

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özgün KARA

**CMS DENEYİNİN HO904 VE SX5 TEST DÜZENEKLERİNDEKİ
SİFÇ'LERİN ÖZ TETİKLEME ANALİZİ**

FİZİK ANABİLİM DALI

ADANA, 2014

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CMS DENEYİNİN HO904ve SX5 TEST DÜZENEKLERİNDEKİ
SİFÇ'LERİN ÖZ TETİKLEME ANALİZİ**

Özgün KARA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

Bu Tez 23/07/2014 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Eda EŞKUT
ÜYE

.....
Yrd. Doç. Dr. Bayram TALİ
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: FEF2013YL6**

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, Ablama, Gül ve Yenere ,...

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**CMS DENEYİNİN HO904 ve SX5 TEST DÜZENEKLERİNDEKİ
SiFÇ'LERİN ÖZ TETİKLEME ANALİZİ**

Özgün KARA

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ

Yıl: 2014, Sayfa: 59

Jüri : Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ

: Prof. Dr. Eda EŞKUT

: Yrd. Doç. Dr. Bayram TALİ

Hadronik Dış (HO) kalorimetresinde bulunan Hibrit Foto Diyot (HFD)'larda 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, öz tetikleme gibi bazı özelliklerin test edilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, HO SiFÇ'nin öz tetikleme test sonuçlarını içermektedir.

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

ABSTRACT

MSc THESIS

SELF TRIGGER ANALYSIS OF SiPMs IN THE TEST SETUPS AT HO904 AND SX5 OF THE CMS EXPERIMENT

Özgün KARA

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

Supervisor : Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ

Year: 2014, Pages: 59

Jury : Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ

: Prof. Dr. Eda EŞKUT

: Asst. Prof. Dr. Bayram TALİ

Due to magnetic field, problems has occurred in Hybrid Photo Diods (HPDs) which are placed in the Hadronic Outer 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 hep desteğini hissettiğim, yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım değerli hocalarım Prof. Dr. Gülsen ÖNENGÜT, Prof. Dr. Eda EŞKUT, 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 ve Zuhale Şeyma DEMİROĞLU'na çok teşekkür ederim. Her türlü yardım ve desteğini gördüğüm Gül ÖNENGÜT GÖKBULUT ve sevgili eşi Yener GÖKBULUT'a teşekkürlerimi sunarım.

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

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR	X
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ)	3
2.1.1. ALICE	5
2.1.2. ATLAS	7
2.1.3. LHCb	8
2.1.4. LHCf	9
2.1.5. TOTEM	9
2.2. CMS	9
2.2.1. CMS'in Alt Detektörleri	11
2.2.1.1. İzleyici Sistem	11
2.2.1.2. Elektro Manyetik Kalorimetre (EKAL)	12
2.2.1.3. Hadronik Kalorimetre (HKAL)	14
2.2.1.4. Süper İletken Mıknatıs	16
2.2.1.5. Müon Sistemi	17
3. MATERYAL VE METOD	19
3.1. Hadronik Kalorimetre (HKAL)	19
3.1.1. Hadronik Uç Kapak (HE) Kalorimetre	20
3.1.2. Hadronik Fç1 (HB) Kalorimetre	21
3.1.3. İleri Hadronik (HF) Kalorimetre	23
3.1.4. Hadronik Dış (HO) Kalorimetre	24
3.1.4.1. Modüller	26

3.1.4.2. Sintilatör Döşemeler.....	27
3.1.4.3.Tablalar.....	28
3.2. Elektronikler ve Veri Toplama.....	28
3.2.1. Okuma Modülü (RM).....	30
3.2.2. Hibrit Foto Diyot (HFD)	32
3.2.3. Silikon Foto Çoğaltıcı (SiFÇ)	33
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR	35
4.1. HO Test Düzeneği	35
4.1.1. Test Düzeneğinde Okuma Modülü (RM) Değişikliği ve Veri alımı	36
4.2. HO Test Düzeneğindeki SİFÇ'ların Öz Tetikleme Analizi	40
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 4.1. HO904 test düzeneğinden alınan veriler ve minimum olay sayıları..... 38

Çizelge 4.2. SX5 test düzeneğinden alınan veriler ve minimum olay sayıları 38

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 2.1. BHÇ ve sekiz dilimi.....	4
Şekil 2.2. BHÇ halkası ve üzerindeki dört büyük deney	5
Şekil 2.3. ALICE Dedektörü	6
Şekil 2.4. ATLAS Dedektörü	7
Şekil 2.5. LHCb Dedektörü	8
Şekil 2.6. CMS detektörü	10
Şekil 2.7. CMS detektörünün enine kesiti	11
Şekil 2.8. İzleyici Sistemdeki Mikro Şerit Detektörleri	12
Şekil 2.9. Kurşun Tungstant Kristaller	13
Şekil 2.10. EKAL kesiti	14
Şekil 2.11. Hadronik Kalorimetre	16
Şekil 2.12. CMS dedektörünün Süperiletken Mıknatısı	17
Şekil 2.13. Müon sistemi	18
Şekil 3.1. CMS detektörünün boyuna görünümü. HB, HE, HO ve HF'in HKAL'deki yerleri	20
Şekil 3.2. Uç kapak demir boyunduruğuna yerleştirilen HE.....	21
Şekil 3.3. Bir HB kamasının izometrik görünüşü	22
Şekil 3.4. HB kamalarının numaralandırma şekli	22
Şekil 3.5. HF'in kamaları	23
Şekil 3.6. HO Katmanlarının Yandan ve Enine Görünümü	24
Şekil 3.7. Her bir optik HO döşemesi bir HB kulesi ile eşlenmiştir. Tablalardan gelen fiberler, okuma elektronikleri ve foto detektörlerin bulunduğu okuma kutusuna gönderilmiştir	26
Şekil 3.8. Tüm HO tablalarının düzeni	27
Şekil 3.9. HO sintilatör döşemesi	28
Şekil 3.10. HKAL'in veri toplama elektroniklerinin genel görünümü	29
Şekil 3.11. RM	31
Şekil 3.12. Kontrol Kartı	31
Şekil 3.13. Işık Karıştırıcı	32

Şekil 4.1. SX5’de bulunan test düzeneğindeki RBX’lar ve içindeki elemanlar.....	36
Şekil 4.2. Test düzeneğinin elemanlarının sökülüş hali	37
Şekil 4.3. Veri almayı sağlayan ara yüz	39
Şekil 4.4. Veri alımını kontrol edilen sayfa.....	39
Şekil 4.5. Düşük eşik değeri 3754 nolu veriye ait 144 adet pikselin tetikleme sayıları	41
Şekil 4.6. Düşük eşik değeri 3754 nolu veriye ait 144 adet pikselin tetikleme sayıları	42
Şekil 4.7. 3754 nolu verinin sekiz RM’un tetikleme oranı	41
Şekil 4.8. 3754 nolu veriye ait 8 adet RM’nun piksellerinin tetikleme oranları	43
Şekil 4.9. 3782 nolu veriye ait 8 adet RM’nun piksellerinin tetikleme oranları	44
Şekil 4.10. SiFÇ düzeneği	44
Şekil 4.11. Düşük eşik değeri 3754 nolu verinin 144 adet pikselinin SiFÇ geometrisindeki yerleşimlerine göre tetikleme oranları.....	45
Şekil 4.12. Düşük eşik değeri 3782 nolu verinin 144 adet pikselinin SiFÇ geometrisindeki yerleşimlerine göre tetikleme oranları.....	45
Şekil 4.13. HO904 test düzeneğinden alınan yüksek eşik değeri 5680 nolu veriye ait sekiz RM için tetikleme oranının (eşik değeri – pedestal değeri)/kazanç oranına göre dağılımı.....	46
Şekil 4.14. SX5 test düzeneğinden alınan yüksek eşik değeri 6791 nolu veriye ait sekiz RM için tetikleme oranının (eşik değeri – pedestal değeri)/kazanç oranına göre dağılımı.....	47
Şekil 4.15. HO904 test düzeneğinden alınan yüksek eşik değeri 5277 nolu veriye ait sekiz RM için tetikleme oranının (eşik değeri – pedestal değeri)/kazanç oranına göre dağılımı.....	48
Şekil 4.16. Yüksek eşik değeri 5277 nolu verinin özet sayfası.....	49

SİMGELER VE KISALTMALAR

SM	: Standart Model
CERN	: Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
BHÇ	: Büyük Hadron 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
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
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 Tümlleşik 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
H	: Psüдорapidite
θ	: Polar Açısı
ϕ	: Azimutal Açısı
(MET)	: Kayıp Dik Enerji
PbWO ₄	: Kurşun Tungstent
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

λ_1 : Nükleer Etkileşme Uzunluğu

1. GİRİŞ

Tarih boyunca insanlar en küçük parça nedir, bir madde nereye kadar parçalanabilir, yaşadığımız evren nasıl oluştu sorularına yanıt aradılar. Bilim insanları bu merakın sonucunda, büyük patlamadan şu an ki zaman dilimine kadar evrenin gelişimi, maddenin temel yapısı gibi tarih boyunca merak edilen soruları araştırtılar. Bundan yaklaşık 2500 yıl önce Eski Yunanlılar “atomos“ kavramını maddenin artık en son sınırı olarak tanımlamışlardır. 1808 yılında ilk bilimsel atom teorisini ortaya atan İngiliz kimyager John Dalton’da “Dünyada atomu bölecek adam yoktur“ demiştir. Ama 20. yüzyılda art arda bulunan atom altı parçacıklar ile bunun böyle olmadığı anlaşıldı.

Bilim insanları en küçüğü anlamak ve evrenin başlangıcından günümüze kadar olan evrimini araştırmak için kuramlar ve modeller oluşturmuş, teoriler ortaya atmıştır. Bu kuram ve modellerin doğruluklarını ispatlamak içinde deneyler yapmıştır. İşte en çok kabul gören iki kuram Standart Model (SM) ve Büyük Patlamadır. Bu kuramların ispatı için bilim insanları deneylerinde kullanmak için hızlandırıcıları ve detektörleri tasarlamışlardır.

Günümüzde dünyanın en büyük hızlandırıcısı olan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ) ve en iyi detektörlerinden birisi olan Sıkı Müon Solenoidi (CMS), Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi (CERN)’de bulunmaktadır. Dünyanın en büyük parçacık fiziği laboratuvarı olan CERN 1952 yılında kurulmuştur. 2009 yılının Ekim ayından Aralık 2012 yılına kadar protonlar ve ağır iyonlar BHÇ’nin üzerindeki detektörlerde çarpıştırılmıştır. Bu çarpışmalar sonunda sayısız veri elde edilmiş ve araştırılmalarda kullanılmıştır.

2013 Mart ayında teknik mola verilmiştir. Bu molanın amacı BHÇ ve üzerindeki detektörleri geliştirmek, arızalı ya da verimi düşük parçaları yenileri ile değiştirmektir. Böylece hem BHÇ’nin hem de üzerindeki detektörlerin performanslarının artması planlanmaktadır.

Bu tez çalışması, CMS detektörünün hadronik kalorimetre (HKAL)’nin alt detektörlerinden olan hadronik dış (HO)’ın yenileme çalışmalarından fotoçoğaltıcı

tüplerinin değişimlerini içermektedir. Alt detektörlerin en uç elektroniklerinde kullanılan hibrit foto diyot (HFD)'ların yerini alacak olan silikon foto çoğaltıcı (SİFÇ)'lar ile ilgili yapılan çalışmalardan bir kısmını içermektedir.

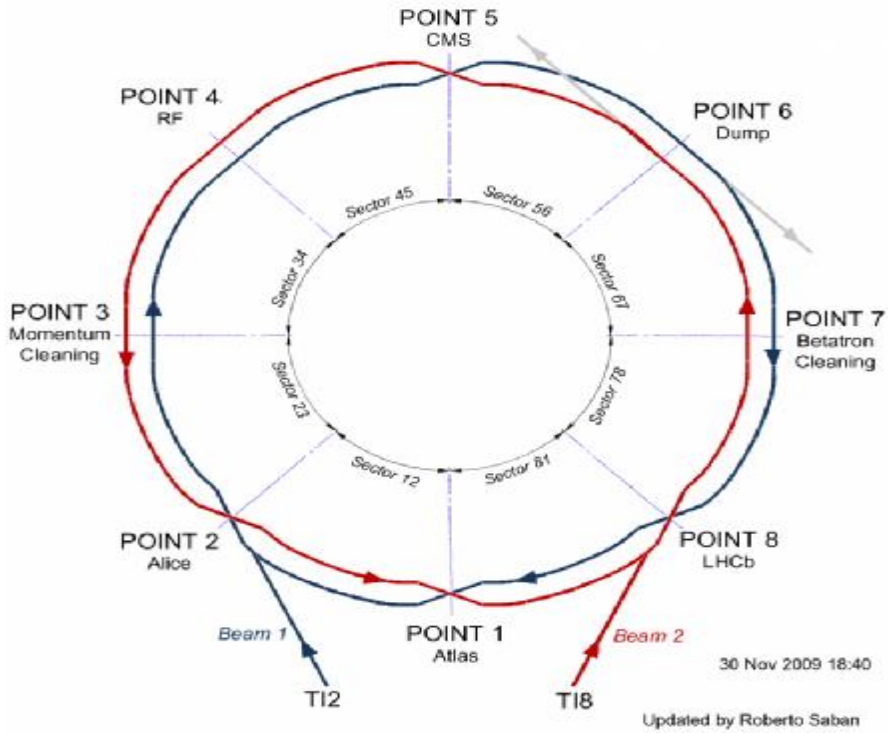
Tezin önceki çalışmalar kısmında, BHÇ ve üzerindeki detektörlerden bahsedilmiştir. Materyal metot kısmında HKAL ve alt detektörlerinden bahsedilmiş, araştırma ve bulgular kısmında ise SİFÇ'ların tetikleme oranları ile ilgili yapılan analizler anlatılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ)

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ), İsviçre-Fransa sınırında yerin yaklaşık 100 metre altında bulunmaktadır. 27 kilometre uzunluğundaki hızlandırıcının çapı 8.6 kilometredir. Hadronları ve ağır iyonları kafa kafaya çarpıştırmak için geliştirilmiştir. BHÇ’de hem proton-proton (p-p) hem de ağır iyonlar (kurşun-kurşun) hızlandırılmakta ve çarpıştırıcı halka üzerinde bulunan detektörlerin merkezinde birbirleri ile çarpıştırılmaktadırlar.

BHÇ halkası içerisinde parçacık demetleri zıt yönde hareket etmektedirler. Parçacık demetleri zıt yönlü hareketlerini ayrı hüzmeye boruları içinde ve süper vakumlu bir ortamda gerçekleştirmektedirler. BHÇ süper iletken elektro mıknatıslar ile çevrelenmiştir. Bu mıknatıslar parçacık demetlerinin yavaş yavaş ivmelenerek hızlanmasında etkin rol oynamaktadırlar. Parçacık demetleri bu süper iletken elektro mıknatısların oluşturduğu yüksek manyetik alanlar ile hızlandırıcı içerisinde yönlendirilmektedirler. 15 metre boyundaki çift kutuplu (Dipol) elektro mıknatıslar parçacık demetlerini vakumlu tüp içerisinde yörüngede tutarken 5-7 metre uzunluğundaki dört kutuplu (Kuadrapol) elektro mıknatıslar ise parçacık demetlerini tüp içerisinde odaklamaktadırlar. BHÇ sekiz parçadan oluşmaktadır. Bu sekiz bölüm Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Her bir bölümünde 54 adet dört kutuplu, 154 adet iki kutuplu süper iletken elektro mıknatısı bulunmaktadır. Toplamda sekiz parçada 392 adet dört kutuplu ve 1232 adet iki kutuplu süper iletken elektro mıknatıs bulunmaktadır. Bu süper iletken mıknatıslar çalışma prensibi olarak yaklaşık olarak $-271\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta olmaları gerekmektedir. Neredeyse mutlak sıfır olan bu sıcaklığa ulaşmak için sıvı helyum kullanılmıştır. Sadece mıknatısları değil tüm diğer materyal sistemleri için sıvı helyum soğutma sistemi kullanılmıştır (<http://home.web.cern.ch/topics/large-hadron-collider>).

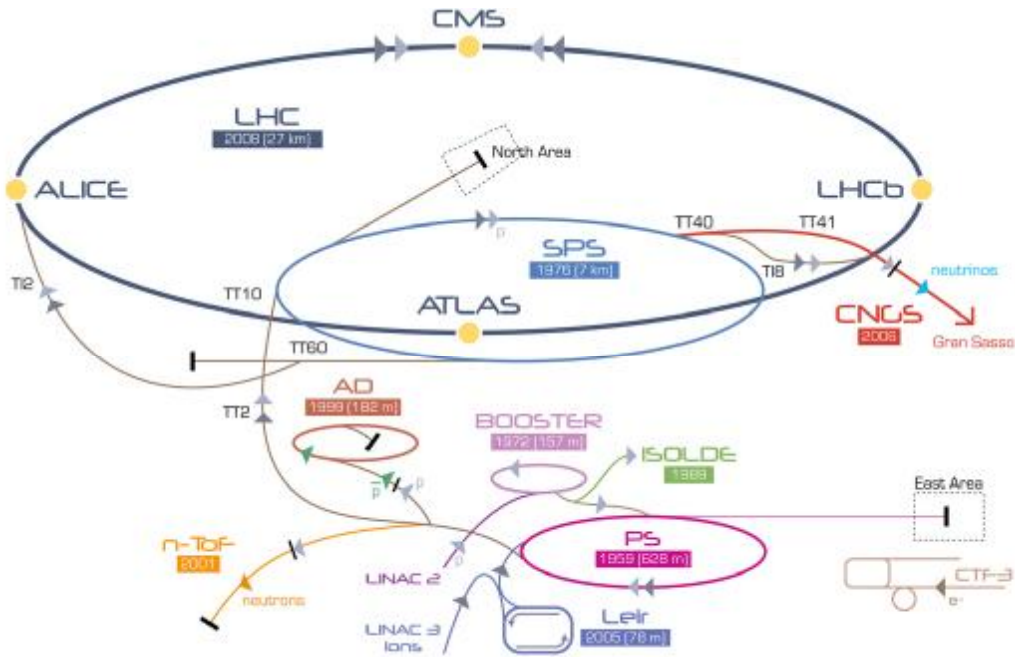


Şekil 2.1. BHÇ ve sekiz dilimi (<http://hcc.web.cern.ch/hcc/file/beam.png>).

