

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Zuhal Şeyma DEMİROĞLU**

**CMS DENEYİNDEKİ HB VE HE KALORİMETRELERİNDEKİ HFD'LERİN  
GÜRÜLTÜ ANALİZLERİ VE H0904 TEST DÜZENİNDEKİ SİFÇ'LERİN  
SELF TRİGGER ANALİZİ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**ADANA, 2013**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CMS DENEYİNDEKİ HB VE HE KALORİMETRELERİNDEKİ  
HFD'LERİN GÜRÜLTÜ ANALİZLERİ VE HO904 TEST  
DÜZENEĞİNDEKİ SİFÇ'LERİN SELF TRİGGER ANALİZİ**

**Zuhal Şeyma DEMİROĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

Bu tez 06/08/2013 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.

.....  
Prof. Dr. Eda EŞKUT  
DANIŞMAN

.....  
Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU  
ÜYE

.....  
Yrd. Doç. Dr. Salim ÇERÇİ  
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: FEF2012YL6**

**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.

*Sevgili Anneme ve Babama...*

## ÖZ

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### CMS DENEYİNDEKİ HB VE HE KALORİMETRELERİNDEKİ HFD'LERİN GÜRÜLTÜ ANALİZLERİ VE HO904 TEST DÜZENEĞİNDEKİ SİFÇ'LERİN SELF TRİGGER ANALİZİ

Zuhal Şeyma DEMİROĞLU

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman :Prof. Dr. Eda EŞKUT

Yıl: 2013, Sayfa: 85

Jüri :Prof. Dr. Eda EŞKUT

:Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU

:Yrd. Doç. Dr. Salim ÇERÇİ

CMS – HKAL'ın HB, HE ve HO alt kalorimetrelerinde foto dedektör olarak Hibrit Foto Diyot (HFD)'lar kullanılmaktadır. Yüksek enerji ve manyetik alanda çalışmalarından dolayı HFD'lerde bazı sorunlar oluşmuştur. Yüksek enerji mertebesinde çalışan detektörler tuhaf gürültüler kaydetmiştir. Bu tuhaf gürültü, HB – HE'de bulunan HFD'lerin özelliğinden kaynaklanmaktadır. Gürültülü HFD ve RBX'leri tespit edebilmek için Haziran – Temmuz 2012'de alınan HBHE SelfTrigger verileri kullanılmıştır. İlk olarak, HFD piksellerindeki enerji dağılımı incelenerek enerji değerine 40 fC sınırı konulmuştur. İkinci olarak, her bir RBX'te sinyal veren piksellerin dağılımına bakılarak yeni sınırlamalar konulmuştur. Bu sınırlamalar ile HFD iyon geri besleme, HFD boşalımı ve RBX gürültüsünden kaynaklanan gürültülü RBX - HFD'ler tespit edilmiştir. HO kalorimetresinde bulunan HFD'lerde manyetik alandan kaynaklanan sorunlar olmuştur. Bu yüzden, okuma modülüne HFD'ler yerine Silikon Foto Çoğaltıcı (SiFÇ)'lerin yerleştirilmesi planlanmaktadır. Bu SiFÇ'ler HO kalorimetresine yerleştirilmeden önce pedestal, LED sinyali, gürültü, kararlılık, kazanç, self trigger gibi bazı özelliklerin test edilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, HO SiFÇ'nin self trigger test sonuçlarını içermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** HKAL, Gürültü, HFD, Tetikleme, SiFÇ

## ABSTRACT

### MSc THESIS

<p style="text-align: center;"><b>NOISE ANALYSIS OF HPDs IN THE HB AND HE CALORIMETERS AND SELF TRIGGER ANALYSIS OF SiPMs IN THE TEST SETUP AT HO904 IN THE CMS EXPERIMENT</b></p>
--

**Zuhal Şeyma DEMİROĞLU**

**ÇUKUROVA UNIVERSITY  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
DEPARTMENT OF PHYSICS**

Supervisor :Prof. Dr. Eda EŞKUT

Year: 2013, Pages: 85

Jury :Prof. Dr. Eda EŞKUT

:Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU

:Asst. Prof. Dr. Salim ÇERÇİ

Hybrid photo diodes (HPDs) are used as a photodetector in the HB, HE and HO sub-calorimeter of the CMS - HCAL. Some problems has appeared in these HPDs since they are used in high energy operating and the magnetic field. The detectors recorded anomalous noise during the high energy runs. This anomalous noise is based on the feature of HPDs placed in the HB – HE. HBHE Selftrigger runs were used, which have been taken June - July 2012 to determine noisy HPDs and RBXes. First of all, the 40 fC cut in the energy value is defined by analyzed the distribution of energy in the pixels of HPDs. Secondly, new cuts are defined according to distributions of signaling pixels on each of RBXes. The noisy RBXes - HPDs based on HPD ion feedback, HPD discharge and RBX noise were determined with these cuts. Due to magnetic field, problems has occurred in HPDs which are placed in HO calorimetry. Therefore, it is planned to replace HPDs with Silicon photomultipliers (SiPMs) in the readout module. Before assembling HO, these SiPMs have to be tested for some features such as pedestal, LED signal, noise, stability, gain, self trigger. This study includes the test results of HO SiPMs Self Trigger.

**Key Words:** HCAL, Noise, HPD, Trigger, SiPM

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aşamasında desteğini hissettiğim, yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Eda EŞKUT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım değerli hocalarım Prof. Dr. Gülşen ÖNENGÜT, Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ, Prof. Dr. Aysel KAYIŞ TOPAKSU ve Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU'na sonsuz teşekkür ederim.

CERN'deki deneysel çalışmalarım ve tez yazımı sırasında yardımlarını esirgemeyerek bilgi ve deneyimini paylaşan Kadri ÖZDEMİR'e çok teşekkür ederim. Her türlü yardım ve desteğini gördüğüm İlknur HOŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim-öğretim hayatım boyunca maddi-manevi her konuda beni destekleyen, sabır gösteren başta sevgili annem ve babam olmak üzere değerli aileme sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim süresince desteklerini her zaman hissettiğim sevgili dostlarım Nebahat KALKAN, Nurşen KUMAR ve Delal IŞIK'a teşekkür ederim. Ders döneminde ve CERN'de bulunduğumuz süre boyunca yanımda olan tüm Yüksek Enerji Fiziği grubu arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca CERN'deki çalışmalarımı maddi olarak destekleyen TAEK'e (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) teşekkürlerimi sunarım.

<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>SAYFA</b>
ÖZ .....	I
ABSTRACT .....	II
TEŞEKKÜR .....	III
İÇİNDEKİLER .....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	XII
1. GİRİŞ .....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	3
2.1. Standart Model .....	3
2.2. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ) .....	7
2.2.1. ALICE .....	10
2.2.2. ATLAS .....	11
2.2.3. LHCb .....	12
2.2.4. LHCf .....	14
2.2.5. TOTEM .....	15
2.3. CMS .....	16
2.3.1. Koordinat Kuralları .....	17
2.3.2. CMS'in Alt Detektörleri .....	18
2.3.2.1. İzleyici Sistem .....	19
2.3.2.2. Kalorimetreler .....	20
2.3.2.3. Mıknatıs .....	24
2.3.2.4. Müon Sistemi .....	25
3. MATERYAL VE METOD .....	27
3.1. Hadronik Kalorimetre (HKAL) .....	27
3.1.1. Hadronik Fıçı (HB) Kalorimetre .....	28
3.1.2. Hadronik Uç Kapak (HE) Kalorimetre .....	32
3.1.3. Hadronik Dış (HO) Kalorimetre .....	36
3.1.4. Hadronik İleri (HF) Kalorimetre .....	40

3.2. Elektronikler ve Veri Toplama.....	41
3.2.1. Hibrit Foto Diyot (HFD)'lerin Performansı.....	43
3.2.2. Silikon Foto Çoğaltıcı (SiFÇ)'lar .....	44
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR .....	47
4.1. HB, HE ve HO'daki Foto Dedektörlerin Durumu .....	47
4.2. HB ve HE'deki RBX - HFD'lerin Gürültü Analizleri .....	48
4.2.1. İyon Geri Beslemeden Kaynaklanan HFD Gürültüsü.....	52
4.2.2. Boşalmadan Kaynaklanan HFD Gürültüsü .....	59
4.2.3. RBX Gürültüsü.....	60
4.3. HO904 Test Düzeneği .....	61
4.3.1. HO SiFÇ'lerinin Self Trigger Analizi.....	65
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	77
KAYNAKLAR .....	79
ÖZGEÇMİŞ .....	85

## ÇİZELGELER DİZİNİ

## SAYFA

Çizelge 4.1. Haziran – Temmuz 2012 tarihleri arasında alınan HBHEabc Self Trigger verileri. ....	49
Çizelge 4.2. 196975 nolu veriye ait gürültülü HFD'ler ve gürültü oranları .....	53
Çizelge 4.3. 196547 nolu veriye ait gürültülü HFD'ler ve gürültü oranları .....	55
Çizelge 4.4. Altı adet veride gözlemlenen gürültülü HFD'ler ve ortalama gürültü oranları .....	56
Çizelge 4.5. HO904 test düzeneğinden alınan veri tipleri ve olay sayıları .....	64
Çizelge 4.6. Yüksek tetikleme oranına sahip SiFÇ kartları .....	75



## ŞEKİLLER DİZİNİ

## SAYFA

Şekil 2.1. Kuark, bozon ve leptonların özellikleri.....	4
Şekil 2.2. BHC'nin şematik yapısı .....	8
Şekil 2.3. ALICE Dedektörü .....	11
Şekil 2.4. ATLAS Dedektörü .....	12
Şekil 2.5. LHCb Dedektörü.....	13
Şekil 2.6. LHCf Dedektörü.....	15
Şekil 2.7. CMS Dedektörü .....	17
Şekil 2.8. CMS deneyinin dörtte birinin enine kesiti .....	18
Şekil 2.9. CMS İzleyici Sistemi'nin şematik gösterimi. Her çizgi, bir dedektör modülünü temsil etmektedir. Çift çizgiler, stereo hitlerin sağladığı iki taraflı modülleri göstermektedir .....	20
Şekil 2.10. CMS EKAL'in yapısı.....	22
Şekil 2.11. CMS HKAL dedektörünün boyuna görünümü .....	23
Şekil 2.12. CMS dedektörünün Süperiletken Mıknatısı.....	25
Şekil 2.13. CMS'in Müon Sistemi .....	26
Şekil 3.1. CMS dedektörünün boyuna görünümü. HB, HE, HO ve HF'in CMS'deki yerleri.....	28
Şekil 3.2. Bir HB kamasının izometrik görünüşü .....	29
Şekil 3.3. Sintilatör tablanın bir kısmının şematik görünüşü. WLS fiberleri, saydam fiberler ve radyoaktif kaynak tüplerinin yerleri şekilde görüldüğü gibidir.....	30
Şekil 3.4. HB, HO ve HE dedektörlerinin dörtte biri için HKAL'deki kule bölümleri. Yukarıda ve soldaki numaralar kule numaralarını, sağdaki ve aşağıdaki numaralar (0 - 16) soğurucu içine yerleştirilen sintilatör katmanlarını göstermektedir.....	31
Şekil 3.5. Uç kapak demir boyunduruğuna yerleştirilen HE.....	32
Şekil 3.6. HE soğurucunun mekanik yapısı. Parçacıklar alttan kalorimetreye girer .....	33
Şekil 3.7. Kalorimetrenin sintilatör tablası.....	34

Şekil 3.8. Komşu sintilatör tablalarındaki döşeme numaraları .....	34
Şekil 3.9. HE'nin boyuna ve polar açılı bölümleri. Kesikli çizgiler etkileşme noktasına göre.....	35
Şekil 3.10. CMS dedektörünün boyuna ve enine görünüşünde, HO katmanlarının pozisyonu .....	37
Şekil 3.11. Bağımsız döşemeler ve WLS fiberlerine karşılık gelen kanallar ile HO tablasının şematik görünümü. Her optik döşeme bir HB kulesi ile eşlenmiştir. Tablolardan gelen optik fiberler, okuma elektronikleri ve foto dedektörlerin bulunduğu şifre çözücü kutuya gönderilmiştir .....	38
Şekil 3.12. CMS dedektöründeki HO tablalarının düzeni.....	39
Şekil 3.13. HO döşemesinin görünümü .....	40
Şekil 3.14. Hadronik İleri Kalorimetre .....	41
Şekil 3.15. HKAL'in veri toplama elektroniklerinin genel görünümü. HFD'den gelen veri QIE'de sayısallaştırılarak GOL (Gigabit Optik Link) aracılığı ile dedektörden uzaklaştırılır. Veri DCC (Veri Toplama Kartı) yardımıyla CMS veri akış sistemine gönderilirken, HTR (Yüksek Tetikleme Okuyucu) birincil tetiklemeleri oluştur .....	42
Şekil 3.16. CMS'in Hibrid Foto Diyot (HFD) tasarımı. Solda şematik olarak HFD'nin yapısı sağda ise HFD'nin arka ve ön kısımlarının fotoğrafı görülmektedir .....	43
Şekil 4.1. HE <sup>-</sup> 'nin 11 nolu RBX'nin 3 nolu RM'nin (3 nolu HFD'sinin) 1 nolu pikselinin (b) HE <sup>+</sup> 'nin 7 nolu RBX'nin 1 nolu RM'nin (1 nolu HFD'sinin) 1 nolu pikselinin (c) HB <sup>+</sup> 'nin 5 nolu RBX'nin 4 nolu RM'nin (4 nolu HFD'sinin) 13 nolu pikselinin (d) HB <sup>-</sup> 'nin 8 nolu RBX'nin 2 nolu RM'nin (2 nolu HFD'sinin) 16 nolu pikselinin enerji dağılımları .....	50
Şekil 4.2. 196975 numaralı veriye ait her bir RBX başına sinyal veren piksel sayısı.....	51
Şekil 4.3. 196975 nolu veriye ait HB - HE'de bulunan toplam 288 adet RM (HFD)'den okunan gürültü oranları .....	53

Şekil 4.4. 196547 nolu veriye ait HB - HE'de bulunan toplam 288 adet RM (HFD)'den okunan gürültü oranları .....	54
Şekil 4.5. 196856 nolu veriye ait HB - HE'de bulunan toplam 288 adet RM (HFD)'den okunan gürültü oranları .....	56
Şekil 4.6. (a) HB-'ye ait 2 nolu RBX'in (b) HB-'ye ait 7 nolu RBX'in (c) HB-'ye ait 8 nolu RBX'in (d) HB-'ye ait 11 nolu RBX'in RM1, RM2, RM3 ve RM4 nolu HFD'lerinin gürültü oranları .....	57
Şekil 4.7. (a) HE-'ye ait 11 nolu RBX'in (b) HE-'ye ait 14 nolu RBX'in (c) HE-'ye ait 17 nolu RBX'in (d) HE+'ya ait 7 nolu RBX'in RM1, RM2, RM3 ve RM4 nolu HFD'lerinin gürültü oranları .....	58
Şekil 4.8. (a) HE+'ya ait 10 nolu RBX'in (b) HE+'ya ait 13 nolu RBX'in (c) HE+'ya ait 16 nolu RBX'in RM1, RM2, RM3 ve RM4 nolu HFD'lerinin gürültü oranları .....	59
Şekil 4.9. Altı farklı veri için HB - HE'deki 288 adet HFD'nin gürültü oranları.....	60
Şekil 4.10. Altı farklı veri için HB - HE'deki 288 adet HFD'nin gürültü oranları ....	61
Şekil 4.11. (a) Bir HFD'nin yarısı. (b) SiFÇ düzeneği.....	62
Şekil 4.12. HO RBX Test Düzeneği.....	63
Şekil 4.13. (a) 18 pikseli SiFÇ kartı ve SiFÇ'lerin yerleştirildiği okuma modülü. (b) HTR Modülü .....	64
Şekil 4.14. Düşük eşik değerli 5694 verisine ait HO 1 nolu RM'in 1 nolu pikselinin (a) QIE yük dağılımı. (b) QIE binning uygulandıktan sonra QIE yük dağılımı. (c) Bin içeriği bin aralığına bölündükten sonra QIE yük dağılımı. (d) Hata hesabı yapıldıktan sonra elde edilen QIE yük dağılımı .....	67
Şekil 4.15. Düşük eşik değerli 5694 verisine ait 1 nolu RM'in 1 nolu pikselinin QIE yük dağılımına uygulanan Gauss fit fonksiyonu .....	67
Şekil 4.16. Yüksek eşik değerli 5630 nolu veriye ait 144 adet pikselin birinci dereceden kazanç değeri .....	69
Şekil 4.17. Yüksek eşik değerli 5621 numaralı veriye ait 144 pikselin birinci dereceden kazanç değeri .....	70

Şekil 4.18. 5621 verisine ait (a) 1 nolu RM'in 12 nolu pikselinin (b) 2 nolu RM'in 16 nolu pikselinin QIE yük dağılımı ve fit fonksiyonu.....	70
Şekil 4.19. Yüksek eşik değerli 5630 nolu verinin 144 pikselinin (a) herhangi bir eşik değeri uygulanmadan (b) yüksek eşik değeri (55 fC) uygulandıktan sonraki tetikleme oranları.....	71
Şekil 4.20. Yüksek eşik değerli 5630 nolu veriye ait 8 RM için tetikleme oranının (eşik değeri – pedestal değeri)/kazanç oranına göre değişimi .....	72
Şekil 4.21. Yüksek eşik değerli 5621 nolu veriye ait 8 RM için tetikleme oranının (eşik değeri – pedestal değeri)/kazanç oranına göre değişimi .....	73
Şekil 4.22. Yüksek eşik değerli 5621 verisine ait özet sayfası.....	74

## SİMGELER VE KISALTMALAR

SM	: Standart Model
SUSİ	: Süper Simetri
KRD	: Kuantum Renk Dinamiği
CERN	: Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
BHÇ	: Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
LEP	: Büyük Elektron Pozitron Çarpıştırıcısı
CMS	: Sıkı Müon Solenoidi
ATLAS	: Büyük Toroidal Detektör
ALICE	: Büyük İyon Çarpıştırma Deneyi
LHCb	: LHCb Fiziği Deneyi
LHCf	: Büyük İleri Hadron Çarpıştırıcısı
TOTEM	: Toplam Elastik ve Difraktif Tesir Kesit Ölçüm Detektörü
LS	: Uzun Mola
CP	: Yük Eşlenikliği – Parite
EKAL	: Elektromanyetik Kalorimetre
EE	: Elektromanyetik Uç Kapak
EB	: Elektromanyetik Fıçı
ES	: Elektromanyetik Ön Duş
HKAL	: Hadronik Kalorimetre
HB	: Hadronik Fıçı
HE	: Hadronik Uç Kapak
HO	: Hadronik Dış
HF	: İleri Hadronik Kalorimetre
SST	: Silikon Şerit İzleyici
TIB	: İç izleyici Fıçı
TID	: İç Diskler
TOB	: Dış İzleyici Fıçı
TEC	: İzleyici Kapağı
CSC	: Katot Şerit Odaları

DT	: Sürüklenme Tüpleri
RPC	: Dirençli Paralel Levhalı Odalar
FÇT	: Foto Çoğaltıcı Tüp
APD	: Çığ Foto Diyot
VPT	: Vakum Foto Triyot
HFD	: Hibrit Foto Diyot
IP	: Etkileşme Noktası
HV	: Yüksek Voltaj
HTR	: Yüksek Tetikleme Okuyucusu
ASIC	: Uygulamaya Özel Tümleşik Devre
ADC	: Analog – Sayısal Çevirici
CCA	: Kanal Kontrol ASIC
DAQ	: Veri Akış Sistemi
QIE	: Yük Toplayıcı Kodlayıcı
GOL	: Gigabit Optik Link
DCC	: Veri Toplama Kartı
WLS	: Dalga Boyu Kaydırıcı
RBX	: Okuma Kutusu
RM	: Okuma Modülü
QF	: Kuvars Fiber
QE	: Kuantum Verimliliği
TS	: Zaman Dilimi
SiFÇ	: Silikon Foto Çoğaltıcı
MTP	: Çoklu Zaman Programlayıcı
CCM	: Saat ve Kontrol Modülü
RTD	: Direnç Sıcaklık Dedektörü
$\eta$	: Psüdo rapidite
$\theta$	: Polar Açısı
$\phi$	: Azimutal Açısı
$E_T^{kyp}$ (MET)	: Kayıp Dik Enerji

$PbWO_4$	: Kurşun Tungsten
eV	: Elektron Volt
MeV	: Milyon Elektron Volt
GeV	: Milyar Elektron Volt
TeV	: Trilyon Elektron Volt
fC	: Femto Coulomb
L	: Işıklılık
$\sqrt{s}$	: Kütle Merkezi Enerjisi
Cu	: Bakır
Zn	: Çinko
$\lambda_1$	: Nükleer Etkileşme Uzunluğu



## 1. GİRİŞ

Bilim insanları büyük patlamadan günümüze kadar olan süreçte evrenin evrimi, maddenin temel yapısı ve temel etkileşmeler hakkında merak edilen sorulara yanıtlar aramaktadır. Soruların bir kısmı kuramsal bir model olan Standart Model (SM) ile açıklanmıştır. Kuram veya modellerin deneysel gözlemler yapılarak test edilmesi ve doğrulanması gerekir. Birçok testi başarıyla geçen SM'in bir takım yetersiz veya eksik olduğu durumlar vardır. Bu nedenle SM ötesinde nelerin olduğunu anlayabilmek için alternatif yeni modeller ve kuramlar ortaya atılmıştır.

Bugün dünyanın en büyük hızlandırıcı laboratuvarı İsviçre – Fransa sınırlarını içine alan Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi (CERN)'nde bulunan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ)'dir. Ekim 2009 – Aralık 2012 yılları arasında kütle merkezi enerjisi gittikçe artacak biçimde hem proton-proton hem de ağır iyonlar (kurşun-kurşun) BHÇ halkası üzerindeki dedektörlerde çarpıştırılmıştır. 2013 yılının Mart ayından itibaren 2015 yılını kapsayan uzun bir mola verilmiş ve bu arada hem BHÇ'yi hem de BHÇ'deki dedektörleri geliştirilme ve iyileştirme çalışmaları başlatılmıştır. Bu süreçte alt dedektörlerin bazı yıpranmış ve/veya problemli olduğu tespit edilen kısımları ve materyalleri yenilenmektedir.

Bu tez çalışması, CERN'deki CMS deneyinin hadronik kalorimetre (HKAL)'sinin alt dedektörlerinden hadronik fiçı (HB), hadronik uç kapak (HE) ve hadronik dış kalorimetre (HO)'nin iyileştirme çalışmalarının bir kısmını içermektedir. Bu alt detektörlerden veri alınırken kullanılan en uç elektronikleri okuma kutuları (RBX)'nin içinde bulunmaktadır. RBX'lerin içinde kalorimetrelerden gelen optik sinyalleri elektrik sinyallerine dönüştürmeyi sağlayan Hibrit Foto Diyot (HFD)'ler vardır. HFD'ler manyetik alandan etkilenen hassas foto çoğaltıcı aygıtlardır. HB ve HE'deki HFD'ler mıknatısın iç kısımlarındaki, HO'dakiler ise mıknatısın dış kısımlarındaki RBX'lerin içindedir. HB ve HE'deki HFD'lerden bazıları gürültü oluşturduğu için fizik veri alımını olumsuz etkilemiştir.

Bu çalışmanın ilk kısmı HE ve HB'deki gürültülü HFD'leri tespit etmek için yapılan analizleri içermektedir. Gürültülü oldukları belirlenen HFD'ler sökülüp

yerlerine yenileri takılacaktır. HO'da kullanılan HFD'leri yenileri ile değiştirmekle sorunları ortadan kaldırmanın mümkün olamayacağı belirlenmiştir. 2010 ve 2011 yıllarında HO'dan veri alınamamış, 2012 yılında ise HO'nun +1, 0, -1 nolu halkalarından sınırlı veri toplanmıştır. Bundan dolayı BHÇ'deki uzun moladan sonra başlayacak olan yeni veri alımında sorun yaşamamak için HFD'lerin sökülerek yerlerine Silikon Foto Çoğaltıcı (SiFÇ)'lerin kullanılmasına karar verilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmı HO'daki SiFÇ'lerin kazanç ve tetikleme oranı analizleri ile ilgilidir.

Tezin önceki çalışmalar kısmında, SM hakkında bilgi verilmiş, BHÇ ve üzerindeki deneyler anlatılmıştır. HKAL ve alt dedektörlerin ayrıntıları materyal ve metod kısmında tartışılmıştır. Tezin araştırma bulgular kısmında ise HB, HE ve HO'daki foto dedektörlerin testleri ile ilgili olarak yapılan analizler yer almaktadır. Tezin sonuç ve öneriler kısmında HB ve HE'de gürültülü oldukları tespit edilen HFD'ler ve HO'daki SiFÇ'lerin kazanç ve tetikleme oranları özetlenmiştir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1. Standart Model

Parçacık veya Yüksek Enerji Fiziği (YEF) evrenin oluşumu konusunda merak edilen soruları yanıtlamaya çalışan, maddenin temel yapısını ve parçacıklar arasındaki etkileşmeleri araştıran bir bilim dalıdır. Gözlemlenen maddeyi oluşturan temel parçacıklar ve bu parçacıklar arasındaki temel etkileşmelerden üçü (elektromanyetik, zayıf ve güçlü kuvvet) Standart Model (SM) denilen bir kuram ile açıklanmaktadır. Kütle çekim kuvveti modele dahil edilmemiştir. Temel parçacıkların yapısını anlamak için parçacıklar hızlandırıcılar kullanılarak yüksek enerji değerlerine çıkarılmakta ve bu yüksek enerjili parçacıklar dedektörlerde çarpıştırılarak ortaya çıkan parçacıkların analizleri yapılmaktadır.

20. yüzyılın başlarına kadar atomun maddenin en küçük yapıtaşı olduğu düşünülüyordu. 1897'de Thomson'un elektronu keşfetmesi, 1910'da Rutherford'un çekirdeği bulması, 1918'de çekirdeğin pozitif yüklü protonlardan oluştuğunun gösterilmesi ve Chadwick'in 1932'de nötronu keşfetmesi atomun bir içyapısı olduğunu gösterdi. Başlangıçta temel parçacıkların elektron, proton ve nötrondan oluştuğuna inanılıyordu fakat daha sonra kütlesi elektronla proton arasında olan orta kütleli mezonların gözlenmesi temel parçacık araştırmalarına olan ilgiyi artırdı. Hızlandırıcı ve dedektör sistemlerindeki teknolojinin hızla ilerlemesi keşfedilen temel parçacık sayısını da artırdı.

Şekil 2.1'de görüldüğü gibi SM'de temel parçacıklar leptonlar ve kuarklar olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Leptonlar elektron, müon ( $\mu$ ), tau ( $\tau$ ) ve bu parçacıkların nötrinolarından oluşur. Ayrıca bu parçacıkların her birine karşılık gelen antiparçacıklar (yükü dışında tüm özelliği parçacık ile aynı olan) bulunmaktadır.

Elektron 1897 yılında Thomson tarafından keşfedilmiştir.  $1/2$  spine sahip olan elektronun yükü  $-1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  olup kütlesi  $9,31 \times 10^{-31} \text{ kg}$  ( $0.5 \text{ MeV}/c^2$ )'dir. Elektronun anti parçacığı pozitrondur. Pozitronun yükü pozitif  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 'dur, kütlesi ve spini elektron ile aynıdır.  $\mu$ 'un yükü  $\pm$  elektron yüküne eşit, kütlesi

elektronun kütesinin 207 katı olup değeri  $105.7 \text{ MeV}/c^2$  dir. Spini ise  $1/2$  'dir.  $\tau$  parçacığının kütlesi  $1784 \text{ MeV}/c^2$  'dir, yükü ve spini elektron ve müonla aynıdır. Modele göre elektron,  $\mu$  ve  $\tau$  nötrinolarının kütlesi ve yükü yoktur, fakat spini  $1/2$  'dir. Leptonlardan sadece elektron, normal maddenin temel yapısını oluşturur. Çünkü elektron en küçük kütleli parçacıktır ve bozunarak dönüşebileceği daha hafif bir parçacık olmadığından kararlıdır. Buna karşın  $\mu$  ve  $\tau$  kararsız oldukları için normal maddenin parçası olamazlar.

**Maddenin üç ailesi (Fermionlar)**

	I	II	III	
kütle→	3 MeV	1.24 GeV	172.5 GeV	0
yük→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
isim→	yukarı	tılsım	üst	foton
	<b>u</b>	<b>c</b>	<b>t</b>	<b><math>\gamma</math></b>
	6 MeV	95 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	aşağı	garip	alt	gluon
	<b>d</b>	<b>s</b>	<b>b</b>	<b>g</b>
	<2 eV	<0.19 MeV	<18.2 MeV	90.2 GeV <sup>0</sup>
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	elektron nötrino	muon nötrino	tau nötrino	<b>Z<sup>0</sup></b>
	<b><math>\nu_e</math></b>	<b><math>\nu_\mu</math></b>	<b><math>\nu_\tau</math></b>	<b>W<sup>±</sup></b>
	0.511 MeV	106 MeV	1.78 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	$\pm 1$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	elektron	muon	tau	
	<b>e</b>	<b><math>\mu</math></b>	<b><math>\tau</math></b>	

**Bozonlar (Kuvvetler)**

Şekil 2.1. Kuark, bozon ve leptonların özellikleri ([http://upload.wikimedia.org/wikipedia/tr/1/16/Standard\\_Model\\_Temel\\_Par%C3%A7ac%C4%B1klar%C4%B1.svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/tr/1/16/Standard_Model_Temel_Par%C3%A7ac%C4%B1klar%C4%B1.svg)).

Maddeyi oluşturan diğer temel parçacıklar kuarklardır. Kuarklar yukarı (u), aşağı (d), çekici (c), acayip (s), üst (t) ve alt (b) kuark olmak üzere altı çeşittir (Mistry, 2012). Üç kuark bir araya gelerek baryonları oluşturur. Atom çekirdeğinde

bulunan proton ve nötron bir baryondur. Bir kuark ve bir anti kuarktan oluşan parçacıklara ise mezon denir. Baryonlar, baryon sayısı; leptonlar, lepton sayısı denilen kuantum sayılarına sahiptir. Hem baryon sayısı hem de lepton sayısı tüm süreçlerde korunur.

Baryonlar fermiyon grubuna dâhil oldukları için Pauli dışarlama ilkesine uymalıdır. Ancak baryonlar içinde aynı cinsten iki veya üç kuark aynı kuantum durumunda bulunabilir, örneğin proton iki u ve bir d kuarkından oluşur. Bu durum ise Pauli dışarlama ilkesine aykırı bir durumdur. Bu sorunu gidermek için kuark ve anti kuarkların “renk” olarak adlandırılan ek bir özelliğine ihtiyaç duyulmuş ve Kuantum Renk Dinamiği (KRD) denilen bir hipotez ortaya atılmıştır. “Renk” niceliğinin kırmızı, mavi ve yeşil olmak üzere üç mümkün durumu vardır. Bu hipoteze göre, baryondaki üç kuarkın hepsi farklı renklere sahip olacağından Pauli dışarlama ilkesi ile uyumludur.

SM’e göre evren birbirlerinin birer kopyası olan üç kuark ve üç lepton ailesinden oluşmaktadır (Şekil 2.1). Kütleleri daha hafif ve kararlı parçacıklar ilk ailede bulunurlar. Bunlardan daha ağır ve kararsız parçacıklar sırasıyla ikinci ve üçüncü ailenin bireyleridir. Evrendeki tüm kararlı maddeler ilk ailenin bireylerinden oluşmuştur. İlk ailede “yukarı kuark” ve “aşağı kuark”, ikinci ailede “çekici kuark” ve “acayip kuark”, üçüncü ailede “üst kuark” ve “alt kuark” bulunmaktadır. Altı lepton benzer şekilde üç aileden oluşmuştur. Aileler sırası ile elektron ve elektron nötrinosu, müon ve müon nötrinosu, tau ve tau nötrinosundan meydana gelmektedir. (<http://public.web.cern.ch/public/en/Science/StandardModel-en.html>).

Evrendeki temel parçacıklar arasında dört temel kuvvet (etkileşme) bulunmaktadır. Bunlar elektromanyetik, zayıf, güçlü ve kütle çekim kuvvetleridir. Bu etkileşmelerin parçacıklar arasında iletilmesini sağlayan parçacıklara “ayar bozonları” denir (Şenyel ve Şenol, 2012).

