. (c) 11 Aralık 2012 HO1M02 periyodundaki RM4 özet grafiği 53
Şekil 4.4. 29 Mayıs 2012 HO1M04 periyodunun referans verisinin (3315) sıcaklık-zaman grafiği. 55
Şekil 4.5. (a) 29 Mayıs 2012 HO1M04 periyodundaki RM6 özet grafiği 56
Şekil 4.5. (b) 29 Mayıs 2012 HO1M04 periyodundaki RM7 özet grafiği 56
Şekil 4.5. (c) 29 Mayıs 2012 HO1M04 periyodundaki RM8 özet grafiği 57
Şekil 4.6. (a) 7 Haziran 2012 HO1M02 periyodundaki RM3 özet grafiği 58
Şekil 4.6. (b) 7 Haziran 2012 HO1M02 periyodundaki RM3 kanal 13 özet grafiği. 59
Şekil 4.7. (a) 2 Ekim 2012 HO1M04 periyodundaki RM7 özet grafiği 60
Şekil 4.7. (b) 2 Ekim 2012 HO1M04 periyodundaki RM7 kanal 17 özet grafiği. 60
Şekil 4.8. (a) 2 Ekim 2012 HO1M04 periyodundaki RM8 özet grafiği 61
Şekil 4.8. (b) 2 Ekim 2012 HO1M04 periyodundaki RM8 kanal 2 özet grafiği 62
Şekil 4.9. (a) 4 Ekim 2012 HO1M02 periyodundaki RM3 özet grafiği 63
Şekil 4.9. (b) 4 Ekim 2012 HO1M02 periyodundaki RM3 kanal 12 özet grafiği 64

.

Şekil 4.10. 15 Ocak 2013 HO1M04 periyodundaki RM7 özet grafiği 65
Şekil 4.11. Spigot 0, spigot 1 ve QIE kabloları. 66
Şekil 4.12. Bir QIE kablosu. 67
Şekil 4.13. Karanlık kutu 0 ve karanlık kutu 1.....67
Şekil 4.14. Robox kurulumu 68
Şekil 4.15. Karanlık kutu 0 için her bir kanalın pedestal RMS değerleri.....71
Şekil 4.16. 2109 verisinin 22. kanal yanıt grafiği 72
Şekil 4.17. Karanlık kutu 0 için verilerin pedestal RMS değerleri 73
Şekil 4.18. Karanlık kutu 0 için pedestal RMS - kazanç grafikleri.....74
Şekil 4.19. Karanlık kutu 1 için her bir kanalın pedestal RMS değerleri.....75
Şekil 4.20. Karanlık kutu 1 için verilerin pedestal RMS değerleri 75
Şekil 4.21. Karanlık kutu 1 için pedestal RMS - kazanç grafikleri.....76
Şekil 4.22. Karanlık kutu 0 ve karanlık kutu 1 için her bir kanalın pedestal RMS değerleri 78
Şekil 4.23. 3069 ve 3079 verilerinin yanıt grafikleri 79
Şekil 4.24. 3082 ve 3091 verilerinin yanıt grafikleri 79
Şekil 4.25. Karanlık kutu 0 ve karanlık kutu 1 için verilerin pedestal RMS değerleri 80
Şekil 4.26. Karanlık kutu 0 ve karanlık kutu 1 için pedestal RMS - kazanç grafikleri.....81

SİMGELER VE KISALTMALAR

SM : Standart Model
CERN : Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
BHÇ : Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
ALICE : Büyük İyon Çarpıştırma Deneyi
ATLAS : Büyük Toroidal Detektör
CMS : Sıkı Müon Solenoidi
LHCb : LHCb Fiziği Deneyi
LHCf : Büyük İleri Hadron Çarpıştırıcısı
TOTEM : Toplam Elastik ve Difraktif Tesir Kesit Ölçüm Detektörü
KRD : Kuantum Renk Dinamiği
SUSİ : Süper Simetri
HKAL : Hadronik Kalorimetre
EKAL : Elektromanyetik Kalorimetre
APD : Çığ Foto Diyot
VPT : Vakum Foto Triyot
WLS : Dalga Boyu Kaydırıcı
HFD : Hibrit Foto Diyot
EB : Elektromanyetik Fıçı
EE : Elektromanyetik Uç Kapak
HB : Hadronik Fıçı
HE : Hadronik Uç Kapak
HO : Hadronik Dış
HF : İleri Hadronik Kalorimetre
FÇT : Foto Çoğaltıcı Tüp
DT : Sürüklenme Tüpleri
CSC : Katot Şerit Odacıkları
RPC : Dirençli Paralel Levhalı Odalar
QIE : Yük Toplayıcı Kodlayıcı
ADC : Analog – Sayısal Çevirici

HV : Yüksek Voltaj

SiFÇ : Silikon Foto Çoğaltıcı

RBX : Okuma Kutusu

MPPC : Çoklu Piksel Foton Sayıcı

RM : Okuma Modülü

MB : Montaj Kartı

CB : Kontrol Kartı

BB : Ön gerilim Kartı

LS1 : Uzun Ara 1

MMCX : Mikro Minyatür Koaksiyel

η : Psüdorapidite

f : Azimutal Açı

L : Işıklılık

$\sqrt{s}$: Kütle Merkezi Enerjisi

TeV : Trilyon Elektron Volt

$PbWO_4$: Kurşun Tungsten

T : Tesla

l_I : Nükleer Etkileşme Uzunluğu

E_T^{miss} : Kayıp Dik Enerji

GİRİŞ

1.1. Parçacık Fiziği

Parçacık fiziği, maddenin temel yapıtaşlarını ve onlar arasındaki etkileşimleri inceleyen fizik dalıdır. Çoğu temel parçacık doğada normal şartlar altında bulunmaz. Ancak parçacık hızlandırıcılarında diğer parçacıkların yüksek enerjili çarpışmaları sırasında üretilir. Bu nedenle parçacık fiziği, yüksek enerji fiziği olarak da adlandırılır (http://en.wikipedia.org/wiki/Category:Particle_physics).

Parçacık fiziğinin Standart Modeli (SM), temel parçacıkları ve bu parçacıklar arasındaki etkileşimleri tanımlayan bir modeldir. SM'de elektromanyetik, zayıf ve güçlü kuvvet olmak üzere üç kuvvet tanımlanır, kütle - çekim kuvveti modele dahil edilmemiştir.

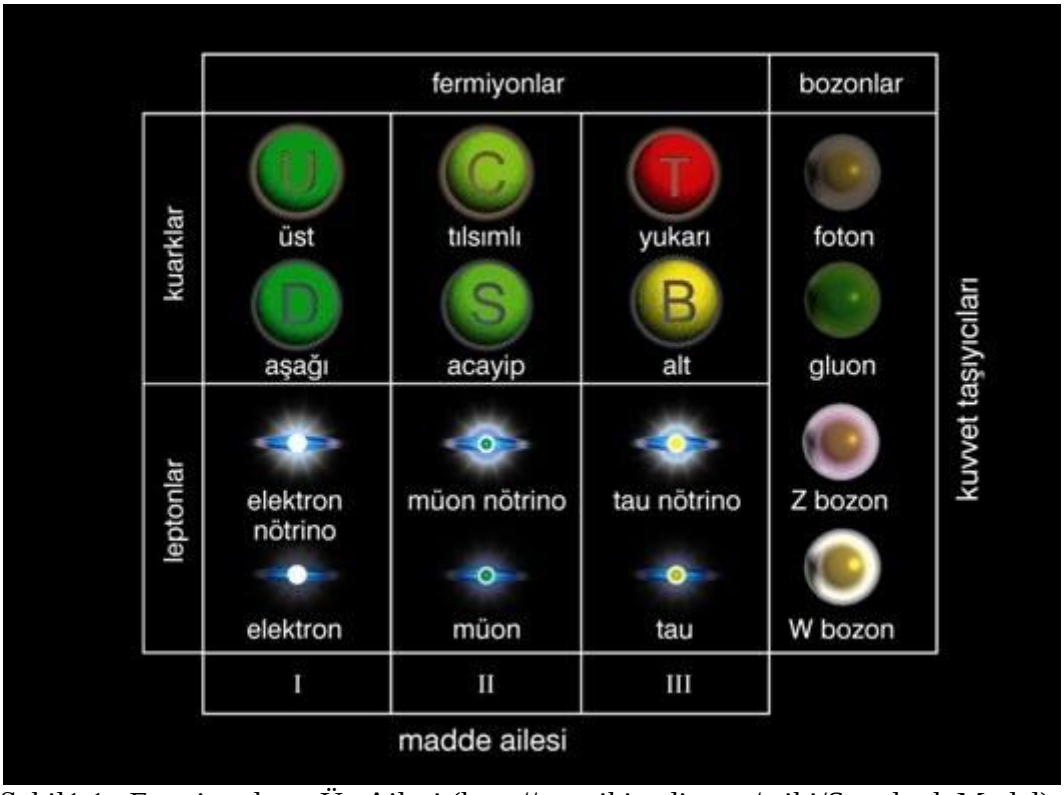
SM, şimdiye kadar bir çok deneysel testi başarıyla geçmiş olmasına rağmen halen yanıtlayamadığı sorular vardır. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Kuarklar ve leptonlar gerçekten temel parçacıklar mı?
- Görünür evren sadece ilk ailedeki iki kuark ve bir leptondan oluştuğuna göre modelde neden üç aile vardır?
- Higgs parçacığının kütlesindeki hiyerarşinin kaynağı nedir?
- Evren'de gözlenen madde - anti madde orantısızlığı nereden kaynaklanıyor?
- Karanlık madde ve karanlık enerjinin kaynağı nedir?
- Model kütle çekim kuvveti (gravitasyon) için neden hiçbir şey söylemiyor?

1.2. Temel Parçacıklar ve Kuvvetler

SM'e göre doğada temel parçacık olarak 6 çeşit kuark, 6 çeşit lepton ve bunların karşıtları ile foton, $W^{\pm}$, Z^0 ve 8 adet gluon vardır. Kuark ve leptonlar birer fermiyon iken foton, $W^{\pm}$, Z^0 ve gluonlar birer ara bozondur. Fermiyonlar yarım tamsayı spine sahip parçacıklardır ve Pauli dışlama ilkesine uyarlar. Temel fermiyonlar her biri iki lepton (yükleri -1, 0) ve iki kuarkı (yükleri 2/3e ve -

1/3e), kapsayan üç aileden oluşur. Etrafımızda gördüğümüz maddeyi oluşturan birinci ailede yukarı ve aşağı kuark ile elektron ve elektron - nötrinosu, ikinci ailede tılsım ve acayip kuark ile müon ve müon - nötrinosu, üçüncü ailede üst ve alt kuark ile tau ve tau-nötrinosu yer alır (Şekil 1.1).



Şekil1.1. Fermiyonların Üç Ailesi (http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_Model).

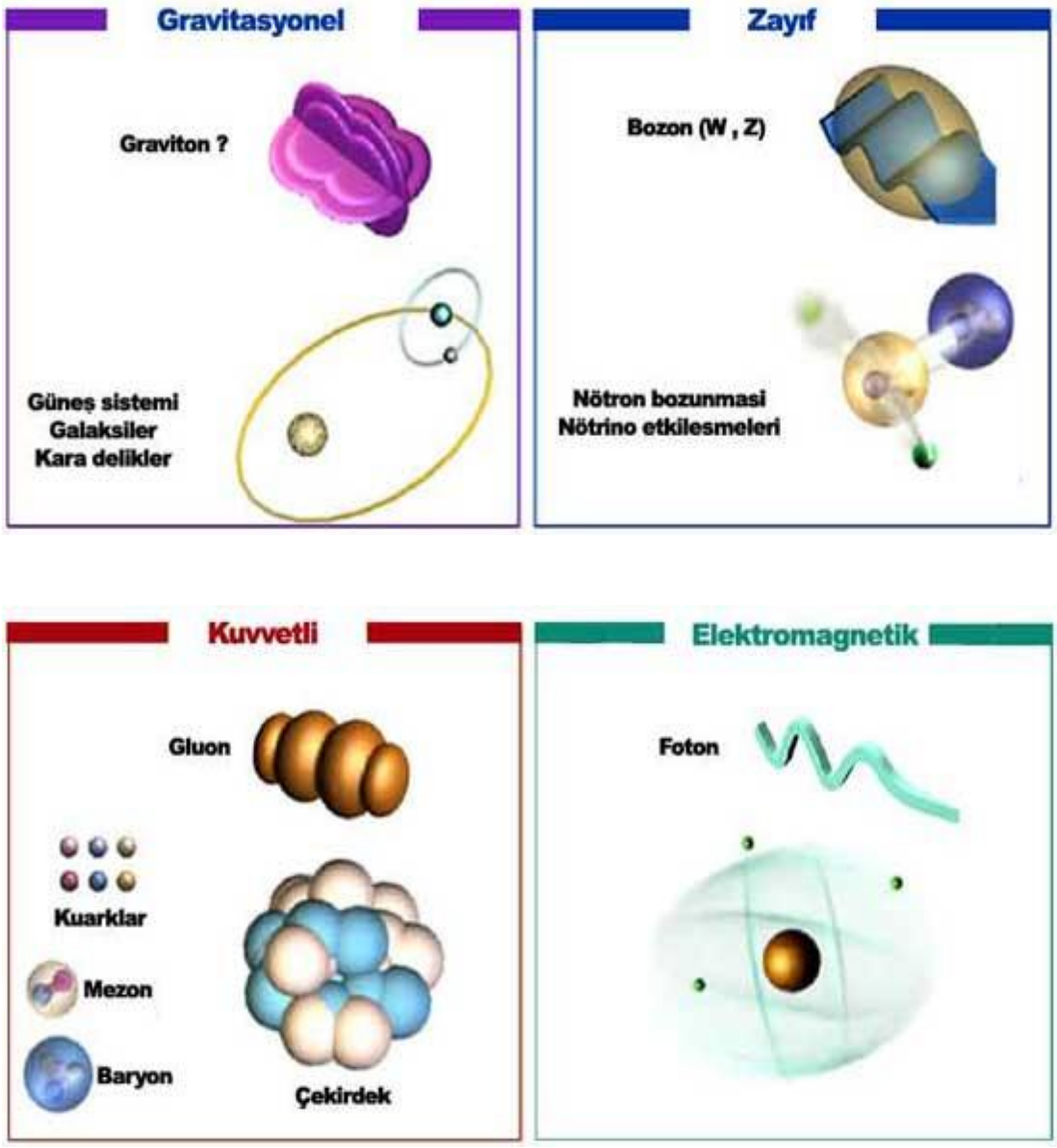
Kuarklar, maddenin en temel bileşenlerinden biridir. Çeşni olarak bilinen altı çeşit kuark bulunmaktadır: yukarı (u), aşağı (d), tılsım (c), acayip (s), üst (t) ve alt (b). Yukarı ve aşağı kuark bütün kuarklar içinde en düşük kütleli olanlardır. Daha ağır kuarklar parçacık bozunması yoluyla hızlıca aşağı ve yukarı kuarka dönüşürler (Yüksek kütle durumundan daha düşük kütle durumuna dönüşüm). Bu nedenle yukarı ve aşağı kuarklar evrende en yaygın olanlardır, bununla birlikte tılsım, acayip, üst ve alt kuarklar sadece yüksek enerjili çarpışmalarda (kozmik ışınlar ve parçacık hızlandırıcılarda) oluşabilirler. Kuarklar bir araya gelerek hadronlar olarak bilinen bileşik parçacıkları oluştururlar. İki farklı hadron ailesi vardır: üç değerlik (valans) kuarklı baryonlar ve bir değerlik kuarklı ve bir anti

kuarklı mezonlar. Bunların en kararlı olanları atom çekirdeğinin bileşenleri olan proton ve nötrondur. Kuarklar elektrik yükü, renk yükü, spin ve kütle gibi çeşitli özelliklere sahip, spini 1⁄2 olan fermiyonlardır. Parçacık fiziğinin SM'inde dört temel kuvvetin (elektromanyetik, gravitasyon, güçlü etkileşim, zayıf etkileşim) tümüyle de etkileşen ve ayrıca elektrik yükü temel yükün tamsayı katı olmayan tek temel parçacık ailesidir. Her kuark çeşnisi için ona karşılık gelen bir tane de anti kuark denilen anti parçacık bulunur. Her anti kuark kendisine karşılık gelen kuark sembolünün üzerine çizgi eklenerek gösterilir. Genellikle bütün anti maddelerde olduğu gibi, anti kuarklar da kendi kuarkı ile aynı kütleye, ortalama ömür süresine ve spine sahiptir, ancak elektrik yükü ve diğer yükleri ters işaretlidir.

Leptonlar da kuarklar gibi maddenin yapı taşlarından biridir. Temelde elektron (e), elektro - nötrino (ν_e), müon (μ), müon - nötrino (ν_μ), tau (τ), tau - nötrino (ν_μ) olmak üzere altı tane lepton vardır. Yüklü leptonlar (e, μ ve τ; yükü -1) ve yüksüz leptonlar (ν_e, ν_μ ve ν_μ; yükü 0) olmak üzere iki temel gruba ayrılırlar. Leptonlar elektrik yükü, spin ve kütleyi içeren temel özelliklere sahip, spini 1/2 olan fermiyonlardır. Kuarklardan farklı olarak, güçlü kuvvet hariç diğer üç kuvvetle etkileşime girerler. Her leptonun ona karşılık gelen bir de anti leptonu vardır. Bunlar leptonlardan sadece bazı özellikleri bakımından farklılık gösterir.

Bozonlar SM'de kuvvet taşıyıcısı olarak tanımlanırlar ve tam sayı spinli parçacıklardır. Bu nedenle yarım tamsayı spinli fermiyonlardan farklı olarak Pauli dışlama ilkesine uymazlar. Bozonların enerji dağılımları Bose-Einstein istatistiği ile tanımlanır ve düşük sıcaklıklarda, bozonlar fermiyonlardan oldukça farklı şekilde davranabilirler çünkü, sınırsız sayıda bozon aynı enerji seviyesinde bulunabilir. SM'de tanımlanan beş çeşit ayar bozonu vardır: Foton (elektromanyetik kuvvet taşıyıcısı), $W^{\pm}$ ve Z^0 (zayıf kuvvet taşıyıcıları), gluon (güçlü kuvvet taşıyıcısı) ve higgs. Bu temel bozonlardan foton, $W^{\pm}$ ve Z^0, gluon'un spini 1; higgs'in spini ise 0'dır. Ayar bozonlarının aksine graviton'un (yerçekimi kuvveti taşıyıcısı) spininin 2 olduğu varsayılmaktadır ve henüz gözlenmemiştir (http://tr.wikipedia.org/wiki/ Bozon).

Doğadaki parçacıklar birbirleriyle dört temel kuvvet aracılığıyla etkileşirler. Şekil 1.2, temel kuvvetleri göstermektedir.



Şekil 1.2. Temel Kuvvetler (http://epilicer.home.uludag.edu.tr/kuvvet.html).

Elektromanyetik kuvvet, elektrik yüklü parçacıklar arasında oluşan kuvvettir. Sonsuz erimli olup kütle çekimden çok daha kuvvetlidir. Kuvvet taşıyıcısı fotondur.

Zayıf kuvvet, beta ışıması gibi çekirdek bozunumlarında görülen kuvvettir. Çekirdek içindeki etkileşmelerde ise çekirdek kuvvetlerinin milyonda biri şiddetindedir. Menzili 10^{-17} m'den kısadır. Kuvvet taşıyıcısı W^+, W^- ve Z^0 bozonlarıdır.

Şiddetli kuvvet, çekirdeği bir arada tutan doğadaki en güçlü kuvvettir. Baryon ve mezonlara etkiyen ve kuarkların proton veya nötronların içerisinde bir

arada tutulmasından sorumlu kuvvettir. Menzili 10^{-15} m dir. Bu etkileşmenin kuvvet taşıyıcısı gluonlardır.

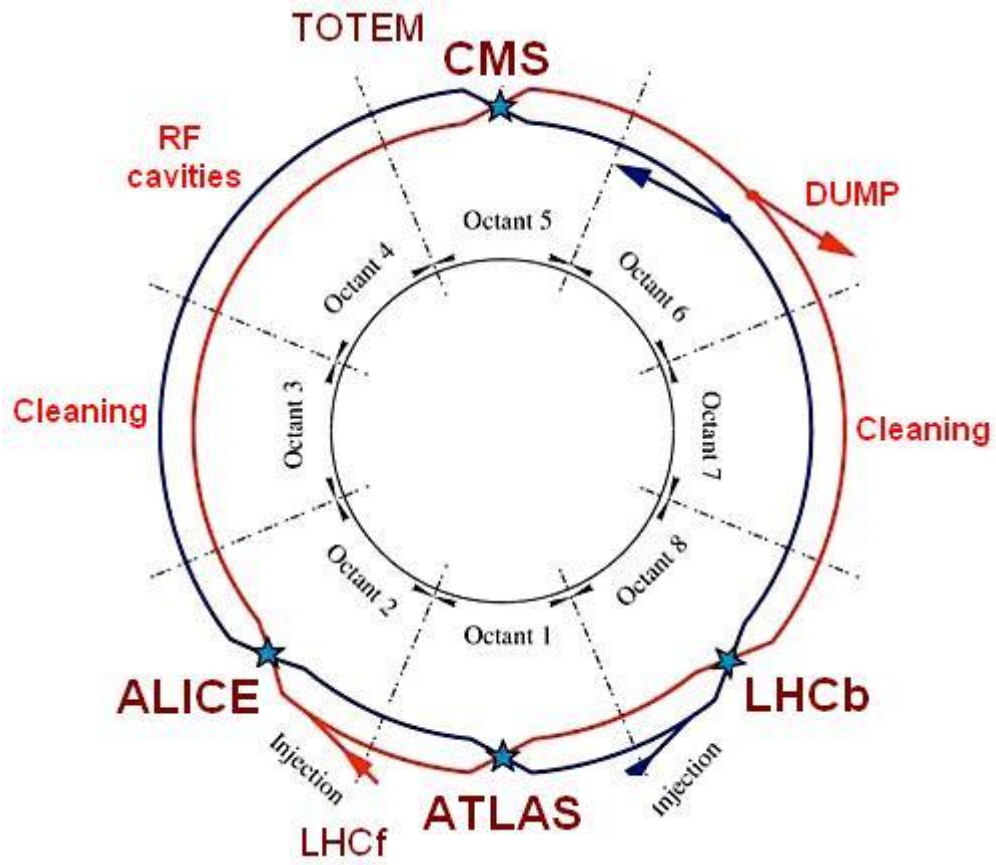
Kütle-çekim kuvveti, güneş sistemini bir arada tutan kuvvettir. Diğer temel kuvvetlere göre oldukça zayıf etkileşim gösterir, ancak uzun mesafelerde diğerlerine oranla ön plana çıkar. Menzili sonsuzdur. Kuvvet taşıyıcısı gravitondur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ) ve Üzerinde Bulunan Detektörler

BHÇ, parçacıkların enerjisini artırmak için bir dizi hızlandırıcı yapılar ile süper iletken mıknatıslardan oluşan 27 km'lik bir halkadır. Hızlandırıcının içerisinde, yüksek enerjili iki parçacık demeti birbiriyle çarpıştırılmadan önce ışık hızına yakın hızlara çıkarılmaktadır. Demetler, ultra yüksek vakumda tutulan iki ayrı demet borusunda, süper iletken mıknatıslar sayesinde hızlandırıcı halka etrafında zıt yönlerde hareket etmektedirler. BHÇ, $\sqrt{s}$ =14 TeV'lik bir kütle merkezi enerjisi ve $L=10^{34}$ $cm^{-2}s^{-1}$ ışıklılıklı proton demetlerini çarpıştırmak için tasarlanmıştır. Ayrıca nükleon başına 2.8 TeV'lik bir enerji ve 10^{27} $cm^{-2}s^{-1}$ bir ışıklılıkta ağır (Pb) iyonları da çarpıştırmaktadır.

BHÇ üzerinde altı tane deney vardır: ALICE (A Large Ion Collider Experiment), ATLAS (A Toroidal LHC Apparatus), CMS (Compact Muon Solenoid), LHCb (Large Hadron Collider beauty), LHCf (Large Hadron Collider forward) ve TOTEM (TOTal Elastic and diffractive cross section Measurement). ALICE, ATLAS, CMS ve LHCb yerin altındaki dört devasa mağaraya yerleştirilmiştir. TOTEM CMS'ye yakın bir yere ve LHCf'te ATLAS'a yakın bir yere yerleştirilmiştir. Şekil 2.1, BHÇ üzerinde yer alan deneyleri göstermektedir.

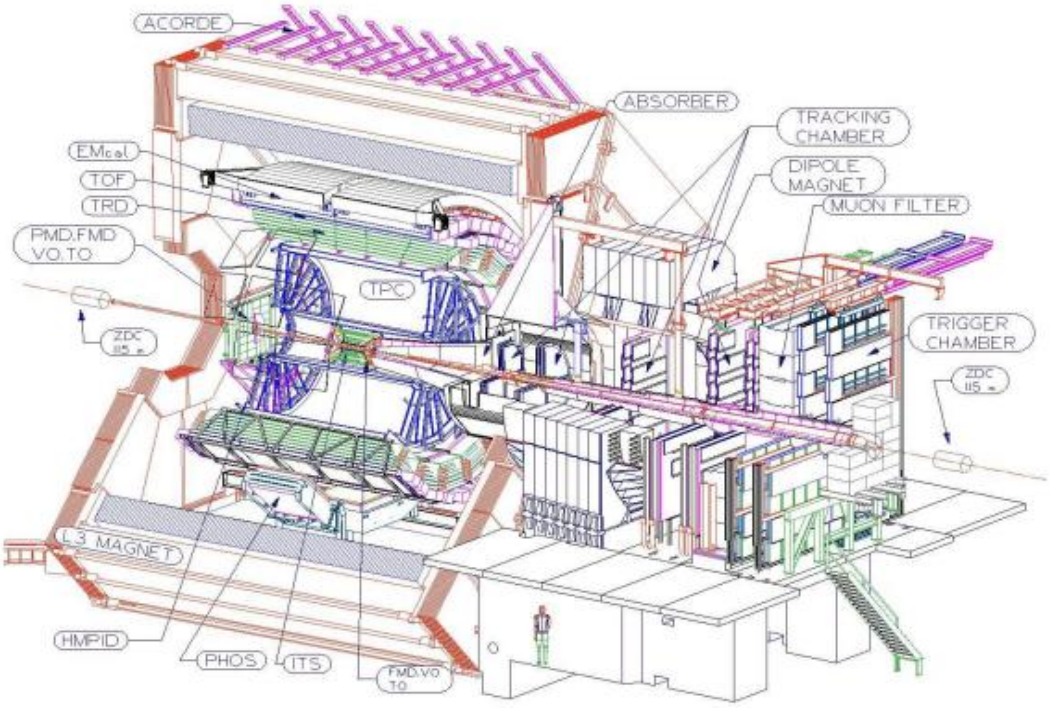


Şekil 2.1. BHÇ üzerinde yer alan deneyler (http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/images/lhc-schematic.jpg).

ALICE

ALICE (A Large Ion Collider Experiment) detektörü, SM'in güçlü etkileşim sektörü olan kuantum renk dinamiği (KRD)'ne odaklanmış BHÇ'de, genel amaçlı ağır - iyon detektörüdür. Çekirdek-çekirdek çarpışmalarındaki, enerji yoğunluğunun ve sıcaklığın aşırı değerlerinde oluşan kuark - gluon plazmasını araştırmak için tasarlanmıştır. 30 ülke ve 105 enstitüden gelen 1000'in üzerinde fizikçi ve mühendisin işbirliğiyle inşa edilmiştir.

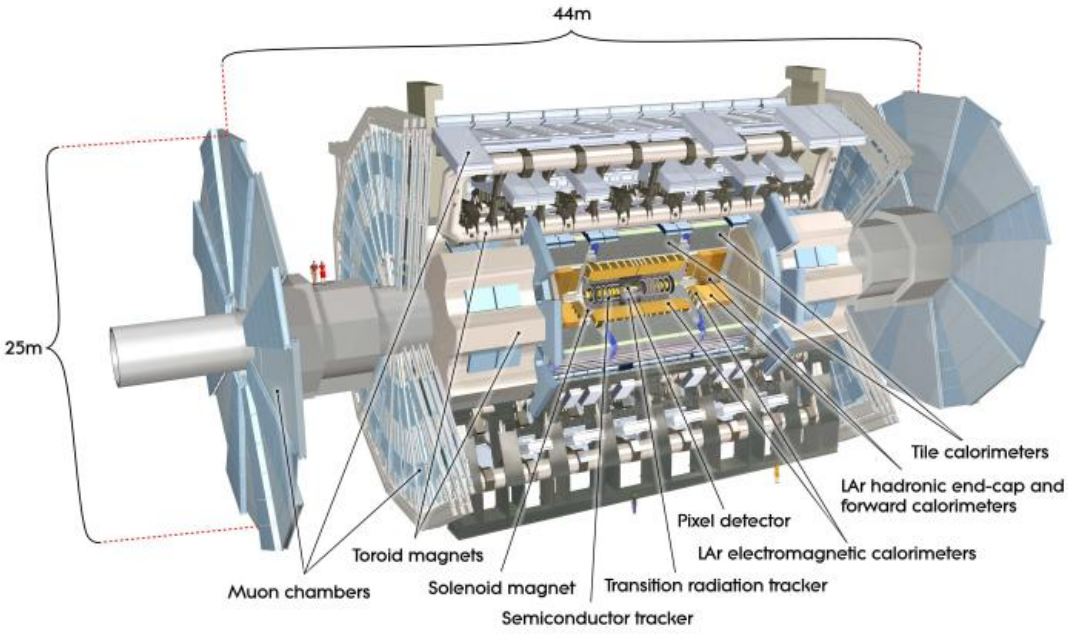
Detektör Fransa'nın St Genis Pouilly kasabasına yakın bir yerde, yerin 100 m altında büyük bir mağaraya oturtulmuştur. 26 m uzunluğunda, 16 m yüksekliğinde, 16 m genişliğinde ve 10000 ton ağırlığındadır (CERN Brochure, 2009). Şekil 2.2, ALICE detektörünün genel görünüşünü göstermektedir.