BHÇ de proton-proton çarpışmaları için 14TeV’lik toplam kütle merkezi enerjisi ve $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ışıklılığa ulaşılması planlanmaktadır, ayrıca kurşun-kurşun çarpışmaları için $\sqrt{s} = 5.5 \text{ TeV}$ ‘lik toplam kütle merkezi enerjisi ve $L = 10^{27} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ışıklılık planlanmaktadır. BHÇ de hızlandırma işlemi esnasında gerek protonlar gerek kurşun iyonları hedeflenen ışıklılık ve kütle merkezi enerjisine ulaştıklarında hızları ışık hızına çok yaklaşımaktadır.

BHÇ üzerinde altı ana deney vardır. Bunlar ATLAS (A Torodial LHC ApparatuS - Büyük Toroidal Detektör), ALICE (A Large Ion Collider Experiment - Büyük İyon Çarpıştırma Deneyi), CMS (Compact Muon Solenoid - Sıkı Müon Solenoidi), LHCb (A Large Hadron Collider beauty - LHC b Fiziği Deneyi), LHCf (Large Hadron Collider forward - İleri Büyük Hadron Çarpıştırıcı) ve TOTEM (TOTAl Elastic and diffractive cross section Measurement – Toplam elastik ve difraktif tesir kesiti ölçümü) dir. CMS ve ATLAS deneyleri genel amaçlı olup diğer deneylerden daha kapsamlıdır. BHÇ’deki CMS ve ATLAS detektörleri dünyanın en büyük iki detektörüdür. ATLAS, ebatları itibariyle en büyük, CMS ise en ağırdır. Bu

iki detektör genel amaçlı detektörlerdir. İki detektörde aynı fizik problemlerini araştırmak ve birbirlerini doğrulamak için yapılmıştır. ALICE ve LHCb ise diğer iki detektörden daha küçüktür. Genel olarak ALICE kuark-gluon plazma yapısını inceler iken LHCb ise b kuark araştırmaları yapılmaktadır. Bu iki deneyin sonuçlarında CMS ve ATLAS sonuçları ile doğrulanacaktır. ALICE ve LHCb de bu iki konu dışında da başka konularda araştırmalar vardır. TOTEM ve LHCf diğer detektörler ile karşılaştırıldığında küçük çaplı deneylerdir. İleri yönlü parçacıkları incelemektedirler (<http://home.web.cern.ch/about/experiments>). Şekil 2.2'de LHC üzerindeki detektörleri gösterilmiştir.



Şekil 2.2. BHC halkası ve üzerindeki dört büyük deney (<http://te-epclpc.web.cern.ch/te-epc-lpc/machines/pagesources/Cern-Accelerator-Complex.jpg>).

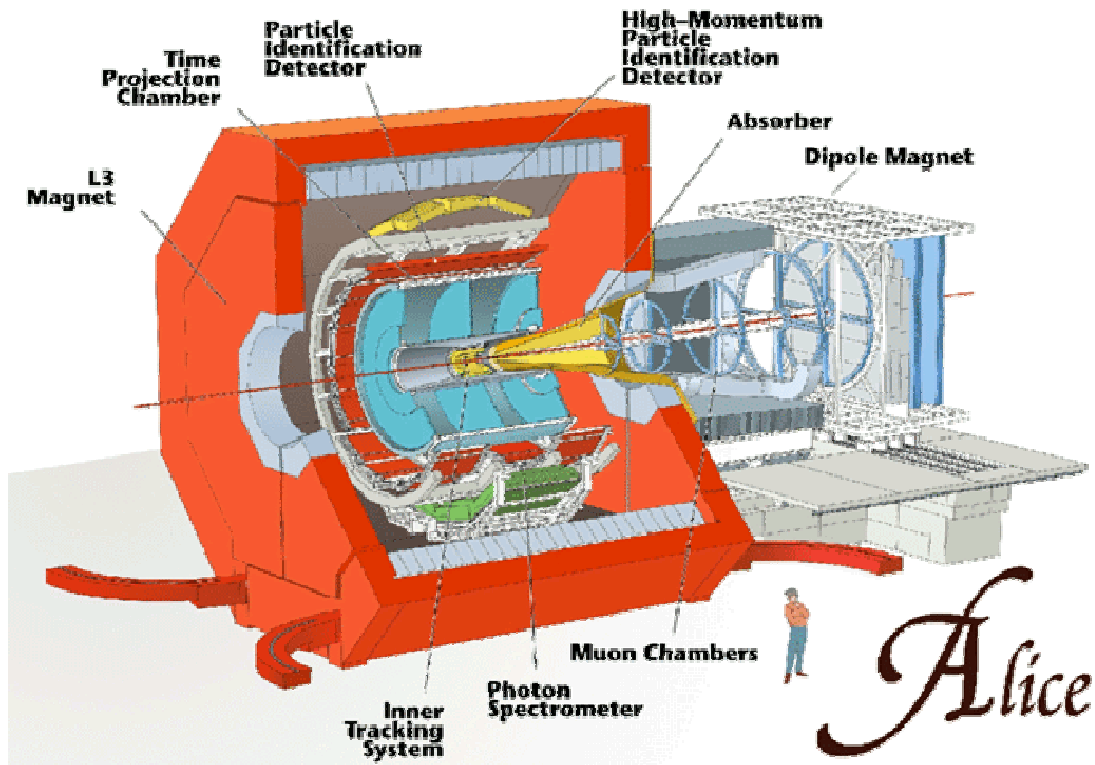
2.1.1. ALICE

ALICE detektörü 16 metre yüksekliğinde ve 26 metre uzunluğunda, ağırlığı ise 10000 tondur. Şekil 2.3 ALICE detektörü gösterilmektedir.

(<http://cds.cern.ch/record/1165534/files/CERN-Brochure-2009-003-Eng.pdf>).

ALICE detektöründe hedeflenen ışıklık değeri $L = 10^{27} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ dir. ALICE laboratuvar ortamında Büyük Patlamadan hemen sonra oluşan ortamı sağlamak için tasarlanmıştır. Bu amaç için kurşun – kurşun hüzmeleri çarpıştırılmaktadır. Elde edilen bilgiler dahilinde Büyük Patlamadan sonra var olduğu varsayılan kuark – gluon plazmasının yapısına ışık tutacaktır.

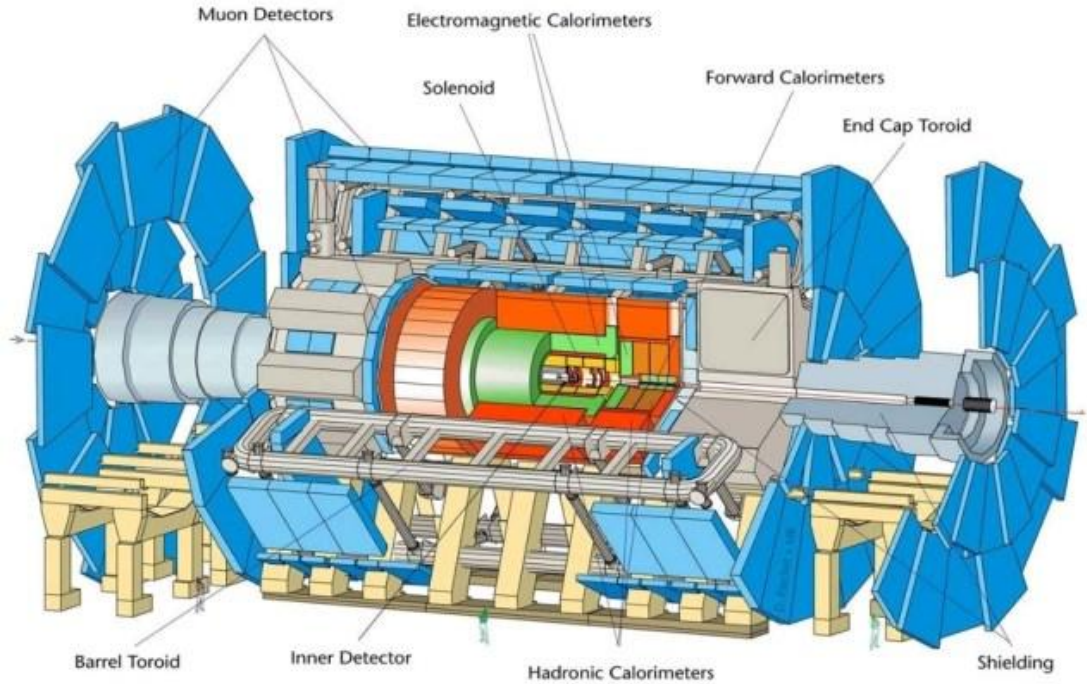
BHÇ de çarpışma anları güneşin çekirdeğinden 100.000 katından daha fazla sıcaktır. Bu sıcaklıkta bilim insanları proton ve nötronların eriyebileceğine diğer bir deyişle doğada yalnız bulunmayan kuarklar ile gluonlar arasındaki bağlarında kopabileceğine inanmaktadırlar. Oluşan bu yeni madde formuna kuark – gluon plazması denilmektedir (<http://home.web.cern.ch/about/experiments/alice>).



Şekil 2.3 ALICE Detektörü (<http://www.hep.lu.se/alice/images/AliceDet.gif>).

2.1.2. ATLAS

ATLAS detektörü BHÇ üzerindeki en önemli iki deneyden biridir. Dünyanın en geniş hacimli detektörüdür. 46 metre uzunluğunda ve 25 metre yüksekliğindedir. Çapı 25 metre olan ATLAS 7000 ton ağırlığındadır. ATLAS detektörünün $L = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ışıklılık değerine ulaşması planlanmıştır. Şekil 2.4. de ATLAS detektörünün genel görüntüsü verilmiştir. ATLAS deneyinin başlıca araştırma konuları Higgs bozonu, ekstra boyutlar, madde – anti madde, karanlık enerji ve karanlık maddedir (<http://home.web.cern.ch/about/experiments/atlas>).



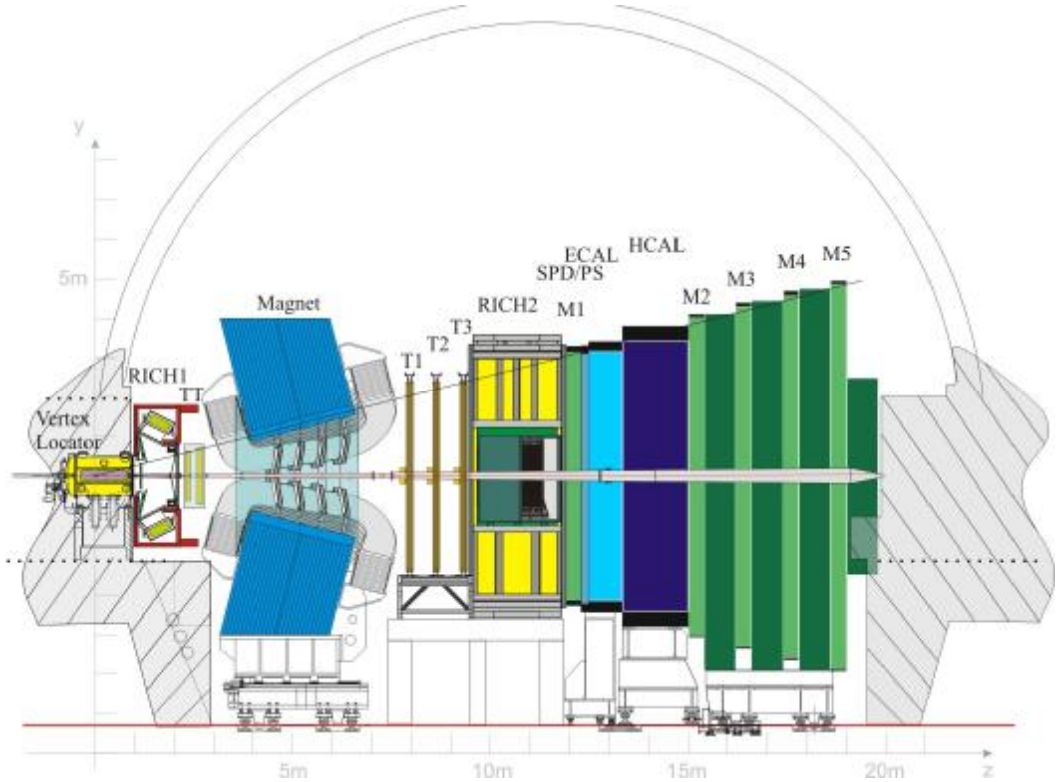
Şekil 2.4. ATLAS detektörü ve yapısı (http://www.hep.physik.uni-siegen.de/pics/atlasdetector_cs.jpg).

ATLAS detektörünün en önemli ve diğer detektörlerden onu farklı kılan özelliği, çok büyük boyuttaki mıknatıs sistemidir. ATLAS deneyinin Merkez Solenoid, Fıçı Toroid ve Kenar Toroid olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan Fıçı Toroid sekiz adet 25 metre uzunluğundaki süper iletken mıknatıs bobinleri detektörün çevresine silindir oluşturacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu mıknatıs sistemi çarpışmadan sonra ortaya çıkan yüklü parçacıkların izlerini bükerek,

parçacıkların momentumlarını hesaplanmasında etkin rol oynamaktadır (<http://cds.cern.ch/record/1165534/files/CERN-Brochure-2009-003-Eng.pdf>).

2.1.3. LHCb

LHCb detektörü 10 metre yüksekliğinde, 21 metre uzunluğunda ve 13 metre genişliğe sahiptir. 5600 ton ağırlığa sahiptir. LHCb’de hedeflenen ışıklılık $L = 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ’dir. Şekil 2.5’de LHCb detektörü gösterilmektedir (<http://cds.cern.ch/record/1165534/files/CERN-Brochure-2009-003-Eng.pdf>).



Şekil 2.5. LHCb detektörü

(<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/36/Lhcbview.jpg>)

LHCb detektörü madde ve anti madde arasındaki ilişkiyi araştırmaktadır. Bunun içinde b kuarklarının etkileşimlerini incelemektedir. BHC üzerindeki diğer detektörlerin aksine çarpışma noktasını çevreleyen kapalı bir detektör değildir. b-kuarklarını algılayabilmek için birbirini takip eden alt detektörler yerleştirilmiştir (<http://cds.cern.ch/record/1165534/files/CERN-Brochure-2009-003-Eng.pdf>).

2.1.4. LHCf

LHCf iki bağımsız detektörden oluşmaktadır. Bu detektörler ATLAS detektörünün iki yanına 140 metre kadar uzaklığa yerleştirilmiştir. Her biri 30 santimetre uzunluğunda ve 80 santimetre yüksekliğindedir. Genişlikleri 10 santimetredir. Ağırlıkları ise 45 kilodur. Diğer detektörleri ile karşılaştırıldığında oldukça küçük detektörlerdir (<http://cds.cern.ch/record/1165534/files/CERN-Brochure-2009-003-Eng.pdf>).

LHCf detektörünün amacı proton – proton çarpışmalarından sonra ortaya çıkan ikincil parçacıkları tespit etmektir. Tespit ettiği bu ikincil parçacıkların sayesinde kozmik ışınlar üzerinde yapılan araştırmalarda rol oynayacaktır. (<http://home.web.cern.ch/about/experiments/lhcf>).

2.1.5. TOTEM

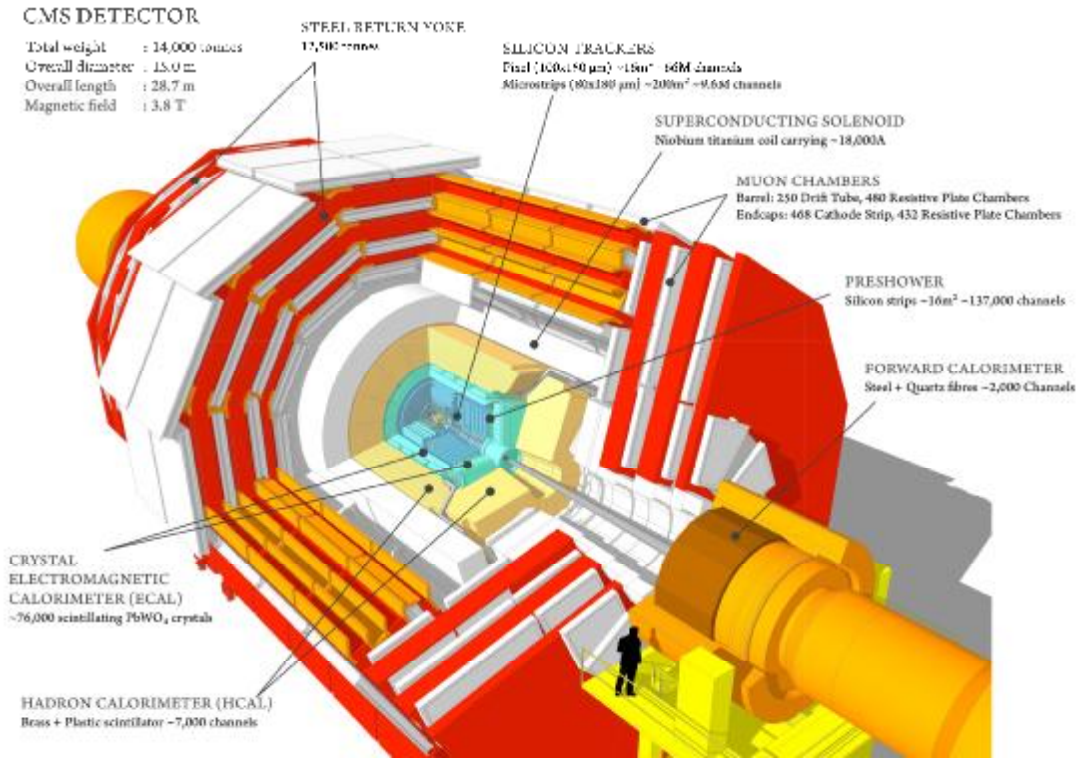
TOTEM deneyi 440 metre etki alanına sahiptir. 5 metre yüksekliğinde ve 5 metre genişliğindedir. Ağırlığı 20 tondur. TOTEM detektörü “Roman Pots” adı verilen ve özel olarak tasarlanmış vakum odacıklarından oluşmaktadır. CMS detektörünün çarpışma noktasının çok yakınında ki dört noktaya çiftler şeklinde yerleştirilmişlerdir (<http://cds.cern.ch/record/1165534/files/CERN-Brochure-2009-003-Eng.pdf>).