Kütle çekim kuvveti, kütlesi olan bütün parçacıklar arasında gerçekleşir. Güneş sistemini bir arada tutan kuvvettir. Sonsuz erimlidir, kütleler arasındaki uzaklık arttıkça parçacıklar birbirlerini azalan bir kuvvet ile çekerler. Kütle çekim kuvveti kütlesi büyük olan yapılarda daha belirgin duruma gelir. Kütle çekim kuvvetinin etkisi, kütlesi küçük olan parçacıklar için zayıf olduğundan ihmal

edilebilir. Kütle çekim kuvvetinin taşıyıcı parçacığı gravitondur. Bu kuvvet taşıyıcısı deneysel olarak henüz gözlemlenmemiştir.

Zayıf kuvvet, çekirdekdeki kararsızlıkla ilgili bir etkileşmedir. Zayıf kuvvetin erimi çok kısadır. Bu nedenle ayar bozonlarının kütleleri büyüktür. Zayıf kuvvetin  $W^\pm$  ve Z bozonu olmak üzere üç ara bozonu vardır. W bozonlarının spini 1 olup, +1 ve -1 elektrik yüküne sahiptir. Yüksüz olan Z bozonunun spini de 1'dir.

Güçlü kuvvet, evrendeki en güçlü kuvvettir. Kuarklar arasında etkilidir, kuarkların bir arada tutulmasından, proton ve nötronların atomun çekirdeğini oluşturmasından sorumludur. Güçlü kuvvetin taşıyıcı parçacığı gluonlardır.

Elektromanyetik kuvvet, güçlü kuvvetin yüzde biri kadardır. Yüklü parçacıklar arasında olan bir etkileşmedir. Zıt yükler için çekici, aynı yükler için itici özelliği vardır. Parçacıkların arasındaki uzaklık arttıkça elektromanyetik kuvvetin etkisi giderek azalır. Sonsuz erimi olan bu kuvvetin taşıyıcı parçacığı yüksüz ve kütesiz fotondur.

SM şu ana kadar birçok kez deneysel olarak test edilmiştir. Başarılarına rağmen modelin bir takım eksiklikleri ve kusurları vardır. Model özellikle evrenin oluşumu esnasında önemli ipuçları taşıdığına inanılan Higgs bozonunun CERN'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ) üzerinde bulunan CMS (Compact Muon Solenoid) ve ATLAS (A Torodial LHC ApparatuS) deneyleri tarafından keşfedilmesi ile eksik parçalarından birini tamamlamıştır. Higgs'in varlığı ilk kez 4 Temmuz 2012 ve daha sonra ilk kullanılan verinin 2.5 katına çıkarılıp tekrar analiz edilmesi sonucunda daha güçlü kanıtlarla 14 Mart 2013'de CERN basın sözcüsü tarafından dünyaya duyurulmuştur. Bu keşifle neden bazı parçacıkların kütesiz bazılarının kütleli olduğu, maddelerin neden bir yoğunluğa sahip oldukları ve yoğunluklarının maddeden maddeye nasıl değiştiği sorularının açıklık kazanacağı beklenmektedir. SM'de yanıt bekleyen başka problemler de vardır. Kuarklar ve leptonların bir alt yapıları var mı, onları oluşturan daha temel parçacıklar var mı? Şuan bildiğimiz madde modelin ilk lepton ve kuark ailesinden oluşuyor, o halde neden ikinci ve üçüncü aileler var? SM'de elektrozayıf ve güçlü kuvvetler çok yüksek enerjilerde ( $10^{15}$  GeV) birleşmemektedir. Ayrıca modelde fermiyon kütleleri ve bunların birbirleri ile olan karışımları rastlantısal gibi görünmektedir. Modelin bir diğer

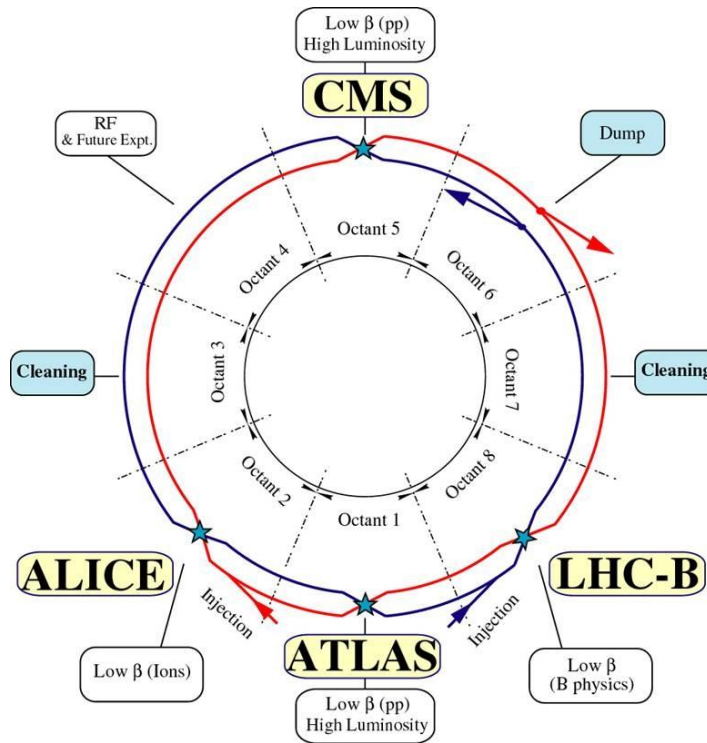
problemi evrende gözlemlenen madde - anti madde oranlarındaki dengesizliği açıklayamıyor olmasıdır. Büyük patlamadan sonra eşit olduğu düşünülen bu oran sıcaklığın hızla düşmesi ile madde lehine gelişmiştir. İçinde yaşadığımız evrende hemen hemen hiç anti madde yoktur. SM anti maddenin nasıl kaybolduğu sorusunun yanıtını verememektedir. Deney sonuçlarına dayanılarak modele 20 sabit yerleştirilmiştir. Bu sabit katsayıların değerleri model tarafından öngörülememektedir. Diğer taraftan kütle çekim kuvveti modele dahil edilememiştir. Evren üzerindeki kütle çekimi etkisi açıkça görülen “karanlık madde”nin yapısı nedir ve neden gözlenemiyor? sorularına yanıtız kalan SM bu kuvvet hakkında hiçbir şey söylememektedir. SM’in nötrinolar ile de ilgili problemleri vardır. Model nötrinoların kütesiz olduklarını öngörmektedir. Oysa yapılan deneyler nötrinoların kütle salınımı yaptıklarını ve çok küçük de olsa kütleyle sahip olduklarını göstermektedir ([http://tr.wikipedia.org/wiki/Standart\\_Model](http://tr.wikipedia.org/wiki/Standart_Model)). Veri alımına 2009 yılında başlayan CERN’deki BHÇ üzerinde bulunan deneylerin bu sorulara yanıt vermesi heyecan ve merakla beklenmektedir.

## 2.2. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ)

BHÇ, İsviçre ve Fransa sınırları arasında yerin 100 m altında inşa edilen eski LEP (Büyük Elektron Pozitron Çarpıştırıcısı) tüneline yerleştirilmiştir. BHÇ, bilinen en küçük parçacıkları incelemek ve yeni keşifler yapmak için kullanılan parçacık hızlandırıcısıdır. BHÇ’nin şematik yapısı Şekil 2.2’de gösterilmektedir.

BHÇ, çevresi 27 km olan bir dairesel hızlandırıcıdır ve dairesel halka boyunca parçacıkların enerjisini arttırmak için hızlandırıcı yapının büyük bir bölümü süperiletken mıknatıslarla çevrelenmiştir. Hızlandırıcı içinde iki parçacık demeti - ya protonlar ya da kurşun iyonları- birbirleri ile çarpışmadan önce yavaş yavaş hızlandırılarak enerjileri artırılmaktadır. Parçacık demetleri aynı boru içinde yüksek vakumda tutularak zıt yönlerde hareket etmektedir. Demetler, süperiletken elektromıknatıslar kullanılarak elde edilen çok güçlü bir manyetik alan tarafından hızlandırıcı halkada tutulmaktadır. Mıknatısların yaklaşık  $-271\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta olması gerekmektedir. Bu nedenle, mıknatıslar ve diğer materyal sisteminin

soğutulması için sıvı helyum dağıtım sistemi kullanılmaktadır. Farklı tipte ve büyüklükteki binlerce mıknatis hızlandırıcı etrafında demetleri yönlendirmektedir. Bunlar, demetleri bükme için 15 m uzunluğunda 1232 tane dipol mıknatis ve demetleri odaklamak için her biri 5-7 m uzunluğunda olan 392 tane kuadrapol mıknatistan oluşmuştur. Çarpışmadan hemen önce, çarpışma olasılığını arttırmak ve birbirlerine daha yakın olan parçacıkları “sıkıştırmak” için bir başka mıknatis tipi daha kullanılmaktadır (<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/HowLHC-en.html>).



Şekil 2.2. BHÇ'nin şematik yapısı (<http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/images/lhc-schematic.jpg>).

BHÇ'deki altı deney, tüm dünyadaki enstitü ve üniversitelerden katılan binlerce bilim insanının bir araya gelmesiyle oluşan uluslararası işbirliği ile yürütülmektedir. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi, ATLAS, CMS, ALICE (A Large Ion Collider Experiment) ve LHCb (A Large Hadron Collider beauty) dedektörleri BHÇ halkasının üzerinde bulunan çarpışma noktalarına yerleştirilmiştir (<http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/LHCExperiments-en.html>). ATLAS ve CMS genel amaçlı deneylerdir ve bu deneylerin ikisinin de proton - proton (p-p)

çarpışmaları için  $L = 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  ışıklılık değerine ulaşması beklenmektedir. B-fiziği araştırmaları için tasarlanan LHCb’de hedeflenen ışıklılık  $L = 10^{32} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ’dir. Küçük açılardaki esnek çarpışmalardan gelen protonları belirlemek için tasarlanan TOTEM (TOTAl Elastic and diffractive cross section Measurement) deneyinin  $L = 2 \times 10^{29} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  ışıklılık değerine ulaşması planlanmaktadır. Proton hüzmelerine ek olarak BHÇ’de ağır iyon (kurşun-kurşun) hüzmeleri de çarpıştırılmaktadır. BHÇ’deki ALICE deneyi ağır iyon çarpışmalarını araştırmaktadır. Kurşun - kurşun çarpışmalarından elde edilecek veriler ile  $L = 10^{27} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  ışıklılık değerine ulaşılacaktır (Evans ve Bryant, 2008).

BHÇ, kütle merkezi enerjisi 14 TeV’e kadar Standart Model ötesindeki fizik araştırmalarını yapmak üzere tasarlanmıştır. BHÇ çarpışmalarında saniyede üretilen olayların sayısı,

$$N_{\text{olay}} = L\sigma_{\text{olay}}$$

ile verilir. Burada  $\sigma_{\text{olay}}$  incelenen olay için tesir kesiti, L makinenin ışıklılığıdır. Makine ışıklılığı sadece hüzmeye parametrelerine bağlıdır ve bir Gaussian hüzmeye dağılımı için;

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

ifadesi yazılabilir. Burada  $N_b$  demet başına parçacık sayısı,  $n_b$  hüzmeye başına demet sayısı,  $f_{\text{dön}}$  dönme frekansı,  $\gamma_r$  relativistik gama faktörü,  $\epsilon_n$  enine hüzmeye yayma gücü,  $\beta^*$  çarpışma noktasındaki beta fonksiyonu ve F etkileşme noktasındaki kesit açısından dolayı geometrik ışıklılık indirgeme faktörüdür (Evans ve Bryant, 2008).

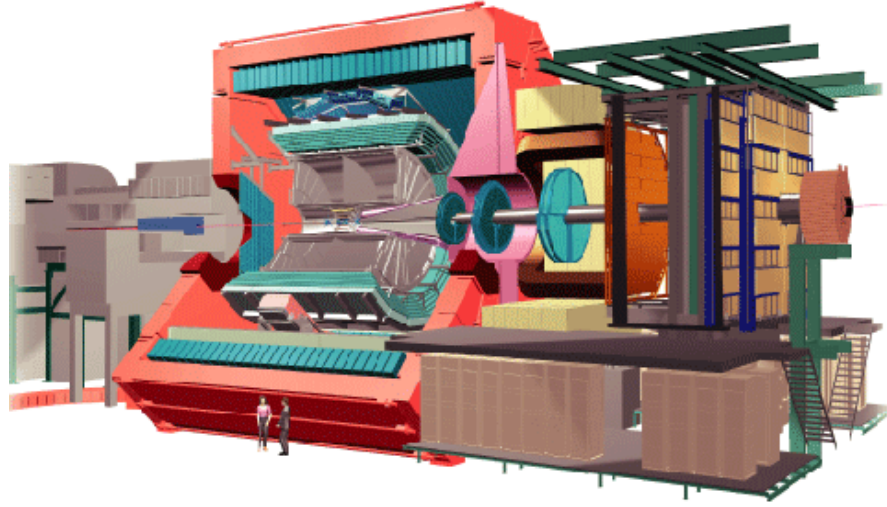
BHÇ’nin ilk fizik programı, 2009 yılında  $\sqrt{s} = 7$  TeV kütle merkezi enerjisindeki p-p çarpışmaları ile başlamıştır. 2011 yılsonu itibariyle, CMS tarafından  $6 \text{fb}^{-1}$

ışıklılıkla veri örneği toplanmıştır. Ağustos 2012’de kütle merkezi enerjisi 8 TeV’e çıkarılmıştır ve  $11 \text{ fb}^{-1}$  ışıklılık toplanmıştır. Anlık pik ışıklılığı yaklaşık olarak  $7 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ’dir. BHÇ ve enjeksiyon zinciri için mevcut planlama LS1, LS2, LS3 olarak adlandırılan üç uzun mola (ara) serisini öngörmektedir. LS1 Mart 2013 tarihinde başlamıştır, 2015 yılına kadar devam edecektir ve kütle merkezi enerjisinin 14 TeV’e ya da 14 TeV civarına kadar ulaşması planlanmaktadır. Planlara göre LS2, 2018 yılında başlayacaktır. Bu periyotta enjeksiyon zincirinin geliştirilmesi ve yüksek yoğunluklu - düşük yayma gücü olan çok parlak demetlerin BHÇ içine iletilmesi için BHÇ’nin iyileştirilmesi ve/veya geliştirilmesi gerekmektedir. LS3’ün 2022’de veri alımına başlaması ve etkileşme bölgesinde demetlerin üst üste binmesini optimize etmek için BHÇ’nin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. BHÇ’nin hedefi 25 ns demet geçişleri ile  $1 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  anlık ışıklılığa ulaşmaktır. LS1’den kısa bir süre sonra bu hedefin gerçekleşme olasılığının artacağı düşünülmektedir (Mans, 2012, CERN-LHCC-2012-015). Şimdi BHÇ halkası üzerinde bulunan deneyleri kısaca tanıyalım.

### 2.2.1. ALICE

Şekil 2.3’de gösterilen ALICE, on sekiz alt dedektörden oluşan büyük ve karmaşık bir dedektördür (CERN Brochure, 2010). ALICE 16 m yüksekliğinde, 26 m uzunluğunda, 16 m çapında ve 10000 ton ağırlığındadır.

ALICE deneyinin amacı laboratuvar ortamında Büyük Patlamadan hemen sonraki koşulları oluşturmaktır. Kurşun - kurşun çarpışmalarından elde edilen veriler Büyük Patlamadan hemen sonra var olduğuna inanılan kuark - gluon plazma yapısının anlaşılmasını sağlayacaktır.



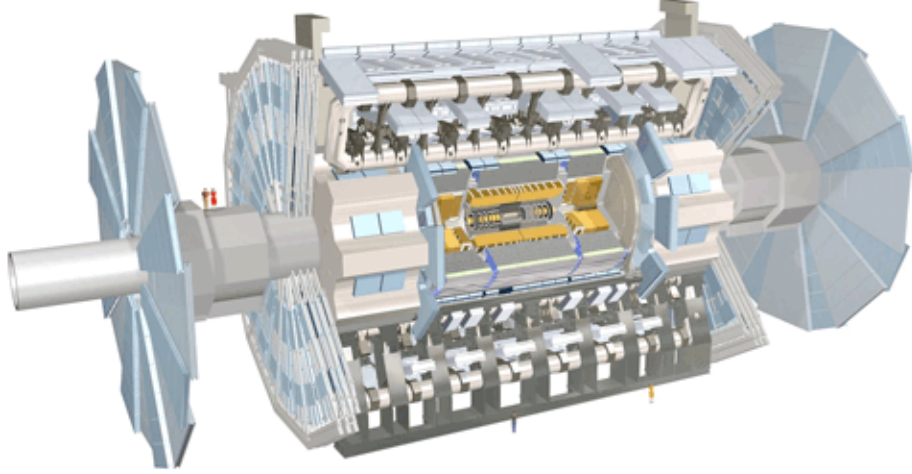
Şekil 2.3. ALICE Dedektörü (<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/ALICE-en.html>).

Bugünün evreninde tüm maddeler atomlardan meydana gelmektedir. Her atom, proton ve nötrondan oluşan bir çekirdekte ve bu çekirdeğin çevreleyen elektron bulutundan oluşmuştur. Protonlar ve nötronlar, gluonlar ile birbirine bağlanmış olan kuarklardan yapılmıştır. Bu oldukça güçlü bir bağdır ve kuarkların tek başına bulunamadığı bilinmektedir. BHC'deki çarpışmalar, Güneş merkezindeki sıcaklıktan 100.000 kez daha fazla sıcaklık oluşturacaktır. Fizikçiler bu koşullar altında proton ve nötronların “eriyeceğini” hatta kuarklar ile gluonların arasındaki bağın kopacağına inanmaktadır. Böylece Büyük Patlama sonrasında var olduğuna inanılan kuark - gluon plazma yapısının oluşacağı düşünülmektedir. ALICE deneyindeki araştırma sonuçlarının kuark - gluon plazma yapısı hakkında daha ayrıntılı bilgiler vermesi ve plazmanın bugünkü evreni oluşturan parçacıklara nasıl dönüştüğü sorusunu yanıtlaması merakla beklenmektedir (<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/ALICE-en.html>).

### 2.2.2. ATLAS

ATLAS, BHC'nin iki genel amaçlı deneyinden biridir. Deneyin ekstra boyutlar, Higgs bozonu, parçacık - anti parçacık asimetrisi (CP - Yük Eşlenikliği Parite Kırınımı), SUSİ (SÜperSİmetri) araştırmaları, karanlık madde ve karanlık

enerji araştırmalarından oluşan geniş bir fizik spektrumu vardır. ATLAS dedektörü diğer tüm parçacık dedektörleri gibi çarpışmalarda oluşan parçacıkların izlerini, enerjilerini ve parçacıklarının kimliklerini kayıt etmekte ve onlar hakkında bilgiler vermektedir.



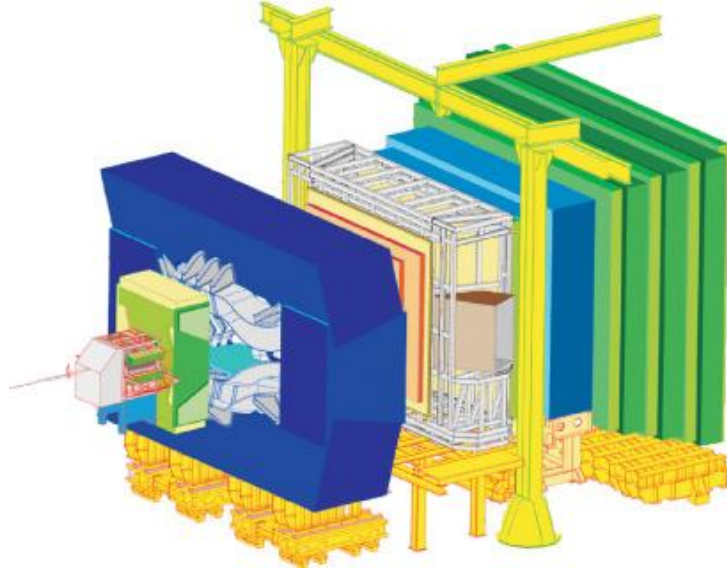
Şekil 2.4. ATLAS Dedektörü (<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/ATLAS-en.html>).

ATLAS dedektörü 46 m uzunluğunda, 25 m yüksekliğinde, 25 m genişliğinde olup 7000 ton ağırlığındadır. Deneyde 37 ülkeden 172 enstitüden 3000'den fazla bilim insanı çalışmaktadır. Şekil 2.4'de ATLAS dedektörü gösterilmektedir. Parçacıkları belirlemek, parçacıkların momentumunu ve enerjisini ölçmek için dedektör altı farklı alt sistemden oluşmuştur. ATLAS'da kullanılan büyük mıknatıs sistemi yüklü parçacıkların izlerini bükerek, parçacıkların momentumlarını ölçmektedir. ATLAS dedektöründeki etkileşmeler çok büyük bir veri akışı yaratacaktır. Bu verilerin derlenmesi için ATLAS'da çok gelişmiş bir tetikleyici, veri toplama sistemi ve geniş bir bilgisayar sistemi bulunmaktadır (<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/ATLAS-en.html>).

### 2.2.3. LHCb

LHCb deneyi, b kuarkı etkileşmelerini inceleyerek madde ve anti madde arasındaki küçük farkı araştırmak için tasarlanmıştır. Büyük patlamadan sonra madde

ve anti madde arasında bir asimetri oluşmuş ve içinde bulunduğumuz evrende anti madde yok olmuştur. İlk kez yüksüz kaon sisteminde deneysel olarak gözlenen CP kırılımını LHCb deneyinde b kuarkı içeren hadronlar dikkate alınarak araştırılmaktadır.



Şekil 2.5. LHCb Dedektörü (<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/LHCb-en.html>).

Şekil 2.5’de gösterilen LHCb dedektörü 21 m uzunluğunda, 10 m yüksekliğinde, 13 m genişliğinde olup 5600 ton ağırlığındadır. LHCb dedektöründe b-kuarkını varlayabilmek için, BHÇ’deki hüzmeye doğrultusu yakınlarına taşınabilir izleyici dedektörler yerleştirilmiştir. BHÇ’de bulunan diğer dedektörlerin aksine çarpışma noktasını çevreleyen kapalı bir dedektör yerine LHCb deneyinde temel parçacıkları algılamak için bir dizi alt dedektör kullanılmaktadır. (<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/LHCb-en.html>). LHCb’de kullanılan alt dedektörlerin görevleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- i. Köşe Bulucu: Çarpışma noktası ve b kuarklarının bozunduğu nokta arasındaki uzaklığı büyük bir hassasiyet ile ölçmek.
- ii. İki Çerenkov Dedektörü: Yüklü parçacıklar yoğun gaz karışımında ışığın bu ortamdaki hızından daha hızlı gittiğinde üretilen ışık konilerini ölçmek.
- iii. İzleyiciler: Dedektörden geçen yüklü parçacıkların konumlarını kaydetmek.

- iv. Kalorimetreler: Parçacıkların enerjisini ölçmek.
- v. Müon Sistemi: Çoğu b kuark bozunumlarının son aşamasında bulunan küçük fakat ağır elektron benzeri (müon) parçacıkları izlemek ve tespit etmek.
- vi. Miknatis: Yüklü parçacıkların yörüngelerini bükerek, parçacığın momentumunu belirlemek (CERN Brochure, 2009).

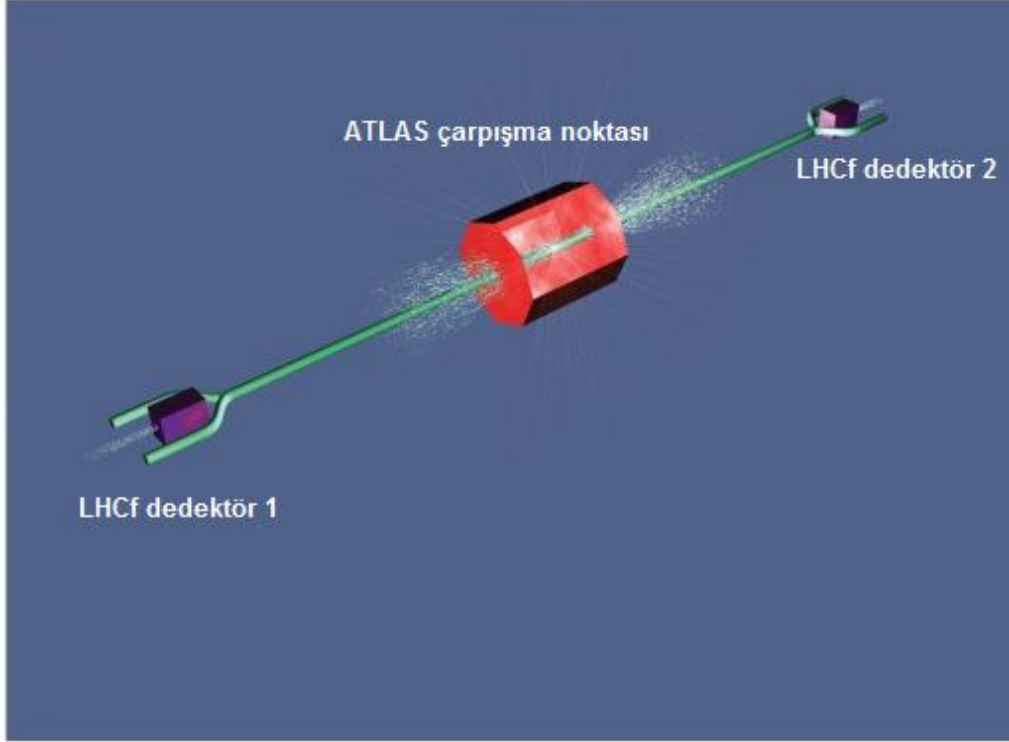
#### 2.2.4. LHCf

Kozmik ışınlar sürekli olarak dünyanın üst atmosferine ulaşmaktadır. Bu ışınlar atmosferin üst kısmında bulunan çekirdekler ile çarpışarak birçok ikincil parçacık üretirler ve bir parçacık duşu (çağlayanı) oluştururlar. Bu duş, parçacıklar yeryüzüne ulaşana kadar devam etmektedir. Parçacık duşunun boyutu kozmik ışının enerjisine bağlıdır. Kozmik ışın duşunda olduğu gibi BHÇ'deki kafa-kafaya çarpışmalar sonucunda ikincil parçacıklar ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan ikincil parçacıkları tespit etmek için BHÇ halkasının üzerine LHCf (The Large Hadron Collider forward Experiment) dedektörü yerleştirilmiştir. LHCf'den toplanan veriler, ultra yüksek enerjili kozmik ışınların atmosfere girerken oluşturacağı parçacıkları tanımlayan kuramsal modellerin doğruluğunu test etmek bakımından oldukça önemlidir.

Bir çarpışma sırasında birçok farklı parçacık her yöne dağılabilir, ancak yüksek enerjili parçacıklar hemen hemen BHÇ içindeki hüzmeler gibi aynı yönde dağılmaktadır. Bu sonuçlar gizemli kozmik ışınların kaynağı için yapılan araştırmalara yardımcı olacaktır. İleri yönde hareket eden parçacıkları tespit etmek için, BHÇ'deki dört büyük deneyden farklı olarak, LHCf çarpışma noktasından itibaren bir doğru boyunca yerleştirilmiştir.

İki bağımsız dedektörden oluşan LHCf Şekil 2.6'da görüldüğü gibi ATLAS dedektörünün her iki tarafında ve ondan 140 m uzaklıkta bulunmaktadır. Her iki dedektör de hüzmeye borusunun üzerindedir (CERN Brochure, 2009). Her dedektörünün uzunluğu 30 cm, yüksekliği 80 cm, genişliği 10 cm'dir. Dedektörlerin her ikisi de 40 kg'dır (<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/LHCf-en.html>). Dedektörlerin yerleştirildiği bu bölgede güçlü manyetik alandan etkilenmeyen

yüksüz parçacıklar araştırılmaktadır. LHCf nispeten düşük ışıklılıkta çalışacak şekilde tasarlanmıştır (CERN Brochure, 2009).



Şekil 2.6. LHCf Dedektörü (CERN Brochure, 2009).

### 2.2.5. TOTEM

BHÇ’de protonlar kafa kafaya çarpıştığında, bu çarpışmalar protonlar da dahil olmak üzere bir çok fizik konusunun araştırılması için bir mikro - laboratuvar görevi görmektedir. TOTEM deneyi, BHÇ çarpışmalarında ortaya çıkan ve proton hüzmeleri ile aynı yönde olan parçacıkları hassas bir biçimde kaydetmektedir. TOTEM, p - p çarpışmaları için tesir kesiti ve toplam olasılık ölçümleri için oldukça önemlidir (CERN Brochure, 2012). Ayrıca TOTEM deneyinde geniş bir dik momentum aralığındaki esnek saçılmalara bakılarak protonun yapısı tekrar araştırılmaktadır (<http://totem-experiment.web.cern.ch/totem-experiment/physics/>).

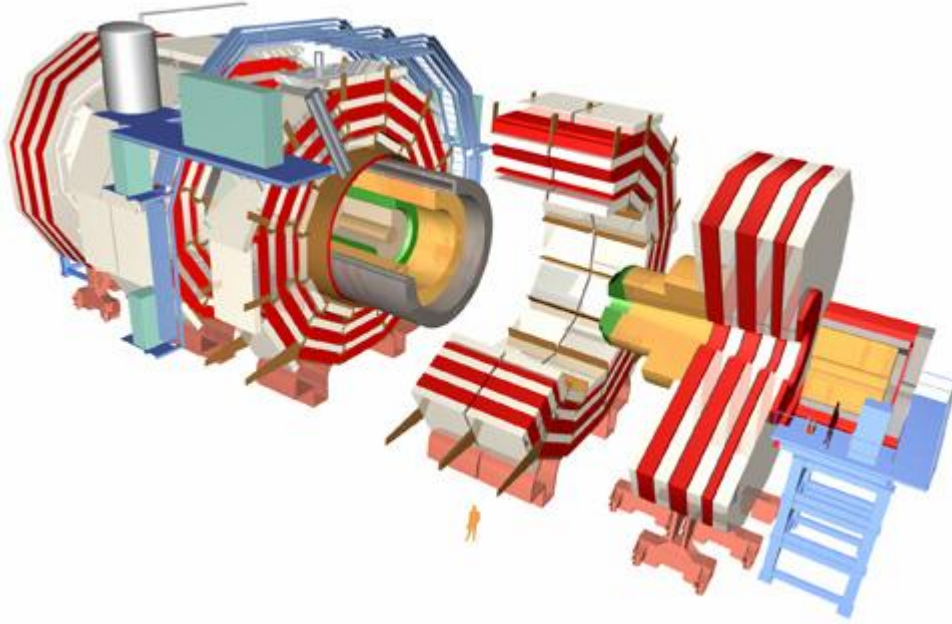
TOTEM, CMS deneyinin etkileşme noktasının her iki tarafında bulunmaktadır. Her yöndeki yüklü parçacıkları izlemek için iki “teleskop” ve esnek

çarpışma yapan protonları belirlemek için Roman pot'lar kullanılmaktadır. Deney 440 m'ye yayılır, yüksekliği 5 m ve genişliği 5 m olan dedektörün toplam ağırlığı 20 tondur (<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/TOTEM-en.html>).

### 2.3 CMS

CMS, ATLAS deneyi gibi genel amaçlı bir dedektördür ve BHC'nin P5 bölümüne yerleştirilmiştir. CMS dedektörü geniş bir enerji aralığında müonları, elektronları, fotonları ve jetleri belirlemek ve bu parçacıkların hassas ölçümleri ile yeni fiziğin farklı imzalarını tespit etmeyi amaçlamaktadır. CMS dedektörü, yaklaşık  $L = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ışıklılık ile  $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$  kütle merkezi enerjisinde p-p çarpışmalarını yeniden yapılandırmak ve kaydetmek için tasarlanmıştır. CMS dedektörünün ana parçasını 4 T'luk manyetik alan üreten süperiletken solenoid mıknatıs oluşturmaktadır. Solenoidin içinde, dışarıdan içeriye doğru sırasıyla tamamen hermitik bir yapıya sahip olan pirinç – sintilatörlü hadronik kalorimetre, yüksek tanecikli kristal bir elektromanyetik kalorimetre ve silikon izleyici bulunmaktadır. Solenoidin dışında ise demir boyunduruğun içine gömülü olacak biçimde yerleştirilen müonları saptayan, müonların yörüngelerini ve momentumlarını yeniden oluşturmak için iç izleyici ve Müon Sistemi denilen gaz dedektörleri vardır.

CMS, 28.7 m uzunluğunda, 15 m yüksekliğinde, 15 m genişliğinde olup 14000 ton ağırlığındadır. Bu deneyde dünyadaki 41 ülkeden 189 enstitüden 3300'den fazla bilim insanı ve mühendis çalışmaktadır. Şekil 2.7'de CMS dedektörü gösterilmektedir (Focardi, 2011).