Şekil 2.2. ALICE detektörünün genel görünüşü (http://iopscience.iop.org/1748-0221 /3/08/ S08002/pdf/1748-0221/3/08/S08002.pdf).

ATLAS

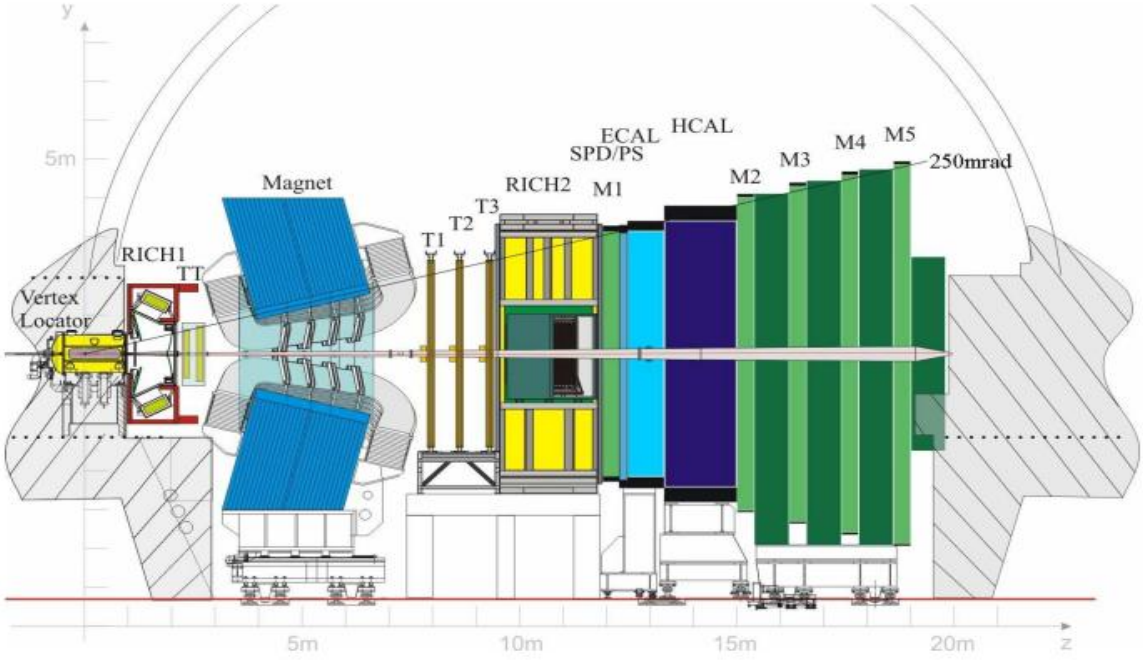
ATLAS (A Toroidal LHC Apparatus) detektörü, genel amaçlı bir detektördür. Higgs bozonu, Süper Simetri (SUSİ) ve ekstra boyutlardan oluşan geniş bir çalışma spektrumu bulunmaktadır. ATLAS detektörünün temel özelliği, onun halka şeklindeki devasa mıknatıs sistemidir. Detektörün merkezi boyunca hüzme borusu etrafında silindir oluşturacak şekilde düzenlenmiş, sekiz adet 25 m uzunluklu süper iletken mıknatıs bobinden oluşmaktadır. Bugüne kadar inşa edilen en geniş hacimli çarpıştırıcı detektördür. 35 ülke ve 164 enstitüden gelen 1900'den fazla üyeye sahiptir. 44 m uzunluğunda, 25 m yüksekliğinde, 25 m genişliğinde ve 7000 ton ağırlığındadır (CERN Brochure, 2009). Şekil 2.3, ATLAS detektörünün genel görünüşünü göstermektedir.



Şekil 2.3. ATLAS detektörünün genel görünüşü (http://iopscience.iop.org/1748-0221/3/08/ S08003/pdf/1748-0221/3/08/S08003.pdf**).**

LHCb

LHCb (Large Hadron Collider beautity) detektörü, B mezonlarının (b kuarklarını içeren parçacıklar) bozunmalarını inceleyerek, madde ve anti madde asimetrisini araştırmaktadır. LHCb deneyi ileri parçacıkları algılamak için bir dizi alt detektör kullanmaktadır. İlk alt detektör çarpışma noktasına yakın bir yere yerleştirilmiştir. Diğerleri de bunların arkasına gelecek şekilde 20 m boyunca sıralanmıştır. LHCb, 16 ülkede 52 enstitüden 700 civarında üyeye sahiptir. 21 m uzunluğunda, 10 m yüksekliğinde, 13 m genişliğinde ve 5600 ton ağırlığındadır (CERN Brochure, 2009). Şekil 2.4, LHCb detektörünün genel görünüşünü göstermektedir.



Şekil 2.4. LHCb detektörünün genel görünüşü (http://iopscience.iop.org/1748-0221/3/08/S08005/pdf/1748-0221/3/08/S08005.pdf).

LHCf

LHCf (Large Hadron Collider forward) detektörü, BHÇ'de proton - proton çarpışmalarında demet yönüne oldukça yakın üretilen parçacıkları ölçmek için tasarlanan küçük bir deneydir. Amacı, ultra yüksek enerjili kozmik ışınların birincil enerjisini tahmin etmek için kullanılan modelleri test etmektir.

ATLAS detektörünün çarpışma noktasından 140 m uzakta ve her iki tarafında iki detektöre sahiptir. Her bir detektör 30 cm uzunluğunda, 80 cm yüksekliğinde, 10 cm genişliğinde ve 40 kg ağırlığındadır. 5 ülkede 9 enstitüden 30 bilim insanı bu deneyde çalışmaktadır (CERN Brochure, 2009). Şekil 2.5, LHCf detektörünü göstermektedir.

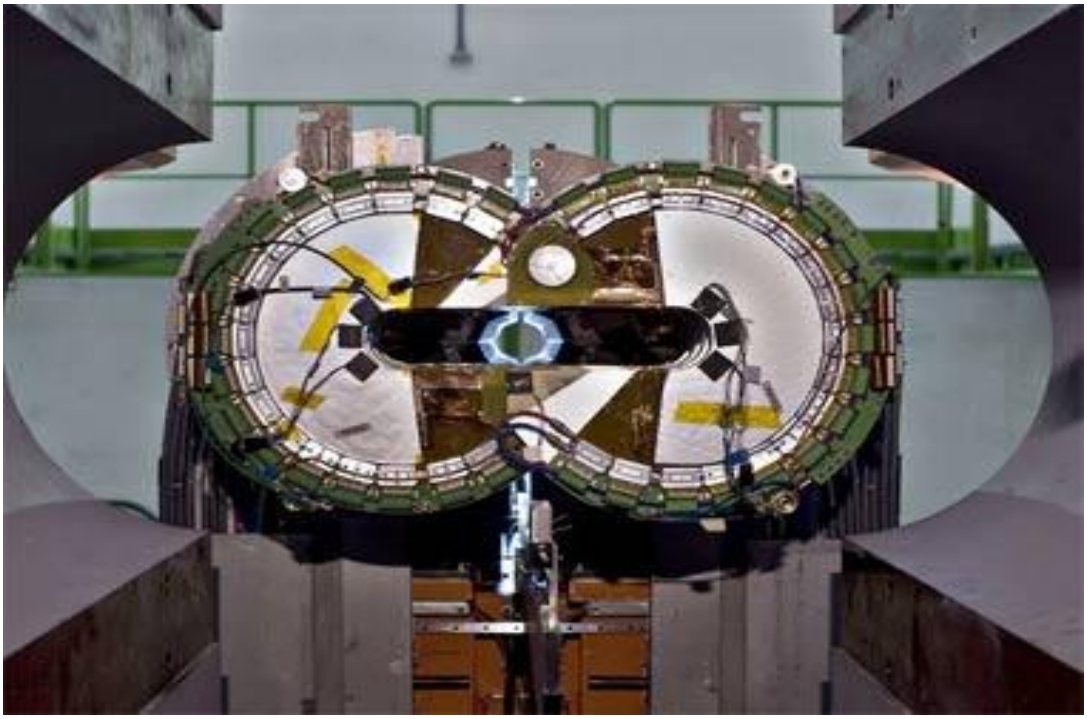


Şekil 2.5. LHCf foto detektör 1 ve LHCf foto detektör 2 (http://iopscience.iop.org /1748-0221/3/08/S08006/pdf/17480221_3_08_S08006.pdf).

TOTEM

TOTEM (TOTal Elastic and diffractive cross section Measurement) detektörü, BHÇ'deki protonların etkin boyutunu ve proton - proton çarpışmalarının tesir kesitini ölçecektir. Bunu yapabilmek için de, BHÇ hüzmesinin çok yakınlarında üretilen parçacıkları varlama yeteneğine sahip olmalıdır. BHÇ'de demet borularına bağlı "Roman pots" olarak adlandırılan özel olarak tasarlanmış bir vakum odası içine yerleştirilen detektörler içermektedir. 8 "Roman pots" CMS deneyinin çarpışma noktasına yakın olan dört noktaya çiftler halinde yerleştirilmiştir.

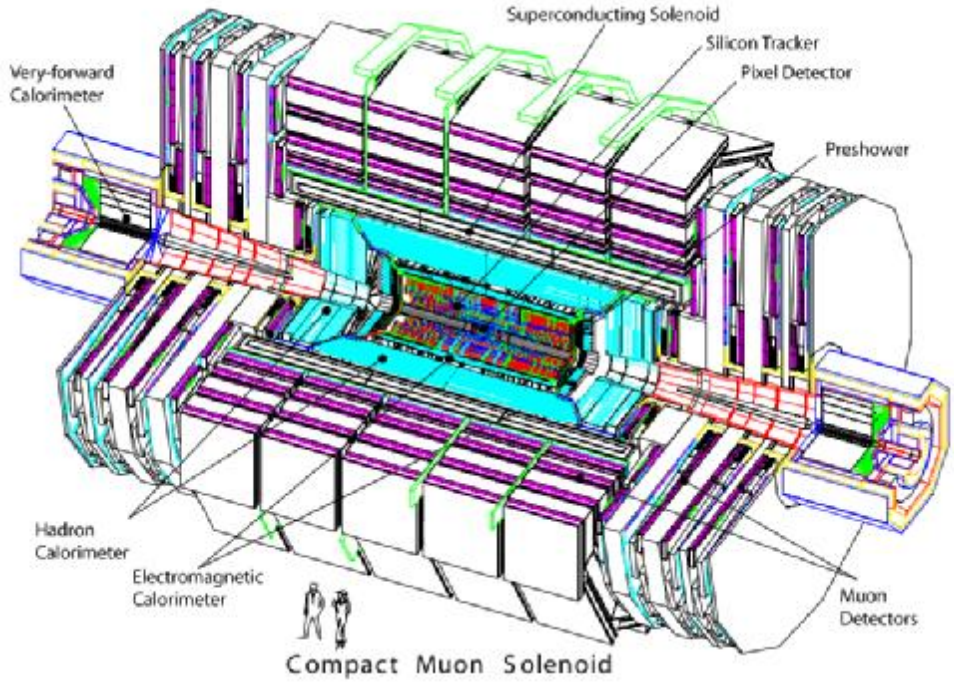
Bu detektör 440 m uzunluğunda, 5 m yüksekliğinde, 5 m genişliğinde ve 20 ton ağırlığındadır. 7 ülkede 10 enstitüden 70'den fazla üyeye sahiptir (CERN Brochure, 2009). Şekil 2.6, etkileşim noktasındaki montajı sırasında TOTEM T2 detektörünün bir kolunu göstermektedir.



Şekil 2.6. Etkileşim noktasındaki montajı sırasında TOTEM T2 detektörünün bir kolu (http://totem-experiment.web.cern.ch/totem-experiment/).

2.2. CMS Detektörü

CMS (Compact Muon Solenoid) detektörü, BHÇ üzerinde yer alan genel amaçlı bir detektördür. Geniş fizik araştırmaları için tasarlanmıştır (Higgs bozonu, ekstra boyutlar, karanlık madde gibi...). ATLAS detektörü ile aynı fizik araştırmaları yapılıyor olmasına rağmen, CMS detektöründe farklı teknik ve farklı mıknatıs sistemi kullanılmaktadır. CMS detektörü büyük bir manyetik mıknatıs etrafına inşa edilmiştir. Fransa'nın Cessy kabasına yakın bir yerde, yerin yaklaşık 100 m altında bir mağaraya yerleştirilmiştir. 28.7 m uzunluğunda, 15 m yüksekliğinde, 15 m genişliğinde ve 14000 ton ağırlığındadır. Deneyde 41 ülkedeki 179 enstitü ve üniversiteden toplam 4300 parçacık fizikçi, mühendis, teknisyen, öğrenci ve destek personeli çalışmaktadır (Şubat2012) (http://home.web.cern.ch/about/experiments/cms). Şekil 2.7, CMS detektörünün tasarımını göstermektedir.



Şekil 2.7. CMS detektörü (http://iopscience.iop.org/1748-0221/3/08/S08004/pdf/1748 -0221_3_08_S08004.pdf).

CMS'in merkezinde 13 m uzunlugunda, 6 m iç yarıçapında, 4 T'lık süper iletken selenoid bulunmaktadır. Bu mıknatıs yüklü parçacıklara büyük bir bükme kuvveti sağlayarak momentumlarının ölçülmesine yardımcı olmaktadır. Mıknatıs bobinin iç çapı izleyici ve kalorimetreleri içine alacak kadar geniştir. CMS detektöründe, yüksek iz çokluluğunu belirlemek için iç izleyicide tanecikli yapı ve hassaslık gerektiren on katmanlı mikro şerit detektörler kullanılmaktadır. Buna ek olarak, yüklü parçacıkların vuruş parametrelerinin ölçümlerini geliştirmek için etkileşim noktasına yakın bir yere üç katmanlı silikon piksel detektörler yerleştirilmiştir.

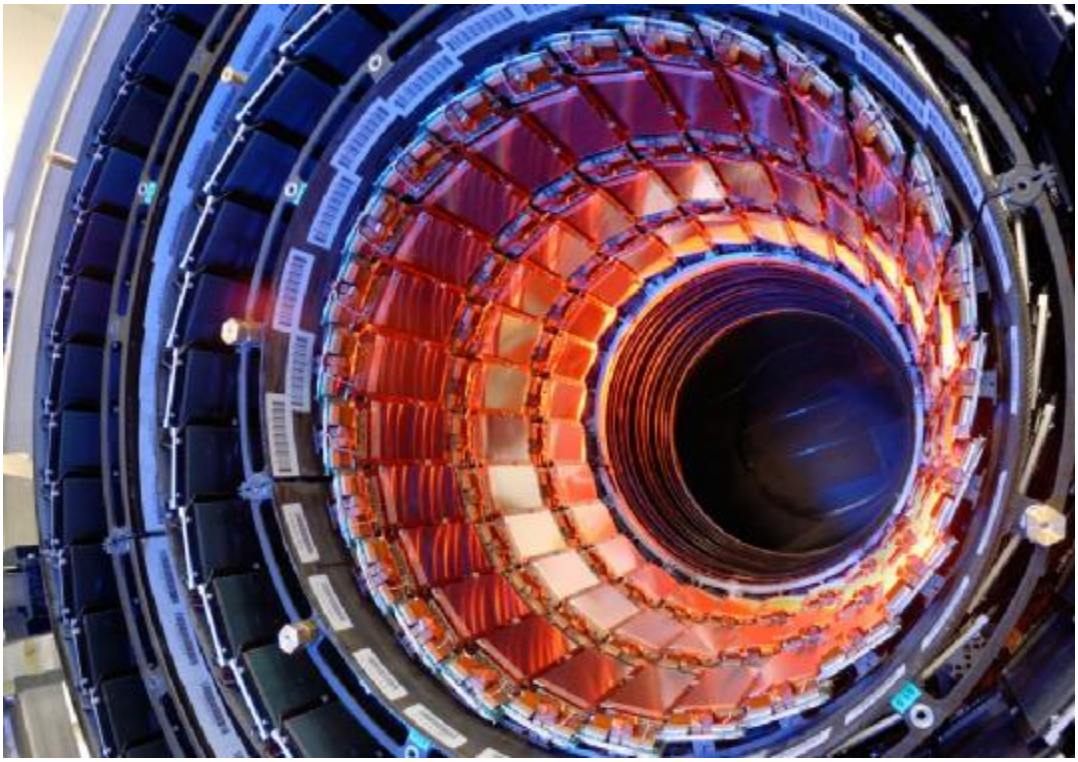
Elektromanyetik kalorimetre (EKAL) $|\eta|<3.0$ psüdorapidite aralığında olup, detektörde kurşun tungsten ($PbWO_4$) kristaller kullanmaktadır. Sintilasyon ışığı, fıçı bölgesinde silikon çığ foto diyotlar (APD) tarafından ve kapak bölgesinde vakum foto triyotlar (VPT) tarafından algılanmaktadır. EKAL'in kapak kısmının önüne bir ön duş sistemi yerleştirilmiştir. EKAL, Hadronik Kalorimetre (HKAL) tarafından çevrelenmektedir. HKAL'de sintilasyon ışığı, sintilatör döşemelere gömülü olan dalga boyu kaydırıcı (WLS) fiberler tarafından dönüştürülmekte ve şeffaf fiberlerle

foto detektörlere gönderilmektedir. Bu sintilasyon ışığı yüksek manyetik alanda çalışabilen ve kazanç sağlayabilen Hibrit Foto Diyotlar (HFD) tarafından algılanmaktadır. Psüdorapidite 5'e kadar olan kısımda demir/kuartz-fiber karışımı yer almaktadır. Kuartz fiberlerde yayımlanan Çerenkov ışığı, foto çoğaltıcılar tarafından algılanmaktadır. İleri kalorimetreler, dik (transverse) enerjinin ölçümü için tam geometrik kapsama sağlamaktadır (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

2.2.1. İzleyici Sistem

Parçacıkların momentumları, çarpışmanın merkezindeki olayların resmini inşa etmede bize yardımcı olmaktadır. Bir parçacığın momentumunu belirlemenin bir yolu, manyetik alan boyunca onun izini belirlemektir. (http://cms.web.cern.ch /news/tracker-detector).

CMS'in izleyici sistemi, BHÇ çarpışmalarında ortaya çıkan yüklü parçacıkların yörüngelerinin kesin ve etkin ölçümlerini sağlamak için tasarlanmıştır. Bu sistem etkileşim noktasını çevrelemektedir. 5.8 m uzunluğunda, 2.5 m çapındadır ve $|\eta|<2.5$ psüdorapidite aralığını kapsamaktadır. CMS'de yüksek iz çözünürlüğü elde etmek ve gerekli hassasiyeti sağlamak için izleyici sistemde piksel ve silikon şerit detektörler kullanılmaktadır. CMS'in izleyici sistemi 1440 piksel detektör ve 15148 silikon şerit modülden oluşmaktadır. Piksel detektörler 4.4 cm, 7 cm ve 10.2 cm olmak üzere üç farklı silindirik katmandan oluşurken, silikon şerit detektörler dışa doğru 1.1 m kadar genişleyen on katmanlı bir silindirden oluşmaktadır (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004). Şekil 2.8, CMS'in izleyici sistemindeki silikon şerit detektörleri göstermektedir.



Şekil 2.8. CMS'in izleyici sistemindeki silikon şerit detektörleri (http://cms.web.cern.ch/news/tracker-detector).

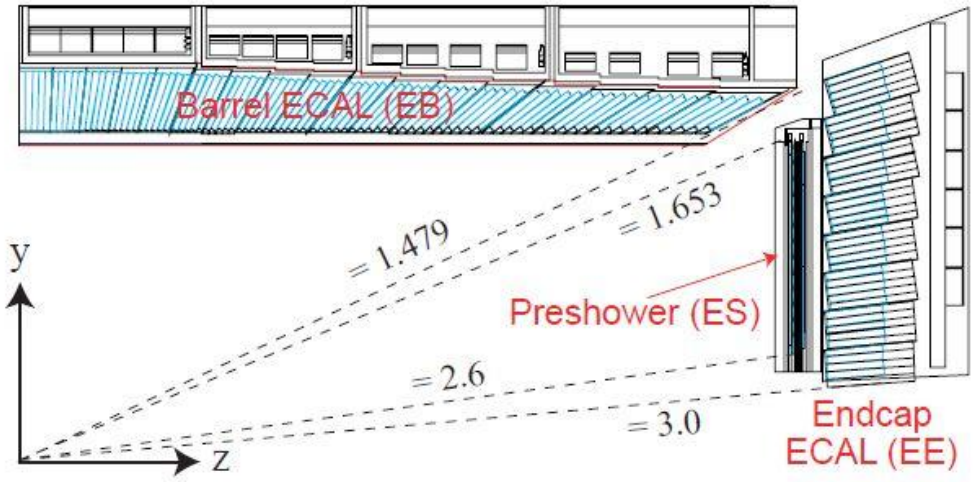
2.2.2. Elektromanyetik Kalorimetre (EKAL)

Kalorimetreler, gelen birincil parçacıkları durduran ve bu parçacıklarla etkileşerek enerjilerini detektöre bırakmalarını sağlayan aletlerdir. Algılanacak parçacık türüne göre ikiye ayrılırlar. Bunlardan ilki EKAL'dir. EKAL, elektromanyetik etkileşme yapan parçacıkların enerjilerini ölçmek için tasarlanmıştır. Higgs Bozonu ve yeni fizik araştırmaları için elektromanyetik etkileşme yapan parçacıkların, özellikle de elektron ve fotonların, enerji ölçümleri için büyük önem taşımaktadır. EKAL'ın amaçlarından biri Higgs bozonunun iki fotona bozunumunu algılamaktır.

EKAL yüksek yoğunluklu, hızlı, radyasyona dayanıklı ve iyi çözünürlüklü homojen kristal bir kalorimetredir. İzleyici sistem ve HKAL arasında, bir fıçı (EB) ve iki kapak (EE) bölümünden oluşan bir katman oluşturmaktadır. EKAL $|\eta|<3.0$ bölgesini kapsamakta ve aktif materyal olarak yüksek yoğunluklu (8.28 g/cm^3), kısa radyasyon uzunluğuna (0.89 cm) ve küçük Moliere yarıçapına (2.2 cm) sahip olan

kurşun tungsten ($PbWO_4$) kristalleri kullanılmaktadır. EB kısmında 61200, EE kısmında ise 7324 $PbWO_4$ yer almaktadır (http://cms.web.cern.ch/news /electromagnetic-calorimeter).

EKAL'in EB kısmı $|\eta|<1.48$ pseudorapidite aralığını, EE kısımları ise $1.48<|\eta|<3.0$ aralığını kapsamaktadır. EB kısmında foto detektör olarak çığ foto diyotlar (APD) kullanılırken, EE kısımlarında vakum foto triyotlar (VPT) kullanılmaktadır (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004). Şekil 2.9, EKAL'in enine kesitini göstermektedir.



Şekil 2.9. EKAL'in enine kesiti (CMS TDR, 2006).

Ekstra boyutsal hassasiyet için, EKAL ayrıca kapak kısımlarının ön tarafına oturtulmuş ön duş detektörüne sahiptir. Bu detektör CMS deneyinde düşük ve yüksek enerjili fotonları birbirinden ayırmayı sağlamaktadır (http://cms.web.cern.ch /news/electromagnetic-calorimeter).

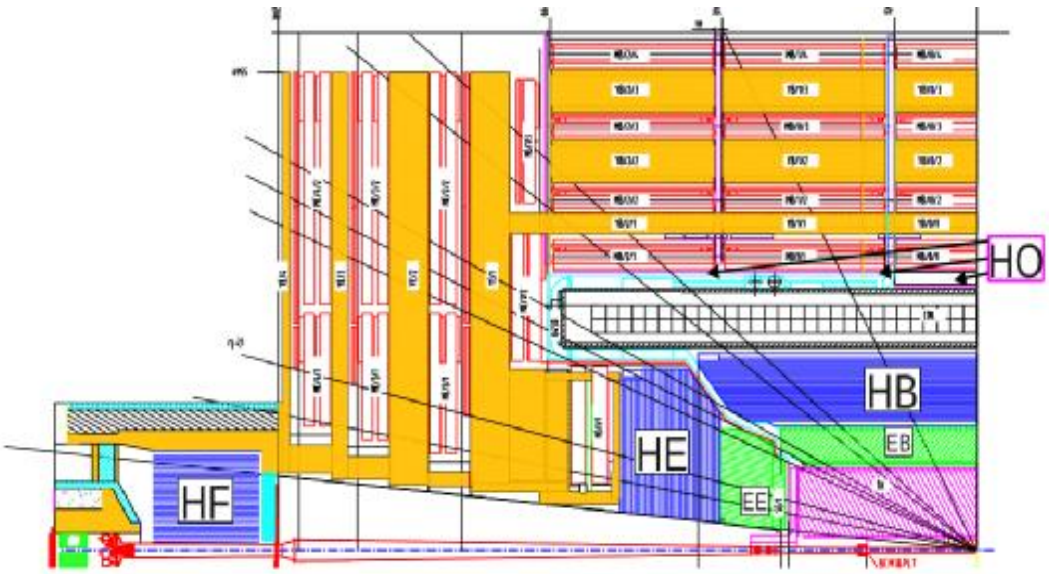
2.2.3. Hadronik Kalorimetre (HKAL)

HKAL, kuarkların bir araya gelmesiyle oluşan hadronların enerjilerini ölçmekle birlikte jetlerin enerjisini ve yönünü de ölçerek, nötrino ve gluonların belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, izleyici EKAL ve müon

sistemi ile birlikte elektron, foton ve müonların belirlenmesine de katkıda bulunmaktadır (CMS TDR, 2006).

HKAL parçacıkların yerini, enerjisini ve varış zamanlarını belirlemede kullanılan; soğurucu tabakalar ve sintilatör materyallerin kullanıldığı bir örnekleme kalorimetredir. Kullanılan bu sintilatör materyaller, parçacık geçerken hızlı bir ışık pulsu üretmektedir ve oluşan bu ışık pulsu özel optik fiberler tarafından toplanarak, foto detektörlerdeki okuma kutularına iletilmektedir. Belirlenen bölgede kulelerde toplanan ışık miktarı parçacığın enerjisini vermektedir (http://cms.web.cern.ch/news /hadron-calorimeter).

HKAL Hadronik fıçı (HB), Hadronik kapak (HE), Hadronik dış (HO) ve İleri hadron (HF) olmak üzere dört alt detektörden oluşmaktadır. Şekil 2.10, HKAL detektöründeki HB, HE, HO ve HF kalorimetrelerinin CMS'deki konumlarını göstermektedir.



Şekil 2.10. HKAL detektöründeki HB, HE, HO ve HF kalorimetrelerinin CMS'deki konumları (CERN-LHCC-2012-015/CMS-TDR-010).

HB ve HE kalorimetreleri, soğurucu olarak çelik ve aktif materyal olarak plastik sintilatör kullanılan örnekleme kalorimetrelerdir. Sintilatörlerden gelen ışık WLS fiberler aracılığıyla ön uç elektroniklerine iletilmektedir. HKAL'de hadronik duşlar için bir kuyruk yakalayıcı olarak çalışan ve müonların tanımlanmasında

kullanılan HO kalorimetresi, HB ve HE kalorimetreleri gibi aynı aktif materyali ve WLS fiberleri kullanmaktadır. Fakat soğurucu olarak CMS'in çelik dönüş boyunduruğunu ve mıknatıs materyalini kullanmaktadır. HB, HE ve HO foto detektör olarak ise Hibrit Foto Diyot'ları (HFD) kullanmaktadır. HF kalorimetresi ise bunlardan farklı olarak, çelik soğurucu ve kuvartz fiberlerden oluşan bir Çerenkov kalorimetresidir. Foto detektör olarak da Foto Çoğaltıcı Tüp (FÇT)'ler kullanılmaktadır (CMS TDR, 2010).

2.2.4. Süper İletken Mıknatıs

BHÇ'de yüksek enerjili çarpışmalarda ortaya çıkan parçacıkların momentumlarının ölçülmesi, onların yörüngelerinin belirlenmesiyle olmaktadır. Bu nedenle, CMS'de 4 T'lık manyetik alan sağlayan süper iletken bir mıknatıs kullanılmaktadır (http://cms.web.cern.ch/news/superconducting-magnet).

CMS mıknatısı, üzerinden elektrik geçtiğinde düzgün manyetik alan üreten bobinlerden yapılmış, bir selenoiddir. Bugüne kadar üretilmiş en geniş süper iletken mıknatıstır. 12.5 m uzunluğunda ve 6.3 m çapındadır. İzleyici sistem, EKAL ve HKAL mıknatısın içinde yer almaktadır. Şekil 2.11, süper iletken mıknatısı göstermektedir.