Deneyin amacı, çarpışmalar için tesir kesiti ve toplam olasılık ölçümlerinde etkin rol oynamaktır. Proton-proton çarpışmalarının sonrasında aynı yönlü olan diğer parçacıkları hassas bir biçimde belirlemektedir (<http://home.web.cern.ch/about/experiments/totem>).

2.2. CMS

CMS detektörü genel amaçlı bir detektördür olup, BHÇ üzerindeki 2 büyük deneyden biridir. 28,7 metre uzunluğunda, 15 metre yüksekliğinde ve 15 metre genişliğindedir. 14000 ton ağırlığındaki CMS dünyanın en ağır detektörüdür. CMS

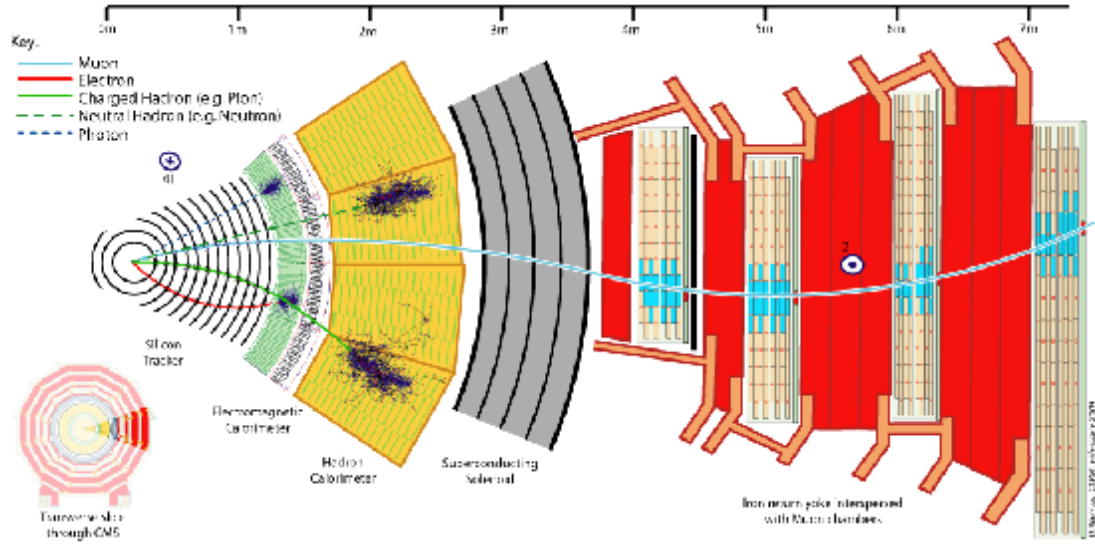
detektörü, yaklaşık $L = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ışıklılık ile $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$ kütle merkezi enerjisine ulaşması planlanmıştır. Şekil 2.6. da CMS detektörü gösterilmektedir (<http://home.web.cern.ch/about/experiments/cms>).



Şekil 2.6. CMS detektörü (https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=11514&version=1&filename=cms_120918_03.png)

CMS detektörü geniş bir fizik spektrumuna sahiptir. Geniş bir enerji aralığında elektronları, fotonları, müonları ve çarpışma sonrasında ortaya çıkan jetleri yakalamak ve bu yakalanan parçacıkların hassas ölçümlerini yapmak için tasarlanmıştır. ATLAS detektöründen en büyük farkı mıknatıs sistemidir. CMS ATLAS'dan farklı olarak 4 tesla büyüklüğündeki manyetik alan üreten süper iletken solenoid mıknatıs sistemi kullanmaktadır. CMS detektörü bu mıknatıs etrafına inşa edilmiştir. En içten dışarıya doğru farklı parçacıkları tespit etmek için tasarlanan sektörlerden meydana gelmiştir. En içeride silikon izleyici bulunmaktadır. Silikon izleyiciden sonra kristal yapıli elektromanyetik kalorimetre hemen ardından pirinç yapıli hadronik kalorimetre bulunmaktadır. Kalorimetrelerden sonra süper iletken

solenoid mıknatıs, en dışarıda ise Müon odacıkları vardır. Şekil 2.7’de CMS detektörünün kesitindeki sıralama gösterilmiştir.



Şekil 2.7. CMS detektörünün enine kesiti

(http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8a/CMS_Slice.gif)

2.2.1. CMS’in Alt Dedektörleri

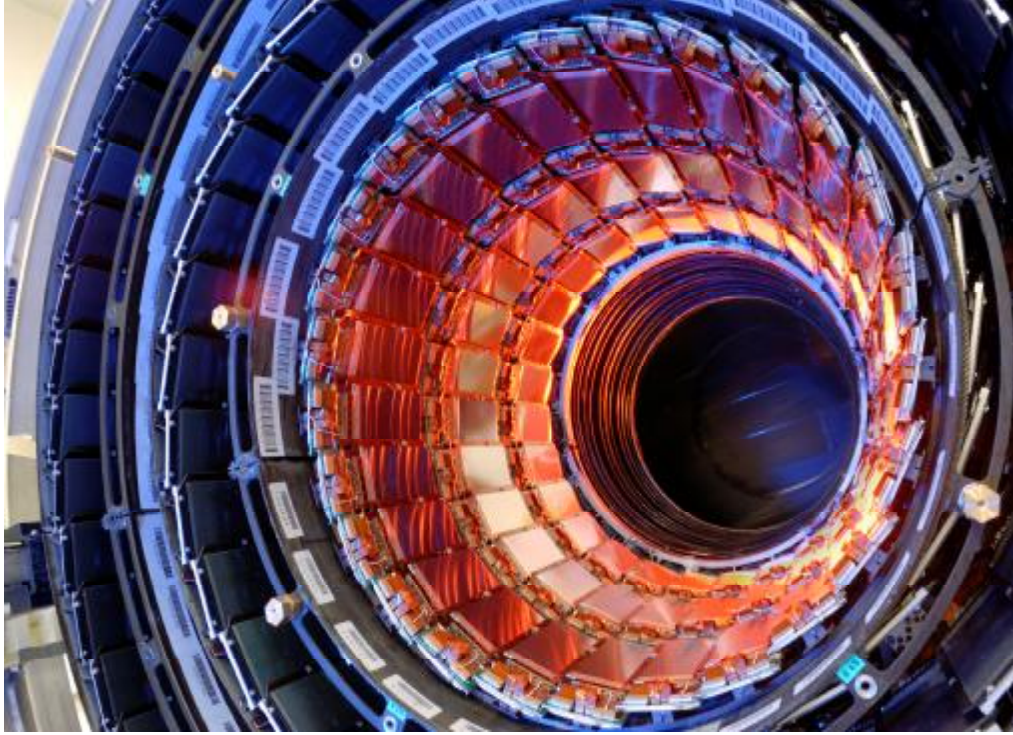
2.2.1.1. İzleyici Sistem

İç izleyici sistem hüzmeye borusundan sonraki ilk sektördür. 5.8 metre uzunluğunda ve 2.5 m çapındadır. İzleyici sistem $|\eta| < 2.5$ psüdo-rapidity aralığını kapsamaktadır (TDR, 2008).

İzleyici sistemin görevi çarpışma anından sonra ortaya çıkan yüklü parçacıkların yönlerini belirlemek ve yeniden yapılandırmaktır. Bunlara ek olarak madde - anti madde araştırmalarında kullanılan kısa ömürlü parçacıkların izlerini belirlenmesinde de önemlidir.

Yüksek verimlilikte çalışması için izleyici sistemin çarpışma noktasının çok yakınına kurulmuştur. İzleyici sistemde silikon mikro şerit ve silikon piksel dedektörleri kullanılmıştır. Bu dedektörlerin kullanılmasındaki amaç yüksek verimlilikte iz çözünürlüğü ve maksimum hassasiyeti sağlamaktır. Mikro şerit

detektörler yüksek verimlilikte iz çözünürlüğünü sağlamaktadırlar. Tanecikli yapı ve hassasiyet detektörlerde ihtiyaç duyulan önemli özelliklerdir (TDR, 2008).



Şekil 2.8. İzleyici Sistemdeki Mikro Şerit Detektörleri
(http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4f/CMS_Silicon_Tracker_Arty_HiRes.jpg)

2.2.1.2. Elektro Manyetik Kalorimetre (EKAL)

CMS deneyinde elektromanyetik etkileşim yapan parçacıklar büyük öneme sahiptirler. Bu parçacıkların izlerinin belirlenmesi özellikle de elektronların ve fotonların enerjilerinin saptanması, Higgs bozonunun keşfinde ve Standart Model (SM) ötesi fizik araştırmaları için önemlidir. Higgs bozonunun iki fotona bozunumu göz önüne alındığında, kalorimetrenin önemi daha da artmaktadır. EKAL yukarıda bahsedilen parçacıkların enerjilerini saptadığı için CMS deneyinde önemli bir yere sahiptir.

EKAL'ın yüksek radyasyona maruz kalması, kuvvetli manyetik alanın etkisi altında olması, detektörün tasarımı gibi nedenlerden dolayı detektörde özel malzemeler kullanılmıştır (<http://cms.web.cern.ch/news/electromagneticcalorimeter>).

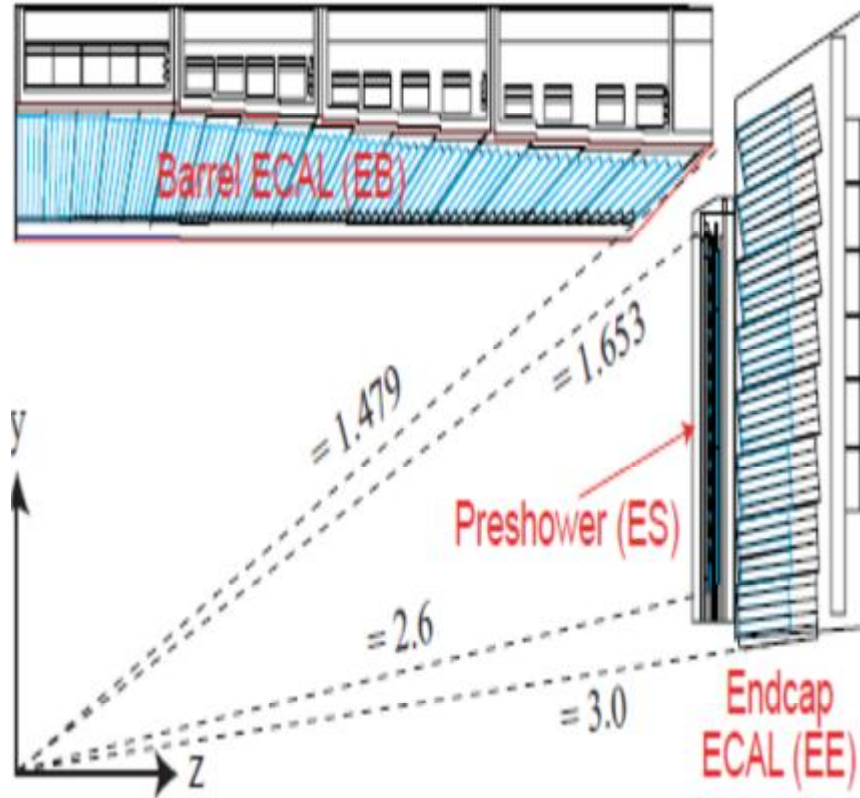
EKAL yapımında aktif malzeme olarak kurşun tungstant (PbWO_4) kristalleri kullanılmıştır. Aktif malzeme olarak kurşun tungstant kullanılmasının nedeni, kurşun tungstant'ın sahip olduğu özelliklerdir. Yüksek yoğunluğa (8.28g/cm^3), kısa radyasyon uzunluğuna (0.89cm) ve küçük Moliere yarıçapına (2.2cm) sahiptir. EKAL'ın fıçı kısmı ve her iki kapak kısmının yapımında 68524 adet kurşun tungstant kristal kullanılmıştır. Şekil 2.9 da kurşun tungstant kristaller gösterilmiştir. Kristallerin radyasyona dayanıklı olmaları ECAL'ın verimini arttırmaktadır.



Şekil 2.9. Kurşun Tungstant Kristaller (<http://cds.cern.ch/record/628234/files/phos-2003-001.jpg>)

Fıçı bölgesi (EB) $|\eta| \leq 1.48$ pseudo rapidite aralığını kapsamaktadır. EB'de sintilasyon ışığı çık foto diyotlar (APD)'lar ile okunur. Kapak bölgeleri (EE) $|\eta| \leq 3.0$ pseudo rapidite aralığına kadar uzanmaktadır. Sintilasyon ışığı kapak bölgelerinde ise vakum foto triot (VPTs)'lar ile okunmaktadır.

Bu detektörlere ek olarak çözünürlüğü arttırmak için kapak bölgelerinin ön tarafına birer duş detektörü yerleştirilmiştir. Bu duş detektörleri yüklü ve yüksüz parçacıkları ayırt edilmesini sağlar. Şekil 2.10'da EKAL'ın çeyrek kesitini verilmiştir.



Şekil 2.10. EKAL kesiti (CMS TDR, 2006)

2.2.1.3. Hadronik Kalorimetre (HKAL)

HKAL çarpışmadan sonra ortaya çıkan hadronların enerjilerinin ölçülmesinde, kayıp dik enerjinin belirlenmesinde, hadron jetlerinin varlanmasında önemli rol oynamaktadır. Bunların yanında CMS detektörünün diğer ana elemanları olan izleyici sistem, EKAL ve müon sistemi ile birlikte çalışarak elektronların, müonların ve fotonların tanımlanmasında önemlidir. Higgs parçacığının yüksek kütlelerde keşfi ve belirlenmesinde önemli görevler üstlenmiştir. HKAL kalorimetresi $|\eta| < 5.2$ psüdo-rapidite bölgesini kapsamaktadır.

HKAL'in yapımında sintilatör materyaller ve soğurucu tabakalar kullanılmıştır. Bu malzemenin seçilmesinin nedeni HKAL'nin bir örnekleme detektörü olmasıdır. Çarpışma sonrasında ortaya çıkan parçacıkların konumunu, enerjisini ve varış zamanlarının hesaplamak HKAL'in başlıca görevidir. HKAL'de çarpışmadan sonra meydana gelen parçacıklar sintilatörlerden geçerken hızlı bir ışık atımı (pulse) oluştururlar. Meydana gelen bu ışık atımı özel optik fiberler ile okuma kutularına iletirler. Işık bu okuma kutularında biriktirilir ve çoğaltılır. Okuma kutuları foto detektörde bulunmaktadır. Kule denilen bölgelerde toplanan ve çoğaltılan ışık parçacıkların toplam enerjisini vermektedir (<http://cms.web.cern.ch/news/hadron-calorimeter>).

HKAL'nin dört alt detektörü vardır. Bunlar Hadronik Kapak (HE), Hadronik Fıçı (HB), Hadronik Dış (HO) ve İleri Hadronik Kalorimetre (HF) dir.

Hadronik Kapak (HE) birbirinin özdeşi iki parçadır. HE+ ve HE- olarak adlandırılmışlardır. HE mıknatıs bobinin içine monte edilmiştir ve $1.3 < |\eta| < 3$ psüdorapidite aralığına sahiptir.

Hadronik Fıçı (HB) HB+ ve HB- olmak üzere iki yarım modülden oluşmaktadır. HE gibi HB de mıknatıs bobinin içindedir. Merkezi psüdorapidite aralığı $|\eta| < 1.3$ ' dir.

Hadronik Dış (HO) mıknatıs bobininin dışına yerleştirilmiştir. HB nin hemen dışındadır. HB nin kaçırdığı parçacıkları yakalaması yapımındaki amaçtır.

İleri Hadronik Kalorimetre (HF) iki özdeş parçadan oluşur. Çarpışma noktasının sağına ve soluna 11.2 metre uzağa yerleştirilmiştir. Şekil 2.11'de HKAL fıçısının magnet içine yerleştirilmeden önceki halinin görünümü verilmiştir.



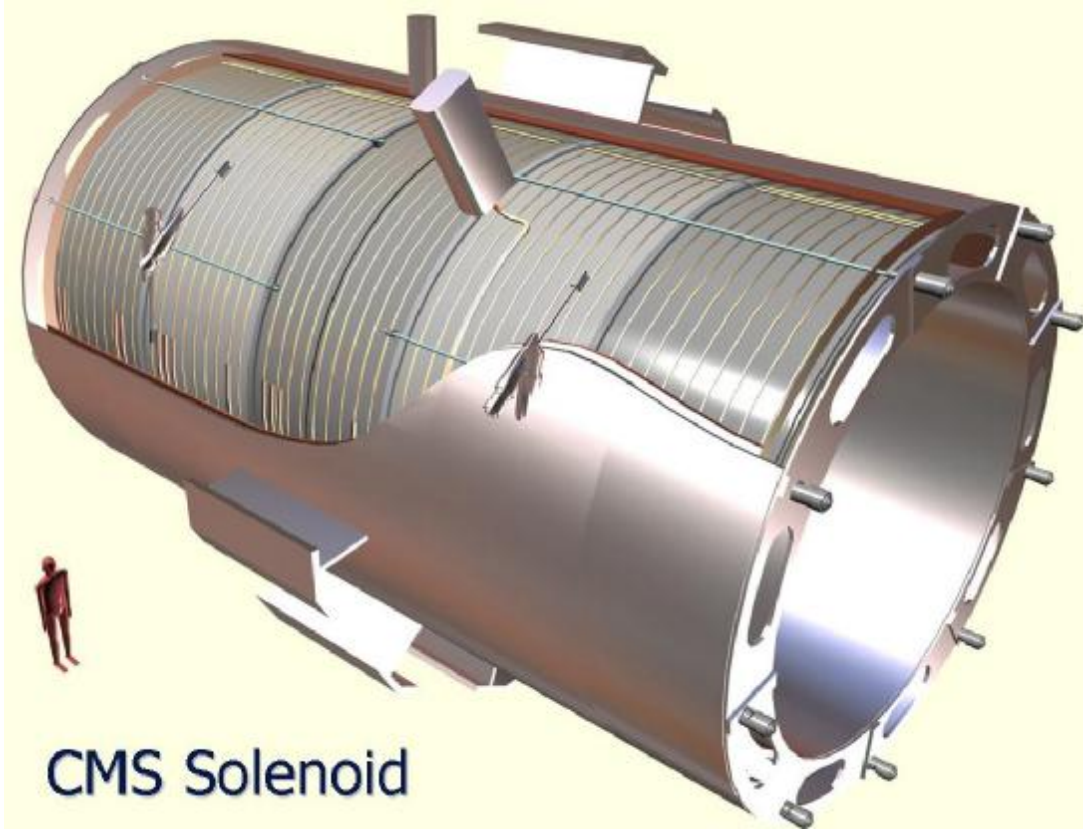
Şekil 2.11. Hadronik Kalorimetre

(<http://cms.web.cern.ch/sites/cms.web.cern.ch/files/styles/large/public/filed/image/OT0061H.jpg?itok=XikwzpZY>)

2.2.1.4. Süper İletken Mıknatıs

Parçacık detektörlerinin verimliliği için önemli parametrelerden biride manyetik alandır. Parçacık detektörlerindeki manyetik alanlardan parçacıkların yörüngelerini bükmeleri beklenmektedir. Yüksek enerjili parçacıkların momentumların ölçülmesi için bu gereklidir. CMS detektörü dünyanın en büyük süper iletken solenoid mıknatıslarından birini inşa ederek bu beklentileri fazlası ile karşılamaktadır.