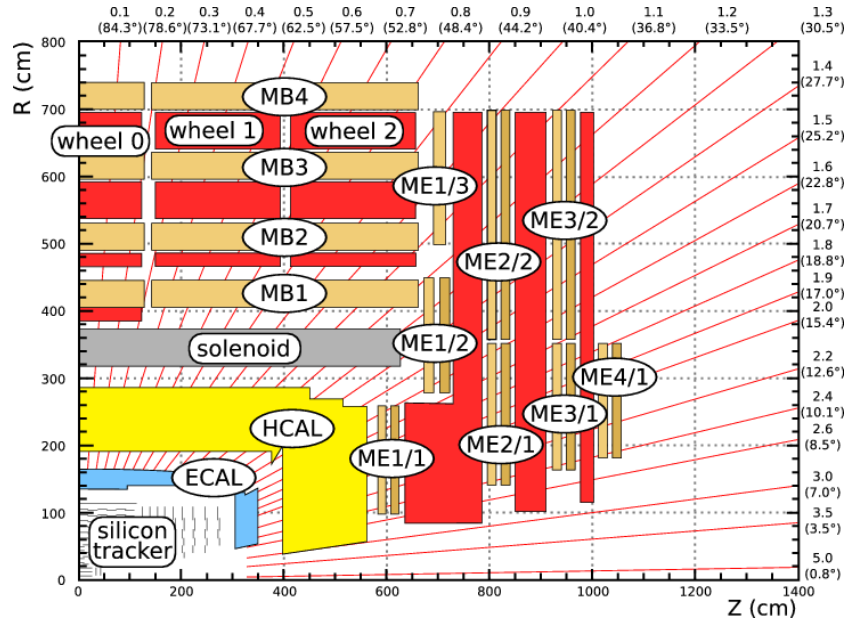


Şekil 2.7. CMS Dedektörü ([http://irfu.cea.fr/Images/astImg/839\\_2.jpg](http://irfu.cea.fr/Images/astImg/839_2.jpg)).

### 2.3.1. Koordinat Kuralları

CMS tarafından kabul edilen koordinat sisteminde, deney içinde çarpışma noktası orijin olarak kabul edilmiştir.  $y$  - eksenini düşey olarak yukarı yönü ve  $x$  - eksenini yarıçap doğrultusunda radyal olarak BHC'nin merkezini işaret etmektedir. Böylece,  $z$  - eksenini hüzme doğrultusunu göstermektedir. Azimutal açı  $\phi$ ,  $x - y$  düzlemindeki  $x$  - ekseninden, polar açı  $\theta$  ise  $z$  - ekseninden ölçülmektedir. Psüdorapidite  $\eta = -\ln(\theta/2)$  denklemi ile tanımlanır.  $p_T$  ve  $E_T$  ile ifade edilen dik momentum ve enerji, hüzme boyunca ölçülmektedir. Dik momentum ve enerji, sırasıyla  $x$  ve  $y$  bileşenlerinden hesaplanmaktadır. Dik düzlemdeki enerji kaybı, kayıp dik enerji ( $E_T^{kyp}$ ) olarak ifade edilmektedir.

CMS dedektörünün dörtte birinin enine kesiti bazı boyutlar ve üst üste bindirilmiş sabit  $\eta$  çizgileriyle birlikte Şekil 2.8'de gösterilmiştir (CMS TDR, 2006).



Şekil 2.8. CMS deneyinin dörtte birinin enine kesiti ([http://inspirehep.net/record/837837/files/Figures\\_cms\\_quadrant.png](http://inspirehep.net/record/837837/files/Figures_cms_quadrant.png)).

### 2.3.2. CMS'in Alt Dedektörleri

CMS dedektörünün en önemli amaçlarından biri müonları belirlemektir. Bundan dolayı deneyde müonların momentumunu en iyi biçimde ölçmek ve gereken manyetik alanı oluşturmak için mıknatıs olarak süperiletken solenoid seçilmiştir. Geometriyi tam olarak sarması için dört müon istasyonuna yerleştirilen mıknatıs 1.5 m'lik demir yapıyı kapsayacak biçimde tasarlanmıştır.

Manyetik bobinin içinde iç izleyici ve kalorimetreler bulunmaktadır. Silindirik iç izleyicinin uzunluğu 6 m ve çapı 2.6 m'dir. Yüksek iz çokluluğunu belirlemek için iç izleyicide tanecikli yapı ve hassaslık gerektiren on tabakalı silikon mikro şerit dedektör kullanılmıştır. Yüklü parçacık izlerinin vuruş parametrelerini ve ikincil köşelerin pozisyonlarını büyük bir hassaslıkla belirlemek için üç silikon piksel tabaka etkileşme bölgesinin yakınlarına yerleştirilmiştir. Daha sonra parçacıklar enerjilerini bıraktıkları kalorimetre sistemlerine ulaşırlar: Elektromanyetik kalorimetre (EKAL)'de elektronların ve fotonların enerjisini ölçmek için kurşun tungsten ( $PbWO_4$ ) kristalleri kullanılmaktadır. EKAL bir pirinç - çelik/sintilatör olan örnekleme hadronik kalorimetre (HKAL) ile kuşatılmıştır. Dik enerji ölçümleri

için geometrik olarak tam bir kapsama sağlamak amacıyla ileri kalorimetreler merkezi kalorimetrelerin her iki yanına yerleştirilmiştir (Focardi, 2011).

### 2.3.2.1. İzleyici Sistem

Yüklü bir parçacığı varlayabilmek, etkileşimlerin birincil ve ikincil köşe noktalarını hassas biçimde yeniden oluşturmak için güçlü bir manyetik alanla birlikte sağlam ve iyi tasarlanmış bir izleyiciye ihtiyaç duyulmuştur. Özellikle W ve Z bozonu gibi ayar bozanlarını içeren olayların belirlenmesi ve bu olayların leptonik bozunumları temiz deneysel sinyaller sağlar. Merkezi izleyicinin leptonik kanallardan gelen parçacık imzalarından yararlanabilmek için CMS'in izleyici sistemi enerjistik leptonların momentumlarını hassas olarak ölçecek biçimde tasarlanmıştır. CMS deneyinde müon momentumlarını geniş bir kinematik bölgede büyük bir hassaslıkla ölçmek için izleyici ölçümlerinden elde edilen izler, dış müon sisteminden elde edilen izler ile bir araya getirilmektedir.

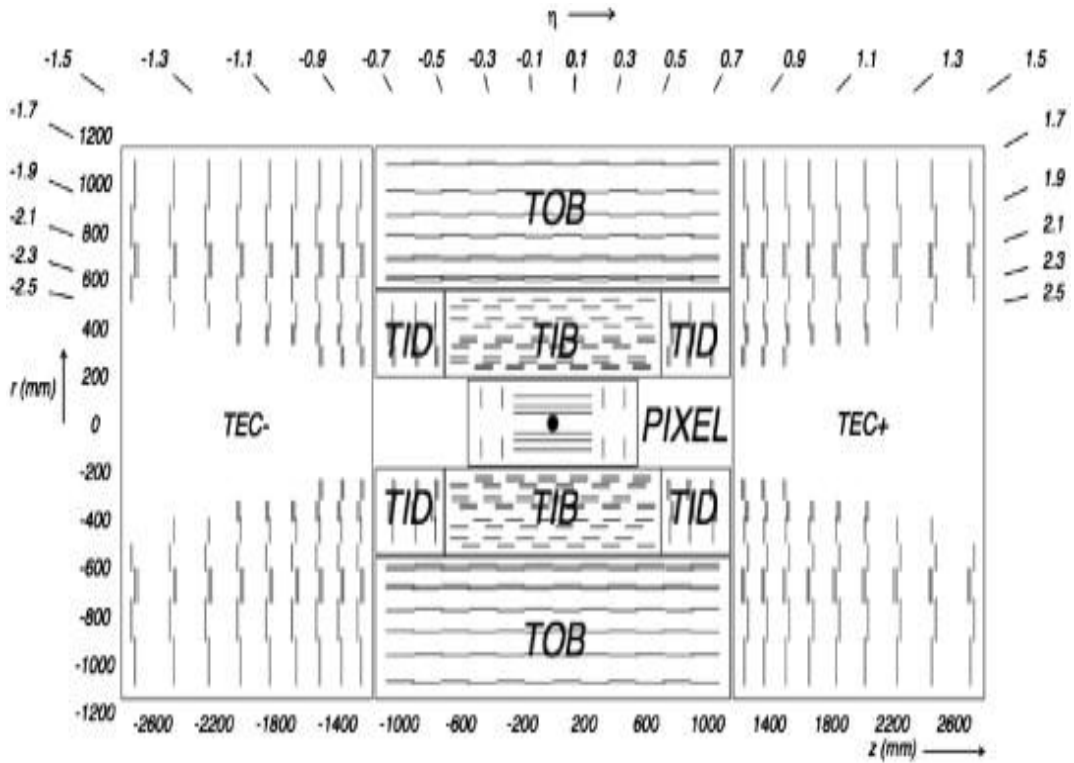
Silikon izleyici çok yüksek miktarda radyasyona maruz kalmaktadır. Bundan dolayı izleyici, BHÇ sisteminin yaklaşık on yıl boyunca kararlı çalışma koşullarını sağlayacak ve çok yüksek radyasyona karşı dayanıklı olacak şekilde yapılandırılmıştır.

CMS izleyicisi, yarıçapları 4.4 cm ve 10.2 cm olan üç fiç katmanlı bir silikon piksel dedektörden ve etkileşme noktasının her iki yanında bulunan iki uç kapak diskinden oluşmuştur. CMS izleyicisinin psüdorapidite aralığını  $|\eta| < 2.5$ 'a kadar uzatabilmek için izleyiciye silikon şerit izleyici yerleştirilmiştir. Bu şerit izleyici on fiç tabakası ve her iki tarafta bulunan 12 diskten oluşmuştur.

Silikon Şerit İzleyici (SST); iç fiç (TIB), iç diskler (TID), dış fiç (TOB) ve dış kapaklar (TEC) olmak üzere dört alt sistemden meydana gelmiştir. Toplam aktif yüzey alanı yaklaşık  $207 \text{ m}^2$ 'dir. Bu dünyada şimdiye kadar yapılan en büyük silikon izleyicidir. 24440 farklı aralıkla donatılmış şerit izleyicinin boyutu  $80 \mu\text{m}$ 'den  $180 \mu\text{m}$ 'e kadar değişmektedir.

1440 piksel modülün her birinin boyutu  $100 \times 150 \mu\text{m}^2$ 'dir ve yaklaşık 15840 okuma çipi bulunmaktadır. Bu yaklaşık 66 M kanala karşılık gelmektedir. Diğer taraftan şerit izleyicide farklı kalınlıklarda 24440 tane sensör vardır ve bu sensörlerin boyutları  $300 \mu\text{m}$  ile  $500 \mu\text{m}$  arasında değişmektedir.

Fıçı bölgesinde dört katmanlı, kapak bölgesinde üç halkalı, şerit izleyicide üç boyutlu hit oluşturmak için şeritler arasına  $100 \text{ mrad}$ 'lık stereo açısı ile yerleştirilen sensörler bulunmaktadır. Şekil 2.9'da izleyici gösterilmektedir (Focardi, 2011).



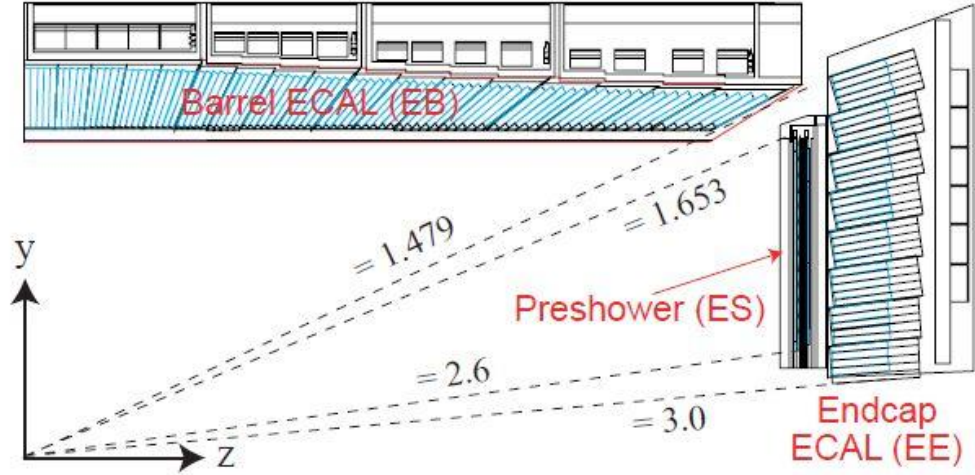
Şekil 2.9. CMS İzleyici Sistemi'nin şematik gösterimi. Her çizgi bir dedektör modülünü temsil etmektedir. Çift çizgiler, stereo hitlerin sağladığı iki taraflı modülleri göstermektedir (<http://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0168900212005657-gr5.jpg>).

### 2.3.2.2. Kalorimetreler

CMS'in çok yüksek performanslı bir elektromanyetik kalorimetreye sahip olması hedeflenmiştir. Tasarlanan ışıldayıcı kristal kalorimetre, kristal hacmi içinde biriken bütün elektron ve fotonların enerji çözünürlüğü için mükemmel bir

performans sağlamaktadır. CMS'den beklenen sıkı kalorimetre sistemine ulaşmak için yüksek yoğunluklu, küçük Moliere yarıçaplı ve kısa radyasyon uzunluğuna sahip olan kurşun tungsten ( $\text{PbWO}_4$ ) kristalleri kullanılmıştır. Yüksek çözünürlüklü elektromanyetik kristal kalorimetre, BHÇ'de başlangıçtaki düşük ışıklılık çalışmalarında Higgs parçacığının  $H \rightarrow \gamma\gamma$  kanalında keşfedilme olasılığını artırmaktadır (CMS Detector Posters, ECAL, 2000).  $H \rightarrow \gamma\gamma$  kanalındaki analizler düşük kütleli Higgs'i keşfetmek ve BHÇ'deki hassas Higgs kütle ölçümleri için en umut verici kanallarından biri olmuştur. Son üç yılda alınan verilerin analizleri sonucunda Higgs parçacığının varlığı kanıtlanmıştır. SM Higgs bozonunu keşfetmek için  $\sqrt{s} = 7$  TeV ve 8 TeV kütle merkezi enerjisine sahip p-p çarpışmalarından elde edilen deneysel veriler kullanılmıştır. p-p çarpışmaları ile CMS deneyinde 7 TeV'de  $5.1 \text{ fb}^{-1}$ , 8 TeV'de  $19.6 \text{ fb}^{-1}$  bütünleşik ışıklılığa karşılık gelen veri toplanmıştır. Elde edilen tüm veriler ile  $\gamma\gamma$ ,  $ZZ$ ,  $W^+W^-$ ,  $\tau^+\tau^-$  ve  $b\bar{b}$  bozunum kanallarında SM Higgs bozonu araştırılmıştır. Bu bozunum kanalları kullanılarak yapılan analizler kütlesi 125 GeV civarında yeni bir parçacığın varlığını işaret etmiştir. Yeni parçacık beklenen fon olaylarının üzerinde yeterli veriyle  $5.0\sigma$  anlamlılığı ile keşfedilmiştir. SM Higgs bozonunun kütlesi için beklenen yerel anlamlılık  $5.8\sigma$ 'dır. Yeni parçacığın keşfinden en iyi kütle çözünürlüğünü veren iki kanal sırasıyla  $\gamma\gamma$  ve  $ZZ$ 'dir. İki kanaldan alınan sonuçlar Higgs'in  $125.3 \pm 0.4(\text{ista.}) \pm 0.5(\text{sist.})$  kütleyle sahip olduğunu göstermektedir. Bulunan parçacık bir bozondur ve spini 1'den farklıdır (CMS Collaboration, 2013, CMS-HIG-12-028).

$H \rightarrow \gamma\gamma$  bozunum kanalı, CMS'in elektromanyetik kalorimetresinin tasarımı için önemli bir motivasyon oluşturmaktadır. Bu kanal, yüksek saflık ve verimlilik ile fotonların belirlenmesi için mükemmel bir değerlendirme kanalı olup EKAL'in enerji çözünürlüğü ve kalibrasyonunu optimize etmek için kullanılmaktadır (CMS Collaboration, 2006, CERN/LHCC 2006-021).



Şekil 2.10. CMS EKAL'in yapısı (CMS TDR, 2006).

EKAL  $\sim 76000$  kurşun tungsten ( $\text{PbWO}_4$ ) sintilatör kristalinden yapılmıştır. EKAL her biri 1700 kristal içeren 36 süper modülden oluşan merkezi fiçı bölgesi (EB) ve her biri 7324 kristal içeren iki kapak (EE) kısmından oluşmuştur. Sintilasyon ışığı, fiçıda çığ foto diyot (APD)'lar ve kapak kısmında vakum foto triyot (VPT)'lar ile okunmaktadır.

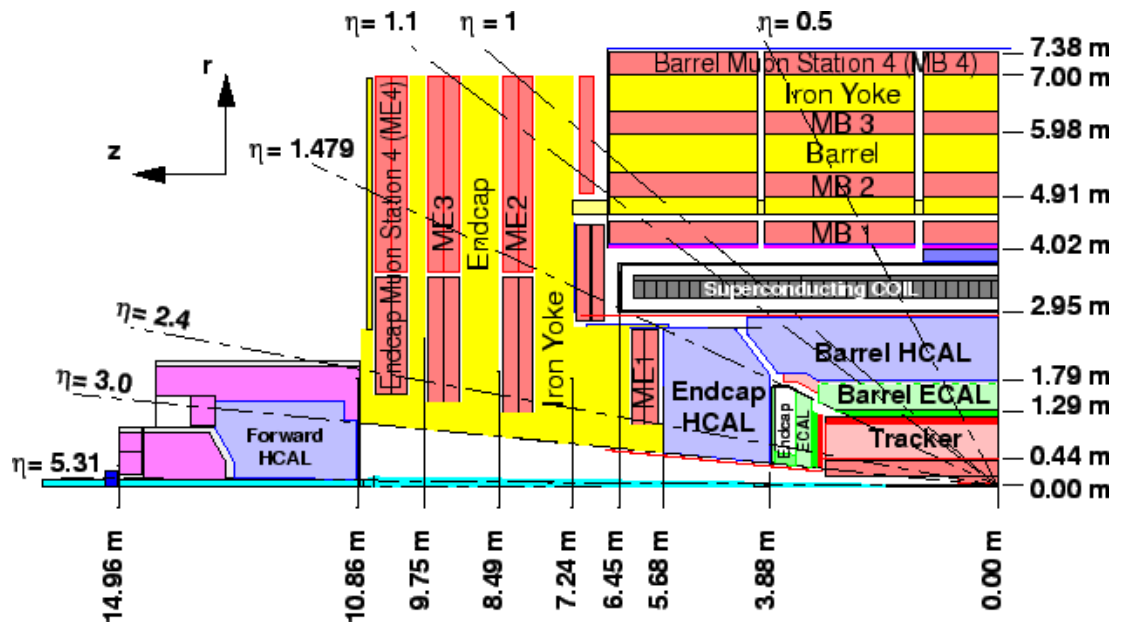
Silikon ön duş dedektörü (ES), EKAL'in kapak kısmının önünde bulunmaktadır. EB'nin psüdorapidite aralığı  $|\eta| < 1.48$  ve EE'nin psüdorapidite aralığı ise  $|\eta| = 3.0$ 'a kadar uzanmaktadır. ES  $1.65 < \eta < 2.6$  aralığını kapsamaktadır. EKAL'in çeyrek bölümünün boyuna görünümü Şekil 2.10'da verilmiştir (Focardi, 2011).

Elektron hüzmeleri kullanılarak yapılan testlerde EKAL için enerji çözünürlüğü, kristallerin merkezindeki elektron olayları için aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$\left(\frac{\sigma}{E}\right)^2 = \left(\frac{S}{\sqrt{E}}\right)^2 + \left(\frac{N}{E}\right)^2 + C^2$$

Burada S stokastik (rastgele) terim, N gürültü terimi ve C sabit terimi göstermektedir.

CMS deneyinde kullanılan hadronik kalorimetre (HKAL) olaylardaki kayıp dik enerjiyi ölçmekle birlikte, jetlerin enerjisini ve yönünü de ölçerek kuarkların, gluonların ve nötrinoların belirlenmesinde ve ölçülmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca HKAL, izleyici, elektromanyetik kalorimetre ve müon sistemi ile birlikte elektronlar, fotonlar ve müonların tanımlanmasına büyük katkıda bulunmaktadır (CMS Detector Posters, HCAL, 2000). HKAL bir örnekleme kalorimetresidir ve  $|\eta| < 5.2$  psüdorapidite bölgesini kapsamaktadır (Focardi, 2011).



Şekil 2.11. CMS HKAL dedektörünün boyuna görünümü (<http://www.hephy.at/user/friedl/diss/html/img41.gif>).

Şekil 2.11'de görüldüğü gibi HKAL, dört alt dedektörden oluşmuştur:

- Hadronik fiç (HB), mıknatıs bobinin içine yerleştirilmiştir ve merkezi psüdorapidite aralığı  $|\eta| < 1.3$ 'dir.
- Hadronik kapak (HE) mıknatıs bobinin içinde bulunmaktadır. HE, iki kapaktan oluşmaktadır ve  $1.3 < |\eta| < 3$  psüdorapidite aralığını kapsamaktadır.

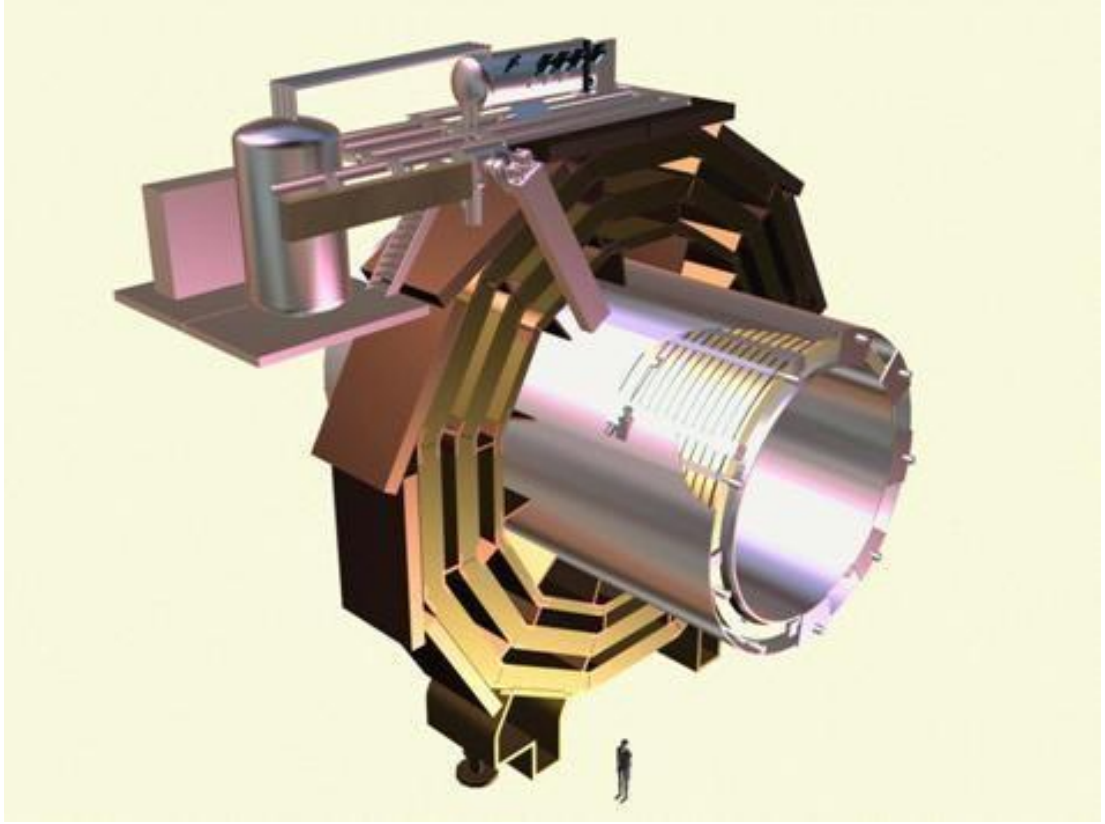
- Hadronik dış kalorimetre (HO) fiçı bölgesinde, mıknatıs bobinin dışına yerleştirilmiştir. HO nükleer etkileşme uzunluğu ( $\lambda_l$ ) açısından kalorimetrenin derinliğini arttırmak için gereklidir.
- İki modülden oluşan Hadronik İleri Kalorimetre (HF) mıknatıs bobinin dışında yer almaktadır. İki HF dedektörü hüzme yönü boyunca etkileşme noktasından  $\pm 11.2$  m uzaklığa yerleştirilmiştir.

HB ve HE, 4/7.5 cm kalınlığındaki pirinç veya paslanmaz çelik soğurucular ile 3.7 mm kalınlığındaki plastik sintilatör levhalarından oluşan örnekleme kalorimetreleridir. HB, HE ve HF kanallarının % 99.75'inden daha fazlası çalışır durumdadır.

### 2.3.2.3. Mıknatıs

Dedektör tasarımında en önemli unsurlardan biri dedektörün yapılandırması ve manyetik alan parametreleridir. Dedektördeki yüklü parçacıkların momentumlarının ölçülmesi onların yörüngelerinin bükülmesine bağlıdır. Tüm solenoid sisteminin bükme gücü toroid sisteme göre daha küçüktür. Bu nedenle CMS'de çok yüksek manyetik alan (4T) sağlayan bir solenoid kullanılmaktadır (CMS Detector Posters, Magnet Field, 2000). ATLAS ise toroid mıknatıs kullanmaktadır.

CMS'in mıknatısı, 12.5 m uzunluğunda, 6.3 m çapındaki solenoid süperiletkendir (Şekil 2.12). Bobin, her biri 2.5 m uzunluğundaki 5 modülden oluşmuştur. İzleyici sistem, EKAL ve HKAL mıknatısın içinde bulunmaktadır (Focardi, 2011).



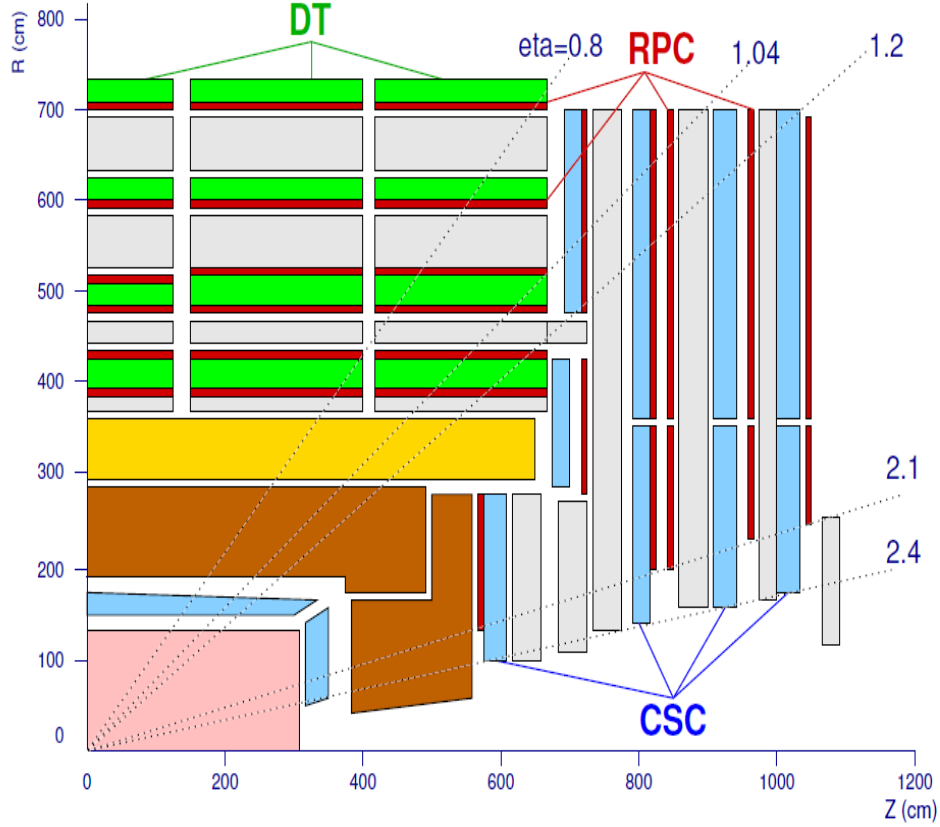
Şekil 2.12. CMS dedektörünün Süperiletken Mıknatısı ([http://irfu.cea.fr/Images/astImg/2261\\_1.jpg](http://irfu.cea.fr/Images/astImg/2261_1.jpg)).

#### 2.3.2.4. Müon sistemi

Müonların çok kapsamlı fizik süreçleri için temiz imzalar sağlaması beklenmektedir. Müon sisteminin görevi, izleyici ile birlikte müonları belirlemek ve müonların momentumunu hassas bir biçimde ölçmektir. Müon dedektörleri kalorimetrelerin ve bobinin arkasına yerleştirilmiştir (CMS Detector Posters, MuSystem, 2000). Solenoid mıknatısın geometrisinden dolayı, müon sistemi silindirik bir fiçı biçimdedir. Fiçı iki düzlemsel kapak bölgesi ile kapatılmıştır. Müonları belirlemek için Şekil 2.13’de gösterildiği gibi CMS’de üç tip gaz parçacık dedektörü kullanılmıştır:

- Merkez fiçı bölgesinde Sürüklenme Tüpleri (DT),
- Kapak bölgesinde Katot Şerit Odaları (CSC),

- Hem kapak hem de fiçı bölgesinde Dirençli Paralel levhalı odalar (RPC) yer almaktadır (Focardi, 2011) .



Şekil 2.13. CMS'in Müon Sistemi.

DT vs CSC dedektörleri parçacıkların konumunu tam olarak ölçmek için kullanılmaktadır. Böylece müonların momentumları da hassas biçimde ölçülmektedir. RPC odaları Seviye - 1 tetikleyicilere hızlı bilgi sağlamak için kullanılmaktadır (CMS Detector Posters, MuDetectors, 2000).

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Hadronik Kalorimetre (HKAL)

CMS dedektörü yüksek enerjili çeşitli son durumların imzalarını araştırmak üzere tasarlanmıştır. HKAL'in mükemmel jet çözünürlüğünün olmasına, jetlerin yönünü ve kayıp dik enerjisi (MET) hassas ölçecek biçimde yapılandırılmasına dikkat edilmiştir. Bu nedenle HKAL, hadron jetleri ve nötrinolar veya egzotik parçacıkların ölçümü için önemli bir dedektördür.