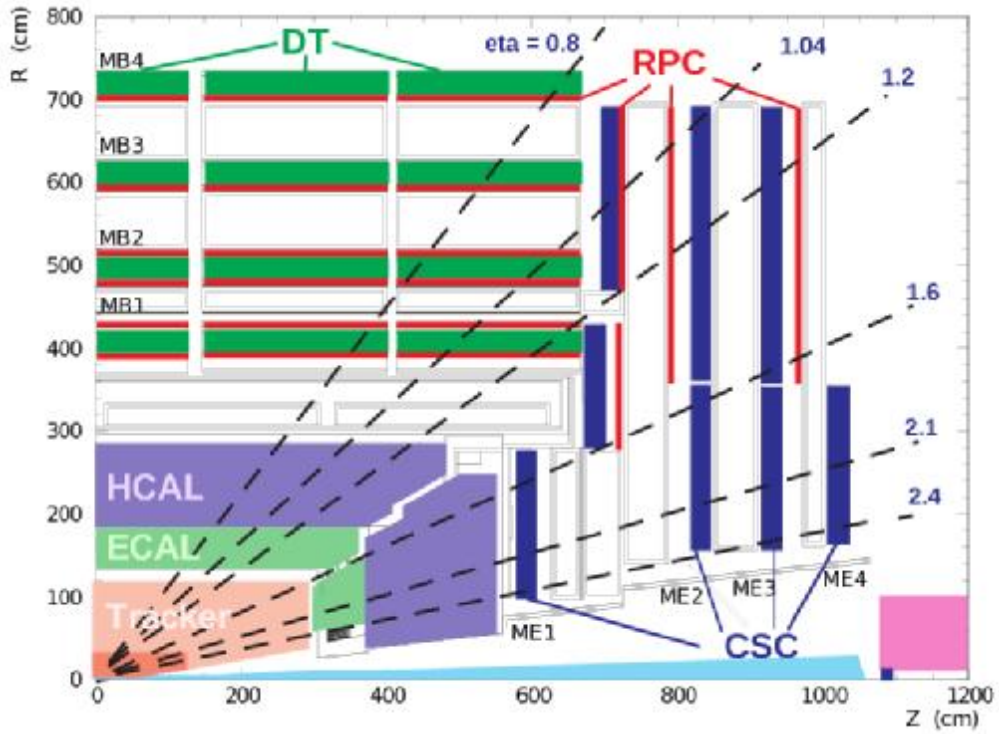


Şekil 2.11. Süper iletken mıknatıs (http://cms.web.cern.ch/news/superconducting-magnet).

2.2.5. Müon Sistemi

Müonlar, tüm BHÇ fiziğindeki açık imzalardır ve müonların algılanması, fondaki ilginç olayların tespit edilmesi için en olağan ve en güçlü araçlardır. Örneğin, en belirgin imzalardan biri Higgs bozonunun dört müona bozunumudur. CMS detektöründeki müon sistemi müonları belirlemek müon tetiklemesini sağlamak ve müon momentumunu ölçmek için tasarlanmıştır (CMS TDR 3, CERN/LHCC 97-32). Selenoid mıknatısın geometrisinden dolayı silindirik olarak devam eder ve bir silindirik fıçı bölümüne ve iki düzlemsel kapak bölgesine sahiptir (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

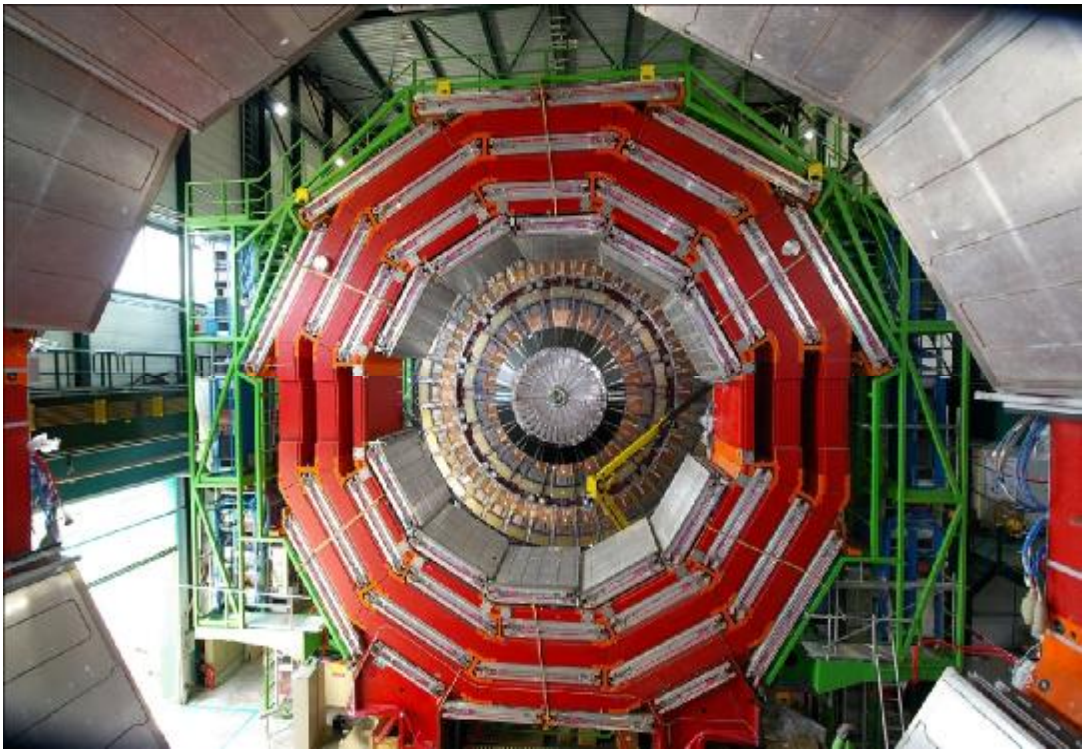
Müon sistemi müonları algılamak ve ölçmek için üç farklı teknoloji kullanmaktadır: fıçı bölgesinde sürüklenme tüpleri (DT), kapak bölgesinde katot şerit odaları (CSC) ve hem fıçı hem kapak bölgesinde dirençli parale levhalı odalar (RPC). Şekil 2.12, Müon sistemindeki DT, CSC ve RPC istasyonlarını göstermektedir.



Şekil 2.12. Müon sistemindeki DT, CSC ve RPC istasyonları (http://inspirehep.net/record/1185262/files/MuonSys-mod3.png).

Şekil 2.12 incelendiğinde fıçı kısmında dört adet DT istasyonu (MB1-MB4, yeşil renkli), kapak kısmında dört adet CSC istasyonu (ME1-ME4, mavi renkli) ve RPC istasyonları (kırmızı renkli) görülmektedir. Tüm müon odaları kabaca müon yörüngelerine dik yönde hizalanmıştır. Fıçı DT'ler $0<|\eta|<1.3$ bölgesini, kapak CSC'ler $0.9<|\eta|<2.4$ bölgesini ve RPC'ler de $0<|\eta|<2.1$ bölgesini kapsamaktadır (CMS TDR 3, CERN/LHCC 97-32).

CMS'deki müon sisteminde toplam 1400 müon odacığı bulunmaktadır. DT'ler (250 adet) ve CSC'ler (540 adet) parçacıkların konumlarını belirleyip tetiklemeyi sağlarken, RPC'ler de (610 adet) elde edilen o müon verisinin tutulup tutulmamasına karar vermektedir (http://cms.web.cern.ch/news/muon-detectors). Şekil 2.13, CMS'deki Müon odacıklarını göstermektedir.



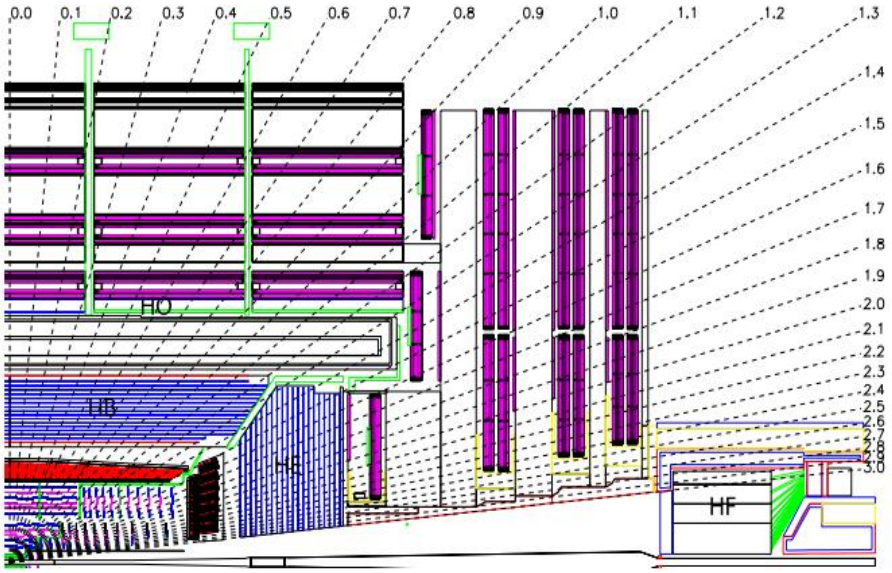
Şekil 2.13. CMS'deki Müon odacıkları (http://upload.wikimedia.org/wikipedia /commons/6/65/CMS_Under_Construction_Apr_05.jpg).

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Hadronik Kalorimetre (HKAL)

CMS detektörü, geniş enerji aralıklarındaki fizik süreçlerini incelemek için tasarlanmıştır. HKAL özellikle hadron jetlerinin ve nötrinoların ölçümünde veya dik enerji ile sonuçlanan egzotik parçacıkların ölçümünde önemlidir.

Şekil 3.1, CMS detektörünün boyuna kesitini göstermektedir. Kesikli çizgiler sabit η değerleridir. HKAL'in fıçı ve kapak kısımları, etkileşim noktasından bakıldığında, izleyici ve EKAL'in arkasında yer almaktadır. Hadronik fıçı (HB) kalorimetresi radyal olarak EKAL'in dış katmanı (R=1.77 m) ve mıknatıs bobinin iç katmanı (R=2.95 m) ile sınırlandırılmıştır. Bu, hadronik duşu soğurmak için yerleştirilen toplam materyal miktarını kısıtlamaktadır. Bu nedenle, Hadronik dış (HO) kalorimetresi ya da diğer adıyla kuyruk yakalayıcı, HB'yi tamamlamak için selenoidin dışına yerleştirilmiştir. $|\eta|>3$ olduğu bölgeye yerleştirilen Hadronik ileri (HF) kalorimetre etkileşim noktasının 11.2 m uzağında bulunmaktadır. Çerenkov ışınımına dayalı olarak çalışan HF'in, radyasyona dayanıklı olması sağlanarak, kalorimetre $|\eta|=5.2$ bölgesine kadar genişletilmiştir. Şekil 3.1, CMS detektörünün boyuna görünümünü ve HB, HE, HO ve HF'in CMS'deki yerlerini göstermektedir (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).



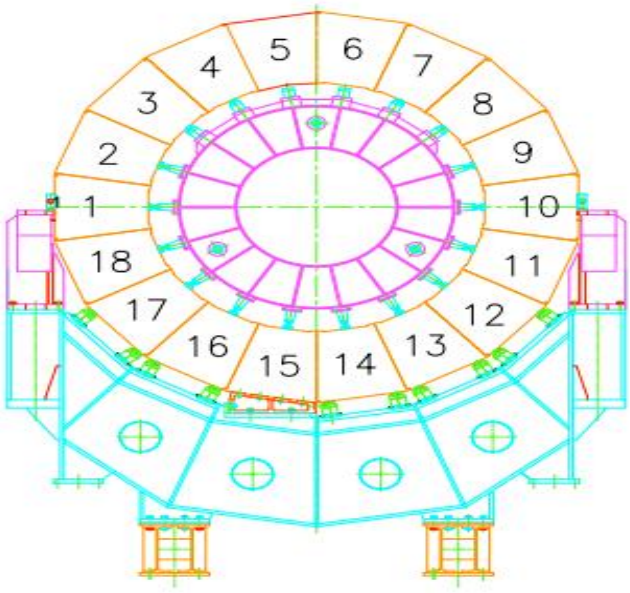
Şekil 3.1. CMS detektörünün boyuna görünümü. HB, HE, HO ve HF'in CMS'deki yerleri (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

3.1.1. Hadronik Fıçı Kalorimetresi (HB)

HB kalorimetresi $|\eta|<1.3$ püsidorapidite aralığını kapsayan bir örnekleme kalorimetredir. HB+ ve HB- olmak üzere iki yarım fıçıdan meydana gelmiştir (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

Her bir bileşeni 20°'lik f ' ye sahip 18 özdeş kamadan oluşmaktadır. Bu kama, hüzme eksenine paralel, pirinç alaşımından yapılmış soğurucu levhalardan oluşmuştur. En içteki ve en dıştaki plakalar yapısal sağlamlık için paslanmaz çelikten yapılmıştır. Paslanmaz çelik ve soğurucu pirinç levhalar arasına yerleştirilmiş 17 aktif plastik sintilatör döşeme vardır. İlk aktif katman EKAL'in arkasına yerleştirilmiştir. Bu katman, EKAL ve HKAL arasındaki destek materyalinden gelen düşük enerjili parçacık duşlarını aktif olarak gözlemlemek için, kabaca sintilatör kalınlığının iki katına sahiptir. Sintilatörlerin her biri $\Delta\eta\times\Delta f'=0.087\times0.087$ boyutunda düzenlenmiş ve tek bir WLS fiberle bağlanmıştır. Bu WLS fiberler de şeffaf fiberlere bağlanmıştır. Bu fiberler yarım fıçı uzunluğuna kadar gitmektedir ve orada optik olarak her bir aktif katmandaki yansıtıcı döşemelere bağlanmıştır. HKAL kulelerinden gelen optik sinyal, mekanik fıçı yapının sonuna monte edilen bir HFD

ile algılanmaktadır (CMS TDR, 2006). Şekil 3.2, HB kamalarının numaralandırma şeklini göstermektedir.

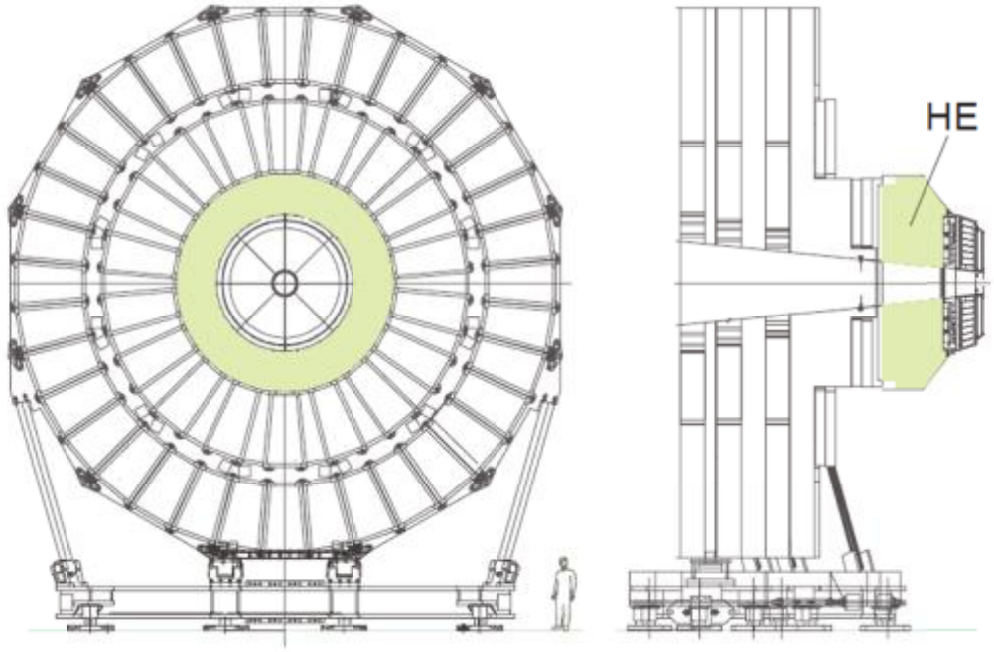


Şekil 3.2. HB kamalarının numaralandırma şekli (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

3.1.2. Hadronik Kapak Kalorimetresi (HE)

HE kalorimetresi $1.3<|\eta|<3$ psüdorapidite aralığını kapsamaktadır. HE+ ve HE- olmak üzere iki modülden oluşmuştur. Hadronik duşları kapsamak için maksimum etkileşim uzunluğuna, iyi mekanik özelliklere ve ucuz maliyete sahiptir (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004). Her biri 20 derecelik ϕ açısına sahip 18 kamadan oluşmaktadır (CMS TDR, 2006).

HE, HB gibi bir örnekleme kalorimetredir. Kalorimetre 4 T'lık selenoid mıknatısın uç kısımlarında bulunduğundan kalorimetrenin soğurucu kısmı manyetik alandan etkilenmeyen bir malzemeden yapılmıştır. Maksimum soğurucu uzunluğu, iyi mekanik özelliği ve uygun maliyetinden dolayı soğurucu olarak, yoğunluğu 8.83 g/cm^3, etkileşme uzunluğu 16.4 cm ve radyasyon uzunluğu 1.5 cm olan, C26000 pirinç kartuş (%70 Cu ve %30 Zn) seçilmiştir. Şekil 3.3, Uç kapak demir boyunduruğuna yerleştirilmiş HE'yi göstermektedir (CMS NOTE-2008/010).



Şekil 3.3. Uç kapak demir boyunduruğuna yerleştirilmiş HE (CMS NOTE-2008/ 010).

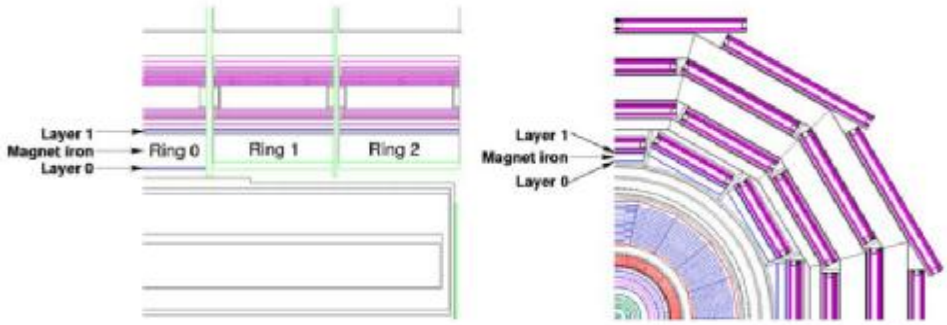
3.1.3. Hadronik Dış Kalorimetresi (HO)

HB kalorimetresi, merkezi püsidorapidite bölgesinde hadron duşları için yeterli değildir. $|\eta| < 1.3$ bölgesinde yeterli örnekleme derinliğini sağlamak için, HKAL hadronik dış ya da HO olarak adlandırılan bir kuyruk yakalayıcı ile selenoidin dışına uzatılmıştır. HO'da ek bir soğurucu olarak, $1.4/\sin\theta$ etkileşim uzunluğuna eşit selenoid bobin bulunmaktadır ve kalorimetre HB'den sonra depolanan duş enerjilerini ölçmek ve geç başlayan duşları belirlemek için kullanılmaktadır.

Selenoidin vakum haznesi dışında, manyetik alan beş tane 2.536 m genişliğinde (z-ekseni boyunca) halka şeklinde tasarlanmış bir demir boyunduruk tarafından döndürülmektedir. HO kalorimetresi, bu beş halkanın her birine ilk hassas tabaka olarak yerleştirilmiştir. Bu halkalar -2, -1, 0, +1 ve +2 olarak adlandırılmıştır. Numaralandırma z-ekseniyle artar ve bu halkaların merkezi pozisyonları sırasıyla -5.342 m, -2.686 m, 0, +2.686 m ve +5.342 m'dir. $|\eta|=0$ bölgesinde, HB minimum soğurucu derinliğine sahiptir. Bu nedenle iki katmanlı HO sintilatörlerden

oluşmuştur ve soğurucu malzeme olarak, kuyruk yakalayıcının her iki tarafında sırasıyla 3.82 m ve 4.07 m radyal mesafelere yerleştirilmiş, 19.5 cm kalınlığında demir plakalar kullanılmıştır. Diğer tüm halkalar 4.07 m radyal mesafelerde tek bir HO katmanına sahiptir. Böylece, kalorimetre sisteminin toplam derinliği fıçı kapak sınır bölgeleri hariç, en az 11.8 λ_I'e kadar uzatılmıştır.

HO, müon sisteminin geometrisi ile sınırlandırılmıştır. Şekil 3.4, CMS genel kurulumunda müon istasyonları halkalarında HO katmanlarının konumlarını göstermektedir.

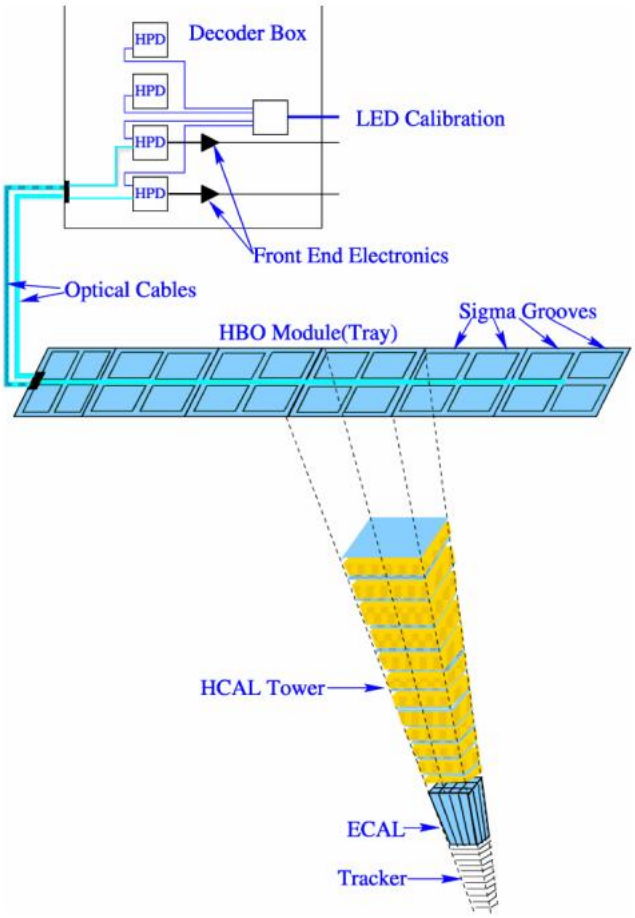


Şekil 3.4. CMS genel kurulumunda müon istasyonları halkalarında HO katmanlarının konumları (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

Her halka 12 özdeş f sektörüne sahiptir. Bu 12 özdeş sektör 75 mm kalınlıklı paslanmaz çelik kirişler ile ayrılmaktadır. Bu kirişler müon sisteminde olduğu gibi, demir boyunduruğun ardışık katmanlarını birbirine tutturur. Radyal yönde her HO katmanına toplam 40 mm yer ayrılmıştır. Ayrıca, HO modülleri bağımsız olarak her f sektörünün her iki tarafına yerleştirilmiş çelik kirişlerle desteklenmektedir.

HO'daki döşemelerin boyutları ve konumları, η ve f'de 0.087×0.087 tanecikli kuleler yapmak için, kabaca HB'nin katmanlarıyla eşleştirilmiştir. HO fıçı müon detektörünün ilk katmanının önüne yerleştirilmiş, bir (halkalar ±1 ve ±2) ya da iki (halka 0) sintilatör döşeme katmanından oluşmaktadır. Döşemelerden gelen sintilasyon ışığı 0.94 mm çaplı çoklu - koruyucu ile kaplı Y11 Kuraray WLS fiberler tarafından toplanmakta ve birleştirilmiş çoklu - koruyucu Kuraray şeffaf fiber tarafından dönüş boyunduruğunun üzerine yerleştirilmiş foto-detektörlere taşınmaktadır.

HO montajını basitleştirmek için, sintilatör döşemeler, tabla olarak adlandırılan tek bir birim içerisinde paketlenmiştir. Her tabla 5°'lik bir f' dilimine karşılık gelmektedir. Bununla birlikte, z-ekseni (η) boyunca bir tabla müon halkasının tüm zincirini kapsamaktadır. Şekil 3.5, bir HO tablasının şematik görünümünü göstermektedir. Burada HB'nin bir kulesi ve okuma kutusuna bağlanmış bir tabladan gelen optik kablo eşlenmiştir.

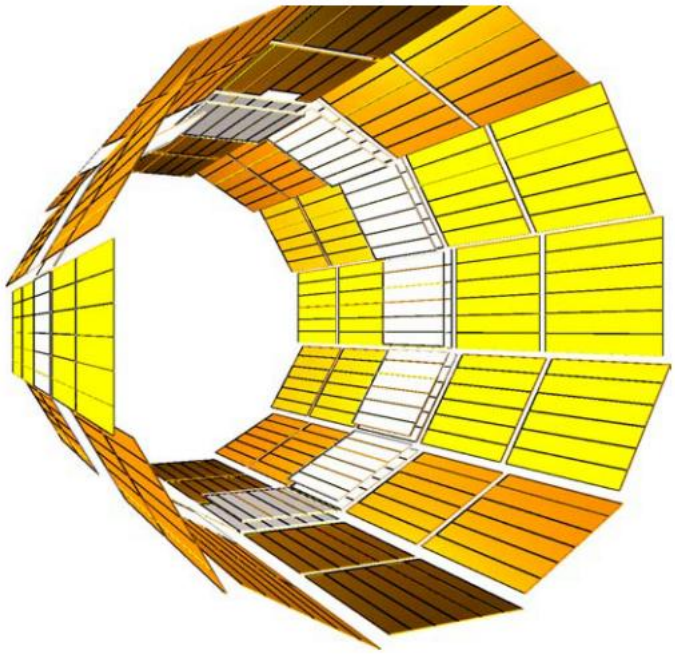


Şekil 3.5. Bir HO tablasının şematik görünümü (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

Modül Tanımlaması

Daha önce anlatıldığı gibi, HO fiziksel olarak müon halka yapısına uygun olarak η'da beş halkaya bölünmüştür. Bu halkalar artan η ile -2, -1, 0, +1 ve +2 olarak numaralandırılmıştır. Her bir halka 12 özdeş f ' sektörüne ve her sektör de altı dilime (1'den 6'ya kadar sıralanan) ayrılmıştır. Bir katmanın f ' dilimleri tüm sektörlerde aynıdır. HO'da bu şekilde elde edilen en küçük sintilatör birim döşeme olarak adlandırılmaktadır. Her f ' sektöründeki bu sintilatör döşemeler bir düzleme aittir. Bu düzlemin z - ekseninden dik uzaklığı katman 0 ve katman 1 için sırasıyla 3.82 m ve 4.07 m'dir. Bir halkanın her f ' dilimindeki bu döşemeler, mekanik olarak bir tabla şeklinde bir arada tutulmaktadır.

Halka 0'ın her iki katmanı 8 - η bölmesine sahiptir. Yani her tablada -4, -3, -2, -1, +1, +2, +3 ve +4 olmak üzere sekiz döşeme yer almaktadır. Halka 1: altı bölmeye (5, 6, 7, 8, 9, 10) ve halka 2: beş bölmeye (11, 12, 13, 14, 15) sahiptir. Aynı şekilde halka -1 ve -2'de halka 1 ve 2'deki gibi bölme sayısına sahiptir fakat indeksleri negatif işaretlidir. Tablaların toplam uzunluğu 2510 mm'dir. Şekil 3.6, CMS detektöründeki tüm HO tablalarının düzenini göstermektedir.



Şekil 3.6. CMS detektöründeki tüm HO tablalarının düzeni (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004)**.**

Döşemeler

HO'nun **s**intilatör döşemeleri Bikron BC408 sintilatör plakalardan yapılmıştır. Şekil 3.7, tipik bir HO sintilatör döşemeyi göstermektedir.



Şekil 3.7. Tipik bir HO sintilatör döşeme.

WLS fiberleri döşeme içerisindeki anahtar delikli oluklara gömülmüştür. Her oluk, sintilatörün içerisinde 1.35 mm çapında bir dairesel kısma sahiptir ve bu oluklar 2.05 mm derinliğindedir. Her döşeme dört özdeş oluğa sahiptir. Fiberleri hasarlardan korumak ve kolay yerleştirmek için olukların köşeleri yuvarlatılmıştır.

HO, 95 (Katman 1 için 75, katman 0 için 20) farklı döşeme boyutuna sahiptir. Toplam döşeme sayısı 2730'dur (2754 tanesi katman 1 için, 576 tanesi katman 0 için).

Tablalar

Bir sektörün her f' dilimindeki tüm döşemeler gruplandırılarak bir tabla oluşturmuştur. Her tabla halka ±2'de beş döşemeye, halka ±1'de altı döşemeye ve halka 0'da sekiz döşemeye sahiptir. Döşemelerin köşeleri, daha iyi ışık toplamak için Bikron yansıtıcı beyaz boyayla boyanmıştır. Her halkadaki her f' sektörü altı tablaya sahiptir. Katman 1 için 360 tane ve katman 0 için 72 tane tabla vardır.