4 teslalık devasa manyetik alan üreten mıknatıs CMS'in tam merkezine yerleştirilmiştir. 12,5 metre uzunluğunda ve 6 metre çapındadır. 220 ton ağırlığındaki mıknatıs içerisinde izleyici sistem ve kalorimetreleri barındırır. Şekil 2.12 CMS detektörünün süper iletken mıknatısını göstermektedir.



Şekil 2.12. CMS detektörünün Süper iletken Mıknatısı

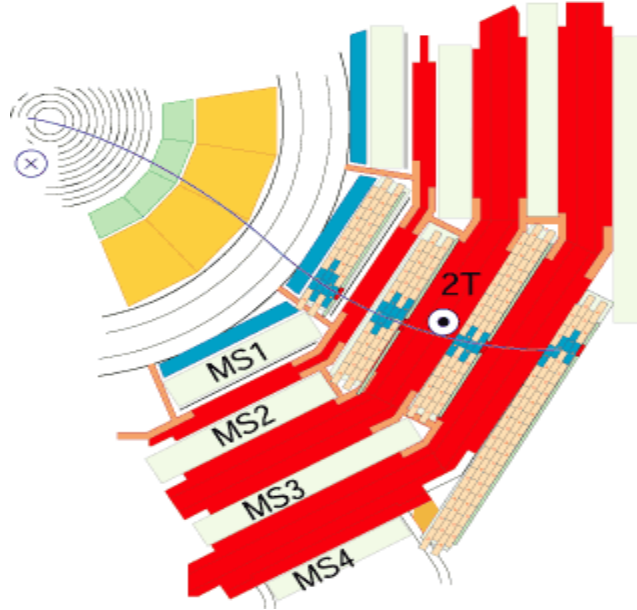
(http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/25/CERN_CMS_Solenoid_schematic.jpg).

2.3.2.5. Müon sistemi

Müon sistemi solenoid mıknatıstan hemen sonra bulunmaktadır. Mıknatısın şeklinden dolayı silindirik bir fiçı şeklinde tasarlanmıştır. Fıçı, iki düzlemsel kapak ile kapatılmıştır. Yapılış amacı yüksek enerjili müonları varlamak ve müonların momentumlarını hassas biçimde ölçmektir.

Müon sisteminde müonları varlamak için gaz detektörleri kullanılmıştır. Bunlar merkez fıçı bölgesinde bulunan 250 adet Sürüklemeye Tüpleri (DT), kapak bölgesine yerleştirilen 540 adet Katot Şerit Odaları (CSC) ve iki bölgede de bulunan 610 adet Dirençli Paralel levhali odalar (RPC)'dir (<http://cms.web.cern.ch/news/muon-detectors>).

DT ve CSC çarpışmadan sonra ortaya çıkan müonların detektördeki konumlarını belirler iken RPC'ler ise karar mekanizmasıdır. Tetikleme sisteminden gelen olayların değerlendirilip değerlendirilmeyeceğine karar vermekle görevlidir.



Şekil 2.13. Müon sistemi (<http://cms.web.cern.ch/news/muon-detectors>).

3. MATERYAL VE METOD

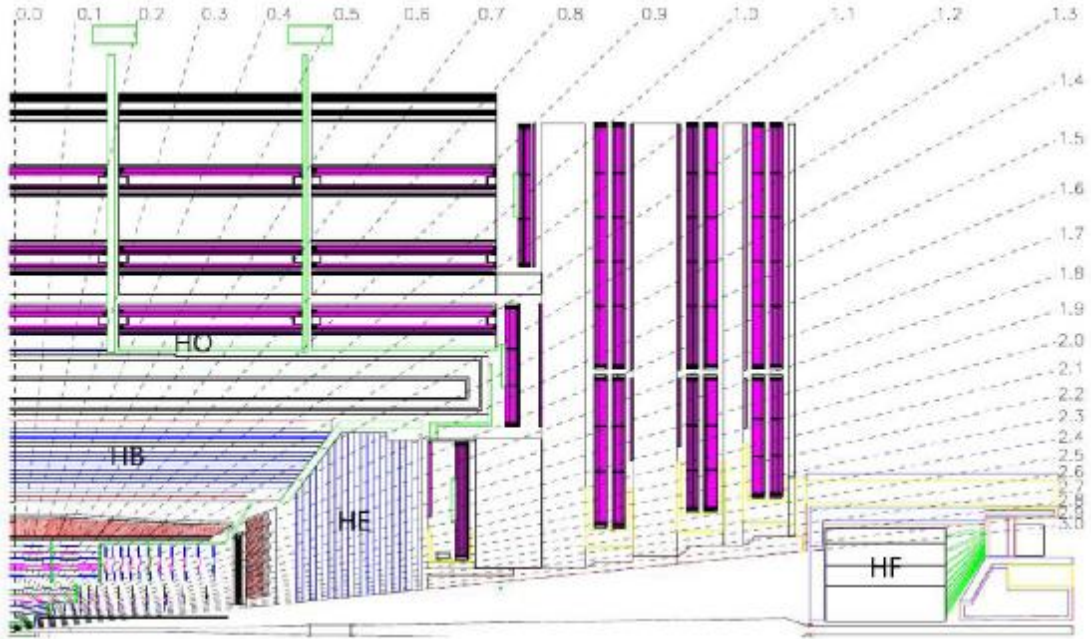
BHÇ 2015 Mart ayına kadar iyileştirme ve yenileme çalışmaları için ara verilmiştir. Verilen bu molanın temel amaçlarından biri kütle merkezi enerjisini 14 TeV'e yükseltmektir. Bu enerjiye erişmek için pek çok yenileme çalışmasının yanında parçacıkların belirlenmesinde önemli role sahip detektörlerinde verimliliklerini arttırmak için yenilenme çalışmaları yapılmaktadır. Bu amaç ile CMS detektöründe de yenileme ve iyileştirme çalışmalarına başlanmış ve bu kapsamda HKAL detektörünün alt arabirimlerinden olan HO detektörü de bu çalışmalara dahil edilmiştir. Tezin bu bölümünde HO detektörünün manyetik alandan kaynaklı sorunlarını çözmek için yapılan çalışmalardan, HO'nun RBX'lerinde bulunan Hibrid Foto Diyot (HFD)'ler ile değiştirilecek Silikon Foto Çoğaltıcı (SiFÇ)'lar ve HKAL detektörü hakkında bilgiler verilmeye çalışılacak ve bu yeni parçalar için yapılan kontrol testlerinin bir kısmı tartışılacaktır.

3.1. Hadronik Kalorimetre (HKAL)

HKAL'in başlıca tasarlanma nedenleri arasında çarpışma sonrasında ortaya çıkan hadronların enerjilerinin ölçülmesi, kayıp dik enerjinin belirlenmesi, hadron jetlerinin belirlenmesi ve ölçülmesi gelmektedir. Çok iyi çözünürlüğe sahip önemli bir detektördür.

Şekil 3.1 CMS detektörünün yaklaşık dörtte birlik kesitini göstermektedir. Şekil üzerindeki kesikli çizgiler sabit psüdo rapidite (η) değerleridir. Etkileşim noktasını merkez kabul edildiğinde, HKAL'in fiçı kısmı olan Hadronik fiçı (HB) yarıçap doğrultusunda izleyici ve EKAL'den sonra gelmektedir. Aynı şekilde etkileşim noktasını yine merkez kabul edildiğinde ve yatay olarak düşünüldüğünde Hadronik kapakta (HE) izleyici ve EKAL'den sonra gelmektedir. HB, yarıçap doğrultusunda EKAL'in en dış tabakası ($R=1.77m$) ile mıknatıs bobinin iç tabakası ($R=2.95m$) arasında bulunmaktadır. HB'den hemen sonra Hadronik dış (HO) kalorimetresi yerleştirilmiştir. Bu detektörün amacı HB'nin kaçırdığı hadronik

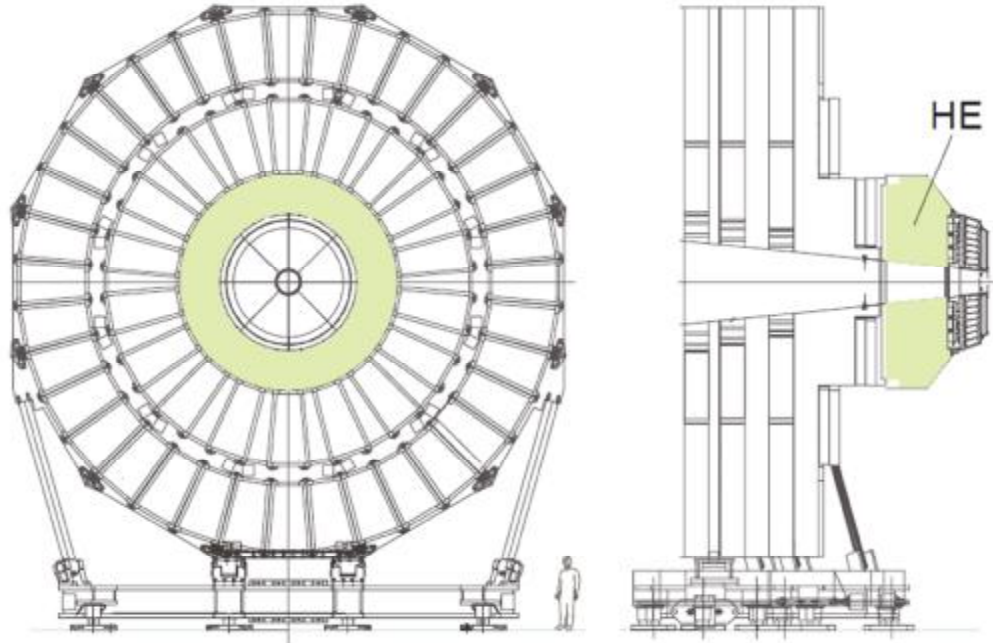
duşları varlamaktır. HO HB'yi tamamlaması için yerleştirilmiştir. Hadronik ileri (HF) etkileşim noktasından 11.2 metre uzaklıkta, $|\eta| > 3$ olduğu bölgeye yerleştirilmiştir ve psüдорapidite aralığı $|\eta| = 5.2$ 'e kadar genişletilmiştir (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).



Şekil 3.1. CMS detektörünün boyuna görünümü. HB, HE, HO ve HF'in HKAL'deki yerleri (https://inspirehep.net/record/1251416/files/Figures_Experimental_Apparatus_HCAL.png).

3.1.1. Hadronik Uç Kapak (HE) Kalorimetre

Hadronik kapak, HE+ ve HE- olmak üzere birbirine özdeş iki parçadan oluşmakta ve $1.3 < |\eta| < 3$ psüдорapidite aralığında bulunmaktadır. HE bir örnekleme kalorimetresidir. HE'un soğurucu bölümleri manyetik alandan etkilenmeyen malzemeden yapılmıştır. Bunun nedeni CMS'in solenoid mıknatısının uç kısmına yerleştirilmiş olmasıdır. Soğurucu olarak C26000 pirinç kartuş (%70 Cu ve %30 Zn) seçilmiştir. Bu seçimin nedenleri olarak maliyetindeki uygunluk ve iyi mekanik özelliklere sahip olma gösterilebilir. Soğurucunun yoğunluğu 8.83 g/cm^3 , etkileşme uzunluğu 16.4 cm ve radyasyon uzunluğu 1.5 cm'dir. Şekil 3.2.'de HE gösterilmektedir (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

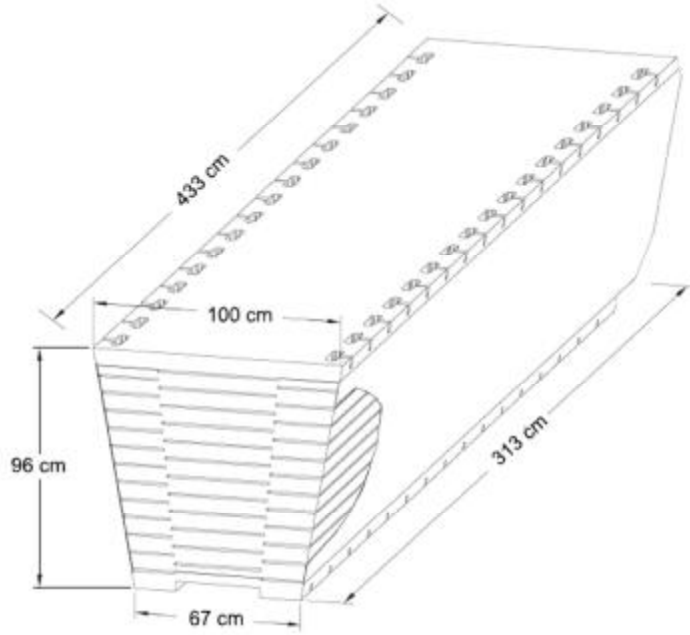


Şekil 3.2. Uç kapak demir boyunduruğuna yerleştirilen HE (CMS HCAL Collaboration, 2008, CMS Note 2008/010).

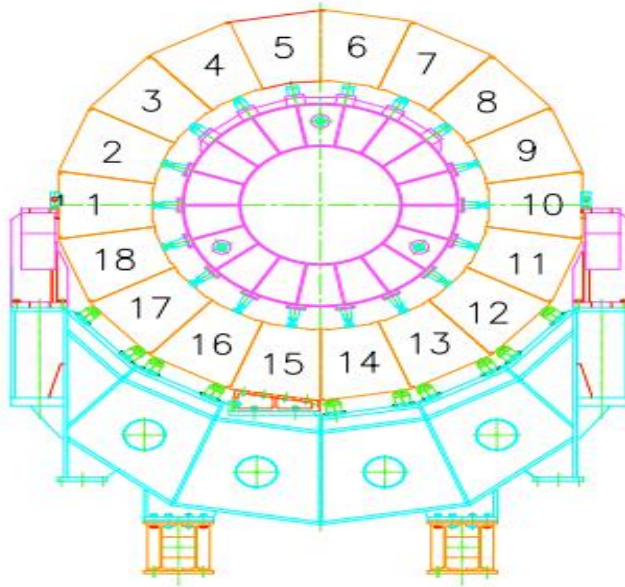
3.1.2. Hadronik Fıçı (HB) Kalorimetre

Aynı HE gibi bir örnekleme kalorimetresi olan HB, iki yarım fıçıdan (HB+ ve HB-) oluşmaktadır. EKAL'dan sonra gelmektedir. Psüдорapidite aralığı $-1.3 < \eta < 1.3$ dir. Hepsi birbiri ile özdeş 36 kadan oluşmaktadır (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

Kamalar hüzmeye eksenine paralel yerleştirilmişlerdir. Kamalar pirinç alaşımından yapılmış levhalardan oluşmaktadırlar. En içteki ve en dıştaki plakalar paslanmaz çelikten yapılmıştır. Çelik ile pirinç levhalar arasına plastik sintilatörler yerleştirilmiştir. Sintilatörler WLS fibere bağlanmıştır. Fiberlerin görevi alınan ışık sinyallerini Hibrid Foto Diyot (HFD)'lara iletmektir. HFD'lar üzerlerine düşen ışığı elektrik akımına dönüştüren aletlerdir (CMS TDR, 2006). Şekil 3.3.'de, bir HB kamasının izometrik görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.3. Bir HB kamasının izometrik görünüşü (CMS HCAL Collaboration, 2006, CMS Note 2006/138).



Şekil 3.4. HB kamalarının numaralandırma şekli (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

3.1.3. İleri Hadronik (HF) Kalorimetre

Birbirine özdeş iki modülden (HF+,HF-) oluşan HF, $3 \leq |\eta| \leq 5$ psüdorapidite aralığında bulunmaktadır. Her bir HF modülü etkileşim noktasına yaklaşık 11.2 m uzaklıkta bulunmaktadır. Yoğun radyasyona maruz kaldığı için radyasyona dayanıklı malzemeden yapılmıştır. HF’de toplam 36 adet çelik kama bulunmaktadır.

Aktif malzeme olan kuvars fiber (QF)’ler oluklu yapıdaki çelik soğurucu levhaların içine gömülmüşlerdir. Okunan sinyaller için Foto Çoğaltıcı Tüp (FÇT)’ler kullanılmaktadır. HF’de toplam 1728 adet okuma kanalı vardır (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1). Şekil 3.5.’de HF’in kamaları gösterilmiştir.

HF ileri jetlerin tanımlanmasında ve kayıp dik enerjinin ölçülmesinde önemli rol oynamaktadır.