Şekil 3.1, CMS dedektörünün boyuna kesitini göstermektedir. Kesikli çizgiler sabit  $\eta$  değerleridir. HKAL'in fiçı ile kapak bölümü, etkileşim noktası referans alındığında, izleyici ve EKAL'in hemen arkasında yer almaktadır. Hadronik fiçı (HB), radyal olarak EKAL'in en dış katmanı ( $R = 1.77$  m) ve mıknatıs bobinin iç katmanı ( $R = 2.95$  m) ile sınırlandırılmıştır. Bu sınırlandırmadan dolayı HB, geç başlayan hadronik duşları durdurmakta yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle solenoidin dışına fiçı kalorimetresini tamamlayıcı bir hadronik dış kalorimetre (HO) veya diğer bir adıyla kuyruk yakalayıcı yerleştirilmiştir.  $|\eta| = 3$  değerinden büyük bölgelere yerleştirilen ileri kalorimetre (HF)'ler etkileşim noktasının 11.2 m uzağındadır. Çerenkov ışınımına dayalı olarak işletilen HF'in radyasyona dayanıklı olması sağlanarak psüдорapidite aralığı  $|\eta| = 5.2$ 'e kadar uzatılmıştır (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

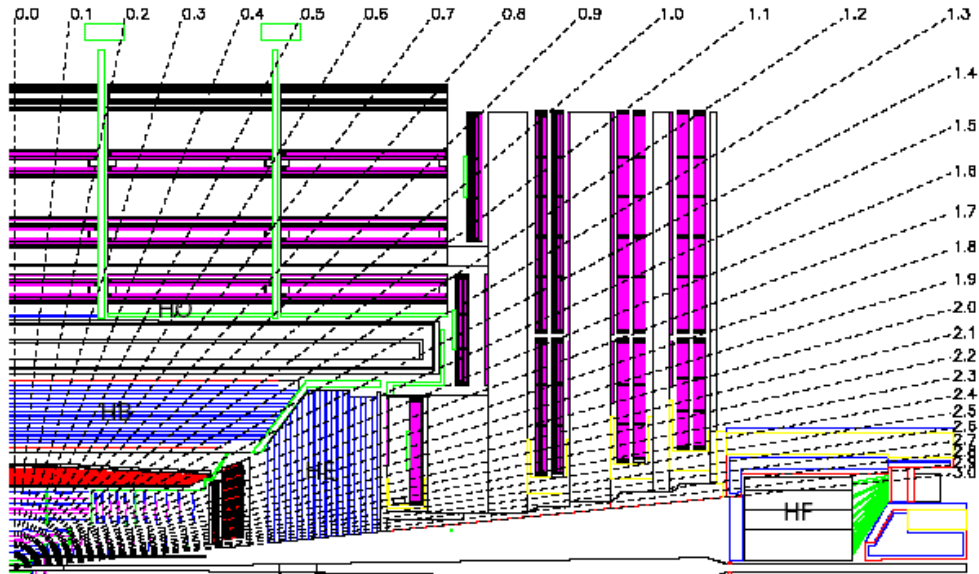
HKAL ile birlikte EKAL'in enerji çözünürlüğü aşağıdaki gibi verilebilir.

$$\left(\frac{\sigma}{E}\right) \approx \frac{\%100}{\sqrt{E}} \oplus \%45 \quad (3.1)$$

HF'in enerji çözünürlüğü hadron ve elektronlar için Denklem 3.2 ve Denklem 3.3'deki gibidir.

$$\left(\frac{\sigma}{E}\right) \approx \frac{1.82}{E} \oplus \%0.09 \text{ Hadronlar} \quad (3.2)$$

$$\left(\frac{\sigma}{E}\right) \approx \frac{1.38}{\sqrt{E}} \oplus \%0.05 \text{ Elektronlar} \quad (3.3)$$

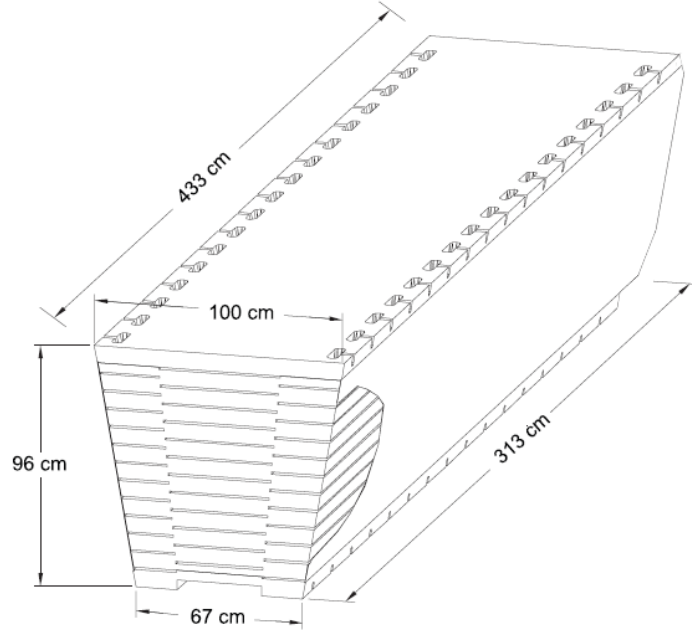


Şekil 3.1. CMS dedektörünün boyuna görünümü. HB, HE, HO ve HF'in CMS'deki yerleri (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

### 3.1.1. Hadronik Fıçı (HB) Kalorimetre

HB kalorimetresi  $-1.3 < \eta < 1.3$  psüdorapidite aralığını kapsamaktadır. İki yarım fıçıdan (HB+ ve HB-) oluşan HB'de her biri  $20^\circ$ 'lik azimutal açıya ( $\Delta\phi = 20^\circ$ ) sahip 36 özdeş kama bulunmaktadır. Her kama dört azimutal ( $\Delta\phi = 5^\circ$ ) sektörden oluşmuştur. En içteki ve en dıştaki plakalar, yapısal desteği sağlamak için paslanmaz çelikten yapılmıştır. Sintilatör 16  $\eta$  sektörüne ayrılmıştır ve bu ayrılma sonucunda HB,  $(\Delta\eta, \Delta\phi) = (0.087, 0.087)$  bölmelerinden oluşmuştur. Kamalar birbirlerine civata ile bağlıdır. Kamalar arasındaki aralık 2 mm'den daha azdır. Bir önceki bölümde bahsedildiği gibi, HKAL bir örnekleme kalorimetre olup dedektörde

pasif materyal olarak soğurucu malzemeler, aktif materyal olarak sintilatörler kullanılmıştır. HKAL’i oluşturan ana dedektör birimleri aşağıda özetlenmiştir.



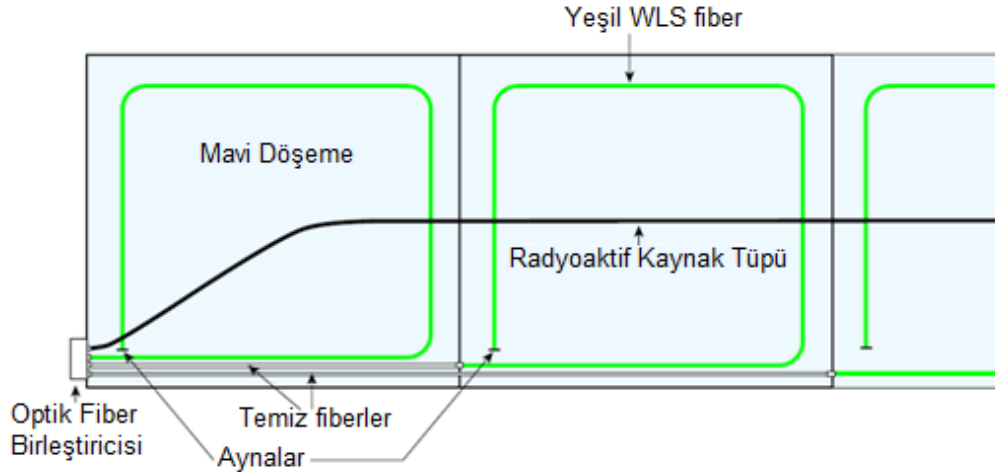
Şekil 3.2. Bir HB kamasının izometrik görünüşü (CMS HCAL Collaboration, 2006, CMS Note 2006/138).

**Soğurucu Yapı:** Soğurucunun ilk katmanı 40 mm kalınlığındaki çelik plakadır, bu plakayı sekiz tane 50.5 mm kalınlığında çelik plaka, daha sonra 56.5 mm kalınlığında pirinç plaka ve son olarak 75 mm kalınlığında bir başka çelik plaka takip etmektedir.  $90^\circ$ ’deki toplam soğurucu kalınlığı 5.82 nükleer etkileşme uzunluğuna ( $\lambda_I$ ) sahiptir. HB kalorimetresinin etkin kalınlığı polar açı ile artmaktadır ve  $|\eta|=1.3$ ’deki değeri  $10.6 \lambda_I$ ’dir.

C26000 (pirinç kartuş) olarak bilinen pirinç soğurucu, %70 bakır (Cu) ve %30 çinko (Zn)’dan yapılmıştır. Soğurucunun radyasyon uzunluğu  $X_0=1.49$  cm olup nükleer etkileşme uzunluğu  $\lambda_I=16.42$  cm’dir (CMS HCAL Collaboration, 2006, CMS Note 2006/138).

**Sintilatör Yapı:** HKAL’in aktif materyali yaklaşık 70000 tane olan sintilatör döşemelerdir. Farklı fiziksel elemanların sayısını sınırlamak için belirli bir azimutal bölüm ve derinlik katmanındaki döşemeler tek bir sintilatör biriminde gruplanarak

tablalar oluşturulmuştur. Tipik bir tabla Şekil 3.3’de gösterilmektedir. Her bir sintilatör tabla ve optik okuma zinciri soğurucu yapının içine yerleştirilmeden önce çeşitli testlerden geçirilmiştir.



Şekil 3.3. Sintilatör tablanın bir kısmının şematik görünüşü, WLS fiberleri, saydam fiberler ve radyoaktif kaynak tüplerinin yerleri şekilde görüldüğü gibidir (CMS HCAL Collaboration, 2006, CMS Note 2006/138).

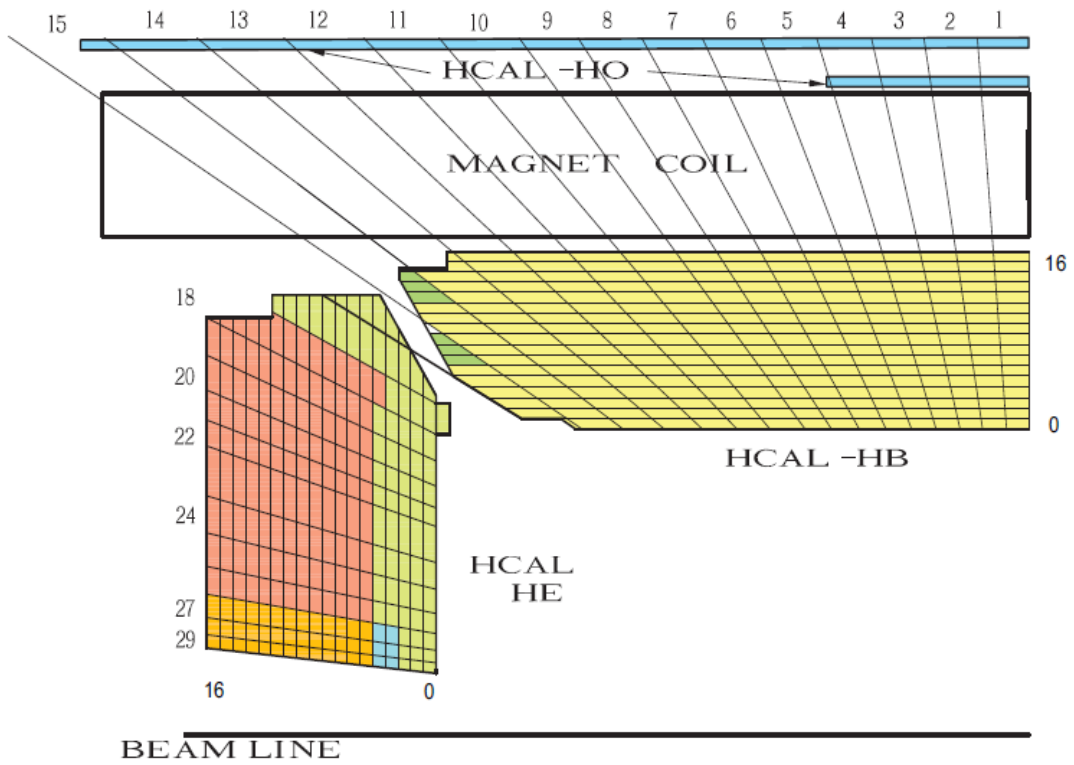
Uzun süreli kararlılık ve uygun radyasyon dayanıklılığı göstermesinden dolayı HB’de 3.7 mm kalınlığındaki Kuraray SCSN81 markalı tabakalar sintilatör olarak seçilmiştir. Sintilatörün ilk katmanı (Katman-0) çelik destek plakasının önündedir ve 9 mm kalınlığındaki Bicron BC408’den yapılmıştır. Son sintilatör katmanı (Katman-16) 9 mm kalınlığındaki Kuraray SCSN81’dir. Bu iki katman, erken ve geç gelişmekte olan duş örnekleri için kullanılmaktadır.

Her tabla farklı optik sintilatörlerden yapılmıştır. Her döşemeden gelen ışık 0.94 mm çaplı yeşil çift - kaplı dalga boyu kaydırıcı (WLS) fiberler ile toplanmaktadır. Tablanın üstü, optik okuma fiberlerini taşıyan 2 mm kalınlığındaki beyaz bir polistiren levha ile kaplıdır. Dalga boyu kaydırıcı fiber uçlarından yansıtılmaktadır. Ortalama yansıtma ~%83’tür.

Dalga boyu kaydırıcı fiberler, foto sensörlerin birkaç metre uzağına yerleştirilmiş olan sintilatör plakalardan taşınan ışıktaki optik zayıflamayı azaltmak için saydam fiberlere ayrılmaktadır. Bu iş için bir birleştirme aleti geliştirilmiştir. Saydam fiberler, sintilatör tablanın kenarında bulunan elmas yapıları bir optik

birleştiricide sonlanmaktadır. Optik kablolar daha sonra, ışığı daha ilerideki bir optik birime iletmektedir. Optik birim, okuma kulelerinin içindeki fiberleri düzenleyerek, ışığın Hibrit Foto Diyot (HFD)'a yönlendirilmesini sağlamaktadır (CMS HCAL Collaboration, 2006, CMS Note 2006/138).

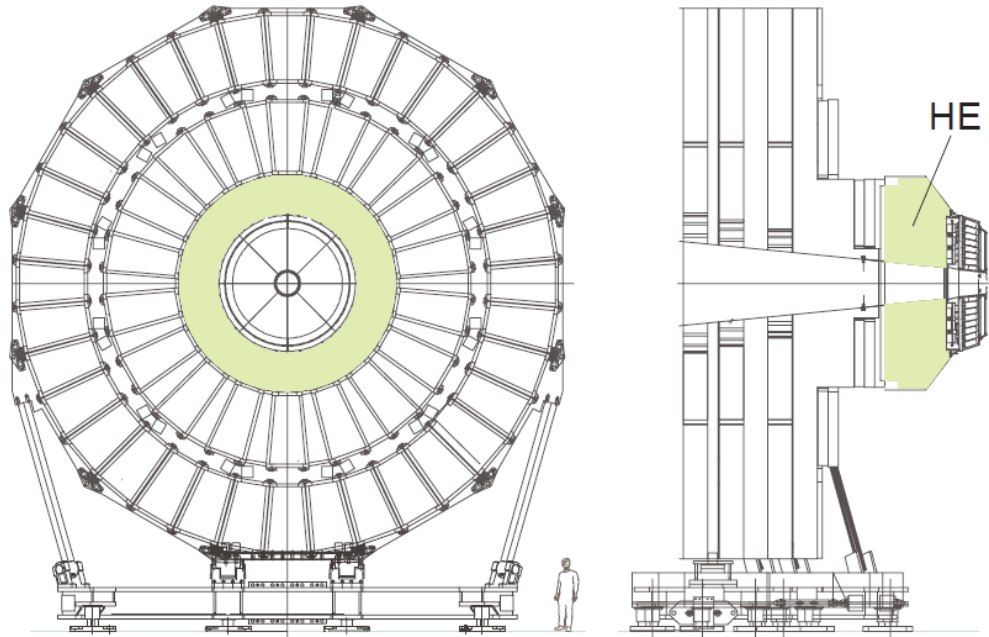
**Derinlik:** HB'nin boyuna bölünmesi Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Kulede 1'den 14'e kadar tek bir derinlik bulunmaktadır. Kule 15 ve 16, iki derinliğe ayrılmıştır. Kule 15'in ön bölümü ya on iki ya da on üç sintilatör katmanına, Kule 15'in arka bölümü üç sintilatör katmanına sahiptir. Kule 16'nın ön bölümü beş katmanlı, arka bölümü ise üç katmanlıdır (CMS HCAL Collaboration, 2006, CMS Note 2006/138).



Şekil 3.4. HB, HO ve HE dedektörlerinin dörtte biri için HKAL'deki kule bölümleri. Yukarıda ve soldaki numaralar kule numaralarını, sağdaki ve aşağıdaki numaralar (0 - 16) soğurucu içine yerleştirilen sintilatör katmanlarını göstermektedir (CMS HCAL Collaboration, 2006, CMS Note 2006/138).

### 3.1.2. Hadronik Uç Kapak (HE) Kalorimetre

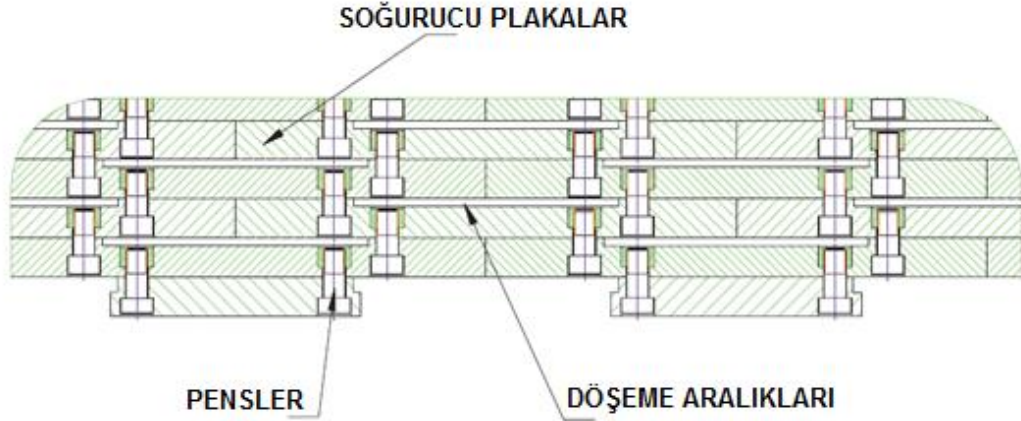
HE, HB gibi bir örnekleme kalorimetredir. Kalorimetre 4 T'lık solenoid mıknatısın uç kısmında bulunduğundan kalorimetrenin soğurucu kısmı manyetik alandan etkilenmeyen bir malzemedir. Maksimum soğurucu uzunluğu, iyi mekanik özelliği ve uygun maliyetinden dolayı soğurucu olarak C26000 pirinç kartuş (%70 Cu ve %30 Zn) seçilmiştir. Soğurucunun yoğunluğu  $8.83 \text{ g/cm}^3$ , etkileşme uzunluğu 16.4 cm ve radyasyon uzunluğu 1.5 cm'dir. Şekil 3.5'de gösterildiği gibi uç kapaklar müon uç kapak boyunduruğuna takılmıştır. (CMS HCAL Collaboration, 2008, CMS Note 2008/010).



Şekil 3.5. Uç kapak demir boyunduruğuna yerleştirilen HE (CMS HCAL Collaboration, 2008, CMS Note 2008/010).

**Soğurucu Yapı:** HE'in soğurucu malzemesi pirinçtir. HB ile HE arasında belirli bir geçiş bölgesi veya çatlak olarak bilinen bir boşluk bulunmaktadır. HE'de soğurucu yapı tasarlanırken, HB ile HE arasındaki bu çatlakın en aza indirgenmesine dikkat edilmiştir. Soğurucudaki bu tasarım ile çatlak yönündeki jetlerin enerjilerini ölçmek kolaylaşmıştır. Fakat bu alandaki jetlerin enerji çözünürlüğü pileup,

manyetik alan ve parçanın parçalanması gibi etkiler ile sınırlandırılmaktadır. HE'deki pirinç plakalar 79 mm kalınlığındaki 9 mm aralıklarla sintilatör döşemelerin arasına yerleştirilmiştir. Elektromanyetik kristaller ile HKAL'in toplam etkileşme uzunluğu yaklaşık olarak  $10 \lambda_1$ ' dir (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

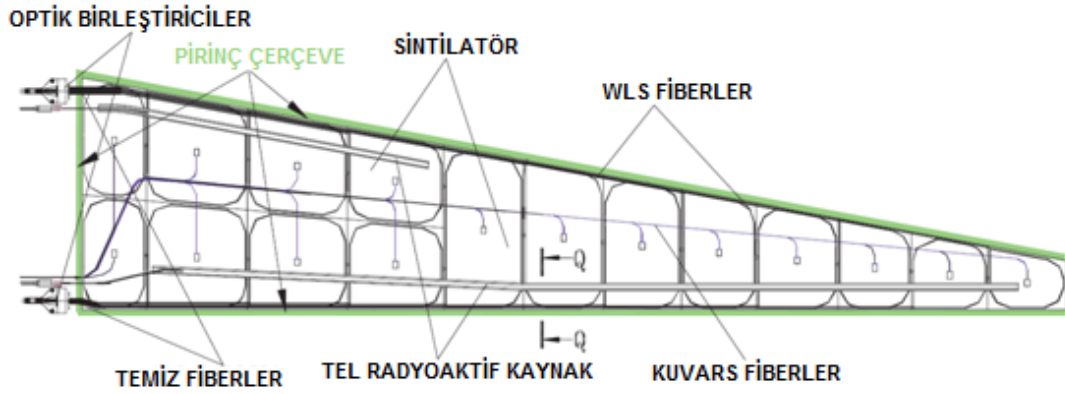


Şekil 3.6. HE soğurucunun mekanik yapısı. Parçacıklar alttan kalorimetreye girer (CMS HCAL Collaboration, 2008, CMS Note 2008/010).

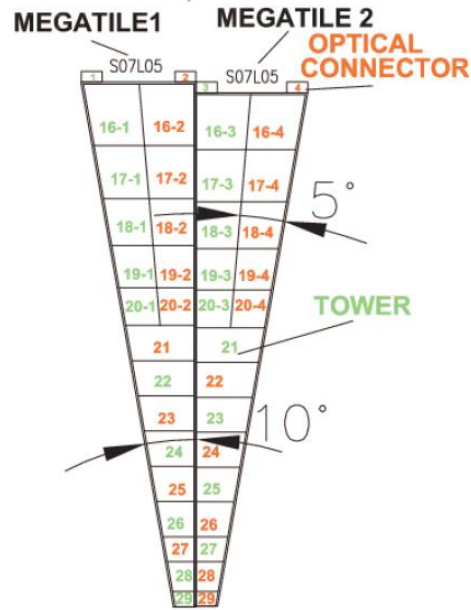
HE'nin dış katmanları foto dedektörlerin montajı ve ön uç elektronikler için kesilmiştir. Malzemedeki bu kısıtlamayı dengelemek için fazladan bir katman, HE'deki 16. kuleye eklenmiştir. Soğurucu yerleştirildikten sonra optik birimler boşlukların içine yerleştirilmiştir (CMS HCAL Collaboration, 2008, CMS Note 2008/010).

**Sintilatör Yapı:** Sintilasyon ışığı, sintilatörün dış sınır çizgisine yakın yere takılı olan WLS fiberler aracılığı ile toplanmaktadır. Bu tasarımın avantajı, ışığın kolaylıkla 0.94 mm'lik bir fiber ile foto dedektörlere yönlendirilmesidir. HE'de kullanılan sintilatörler ikizkenar yamuk biçimindedir. Bu sintilatörlerin sıfırıncı katmanında kalınlığı 4.00 mm olan SCSN81 veya kalınlığı 9 mm olan Bicron BC408 marka sintilatörler kullanılmıştır. Sintilatörler WLS'lerin takılı olduğu oluklara sahiptir. HE kalorimetresinde toplam 20916 döşeme ve 368 tabla bulunmaktadır, tablolardan biri Şekil 3.7'de verilmiştir.  $\eta$ 'daki numaralandırma sistemi Şekil 3.8'dedir. HE'deki taneciklilik aşağıdaki gibidir.

- $|\eta| < 1.6$  bölgesi için  $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.087 \times 0.087$
- $|\eta| \geq 1.6$  bölgesi için  $\Delta\eta \times \Delta\phi \approx 0.17 \times 0.17$  'dir.



Şekil 3.7. Kalorimetrenin sintilatör tablası (CMS HCAL Collaboration, 2008, CMS Note 2008/010).

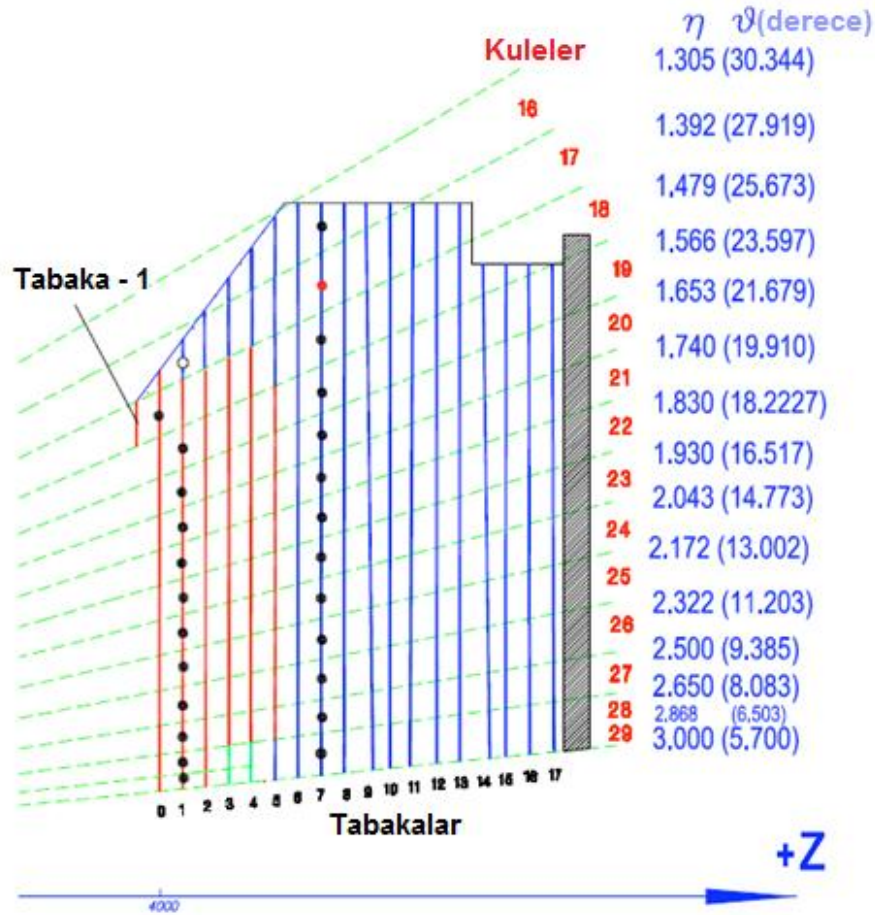


Şekil 3.8. Komşu sintilatör tablalarındaki döşeme numaraları (CMS HCAL Collaboration, 2008, CMS Note 2008/010).

Tablalar soğurucudaki boşlukların içine yerleştirilmiştir ve vidalar ile yerleri sabitlenmiştir. Okuma kutuları (RBX) kalorimetrenin arkasında, HB ile HE arasındaki çatlak yakınında bulunmaktadır. Okuma kutusunda, foto dedektörler ve ön

uç elektronikleri vardır. Optik kablolar sintilatör tablalarından foto dedektörlere sinyal aktarır. Manyetik alana karşı düşük duyarlılığı ve geniş dinamik aralığı nedeniyle foto dedektör olarak çok kanallı Hibrit Foto Diyot (HFD)'lar kullanılmıştır (CMS HCAL Collaboration, 2008, CMS Note 2008/010).

**Derinlik:** HE kalorimetresinin boyuna bölümleri Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Hüzme hattına yakın olan kuleler (27, 28 ve koruyucu halka 29), derinlemesine üç bölmeye ayrılmıştır. Her bir bölme ya da her derinliğin okuma modülleri birbirinden farklıdır (CMS HCAL Collaboration, 2008, CMS Note 2008/010).



Şekil 3.9. HE'nin boyuna ve polar açı bölümleri. Kesikli çizgiler etkileşme noktasına göredir (CMS HCAL Collaboration, 2008, CMS Note 2008/010).

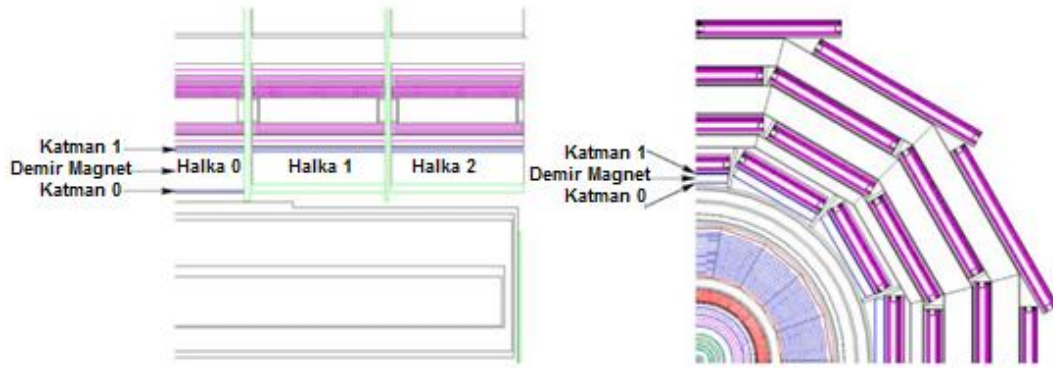
### 3.1.3. Hadronik Dış (HO) Kalorimetre

Merkezi psüdorapidite bölgesinde bulunan elektromanyetik fiçı (EB) ve hadronik fiçı (HB) birlikte, bileşik durdurma gücü geç başlayan hadronik duşları ya da hadronik duş kuyruklarını durdurmakta yetersizdir. Müon sisteminde önce hadronik duşları tamamen durdurabilmek ve SUSİ başta olmak üzere birçok fizik analizinde önemli yer tutan kayıp dik enerji (MET)'yi daha hassas ölçebilmek için solenoid mıknatıstan sonra HKAL'e hadronik dış kalorimetre (HO) denilen bir kuyruk yakalayıcı eklenmiştir. HO kalorimetresi,  $|\eta| < 1.3$  psüdorapidite aralığını kapsamaktadır. HO,  $1.4/\sin \theta$  etkileşim uzunluğuna eşit olan ek bir soğurucuya karşılık gelir. HO aynı zamanda, HB kalorimetresinden sonra depolanan (bırakılan) duş enerjisini ölçmek için kullanılmaktadır.

Solenoid vakum tankının dışında, manyetik alan  $z$  eksenini boyunca 2.536 m genişliğinde beş adet halka biçimde tasarlanan demir boyunduruk tarafından döndürülmektedir. HO kalorimetresi, bu beş halkanın her birine ilk hassas tabaka olarak yerleştirilmiştir. Bu halkalar,  $-2$ ,  $-1$ ,  $0$ ,  $+1$ ,  $+2$  numaraları ile tanımlanmaktadır. Numaralandırma,  $z$  eksenini boyunca artmaktadır ve beş halkanın nominal merkezi  $z$  pozisyonları sırasıyla  $-5.342$  m,  $-2.686$  m,  $0$ ,  $+2.686$  m ve  $+5.342$  m'dir.  $\eta=0$ 'da HB kalorimetresi en düşük soğurucu derinliğine sahiptir. Bu nedenle, merkez halka yani  $0$ . halka iki katmanlı HO sintilatöründen oluşmuştur.  $0$  nolu halkada soğurucu malzeme olarak 19.5 cm kalınlığında demir plakalar kullanılmıştır ve bu demir plakalar, dedektörün merkezinden radyal olarak 3.82 m ve 4.07 m uzağa yerleştirilmiştir. Diğer tüm halkalar, 4.07 m radyal uzaklıkta tek bir HO katmanına sahiptir. Böylece, fiçı - uç kapak sınır bölgesi dışında kalorimetre sisteminin toplam derinliği en az  $11.8 \lambda_1$ 'a kadar uzatılmıştır.

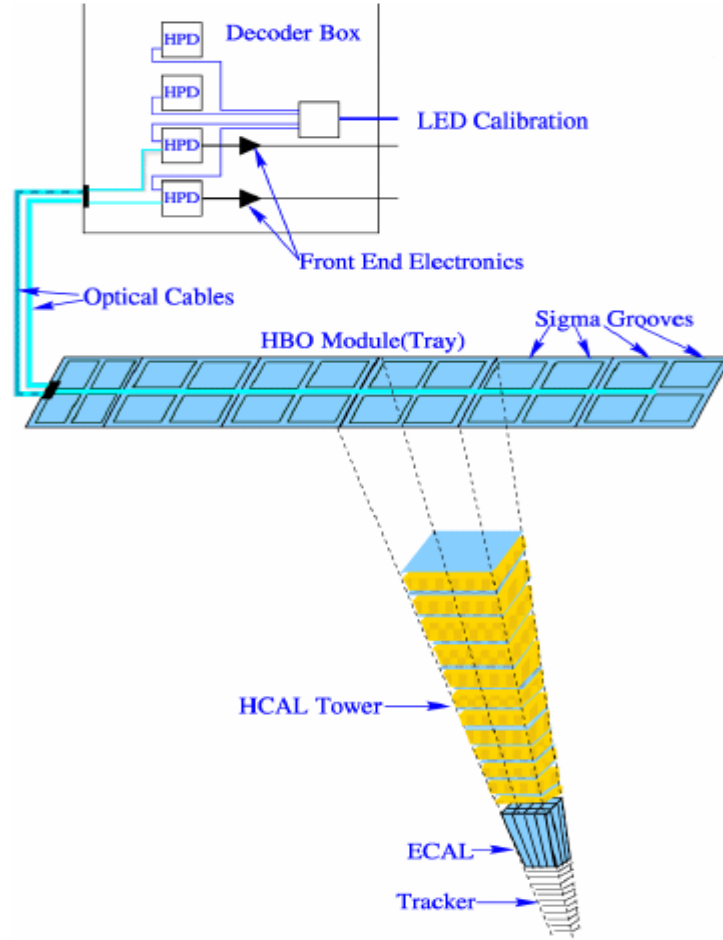
HO, müon sisteminin geometrik yapısına uygun olarak tasarlanmıştır. Şekil 3.10, müon istasyonlarının halkaları ile birlikte HO katmanlarının pozisyonlarını göstermektedir. HO katmalarını müon sisteminin fiçı halkaları izlemektedir. Her bir HO halkası 12 özdeş  $\phi$  - sektörüne sahiptir. 12 sektör, 75 mm kalınlığındaki paslanmaz çelik kirişler ile birbirinden ayrılmıştır. Her bir HO katmanı radyal yönde

toplam 40 mm'ye ayrılmıştır. 16 mm'si dedektör tabakası için geri kalanı alüminyum petek destek yapı için kullanılmaktadır. Buna ek olarak, HO modülleri bağımsız olarak her bir sektörünün her iki tarafında yer alan çelik kirişlerle desteklenmektedir. Boyunduruk yapı içindeki demir bağların konumu ve kalınlığı HO'nun şeklini ve bölümlendirilmesini sınırlamaktadır.