Çoklu Örgü

Döşemelere gömülü WLS fiberler tarafından toplanan ışığın müon halkalarından uzağa yerleştirilmiş foto - detektörlere taşınması gerekir. WLS fiberlerin olukların içine dayanan uçları, ince polimer bir kaplama kullanılarak korunmuştur. WLS fiberin diğer ucu ise, 2 mm kalınlıklı siyah bir plastik ile kaplı oluk içerisinden geçerek döşemeden dışarı çıkarılmıştır. İletim sırasında ışık kaybını en aza indirmek için, WLS fiber bir şeffaf fibere eklenmiştir. Her çoklu örgüde (η boyunca) döşeme uzunluğuna bağlı olarak 2 - 3 fiber sadece WLS fiberlerden yapılmıştır. Her döşemeden gelen şeffaf fiberler plastiklerin üzerindeki olukları takip ederek optik konektöre ulaşmaktadır.

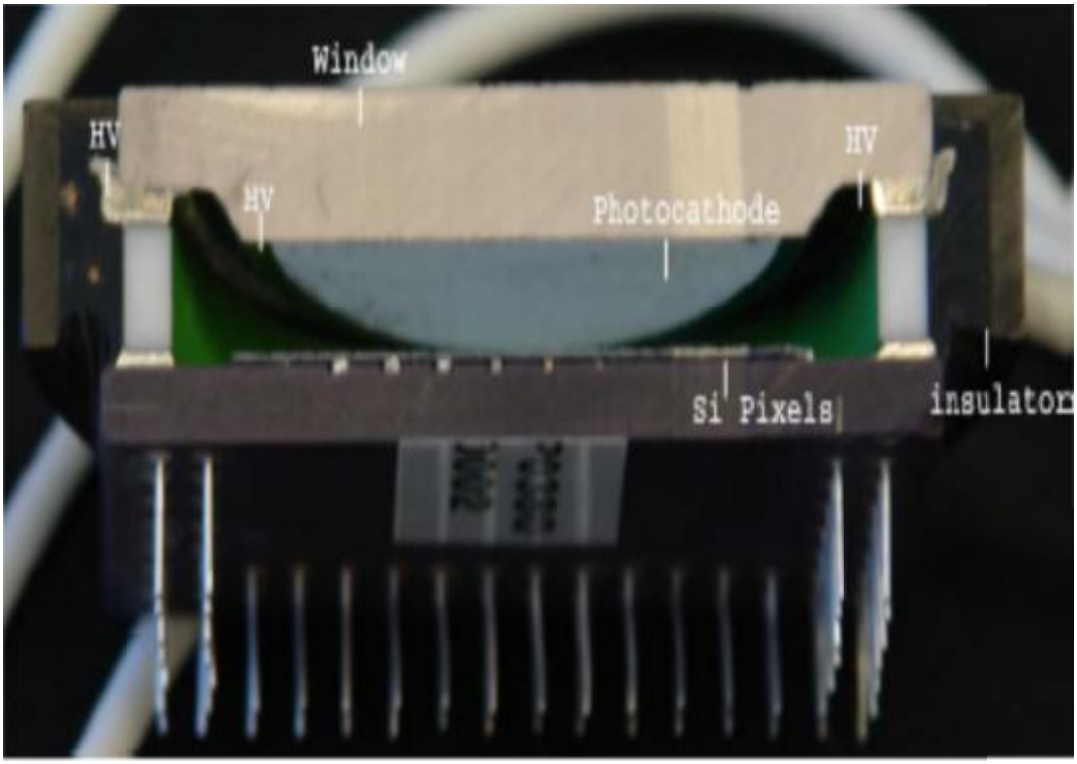
Her tabla, bir ucuna monte edilmiş 2 optik konektöre sahiptir. Bir tablada döşemelerin üstündeki oluklar η boyunca iki sıra oluşturmaktadır. Bir sıradaki tüm oluklardan gelen fiberler bir konektörde sonlanmaktadır. Optik konektöre sabitlenmiş bu fiber demeti çoklu örgü olarak adlandırılır. Her tabla iki tane çoklu örgüye

sahiptir ve toplam 720 tanesi katman 1 için ve 144 tanesi de katman 0 için olmak üzere 864 tane çoklu örgü vardır (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

3.1.3.1. Hibrit Foto Diyot (HFD)

HB, HE ve HO kalorimetrelerinde fotodetektör olarak HFD'ler kullanılmaktadır. HFD'ler, yüksek manyetik alanda çalışabilen, radyasyona dayanıklı, maliyeti düşük ve geniş enerji aralığı için orijinal sinyalle orantılı olarak güçlendirilmiş yanıt verebilen, CMS için özel olarak tasarlanmış foto detektörlerdir. Kalorimetre hacmi içerisinde özel okuma ünitelerine (RBX) yerleştirilmişlerdir. Kalorimetreden gelen ışık sinyalleri özel optik dalga kılavuzlarıyla HFD'lere iletilmektedir.

Bir HFD'nin foto katot adı verilen ışığa duyarlı yüzeyi fotoelektrik etkiyle ışığı elektrona dönüştürür. HFD içerisinde bu düşük enerjili elektronlar birkaç milimetrelik dar bir boşluk boyunca silikon diyot hedefe doğru hızlandırılırlar. Hedef, 19 piksele bölünmüştür ve hızlandırılmış elektronlar piksellere çarptığında piksellerin her biri kendi yükseltilmiş elektronik sinyalini üretirler. Bu da, bir HFD ile 19 ayrı kalorimetre sinyalinin algılanması ve yükseltilmesini sağlar. Böylece, elektronik sinyaller her bir çarpışma için örneklendirilir ve QIE çipi olarak adlandırılan HKAL toplama devreleri kullanılarak sayısallaştırılan sinyaller analiz için tetikleyici ve veri alım sistemine iletilirler. HFD'ler, kalorimetre sinyalini yaklaşık 2000 kat güçlendirmektedir ve CMS'de 420 adet HFD kullanılmaktadır (http://cms.web.cern.ch/news/hadron-calorimeter). Şekil 3.8, bir HFD'nin enine kesitini göstermektedir.



Şekil 3.8. Bir HFD'nin enine kesiti (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

HO, fotodetektör olarak HFD'leri kullanmaktadır. HFD'lerin daha düşük yüksek voltajdaki (HV) performansı beklendiği gibi değildir. HO'daki düşük sinyal - gürültü oranı bu kalorimetrenin müon belirlenmesi için kullanımını önler ve benzer performans düşüşleri fıçı ve uç kapak bölgelerindeki lepton izolasyonu için düşük enerji ölçümlerini etkiler.

HO'nun dış halkalarında (±1 ve ±2) HFD'lerin manyetik alan ortamında çalıştırıldığında, büyük gürültü pulslarının oluştuğu tespit edilmiştir. Bu bölgelerdeki HFD'lerde, manyetik alan aralığı 0.2 - 0.3 T'dir. Bu şartlar altında, HFD'lerin büyük bir kısmı kalıcı hasara yol açan büyük yük boşalmaları üretmektedir. Bu soruna kalıcı bir çözüm olarak, halka ±1 ve halka ±2'ye, HFD'lerin yerine Silikon Foto Çoğaltıcılar (SiFÇ) yerleştirilecektir. Ayrıca bazı problemlerden dolayı halka 0 HFD'leri de değiştirilecektir.

Sınır alan bölgesindeki HO'nun çalışma problemlerinden dolayı, HFD'leri optimum yüksek voltaj (HV) yerine daha düşük bir voltajda çalıştırmak gerekmektedir. Düşük HV düşük kazançla sonuçlanır ve bu HO'nun performansını azaltmaktadır. Düşük kazançtan dolayı, elektronik gürültü (pedestal) daha önemlidir

ve HO jet ve müon fiziği için kullanışsız hale gelir. Daha yüksek gürültü seviyeleri ise, HO'nun duş sızıntılarını belirlemedeki rolünü sınırlar. 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).

3.1.3.2. Silikon Foto Çoğaltıcı (SiFÇ)

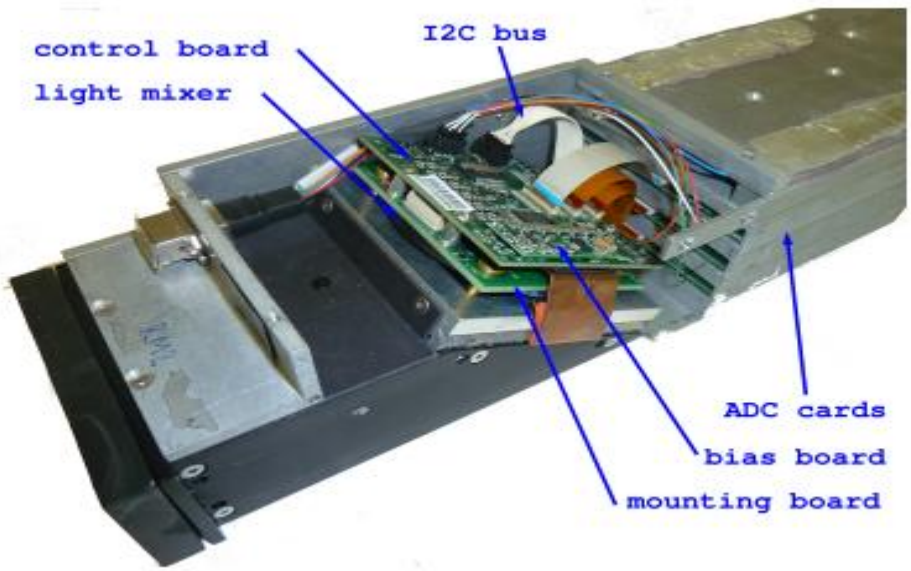
SiFÇ'ler, düşük foton akılarını belirlemek için geliştirilen yarı iletken tabanlı foto detektörlerdir. Geiger modunda çalışan Çığ Foto Diyot (APD)'ların piksel dizilerinden oluşmaktadırlar (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1).

CMS HKAL grubu, mevcut ön - uç elektronikleri için foto - sensör olarak SiFÇ'leri temel alan bir "drop - in" yer değiştirmesi planlamıştır. Bu çalışmada mevcut HFD'ler SiFÇ'lerle değiştirilmektedir (CMS CR -2012/189).

SiFÇ'ler HFD'lere göre önemli avantajlara sahiptirler. SiFÇ'lerin kuantum verimliliği, HFD'lerin iki katı olup, kazançları FÇT'lere benzemektedir (piksel boyutuna bağlı olarak 10^5 - 10^6). Bu değer HFD'lerden 50 - 500 kat daha fazladır. HFD'ler ile karşılaştırıldıklarında, SiFÇ'lerin gürültü sinyal oranı sekiz kat daha fazladır. SiFÇ'ler sıkı ve nispeten daha ucuzdur. 10 μm'lik küçük piksel boyutuyla yüksek foton algılama verimliliğine sahiptir. SiFÇ'ler yaklaşık 100 V'luk çalışma voltajında çalışırken, HFD gibi vakum tüpleri ~10 kV'da çalışır. Düşük voltajların işletim avantajları vardır, bu durum mevcut HFD'lerde yüksek voltajlarda gözlenen arızalanmaları engellemektedir. Yüksek voltajlar güvenlik tehlikeleri oluşturarak tüp ömrünün azalmasına neden olabilir. SiFÇ'ler 4 T değerine kadar manyetik alandan etkilenmezler. HFD'ler sıfır manyetik alanda ve 3.5 T – 4 T'lık güçlü alanlarda iyi çalışırken 0.2 T - 3.0 T düzeyindeki düşük alanlarda hızla arızalanırlar (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1).

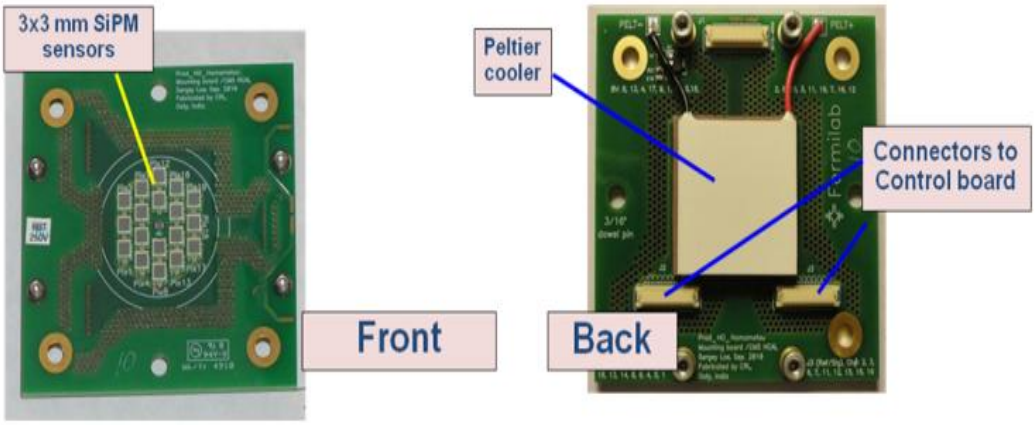
HO'da kullanılacak SiFÇ'ler 3×3 mm^2, 50 µm eğimli MPPC (Multi Pixel Photon Counter) Hamamatsu SiFÇ'lerdir. Bu cihazlar, 3600 mikro-pikselli ve iyi bir foton algılama etkisine sahiptirler. 1 Voltun üzerinde çalıştığında (kazancın sıfır olduğu noktadaki voltaj farkı), kazancı 6×10^5'tir. MPPC kazancı doğrusal olarak sıcaklığa bağlıdır. Her bir derece başına %8 kazanç değişimi öngörülmüştür. Bu sıcaklık bağımlılığı SiFÇ'lerin sıcaklığını aktif olarak kontrol etmeyi gerektirir. Bu nedenle, SiFÇ'lerin sıcaklığının 0.1°C'den daha iyi ayarlanması gerekmektedir (CMS CR -2012/189).

Foto detektörler ve ön - uç elektronikleri mıknatıs dönüş boyunduruğuna yerleştirilen RBX olarak adlandırılan kasaların içerisinde yer almaktadırlar. Elektronikler ve foto detektörler, RBX içerisine yerleştirilmiş ve şuanda her biri bir HFD içeren, birbirinden bağımsız okuma modülleri (RM) içine dizilmiştir. Bir RM Montaj kartı (Mounting Board - MB), Kontrol kartı (Control Board - CB) ve Bayas kartı (Bias Board - BB) olmak üzere üç tane dolaşım kartından oluşmaktadır. Şekil 3.9, bir RBX'in bir RM'indeki CB, MB ve BB'lerin yerleştirilme şekillerini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi Bayas kartı, Montaj kartının üzerine yerleştirilmiştir. QIE'ler (ADC kartları) arkada üç düz kablo ile bağlanır.



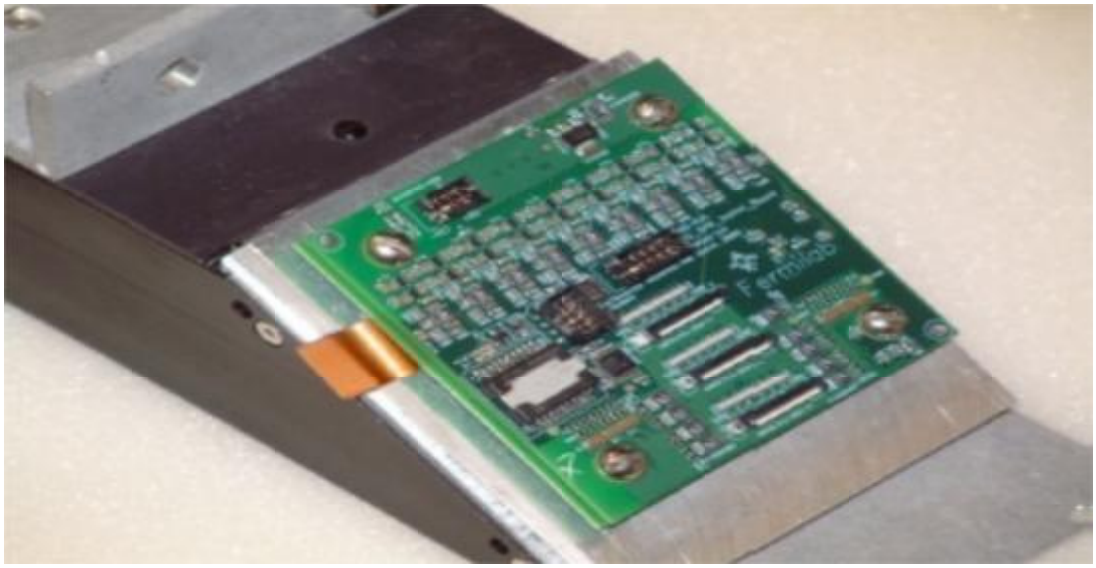
Şekil 3.9. Bir RBX'in bir RM'indeki CB, MB ve BB'lerin yerleştirilme şekilleri (CMS CR -2012/189).

Montaj kartının bir tarafına 18 SiFÇ dizisi yerleştirilmiştir. Diğer tarafına ise SiFÇ'in sabit sıcaklığını düzenleyen Peltier soğutucu yerleştirilmiştir. Kontrol kartı, Montaj kartına, Peltier soğutucunun olduğu taraftan bağlıdır. Şekil 3.10'da, MB'nin her iki tarafı da gösterilmektedir.



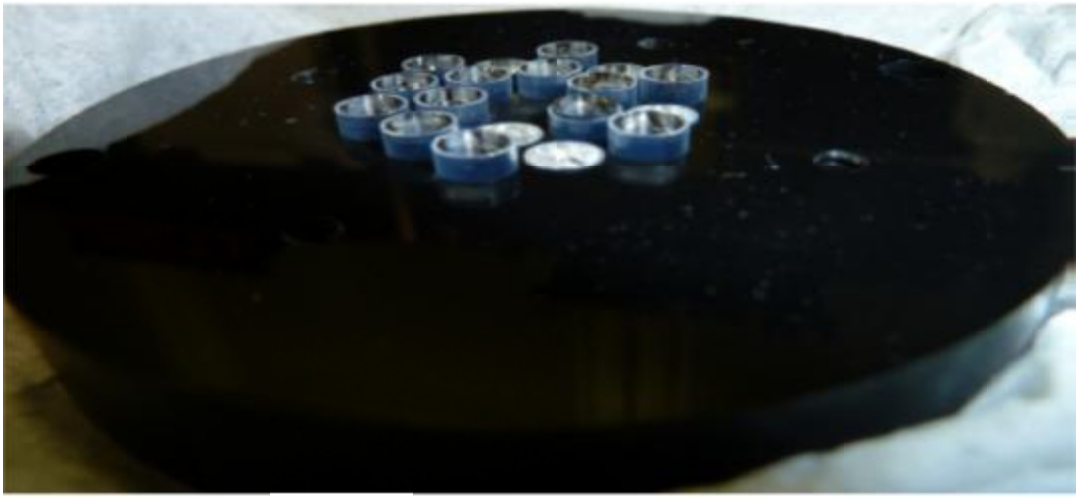
Şekil 3.10. MB'nin her iki tarafı (CMS CR -2012/189).

Kontrol kartı ise, SiFÇ sinyallerini şekillendirir ve onları 40 MHz'lik bir flaş ile ön - uç QIE'ye (ADC kart) gönderir. Ayrıca bayas voltajını düzenler, sızıntı akımını okur, sistemin sıcaklığını ve voltajını ölçer. Şekil 3.11, Kontrol kartını göstermektedir.



Şekil 3.11. Kontrol kartı (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1).

3×3 mm^2 SiFÇ yüzeyinin düzgün biçimde aydınlatılmasını sağlamak için, birkaç mm kalınlığındaki bir ışık karıştırıcısı SiFÇ ile giriş fiber demeti arasına yerleştirilmiştir. Optik sistem ışık karıştırıcıyla SiFÇ'lere birleştirilmiştir. Şekil 3.12, bir ışık karıştırıcıyı göstermektedir.



Şekil 3.12. Bir ışık karıştırıcı. Işık karıştıcı SiFÇ yüzeyinde homojen bir şekilde ışık dağıtmak içindir. (CMS CR -2012/189).

3.1.4. İleri Hadron Kalorimetresi (HF)

HF kalorimetresi $3<|\eta|<5$ psüdorapidite aralığını kapsamaktadır. HF+ ve HF- olmak üzere iki modülden oluşmuştur. Bu modüller etkileşim noktasından yaklaşık 11.2 m uzağa yerleştirilmiştir. HF, ileri bölgedeki jetlerin varlanmasında, kayıp dik enerji (E_T^{miss})'nin belirlenmesinde ve ışıklılık ölçümünde önemli bir rol oynamaktadır (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1). Şekil 3.13, HF kalorimetresini göstermektedir.



Şekil 3.13. HF kalorimetresinin modüllerinden biri (http://iopscience.iop.org/1742-6596/160/1/012014/pdf/1742-6596_160_1_012014.pdf).

Bu kalorimetre çelik soğurucular ve hızlı Çerenkov ışığı sağlayan kuvars fiberlerden yapılmıştır. Her bir HF modülü, demir soğurucuların uzunluğu boyunca hüzme eksenine paralel, kuvars fiberlerle birlikte yansıtmasız bir geometride 18 kamadan oluşmaktadır. Şekil 3.14, HF kalorimetresinin kamalarını göstermektedir. Uzun (1.65 m) ve kısa (1.43 m) kuvars fiberler sırasıyla 5 mm aralıklarla yerleştirilmiştir. Bu kuvars fiberler detektörün arkasında paketlenmiştir (CMS TDR, 2006).



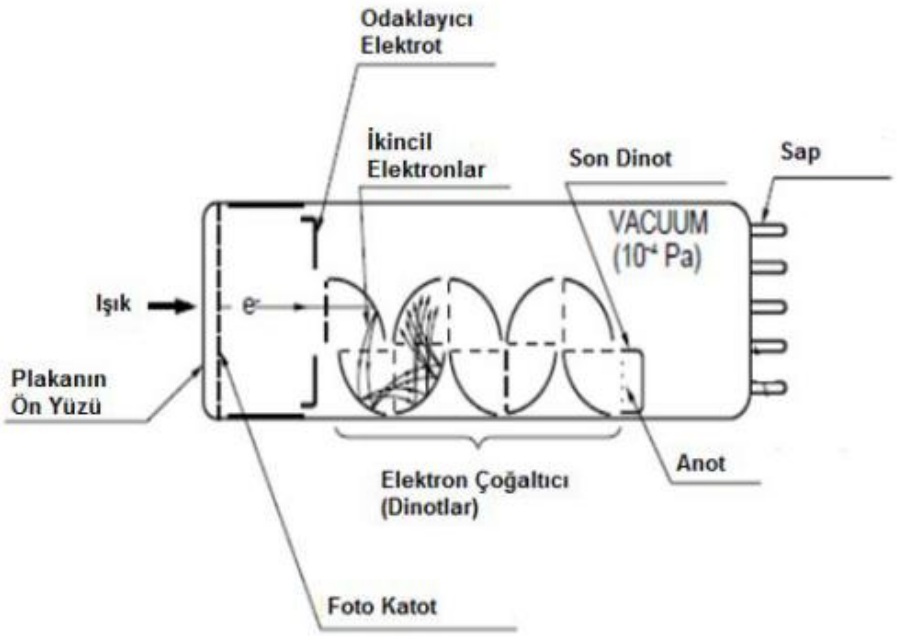
Şekil 3.14. HF kalorimetresinin kamaları (http://www.fnal.gov/pub/today /images04/ Calorimeter_Wedges.jpg).

HF bölümlerinde, modül başına 864 okuma kanalı olmak üzere toplam 1728 kanal bulunmaktadır. HF'in plastik kaplı kuvars fiberlerinde üretilen Çerenkov ışınımı önce analog sinyale daha sonra HKAL'in ön - uç elektronikleri ve FÇT'ler yardımıyla sayısal sinyale dönüşmektedir. Gelen Çerenkov sinyalleri hızlı bir üretim ve toplama zamanına sahiptir (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010).

HF kalorimetresi, foto detektör olarak FÇT'leri kullanmaktadır. FÇT'ler Hamamatsu firması tarafından üretilmiştir. 8 katmanlı dinottan oluşan FÇT'ler bir tane 25 mm çapında bialkali foto katota, ortalama kalınlığı 0.6 cm olan bir tane borosilikat cam pencereye sahiptir (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1).

3.1.4.1. Foto Çoğaltıcı Tüp (FÇT)

FÇT'ler, ışığı ölçülebilir bir elektrik sinyaline dönüştüren, ışığa karşı duyarlılık gösteren ve çok hızlı yanıt veren aygıtlardır. Şekil 3.15'te gösterildiği gibi bir FÇT vakum tüp içerisinde bulunan foto katot, elektron çoğaltıcı sistem, elektrotlar ve anottan oluşmaktadır.



Şekil 3.15. Vakum tüp içerisindeki bir FÇT'nin enine kesiti (http://physik.uibk.ac.at /hephy/muon/pmtcnste.pdf)

- **Fotokatot:** Işık akısını elektrik akımına dönüştürür.
- **Elektron-optik giriş sistemi:** Katottan gelen elektrik akımını hızlandırıp ilk dinota odaklar.
- **Elektron çoğaltıcı sistem:** Dinot serisinden oluşur ve katot akımının yükseltilmesini sağlar.
- **Anot:** Elektron akımını toplayıp bunu çıkış sinyali haline getirir.

Işık foto katota girdiği zaman, foto katot vakum tüpünün içerisine foto elektronları yayar. Bu foto elektronlar daha sonra elektron çoğaltıcılar boyunca elektrotlar (dinot) tarafından odaklanarak yönlendirilirler. Elektron çoğaltıcı ise ikincil yayınım süreci ile elektronları çoğaltır. Sayıları artan elektronlar anot tarafından çıkış sinyali olarak toplanır. İkincil yayımlamadaki artış FÇT'lerde oldukça yüksek hassasiyet ve olağanüstü düşük gürültü sağlar (http://physik. uibk.ac.at/hephy/muon/pmtcnste.pdf).

FÇT'ler başta nükleer fizik ve yüksek enerji fiziği olmak üzere astronomiden tıbba kadar çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Şekil 3.16'da, çeşitli tip ve boyutlardaki FÇT'ler gösterilmiştir (Hamamatsu, 2006).



Şekil 3.16. Çeşitli tip ve boyutlardaki FÇT'ler (http://jp.hamamatsu.com/resources/products/etd/eng/image/pmt01.jpg).

Daha önce de belirtildiği gibi HF'de kuvars fiberlerden gelen ışığı toplamak için FÇT'ler kullanılmaktadır. 2010 yılında, detektör veri aldığı sürece tekli müonlar ve parçacık duşlarından dolayı FÇT'lerde anormal sinyaller görülmüştür. Bu olaylar başlangıç işletiminde çok açık bir şekilde tanımlanabilen anormal derecede büyük enerji birikimleri oluşturmuştur. Ayrıca anormal sinyaller bir takım atımlar üretmektedir. Bu atımlar normal Çerenkov atımlarına kıyasla daha uzun sürelidir.

Bu tür problemleri ortadan kaldırmak için kalorimetrede iyileştirme ve yenileme çalışmaları yapılmaktadır. İlk değişiklik daha önce kullanılan Hamamatsu R7525 FÇT'lerin sökülüp yerlerine Hamamatsu R7600U-200-M4 markasına sahip olan dört anotlu tüplerin takılması olmuştur. Yeni tüpler daha ince optik pencerelere ve metal zarflara sahiptir. Bu FÇT'ler anormal sinyal oranını önemli ölçüde azaltmıştır, fakat hepsini tamamen yok edememiştir. Ayrıca FÇT'nin okuma elektroniklerinde birtakım değişiklikler yapılmıştır. Elektroniklere yeni okuma kanalları eklenmiştir. Yeni kanalları desteklemek

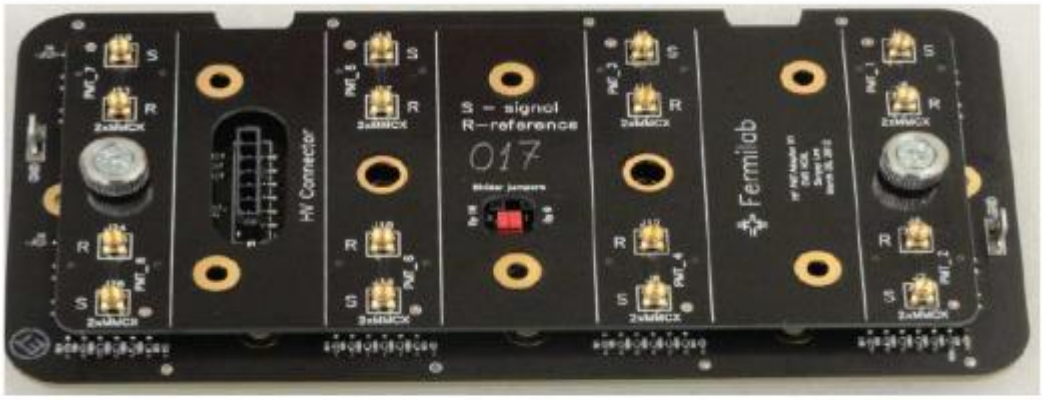
için kullanılan elektroniklerin değiştirilmesine karar verilmiştir (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010).

Çok anotlu FÇT'lerin kullanılması ve okuyucular için gerekli olan kablolama işlemleri LS1 (Long Shutdown1 – Uzun Ara 1) süresi boyunca yapılmaktadır. Ayrıca her yıl sonunda verilen teknik arada HF'in ön uç elektroniklerinin geliştirilmesi de planlanmaktadır (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010). Şekil 3.17, HF'te kullanılacak yeni FÇT (Hamamatsu R7600U-200-MU)'leri göstermektedir.