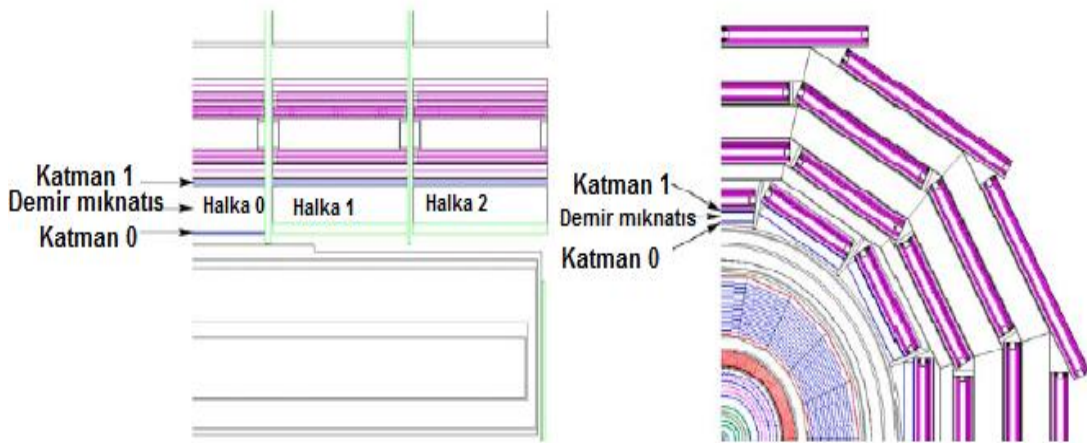
Şekil 3.5. HF’in kamaları

(https://cds.cern.ch/record/1431489/files/IMG_0195.jpg?subformat=icon-1440)

3.1.4. Hadronik Dış (HO) Kalorimetre

Elektromanyetik fiçı (EB) ve sonrasında gelen hadronik fiçı (HB) etkileşim sonrasında tüm parçacıkları belirlemede başarı değildir. Detektörün tasarımından kaynaklı olarak HB özellikle hadronik duşların tamamını ve ortaya çıkardıkları enerjileri belirlemede %100 başarılı olamamıştır. Bu nedenlerden dolayı, HB den kaçan parçacıkları belirlemek, enerjilerini ölçmek için HO tasarlanmıştır. HO müon sisteminin öncesine yerleştirilmiştir ve $|\eta| < 1.3$ psüdo-rapidity aralığını kapsamaktadır.

CMS detektöründe manyetik alan z eksenine boyunca her biri 2.536 metre genişliğindeki beş halkadan oluşan demir boyunduruk tarafında döndürülmektedir. Bu demir boyunduruk selonoid vakum tankının dışında bulunmaktadır. Her halkanın ilk hassas tabakasına HO yerleştirilmiştir. Halkalar -2, -1, 0, 1, 2 olarak numaralandırılmıştır. Merkez halka olan 0. halka iki katmanlı HO sintilatöründen oluşmuştur. Diğer dört halka ise tek katmanlıdır. 0. halkanın bu şekilde tasarlanmasının nedeni, $\eta=0$ 'da HB kalorimetresinin en düşük soğurucu derinliğine sahip olmasıdır. HO katmanları 0. halkada yarıçap doğrultusunda detektörün merkezinden 3.82 metre ve 4.07 metre uzağa, diğer halkalardaki HO katmanları ise 4.07 metreye yerleştirilmiştir. Şekil 3.6.'da HO katmanları gösterilmektedir.

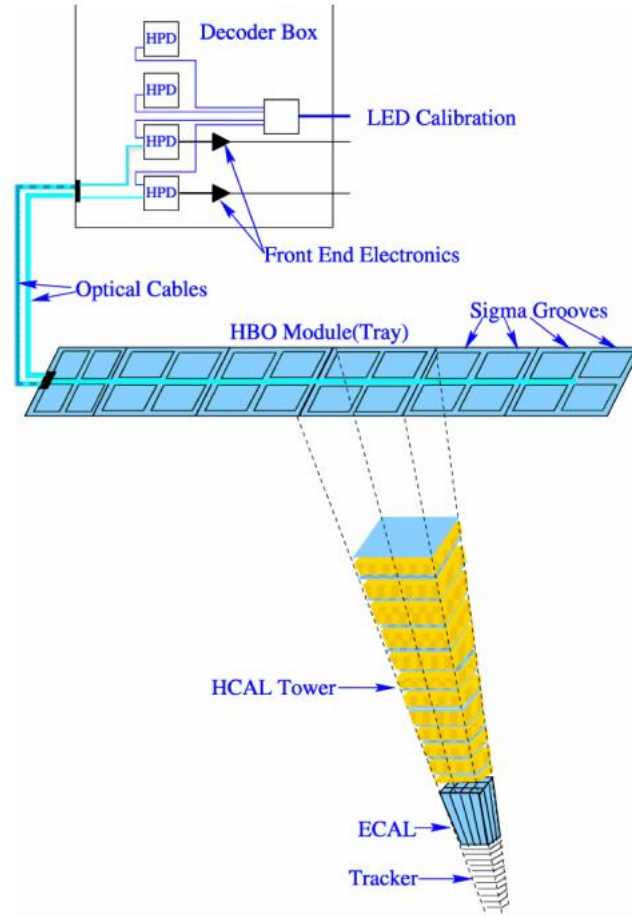


Şekil 3.6. HO Katmanlarının Yandan ve Enine Görünümü (TDR, 2008).

Şekil 3.6 incelendiğinde HO'nın geometrik yapısının müon sistemine uygun olduğu görülmektedir. HO katmanlarından sonra müon sisteminin fiçi katmanları gelmektedir. Her HO halkasında 12 özdeş ϕ - sektörü olmak üzere toplam 60 adet sektör vardır. Halka üzerindeki bu sektörler 75 mm kalınlıktaki çelik kirişler ile birbirlerinden ayrılmıştır. Detektör üzerinde yarıçap boyunca gidildiğinde HO katmanları için 40 mm'lik boşluklar tasarlanmıştır.

Müon sisteminin tasarımından kaynaklı olarak HO dar bir bölgeye sıkıştırılmıştır. Ek olarak demir boyundurukta bu kısıtlı alanın daha da daralmasına neden olmaktadır. HO döşemelerinin boyut ve pozisyonlarını η ve φ 'de 0.087×0.087 tanecikli kuleler biçiminde oluşturmak için HO, HB katmanları ile kabaca eşleştirilmiştir. Bu eşleştirme sonucunda HO, Müon sisteminin önünde 0. Halkada iki diğer halkalarda bir katmandan oluşmuştur.

Döşemelerden gelen sintilasyon ışığı, 0.94 mm çaplı Y11 Kuraray dalga boyu kaydırıcı fiber (WLS)'ler aracılığıyla toplanmaktadır. Toplanan ışık yine aynı çaplı saydam fiberlerle dönüş boyunduruğunun üzerine yerleştirilen foto detektörlere iletilmektedir. HO'nun yapısını basitleştirmek için sintilatör döşemeler tabla olarak adlandırılan tekli birimler içinde paketlenmiştir. Her bir tabla, 5° 'lik φ dilimine karşılık gelmektedir. Bu tablalar z-ekseni boyunca müon sisteminin halkasının tüm aralığını kapsamaktadır. Şekil 3.7 incelendiğinde HB kulesi ile HO tablası bir döşemede eşleşmiştir. Tabladan okuma kutusuna bağlanan fiberler gözükmemektedir.

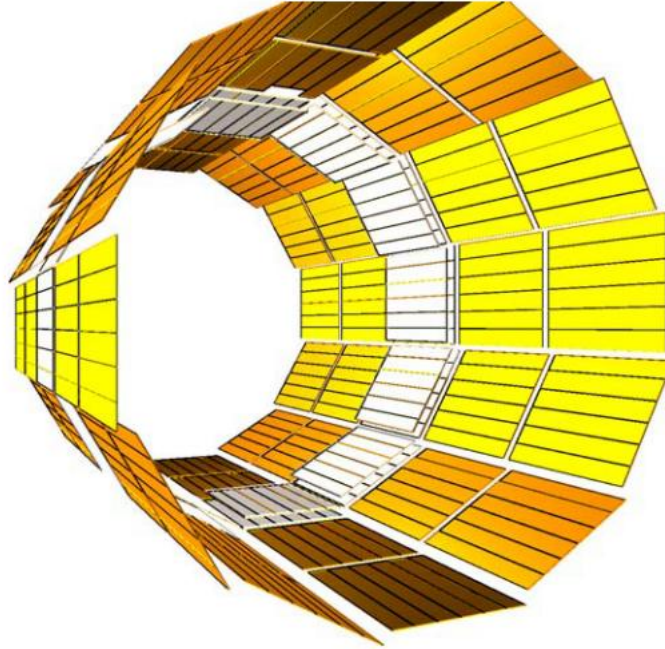


Şekil 3.7. Her bir optik HO döşemesi bir HB kulesi ile eşlenmiştir. Tablalardan gelen fiberler, okuma elektronikleri ve foto detektörlerin bulunduğu okuma kutusuna gönderilmiştir (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

3.1.4.1. Modüller

HO müon sisteminin geometrisine uygun tasarlanmış ve bu geometriye uygun η 'da beş halkaya sahiptir. Halkalar -2 , -1 , 0 , $+1$ ve $+2$ şeklinde numaralandırılmıştır. Her bir HO halkası birbiri ile özdeş 12 ϕ sektörüne ayrılmıştır. Bu her bir sektörde kendi içerisinde birbiri ile aynı yapıya sahip ϕ 'de altı dilime sahiptir. HO'nun en küçük sintilatör birimi olan dilimlerine “döşeme” denmektedir. Her bir ϕ sektöründeki döşemeler, z-ekseninden dikey uzaklığı Katman 0 için 3.82 m ve Katman 1 için 4.07 m olan bir düzleme aittirler. Her halkadaki dilimlerde yer alan bu döşemeler, mekanik olarak bir tabla oluşturacak şekilde bir arada

tutulmaktadır. 0. halkanın her iki katmanı 8 η - bölümüne sahiptir ve $-4, -3, -2, -1, +1, +2, +3, +4$ olarak numaralandırılmışlardır. 1 nolu halkanın altı bölümü vardır ve 5 ile 10 arasında (5, 6, 7, 8, 9, 10), 2 nolu halka ise beş bölümü vardır ve 11 ile 15 arasında (11, 12, 13, 14, 15) numaralandırılmıştır. -1 nolu halka ile -2 nolu halkanın bölümleri, $+1$ nolu halka ve $+2$ nolu halka ile aynı şekilde numaralandırılmıştır fakat negatif indeks kullanılmıştır. Tablaların toplam uzunluğu 2510 mm'dir (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).



Şekil 3.8. Tüm HO tablalarının düzeni (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

3.1.4.2. Sintilatör Döşemeler

Tipik bir sintilatör döşeme Şekil 3.9'da verilmiştir. HO da kullanılan sintilatörler Bicron BC408'den yapılmıştır. Şekil 3.9.'da gösterilen sintilatör döşeme içine WLS fiberlerinin yerleştirildiği dört kanaldan oluşmakta ve her bir kanal 1.35 mm çapında dairesel şekilde olup 0.86 mm genişliğinde ve 2.05 mm derinliğindedir.



Şekil 3.9. HO sintilatör döşemesi (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

HO'da Katman 0 için 20 farklı boyutta ve Katman 1 için 75 farklı boyutta döşeme kullanılmıştır. Toplamda 95 farklı boyutta 2730 adet döşeme vardır (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

3.1.4.3. Tablalar

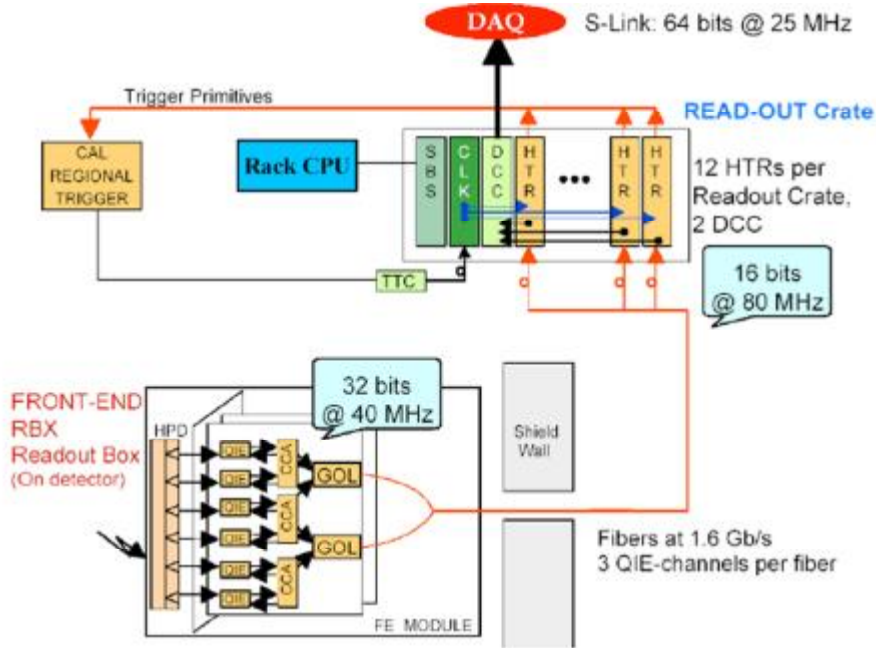
Bir sektörün her bir ϕ dilimindeki tüm döşemeleri bir tabla oluşturacak biçimde toplanmıştır. Tablaların bünyelerinde barındırdıkları döşeme sayısı halkalara göre değişiklik göstermektedir. 0 nolu halkada sekiz döşemenin bir araya gelmesi ile oluşmuştur. ± 1 nolu halkada altı döşeme ve ± 2 nolu halkada beş döşeme bir tabla oluşturmaktadır. Katman 1'de 360 adet, Katman 0'da 72 adet tabla bulunmaktadır (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

3.2. Elektronikler ve Veri Toplama

HKAL'in bünyesinde bulunan yaklaşık 70000 adet sintilatörden alınan ışık, WLS fiberleri ile transfer edilmektedir. Transfer edilen ışık ön uç okuma elektroniklerine taşınmaktadır. Ön uç elektroniklerinin görevi, 40 MHz oranındaki parçacık etkileşiminde elde edilen verilerin sayısallaştırılmasını sağlamaktadır.

Sintilatörlerin topladığı ve optik kablolar ile transfer edilen ışık ilk olarak elektronik ünitelere iletilmektedir. Bu ünitelere okuma kutusu (RBX) denilmektedir. Her bir RBX kendi içerisinde dört okuma modülüne (RM) sahiptir. Her RM içerisinde bulunan HFD'lar optikler ile taşınan sinyali kaydederler. HFD'ler 19 adet kanala sahiptir. HFD'ler HB, HO ve HE'da kullanılmaktadırlar. Manyetik alanın şiddetinin daha az olduğu HF'de ise FÇT'ler kullanılmaktadır.

Gelen sintilasyon ışığı foto detektörler tarafından analog sinyallere çevrilmektedir. Çevrilen analog sinyaller yük toplayıcı ve kodlayıcı (QIE)'lar aracılığı ile sayısal sinyale dönüştürülürler. Sayısal sinyaller fiber optik kablolar ile ön uç elektroniklerdeki veri akış alımından sorumlu olan hadronik tetikleme (HTR) kartına taşınırlar. HTR kendisine gelen farklı türdeki sayısal sinyalleri işler ve bu sinyalleri diğer sistemlere iletmektedir. Şekil 3.10'da HKAL'in veri toplama elektroniklerinin genel görünümü verilmektedir.



Şekil 3.10. HKAL'in veri toplama elektroniklerinin genel görünümü (CMS HCAL Collaboration, 2006, CMS Note 2006/138).

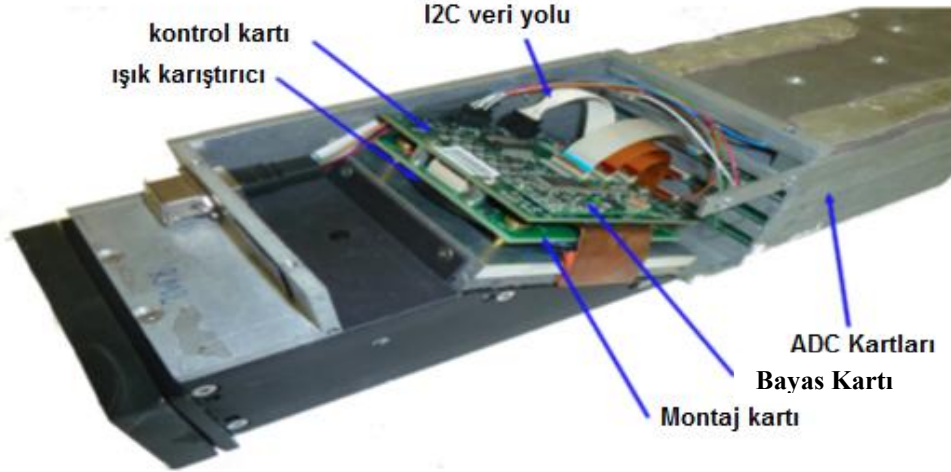
HO'da RM'lerin içinde foto detektör olarak HFD'ler kullanılmıştır. HO'ın maruz kaldığı manyetik alandan dolayı HFD'larda yüksek gürültü problemleri ortaya çıkmıştır. Ayrıca HFD'lar yüksek voltaj (HV)'da kullanılmaları gerekirken, HO'ın

kenar bölgesindeki teknik problemlerden dolayı daha düşük voltaj kullanmak zorunda kalınmıştır. Bu nedenlerden dolayı HO'dan beklenen araştırmaların yapılmasında performans eksikliği ve güçlüğü meydana gelmiştir. Bu problemleri çözmek için HFD'lar yerine RM'lerinin içine manyetik alandan etkilenmeyen SiFÇ'lerin yerleştirilmesine karar verilmiştir. Bu değişimden sonra HO'ın performansının artması beklenmektedir.

3.2.1. Okuma Modülü (RM)

Okuma Modülü (RM)'nün içinde bulunan SiFÇ'ler, optik kod çözücü birim (ODU) ve üç adet dolaşım kartından meydana gelmiştir. Dolaşım kartları ise sıralı olarak montaj kartı (Mounting Board), kontrol kartı (Control Board) ve Bayas kartı (Bias Board) dır. ODU'nun işlevi, gruplanmış fiber girişlerini SiFÇ piksellerine iletmektir. SiFÇ'ların ihtiyaç duyduğu HV, RM'ler tarafından sağlamaktadır. HV kaynağına bağlanan RM'ler bunu sağlamaktadırlar (Özcan M., 2013. CMS'deki Hadronik Dış Kalorimetre (HO) İçin HO904 Kararlılık Testlerinde Led Analizi. Ç. Ü. Fen Edebiyat Fakültesi – Yüksek Lisans Tezi).