Şekil 3.10. CMS dedektörünün boyuna ve enine görünüşünde, HO katmanlarının pozisyonu (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

HO kalorimetresindeki döşemelerin boyutu ve konumları  $\eta$  ve  $\phi$ 'de kulelerin tanecikliği  $0.087 \times 0.087$  olacak biçimde yapılandırmak üzere kabaca HB kalorimetresinin katmanlarıyla izdüşümsel olarak eşleştirilmiştir. HO kalorimetresi, fiçi müon dedektörünün birinci katmanının ön tarafında bulunan bir veya iki katmanlı sintilatör döşemelerinden oluşmaktadır. Döşemelerden gelen sintilasyon ışığı, çapı 0.94 mm olan çok kaplı Y11 Kuraray dalga boyu kaydırıcı (WLS) fiberler aracılığı ile toplanmaktadır. Toplanan ışık dönüş boyunduruğuna yerleştirilen WLS fiberlerine bağlı çok kaplı Kuraray saydam fiberler (çapı 0.94 mm) tarafından foto dedektörlere taşınır. HO'nun kurulumunu basitleştirmek için, sintilatör döşemeler tablalar biçiminde (tek bir birimin içinde) paketlenmiştir. Her bir tabla bir  $\phi$  dilimine ( $\phi$ 'de genişlik  $5^\circ$ ) karşılık gelmektedir. Bununla birlikte,  $z$  ( $\eta$ ) doğrultusunda, bir tabla, bir müon halkasının tüm aralığını kapsamaktadır. HO tablasının şematik görünümü Şekil 3.11'dedir. Bir döşeme HB'nin kulesine eşlenmiştir ve tabladan gelen optik kablo, okuma kutusuna bağlıdır (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

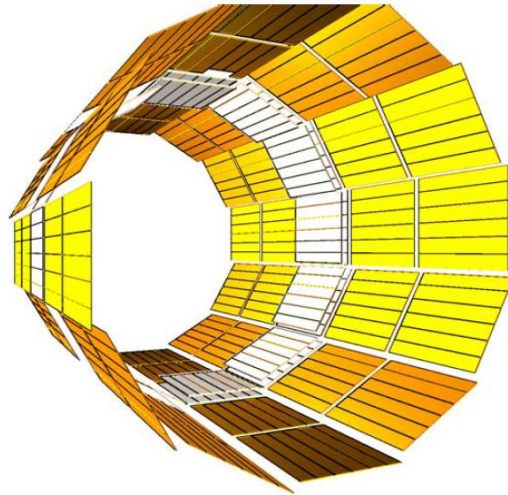


Şekil 3.11. Bağımsız döşemeler ve WLS fiberlerine karşılık gelen kanallar ile HO tablasının şematik görünümü. Her optik döşeme bir HB kulesi ile eşlenmiştir. Tablalardan gelen optik fiberler, okuma elektronikleri ve foto dedektörlerin bulunduğu şifre çözücü kutuya gönderilmiştir (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

**Modüller:** Daha önce bahsedildiği gibi HO fiziksel olarak müon dedektörünün halka yapısına uygun  $\eta$ 'da beş halkaya ayrılmıştır. Artan  $\eta$  ile halkalara  $-2, -1, 0, +1$  ve  $+2$  şeklinde numaralar verilmiştir. HO kalorimetresinin her halkası  $12$  özdeş  $\phi$  sektörüne ayrılmış olup her sektör  $\phi$ 'de altı dilime sahiptir. Her katmanın  $\phi$  dilimleri tüm sektörler için aynıdır. Her bir  $\phi$  diliminde,  $\eta$  boyunca ek bir bölünme vardır. Böylece HO'da en küçük sintilatör birimi döşemedir. Her bir  $\phi$  sektöründeki sintilatör döşemeleri bir düzleme aittir. Bu düzlemin  $z$  - ekseninden dikey uzaklığı Katman 0 için  $3.82$  m ve Katman 1 için  $4.07$  m'dir. Bir halkanın her

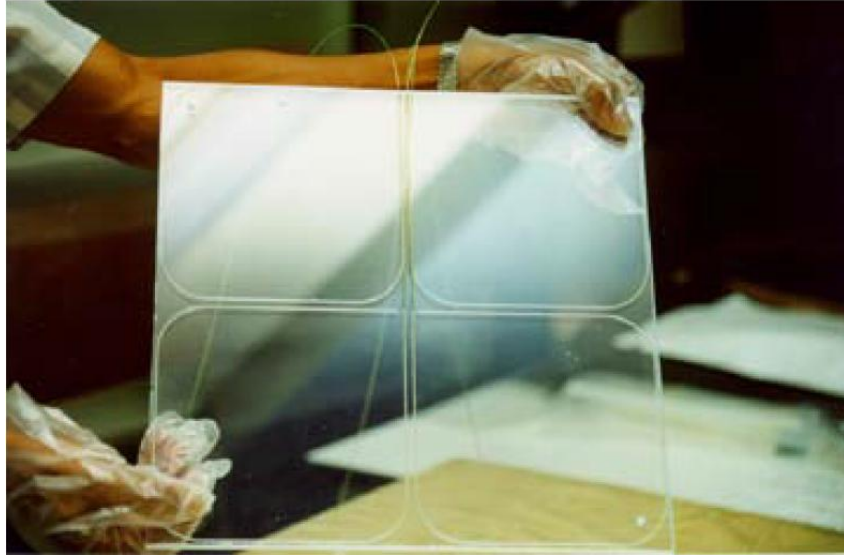
bir  $\phi$  dilimindeki döşemeleri mekanik olarak bir tabla oluşturacak biçimde bir araya getirilmiştir.

Sıfırncı halkanın her iki katmanı 8  $\eta$  - bölümüne sahiptir ve -4, -3, -2, -1, +1, +2, +3, +4 olarak numaralar verilmiştir. 1 nolu halkanın altı bölümü vardır ve 5 ile 10 arasında, 2 nolu halka ise beş bölüme sahip olup 11 ile 15 arasında numaralandırılmıştır. -1 nolu halka ile -2 nolu halkanın bölümleri, +1 nolu halka ve +2 nolu halka ile aynı şekilde numaralandırılmıştır, ancak negatif indeklidir. Şekil 3.12, CMS dedektöründeki tüm HO tablalarının son durumunu göstermektedir. Tablaların toplam uzunluğu 2510 mm'dir (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).



Şekil 3.12. CMS dedektöründeki HO tablalarının düzeni (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

**Döşemeler:** HO kalorimetresinin sintilatör döşemeleri Bicron BC408'den yapılmıştır. Sintilatör plakalar  $10_{-1}^{+0}$  mm kalınlığındadır. Tipik bir HO sintilatör döşemesi Şekil 3.13'de verilmiştir. WLS fiberleri döşeme içindeki oluklara gömülmüştür. Oluklar 2.05 mm derinliğindedir ve her döşemede dört özdeş oluk bulunmaktadır. Olukların köşeleri, bükülmüş fiberleri hasarlardan korumak ve gerektiğinde fiber eklemek için yuvarlatılmış ve optik bağlayıcı tablanın sonuna yerleştirilmiştir. Döşemelerin dört oluklu ve büyük olması ışığın toplamasını kolaylaştırmakta ve ışık zayıflamasını azaltmaktadır.



Şekil 3.13. HO döşemesinin görünümü (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

HO kalorimetresinde Katman 1 için 75 farklı boyutta ve Katman 0 için 20 farklı boyutta olmak üzere 95 farklı boyutta döşeme kullanılmıştır. Toplam döşeme sayısı 2730'dur (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

**Tablalar:** Bir sektörün her bir  $\phi$  dilimindeki tüm döşemeleri bir tabla oluşturacak biçimde bir araya getirilmiştir. Her tabla,  $\pm 2$  nolu halkada beş döşeme,  $\pm 1$  nolu halkada altı döşeme, 0 nolu halkada sekiz döşemeden oluşmuştur. Işığı daha iyi toplaması için döşemelerin uçları yansıtıcı beyaz boya ile boyanmıştır. Her bir halkada  $\phi$  sektörü dört tabladan oluşmuştur. Katman 1 için 360 tabla, Katman 0 için 72 tabla bulunmaktadır (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

#### 3.1.4. İleri Hadronik Kalorimetre (HF)

HF'in psüdo-rapidity aralığı  $3 \leq |\eta| \leq 5$ 'dir ve  $HF \mp$  olmak üzere iki modülden oluşmuştur. Bu modüller etkileşme noktası (IP)'nden yaklaşık 11.2 m uzağa yerleştirilmiştir. HF ileri bölgedeki jetlerin varlanmasında, kayıp dik enerji ( $E_T$ )'nin belirlenmesinde ve ışıklılık ölçümünde önemli bir rol oynamaktadır.

Bir örnekleme kalorimetresi olan HF'de toplam 36 çelik kama bulunmaktadır. Kalorimetrenin aktif materyali olan kuvars fiberler çelik soğuruculardaki olukların

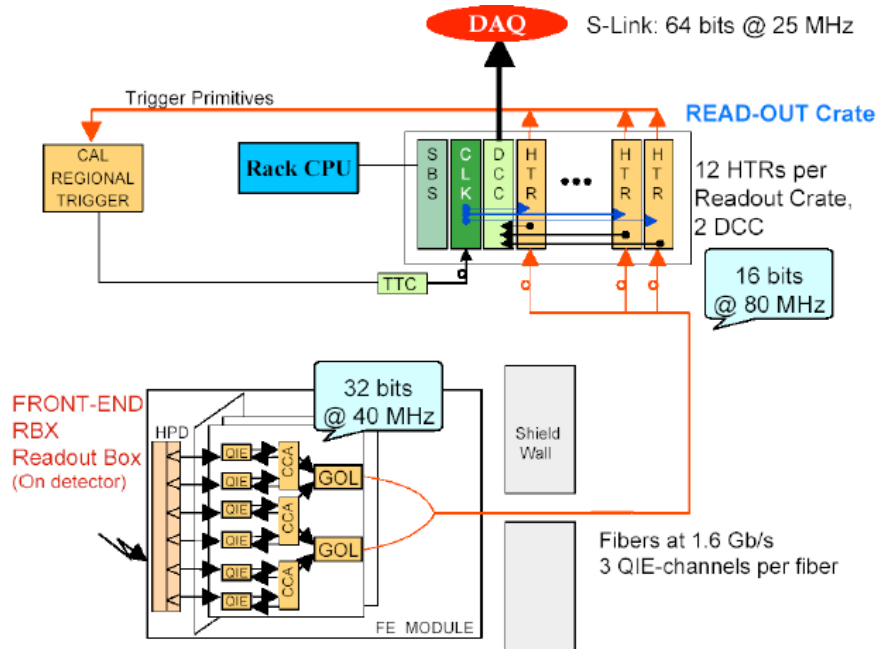
içine gömülmüştür. Oluklardaki fiberlerin yarısı soğurucu uzunluğunda, diğer yarısı soğurucunun ön yüzünün 22 cm gerisinden başlamaktadır. Fiberler Foto Çoğaltıcı Tüp (FÇT)'ler ile okunmaktadır. HF bölümlerinde modül başına 864 okuma kanalı olmak üzere toplam 1728 kanal bulunmaktadır. HF'de foto dedektör olarak seçilen FÇT'lerin markası R7525HA'dır ve Hamamatsu firması tarafından üretilmiştir. 8 aşamalı dinottan oluşan FÇT'ler bir tane 25 mm çapında bialkali foto katoda, ortalama kalınlığı 0.6 cm olan bir tane borosilikat cam pencereye sahiptir. FÇT'lerin 450 nm dalga boylu mavi ışık için maksimum kuantum verimliliği (QE) %22'dir (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1).



Şekil 3.14. Hadronik İleri Klorimetre (<http://cds.cern.ch/record/1431489/files/HFLowering4.jpg?subformat=icon-1440>).

### 3.2. Elektronikler ve Veri Toplama

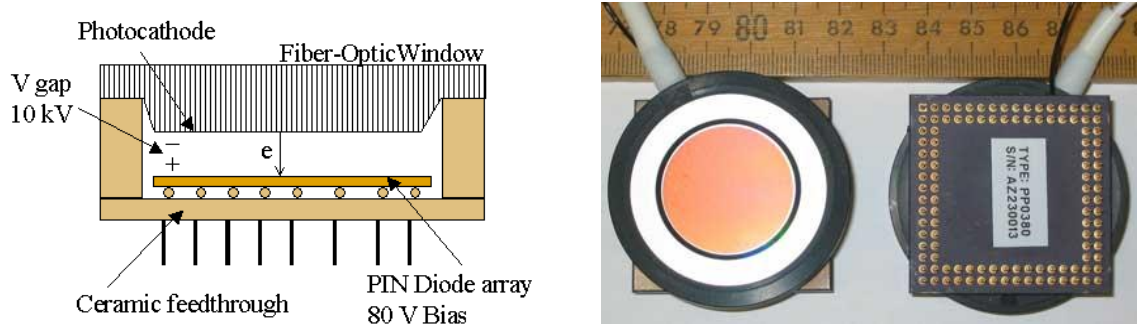
HKAL kalorimetresindeki sintilatörlerden alınan ışık, WLS fiberleri ile saydam fiberlere ve optik kablolar aracılığıyla ön - uç okuma elektroniklerine iletilmektedir. HKAL'deki elektronikler ve veri toplama sisteminin genel görünümü Şekil 3.15'de verilmiştir.



Şekil 3.15. HKAL'in veri toplama elektroniklerinin genel görünümü. HFD'den gelen veri QIE'de sayısallaştırılarak GOL (Gigabit Optik Link) aracılığı ile dedektörden uzaklaştırılır. Veri DCC (Veri Toplama Kartı) yardımıyla CMS veri akış sistemine gönderilirken, HTR (Yüksek Tetikleme Okuyucusu) birincil tetiklemeleri oluşturur (CMS HCAL Collaboration, 2006, CMS Note 2006/138).

Ön uç okuma elektronik sistemi analog sinyalleri sayısallaştırır ve sonuçları 40 MHz ile okuma kartlarına göndermektedir (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  $(\Delta\eta, \Delta\phi) = (0.0875, 0.0875)$  kulesinden gelen sinyalleri kaydeden 19 kanallı HFD içermektedir. HFD, vakum içinde olup 3.5 mm ile ayrılmış bir foto katot ve bir silikon diyot içeren düzlemsel bir yapıya sahiptir. Foto elektronlar 8 kV kinetik enerjisine kadar hızlandırılarak diyota çarpmakta ve iyonizasyona neden olmaktadır. Serbest kalandeşiklerin toplam kazancı 2000'dir. 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 6 - 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'a aktarılmaktadır. GOL'dan alınan sinyal 40 MHz ile çeşitli elektronikler kullanarak HTR'a ve 25 MHz aralıkları ile veri akış sistemine (DAQ) iletilmektedir.



Şekil 3.16. CMS'in hibrit foto diyot tasarımı. Solda HFD'nin şematik yapısı sağda ise HFD'nin arka ve ön kısımlarının fotoğrafı görülmektedir (Cushman ve Sherwood, 2008).

### 3.2.1. Hibrit Foto Diyot (HFD)'lerin Performansı

Merkezi HKAL'in alt kalorimetreleri HB, HE ve HO'da foto dedektör olarak HFD'ler kullanılmaktadır (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1). HFD'ler

- Yüksek manyetik alanda (4T) çalıştırılabilir,
- Radyasyona karşı dayanıklıdır,
- Maliyetleri düşüktür.

HB ve HE'deki bazı HFD'lerde gürültü problemi dışında fazla sorun olmamasına rağmen HO'da kullanılan HFD'lerin performansının beklenilenden daha kötü olduğu görülmüştür. Veri alımları esnasında HO'daki HFD'ler daha az HV'da çalışırken beklenen verim ve bazı durumlarda aygıtın kazancı istenilen gereksinimleri karşılayamamıştır (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1). HO'daki HFD'ler de konumlarına bağlı olarak manyetik alandan kaynaklanan bazı

sorunlar yaşamıştır (Dugad, 2010). Bu sorunlardan dolayı HO'da gürültü baskın olduğundan gerçek sinyal sayısı azalmıştır. Bu durum HO'dan jet ve müon fiziği araştırmaları için veri alımını engellemekte, fiçı ve kapak bölgelerindeki lepton izolasyonu için gereken düşük enerji ölçümlerini etkilemektedir (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1).

Son yıllarda Silikon Foto Çoğaltıcı (SiFÇ)'lerin kullanılmasında önemli gelişmeler olmuştur. SiFÇ'ler FÇT ve HFD'lerin tüm avantajlarına sahip olduğundan HO'da yaşanan sorunları ortadan kaldırmak için HO'daki tüm HFD'lerin SiFÇ'ler ile değiştirilmesine karar verilmiştir (Dugad, 2010).

### 3.2.2. Silikon Foto Çoğaltıcı (SiFÇ)'ler

SiFÇ, Geiger modunda çalışan çığ foto diyotların piksel dizilerinden oluşmaktadır (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1). SiFÇ'ler, kırılma geriliminin birkaç volt yukarısında çalışır ve FÇT ile karşılaştırılabilir bir kazanç sağlarlar. Her diyotun ya da pikselin normal boyutu 5–50  $\mu\text{m}$ 'dir ve mantıksal bir aygıttır. Yeterince düşük yoğunluklu fotonların her piksel üzerine düşmesi sağlanarak bu aygıttan lineer bir yanıt elde edilebilir (Dugad, 2010).

SiFÇ'ler HFD'lere göre önemli avantajlara sahiptir. 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 karşılaştırıldığında SiFÇ'lerin gürültü sinyal oranı sekiz kat daha fazladır. SiFÇ'ler sıkı ve nispeten daha ucuzdur. Yüksek foton algılama verimliliği korunurken, 10  $\mu\text{m}$ 'e kadar küçük piksel boyutlarıyla elde edilmiştir. SiFÇ'lerin çalışma voltajı HFD'lerden daha düşüktür. SiFÇ'ler yaklaşık 100 V'luk çalışma voltajında çalışırken, HFD gibi vakum tüpleri  $\sim 10$  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 etkilenmez. HFD'ler sıfır manyetik alanda ve 3.5 T – 4 T'luk güçlü alanlarda iyi çalışırken 0.2 T - 3.0 T düzeyindeki düşük alanlarda hızla arızalanırlar. HB ve

HE'deki HFD'ler 3.8 T'lık yüksek manyetik alanda bulunurken, HO'nun 1 nolu ve 2 nolu halkası problemlili 0.2 - 0.3 T aralığında bulunmaktadır. Miknatısın manyetik alanının düşük olması gerektiği durumlarda, HFD'lerin manyetik alan kısıtlamasından dolayı HO'daki veri alımı engellemektedir. Bu koşullarda HO'un CMS veri alımına katkısı olmamaktadır. Ek olarak, HFD'lerin performansı dış manyetik alan ile birlikte tüp içindeki elektrik alanın uyumundan da etkilenmiştir. Özellikle HO için, CMS solenoidin dışındaki kenar alanlarda ve dönüş akışında bu uyumun kontrol edilmesi oldukça zordur. HO'daki HFD'lerin SiFC'ler ile değiştirilmesiyle, HO'nun tasarım amaçlarından biri olan hadronik duşların enerjisinin küçük bir kesrini ölçmek kolaylaşacaktır (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1).



## 4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

### 4.1. HB, HE ve HO'daki Foto Dedektörlerin Durumu

HKAL GeV - TeV enerji ölçeğinde çalıştığı dönemlerde gözlenen gürültünün kaynağı dedektördeki elektroniklerdir. Özellikle HB, HE ve HO dedektörlerinden kaydedilen tuhaf gürültü bazı HFD'ler ve RBX'lerden kaynaklanmaktadır.

HB ve HE'deki HFD'ler solenoid mıknatısın içinde yer almaktadır. Bu aygıtlar 0 T ile 3.8 T arasında değişen manyetik alan etkisi altında kaldığından, manyetik alanın HFD'ler üzerindeki etkisi kontrol edilebilir. Bundan dolayı HFD'ler veri alımı sırasında herhangi bir problem oluşturmamaktadır. Buna rağmen bazı HFD'lerin gürültüsü bastırılmamıştır. Bu nedenle HB ve HE'deki gürültülü HFD'lerin değiştirilmesine ve önümüzdeki yıllarda veri alımına yeni HFD'ler ile devam edilmesine karar verilmiştir.

HO'da bulunan HFD'lerde ise veri alımı sırasında çözülmesi güç bir takım sorunlar ile karşılaşmıştır. HO HFD'lerindeki bu sorunun nedeni HO'nun solenoid mıknatısın dışında yer alması ve mıknatısın oluşturduğu manyetik alanın buradaki HFD'ler üzerindeki etkisinin kontrol altına alınamamasıdır. Manyetik alanın HO'daki HFD'ler üzerindeki beklenmedik etkisi, HFD'lerde düşük kazanç ve düşük foton algılama gibi sorunlar oluşturmaktadır. Bu sorunlardan dolayı 2010 ve 2011 yıllarında HO'dan veri alınamamıştır. 2012 yılında ise veri alımı HO'nun +1, 0, -1 nolu halkalarından kısıtlı biçimde yapılmıştır. Sorunlara radyasyondan dolayı yıpranma etkisi de eklenince, HO'daki HFD'lerin yeni bir foto çoğaltıcı aygıt ile değiştirilmesine karar verilmiştir. Yeni aygıt öncelikle manyetik alandan etkilenmemelidir. Bu aygıt yüksek foton algılama verimliliğine, yüksek kazançla sahip olmalı ve aynı zamanda yüksek voltaj (HV)'a ihtiyaç duymadan çalışmalıdır. Ayrıca istenilen bu teknik özelliklerin yanı sıra RBX'lerden sökülen HFD'ler ile aynı boyutta ve benzer piksel yapısına sahip olmalıdırlar. Yapılan çalışmalar sonucunda istenilen tüm özellikleri taşıyan en uygun foto çoğaltıcı aygıtın Silikon Foto Çoğaltıcı (SiFÇ) olduğuna ve HO'daki HFD'lerin SiFÇ'ler ile değiştirilmesine karar verilmiştir.

Bu tez iki analiz çalışmasından oluşmaktadır. Çalışmanın ilk kısımda HB ve HE'de bulunan gürültülü HFD ve RBX'leri tespit etmek için yapılan analizler tartışılmıştır. İkinci kısımda ise HO'da kullanılacak olan SiFÇ'ler için Self trigger (Sistem kendi kendine çalışırken belirli bir zaman aralığında SiFÇ'nin bir pikselinin okuduğu olay sayısı) analizi yapılarak her bir RM'deki piksellerin kazançları ve tetikleme oranları araştırılmıştır.

#### 4.2. HB ve HE'deki RBX - HFD'lerin Gürültü Analizleri

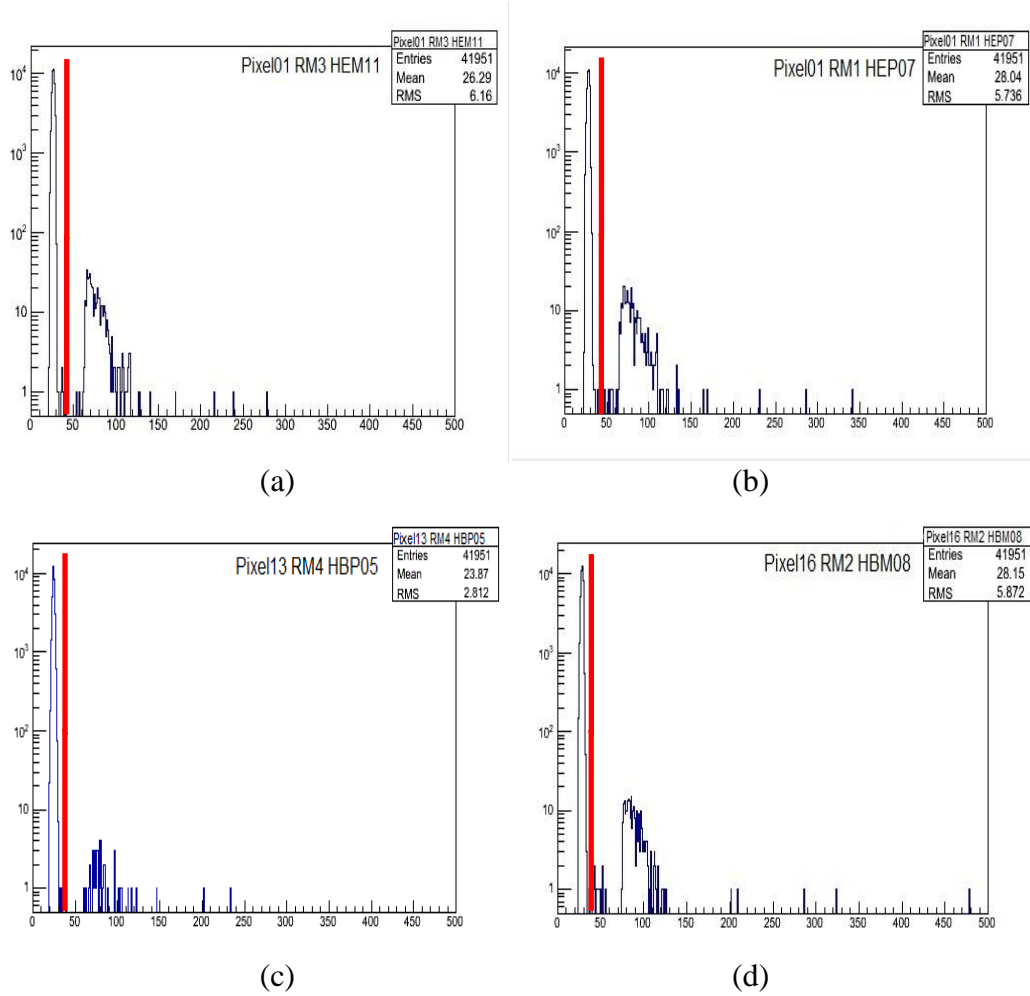
HB- ve HB+ olmak üzere iki simetrik modülden oluşan HB'lerin her birinde 18 RBX olmak üzere toplam 36 RBX bulunmaktadır. Her bir RBX'te dört HFD vardır. Her bir HFD, 18 farklı kanaldan gelen sinyalleri okur. HB'de bu kanallar aynı  $i_\phi$ ,  $i_\eta = \pm 1 \dots \pm 16$  ile uyumlu olan 16 ardışık kuleye karşılık gelmektedir.  $i_\eta = \pm 15$  ve  $i_\eta = \pm 16$ 'da HB kuleleri iki derinliğe sahiptir ve kulelerden gelen kanallar ile birlikte toplam 18 farklı kanaldan gelen sinyaller ve bir kanaldan 10 zaman dilimi (TS) okunmaktadır. HB, 72  $\phi$  dilimine ayrılmıştır, bu nedenle HB dedektöründe  $2 \times 72 = 144$  HFD bulunmaktadır. HFD'ler sintilatörlerden WLS fiberler ve optik kablolar aracılığı ile taşınan ışığı elektrik sinyaline dönüştürür ve RBX'lerin içindedir. HE, HB ile aynı sayıda RBX/HFD içermektedir, ancak ek derinlik bölümlendirmesi ve kulelerin  $\phi$  birleşmesi nedeniyle HE'nin geometrisi HB'ye göre daha karmaşıktır (Chou ve arkadaşları, 2010, CMS IN-2010/006).

HB ve HE'deki gürültü oranlarını belirlemek için yapılan analizlerde Haziran - Temmuz 2012 tarihleri arasında alınan HB - HE Self Trigger verileri kullanılmıştır. Haziran ayına kadar alınan HB - HE Self Trigger verilerinde 5000 olay kaydedilmişti. Bu olay sayısının gürültülü RBX veya HFD'leri tespit etmek için yeterli olmadığına karar verilerek, yeterli istatistiği sağlamak üzere HB - HE Self Trigger verilerinin olay sayısı 50000'e çıkarılmıştır. Çizelge 4.1'de 2012 yılının Haziran - Temmuz aylarında farklı manyetik alanlar için alınan verilerin özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Haziran – Temmuz 2012 tarihleri arasında alınan HBHEabc Self Trigger verileri.

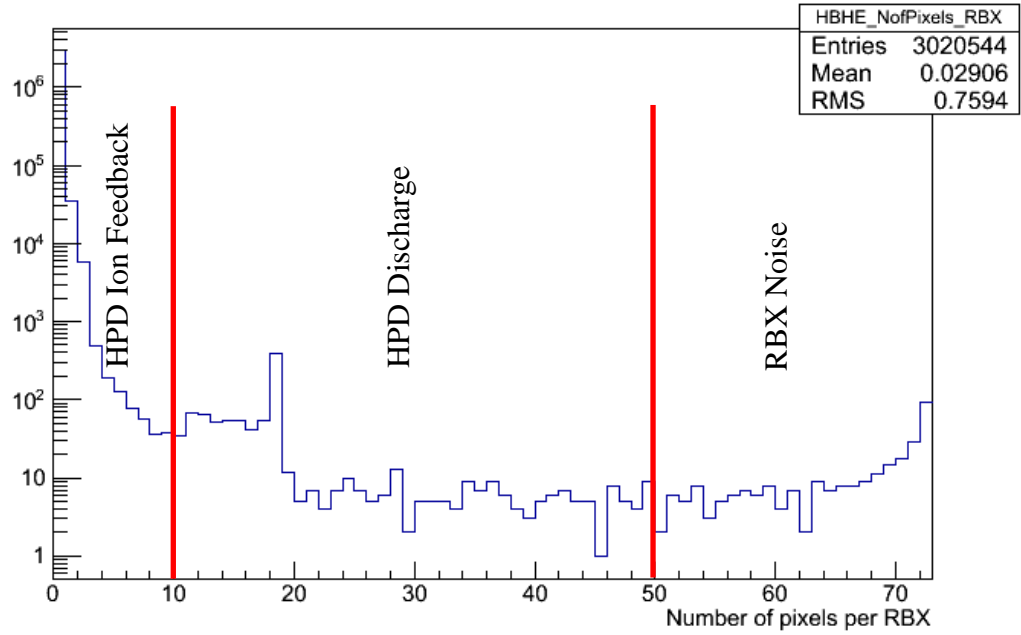
AY	Veri Numarası	Olay Sayısı	Manyetik Alan
Haziran	195482	5K	3.8T
	195712	25K	3.8T
	196975	50K	0T
	196856	50K	0T
	196861	50K	0T
	196547	50K	3.8T
	196274	5K	3.8T
Temmuz	199185	50K	3.8T

Bu çalışma için Çizelge 4.1'deki veriler kullanılarak HFD'lerin ve bu HFD'lere ait piksellerin enerji dağılımına bakılmıştır. Her bir pikselin enerji değerini hesaplamak için önce her bir pikselin 10 TS'inden ADC verileri tek tek okunmuştur. Daha sonra 10 TS'in okuduğu toplam değer ADC cinsinden alınmış ve toplam ADC değerinden femto Coulomb (fC)'a dönüştürülmüştür. Şekil 4.1'de sırasıyla (a) HE<sup>-</sup>'nin 11 nolu RBX'nin 3 nolu RM'nin (diğer bir deyimle 3 nolu HFD'sinin) 1 nolu pikselinin (b) HE<sup>+</sup>'nin 7 nolu RBX'nin 1 nolu RM'nin (1 nolu HFD'sinin) 1 nolu pikselinin (c) HB<sup>+</sup>'nin 5 nolu RBX'nin 4 nolu RM'nin (4 nolu HFD'sinin) 13 nolu pikselinin (d) HB<sup>-</sup>'nin 8 nolu RBX'nin 2 nolu RM'nin (2 nolu HFD'sinin) 16 nolu pikselinin enerji dağılımı gösterilmektedir. Şekil 4.1'deki tüm histogramların x eksenini enerji değeri, y eksenini olay sayısıdır. HB ve HE'nin tüm HFD'lerinin tüm piksellerinin enerji dağılımlarının Şekil 4.1 ile aynı karakteristiğe sahip olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi tüm histogramlarda birinci zirvenin düzgün bir şekilde başlayıp, 40 fC değerinde düzgün bir biçimde sonlandığı görülmektedir. Bu HFD piksellerinin beklenen bir özelliğidir. Histogramlarda gözlenen diğer bir olay ise ilk zirvenin bittiği noktadan sonra ikinci bir zirvenin ortaya çıkmasıdır. Bu zirve HFD'ler veya RBX'lerden gelen gürültüden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.1. (a) HE<sup>-</sup>'nin 11 nolu RBX'nin 3 nolu RM'nin (3 nolu HFD'sinin) 1 nolu pikselinin (b) HE<sup>+</sup>'nin 7 nolu RBX'nin 1 nolu RM'nin (1 nolu HFD'sinin) 1 nolu pikselinin (c) HB<sup>+</sup>'nin 5 nolu RBX'nin 4 nolu RM'nin (4 nolu HFD'sinin) 13 nolu pikselinin (d) HB<sup>-</sup>'nin 8 nolu RBX'nin 2 nolu RM'nin (2 nolu HFD'sinin) 16 nolu pikselinin enerji dağılımları.