Şekil 3.17. HF'te kullanılacak yeni FÇT'ler (http://www.hamamatsu.com/us/en/product/category/3100/3001/R7600200-M4/index.html)

LS1 süresince çok anotlu yeni FÇT'ler yerlerine takılacak ve bu FÇT'ler mevcut HF elektronikleri ile okunacaktır. Mevcut elektroniklerdeki kanal sayısı sınırlı olduğu için, dört anotlu FÇT'lerin anotları tek bir kanal içerisine gruplandırılacaktır. Daha sonra yeni elektronikler hazırlanarak, FÇT kutuları çok anotlu okuyucular için yeniden biçimlendirilecektir. FÇT kutularında çok anotlu okuyucu geçişlerini kolaylaştırmak için yapılan kablo bağlantıları ve anotların birleştirilmesi, ayrı bir adaptör devre kartı ile yapılmaktadır. Adaptör kartında delikli MMCX (mikro minyatür koaksiyel) sinyal bağlantıları kullanılmaktadır ve bunlar vidalarla adaptöre bağlanmıştır. Şekil 3.18, HF FÇT sisteminin tek anotlu okuyucusu için adaptör kartını göstermektedir.



Şekil 3.18. HF FÇT sisteminin tek anotlu okuyucusu için adaptör kartı (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010).

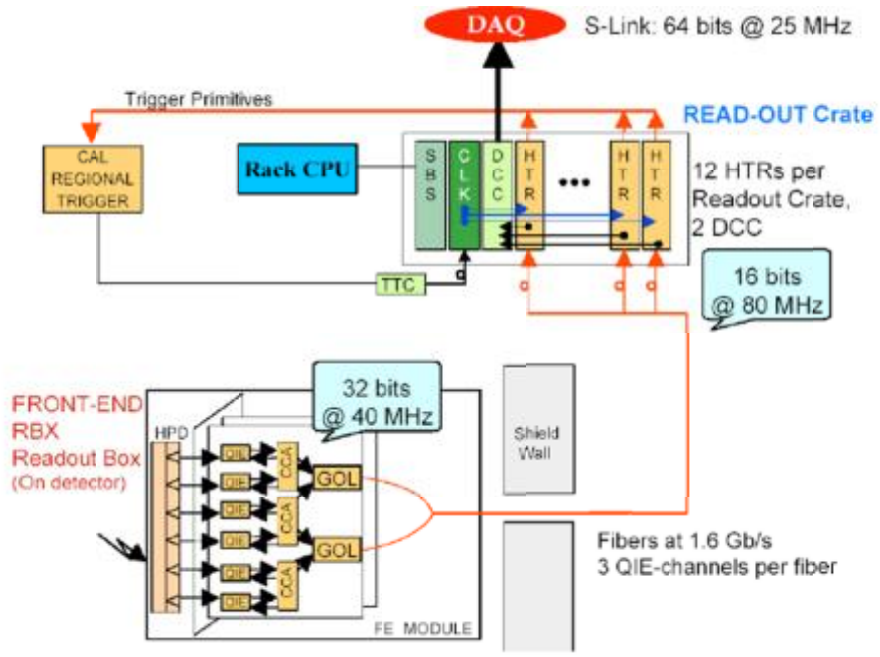
Ayrıca, ön - uç elektroniklerini okuma kutularına bağlayan sinyal kabloları çok anotlu okuyucuları desteklemek için değiştirilecektir. Elektronikler ve FÇT kutuları mekan kısıtlamalarından dolayı yüksek bağlantı yoğunluklu kablolama ile çözümlenecektir. Kabloların sağlamlılığı ve boyutları da dikkate alınarak, kabloların bükülebilir, minimum bükme yarıçapına sahip ve kablo yoğunluğunun dört anotlu okuyucu için gerekli olan sinyal sayısını dört katına çıkarmaya yeterli olduğu da tespit edilmiştir. Şekil 3.19, HF için geliştirilen FÇT kablolama sisteminin bileşenlerini göstermektedir. Soldan sağa doğru FÇT kutularının dışına adaptör kartlarını bağlayan örgü kabloları, FÇT kutularını ön - uç elektroniklerine bağlayan 5m'lik uzun kablo, 24 koaksiyel kablo ve adaptör kablosu görülmektedir (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010).



Şekil 3.19. HF için geliştirilen FÇT kablolama sisteminin bileşenleri (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010).

3.2. HKAL Elektronikleri ve Veri Toplama

HKAL kalorimetresindeki sintilatörlerden alınan ışık, WLS fiberleri ile şeffaf fiberlere ve optik kablolar aracılığıyla ön - uç okuma elektroniklerine iletilmektedir. Şekil 3.20, HKAL'in veri toplama elektroniklerinin genel görünümünü göstermektedir.



Şekil 3.20. HKAL'in veri toplama elektroniklerinin genel görünümü (CMS HCAL Collaboration, 2006, CMS Note 2006/138).

Ön - uç okuma elektronik sistemi analog sinyalleri sayısallaştırarak, 40 MHz ile okuma kartlarına gönderir (CMS Collaboration, 2002, FERMILAB-Conf-02/278). Optik kablolar aracılığıyla taşınan ışık, önce okuma kutusu (RBX) olarak adlandırılan elektronik ünitelere iletilmektedir. Her bir RBX, dört okuma modülüne (RM) ayrılmıştır. Tek bir okuma modülü, bağımsız bir $(D\eta, D\phi) = (0.0875, 0.0875)$ kulesinden gelen sinyalleri kaydeden 19 kanallı HFD içermektedir. HFD, vakum içinde olup 3.5 mm mesafe ile ayrılmış bir foto katot ve bir silikon diyot içeren düzlemsel bir yapıya sahiptir. Foto elektronlar 8 kV kinetik enerjiye kadar hızlandırılarak diyota çarpmakta ve iyonizasyona neden olmaktadır. Serbest kalan deşiklerin toplanması 1600 civarında bir kazançla sonuçlanır. Kazanç, hızlandırıcı

voltaj ile belirlenir ve bu değer ömür süresi testleri temel alınarak seçilmiştir. Diyot elektriksel olarak 19 bağımsız okuma içermektedir. HFD sinyalleri, RM içine yerleştirilen üç tane altı kanallı okuma kartından beslenmektedir. Bu okuma kartları, yük toplama ve kodlaması (QIE) yapan özel bir ASIC sistemine göre okunmaktadır. QIE kartları, doğrusal olmayan çok aralıklı analog - sayısal çevirici (ADC) olarak tasarlanmıştır. QIE dört zaman aralığı kademesinden oluşmuştur. QIE çıkışı, 2 bit aralık ve 5 bit matris içermektedir (CMS HCAL Collaboration, 2006, CMS Note 2006/138). QIE'den alınan veri ilk olarak CCA (Özel Toplu Devre Kontrol Kartı)'na daha sonra GOL (Gigabit Optik Link)'a aktarılmaktadır. GOL'dan alınan sinyal 40 MHz ile çeşitli elektronikler kullanarak HTR'a ve 25 MHz aralıkları ile veri akış sistemine (DAQ) iletilmektedir.

4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

4.1. HO SiFÇ Analizi

Daha öncede bahsedildiği gibi HO'da foto detektör olarak HFD'ler kullanılmaktadır, fakat performans ve çalıştırma problemlerinden dolayı, bunların SiFÇ'lerle değiştirilmesine karar verilmiştir. CMS HKAL grubu, 2013 yılında mevcut ön - uç elektronikleri için foto detektör olarak SiFÇ'leri esas alan bir "drop-in" yer değiştirmesi planlamıştır. Tezin bu kısmında HO kalorimetresinde kullanılacak SiFÇ'lerin kararlılık analizlerine yer verilmiştir.

4.1.1. HO904 Test Düzeneği ve Veri Alımı

Bu çalışma için yeni bir HO okuma kutusu (RBX) tasarlanmıştır. Bu analizde SiFÇ'li yeni okuma modüllerinin (RM) kararlılık testi yapılmıştır. Yenileme çalışmaları CERN'deki 904 numaralı binada gerçekleştirildiği için HO904 çalışmaları olarak adlandırılmıştır.

HO'da HO2P, HO1P, HO0, HO1M, HO2M olarak adlandırılan beş adet halka bulunmaktadır. Bu analizin test düzeneğinde HO1M'a ait olan 2 ve 4 nolu (HO1M02 ve HO1M04) RBX'ler dikkate alınmıştır. Bu RBX'lerin her birinin içerisinde dört tane RM bulunmaktadır. HO1M02 içerisindeki RM'ler RM1, RM2, RM3 ve RM4; HO1M04 içerisindekiler ise RM5, RM6, RM7 ve RM8 olarak numaralandırılmıştır. RM1 ve RM5 referans olarak kullanılan ve RM değişimlerinde değiştirilmeyen uzun dönem RM'lerdir. Şekil 4.1'de bir RBX gösterilmektedir.



Şekil 4.1. RBX (ReadoutBoX)

Kararlılık analizinin ilk adımında, belirli periyotlarda her bir RBX içerisindeki üçer RM değiştirilmiştir. RM'ler değiştirildikten sonra hızlı kontrol sisteminde, bu değiştirilen RM'lerin bilgileri kaydedilmiştir. Daha sonra alınan verilere ait histogramlar kontrol edilerek herhangi bir problem olup olmadığına bakılmıştır. Herhangi bir sorun yoksa veri alımına devam edilmiştir.

Bir RM değişikliğinden diğer bir RM değişikliğine kadar geçen sürede çeşitli veriler alınmıştır. Bu analizde kullanılan veriler LED ve pedestal bilgisi içeren birleştirilmiş verilerdir. Bunlar iki saatten uzun süren ve minimum 50000 (50k) adet olay içeren verilerdir.

4.1.2. HO904 Kararlılık Analizindeki Pedestal Çalışmaları ve Tekil Kanal Problemleri

4.1.2.1. Kararlılık Analizindeki Pedestal Çalışmaları

Analizin bu kısmında pedestal çalışmaları yapılmıştır. Detektörün kendi iç geriliminden kaynaklanan sinyaller pedestal olarak adlandırılmaktadır. Hadronik parçacıkların enerji birikiminin ölçümünde, müonların belirlenmesinde, detektördeki ısı ve akım değişimini belirlemede önem taşımaktadır.

HO904'te yapılan kararlılık analizinde ilk olarak LED ve pedestal bilgisini içeren HO_LED_PED_long, HO_LED_PED_longPulsed ve HO_PeltierScan_LED_PED_longPulsed verileri alınmıştır.

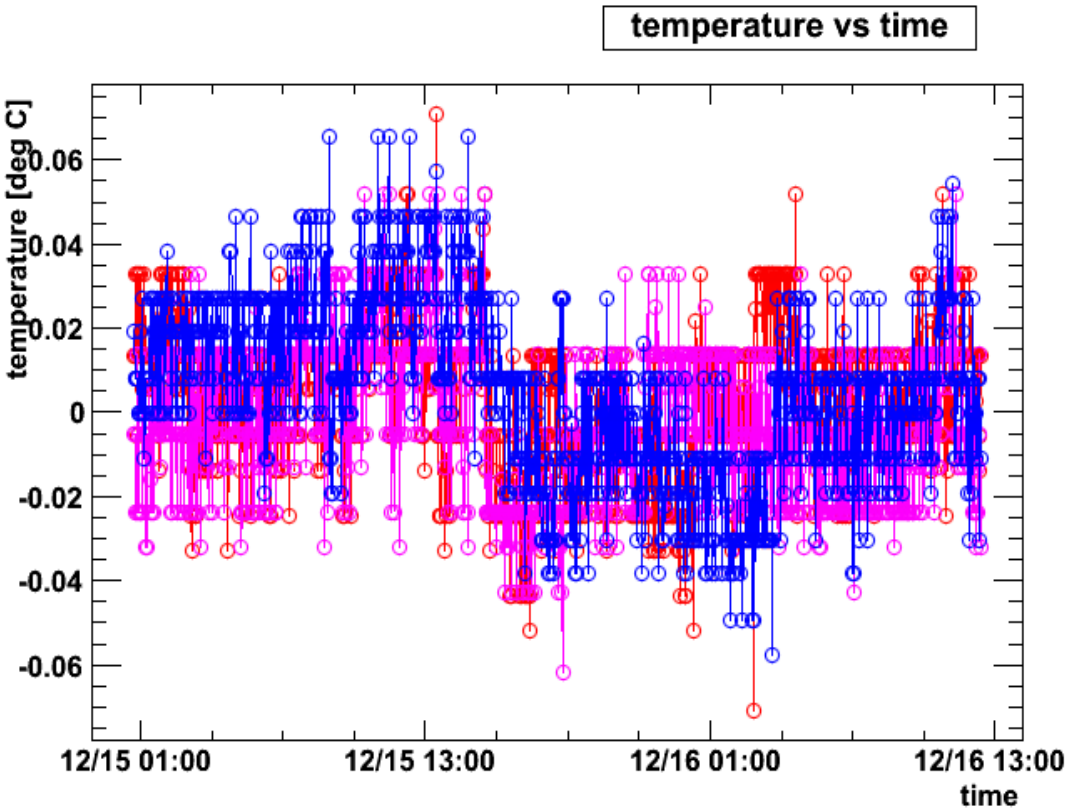
Alınan veriler birer haftalık periyotlar halinde analiz edilmiştir. İlk periyotta HO1M02'deki RM1 referans alınarak RM2, RM3 ve RM4'ten gelen, diğer periyotta ise HO1M04'deki RM5 referans alınarak RM6, RM7 ve RM8'den gelen her bir akım, sıcaklık, LED ve pedestal değerlerine bakılmıştır. Pedestal dağılımı beklenen kararlılığı göstermediği takdirde sorunun hangi RM'den kaynaklanıyor olabileceği saptanmaya çalışılmıştır.

11 Aralık 2012 tarihinde yapılan RM değişiminde HO1M02 kutusundaki RM2, RM3 ve RM4 değiştirilmiş ve bu periyot süresince alınan verilerin kararlılık analizi yapılmıştır. Çizelge 4.1, 11 Aralık 2012 HO1M02 periyodunda alınan verileri göstermektedir.

Çizelge 4.1. 11 Aralık 2012 HO1M02 periyodunda alınan veriler.

Alınan Verilen Numarası	Alınan Verilerin Cinsi	Alınan Verilerin Olay Sayısı
5748	HO_PeltierScan_LED_PED_longPulsed	510000 (510k)
5749	HO_LED_PED_long	750000 (750k)
5758	HO_PeltierScan_LED_PED_longPulsed	510000 (510k)
5759	HO_LED_PED_long	750000 (750k)
5765	HO_PeltierScan_LED_PED_longPulsed	510000 (510k)
5766	HO_LED_PED_long	190000 (190k)

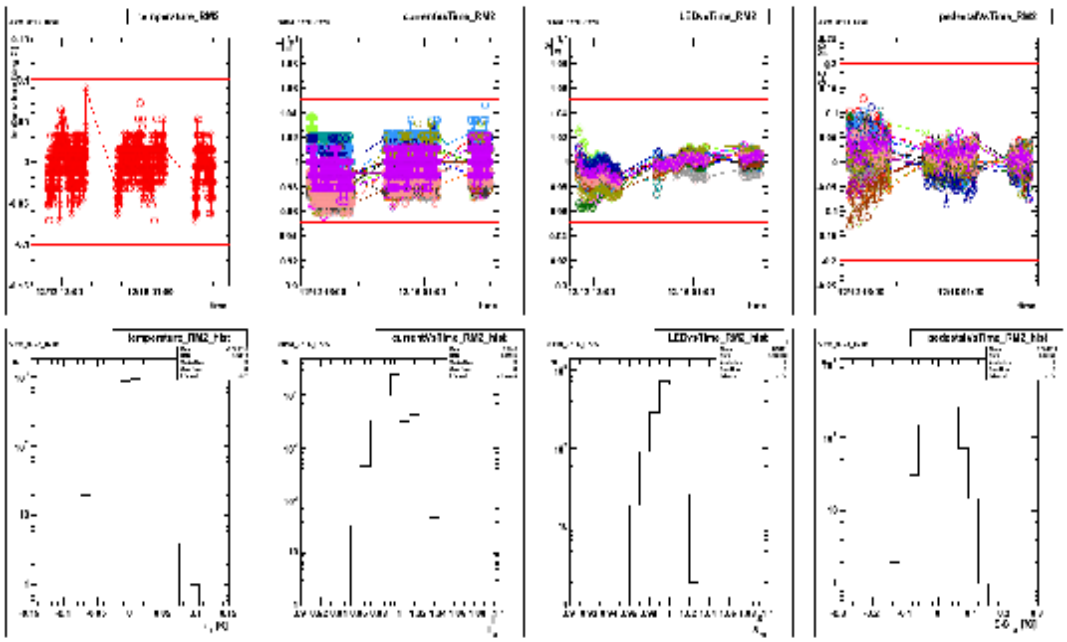
İlk olarak bir referans verisi belirlenmiştir. SiFÇ'lerin verimi sıcaklığa bağlı olduğu için referans verisinin belirlenmesinde sıcaklık temel alınmıştır. Aynı periyotta alınan uzun süreli veriler içinden sıcaklık değeri en kararlı olan (21 ±0.1 C°) veri referans olarak seçilmiştir. Seçilen referans 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 öngörülmüş değer üzerinden (±0.1 C°) ±% 1 olarak belirlenmiştir. Bu periyotta referans olarak 5759 verisi alınmıştır. Şekil 4.2, 11 Aralık 2012 HO1M02 periyodunun referans verisinin (5759) sıcaklık-zaman grafiğini göstermektedir.



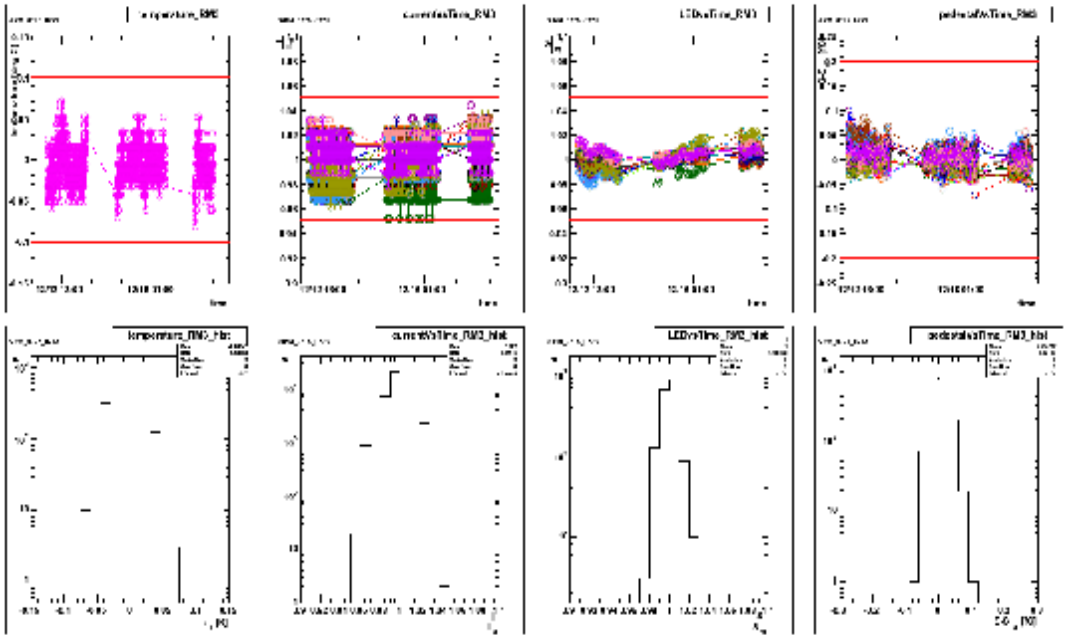
Şekil 4.2. 11 Aralık 2012 HO1M02 periyodunun referans verisinin (5759) sıcaklık-zaman grafiği.

Şekil 4.2'de, bu periyottaki RM2, RM3 ve RM4'ten gelen sıcaklık değerleri görülmektedir. Grafikte, her bir renk, her bir RM'den gelen sıcaklık değerini göstermektedir. Referans verisinin sıcaklık aralığı beklenildiği gibidir.

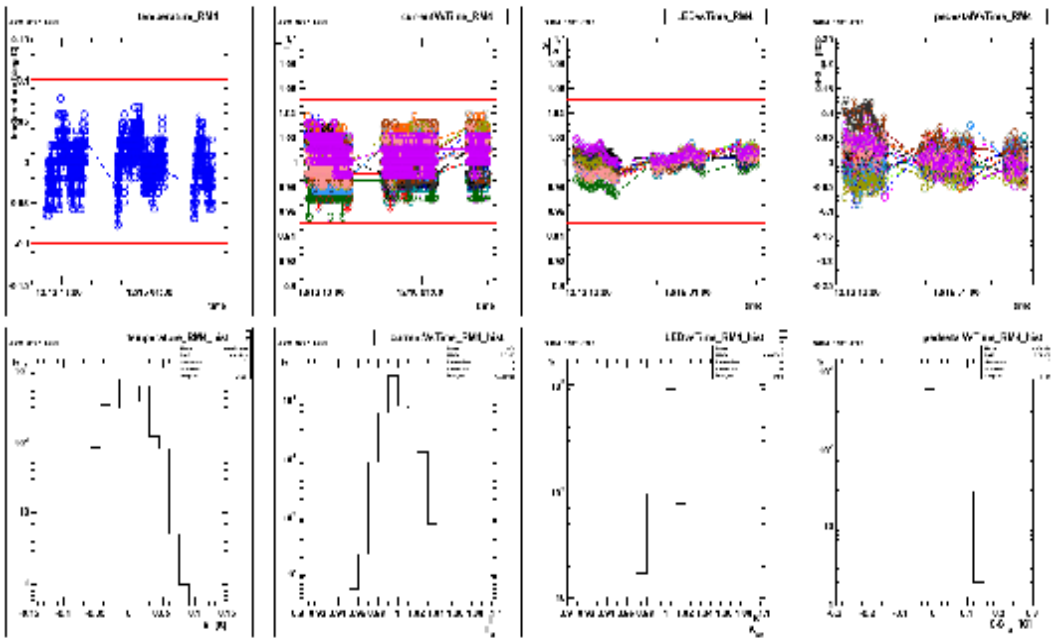
Şekil 4.3(a), 4.3(b) ve 4.3(c), sırasıyla 11 Aralık 2012 HO1M02 periyodundaki RM2, RM3 ve RM4 özet grafiklerini göstermektedir.



Şekil 4.3(a). 11 Aralık 2012 HO1M02 periyodundaki RM2 özet grafiği.



Şekil 4.3(b). 11 Aralık 2012 HO1M02 periyodundaki RM3 özet grafiği.



Şekil 4.3(c). 11 Aralık 2012 HO1M02 periyodundaki RM4 özet grafiği.

Şekil 4.3(a,b,c), sırasıyla RM2, RM3 ve RM4 için sıcaklık, akım, LED ve pedestal değerlerinin grafiklerini ve her bir grafiğin y-ekseninin x-eksenine göre izdüşümünü (histogramları) göstermektedir. RM2, RM3 ve RM4'ten gelen her bir sıcaklık değeri farklı renklerle temsil edilmiştir. Akım, LED ve pedestal grafiklerinde 18 farklı renk bulunmaktadır. Bu grafiklerde her bir renk, her RM'deki SiFÇ'lerin sahip olduğu 18 kanaldan birini temsil etmektedir.

Her bir değişken için öngörülen farklı birer referans aralığı vardır. Örneğin, sıcaklık için öngörülen referans aralığı ±0.1 (21 ±0.1 C°)'dir. Bu aralık için hata payı da, bu değer üzerinden ±%1'dir. Aynı periyottaki verilerin akım değerlerinin referans verisinin akım değerine bölünmesiyle elde edilen oranın (I / I_{ref}) 1'de lineer olması beklenir. Hata sınırı bu değer üzerinden ±%5'tir. Benzer şekilde aynı periyottaki LED verilerinin sinyal değerlerinin referans LED sinyal değerine bölünmesiyle elde edilen oranın (S / S_{ref}) da 1'de lineer olması beklenir ve sıcaklıkla ters orantılı olarak değişir. Hata sınırı bu değer üzerinden ±%5'tir. Pedestal değeri ise aynı periyottaki verilerin sinyal değerlerinden referans verisinin sinyal değeri çıkartılarak (S - S_{ref}) elde edilmiştir. Bu değerin 0'da lineer olması beklenir ve sıcaklıkla doğru orantılı olarak değişir. Hata sınırı ise bu değer üzerinden ±0.2'dir.

Tüm değişkenler için bu hata sınırlarından olan sapmaları görebilmek için her grafiğe birer alt ve üst sınır çizilmiş, bu sınırlar dışında kalan düşme ve yükselmelerin sebepleri araştırılmıştır.

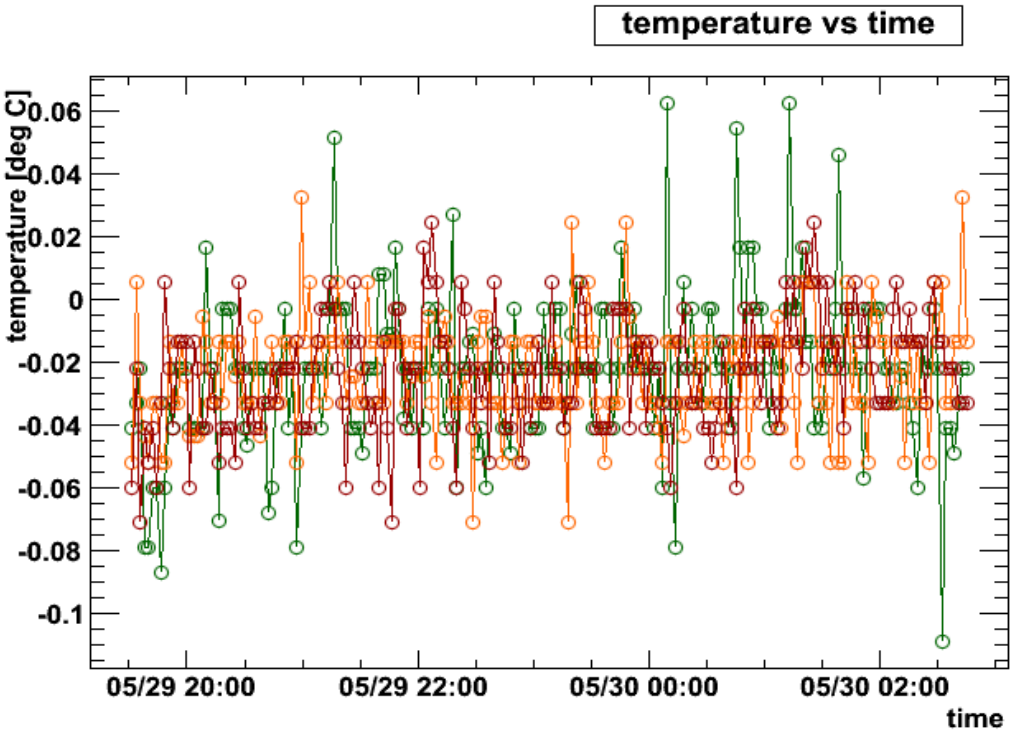
Şekil 4.3'te görüldüğü gibi bu periyotta pedestal değerinde hata sınırından sapmalar görülmemiştir ve dolayısıyla pedestal değeri kararlıdır.

29 Mayıs 2012 tarihinde yapılan RM değişiminde HO1M04 kutusundaki RM6, RM7 ve RM8 değiştirilmiş ve bu periyot süresince alınan verilerin kararlılık analizi yapılmıştır. Çizelge 4.2, 29 Mayıs 2012 HO1M04 periyodunda alınan verileri göstermektedir.

Çizelge 4.2. 29 Mayıs 2012 HO1M04 periyodunda alınan veriler.

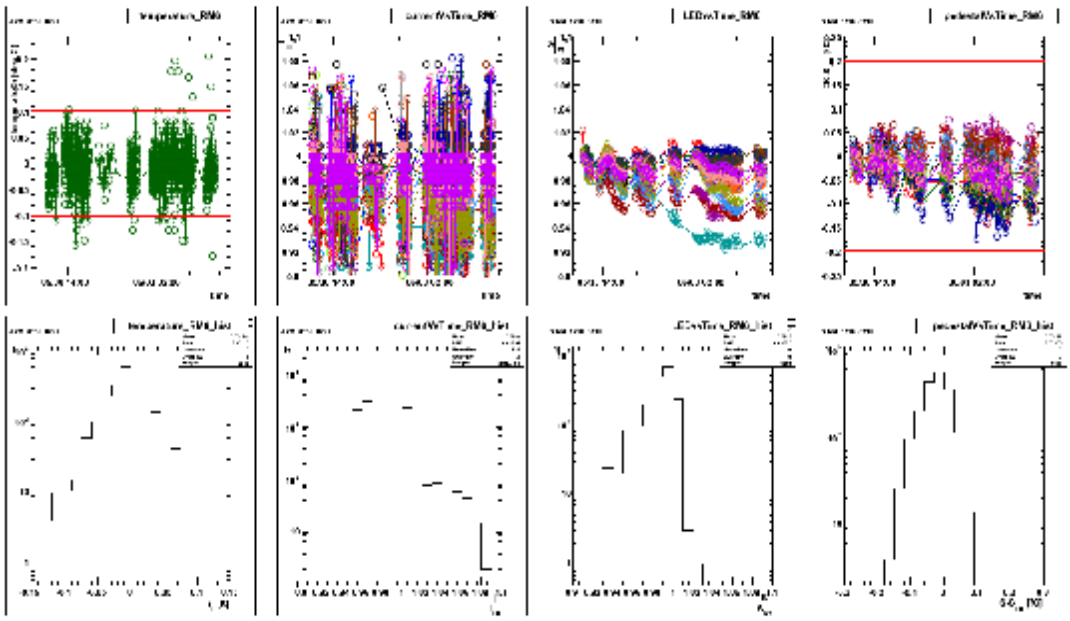
Alınan Verilen Numarası	Alınan Verilerin Cinsi	Alınan Verilerin Olay Sayısı
3315	HO_PeltierScan_LED_PED_longPulsed	510000 (510k)
3318	HO_LED_PED_long	475000 (475k)
3319	HO_LED_PED_longPulsed	450000 (450k)
3324	HO_PeltierScan_LED_PED_longPulsed	510000 (510k)
3325	HO_LED_PED_long	800000 (800k)
3328	HO_PeltierScan_LED_PED_longPulsed	510000 (510k)

Bu periyottaki referans verisi 3315 verisidir. Şekil 4.4, 29 Mayıs 2012 HO1M04 periyodunun referans verisinin (3315) (RM6, RM7 ve RM8'den gelen) sıcaklık-zaman grafiğini göstermektedir. Referans verisinin sıcaklık aralığı beklenildiği gibidir.