RM içerisinde bulunan montaj kartının üzerinde ise bir yüzünde SiFÇ bulunur, diğer yüzünde SiFÇ'ların sıcaklıklarını istenilen sıcaklıkta sabit tutmak için Peltier soğutucu bulunmaktadır. Peltier soğutucu, termoelektrik cihaza doğru akım verildiğinde bir yüzü ısınır iken diğer yüzünün soğuması prensibine dayanarak çalışan elektronik bir cihazdır. Şekil 3.11.'da RM ve içerisinde bulundurduğu elemanlar görülmektedir.



Şekil 3.11. RM (Lutz B., 2012).

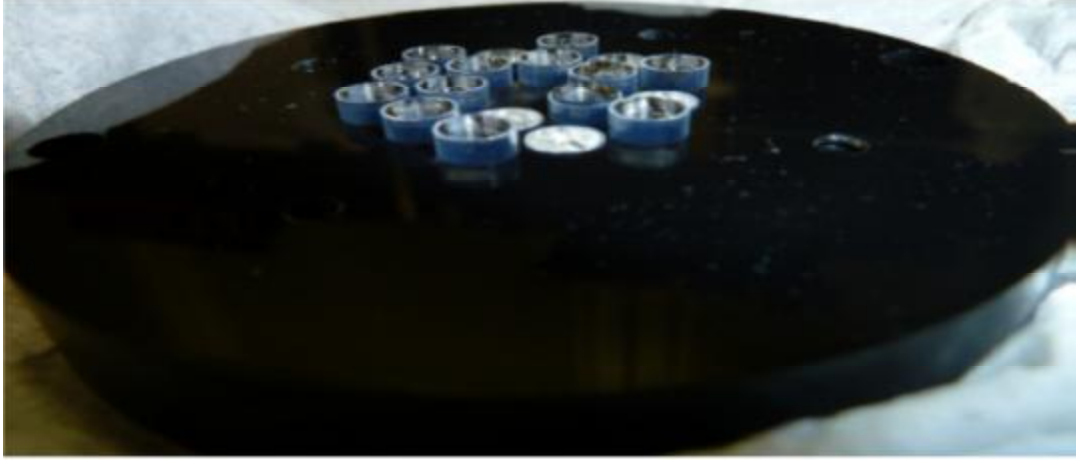
Dolaşım kartlarından bir diğeri olan kontrol kartının görevi ise SİFÇ'dan gelen sinyalleri düzenleyerek 40 MHz şiddetinde QIE'lere iletmektir. Diğer görevleri ise bayas voltajını düzenlemek, sızıntı akımlarını okumak, sistemin voltajını ve sıcaklığını ölçmektir. Şekil 3.12.'de Kontrol Kartı gösterilmektedir.



Şekil 3.12. Kontrol Kartı (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1).

Optik sistem ise RM'lere gelen sinyalin SİFÇ'lere düzgün dağıtılmasından sorumludur. Bunu yapabilmek için ışık karıştırıcı ile birlikte SİFÇ'lara monte

edilmiştir. Sinyal ilk olarak ışık karıştırıcıya gelmektedir. Şekil 3.13’de ışık karıştırıcılar gösterilmektedir.



Şekil 3.13. Işık Karıştırıcı (Lutz B., 2012).

3.2.2. Hibrid Foto Diyot (HFD)

Daha öncede bahsettiğimiz gibi HKAL’in alt detektörleri olan HE, HB ve HO’da fotonu sinyale dönüştürücü olarak HFD’lar kullanılmaktadır. HFD’ların 4 teslalık manyetik alanda çalışabilmeleri, radyasyona karşı dayanıklı olmaları ve maliyet bakımından uygun olmaları seçilmelerindeki en önemli sebeplerdir. HFD’lar kullanıldıkları HB ve HE’da ufak gürültü sorunları dışında verimlilikleri istekleri karşılamıştır. Fakat HO’da beklenen verimliliğe ulaşamamıştır. Bu HO’nın fizik araştırmalarında etkisiz kalmasına neden olmuştur.

HO’nın HKAL geometrisindeki yerinden kaynaklı olarak manyetik alan sebepli sorunlar yaşanmıştır. Yüksek voltaj uygulandığında beklenen verime ulaşamamış ve aygıtın kazancı beklentileri karşılayamamıştır. Sayılan bu nedenlerden dolayı alınan verilerde gürültü daha baskın çıkmış istenilen gerçek sinyal adeti azalmıştır. Bu durum jet ve müon fiziği araştırmalarına sekte vurmuş, fiçı ve kapak bölgelerindeki lepton izolasyonu için gereken düşük enerji ölçümlerini etkilemiştir (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1).

HFD’ların çalışma prensiplerinden bahsetmek gerekirse, HFD’lar foto katot adı verilen hassas yüzeylere sahiptirler. Üzerlerine düşen ışığı elektronlara

dönüştürürler. Bunu fotoelektrik olay ile gerçekleştirirler. Işıktan dönüştürülen elektronlar silikon diyot hedeflere doğru hızlandırılırlar. Silikon diyot 19 parçaya bölünmüş piksellerdir. Piksellere çarpan hızlandırılmış elektronlar bu piksellerde elektronik sinyal üretirler. Böylelikle sinyalin algılanması ve güçlendirilmesi sağlanır. HFD'ler, gelen sinyali yaklaşık 2000 kat kadar yükseltmektedir. Yükseltelen sinyal işlenmek üzere QIE ciplerine gönderilir (<http://cms.web.cern.ch/news/hadron-calorimeter>).

HFD'lardan kaynaklı verim ve gürültü sorunlarını çözmek için HFD'ların Silikon Foto Çoğaltıcı (SiFÇ)'lar ile değiştirilmesine karar verilmiştir. SiFÇ'lar HFD'ların tüm avantajlarına sahiptir.

3.2.3. Silikon Foto Çoğaltıcı (SiFÇ)

SiFÇ, Geiger modunda çalışan çığ foto diyotların piksel dizilerinden oluşmaktadır (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1). Yarı iletken malzemeden yapılmışlardır ve sıcaklığa bağlı gürültüleri vardır. Her bir pikselin normal boyutu 5 – 50 μm 'dir.

HFD'lar ile karşılaştırıldıklarında daha avantajlıdır. Kuantum verimlilik (QE)'leri HFD'lardan iki kat daha fazladır ve bu fazlalık kazançlarını 50 – 500 kat arttırmıştır. Gürültü sinyal oranı HFD'ler ile karşılaştırıldığında bu oran SiFÇ'ler için sekiz kat daha fazladır. HFD'lardan maliyet olarak daha ucuzdurlar. Daha düşük voltajda çalışmaktadırlar. Daha düşük voltajda çalışmaları yüksek voltajdan kaynaklı arızaları minimuma indirmektedir. Yüksek voltaj tüp ömrünü azaltmaktadır. Yarı iletken malzemeden yapıldıkları için 4 teslaya kadar manyetik alanlardan etkilenmezler. HFD'lar SiFÇ'ların aksine sıfır manyetik alanda ve 3.5 T – 4 T'lık güçlü alanlarda iyi çalışırken 0.2 T - 0.3 T düzeyindeki düşük alanlarda sorunlar oluşturmakta ve hızla bozulmaktadırlar. HO'nın birinci ve ikinci halkası HKAL'in diğer alt detektörleri olan HB ve HE den farklı olarak 0.2 - 0.3 T aralığındaki manyetik alanda bulunmaktadır. Tüm bu şartlar altında HFD'lar sahip olduğu problemler nedeni ile HO'nın CMS detektöründeki sorumluluklarını yerine getirmesini engellemektedirler. CMS'de verilen teknik molada HFD'ların SiFÇ'lar

ile değiştirilmeleri sonucunda HO detektörün ilk tasarımında hedeflenen fizik araştırmalarına katkı vereceğine inanılmaktadır (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1).

4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

4.1. HO Test Düzeneği

HFD'lerin yerine kullanılacak olan SiFÇ'lar CMS detektörüne yerleştirilmeden önce hazırlanan özel bir test düzeneğinde kalite kontrol testlerinden geçmiştir. Hazırlanan özel test düzeneği ilk olarak CERN'ün Preveşin kampüsündeki 904 nolu binaya kurulmuştur. Bu yüzden test düzeneğine HO904 adı verilmiştir. Nisan 2013'de ise test düzeneği CMS detektörünün bulunduğu P5 yerleşkesine taşınmıştır. Bu taşınmadan sonra düzeneğin adı HOSX5 olarak değişmiştir. Buradaki SX binanın ismidir. Test düzeneğinin taşınmasından sonra yapılan testlerdeki bazı parametreler değiştirilmiştir. Bu değişikliklere ve sonuçlara bölümün ilerleyen kısımlarında değinilecektir.

Test düzeneğinde iki set olmak üzere toplam 8 adet RM bulunmaktadır. Her sette 4 adet RM vardır. Bu RM'leri HO'nın birinci halkasın (HO1)'da bulunan 2 ve 4 nolu RBX'lar olan HO1M02 ve HO1M04 dikkate alınmıştır. HO904 ve HOSX5 test düzeneğinde RM'lerin içine SiFÇ kartları yerleştirilerek, SiFÇ'ların ön gerilim taramalarına karşılık vereceği tepkiler ve kararlılık durumları kontrol edilmiştir. Haftalık periyotlar halinde RBX'lardaki RM'ler değiştirilmiştir. RM'lere 1 den 8 e kadar numara verilmiştir. Birinci set olan HO1M02'de 1, 2, 3, 4 nolu RM'ler bulunmakta iken HO1M04'de ise 5, 6, 7, 8 nolu RM'ler bulunmaktadır.

Test düzeneğindeki RBX'lerin diğer elemanları RM'lerinin bağlandığı Kalibrasyon modülü, 4 adet çoklu zaman programlayıcı (MTP) fiber şerit ve yüksek tetikleme okuyucu (HTR) kutudur. MTP'lar RM'lerden alınan verileri HTR'suna taşımaktadırlar. Şekil 4.1 de SX5 de bulunan test düzeneği gösterilmektedir.

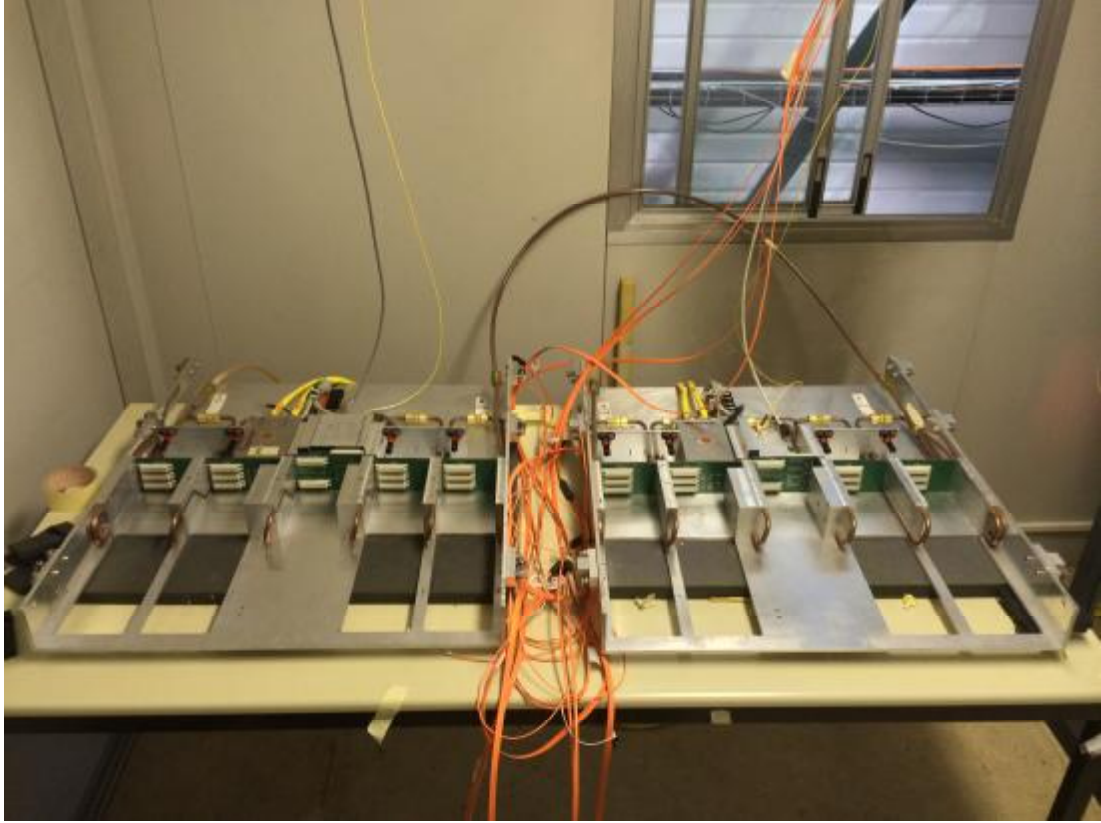


Şekil 4.1. SX5’de bulunan test düzeneğindeki RBX’lar ve içindeki elemanlar.

4.1.1. Test Düzeneğinde Okuma Modülü (RM) Değişikliği ve Veri alımı

SİFÇ’lerin yerleştirdiği RM’lerin istenildiği gibi çalışıp çalışmadıkları test düzeneği sayesinde kontrol edilmiştir. Haftalık periyotlar ile RM’ler değiştirilmiştir. HO904 test düzeneğinde HO1M02’deki RM1 ve HO1M04’deki RM5’in içindeki SİFÇ’lar değiştirilmemiştir. Bu RM’lerden alınan veriler yapılan analizler için referans seçilmiştir. Diğer 6 RM haftalık periyotlar ile değiştirilmiştir. Test düzeneği SX5’e taşındıktan sonra bu uygulama değişmiş ve haftalık periyotlarda tüm sekiz

RM değiştirilmiştir. Şekil 4.2’de test düzeneğinin elemanlarının sökülmüş hali verilmektedir.



Şekil 4.2. Test düzeneğinin elemanları sökülmüş hali.

Test düzeneğindeki RM’lerinin değişikliklerinden sonra test düzeneğini kontrol eden bilgisayarda yüklü olan PVSS denilen kontrol sistemi ile yeni RM’lerin kimlikleri olan barkodlar eskileri ile değiştirilmiştir. PVSS sistemi test düzeneğindeki RM’lara verilecek voltajı da ayarlanmaktadır. Sistem RM’lerinin sıcaklıklarını ölçmektedir. Sıcaklık SİFÇ’larda önemlidir, çünkü sıcaklık ile kazanç ters orantılıdır. Bu yüzden HO904 sistemindeki RM sıcaklığı 21 dereceye sabitlenmiştir. Fakat SX5 ‘de RM sıcaklığı 24 derece olarak değiştirilmiştir. Barkod değişikliği, voltaj verilmesi ve sıcaklığın sabitlenmesinden sonra diğer aşama olan veri alımına geçilmektedir.

Test düzeneğindeki elemanların önemli bazı özellikleri incelenmiştir. Bu özellikler pedestal, led sinyali, Peltier/Gürültü analizi ve kararlılıktır. Bu özellikleri incelenmek için düzenekten gerekli veriler alınmıştır. Verileri almak için şekil 4.3.'da görünen ara yüz kullanılmıştır. Bu ara yüze internet üzerinden sadece CERN içinden bağlanılmaktadır. Sorumlu kişiler sahip oldukları şifre sayesinde bu bağlantıyı sağlarlar. İstenilen veri Şekil 4.3.'daki menü üzerinden seçilerek alınmıştır. Veri alımı sırasında şekil 4.4.'de görülen ekran ile veri alım süreci kontrol edilmiştir. İncelenmek istenilen özellikler için farklı tipte veriler alınmıştır. Her verinin minimum olay sayısı farklıdır. Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2.'de HO904 ve SX5 test düzeneklerinden alınan veriler ve minimum olay sayıları verilmiştir.

Çizelge 4.1. HO904 test düzeneğinden alınan veriler ve minimum 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

Çizelge 4.2. SX5 test düzeneğinden alınan veriler ve minimum 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	en az 510K

Veriler istenilen olay sayısına eriştiklerinde veri alımı otomatik olarak sona ermekte ve veri alma sistemi her veriye bir numara atamaktadır. Veriler sahip oldukları numaralar ile ilgili internet sayfasındaki listeye eklenirler. Analiz yapmak isteyen servis elemanları bu liste sayesinde kullanmak istedikleri verilerin numaralarını ve olay sayılarını öğrenip, analizlerini yapabilirler.



Şekil 4.3. Veri almayı sağlayan ara yüz.

Current runtime	/hcalpro/SX5/HO/SX5_HO_SelfTrigger_high	State of the system :	Active
Run Session Number	0	Partition Name	M_hcal12
Run Number	7055		
Events Requested	50000	Events Taken	18757

Partition Viewer	AutoFix Status	Control Panel																																																
<table> <thead> <tr> <th>Class</th><th>Instance</th><th>State</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>hcalEventBuilder</td><td>0</td><td>Active</td></tr> <tr><td>hcalCrate</td><td>0</td><td>Active</td></tr> <tr><td>hcalHTRManager</td><td>0</td><td>Active</td></tr> <tr><td>hcalDCCManager</td><td>0</td><td>Active</td></tr> <tr><td>hcalDCCVMEReadout</td><td>0</td><td>Active</td></tr> <tr><td>hcalDccvmeBU</td><td>0</td><td>Active</td></tr> <tr><td>hcalDccvmeProcessor</td><td>0</td><td>Active</td></tr> <tr><td>hcalDCCManager</td><td>0</td><td>Active</td></tr> <tr><td>hcalDCCvmeTFA</td><td>0</td><td>Active</td></tr> <tr><td>hcalSlowDataReadout</td><td>0</td><td>Active</td></tr> <tr><td>hcalPartitionViewer</td><td>0</td><td>Active</td></tr> <tr><td>hcalRBXManager</td><td>0</td><td>Active</td></tr> <tr><td>hcalSIPMCalManager</td><td>0</td><td>Active</td></tr> <tr><td>hcalTTCControl</td><td>0</td><td>Active</td></tr> <tr><td>hcalTTCControl</td><td>0</td><td>Active</td></tr> </tbody> </table>	Class	Instance	State	hcalEventBuilder	0	Active	hcalCrate	0	Active	hcalHTRManager	0	Active	hcalDCCManager	0	Active	hcalDCCVMEReadout	0	Active	hcalDccvmeBU	0	Active	hcalDccvmeProcessor	0	Active	hcalDCCManager	0	Active	hcalDCCvmeTFA	0	Active	hcalSlowDataReadout	0	Active	hcalPartitionViewer	0	Active	hcalRBXManager	0	Active	hcalSIPMCalManager	0	Active	hcalTTCControl	0	Active	hcalTTCControl	0	Active		
Class	Instance	State																																																
hcalEventBuilder	0	Active																																																
hcalCrate	0	Active																																																
hcalHTRManager	0	Active																																																
hcalDCCManager	0	Active																																																
hcalDCCVMEReadout	0	Active																																																
hcalDccvmeBU	0	Active																																																
hcalDccvmeProcessor	0	Active																																																
hcalDCCManager	0	Active																																																
hcalDCCvmeTFA	0	Active																																																
hcalSlowDataReadout	0	Active																																																
hcalPartitionViewer	0	Active																																																
hcalRBXManager	0	Active																																																
hcalSIPMCalManager	0	Active																																																
hcalTTCControl	0	Active																																																
hcalTTCControl	0	Active																																																

Şekil 4.4. Veri alımını kontrol edilen sayfa.