HB ve HE'de RBX/HFD'lerden kaynaklanan gürültüyü saptamak için enerji dağılımında tüm HFD piksellerine Enerji > 40 fC kısıtlaması uygulanmıştır. Gürültülü RBX/HFD'leri belirleyebilmek için her bir RBX'te sinyal veren piksellerin sayısına bakılmıştır. Şekil 4.2'de bir örnek olarak 196975 nolu veri için her bir RBX başına sinyal veren piksel sayısı gösterilmektedir. Bu dağılım ile RBX'ten kaynaklanan gürültü HFD'den kaynaklanan gürültüden ayırt edilebilir ve HFD'den kaynaklanan gürültünün kaynağı bulunabilir.



Şekil 4.2. 196975 numaralı veriye ait her bir RBX başına sinyal veren piksel sayısı.

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi HB - HE gürültüsü, her bir RBX başına sinyal veren piksel dağılımında üç farklı durum ile karakterize edilmektedir ve bu gürültülerin kaynağı aşağıda özetlenmiştir.

- **HFD iyon geri besleme:** HFD iyon geri beslemeden kaynaklanan gürültü, HFD’nin hızlandırma boşluğunda bulunan bir molekülün iyonlaşmasıyla oluşan elektronların termal (ısısal) yayınıdır. Bu durum HFD’de düşük enerjili gürültülere neden olur. Dolayısıyla HFD’de az sayıdaki pikselin bu tür gürültüden etkilenerek sinyal vermesi beklenen bir durumdur. Şekil 4.2’deki dağılıma göre, piksel sayısı 10’dan küçük iken HFD iyon geri beslemeden kaynaklanan gürültü ortaya çıkmaktadır (Chou ve ark., 2010, CMS IN-2010/006).
- **HFD Boşalması:** HFD boşalmasından kaynaklanan gürültü, HFD duvarından yayılan bir elektriksel boşalmadır. Bu durumda, HFD’deki 18 pikselin hemen hemen tamamı eşik değerini geçerek sinyal vermelidir. HFD boşalması ile ortaya çıkan gürültüde yüksek enerji spektrumu baskındır. Gürültüye neden olan enerji değeri, HFD iyon geri beslemeden kaynaklanan gürültüye neden

olan enerjiden daha yüksektir. Dolayısıyla sinyalin daha fazla pikselden gelmesi beklenir. Şekil 4.2'deki dağılımdan görüldüğü gibi sinyal veren piksel sayısı 10 ile 50 arasında iken gözlenen gürültü HFD boşalmasından kaynaklanır.

- **RBX gürültüsü:** RBX gürültüsü, bir RBX'deki dört HFD'den en az ikisinin tüm piksellerinin sinyal vermesi ile karakterize edilmektedir. RBX gürültüsünde sinyal veren piksel sayısı daha fazla olmasına rağmen daha önce yapılan çalışmalarda gürültüden kaynaklanan enerjinin düşük olduğu görülmüştür (Chou ve ark., 2010, CMS IN-2010/006). Bu durumda gürültünün karakterize edilebilmesi sadece yüksek enerji değerine değil, aynı zamanda sinyal veren piksel sayısının da fazla olmasını gerektirir. Şekil 4.2'deki dağılıma göre piksel sayısı 50'den büyük iken bahsedilen gürültü RBX gürültüsüdür.

HFD'lerde ortaya çıkan gürültüleri daha ayrıntılı biçimde anlayabilmek için yapılan analizler aşağıda tartışılmıştır.

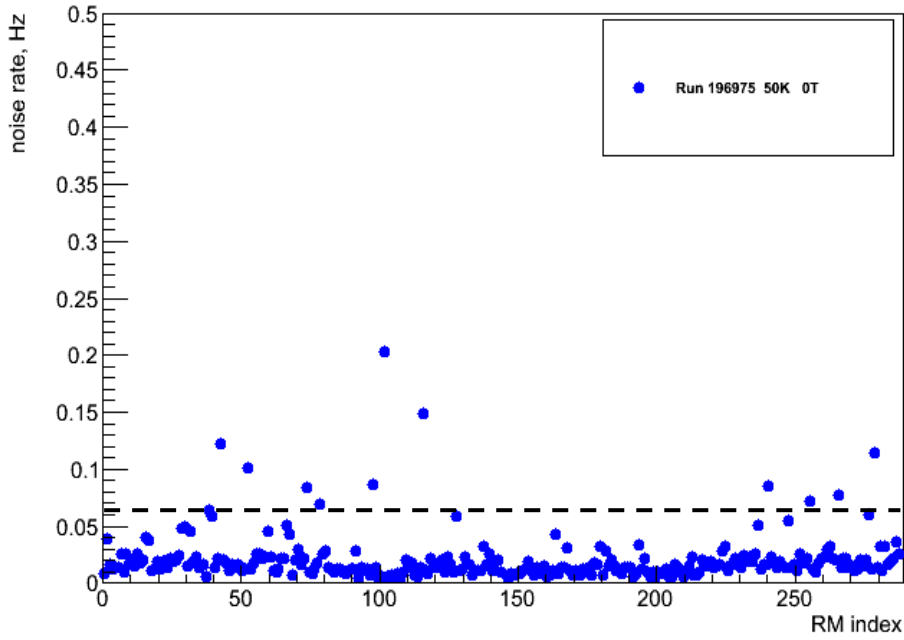
#### 4.2.1. İyon Geri Beslemeden Kaynaklanan HFD Gürültüsü

Her bir pikselin enerji değerine ve her bir RBX'de sinyal veren piksel sayısına getirilen kısıtlamalardan sonra HB - HE'de Self Trigger gürültü oranları aşağıdaki kısıtlamalar dikkate alınarak araştırılmıştır.

- Her pikseldeki enerji değeri  $> 40$  fC
- RBX başına sinyal veren piksel sayısı  $< 10$

Şekil 4.3'te 196975 nolu veriye ait HB - HE'de bulunan toplam 288 adet RM (HFD)'den okunan gürültü oranları gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi HB - HE'deki tüm HFD'lerin gürültü oranı 0.01 ile 0.03 Hz arasındadır. Bu 0 T'da gürültü oranları için beklenen bir durumdur. Bazı HFD'ler ise 0.06 Hz'den büyük gürültü oranına sahiptir, buradaki oran beklenen değer (0.05 Hz)'den yüksektir. Bu nedenle

0.06 Hz'den büyük gürültüye sahip HFD'lerin listesi çıkarılarak bu özelliğe sahip olanlar gürültülü HFD'ler olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.2'de gürültülü HFD'ler ve bunların gürültü oranları gösterilmektedir.

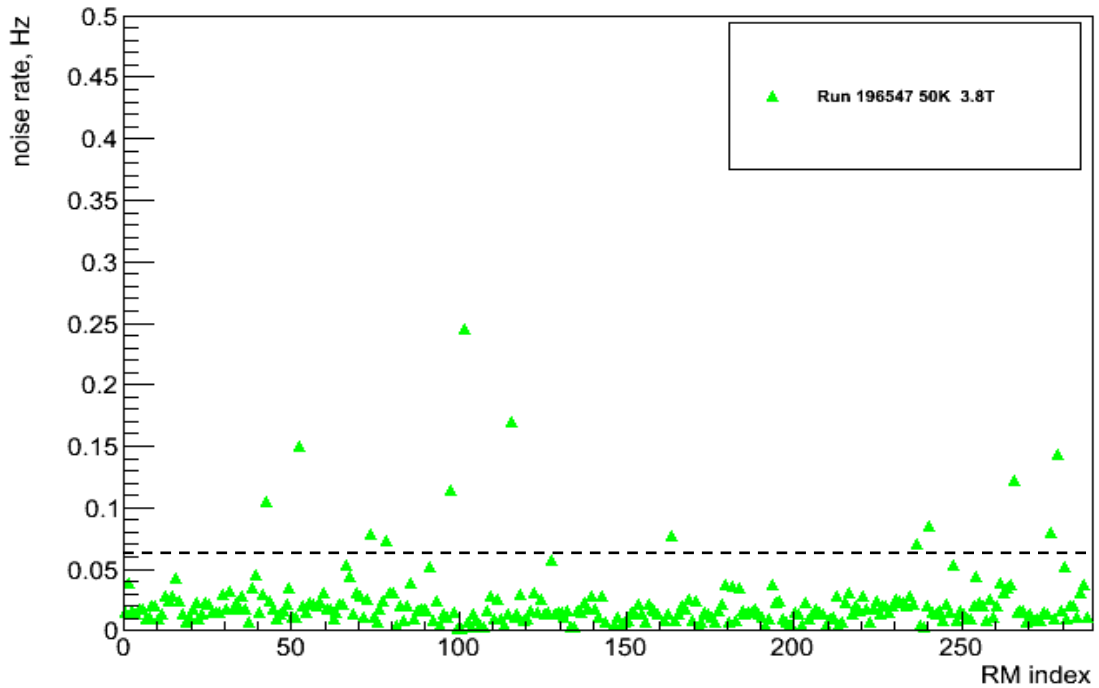


Şekil 4.3. 196975 nolu veriye ait HB - HE'de bulunan toplam 288 adet RM (HFD)'den okunan gürültü oranları.

Çizelge 4.2. 196975 nolu veriye ait gürültülü HFD'ler ve gürültü oranları.

	HFD Numarası	Gürültü Oranı (Hz)
196975 Nolu Veri	HEM10 RM3	0.063
	HEM11 RM3	0.120
	HEM14 RM1	0.100
	HBM01 RM2	0.082
	HBM02 RM3	0.068
	HBM07 RM2	0.086
	HBM08 RM2	0.201
	HBM11 RM4	0.149
	HEP07 RM1	0.084
	HEP10 RM4	0.072
	HEP13 RM2	0.076
	HEP16 RM1	0.061
	HEP16 RM3	0.114

HFD'lerin 0 T'daki gürültü oranları araştırılıp gürültülü HFD'ler saptandıktan sonra aynı HFD'lerin 3.8 T altındaki davranışlarını anlayabilmek için gürültü oranlarına bakılmıştır. Şekil 4.4'de 3.8 T'lık manyetik alan için 196547 nolu verinin HB - HE'de bulunan toplam 288 adet RM (HFD)'den okunan gürültü oranları gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi HB - HE'deki tüm HFD'lerin gürültü oranı 0.01 ile 0.03 Hz arasındadır. Artan manyetik alan ile birlikte HFD'lerin gürültü oranlarında bir miktar artış gözlemlenmiştir. Bu artış beklenen bir durumdur. Şekil 4.4'teki bazı HFD'ler 3.8 T'da 0.06 Hz'den büyük gürültü oranına sahiptir, bu gürültü oranı 0 T'lık manyetik alanda da görülmektedir. Bu nedenle 0.06 Hz'den büyük gürültüye sahip HFD'lerin listesi çıkarılmış ve 0 T'da olduğu gibi bu HFD'lerin gürültülü olduğuna karar verilmiştir. Dedektör 3.8 T'lık manyetik alanda çalıştığında gürültülü HFD'ler ve bu HFD'lerin gürültü oranları Çizelge 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.4. 196547 nolu veriye ait HB - HE'de bulunan toplam 288 adet RM (HFD)'den okunan gürültü oranları.

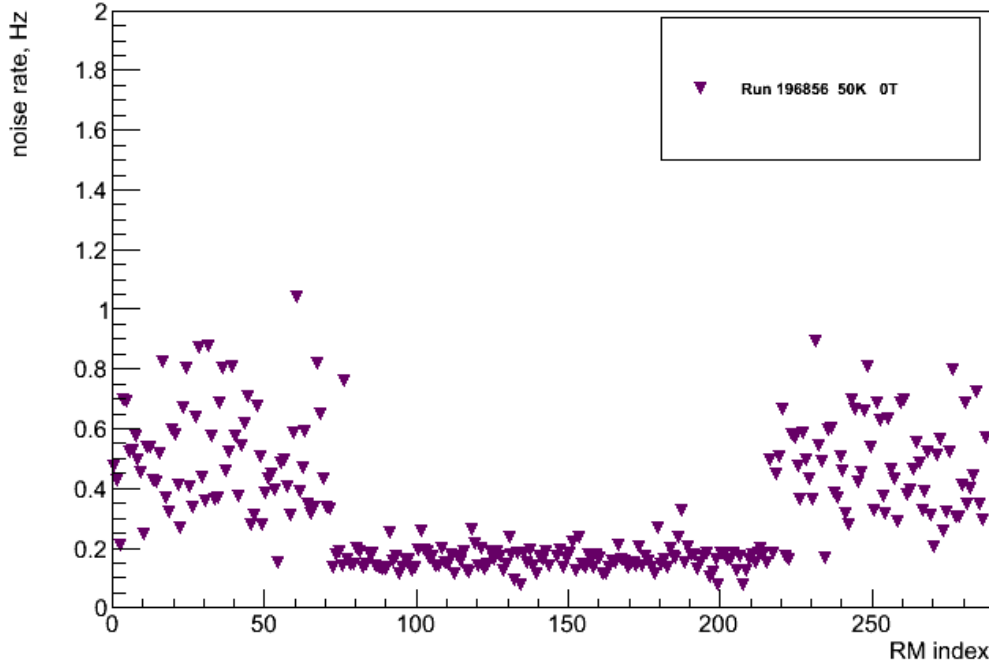
Çizelge 4.3. 196547 nolu veriye ait gürültülü HFD'ler ve gürültü oranları.

	HFD Numarası	Gürültü Oranı (Hz)
196547 Nolu Veri	HEM11 RM3	0.136
	HEM14 RM1	0.148
	HEM17 RM3	0.069
	HBM01 RM2	0.079
	HBM02 RM3	0.082
	HBM04 RM2	0.085
	HBM05 RM4	0.104
	HBM07 RM2	0.111
	HBM08 RM2	0.220
	HBM11 RM4	0.190
	HBM14 RM4	0.104
	HEP05 RM4	0.084
	HEP06 RM1	0.093
	HEP07 RM1	0.116
	HEP10 RM4	0.065
	HEP13 RM2	0.101
	HEP16 RM1	0.090
	HEP16 RM3	0.155

Çizelge 4.2 ve 4.3 incelendiğinde, 0 T'da alınan verilerde gözlenen gürültülü HFD'lerin çoğunun, 3.8 T'da alınan verilerde gözlemlenen gürültülü HFD'ler ile aynı olduğu görülmüştür.

Bir sonraki aşama olarak, 2012 yılının Haziran - Temmuz ayları arasında alınan tüm verilerin gürültü oranlarına bakılmıştır. 0 T ve 3.8 T'da alınan verilerde olduğu gibi tüm verilerin gürültü oranı her bir HFD için çizdirilmiş ve 0.06 Hz üzerinde gürültü oranına sahip HFD'lerin listesi oluşturulmuştur. Bu işlem esnasında 196856 ve 196861 nolu verilerde HBHEa kısmına ait çoğu HFD'nin gürültü oranının beklenenden daha yüksek değerlerde olduğu saptanmıştır. Şekil 4.5'te 196856 nolu veriye ait HB - HE'de bulunan toplam 288 adet RM (HFD)'den okunan gürültü oranları gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi HBHEa kısmına ait HFD'lerin gürültü oranı beklenenden yüksektir. Aynı histogramda HBHEb ve HBHEc kısmına ait HFD'lerde herhangi bir problem görülmemektedir. Bu sonuçlar dâhilinde 196856 ve 196861 nolu veriler alınırken HKAL'in yapılandırmasında bir problem olduğu

ve HBHEa kısmının doğru yapılandırılmadığı saptanmıştır. Bundan dolayı çalışmanın geri kalan kısmında bu iki veri analizlere dahil edilmemiştir.



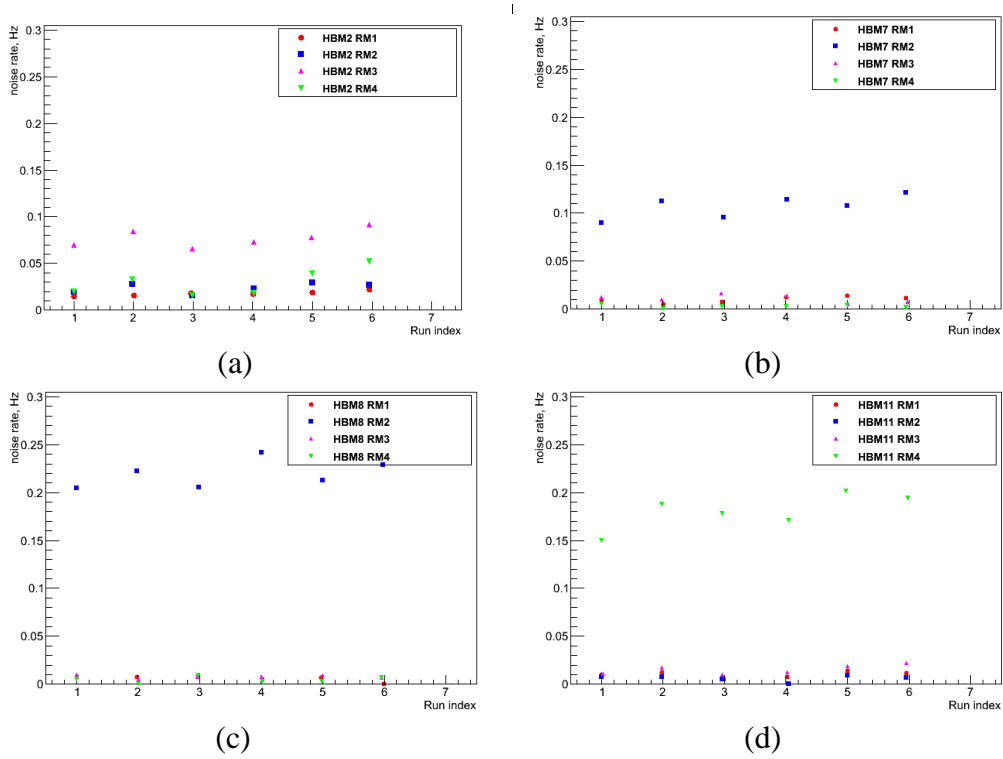
Şekil 4.5. 196856 nolu veriye ait HB - HE’de bulunan toplam 288 adet RM (HFD)’den okunan gürültü oranları.

Çizelge 4.4. Altı adet veride gözlemlenen gürültülü HFD’ler ve ortalama gürültü oranları.

HFD Numarası	Gürültü Oranı (Hz)
HEM11 RM3	~0.122
HEM14 RM1	~0.135
HBM02 RM3	~0.076
HBM07 RM2	~0.107
HBM08 RM2	~0.219
HBM11 RM4	~0.181
HEP07 RM1	~0.104
HEP10 RM4	~0.070
HEP13 RM2	~0.104
HEP16 RM1	~0.080
HEP16 RM3	~0.150

Haziran - Temmuz 2012’de alınan altı adet veride gözlenen gürültülü HFD’ler ve bu HFD’lerin gürültü oranları Çizelge 4.4’te listelenmiştir. Bir sonraki adımda Çizelge 4.4 listelenen her bir HFD’ye ait RBX’in tüm HFD’lerinin gürültü

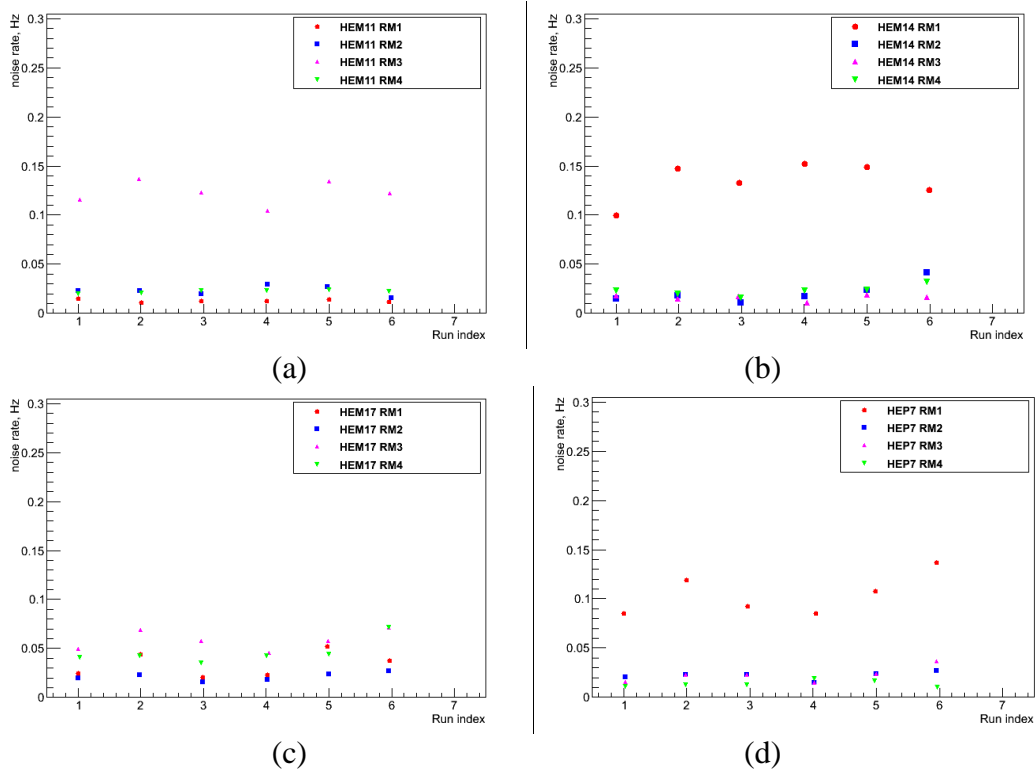
oranları incelenmiştir. Şekil 4.6'da (a) HB<sup>-</sup>'ye ait 2 nolu RBX'in (b) HB<sup>-</sup>'ye ait 7 nolu RBX'in (c) HB<sup>-</sup>'ye ait 8 nolu RBX'in (d) HB<sup>-</sup>'ye ait 11 nolu RBX'in RM1, RM2, RM3 ve RM4 nolu HFD'lerinin gürültü oranları verilmiştir. Şekil 4.6'dan görüldüğü gibi HB<sup>-</sup> RBX2 RM3, HB<sup>-</sup> RBX7 RM2, HB<sup>-</sup> RBX8 RM2, HB<sup>-</sup> RBX11 RM4 nolu HFD'lerin gürültü oranı tüm veriler için 0.06 Hz'den büyüktür ve bu HFD'lerin gürültü oranları aynı RBX'teki diğer HFD'lerin gürültü oranlarından daha yüksektir.



Şekil 4.6. (a) HB<sup>-</sup>'ye ait 2 nolu RBX'in (b) HB<sup>-</sup>'ye ait 7 nolu RBX'in (c) HB<sup>-</sup>'ye ait 8 nolu RBX'in (d) HB<sup>-</sup>'ye ait 11 nolu RBX'in RM1, RM2, RM3 ve RM4 nolu HFD'lerinin gürültü oranları.

Şekil 4.7'de ise (a) HE<sup>-</sup>'ye ait 11 nolu RBX'in (b) HE<sup>-</sup>'ye ait 14 nolu RBX'in (c) HE<sup>-</sup>'ye ait 17 nolu RBX'in (d) HE<sup>+</sup>'ye ait 7 nolu RBX'in RM1, RM2, RM3 ve RM4 nolu HFD'lerinin gürültü oranları gösterilmiştir. Şekil 4.7'den görüldüğü gibi HE<sup>-</sup> RBX11 RM3, HE<sup>-</sup> RBX14 RM1, HE<sup>+</sup> RBX7 RM1 ait HFD'lerin gürültü oranları 0.06 Hz'den daha büyüktür ve bu HFD'lerin gürültü oranı aynı RBX'lere ait diğer HFD'lerin gürültü oranından daha yüksektir. HE<sup>-</sup> RBX17

RM3 ait HFD'nin gürültü oranı 0.06 Hz'den kısmen daha büyük iken, bu HFD'nin gürültü oranı aynı RBX'teki diğer HFD'lerin gürültü oranından çok farklı olmadığından gürültülü olmadığına karar verilmiştir.

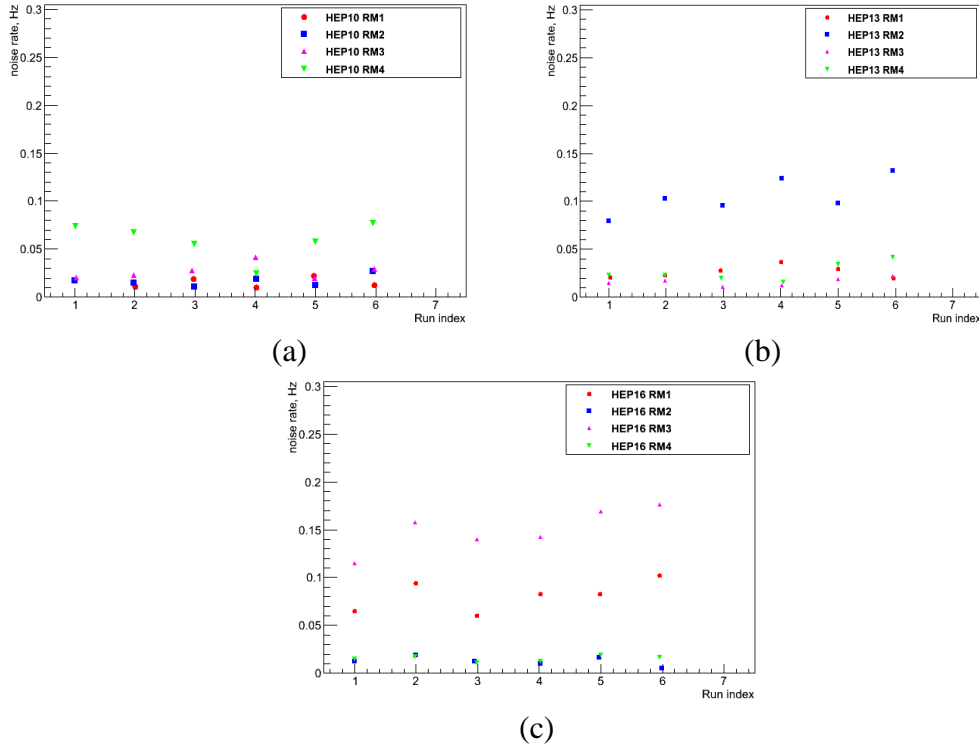


Şekil 4.7. (a) HE<sup>-</sup>'ye ait 11 nolu RBX'in (b) HE<sup>-</sup>'ye ait 14 nolu RBX'in (c) HE<sup>-</sup>'ye ait 17 nolu RBX'in (d) HE<sup>+</sup>'ya ait 7 nolu RBX'in RM1, RM2, RM3 ve RM4 nolu HFD'lerinin gürültü oranları.

Şekil 4.8 ise (a) HE<sup>+</sup>'ya ait 10 nolu RBX'in (b) HE<sup>+</sup>'ya ait 13 nolu RBX'in (c) HE<sup>+</sup>'ya ait 16 nolu RBX'in RM1, RM2, RM3 ve RM4 nolu HFD'lerinin gürültü oranlarını göstermektedir. Şekil 4.8'den görüldüğü gibi HEP10 RM4, HEP13 RM2, HEP16 RM1 ve RM3'ün gürültü oranları 0.06 Hz'den büyüktür ve bu HFD'ler gürültülüdür. Buradaki HEP'ler HE'in (+) modülünü göstermektedir.

Yapılan çalışmalar sonucunda tüm verilerde gürültü oranı 0.06 Hz'den büyük olan HFD'lerin gürültülü olduğuna karar verilmiştir. HFD'lerdeki bu gürültü iyon geri beslemeden kaynaklanmaktadır. HB<sup>-</sup> RBX2 RM3, HB<sup>-</sup> RBX7 RM2, HB<sup>-</sup> RBX8 RM2, HB<sup>-</sup> RBX11 RM4, HE<sup>-</sup> RBX11 RM3, HE<sup>-</sup> RBX14 RM1, HE<sup>+</sup> RBX7 RM1, HE<sup>+</sup> RBX10 RM4, HE<sup>+</sup> RBX13 RM2, HE<sup>+</sup> RBX16 RM1 ve RM3

gürültülü HFD'lerdir. Bunların dışında kalan 277 HFD'nin Çizelge 4.1'deki veriler kullanılarak yapılan analiz sonuçlarında gürültü oranlarının tüm veriler için 0.06 Hz'den küçük olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.8. (a) HE<sup>+</sup>'ya ait 10 nolu RBX'in (b) HE<sup>+</sup>'ya ait 13 nolu RBX'in (c) HE<sup>+</sup>'ya ait 16 nolu RBX'in RM1, RM2, RM3 ve RM4 nolu HFD'lerinin gürültü oranları.

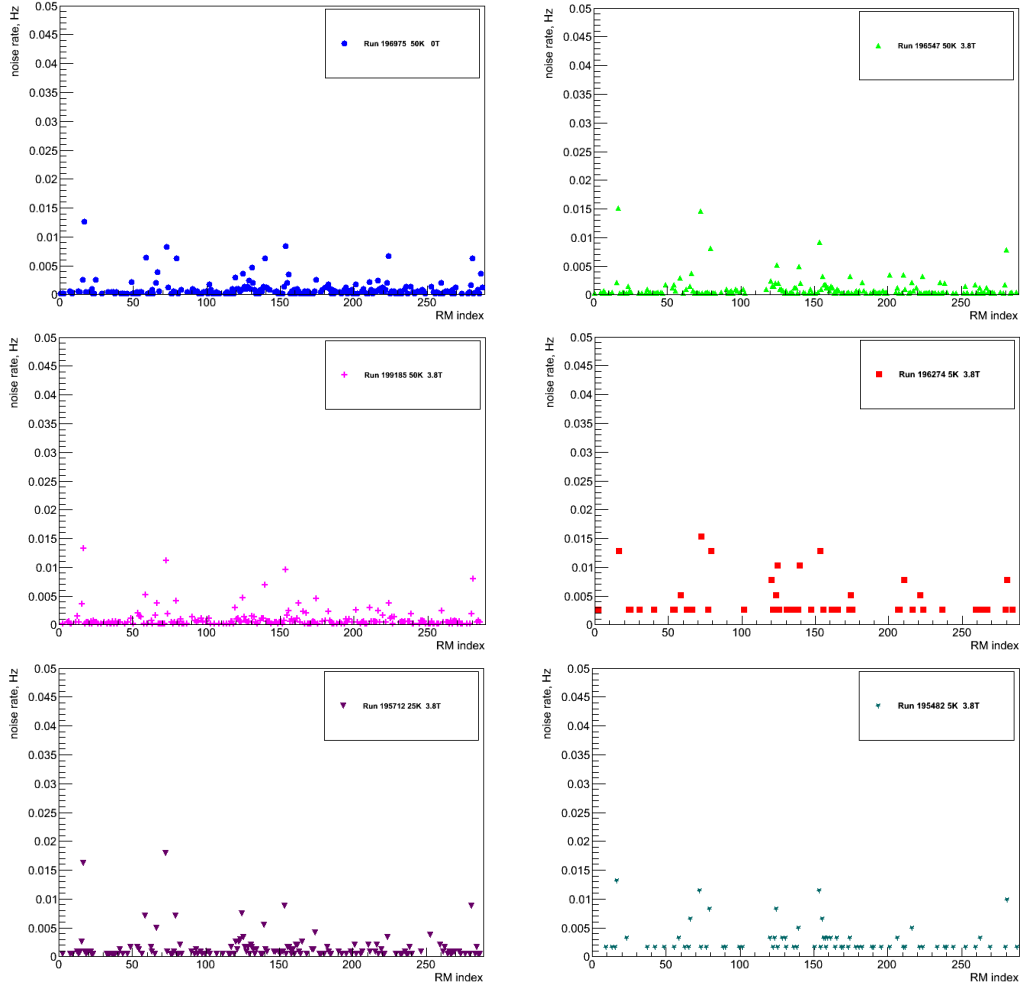
#### 4.2.2. Boşalmadan Kaynaklanan HFD Gürültüsü

HFD'nin boşalmasından kaynaklanan HFD gürültü analizleri için aşağıdaki kısıtlamalar uygulanmıştır.