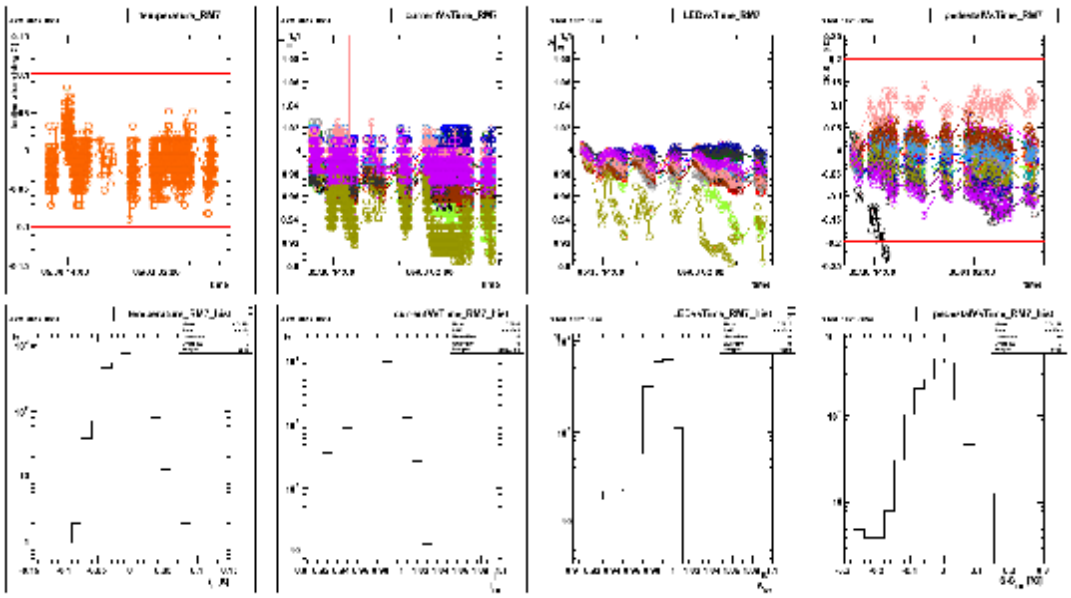


Şekil 4.4. 29 Mayıs 2012 HO1M04 periyodunun referans verisinin (3315) sıcaklık-zaman grafiği.

Şekil 4.5(a), 4.5(b) ve 4.5(c), sırasıyla 29 Mayıs 2012 HO1M04 periyodundaki RM6, RM7 ve RM8 özet grafiklerini göstermektedir.

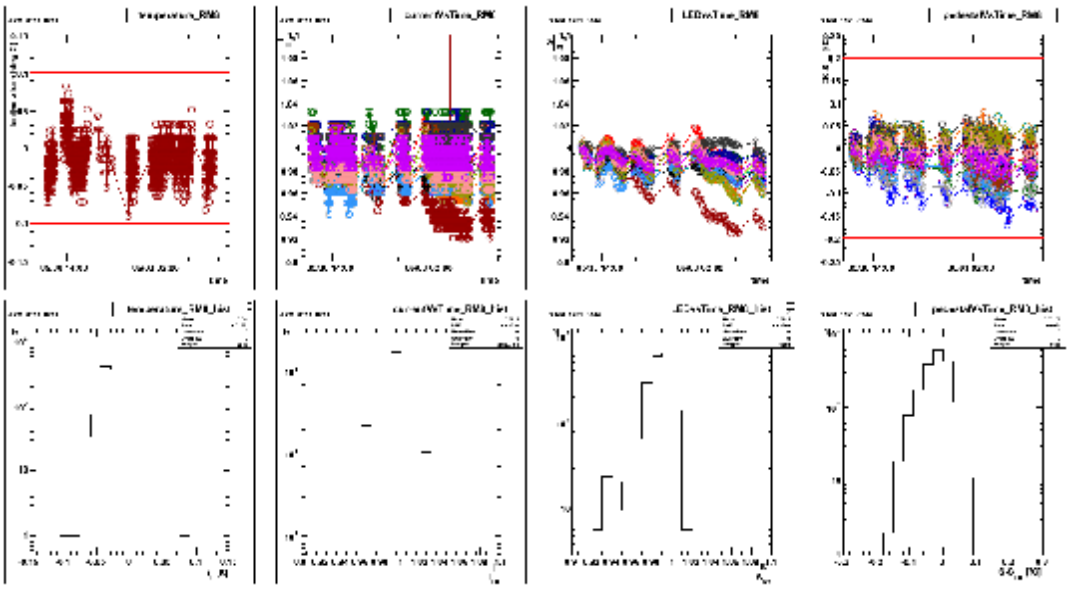


Şekil 4.5(a). 29 Mayıs 2012 HO1M04 periyodundaki RM6 özet grafiği.



Şekil 4.5(b). 29 Mayıs 2012 HO1M04 periyodundaki RM7 özet grafiği.

Şekil 4.5(a)'da sıcaklık, akım ve LED değerlerinde ve şekil 4.5(b)'de ise akım, LED ve pedestal değerlerinde sınır değerlerinden sapmalar görülmektedir. Şekil 4.5(a)'da LED değerinde tek bir kanaldan kaynaklı ve "tekil kanal problemi" olarak adlandırdığımız bir sorun görülmektedir. Şekil 4.5(b)'de ise LED ve pedestal değerlerinde ikişer farklı kanalda sapmalar görülmektedir.



Şekil 4.5(c). 29 Mayıs 2012 HO1M04 periyodundaki RM8 özet grafiği.

Şekil 4.5(c)'de, yine LED değerinde tekil kanal problemi görülmektedir. Bu analizin ikinci kısmında tekil kanal problemleri incelenmiştir.

4.1.2.2. Kararlılık Analizindeki Tekil Kanal Problemleri

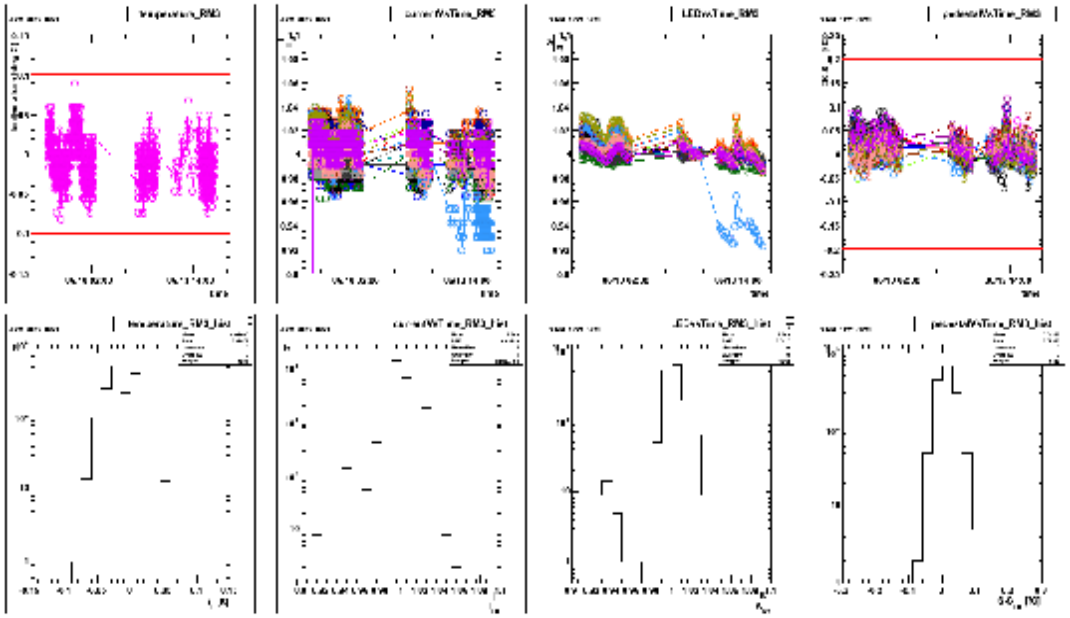
Önceki kısımda da bahsedildiği gibi kararlılık analizinde yapılan çalışmalarda RM'ler test edilmiş ve LED sinyali ve pedestalde tek bir kanaldan kaynaklanan ani düşme ya da yükselmeler görülmüştür. Bunun yanı sıra bazı periyotlarda da iki kanalda birden ani düşmeler tespit edilmiştir. Bu sorunların görüldüğü periyotlarda, sorunlu RM ve sorunun kaynaklandığı kanal belirlenmiştir.

7 Haziran 2012 tarihinde yapılan RM değişiminde HO1M02 kutusundaki RM2, RM3 ve RM4 değiştirilmiş ve bu periyot süresince alınan verilerin kararlılık analizi yapılmıştır. Çizelge 4.3, 7 Haziran 2012 HO1M02 periyodunda alınan verileri göstermektedir.

Çizelge 4.3. 7 Haziran 2012 HO1M02 periyodunda alınan veriler.

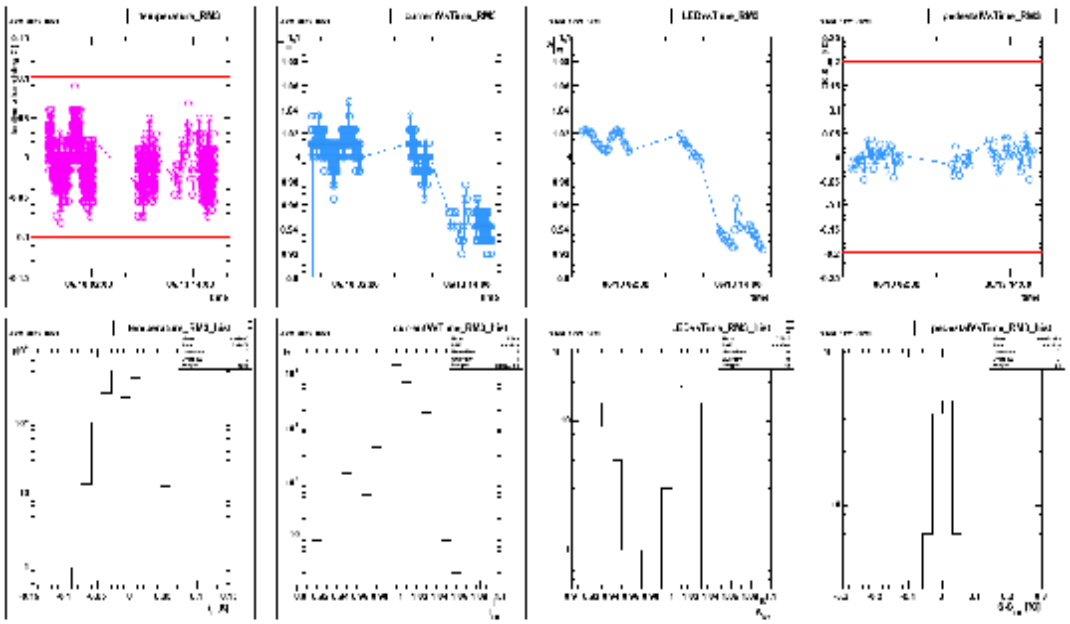
Alınan Verilen Numarası	Alınan Verilerin Cinsi	Alınan Verilerin Olay Sayısı
3342	HO_LED_PED_long	800000 (800k)
3345	HO_PeltierScan_LED_PED_longPulsed	510000 (510k)
3347	HO_LED_PED_long	130000 (130k)
3354	HO_LED_PED_longPulsed	510000 (510k)
3355	HO_LED_PED_long	260000 (260k)

Bu periyodun analizi yapıldığında RM3'te LED değerinde, tek bir kanalda ani bir düşme görülmüştür. Şekil 4.6(a), 7 Haziran 2012 HO1M02 periyodundaki RM3 özet grafiğini göstermektedir.



Şekil 4.6(a). 7 Haziran 2012 HO1M02 periyodundaki RM3 özet grafiği.

Bu RM'in analizi yapıldığında, sorunun 13. kanaldan kaynaklandığı tespit edilmiştir. Şekil 4.6(b), 7 Haziran 2012 HO1M02 periyodundaki RM3 kanal 13 özet grafiğini göstermektedir.



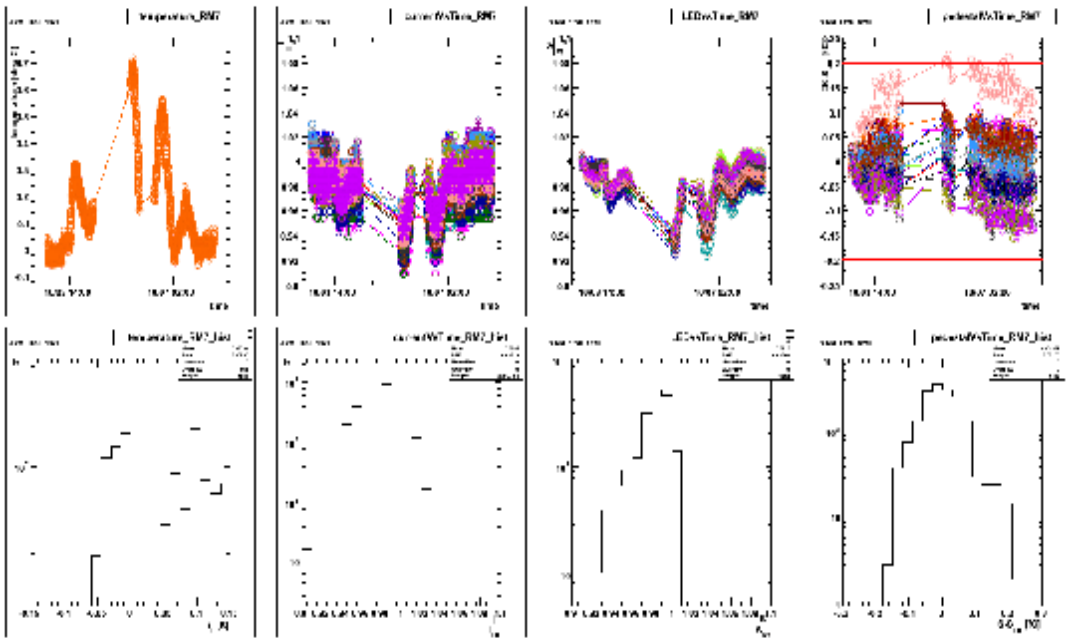
Şekil 4.6(b). 7 Haziran 2012 HO1M02 periyodundaki RM3 kanal 13 özet grafiği.

2 Ekim 2012 tarihinde yapılan RM değişiminde HO1M02 kutusundaki RM2, RM3 ve RM4 değiştirilmiş ve bu periyot süresince alınan verilerin kararlılık analizi yapılmıştır. Çizelge 4.4, 2 Ekim 2012 HO1M02 periyodunda alınan verileri göstermektedir.

Çizelge 4.4. 2 Ekim 2012 HO1M02 periyodunda alınan veriler.

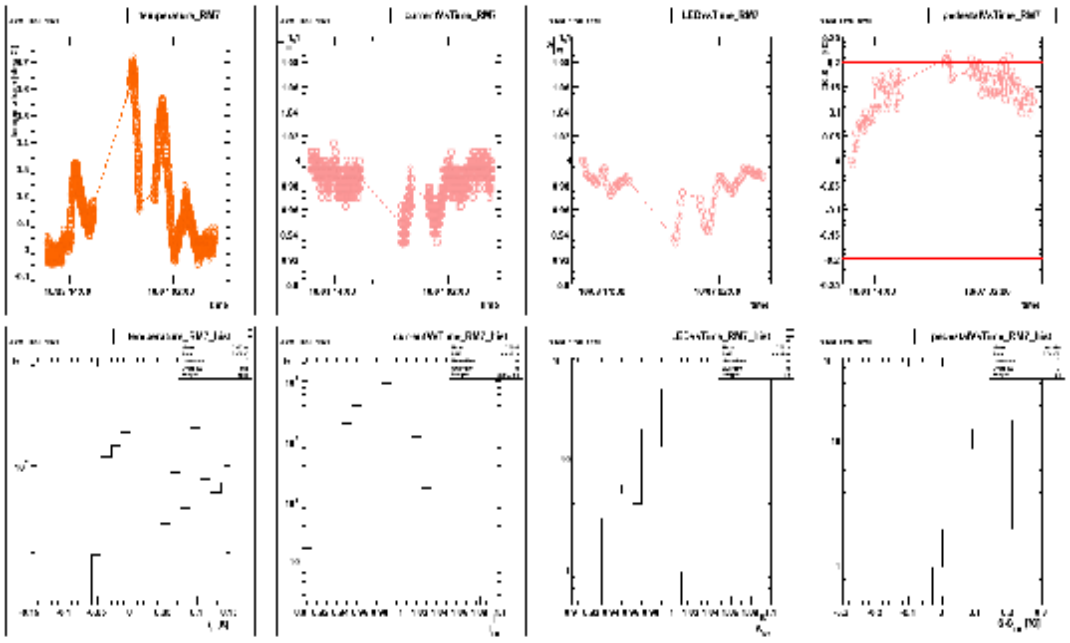
Alınan Verilerin Numarası	Alınan Verilerin Cinsi	Alınan Verileri Olay sayısı
3870	HO_PeltierScan_LED_PED_longPulsed	700000 (700k)
3871	HO_ LED_PED_long	450000 (450k)
3881	HO_PeltierScan_LED_PED_longPulsed	510000 (510k)
3882	HO_ LED_PED_long	1000000 (1M)

Bu periyodun analizi yapıldığında RM7'de pedestal değerinde tek bir kanalda yükselme görülmüştür. Şekil 4.7(a), 2 Ekim 2012 HO1M04 periyodundaki RM7 özet grafiğini göstermektedir.



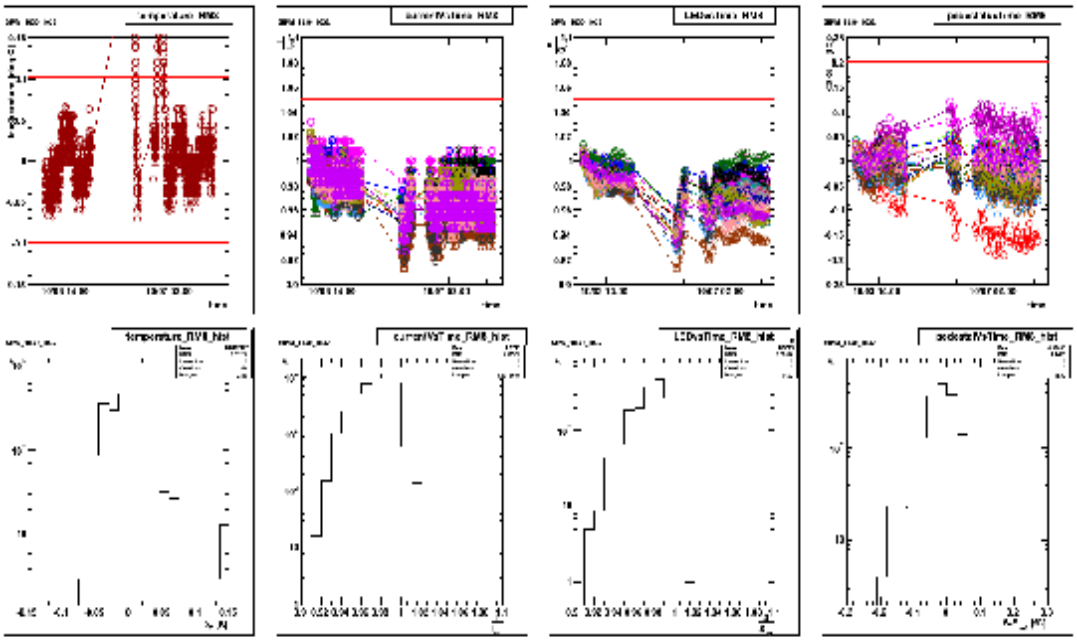
Şekil 4.7(a). 2 Ekim 2012 HO1M04 periyodundaki RM7 özet grafiği.

Bu RM'in analizi yapıldığında, sorunun 17. kanaldan kaynaklandığı tespit edilmiştir. Şekil 4.7(b), 2 Ekim 2012 HO1M04 periyodundaki RM7 kanal 17 özet grafiğini göstermektedir.



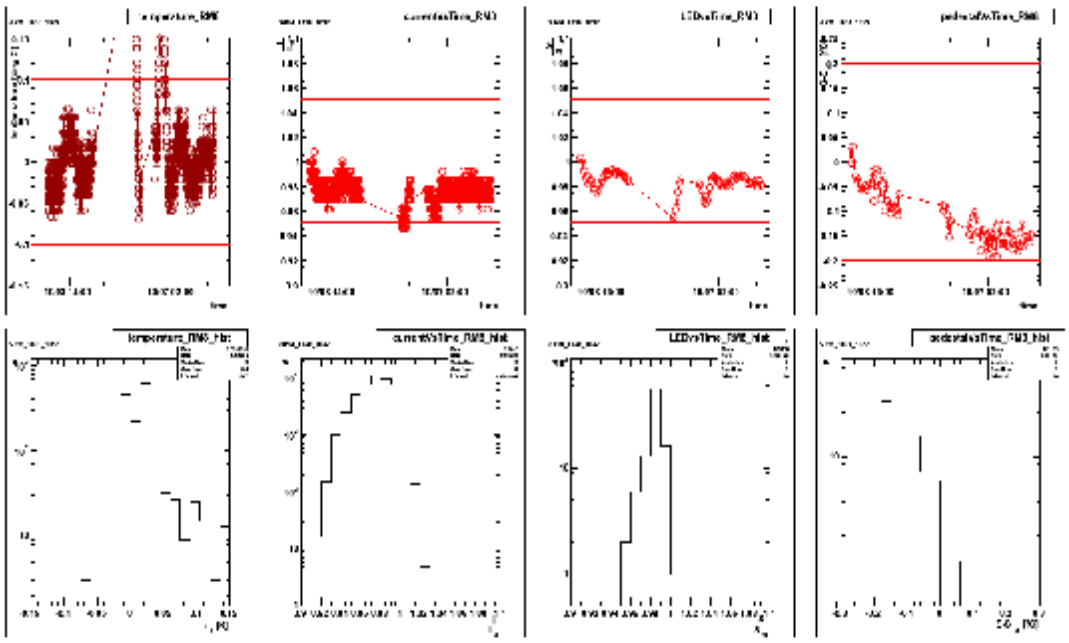
Şekil 4.7(b). 2 Ekim 2012 HO1M04 periyodundaki RM7 kanal 17 özet grafiği.

Bu periyottaki gözlenen diğer bir problem ise, RM8'in pedestal değerinde tek bir kanaldaki düşüştür. Fakat bu düşme tam sınırda kaldığı için sorun teşkil etmemektedir. Şekil 4.8(a), 2 Ekim 2012 HO1M04 periyodundaki RM8 özet grafiğini göstermektedir.



Şekil 4.8(a). 2 Ekim 2012 HO1M04 periyodundaki RM8 özet grafiği.

Yine de bu düşmenin hangi kanaldan kaynaklandığı tespit edilmiş ve 2. kanalda olduğu görülmüştür. Şekil 4.8(b), 2 Ekim 2012 HO1M04 periyodundaki kanal 2 özet grafiğini göstermektedir.



Şekil 4.8(b). 2 Ekim 2012 HO1M04 periyodundaki RM8 kanal 2 özet grafiği.

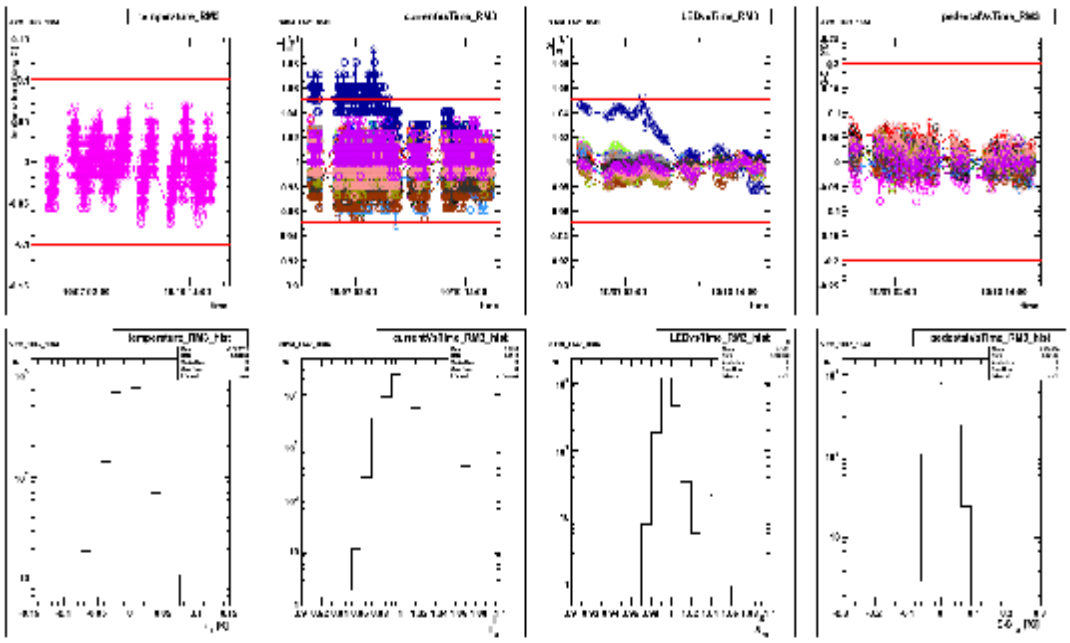
Karşılaşılan diğer bir problem ise LED değerindeki tek bir kanalda görülen yükselme problemidir.

4 Ekim 2012 tarihinde yapılan RM değişiminde HO1M02 kutusundaki RM2, RM3 ve RM4 değiştirilmiş ve bu periyot süresince alınan verilerin kararlılık analizi yapılmıştır. Çizelge 4.5, 4 Ekim 2012 HO1M02 periyodunda alınan verileri göstermektedir.

Çizelge 4.5. 4 Ekim 2012 HO1M02 periyodunda alınan veriler.

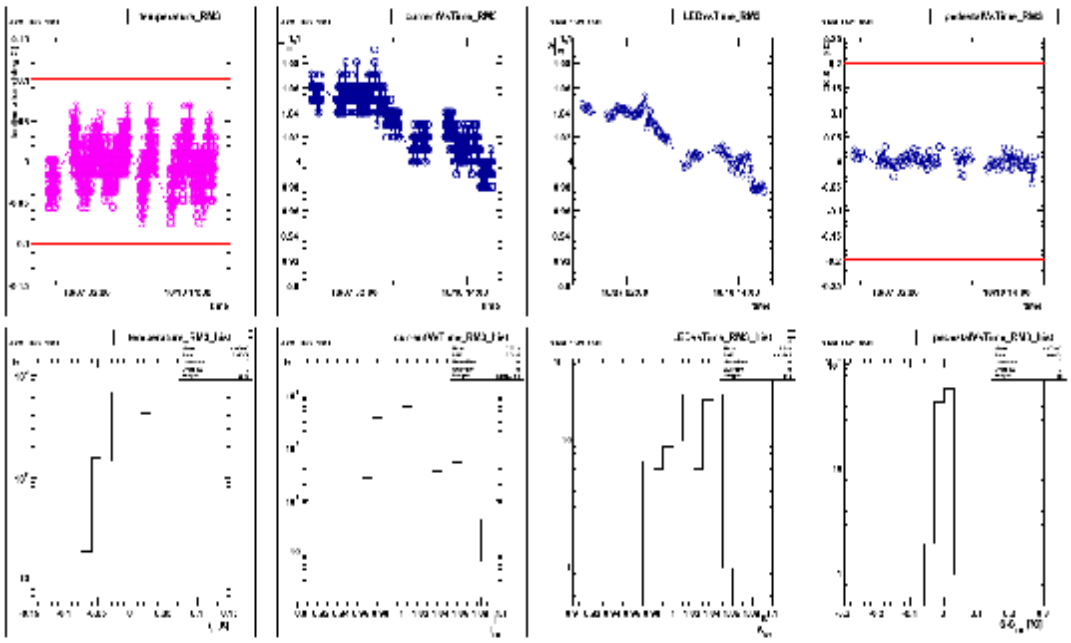
Alınan Verilerin Numarası	Alınan Verilerin Cinsi	Alınan Verilerin Olay Sayısı
3881	HO_PeltierScan_LED_PED_longPulsed	510000 (510k)
3882	HO_ LED_PED_long	1000000 (1M)
3888	HO_PeltierScan_LED_PED_longPulsed	660000 (660k)
3896	HO_PeltierScan_LED_PED_longPulsed	460000 (460k)
3897	HO_ LED_PED_long	475000 (475k)

Bu periyodun analizi yapıldığında RM3'te LED değerinde, tek bir kanalda yükselme görülmüştür. Şekil 4.9 (a), 4 Ekim 2012 HO1M02 periyodundaki RM3 özet grafiğini göstermektedir.