4.2. HO Test Düzenegindeki SİFÇ'ların Öz Tetikleme Analizi

Bu bölümde, RM'lerin içerisine yerleştirilen SİFÇ ile ilgili yapılan Öz Tetikleme analizlerinden bahsedilecektir.

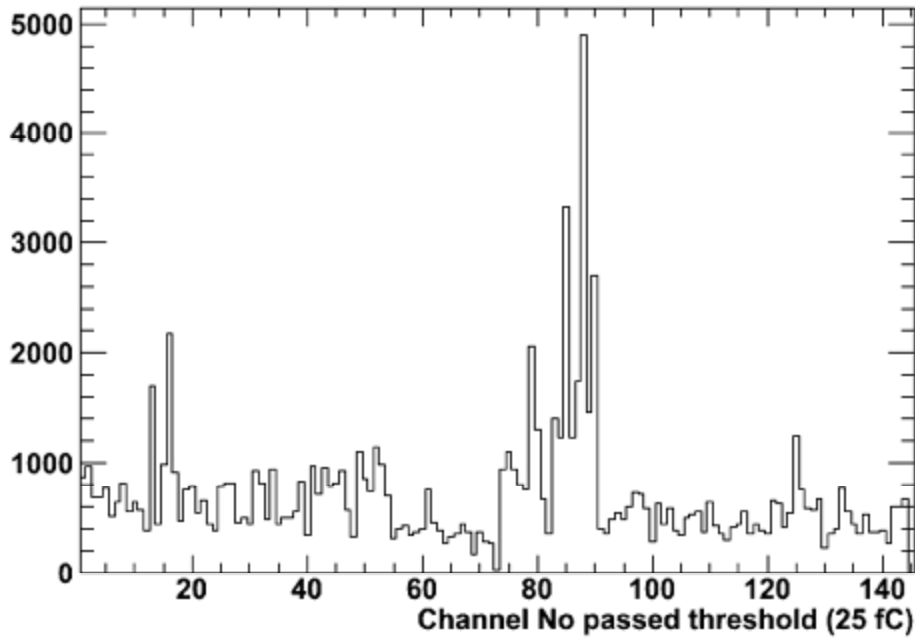
SİFÇ'lar yarı iletken malzemeden yapılmıştır. Bunun nedenlerinden bir tanesi manyetik alan içinde en iyi verime ulaşmak ve gürültü miktarını minimuma indirmektir. Fakat SİFÇ'lar yapıldıkları malzemeden kaynaklı olarak termal gürültülere sahiptirler. Bu termal gürültü SİFÇ'ların sahip olduğu piksellere ışık düşmediğinde bile pikseller rastgele olarak tetikleme yapmasına neden olmaktadır. SİFÇ'lerden beklenen 25 °C sıcaklıkta, normal kazanç altında pikselleri 0.5 Hz ile 1.5 Hz aralığında tetikleme yapmasıdır. SİFÇ'lerin istenilen aralıkta tetikleyip tetiklemediklerini kontrol etmek için test düzeneğinden üç tip veri alınmıştır. Bu veriler Öz Tetikleme verileridir. Öz Tetikleme verileri üç farklı eşik değerine sahiptir. Üç farklı Öz tetikleme verisi ve fC cinsinden eşik değerleri aşağıda listelenmiştir.

- HO_SelfTrigger_low: 25 fC
- HO_SelfTrigger_medium: 40 fC
- HO_SelfTrigger_high: 55 fC

Çalışmanın bu bölümünde SİFÇ'ların piksellerinin tetikleme oranlarına bakılmıştır. Oran her kanal için ayrı ayrı inceleme yapılmıştır. Veri alımı yapılır iken herhangi bir özel tetikleme yöntemi uygulanmamıştır. Özel bir yapılandırma yapılmamıştır. Test düzeneğinden alınan veriler HKAL için uygun olan 4 TS aralığına göre alınmıştır. Bu tez çalışmasında ise her pikselin tetikleme oranının doğru hesaplanabilmesi için 1 TS zaman aralığı kullanılmıştır.

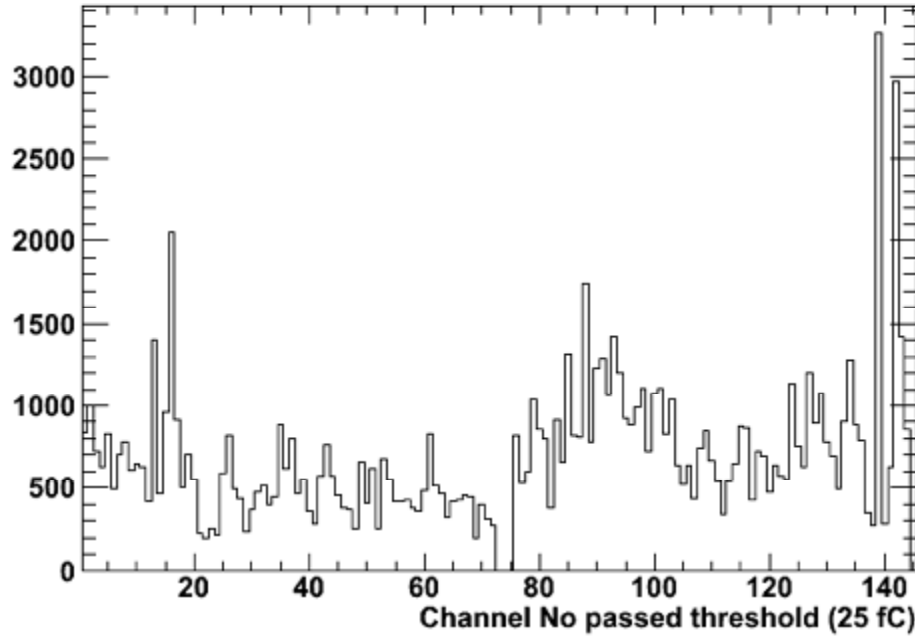
SİFÇ'lerin sahip olduğu bir pikselin tetikleme oranı, bir pikselde belirli bir zaman aralığında rastgele okunan olay sayısı şeklinde tanımlanabilir. Test düzeneğinden alınan veriler bu mantık ile incelenmiş ve elde edilen grafikler ile

piksellerin ne kadar tetiklediğine bakılmıştır. Şekil 4.5.'de HO904 test düzeneğinden alınan 3754 nolu düşük eşik değerli Öz Tetikleme verisi verilmiştir. Analiz sonucu elde edilen grafik, SİFÇ'ların sahip olduğu sekiz RM'daki 144 pikselin veri alımı sırasında tetikleme sayılarını göstermektedir. Bu veride herhangi bir sorun gözükmemektedir. Tüm pikseller istenilen tetiklemeyi gerçekleştirmişlerdir.



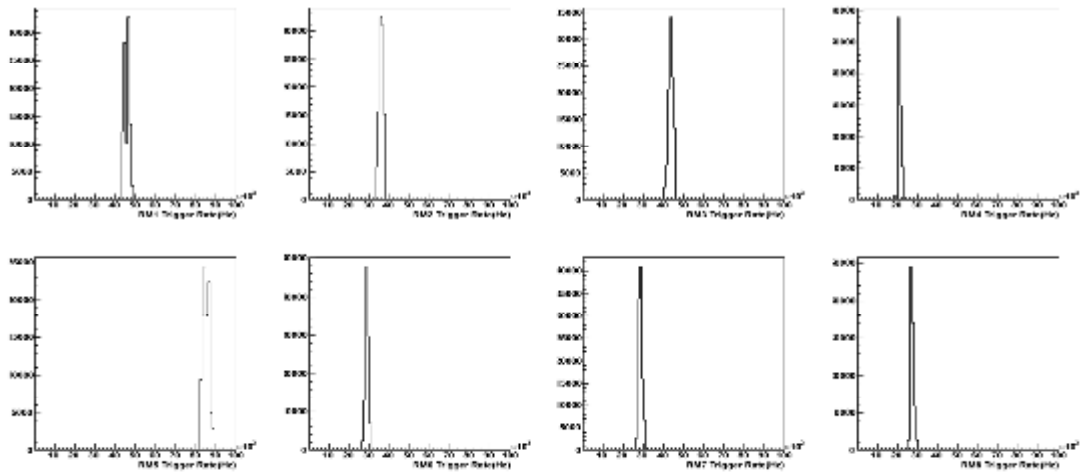
Şekil 4.5. Düşük eşik değerli 3754 nolu veriye ait 144 adet pikselin tetikleme sayıları.

Şekil 4.6'da düşük eşik değerli 3782 nolu veriye ait 144 adet pikselin tetikleme sayıları gösterilmektedir. Şekil 4.6'de gösterilen bazı pikseller tetikleme yapmamıştır. Tetikleme yapmayan piksellerin numaraları 73, 74 ve 75 dir. Bunlar RM5'in birinci, ikinci ve üçüncü pikselleridir. Belirtilen piksellerin tetikleme yapmamasının nedeni olarak ışığın geldiği Led kablolarında bir sorun olmasından şüphe edilmiştir. Diğer taraftan piksellerin fiberlerinin karanlık olabilir. Yani ışığı iletememeleridir.



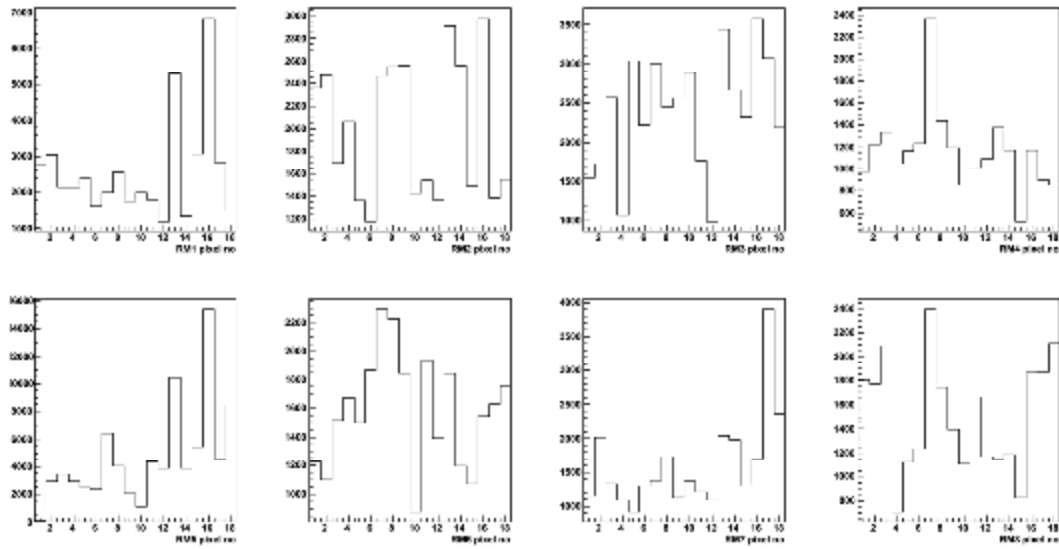
Şekil 4.6. Düşük eşik değerli 3754 nolu veriye ait 144 adet pikselin tetikleme sayıları

Şekil 4.7’de düşük eşik değerli 3754 nolu veri gösterilmektedir. Burada 8 adet RM’un tetikleme oranları gösterilmektedir. Tek tek pikseller değerlendirilmemiş, RM’in sahip olduğu tüm piksellerin tetikleme oranı 1 boyutlu grafik olarak çizilmiştir.



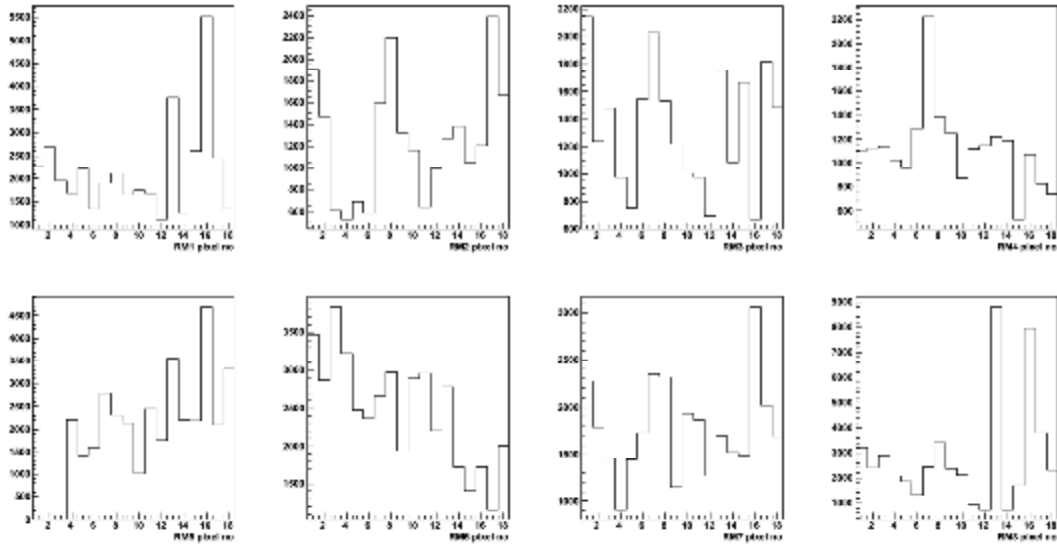
Şekil 4.7. 3754 nolu verinin 8 RM’un tetikleme oranı.

Piksellerin tetikleme sayılarına bakıldıktan ve RM'lerinin tek tek tetikleme oranları hesaplandıktan sonra diğer bir inceleme olarak RM'lerin ve sahip oldukları piksellerin tek tek tetikleme oranlarına bakılmıştır. Şekil 4.8'da yukarıda incelediğimiz düşük eşik değerli 3754 nolu verinin sekiz RM'nin piksellerinin tek tek tetikleme oranları verilmiştir. Tüm pikseller tetikleme yaptıkları için tetikleme oranlarında da bir anormallik görülmemektedir.



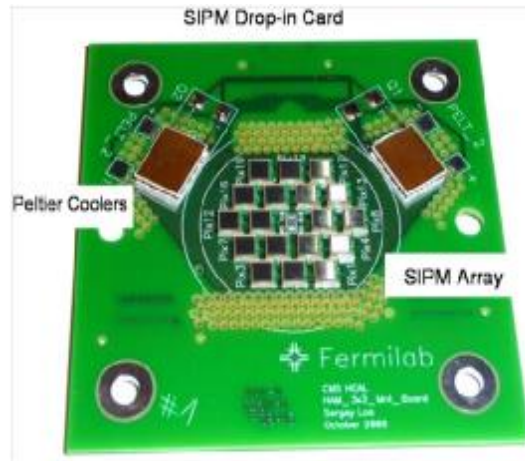
Şekil 4.8. 3754 nolu veriye ait 8 adet RM'nun piksellerinin tetikleme oranları.

Şekil 4.9'da ise yine düşük eşik değerli 3782 nolu veri verilmektedir. Bu veride yukarıda belirtildiği gibi bazı pikseler tetikleme yapmamaktadır. Bu piksellerin tetikleme oranlarının da 0 olması beklenmektedir. Bu durum sorun olarak belirtilmiştir.



Şekil 4.9. 3782 nolu veriye ait 8 adet RM'nun piksellerinin tetikleme oranları.

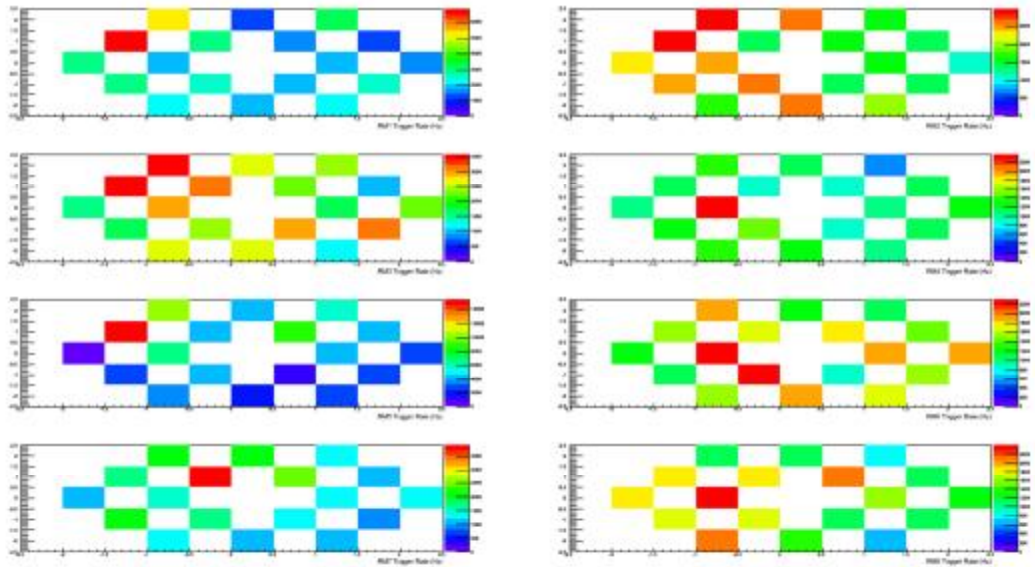
RM'larının içerisindeki piksellerin tek tek tetikleme oranları hesaplandıktan sonra diğer bir grafik olarak, bu piksellerin RM içerisindeki SİFÇ'ların piksellerinin özgün yerleşimine uygun bir grafik çizdirilmiştir. Şekil 4.10'da bir SİFÇ'ın piksellerini yerleşimleri görülmektedir.