- Her pikseldeki enerji değeri > 40 fC
- $10 < \text{RBX başına sinyal veren piksel sayısı} < 50$

Bu sınırlamalar uygulandıktan sonra HB - HE Self Trigger verilerinin gürültü dağılımları HFD iyon geri beslemeye benzer şekilde araştırılmıştır. Şekil 4.9'da altı

farklı veri için HB – HE'deki 288 adet HFD'nin gürültü oranları gösterilmektedir. Şekil 4.9'dan görüldüğü gibi tüm HFD'lerin gürültü oranı 0.06 Hz'den daha küçüktür. Dolayısıyla boşalmadan kaynaklanan gürültülü HFD'den bahsetmek mümkün değildir.



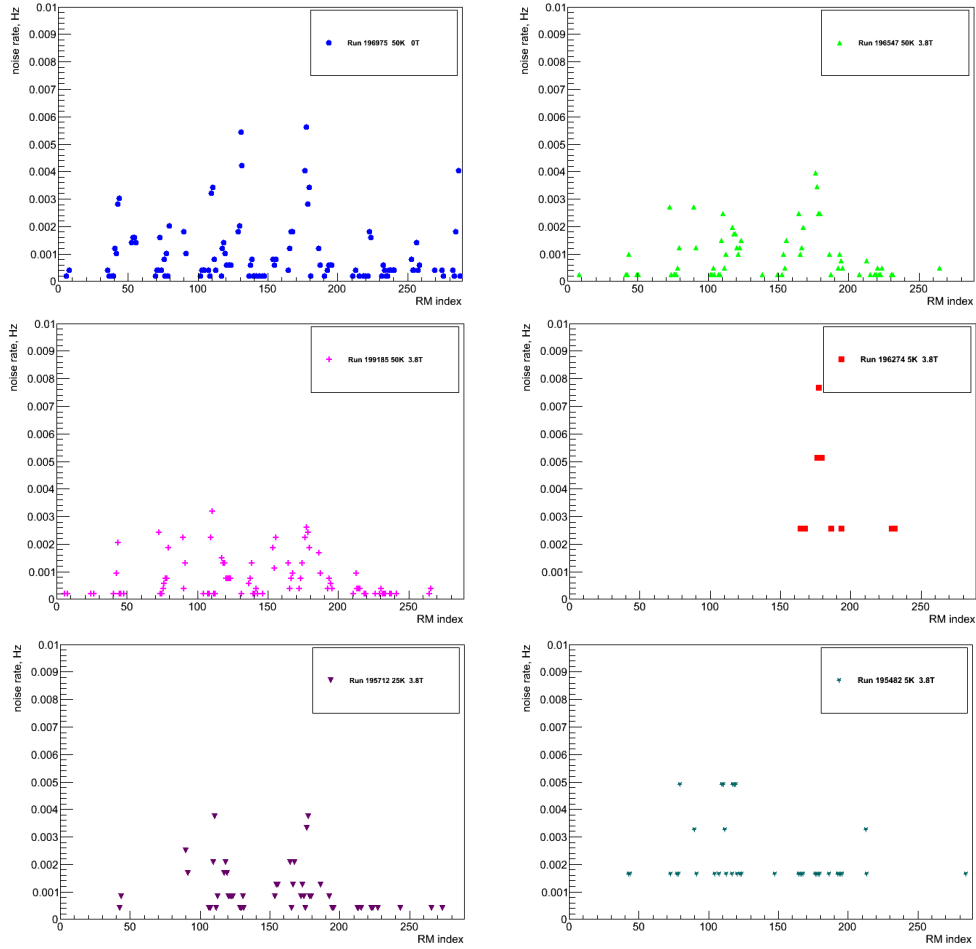
Şekil 4.9. Altı farklı veri için HB - HE'deki 288 adet HFD'nin gürültü oranları.

#### 4.2.3. RBX Gürültüsü

RBX gürültüsünü belirleyebilmek için aşağıdaki sınırlamalar kullanılmıştır.

- Her pikseldeki enerji değeri  $> 40$  fC
- RBX başına sinyal veren piksel sayısı  $> 50$

Bir RBX'in gürültülü olabilmesi için aynı RBX'te bulunan en az iki HFD'nin gürültü oranının 0.06 Hz'den büyük olması gerekir. Şekil 4.10'da altı farklı veri için HB – HE'de bulunan 288 adet HFD'nin gürültü oranı gösterilmiştir. Gürültü oranı 0.06 Hz'den büyük olan HFD saptanmadığından gürültülü herhangi bir RBX'in olmadığına karar verilmiştir.



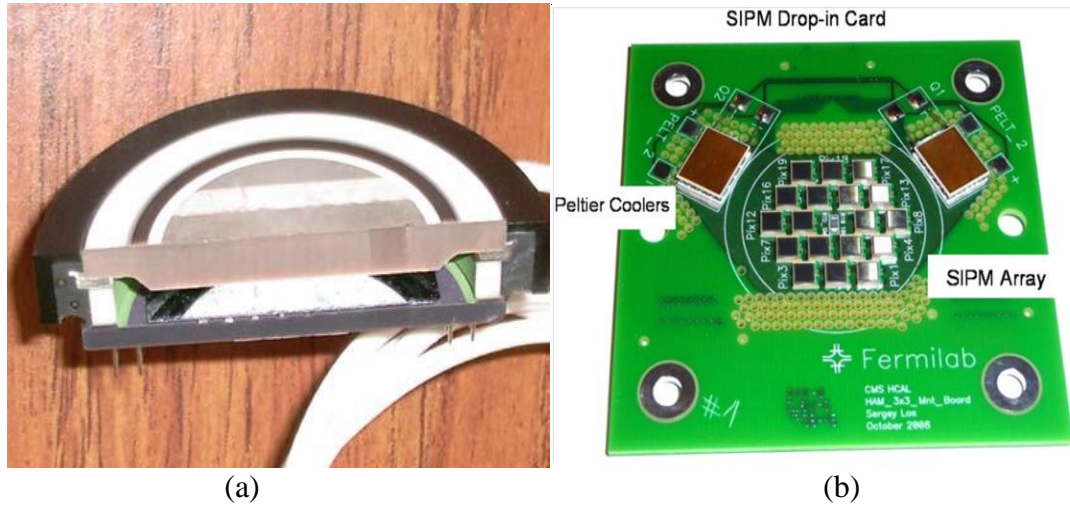
Şekil 4.10. Altı farklı veri için HB - HE'deki 288 adet HFD'nin gürültü oranları.

### 4.3. HO904 Test Düzenegi

HKAL'in dış kalorimetresi (HO)'nde kullanılacak olan SiFÇ'nin “drop-in” kartları olarak adlandırılan pikseller, mevcut 19 pikseli HFD'lerin yerini alacaktır. Şekil 4.11 (a)'da bir HFD'nin yarısı, Şekil 4.11 (b)'de bir SiFÇ'in ızgara örgüsü üzerinde bulunan 18 adet 3x3 mm<sup>3</sup>'lük pikseller ya da diğer bir adıyla piksel dizilimi

gösterilmektedir. Bu kartların 18 pikseli, HFD'nin 19 pikseli geometrisiyle eşleşmektedir, çünkü HFD'lerin merkezindeki piksel kullanılmamaktadır. Ayrıca "drop-in" kartları, yerel sıcaklığı düzenlemek için kullanılan iki Peltier soğutucu içermektedir.

SiFÇ dizisinin merkezinde, sıcaklığı okumak için bir RTD (Direnç Sıcaklık Dedektörü) bulunmaktadır. Ölçülen sıcaklık, Peltier soğutucularının işletme voltajı için düzeltmeleri hesaplayan ve gönderen yazılımsal bir geri besleme döngüsünde kullanılmaktadır. Oda sıcaklığında işletilme özelliğine sahip olan SiFÇ'lerin Peltier sıcaklığı tam olarak 21.1 °C olmalıdır. SiFÇ'lerin en önemli problemi, sıcaklığa duyarlı olmasıdır. SiFÇ'lerin sıcaklığı santigrat cinsinden % 4'ten % 8'e kadar değişmektedir. SiFÇ'lerin sıcaklığındaki değişim 0.2 °C'den daha az olacak şekilde Peltier soğutucularla dengede tutulduğundan sıcaklık değişim problemi ortadan kalkmaktadır. SiFÇ'ler 40 – 80 V ön geriliminde (bias voltajı) çalışmaktadır (Freeman, 2010).



Şekil 4.11. (a) Bir HFD'nin yarısı (Freeman, 2010a). (b) SiFÇ düzeneği (Freeman, 2010b).

HFD'ler ile değiştirilecek olan SiFÇ'ler HO dedektörüne yerleştirilmeden önce CERN'ün Prévessin yerleşkesindeki 904 nolu binasında kurulan bir düzenek ile test edilmektedir. Test düzeneğinde "taşıyıcı anne" denilen iki RBX bulunmaktadır. HO'da H02P, 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. RBX'lerin içine SiFÇ kartları kurularak, SiFÇ'ların ön gerilim taramalarına karşılık vereceği tepkiler ve kararlılık durumları kontrol edilmektedir. Şekil 4.12'de HO904 test düzeneği ve HO1M02 ile HO1M04 RBX'leri gösterilmektedir.



Şekil 4.12. HO RBX Test Düzeneği.

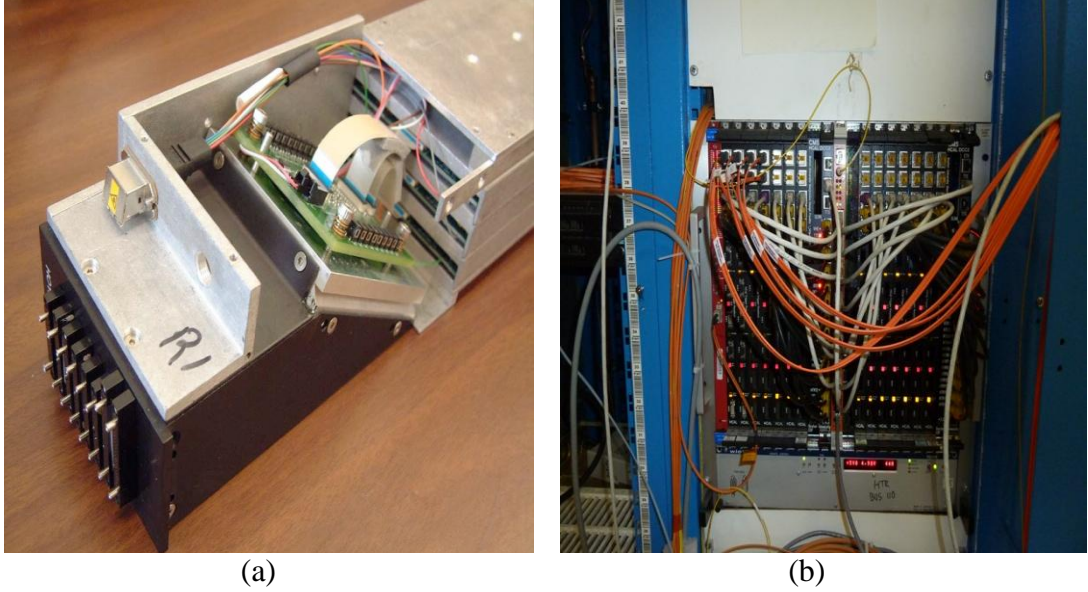
Her RBX'te dört RM bulunmaktadır ve bunların her biri kalibrasyon modülleri ile donatılmıştır. Sekiz adet çoklu zaman programlayıcı (MTP) fiber şerit, RM'lerden okunan veriyi yüksek tetikleme okuyucu (HTR) kutusuna taşımaktadır. HO1M02 RBX'in 1 nolu RM'inden başlayarak, RBX'lerdeki RM'ler sırasıyla 1'den 8 kadar numaralandırılmıştır. Şekil 4.13 (a)'da SiFÇ kartlarının ve SiFÇ'lerin yerleştirildiği RM'ler ve Şekil 4.13 (b)'de HO test düzeneğinin HTR modülü gösterilmektedir.

Test boyunca alınan verilerde, HO1M02'deki RM1 ve HO1M04'deki RM5'te bulunan SiFÇ'lar değiştirilmemiş ve bu RM'lerden okunan veriler referans olarak alınmıştır. HO1M02'de bulunan RM2, RM3, RM4 ve HO1M04'de bulunan RM6, RM7, RM8 haftanın belli dönemlerinde değiştirilerek SiFÇ'lerin önemli bazı özellikleri incelenmiştir. Test düzeneğinde SiFÇ kart paketlerinin ve SiFÇ'lerin

- Pedestal
- LED Sinyali
- Peltier/Gürültü Analizi
- Kararlılık

- Self-Trigger

özelliklerini incelemek için HO904 test düzeneğinden alınan veriler Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. (a) 18 pikseli SiFÇ kartı ve SiFÇ’ların yerleştirildiği okuma modülü (A.Heering ve ark. 2007). (b) HTR Modülü (<https://twiki.cern.ch/twiki/pub/CMS/HCALupgradeHOTestStand904/P1010682.JPG>).

Çizelge 4.5. HO904 test düzeneğinden alınan veri tipleri ve olay sayıları.

Veri Tipi	Olay sayısı
Bat904_HO_LED_IVscan	460K
Bat904_HO_PED_IVscan	330K
Bat904_HO_SelfTrigger_low	100K
Bat904_HO_SelfTrigger_medium	100K
Bat904_HO_SelfTrigger_high	50K
Bat904_HO_PeltierScan	330K
Bat904_HO_LED_PED_longPulsed	en az 59K, (30K/saat)
Bat904_HO_LED_PED_long	en az 20k, (6Hz*3600=21600 olay/saat)
Bat904_HO_PeltierScan_LED_PED_longPulsed	510K

#### 4.3.1. HO SiFÇ'lerinin Self Trigger Analizi

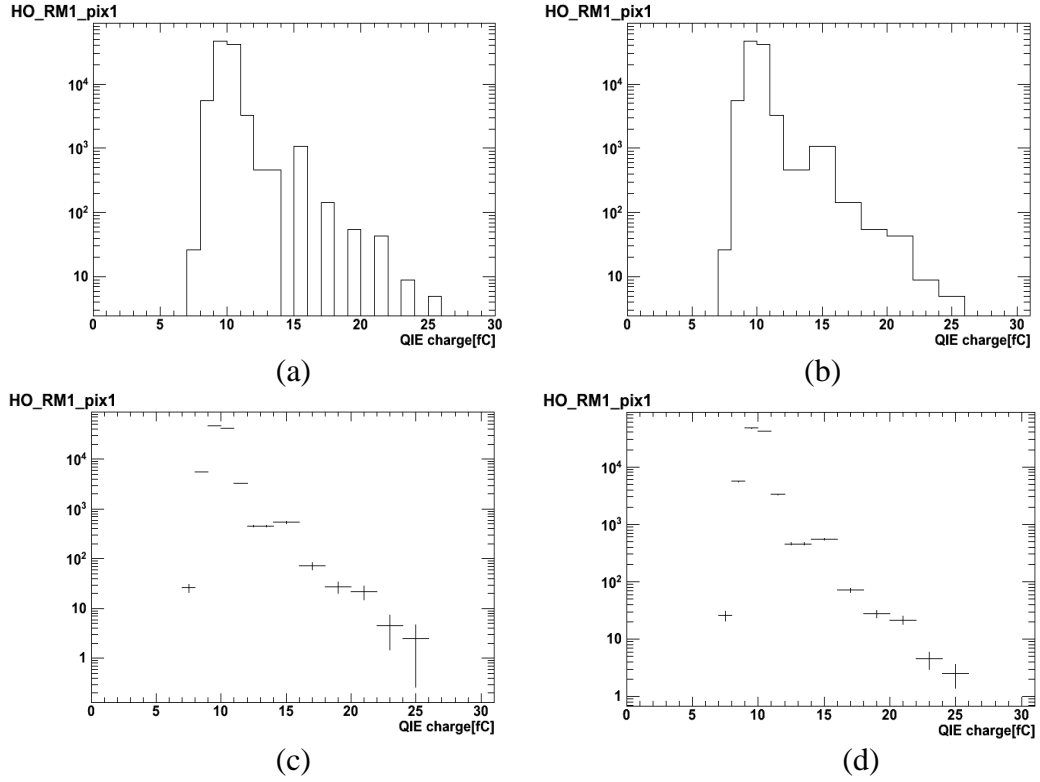
SiFÇ'ler ısısal gürültüsü olan yarı iletken aygıtlardır. Isısal gürültü, SiFÇ'e herhangi bir ışık gelmediğinde bile SiFÇ'nin piksellerini rastgele olarak tetiklemektedir. Pikselin tetikleme oranı SiFÇ'nin yapıldığı malzemeye ve tasarımına bağlı olarak değişmektedir. SiFÇ'ler 25 °C'de ve normal kazanç altında çalıştırıldığında, SiFÇ'lerin pikselleri 0.5 Hz ile 1.5 Hz aralığında tetiklenmektedir. HO SiFÇ'lerinin beklenen aralıkta tetiklenip - tetiklenmediğini kontrol etmek amacıyla üç farklı tipte Self Trigger verisi alınmıştır. Self trigger verileri farklı eşik değerlerine sahiptir. Self Trigger'a ait veri tipi ve verilerin eşik değerleri fC cinsinden aşağıda listelenmiştir.

- HO\_SelfTrigger\_low: 25 fC
- HO\_SelfTrigger\_medium: 40 fC
- HO\_SelfTrigger\_high: 55 fC

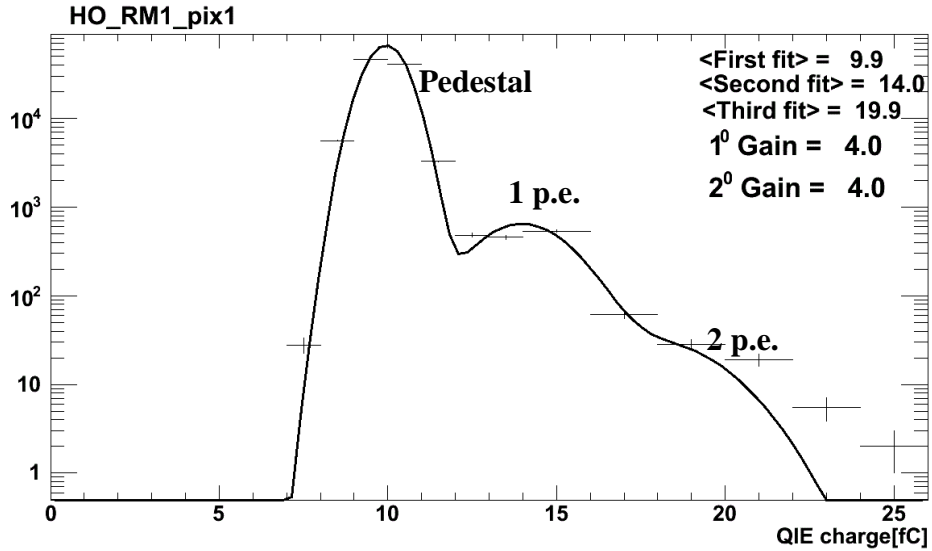
Bu çalışmada SiFÇ'deki ısısal gürültüyü saptamak için Self trigger analizi yapılarak her bir RM'deki pikselin tetikleme oranlarına bakılmıştır. Analiz için toplam 176 adet Self Trigger verisi incelenmiştir. Veriler alınırken herhangi bir özel tetikleme uygulanmamış ya da yapılandırma kullanılmamıştır. HO904 test düzeneği kullanılarak alınan veriler HKAL'ın şu anki yapılandırmasına uygun olan 4 TS zaman aralığına göre alınmıştır. Bu çalışmada ise her bir pikselin tetikleme oranının doğru şekilde saptanabilmesi için 1 TS zaman aralığı kullanılmıştır. Tetikleme oranının belirlenmesi için önce QIE kartlarından okunan yüklerin dağılımından hesaplanan SiFÇ kazancının bilinmesi gerekir. Daha önce yapılan çalışmalarda, HO904 test düzeneğinden alınan veriler ile 4 TS için kazanç hesabı yapılmasına rağmen 1 TS için herhangi bir kazanç hesabının yapılmadığı görülmüştür. Bu nedenle tetikleme oranının doğru hesaplanabilmesi için, önce 1 TS ile kazanç hesabı yapılmıştır. Prensipite kazanç tüm zaman dilimleri için aynı olmalıdır. Bu analizde tetiklemenin en yüksek olduğu zaman diliminden bir önceki veya bir sonraki zaman dilimindeki olaylar incelenmiştir.

1 TS için QIE kartından okunan verinin yük dağılımına bakıldığında, QIE'nin çalışma prensibinden dolayı okunan veri kesikli bir dağılım göstermektedir. Şekil 4.14 (a)'da düşük eşik değerli 5694 nolu veriye ait 1 nolu RM'in 1 nolu pikselinin QIE yük dağılımı gösterilmektedir ve yük dağılımı beklendiği gibi kesiklidir. Yük dağılımının kesikli olması kazanç hesabı için büyük bir sorun teşkil etmektedir. Bu nedenle QIE yük dağılımına, QIE düzeltmesi (binning) uygulayarak sürekli bir histogram elde edilmiştir. QIE binning kısaca QIE yük dağılımındaki iki pik arasındaki boş binlerin QIE'nin çalışma sistemine uygun olarak bir önceki veya bir sonraki bine eklenmesi şeklinde açıklanabilir. Şekil 4.14 (b)'de düşük eşik değerli 5694 nolu verinin QIE binning uygulandıktan sonra elde edilen yük dağılımı gösterilmektedir. Bir histograma QIE binningin uygulanması, dağılımın istatistiğini artırmaktadır, bu durum kazanç hesabını büyük oranda etkilemektedir. Etkiyi ortadan kaldırmak amacıyla her bir bin değerinden okunan değer, binin genişliğine bölünmüştür. Bu işlem ile dağılımın istatistiği, QIE binning uygulamadan önceki dağılımın istatistiği ile aynı olmaktadır. Ayrıca kazancı doğru hesaplamak için yeniden dağılımın hata hesabı yapılmış ve yük dağılımına eklenmiştir. Şekil 4.14 düşük eşik değerli 5694 nolu verinin, (c) yük dağılımının her bir bin değerinde okunan değerinin binin genişliğine bölündükten ve (d) hata hesabı yapıldıktan sonra elde edilen dağılımı göstermektedir.

Bir sonraki aşamada bir RM'deki pikselin QIE yük dağılımlarına Gauss fit fonksiyonu uygulanarak kazanç hesaplanmıştır. Şekil 4.15 düşük eşik değerli 5694 verisine ait 1 nolu RM'in 1 nolu pikselinin QIE yük dağılımına uygulanan Gauss fit fonksiyonunu göstermektedir.



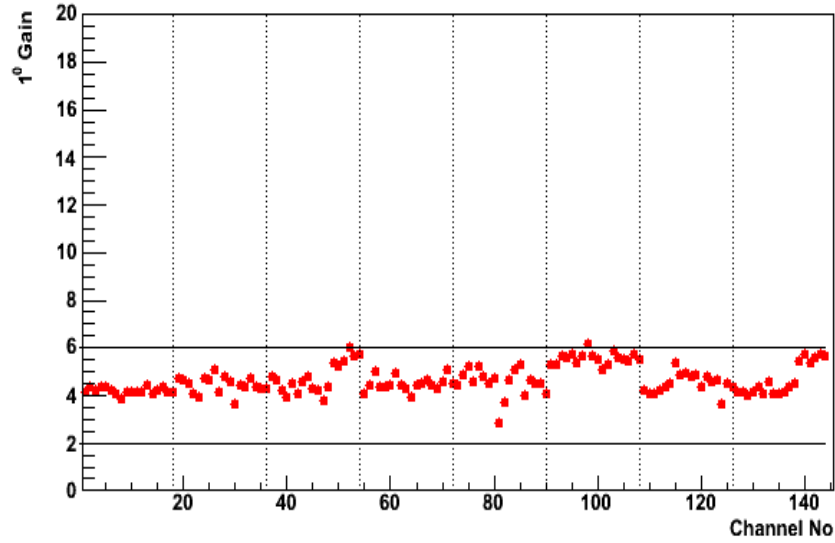
Şekil 4.14. Düşük eşik değerli 5694 verisine ait HO 1 nolu RM'in 1 nolu pikselinin (a) QIE yük dağılımı. (b) QIE binning uygulandıktan sonra QIE yük dağılımı. (c) Bin içeriği bin aralığına bölüldükten QIE yük dağılımı. (d) Hata hesabı yapıldıktan sonra elde edilen QIE yük dağılımı.



Şekil 4.15. Düşük eşik değerli 5694 verisine ait 1 nolu RM'in 1 nolu pikselinin QIE yük dağılımına uygulanan Gauss fit fonksiyonu.

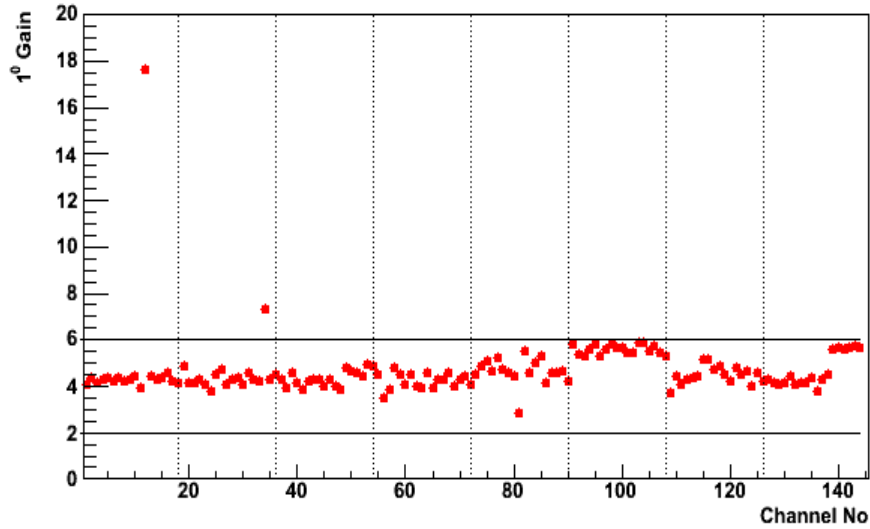
Şekil 4.15’de görüldüğü gibi QIE yük dağılımında üç tane zirve bulunmaktadır. Dağılımın ilk zirvesi elektronik aygıtlardan kaynaklanan gürültüdür. Düşük enerjinin rastgele gürültüsü ilk zirvenin aşağısında “sıfır” zirvesini oluşturmaktadır ve bu davranış genellikle “pedestal” olarak bilinmektedir. Bu gürültüyü SiFÇ’deki foto elektronlar üretmez. İkinci zirve birincil foto elektronlardan, üçüncü zirve ikincil foto elektronlardan kaynaklanan sinyallerdir. Buradaki kazanç, ikinci zirvenin ortalama değeri birinci zirvenin yani pedestale ait zirvenin ortalama değerinden çıkarılarak elde edilmiştir, bu birinci dereceden kazanç olarak bilinmektedir. Üçüncü zirvenin ortalama değerinin, ikinci zirvenin ortalama değerinden çıkarılmasıyla ikinci dereceden kazanç hesaplanmaktadır. Burada QIE yük dağılımından beklenen özelliklerden biri birinci dereceden kazanç ile ikinci dereceden kazancın birbirine eşit olma koşuludur. Şekil 4.15’ten görüldüğü gibi birinci dereceden kazanç 4.0 fC olarak hesaplanmıştır ve bu değer ikinci dereceden kazanca eşittir. Bu SiFÇ’lerden beklenen bir davranıştır.

Bir sonraki aşama olarak toplam 8 RM’e ait 144 pikselin birinci dereceden kazanç değeri bir histograma doldurulmuştur. Şekil 4.16’da yüksek eşik değerli 5630 nolu veriye ait 144 adet pikselin birinci dereceden kazanç değeri gösterilmektedir. Piksellerin kazanç değerinin 2 fC ile 6 fC arasında olması beklenmektedir. Şekil 4.16’nın  $x$  – eksenindeki kesikli çizgilerin her biri bir RM’i temsil etmektedir.  $y$  – eksenindeki çizgiler 2 fC ile 6 fC kazanç değerlerini göstermektedir. Şekilden 144 pikselin birinci dereceden kazanç değerinin beklenen aralıkta olduğu görülmektedir.

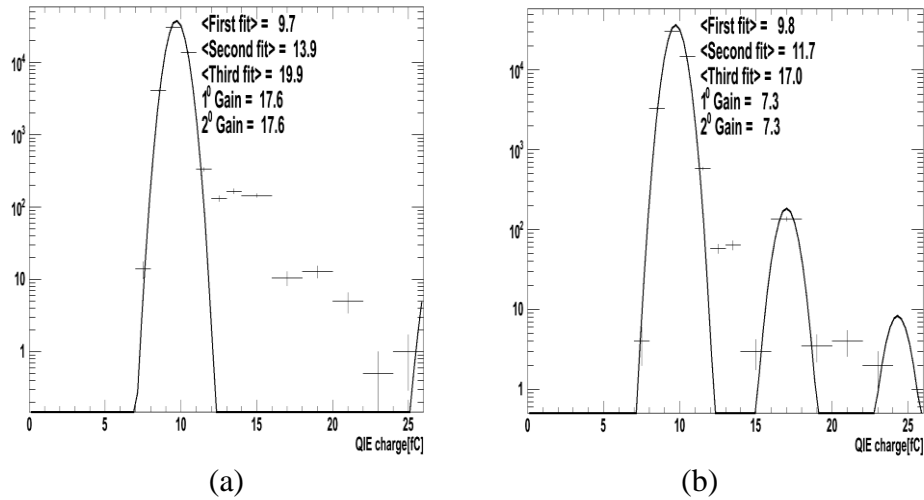


Şekil 4.16. Yüksek eşik değerli 5630 nolu veriye ait 144 adet pikselin birinci dereceden kazanç değeri.

Şekil 4.17'de yüksek eşik değerli 5621 nolu veriye ait 144 pikselin birinci dereceden kazanç değeri gösterilmektedir. Şekil 4.17'den görüldüğü gibi iki pikselin kazanç değeri 6 fC'dan büyüktür ve bu piksellerde kullanılan fit fonksiyonu doğru uygulanmamıştır. Bunlar 1 nolu RM'in 12 nolu pikseli ve 2 nolu RM'in 16 nolu pikselidir. Piksellerin QIE yük dağılımı ve fit fonksiyonu incelenmiştir. Şekil 4.18'de yüksek eşik değerli 5621 nolu veriye ait (a) 1 nolu RM'in 12 nolu pikselinin (b) 2 nolu RM'in 16 nolu pikselinin QIE yük dağılımı ve fit fonksiyonu gösterilmektedir. Şekil 4.18 QIE yük dağılımında herhangi bir problem yok iken, fit fonksiyonun doğru uygulanmadığını göstermektedir. Fit fonksiyonu probleminden dolayı 5621 nolu veriye ait 1 nolu RM'in 12 nolu pikselinin birinci dereceden kazancı 17.6 fC iken, 2 nolu RM'in 16 nolu pikselinin birinci dereceden kazancı 7.3 fC olarak hesaplanmıştır. Tetikleme oranı saptanırken fit fonksiyonu probleminden kaynaklanan kazanç hesabındaki hatalar göz önünde bulundurulmuştur.



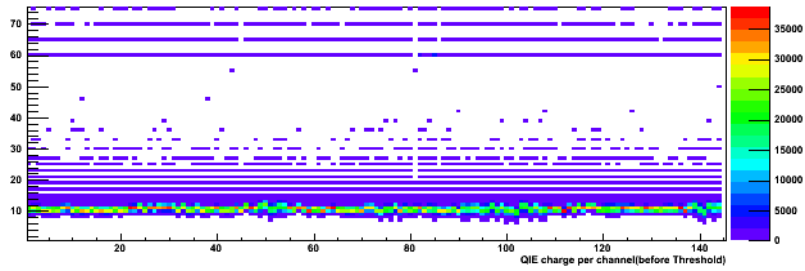
Şekil 4.17. Yüksek eşik değerli 5621 numaralı veriye ait 144 pikselin birinci dereceden kazanç değeri.