Şekil 4.9(a). 4 Ekim 2012 HO1M02 periyodundaki RM3 özet grafiği.

Bu RM'deki yükselme sınırın dışına çok çıkmamakla birlikte, yapılan çalışmalar sonucunda kanal 12'de olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.9(b), 4 Ekim 2012 HO1M02 periyodundaki RM3 kanal 12 özet grafiğini göstermektedir.



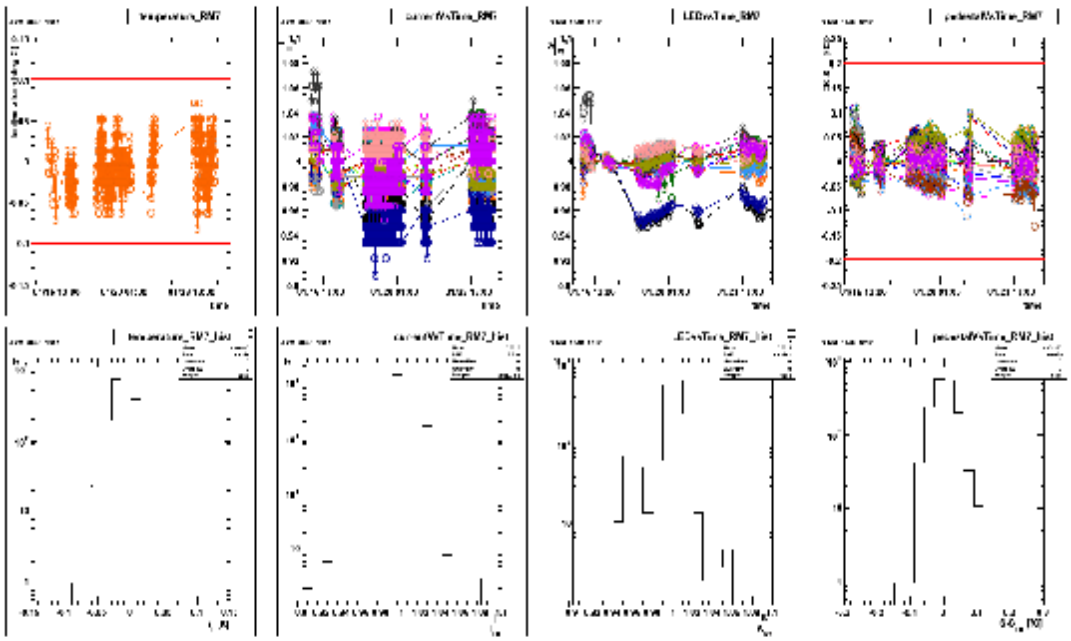
Şekil 4.9(b). 4 Ekim 2012 HO1M02 periyodundaki RM3 kanal 12 özet grafiği.

15 Ocak 2013 tarihinde yapılan RM değişiminde HO1M04 kutusundaki RM6, RM7 ve RM8 değiştirilmiş ve bu periyot süresince alınan verilerin kararlılık analizi yapılmıştır. Çizelge 4.6, 15 Ocak 2013 HO1M04 periyodunda alınan verileri göstermektedir.

Çizelge 4.6. 15 Ocak 2013 HO1M04 periyodunda alınan veriler.

Alınan Verilerin Numarası	Alınan Verilerin Cinsi	Alınan Verilerin Olay Sayısı
5798	HO_LED_PED_longPulsed	330000 (330k)
5811	HO_LED_PED_long	175000 (175k)
5820	HO_PeltierScan_LED_PED_longPulsed	1500000 (1.5M)
5821	HO_LED_PED_long	2500000 (2.5M)
5825	HO_LED_PED_long	750000 (750k)

LED sinyalindeki bu problem RM7'de görülmektedir. Bu periyotta da LED değerinde iki kanalda birden düşme görülmüştür. Şekil 4.10, 15 Ocak 2013 HO1M04 periyodundaki RM7 özet grafiğini göstermektedir.



Şekil 4.10. 15 Ocak 2013 HO1M04 periyodundaki RM7 özet grafiği.

4.2. HF FÇT Analizi

BHÇ'de 2015 yılına kadar sürmesi planlanan teknik mola süresince, CMS'in alt detektörlerinde iyileştirme ve geliştirilme çalışmaları yapılmaktadır. Yenileme çalışmalarının yapılacağı alt detektörlerinden biri de HF kalorimetresidir. Tezin bu kısmında da HF kalorimetresinde yenilenecek olan FÇT'lerin pedestal RMS (gürültü karekök ortalama) değerlerine bakılmıştır. HF'te toplam 1728 adet FÇT bulunmaktadır ve bu analizde bu FÇT'lerin 201 tanesi test edilmiştir.

4.2.1. B904 Test Düzeneği ve Veri Alımı

HF kalorimetresi, foto detektör olarak FÇT'leri kullanmaktadır. Mevcut FÇT'ler tek anotludur ve bu FÇT'ler yeteri kadar verimli olmadığından yenilenmesine karar verilmiştir. İlk değişiklik daha önce kullanılan Hamamatsu R7525 FÇT'lerin sökülüp yerlerine Hamamatsu R7600U-200-M4 dört anotlu foto çoğaltıcı tüplerin takılması olmuştur. Yeni tüpler daha ince optik pencerelere ve metal zarflara sahiptir. Bu FÇT'ler anormal sinyal oranını önemli ölçüde azaltmıştır, fakat hepsini tamamen yok edememiştir.

Bu yeni dört anotlu FÇT'ler CERN’in Prevessin yerleşkesindeki 904 nolu binada kurulan test düzeneğinden alınan üç farklı lokal veri (Pedestal, LED, SPE) kullanılarak test edilmiştir. FÇT'lerin test edildiği düzenekte iki adet spigot ve iki adet karanlık kutu bulunmaktadır. Karanlık kutu 0, sekiz adet QIE kablosu ile spigot 0'a bağlanırken; karanlık kutu 1 de sekiz adet QIE kablosu ile spigot 1'e bağlanmaktadır. Şekil 4.11, spigot 0, spigot 1 ve QIE kablolarını göstermektedir.



Şekil 4.11. Spigot 0, spigot 1 ve QIE kabloları.

Bir QIE kablosu analog sinyali dijital sinyale dönüştürür ve üç FÇT sinyali okur. Her bir QIE kablosu, üç adet referans kablo girişi ve üç adet sinyal kablo girişi olmak üzere, altı adet girişe sahiptir. Şekil 4.12, bir QIE kablosunu göstermektedir.



Şekil 4.12. Bir QIE kablosu.

Her bir karanlık kutu içinde FÇT'lerin bulunduğu üç adet taban tablası ve her bir taban tablasının birleştirildiği üç adaptör kartı, sekiz FÇT, üç adet topraklama kablosu bulunmaktadır. İki karanlık kutu içinde toplam 48 adet FÇT, altı taban tablası, altı adaptör kartı, altı topraklama kablosu ve altı HV kablosu vardır. Şekil 4.13, karanlık kutu 0 ve karanlık kutu 1'i göstermektedir.



Şekil 4.13. Karanlık kutu 0 ve karanlık kutu 1.

Testler sırasında, bir çok değişik konfigürasyonda veri alınarak her bir konfigürasyonda 48 FÇT aynı anda test edilmiştir ve her bir konfigürasyona ait FÇT bilgisi haritalanmıştır. Testi tamamlanan yeni FÇT'ler Şekil 4.14'te gösterilen Robox'lara yerleştirilerek tüm kablolama işlemleri yapılmış ve detektörde kullanıma hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.14. Robox kurulumu.

4.2.2. HF'te Yenilenecek FÇT'lerin Pedestal RMS Analizi

Bu analizde, test düzeneğine monte edilen FÇT'lerin her bir kanalı için pedestal RMS değerlerine bakılmıştır. Her bir karanlık kutuya hangi FÇT'lerin yerleştirildiğini anlayabilmek için FÇT'lerin bağlı olduğu taban tablaları numaralandırılarak bir haritalama sistemi oluşturulmuştur. Bu analizde, yoğunluğu 150 olan ve farklı yüksek voltaj değerlerinde alınan çeşitli LED verileri kullanılmıştır.

İlk aşamada, FÇT'ler kazanç farkı gözetmeksizin karışık olarak taban tablalarına yerleştirilerek farklı voltaj değerinde veriler alınmış ve test edilmiştir. Daha sonra ise anormal sinyalleri ortadan kaldırmak için FÇT'ler kazançlarına göre sıralanarak taban tablalarına yerleştirilmiş ve yeniden veriler

alınarak test edilmiştir. Kazançlarına göre sıralanan FÇT'lerde şu yol izlenmiştir. İlk taban tablasına yüksek kazançlı FÇT'ler yerleştirilmiş ve düşük seviyede voltaj uygulanmıştır, ikinci taban tablasına orta kazançlı FÇT'ler yerleştirilerek orta seviyede voltaj uygulanmıştır, son taban tablasına ise düşük kazançlı FÇT'lere yüksek seviyede voltaj uygulanmıştır. Böylece, tüm FÇT'lerin sinyalleri eşitlenerek daha iyi bir sonuç elde edilmesi hedeflenmiştir. Analizde kazanca göre sıralanmadan önce ve sonra alınan veriler karşılaştırılmıştır.

FÇT'lerin kazancı anot akımının (I_a) katot akımına (I_k) oranı olarak hesaplanmaktadır.

$$G = \frac{I_a}{I_k} \tag{4.1}$$

Kazanç analizlerinde her bir kanalın gerçek ortalama (GerçekOrt.) değeri, ortalama LED (LEDOrt.) ve pedestal (PedOrt.) değeri arasındaki farktan belirlenmiştir.

$$\text{GerçekOrt.} = \text{LEDOrt.} - \text{PedOrt.} \tag{4.2}$$

RMS değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{GerçekRMS} = (\text{RMS}_{LED}^2 - \text{RMS}_{PED}^2)^{1/2} \tag{4.3}$$

Foto elektron sayısı N_{pe} , denklem 4.2 ve denklem 4.3 kullanılarak,

$$N_{pe} = 1.15\times[(\text{Gerçek Ort.})^2 / (\text{Gerçek RMS})^2] \tag{4.4}$$

denklemi ile verilmektedir. Yük miktarı ise

$$\text{Yük Miktarı} = N_{pe}\times 1.6\times 10^{-19} \tag{4.5}$$

denklemi ile tanımlanmaktadır. Bu hesaplamalardan elde edilen kazanç,

$$\text{Kazanç} = (\text{Gerçek Ort.} \times 2.6) \times 10^{-15} / \text{Yük Miktarı} \quad (4.6)$$

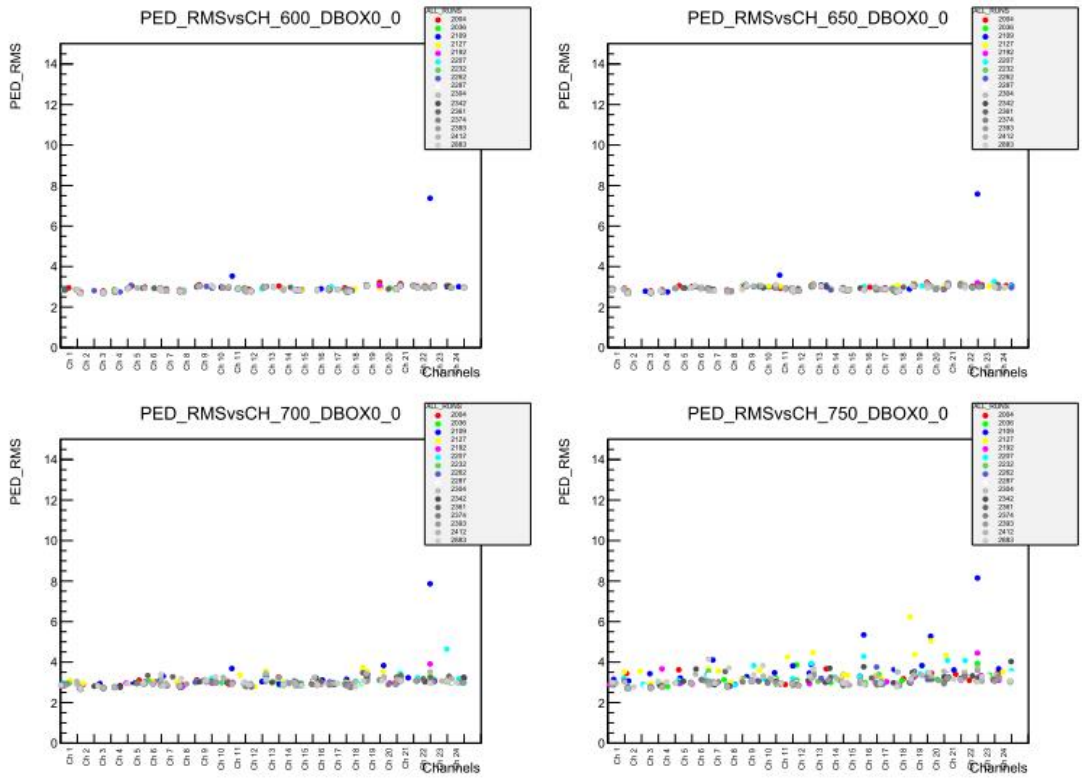
ile verilmektedir. Kullanılan bu formüllerdeki sabitler Hamamatsu firması tarafından belirlenmiştir.

Kazanca göre sıralanmadan önce alınan LED verileri ve özellikleri çizelge 4.7'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.7. Kazanca göre sıralanmadan önce alınan LED verileri ve özellikleri.

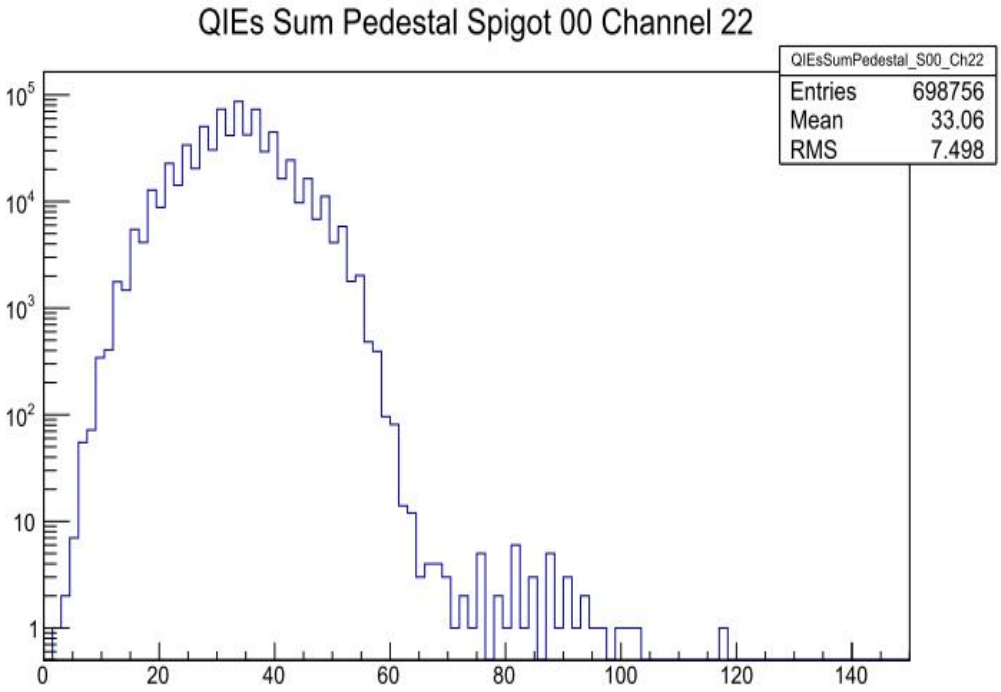
LED veri numarası	HV (volt)	Yoğunluk	Taban tablası no
2004	600,650,700,750	150	25 27 28 29 32 30
2036	600,650,700,750	150	35 37 36 38 40 42
2109	600,650,700,750	150	23 54 50 57 53 51
2127	600,650,700,750	150	55 56 58 59
2192	600,650,700,750	150	44 45 52 70 46 71
2207	600,650,700,750	150	69 49 48 47
2232	600,650,700,750	150	85 75 73 88 86 77
2262	600,650,700,750	150	120 115 122 65 113 112
2287	600,650,700,750	150	105 119 126 116 101 107
2304	600,650,700,750	150	97 66 104 103 128 127
2342	600,650,700,750	150	121 125 114 124 111 100
2361	600,650,700,750	150	80 93 74 26 67 61
2374	600,650,700,750	150	87 139 96 92 94 140
2393	600,650,700,750	150	64 133 66 98 135 82
2412	600,650,700,750	150	90 83 76 138 95 79
2883	600,650,700,750	150	234 207 249 212 256 252

Çizelge 4.7'de verilen ve dört farklı HV'da (600, 650, 700 ve 750 Volt) alınan, tüm verilerin tamamının Pedestal RMS değerlerine kanal kanal bakılmıştır. Bu veri grubunda toplam 92 FÇT test edilmiş ve bazı verilerin bazı kanallarında Pedestal RMS değeri yüksek çıkmıştır. Şekil 4.15, Karanlık kutu 0 için her bir kanalın Pedestal RMS değerlerini göstermektedir.



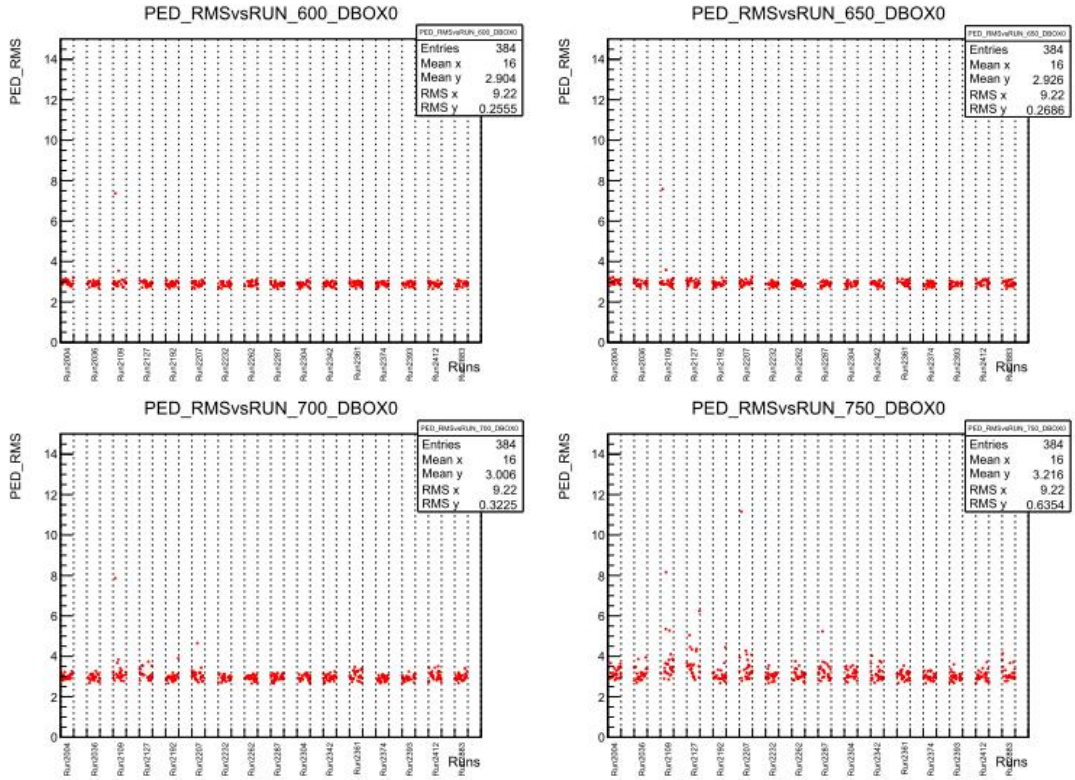
Şekil 4.15. Karanlık kutu 0 için her bir kanalın pedestal RMS değerleri.

Şekilden görüldüğü gibi her renk farklı bir veriyi temsil etmektedir. Pedestal RMS değeri 5'in üzerine çıktığı zaman sorun teşkil etmektedir. 600, 650, 700 ve 750 Volt'ta 2109 verisinin 22. kanalında pedestal RMS değerinde yükselme görülmüştür. Pedestal RMS değerini bir kez daha kontrol etmek amacıyla bu verinin 22. kanalının yanıt grafiği de incelenmiştir (Şekil 4.16). Yanıt grafiğinde de RMS değeri yüksek çıkmıştır (7.498). Ayrıca 700 ve 750 Volt'ta başka verilerin pedestal RMS değerinde de yükselmeler görülmüştür.



Şekil 4.16. 2109 verisinin 22. kanal yanıt grafiği.

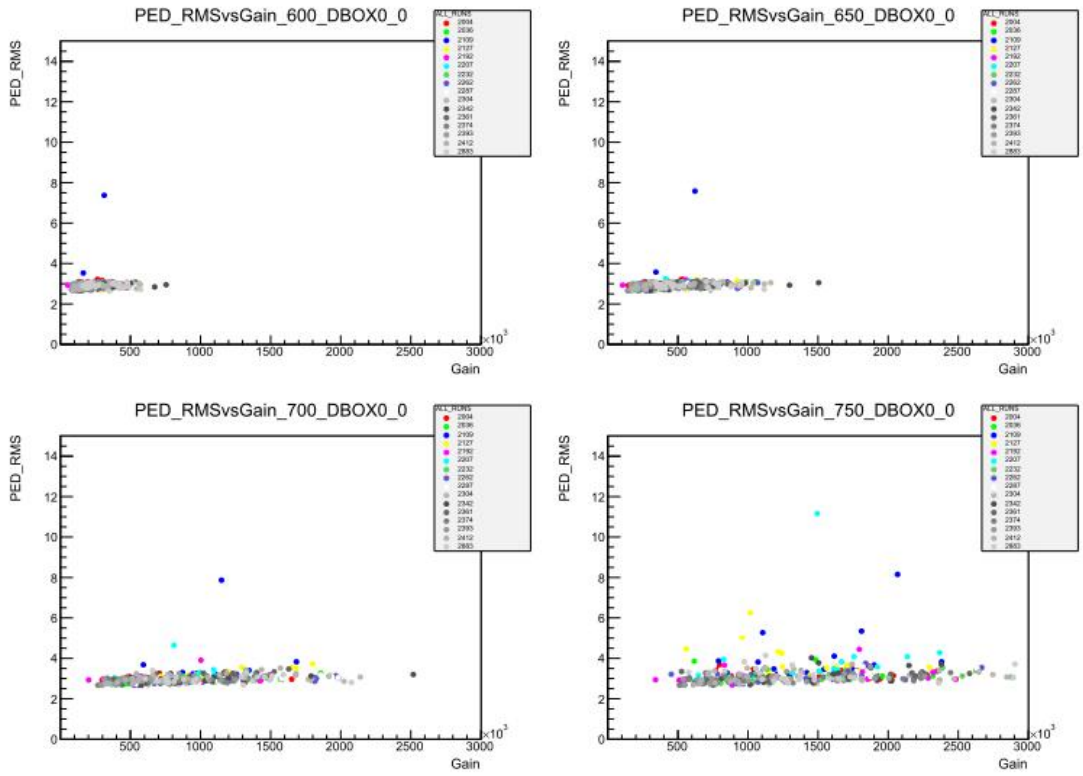
Sorunun hangi veriden kaynaklandığını anlayabilmek için her veri için pedestal RMS değerine bakılmıştır. Şekil 4.17, Karanlık kutu 0 için verilerin pedestal RMS değerlerini göstermektedir.



Şekil 4.17. Karanlık kutu 0 için verilerin pedestal RMS değerleri.

Şekil 4.17'de x ekseni her bir verinin 24 kanalının dağılımını ve y ekseni ise pedestal RMS değerini göstermektedir. Bu şekilden hangi verinin pedestal RMS değerinde yükselme olduğu daha iyi görülebilir. Dört voltaj değerinde de veri 2109 için pedastal RMS değerinin yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca 700 ve 750 Volt'ta başka verilerin pedestal RMS değerlerinde yükselmeler olduğu da görülmüştür.

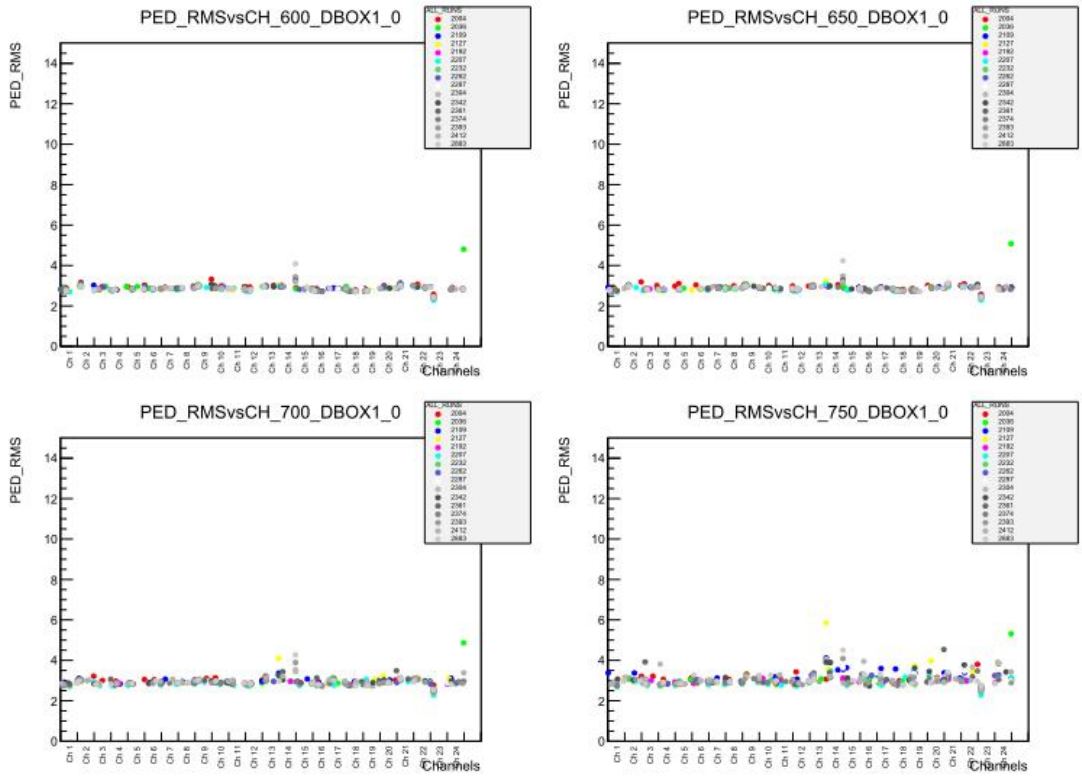
Kazanç hesabı yapılırken pedestal RMS değeri de hesaba katıldığı için pedestal RMS değeri kazançla karşılaştırılmıştır. Şekil 4.18, Karanlık kutu 0 için pedestal RMS - kazanç grafiklerini göstermektedir.



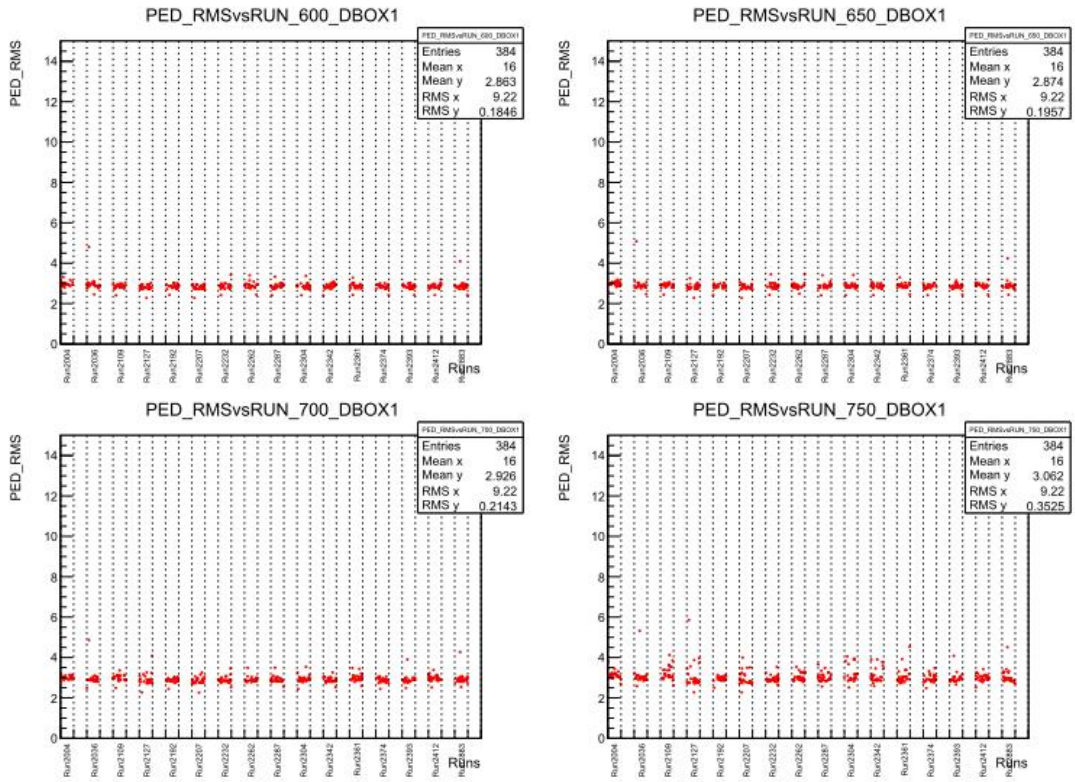
Şekil 418. Karanlık kutu 0 için pedestal RMS - kazanç grafikleri.

Tüm veriler için yoğunluk ve HV değerleri aynı iken, dört voltaj değerinde de 2109 verisinin kazancı diğer verilerin kazancından farklı çıkmıştır.

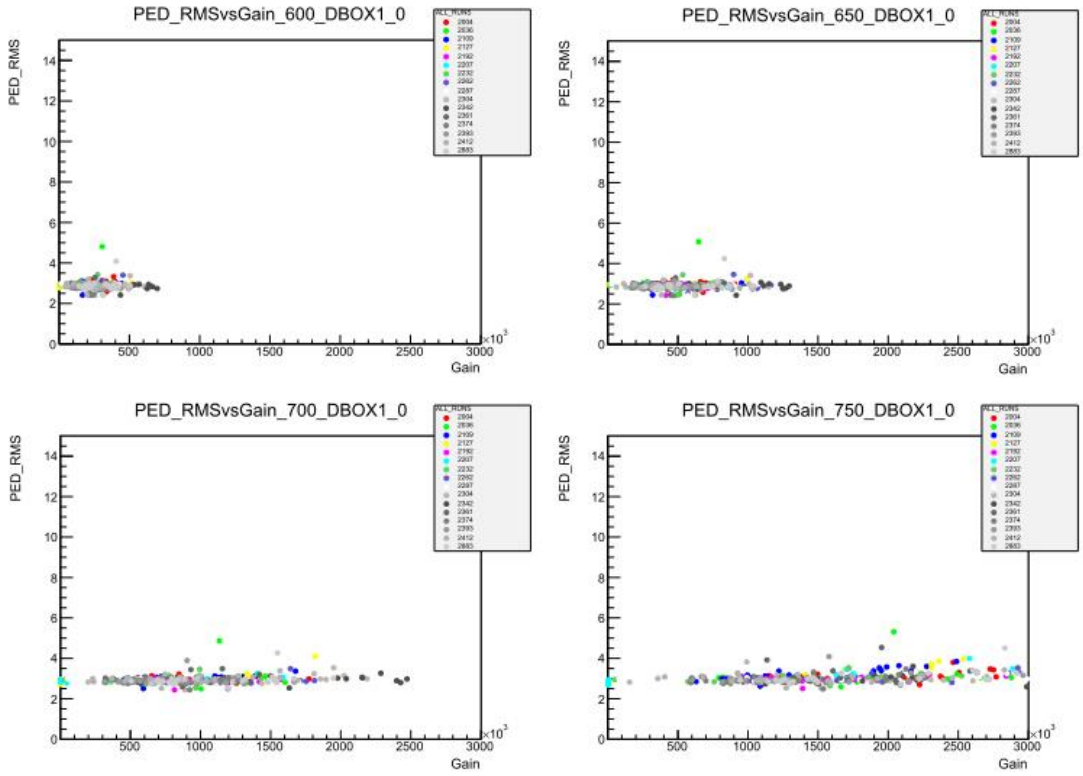
Aynı grafiklere bir de karanlık kutu 1 için bakılmıştır. Aşağıda sırasıyla Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21; karanlık kutu 1 için her bir kanalın pedestal RMS değerleri, verilerin pedestal RMS değerleri ve pedestal RMS - kazanç grafiklerini göstermektedir. Karanlık kutu 1 için sorunlu veri görülmemiştir. Sadece bir verinin pedestal RMS değeri 5'te çıkmıştır. Bu da sorun teşkil etmemektedir.



Şekil 4.19. Karanlık kutu 1 için her bir kanalın pedestal RMS değerleri.



Şekil 4.20. Karanlık kutu 1 için verilerin pedestal RMS değerleri.



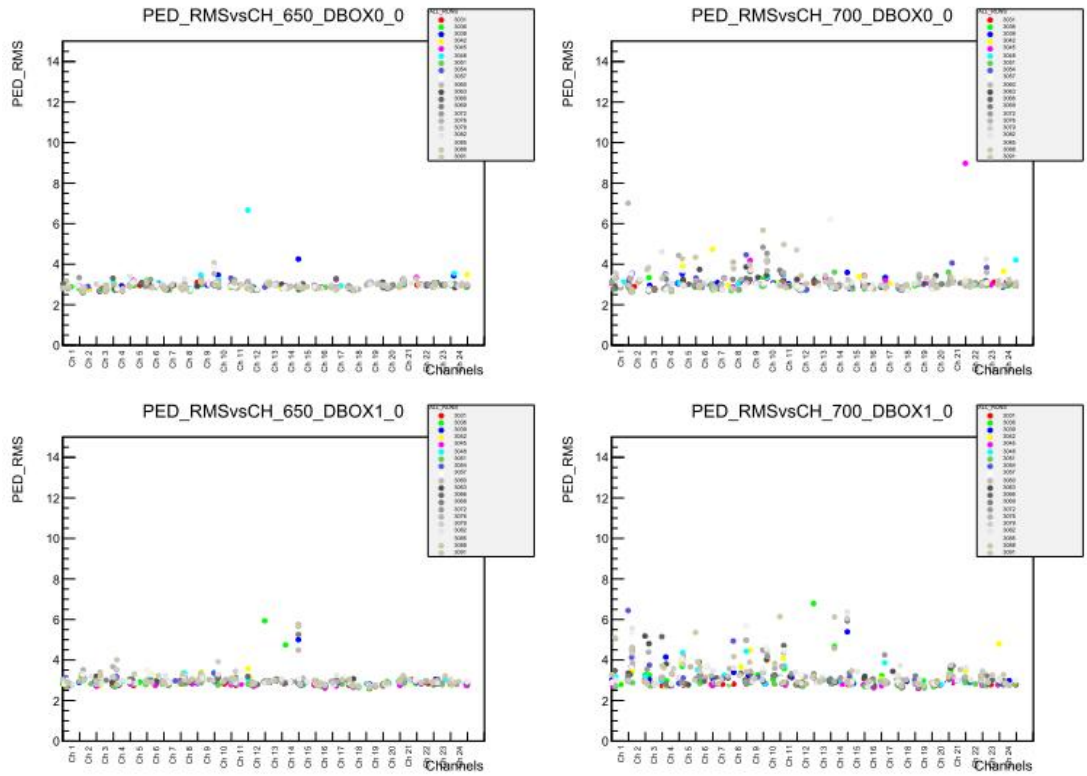
Şekil 4.21. Karanlık kutu 1 için pedestal RMS - kazanç grafikleri.

Kazanca göre sıralanmadan sonra alınan LED verileri ve özellikleri Çizelge 4.8'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.8 Kazanca göre sıralanmadan sonra alınan LED verileri ve özellikleri.

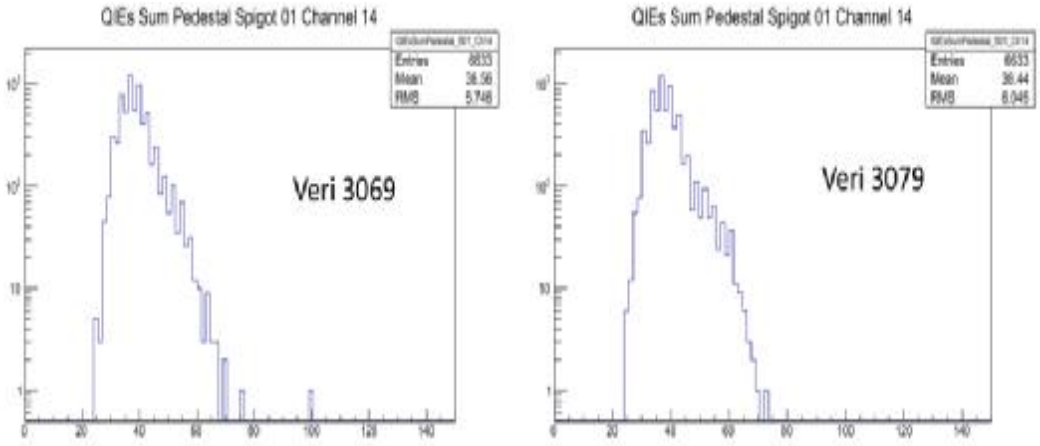
LED veri numarası	HV (volt)	Yoğunluk	Taban tablası no
3031	650,700	150	031 104 180
3036	650,700	150	034 107 184 035 108 185
3039	650,700	150	036 109 186 037 110 187
3042	650,700	150	038 111 188 039 112 189
3045	650,700	150	040 113 190
3048	650,700	150	051 124 200 052 125 201
3051	650,700	150	099
3054	650,700	150	053 126 202 054 128 203
3057	650,700	150	055 129 204 056 130 205
3060	650,700	150	057 131 206 058 132 262
3063	650,700	150	059 133 208 060 134 209
3066	650,700	150	061 135 210 062 136 211
3069	650,700	150	063 137 212 064 138 213
3072	650,700	150	065 139 214 066 140 215
3076	650,700	150	067 141 217 068 142 219
3079	650,700	150	069 143 221 070 144 222
3082	650,700	150	071 145 223 072 146 224
3085	650,700	150	073 148 225 074 149 226
3088	650,700	150	075 150 227 076 151 228
3091	650,700	150	077 152 229 078 153 230

Çizelge 4.8'de verilen ve iki farklı HV'da (650 ve 700 Volt) alınan, verilerin tamamının pedestal RMS değerlerine kanal kanal bakılmıştır. Bu veri grubunda toplam 109 FÇT test edilmiş ve bazı verilerin bazı kanallarında pedestal RMS değeri yüksek çıkmıştır. Şekil 4.22, Karanlık kutu 0 ve karanlık kutu 1 için her bir kanalın pedestal RMS değerlerini göstermektedir.

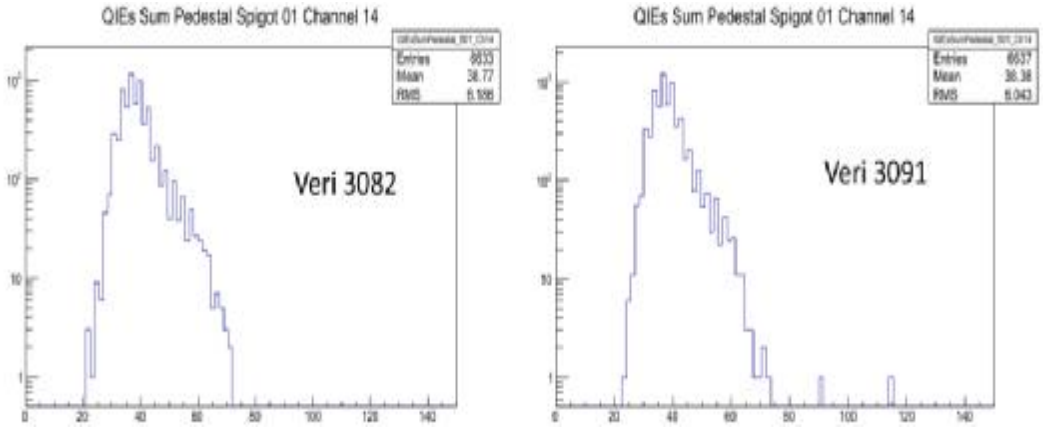


Şekil 4.22. Karanlık kutu 0 ve karanlık kutu 1 için her bir kanalın pedestal RMS değerleri.

Karanlık kutu 0 için 650 Volt'ta 3048 verisinin 12. kanalında pedestal RMS değeri 7'ye yakın bir değerde ve 700 Volt'ta ise 3045 verisinin 22. kanalında pedestal RMS değeri 9'a yakın bir değerde görülmüştür. Karanlık kutu 1 için ise 650 Volt'ta 14. kanalda birden fazla verinin (3069, 3079, 3082 ve 3091) pedestal RMS değerinde yükselme görülmüştür. Yanıt grafikleri incelendiğinde bu yükselmenin 6 civarında olduğu görülmüştür. Şekil 4.23, 3069 ve 3079 verilerinin yanıt grafiklerini ve Şekil 4.24 ise, 3082 ve 3091 verilerinin yanıt grafiklerini göstermektedir.

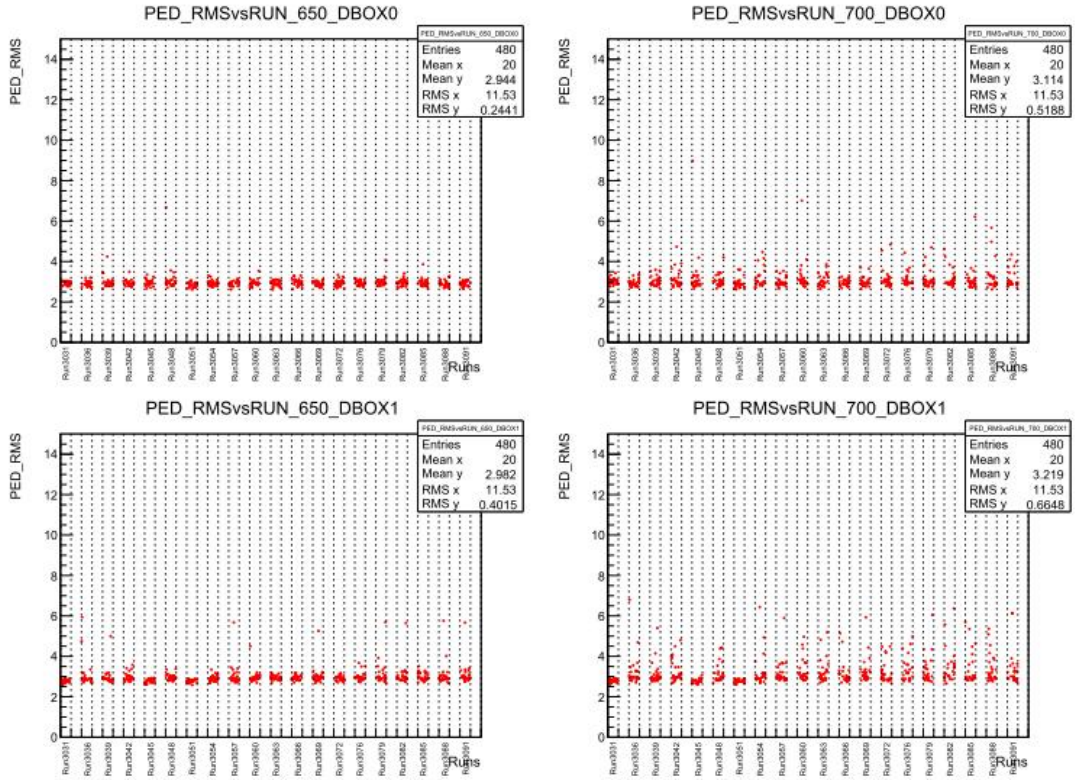


Şekil 4.23. 3069 ve 3079 verilerinin yanıt grafikleri.



Şekil 4.24. 3082 ve 3091 verilerinin yanıt grafikleri.

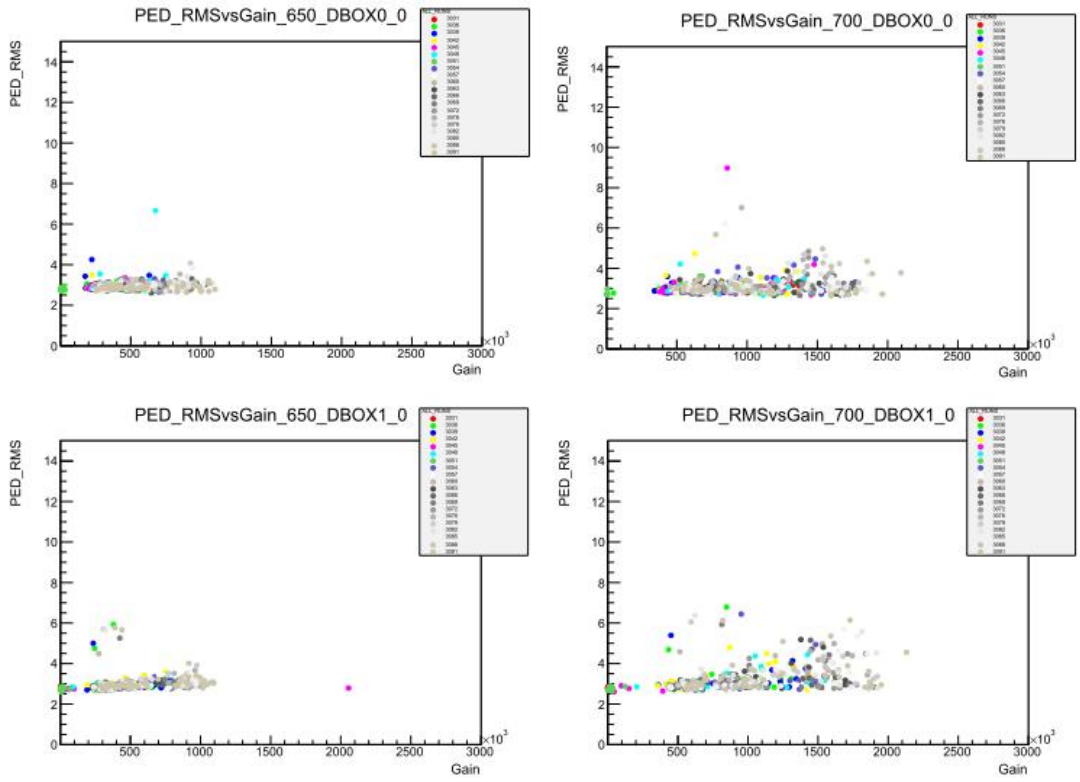
Sorunun hangi veriden kaynaklandığını anlayabilmek için her bir verinin pedestal RMS değerine bakılmıştır. Şekil 4.25, Karanlık kutu 0 ve karanlık kutu 1 için verilerin pedestal RMS değerlerini göstermektedir.



Şekil 4.25. Karanlık kutu 0 ve karanlık kutu 1 için verilerin pedestal RMS değerleri.

Karanlık kutu 0 için 650 Volt'ta 3048 verisinin ve 700 Volt'ta ise 3045 verisinin pedestal RMS değerinin yüksek olduğu görülmüştür. Karanlık kutu 1 için ise birden fazla veri için birden fazla kanalda yükselmeler görülmüştür.

Pedestal RMS değerindeki bu yükselmenin nedenini daha iyi anlayabilmek için ayrıca kazançla karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 4.26, Karanlık kutu 0 ve karanlık kutu 1 için pedestal RMS - kazanç grafiklerini göstermektedir.



Şekil 4.26. Karanlık kutu 0 ve karanlık kutu 1 için pedestal RMS - kazanç grafikleri.

Şekilde karanlık kutu 0 için 650 Volt'ta 3048 verisinin ve 700 Volt'ta ise 3045 verisinin kazancı diğer verilerin kazançlarından farklı çıkmıştır. Aynı şekilde karanlık kutu 1 içinde 650 ve 700 Volt'ta birden fazla verinin kazançları diğerlerinden farklı çıkmıştır.

Kazanca göre sıralamadan önceki ve sonraki alınan veriler karşılaştırılmış ve pedestal RMS değerindeki yükselmeler her iki veri grubunda da görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

BHÇ'de 2015 yılına kadar sürmesi planlanan teknik mola süresince, CMS'in alt detektörlerinden olan HKAL'in HO ve HF kalorimetrelerinde bir takım yenileme ve iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır.

HO, foto detektör olarak HFD'leri kullanmaktadır. HO'nun dış halkaları (±1 ve ±2) manyetik alan ortamında çalıştırıldığında, HFD'lerin geniş gürültü pulsları ürettiği tespit edilmiştir. Bu soruna kesin bir çözüm olarak, halka ±1 ve halka ±2'ye, HFD'lerin yerine SiFÇ'ler yerleştirilecektir. Merkezi fıçıdaki yüksek enerjili jetlerin enerji ölçümlerindeki sızıntı kuyruklarını azaltmada önemli rolü olduğundan, halka 0'daki HFD'ler de yenilenecektir.

Bu tez çalışmasının ilk kısmında HO'da kullanılmak üzere tasarlanan yeni SiFÇ'li RM'ler test edilmiş ve alınan lokal veriler kullanılarak RM'lerin sıcaklık, akım, LED ve pedestal kararlılıkları incelenmiştir.

HO beş halkadan (0, ±1 ve ±2) oluşmaktadır. Halka -2'de altı RBX ve her bir RBX'te dört RM olmak üzere 24 RM; halka -1'de 6 RBX ve her bir RBX'te dört RM olmak üzere 24 RM; halka 0'da 12 RBX ve her bir RBX'te üç RM olmak üzere 36 RM; Halka +1'de 6 RBX ve her bir RBX'te dört RM olmak üzere 24 RM; halka +2'de 6 RBX ve her bir RBX'te dört RM olmak üzere 24 RM; toplam 132 RM bulunmaktadır.

HO904 test düzeneğinde mevcut 157 SiFÇ'li RM test edilmiştir. Test edilen 18 SiFÇ'li RM'de LED ve pedestal değerinde tekil kanal problemi görülmüştür. Bu 18 RM'in bazılarında tek bir kanaldan kaynaklı düşme ya da yükselmeler görülürken, bazılarında ise iki kanalda birden düşme görülmüştür. Sorunlu RM'ler tekrar test edilmekte ve tekil kanal probleminin nedenleri araştırılmaya devam edilmektedir. Bu problemin daha önce zarara uğrayan fiber optik kablolardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Testi bitmiş sorunsuz SiFÇ'li RM'ler detektörün 0'ıncı halkasından itibaren takılmaya başlanmıştır.

HF kalorimetresi, foto detektör olarak FÇT'leri kullanmaktadır. Daha önceki yıllarda detektörde veri alındığı sürece mevcut FÇT'lerde anormal sinyaller gözlenmiştir. FÇT'ler tek anotludur ve bu FÇT'lerde bir takım çalıştırma problemleri

de gözlendiği için yenilenmesi gerekmiştir. Problemleri ortadan kaldırmak için kalorimetrede iyileştirme ve yenileme çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalar süresince HF'teki mevcut tek anotlu FÇT'ler dört anotlu FÇT'lerle yer değiştirilecektir.

Bu tez çalışmasının ikinci kısmında ise yeni dört anotlu FÇT'lerin pedestal RMS testleri yapılmış ve toplamda 201 FÇT test edilmiştir. Kullanılan veriler kazanca göre sıralamadan önce ve sonra olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Bu iki veri grubu karşılaştırılmış, pedestal RMS değerindeki yükselmeler her iki veri grubunda da gözlenmiştir. ilk etapta pedestal RMS değerine kanal kanal bakılmış ve daha sonra bu problemli verileri daha iyi gözlemlemek için her bir veri için pedestal RMS değerine bakılmıştır. Kazanç hesaplanırken pedestal RMS değeri de hesaba katıldığı için sorunun kazançtan kaynaklandığı düşünülerek bir de kazançla karşılaştırılmıştır ve yapılan bu çalışmada bazı verilerin sorunlu olduğu tespit edilmiştir. Bu sorunların veri alınmadan önce FÇT'lerin karanlık kutulardaki taban tablalarına tam yerleştirilememesinden, referans ve sinyal kablolarının iyi monte edilememesinden, adaptörlerin taban tablalarına tam birleştirilememesinden kaynaklanıyor olabileceği tespit edilmiştir. Bu FÇT'lerin bazılarının da sorunlu olduğu düşünülmektedir ve hala FÇT testlerine yeni veriler alınarak devam edilmektedir. Ayrıca HF'te kullanılan mevcut QIE'ler de eskidir ve sorunun bundan kaynaklandığı da düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

CERN Brochure, 2009. http://cds.cern.ch/record/1165534/files/CERN-Brochure-2009-003-Eng.pdf, (Erişim Tarihi: 15 Mart 2013).

CMS Collaboration, 1997, "CMS Muon Tecnical Design Report", CMS-TDR-03 http://cds.cern.ch/record/343814/files/LHCC-97-032.pdf, (Erişim Tarihi: 15 Ağustos 2013).

CMS Collaboration, 2006. "Detector Performance and Software", CMS Physics, Technical Design Report, Volume 1, CERN - LHCC 2006-001, http://cds.cern.ch/record/922757/files/lhcc-2006-001.pdf, (Erişim Tarihi: 15 Eylül 2013).

CMS Collaboration, 2008. "The CMS Experiment at the CERN LHC", The CERN Large Hadron Collider: Accelerator and Experiments, http://iopscience.iop.org/1748-0221/3/08/S08004/pdf/1748-0221_3_08_S08004.pdf, (Erişim Tarihi: 22 Ocak 2013).

CMS Collaboration, 2011, "Technical Proposal for The Upgrade of The CMS Detector Through 2020", CMS UG-TP-1, https://cds.cern.ch/record/1355706/files/LHCC-P-004.pdf, (Erişim Tarihi: 01 Ocak 2013).

CMS Collaboration, 2012, "CMS Tecnical Report for The Phase 1 Upgrade of The Hadron Calorimeter", CMS-TDR-010 http://cds.cern.ch/record/1481837/files/CMS-TDR-010.pdf, (Erişim Tarihi: 15 Mayıs 2013).

CMS HCAL Collaboration, 2006, "Design, Performance, and Calibration of CMS Hadron-Barrel Calorimeter Wedges", CMS Note, CMS NOTE 2006/138, http://cds.cern.ch/record/1049915/files/NOTE2006_138.pdf, (Erişim Tarihi: 10 Ağustos 2013).

CMS HCAL Collaboration, 2008, "Design, Performance, and Calibration of CMS Hadron Endcap Calorimeters", CMS NOTE 2008/010, http://cds.cern.ch/record/1103003/files/NOTE2008_010.pdf, (Erişim Tarihi: 15 Ağustos 2013).

HAMAMATSU 2006, "Photomultiplier Tubes Basic and Applications, Third Edition", http://psec.uchicago.edu/links/pmt_handbook_complete.pdf, (Erişim Tarihi: 1 Haziran 2013).

LUTZ, B., 2012, “Upgrade of The CMS Hadron Outer Calorimeter with SiPM Sensors”, Conference Report, CMS CR-2012/189, http://cds.cern.ch/record/1476274/files/CR2012_189.pdf, (Erişim Tarihi: 1 Ocak 2013).

SHAW, T. M., BAUMBAUGH, A. E., BOUBEKEUR, A., ELIAS, J. E., HOFF, J., HOLM, S., LOS, S., RIVETTA, C., RONZHIN, A., WHITMORE, J., ZIMMERMAN, T., YAREMA, R. J., 2002. “Front End Readout Electronics for the CMS Hadron Calorimeter”, Fermi National Accelerator Laboratory, FERMILAB-CONF-2002-278, http://inspirehep.net/record/603663/files/fermilab-conf-02-278.pdf, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://en.wikipedia.org/wiki/Category:Particle_physics, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://tr.wikipedia.org/wiki/Lepton, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://tr.wikipedia.org/wiki/Bozon, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://cms.web.cern.ch/news/tracker-detector. (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://cms.web.cern.ch/news/electromagnetic-calorimeter, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://cms.web.cern.ch/news/hadron-calorimeter, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://cms.web.cern.ch/news/superconducting-magnet, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://cms.web.cern.ch/news/muon-detectors, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://cms.web.cern.ch/news/cms-physics-results, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://physik.uibk.ac.at/hephy/muon/pmtcnste.pdf, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_Model, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://epilicer.home.uludag.edu.tr/kuvvet.html, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/images/lhc schematic.jpg, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://iopscience.iop.org/1748-0221/3/08/S08002/pdf/1748-0221/3/08/S08002.pdf, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://iopscience.iop.org/1748-0221/3/08/S08003/pdf/1748-0221/3/08/S08003.pdf, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://iopscience.iop.org/1748-0221/3/08/S08005/pdf/1748-0221/3/08/S08005.pdf, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://iopscience.iop.org/1748-0221/3/08/S08006/pdf/17480221_3_08_S08006.pdf, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://iopscience.iop.org/1748-0221/3/08/S08004/pdf/1748-0221_3_08_S08004.pdf, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://inspirehep.net/record/1185262/files/MuonSys-mod3.png, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/65/CMS_Under_Construction_ Apr_05.jpg, (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://iopscience.iop.org/1742-6596/160/1/012014/pdf/1742-6596_160_1_012014. pdf), (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2013).

http://www.fnal.gov/pub/today/images04/Calorimeter_Wedges.jpg, (Erişim Tarihi: 15 Ağustos 2013).

http://jp.hamamatsu.com/resources/products/etd/eng/image/pmt01.jpg, (Erişim Tarihi: 15 Ağustos 2013).

http://www.hamamatsu.com/us/en/product/category/3100/3001/R7600200-M4/index.html, (Erişim Tarihi: 15 Ağustos 2013).

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Kahramanmaraş'ta doğdu. Lise öğrenimi Mersin Gazi Yabancı Dil Ağırlıklı Lise'sinde tamamladı. 2004 yılında Dicle Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümüne girdi. 2008 yılında mezun olarak, 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 yapılan çalışmalara katıldı. Halen Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.