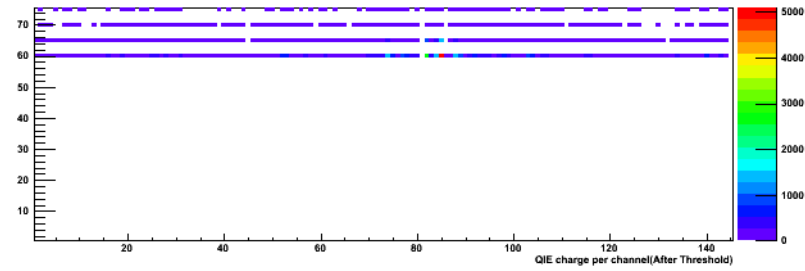
Şekil 4.18. 5621 verisine ait (a) 1 nolu RM'in 12 nolu pikselinin (b) 2 nolu RM'in 16 nolu pikselinin QIE yük dağılımı ve fit fonksiyonu.

1 TS'a ait QIE yük dağılımının kazanç hesabı yapıldıktan sonra her bir pikselin tetikleme oranlarına bakılmıştır. Daha önce bahsedildiği gibi Self Trigger verileri alınırken farklı eşik değerleri kullanılmıştır. Yüksek eşik değerine sahip (55 fC) verilerin sonuçları dikkate alınarak yüksek tetikleme oranına sahip SiFÇ pikselleri belirlenmiştir. Bir pikselin tetikleme oranı basitçe, bir pikselde belli bir zaman aralığında okunan rastgele olay sayısı olarak tanımlanabilir. Şekil 4.19'da

5630 nolu verinin 144 pikselinin (a) herhangi bir eşik değeri uygulanmadan (b) yüksek eşik değeri (55 fC) uygulandıktan sonraki tetikleme oranlarını göstermektedir. Burada  $x$  – eksenini 8 adet RM'deki toplam piksel sayısını,  $y$  – eksenini ise eşik değeridir. Şekil 4.19 (b)'de bir RM'in bir pikseli eşik değerini geçemediğinden bu pikselin tetikleme oranı 0 Hz olarak ölçülecektir.



(a)

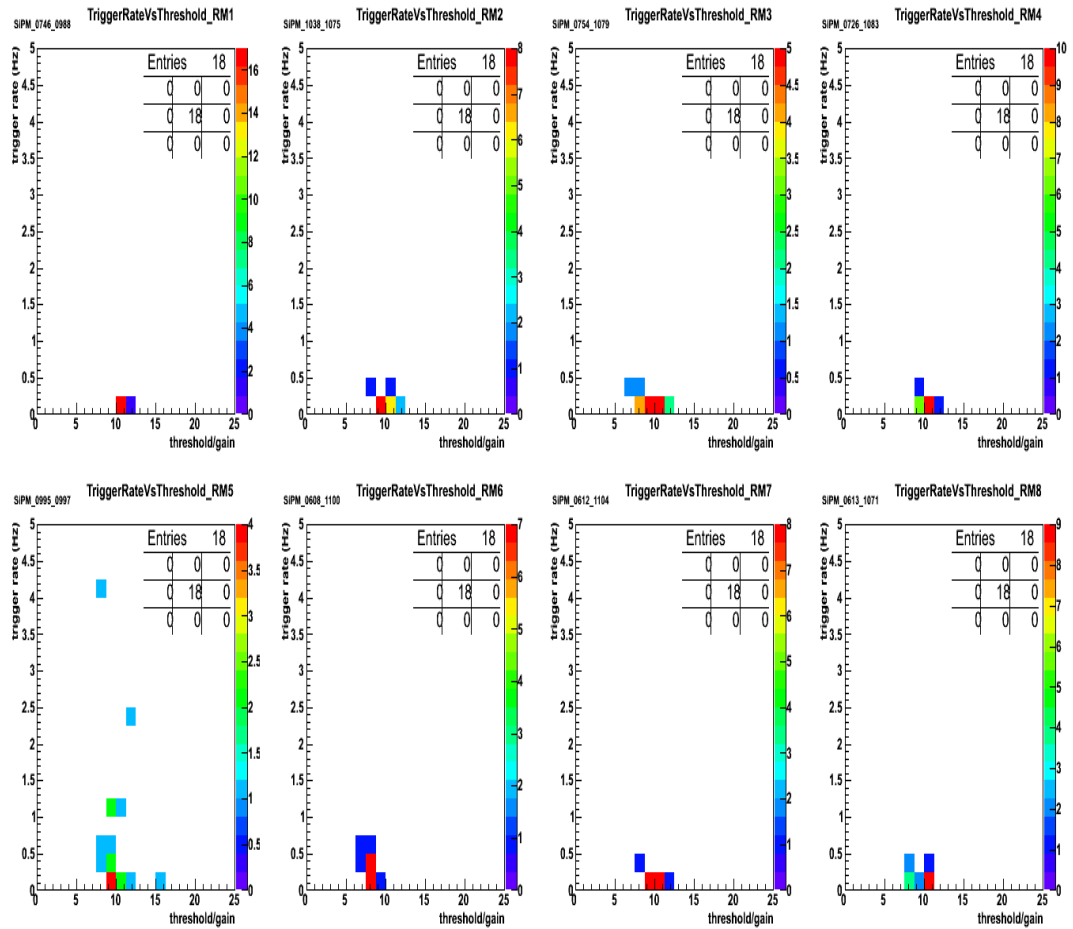


(b)

Şekil 4.19. Yüksek eşik değerli 5630 nolu verinin 144 pikselinin (a) herhangi bir eşik değeri uygulanmadan (b) yüksek eşik değeri (55 fC) uygulandıktan sonraki tetikleme oranları.

Tetikleme oranları hesaplandıktan sonra, eşik değerinin ve birinci dereceden kazancın tetikleme oranı üzerine olan etkilerini azaltmak için eşik değerinden Şekil 4.15'de bahsedilen pedestal zirvesinin ortalama değeri çıkarılarak, kazanç bölünmektedir. Bu oranın tetikleme oranı ile değişimi yüksek eşik değerli 5630 nolu veri için Şekil 4.20'de verilmiştir. Burada  $x$  eksenini (eşik değeri – pedestal değeri)/kazanç,  $y$  eksenini ise tetikleme oranını göstermektedir. Şekil 4.20'deki her bir histogram bir RM'e karşılık gelmektedir ve her bir histogramda bir RM'in 18 pikselinin tetikleme oranının (eşik değeri – pedestal değeri)/kazanç oranına karşı dağılımı gösterilmektedir. Görüldüğü gibi 5 nolu RM dışındaki tüm RM'lerin tetikleme oranları 0.5 Hz – 1.5 Hz aralığındadır. 5 nolu RM'in 9 numaralı pikselinin

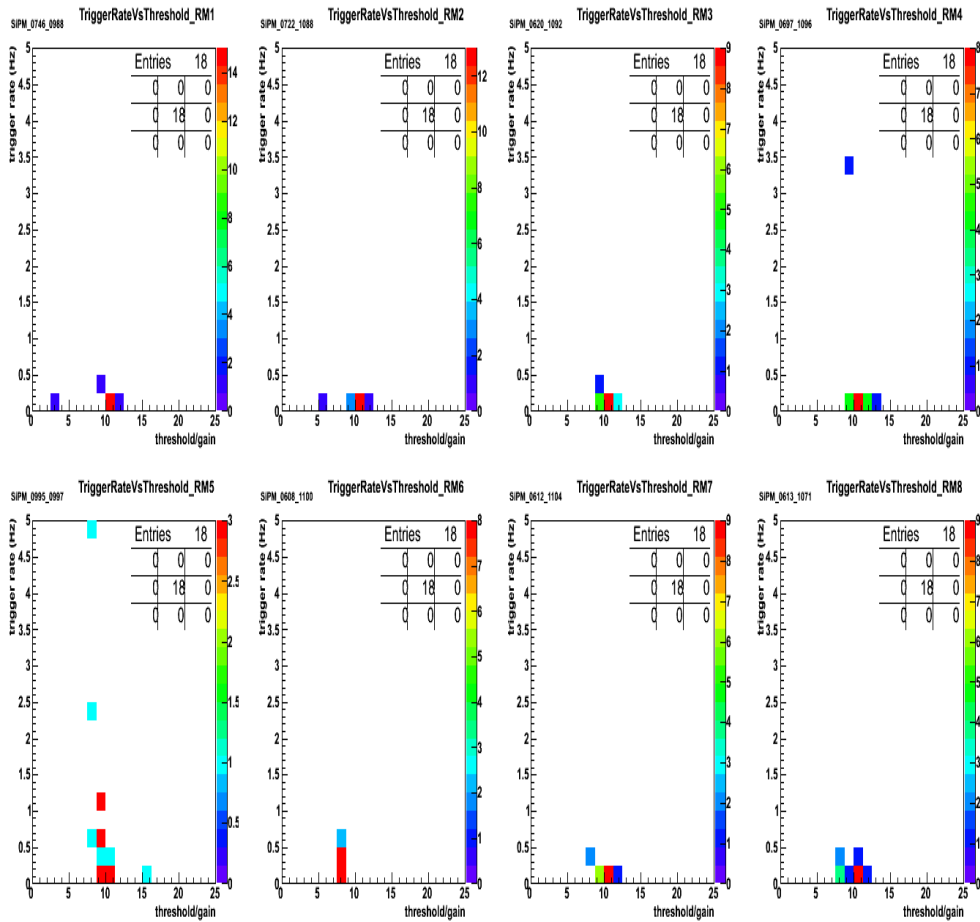
tetikleme oranı 0 iken 10 numaralı pikselinin tetikleme oranı 2.25 Hz ve 13 numaralı pikselinin tetikleme oranı 4.15 Hz olarak bulunmuştur. 56 adet yüksek eşik değerli verinin tamamı incelendiğinde 5 nolu RM'deki yüksek tetikleme oranına sahip piksellerin saat ve kontrol modülü (CCM)'nden kaynaklı bir problem olduğu gözlemlenmiştir. 5664 nolu veriden sonra CCM problemi çözülmüş ve 5 nolu RM'deki tüm piksellerin tetikleme oranınının 1.5 Hz'den küçük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.20. Yüksek eşik değerli 5630 nolu veriye ait 8 RM için tetikleme oranının (eşik değeri – pedestal değeri)/kazanç oranına göre değişimi.

Şekil 4.21 yüksek eşik değerli 5621 nolu veriye ait sekiz RM'in tetikleme oranlarının (eşik değeri – pedestal değeri)/kazanç oranına karşı histogramları gösterilmektedir. Histogramda 4 nolu RM'in 5 numaralı pikseli ve 5 nolu RM'in piksellerindeki tetikleme oranlarınının 1.5 Hz'den büyük olduğu saptanmıştır. 5 nolu

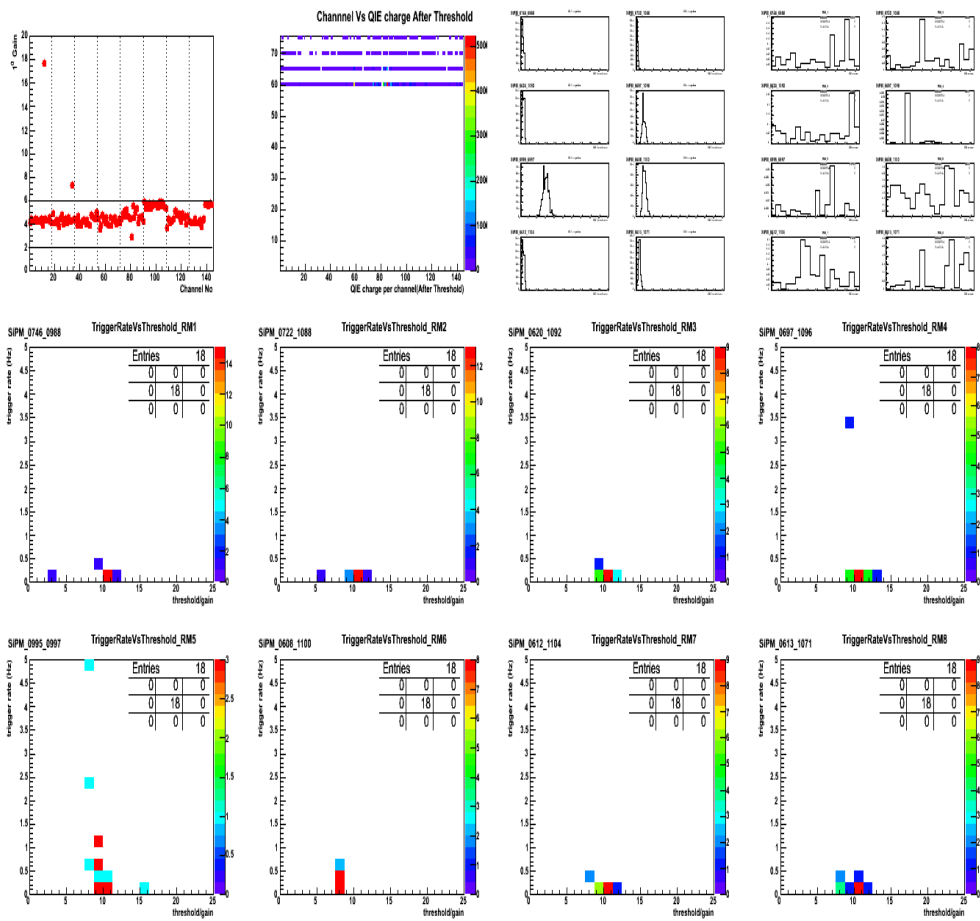
RM'deki yüksek tetikleme oranları daha önce incelenen verilerde gözlenmiş ve bu yüksek tetikleme oranının CCM'den kaynaklanan bir problem olduğu bilindiği için bu RM'deki problem göz ardı edilmiştir. 4 nolu RM'deki piksellerin tetikleme oranlarının 1.5 Hz'den büyük olma problemi daha ayrıntılı araştırılarak bu problemin nereden kaynaklandığı anlaşılmaya çalışılmıştır.



Şekil 4.21. Yüksek eşik değerli 5621 nolu veriye ait 8 RM için tetikleme oranının (eşik değeri – pedestal değeri)/kazanç oranına göre değişimi.

Problemi daha kolay saptamak amacıyla, bu çalışmada kullanılan 12 adet histogram tek bir sayfada çizdirilerek özet sayfası olarak adlandırılmıştır. Şekil 4.22'de yüksek eşik değerli 5621 nolu veriye ait özet sayfası gösterilmektedir. Şekil 4.22'deki sol üstteki ilk histogram RM'lerde bulunan 144 adet pikselin birinci dereceden kazancını, sol üstten ikinci histogram ise eşik değeri uygulandıktan sonra RM'deki 144 adet pikselin tetikleme oranını göstermektedir. Sol üstten üçüncü

histogram 8 adet RM'in ortalama tetikleme oranını gösterirken, en üstten dördüncü histogram 8 RM'in piksellerinin tetikleme oranıdır. Ortadaki ve alttaki histogramlar ise her RM'in tetikleme oranının (eşik değeri – pedestal değeri)/kazanç oranına karşı histogramlarını vermektedir. Şekil 4.22'den görüldüğü gibi 4 nolu RM'in bir pikselinin tetikleme oranı 1.5 Hz'den büyüktür ve özet sayfasının sağ üstteki histogramına bakıldığında 4 nolu RM'in 5 nolu pikselinin tetikleme oranının diğer piksellerin tetikleme oranından daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.22. Yüksek eşik değerli 5621 verisine ait özet sayfası.

Test düzeneğinden alınan 56 tane yüksek eşik değerli verinin özet sayfası incelendiğinde bazı SiFÇ kartlarının piksellerindeki tetikleme oranının 1.5 Hz'den yüksek olduğu görülmüştür. Çizelge 4.6'da yüksek tetikleme oranına sahip SiFÇ'lerin kart numaraları, RM numaraları, piksel numaraları ve tetikleme oranları

gibi birkaç önemli bilgi verilmiştir. Çizelge 4.6'daki yüksek tetikleme oranına sahip SiFC'ler tekrar test edilmiş ve bunlardan 768\_784 nolu SiFC'nin arızalı olduğu saptanmış ve onarılması için Amerika'daki Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuvarı (Fermilab)'na gönderilmiştir. Geriye kalan SiFC'lerin yüksek tetikleme oranının test düzeneğindeki ışık sızıntısından kaynaklandığı saptanmış ve bu SiFC'lerin HO kalorimetresine yerleştirilmeden önce tekrar test edilmesine karar verilmiştir.

Çizelge 4.6. Yüksek tetikleme oranına sahip SiFC kartları.

SiFC	RM	Piksel Numarası	Veri Numarası	Tetikleme Oranı (Hz)	Kazanç (fC)	Pedestal (fC)		
786_784	8	16	3784	1.55479	6.12182	10.9384		
1026_1028	7	13	3869	2.46634	5.8943	10.8132		
			3879	1.72959	5.87495	10.8355		
			3887	1.93207	5.90082	10.8333		
		16	3869	2.82204	6.24857	10.0962		
			3879	2.24915	6.21723	10.0632		
			3887	2.40081	6.37107	10.053		
		17	3869	1.51026	6.16882	10.7009		
		697_1096	4	5	5277	3.22801	4.26298	10.242
					5403	3.13382	4.24391	10.2364
5621	3.2831				4.48132	10.2297		
664_693	8	16	5713	2.97448	6.00366	10.9337		
			5725	2.34498	6.17726	10.9395		
778_776	2	13	5747	2.08005	6.02553	11.051		
			5756	1.85183	6.15562	11.0402		
			5764	1.93434	5.88925	11.0314		
787_785	4	13	5747	1.64251	6.3616	11.03		
			5756	1.58445	5.97443	11.0289		
			5764	1.55953	6.26798	11.035		



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

CMS deneyinin alt dedektörlerinden HKAL'in veri alımında önemli olan ön-uç elektronikleri, okuma kutu (RBX)'lerinin içinde bulunmaktadır. Bir RBX içinde bir adet saat ve kontrol modülü (CCM), bir adet ölçümleme modülü (CM), dört adet okuma modülü (RM) vardır. HB ve HE alt kalorimetrelerine 36 tane RBX yerleştirilmiştir. Kalorimetreden gelen optik sinyaller RBX'lere yerleştirilen HFD'ler aracılığıyla elektrik sinyallerine dönüştürülmektedir. HB ve HE kalorimetrelerindeki okuma kutularında toplam 288 adet HFD bulunmaktadır.

HKAL'in alt dedektörleri yüksek enerji mertebesinde çalışırken beklenilmeyen ve istenmeyen tuhaf gürültüler kaydedilmiştir. Gürültüler HFD'lerin kendi özelliğinden kaynaklanmaktadır. HFD'lerin gürültü oranlarını tespit etmek için Haziran - Temmuz 2012 tarihlerinde alınan HBHEabc SelfTrigger verileri kullanılarak gürültü analizleri yapılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında HFD piksellerinin enerji dağılımına bakılarak enerji değerine 40 fC sınırlaması konulmuştur. Daha sonra her bir RBX'te sinyal veren piksellerin dağılımına bakılarak da sınırlamalar getirilmiştir. Bu sınırlamalar dikkate alınarak HFD iyon geri besleme, HFD boşalımı ve RBX gürültüsünden kaynaklanan gürültülü RBX/HFD'ler belirlenmiştir. Gürültü oranı 0.06 Hz'den büyük olan HFD'lerin gürültülü olduklarına karar verilmiştir. Gürültülü HFD'ler: HB- RBX2 RM3, HB- RBX7 RM2, HB- RBX8 RM2, HB- RBX11 RM4, HE- RBX11 RM3, HE- RBX14 RM1, HE+ RBX7 RM1, HE+ RBX10 RM4, HE+ RBX13 RM2, HE+ RBX16 RM1 ve RM3'dir. Gürültünün HFD iyon geri beslemeden kaynaklandığı saptanmıştır. HFD boşalımı ve RBX gürültüsünden kaynaklanan herhangi bir gürültülü HFD bulunmamıştır. Gürültülü HFD'lerin LS1'de yeni HFD'ler ile değiştirilmesi planlanmaktadır.

HO alt kalorimetresinde bulunan HFD'lerde manyetik alandan kaynaklanan problemlerin olduğu tespit edilmiştir. Manyetik alandan etkilenen HFD'lerin yerine manyetik alana karşı daha dayanıklı olan SiFÇ'lerin kullanılmasına karar verilmiştir. SiFÇ'ler yüksek foton algılama verimliliğine ve yüksek kazançta sahip foto çoğaltıcı aletlerdir. Ayrıca yüksek voltaja gereksinim duymadan çalışmakta, RBX'lerden

sökülen HFD'ler ile aynı boyutta ve benzer piksel yapısına sahiptirler. HO'da kullanılması düşünülen SiFÇ piksellerinin normal kazançta 0.5 Hz ile 1.5 Hz arasında tetiklenmesi beklenmektedir. CERN – Preveşsin'de 904 nolu binadaki test düzeneğinden alınan 56 tane yüksek eşik değerli HO Self Trigger verilerinin özet sayfaları incelendiğinde bazı SiFÇ kartlarının piksellerindeki tetikleme oranının 1.5 Hz'den yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu SiFÇ kartlarının numaraları şu şekildedir: SiFÇ\_786\_784, SiFÇ\_1026\_1028, SiFÇ\_697\_1096, SiFÇ\_664\_693, SiFÇ\_778\_776, SiFÇ\_787\_785. Bunlardan 768\_784 nolu SiFÇ kartı arızalı olduğundan onarılmak üzere Amerika'daki Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuvarı (FERMILAB)'na gönderilmiştir. Diğer SiFÇ kartlarının, test düzeneğindeki ışık sızıntısından dolayı yüksek tetikleme oranına sahip olduğu belirlendiğinden, bu SiFÇ'lerin tekrar test edilmesine karar verilmiştir.

## KAYNAKLAR

- CERN Brochure, 2009. <http://cds.cern.ch/record/1194057/files/CERN-Brochure-2009-007-Eng.pdf>, (Eriřim Tarihi: 03 Ocak 2013).
- CERN Brochure, 2009 <http://cds.cern.ch/record/1183425/files/CERN-Brochure-2009-006-Eng.pdf>, (Eriřim Tarihi: 03 Ocak 2013).
- CERN Brochure, 2010. <http://cds.cern.ch/record/1324123/files/CERN-Brochure-2010-007-Eng.pdf>, (Eriřim Tarihi: 03 Ocak 2013).
- CERN Brochure, 2012. <http://cds.cern.ch/record/1485019/files/CERN-Brochure-2012-004-Eng.pdf>, (Eriřim Tarihi: 03 Ocak 2013).
- CHOU, J.P., ENO, S., KUNORI, S., SHARMA, S., WANG, J., 2010. “Anomalous HB/HE Noise at Startup: Characteristics and Rejection Algorithms, CMS Internal Note, CMS IN-2010/006, (Eriřim Tarihi: 23 Aralık 2012).
- 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>, (Eriřim Tarihi: 07 Ağustos 2012).
- CMS Collaboration, 2006. “Physics Performance”, CMS Physics, Technical Design Report, Volume 2, CERN - LHCC 2006-021, <http://cds.cern.ch/record/942733/files/lhcc-2006-021.pdf>, (Eriřim Tarihi: 07 Ağustos 2012).
- CMS Collaboration, 2008. “The CMS experiment at the CERN LHC”, The CERN Large Hadron Collider: Accelerator and Experiments, 122 p., [http://iopscience.iop.org/1748-0221/3/08/S08004/pdf/1748-0221\\_3\\_08\\_S08004.pdf](http://iopscience.iop.org/1748-0221/3/08/S08004/pdf/1748-0221_3_08_S08004.pdf) (Eriřim 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>, (Eriřim Tarihi: 18 Nisan 2013).

- CMS Collaboration, 2013. “Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC”, CMS-HIG-12-028; CERN-PH-EP-2012-220, <http://arxiv.org/pdf/1207.7235v2.pdf>, (Eriřim Tarihi: 7 Nisan 2013).
- CMS Detector Posters, 2000. CMS Document 4227 - v1, <https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/ShowDocument?docid=4227>, [https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=4227&version=1&filename=ECA\\_Lncol.pdf](https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=4227&version=1&filename=ECA_Lncol.pdf), (Eriřim Tarihi: 13 Ağustos 2012).
- CMS Detector Posters, 2000. CMS Document 4227 - v1, <https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/ShowDocument?docid=4227>, [https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=4227&version=1&filename=HCA\\_Lncol.pdf](https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=4227&version=1&filename=HCA_Lncol.pdf), (Eriřim Tarihi: 09 Nisan 2012).
- CMS Detector Posters, 2000. CMS Document 4227 - v1, <https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/ShowDocument?docid=4227>, <https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=4227&version=1&filename=MagnetField.pdf>, (Eriřim Tarihi: 23 Ocak 2013).
- CMS Detector Posters, 2000. CMS Document 4227 - v1, <https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/ShowDocument?docid=4227>, <https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=4227&version=1&filename=Musystem.pdf>, (Eriřim Tarihi: 23 Ocak 2013).
- CMS Detector Posters, 2000. CMS Document 4227 - v1, <https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/ShowDocument?docid=4227>; <https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=4227&version=1&filename=Mudetectors.pdf>, (Eriřim Tarihi: 23 Ocak 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](http://cds.cern.ch/record/1049915/files/NOTE2006_138.pdf), (Eriřim Tarihi: 6 Nisan 2012).
- CMS HCAL Collaboration, 2008. “Design, Performance, and Calibration of CMS Hadron Endcap Calorimeters”, CMS Note, CMS NOTE 2008/010, [https://cds.cern.ch/record/1103003/files/NOTE2008\\_010.pdf](https://cds.cern.ch/record/1103003/files/NOTE2008_010.pdf), (Eriřim Tarihi: 8 Nisan 2012).
- CUSHMAN, P., and SHERWOOD B., 2008. “Lifetime Studies of the 19-channel Hybrid Photodiode for the CMS Hadronic Calorimeter”, CMS Note, CMS-NOTE-2008-011, [http://cds.cern.ch/record/1103002/files/NOTE2008\\_011.pdf](http://cds.cern.ch/record/1103002/files/NOTE2008_011.pdf), (Eriřim Tarihi: 28 Ocak 2013).
- DUGAD, S.R., 2010. “Upgrade plans for hadron calorimeter in the CMS detector”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 623, 264-266p., <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900210005012>, (Eriřim Tarihi: 21 Nisan 2013)
- EVANS, L., and BRYANT, P. (Editors), 2008. “LHC Machine”, The CERN Large Hadron Collider: Accelerator and Experiments, [http://jinst.sissa.it/LHC/LHCmachine/2008\\_JINST\\_3\\_S08001.pdf](http://jinst.sissa.it/LHC/LHCmachine/2008_JINST_3_S08001.pdf), (Eriřim Tarihi: 29 Kasım 2012).
- FOCARDI, E., 2011. “Status of the CMS detector”, Conference Report, CMS CR-2011/214, TIPP 2011, [http://cds.cern.ch/record/1395445/files/CR2011\\_214.pdf](http://cds.cern.ch/record/1395445/files/CR2011_214.pdf), (Eriřim Tarihi: 17 Aralık 2012).
- FREEMAN, J., 2010a. “Innovations for the CMS HCAL”, International Journal of Modern Physics A Vol. 25, No. 12 (2010) 2421 - 2436, <http://www.worldscientific.com/doi/pdf/10.1142/S0217751X10049682>, (Eriřim Tarihi: 21 Nisan 2013).
- FREEMAN, J., 2010b. “Silicon photomultipliers for the CMS hadron calorimeter”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 617, 393-395p., <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900209020841>, (Eriřim Tarihi: 21 Nisan 2013).

- HEERING, A., ROHLF, J., FREEMAN, J., LOS, S., KULESHOV, S., BANERJEE, S., SCHMIDT, I., MUSIENKO, Y., LEBOLO, L., DIAZ, J., 2007. “Large-Area SiPMs for the CMS Hadron Outer Calorimeter”, 2007 IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, N24-318, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4437293>
- MANS, J., 2012. “CMS Technical Design Report for The Phase 1 Upgrade of The Hadron Calorimeter”, CERN – LHCC – 2012 - 015; CMS – TDR - 10, <http://cds.cern.ch/record/1481837/files/CMS-TDR-010.pdf>, (Eriřim Tarihi: 25 Ocak 2013).
- MISTRY, N., “A Brief introduction to particle physics”, Laboratory for Elementary Particle Physics, Cornell University, [http://www.lepp.cornell.edu/Education/rsrc/LEPP/Education/TeacherResources/Brief\\_Intro\\_to\\_HEP1.pdf](http://www.lepp.cornell.edu/Education/rsrc/LEPP/Education/TeacherResources/Brief_Intro_to_HEP1.pdf) (Eriřim Tarihi: 05 Ekim 2012).
- 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. (Eriřim Tarihi: 24 Nisan 2013).
- ŞENYEL, M., ve ŞENOL A., “Temel Parçacıklar”, <http://w2.anadolu.edu.tr/aos/kitap/IOLTP/2279/unite12.pdf>, (Eriřim Tarihi: 07 Ekim 2012).
- <http://public.web.cern.ch/public/en/Science/StandardModel-en.html>, (Eriřim Tarihi: 8 Ekim 2012).
- [http://tr.wikipedia.org/wiki/Standart\\_Model](http://tr.wikipedia.org/wiki/Standart_Model), (Eriřim Tarihi: 8 Ekim 2012)
- <http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/HowLHC-en.html>, (Eriřim Tarihi: 08 Ekim 2012).
- <http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/LHCExperiments-en.html>, (Eriřim Tarihi: 08 Ekim 2012).
- <http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/ALICE-en.html>, (Eriřim Tarihi: 08 Ekim 2012).

<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/ATLAS-en.html>, (Eriřim Tarihi: 08 Ekim 2012).

<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/LHCb-en.html>, (Eriřim Tarihi: 08 Ekim 2012).

<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/LHCf-en.html>, (Eriřim Tarihi: 08 Ekim 2012)

<http://totem-experiment.web.cern.ch/totem-experiment/physics/>, (Eriřim Tarihi: 08 Ekim 2012).

<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/TOTEM-en.html>, (Eriřim Tarihi: 08 Ekim 2012).

[http://cmsdoc.cern.ch/cms/HCAL/document/904/HO\\_teststand/904\\_HO\\_SiPM\\_Teststand.html](http://cmsdoc.cern.ch/cms/HCAL/document/904/HO_teststand/904_HO_SiPM_Teststand.html), (Eriřim Tarihi: 12 Mart 2013).

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/tr/1/16/Standard\\_Model\\_Temel\\_Par%C3%A7ac%C4%B1klar%C4%B1.svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/tr/1/16/Standard_Model_Temel_Par%C3%A7ac%C4%B1klar%C4%B1.svg), (Eriřim Tarihi: 08 Ekim 2012).

<http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/images/lhc-schematic.jpg>, (Eriřim Tarihi: 08 Ekim 2012).

[http://irfu.cea.fr/Images/astImg/839\\_2.jpg](http://irfu.cea.fr/Images/astImg/839_2.jpg), (Eriřim Tarihi: 08 Ekim 2012).

[http://inspirehep.net/record/837837/files/Figures\\_cms\\_quadrant.png](http://inspirehep.net/record/837837/files/Figures_cms_quadrant.png), (Eriřim Tarihi: 03 Temmuz 2013).

<http://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0168900212005657-gr5.jpg>, (Eriřim Tarihi: 17 Aralık 2012).

<http://www.hephy.at/user/friedl/diss/html/img41.gif>, (Eriřim Tarihi: 17 Aralık 2012).

[http://irfu.cea.fr/Images/astImg/2261\\_1.jpg](http://irfu.cea.fr/Images/astImg/2261_1.jpg), (Eriřim Tarihi: 17 Aralık 2012).

<http://cds.cern.ch/record/1431489/files/HFLowering4.jpg?subformat=icon-1440>, (Eriřim Tarihi: 18 Nisan 2013).



## **ÖZGEÇMİŞ**

28/10/1987 yılında Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Antalya’da tamamladı. 2006 yılında Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü’nde Lisans öğrenimine başladı. 2007 yılında Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü’nde çift anadal programına başladı. 2010 yılında Fizik ve Matematik bölümlerinden mezun oldu. 2011 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Fizik Anabilim Dalında tezli yüksek lisans programına başladı. 2012 yılının Nisan – Ağustos ve 2013 yılının Mart – Ağustos ayları arasında CERN’deki CMS deneyinde yapılan çalışmalara katıldı.