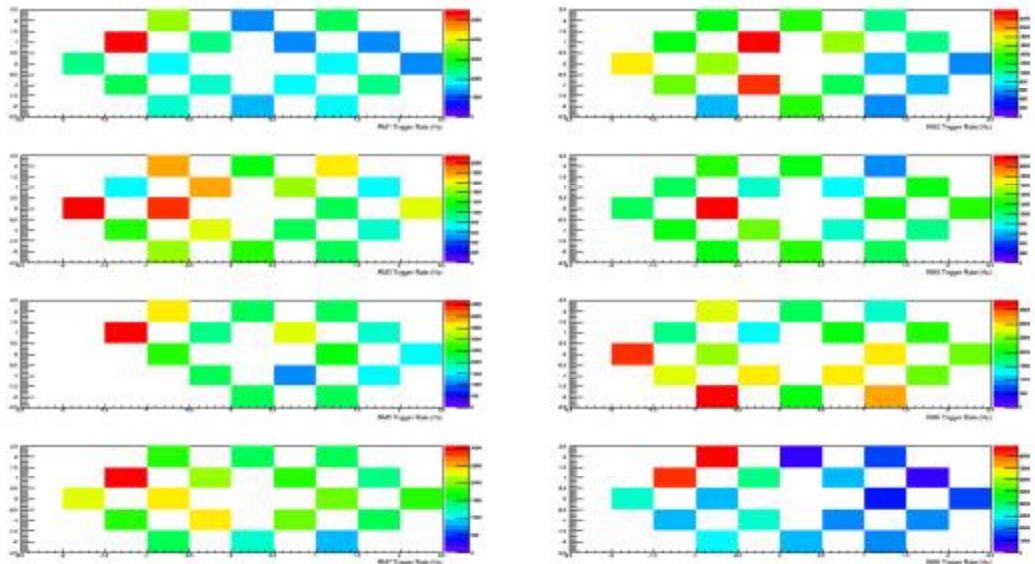
Şekil 4.10. SiFÇ düzeneği (Freeman, 2010b)

Bu geometriye uygun olarak Şekil 4.11'de düşük eşik değerli 3754 nolu verinin sekiz RM'ün 144 adet pikselinin daha önce hesaplanan tetikleme oranları

çizdirilmiştir. Şekil 4.10'deki RM'larının piksellerinin kuşbakışı görüntüsüdür. Şekil 4.12 ise düşük eşik değerli 3782 nolu verinin aynı mantıkta çizilmiş grafiğidir. Yukarıda verildiği gibi bu veride RM5'in sahip olduğu ilk üç piksel tetikleme yapmamaktadır. Şekil 4.12 bulundukları yerler boş gözükmemektedir.

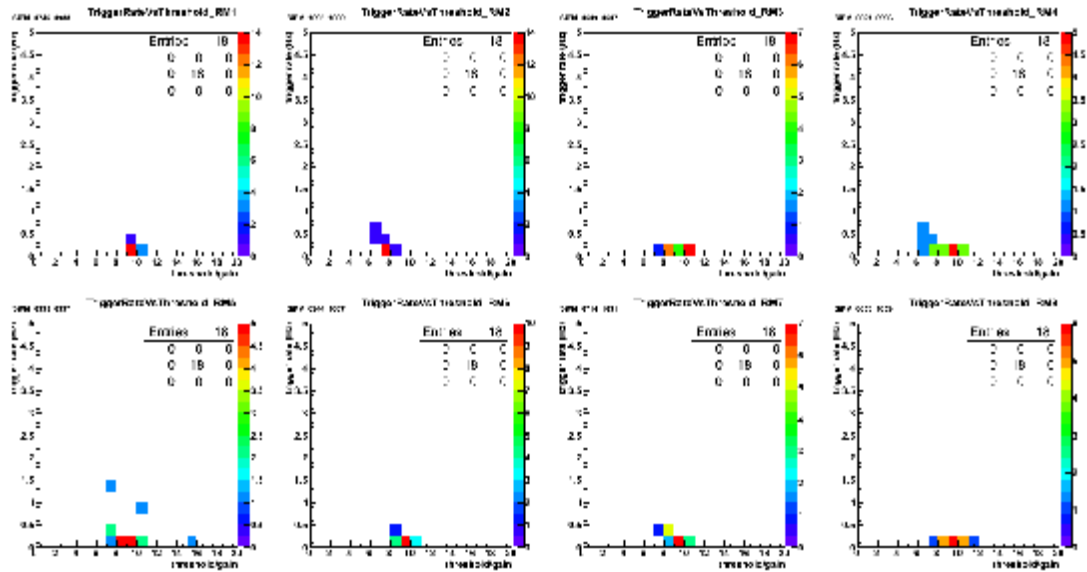


Şekil 4.11. Düşük eşik değerli 3754 nolu verinin 144 adet pikselinin SİFÇ geometrisindeki yerleşimlerine göre tetikleme oranları.

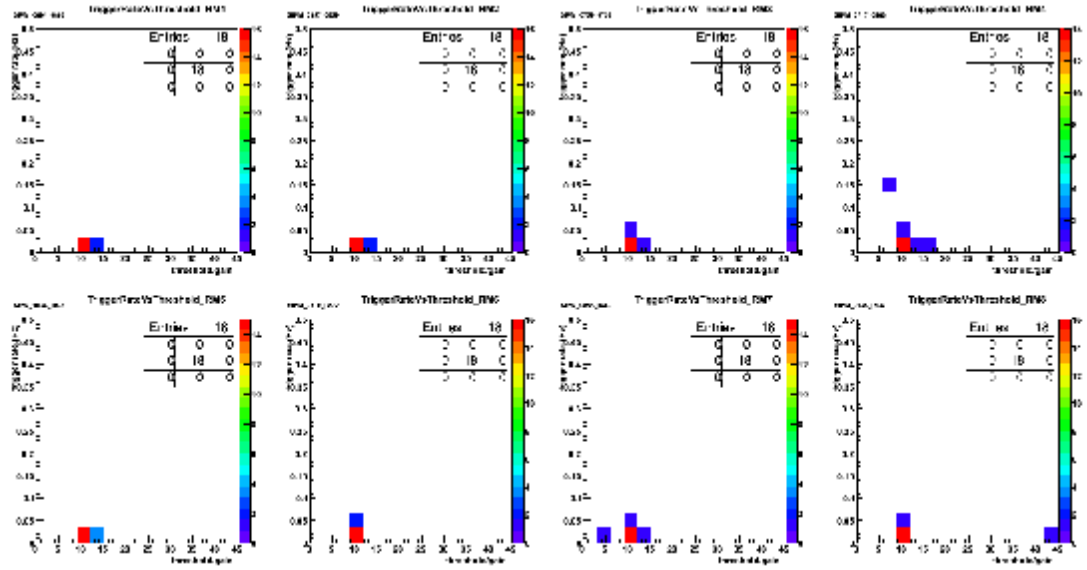


Şekil 4.12. Düşük eşik değerli 3782 nolu verinin 144 adet pikselinin SİFÇ geometrisindeki yerleşimlerine göre tetikleme oranları.

144 piksel için tetikleme oranları hesaplandıktan sonra diğer bir çalışmada hesaplanan piksellerin kazançları kullanılarak Şekil 4.13’de yüksek eşik değerli 5680 nolu veriden elde edilmiştir. Şekil 4.13’de y eksenı tetikleme oranını gösterir iken x eksenı (eşik değeri – pedestal değeri)/kazanç değeri belirtmektedir. Şekil 4.13’deki her bir grafik bir RM ve içindeki piksellerin tetikleme oranının (eşik değeri – pedestal değeri)/kazanç oranına dağılımını belirtmektedir (DEMİROĞLU Z. Ş., 2013. CMS Deneyindeki HB ve HE Kalorimetrelerindeki HFD’lerin Gürültü Analizleri ve HO904 Test Düzenegindeki SİFÇ’lerin Self Trigger Analizi. Ç. Ü. Fen Edebiyat Fakültesi – Yüksek Lisans Tezi). HO904 test düzeneginden alınan verilerde bu dağılımın 1.5 Hz’den küçük olması beklenmiştir. Test düzenegi SX5’e taşındıktan sonra alınan verilerde bu oran değıştirilmiş ve 0.5 Hz olarak belirtilmiştir. 5680 nolu veri HO904 test düzeneginden alınmıştır. Şekil 4.14 ise SX5 test düzeneginden alınmış yüksek eşik değeri 7048 nolu veridir.

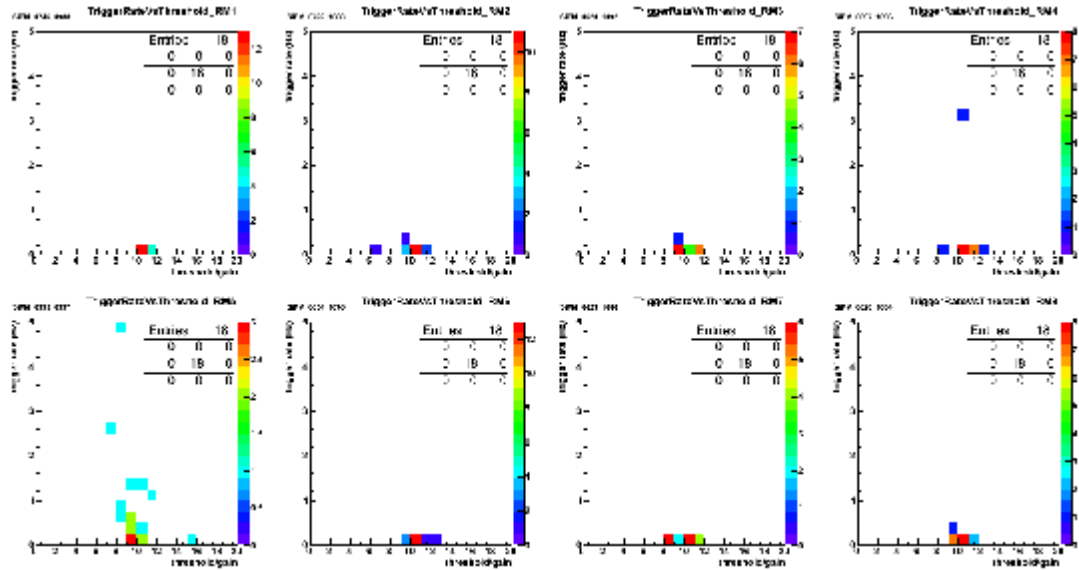


Şekil 4.13. HO904 test düzeneginden alınan yüksek eşik değeri 5680 nolu veriye ait sekiz RM için tetikleme oranının (eşik değeri – pedestal değeri)/kazanç oranına göre dağılımı.



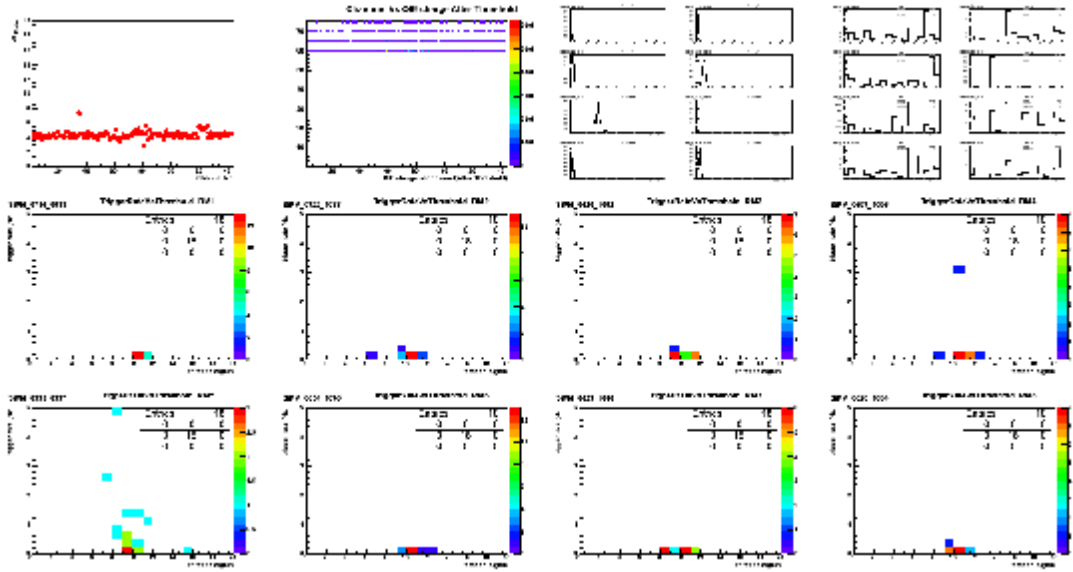
Şekil 4.14. SX5 test düzeneğinden alınan yüksek eşik değerli 7048 nolu veriye ait sekiz RM için tetikleme oranının (eşik değer – pedestal değer)/kazanç oranına göre dağılımı.

Şekil 4.15’de yüksek eşik değerli 5277 nolu veri verilmektedir. Bu veri HO904 test düzeneğinden alındığı için tetikleme oranının (eşik değer – pedestal değer)/kazanç oranına göre dağılımının 1.5 Hz ‘den küçük olması beklenmektedir. RM4 ve RM5 de istenilen değerden yüksek dağılımlar gözükmemektedir. RM5 de olan yüksek dağılım test düzeneğinin elamanı olan saat ve kontrol modülü (CCM)’nden kaynaklı bir problem olduğu bilinmektedir. 5667 nolu veriye kadar alınan tüm verilerde RM5’de aynı problem gözükmemekte olup, nedeni bilindiği için göz ardı edilmiştir. RM4 incelendiğinde dağılımın 1.5 Hz’den büyük olduğu gözükmemektedir.



Şekil 4.15. HO904 test düzeneğinden alınan yüksek eşik değerli 5277 nolu veriye ait 8 RM için tetikleme oranının (eşik değeri – pedestal değeri)/kazanç oranına göre dağılımı.

Sorunun nedeni anlamak için çalışmadaki diğer grafiklere bakılmıştır. Çalışmadaki diğer grafiklerin daha kolay incelenmesi ve kolaylık sağlaması için 12 adet grafik aynı sayfaya toplanmıştır. Şekil 4.16 yüksek eşik değerli 5277 nolu verinin özet sayfasını vermektedir. Bu özet sayfasındaki grafiklerden sağ üst köşede bulunan grafik diğer bir çalışmada hesaplanan RM’lerde bulunan 144 adet pikselin birinci dereceden kazancını, sol üstten ikinci grafik ise eşik değeri uygulandıktan sonra RM’deki 144 adet pikselin tetikleme oranını göstermektedir. Sağ üstten ikinci grafik 8 adet RM’in ortalama tetikleme oranını gösterirken, sağ üst köşedeki grafik sekiz RM’in piksellerinin tetikleme oranıdır. Ortadaki ve alttaki grafikler ise her RM’in tetikleme oranının (eşik değeri – pedestal değeri)/kazanç oranına karşı grafiğini vermektedir. Şekil 4.16 incelendiğinde 4 nolu RM’de belirlenen 1.5 Hz değerinden büyük noktalar vardır. Oluşturmuş olduğumuz özet sayfasının en üst sağ tarafındaki sekiz adet RM’in piksellerinin tetikleme oranlarını veren grafikte 4 nolu RM’in 5 nolu pikselinin tetikleme oranının diğer piksellere oranla çok fazla olduğu ortadadır.



Şekil 4.16. Yüksek eşik değerli 5277 nolu verinin özet sayfası

Test düzeneğinden alınan veriler üzerinde yapılan analizler sonucunda “.xml” uzantılı bilgi sayfaları oluşturulmuştur. Bu sayfalar analiz edilen veri ile ilgili tüm bilgileri içermektedir. Sayfalar kullanılan RM’lerin barkod numaralarını, SİFÇ’lerin yerleştirildikleri kartların numaraları, analiz sonunda piksellerin kazançlarını, piksellerin tetikleme oranları gibi analizde elde edilen bilgileri içermektedirler. Bu sayfalar özel izinler ile internet ortamına aktarılmış, çalışma gurubundaki bilim insanların istediklerinde bu bilgilere ulaşmalarına olanak sağlanmıştır.

Çalışmada HO904 ve SX5 deki test düzeneklerinden alınan toplam 426 adet veri incelenmiştir. Haftalık RM değişiklikleri sonunda yapılan analizlerde belirtilen kriterlere uymayan SİFÇ’ler yapılan toplantılarda çalışma grubu ile paylaşılmıştır. Bazı SİFÇ’lerin piksellerinin tetikleme yapmadığı, HO904 için tetikleme oranlarının 1.5 Hz den yüksek olduğu saptanmıştır. Bu yüksek tetikleme oranlarının nedeninin test düzeneğindeki ışık sızıntısından kaynaklandığı anlaşılmıştır. Tetikleme yapmayan ve yüksek tetikleme oranına sahip SİFÇ’ler tekrar test edilmiştir. SX5 test düzeneğinde tetikleme oranı olarak belirlenen 0.5 Hz aşılmamış fakat bazı SİFÇ’lerin bazı piksellerindeki tetiklememe sorunu devam etmiştir. Bu SİFÇ’ler onarılmış, yeniden test edilmiş ve CMS detektörünün HO halkalarına yerleştirilmeye başlanmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

HKAL'ın alt detektörlerinden olan HO'da bulunan HFD'lerde gürültüden kaynaklı verim düşüklüğü görülmüştür. HKAL'deki manyetik alanın bu gürültüye neden olduğu belirlenmiştir. Teknik molada, yarı iletken malzemedan yapıldığı için manyetik alandan etkilenmeyen, SİFÇ'ların HFD'lar ile değiştirilmesine karar verilmiştir. HFD'ların tüm avantajlarına sahip olan SİÇF'lar aynı zamanda yüksek voltaja da ihtiyaç duymazlar. SiFÇ piksellerinin normal kazançta 0.5 Hz ile 1.5 Hz arasında tetiklenmesi beklenmektedir. HO904 ve SX5 test düzeneklerinden alınan toplam 426 adet veri incelenmiştir. Bazı SİFÇ'ların piksellerin istenilen tetikleme oranından yüksek olduğu belirlenmiş ve bunun nedeninin ışık sızıntısı olduğu anlaşılmıştır. Bu SİFÇ'ler yeniden test edilmişler ve sorun belirlenmemiştir.

Test edilen SİFÇ'ler HO alt detektörüne yerleştirilmeye başlanmıştır.

KAYNAKLAR

- CERN Brochure, 2009. <http://cds.cern.ch/record/1194057/files/CERN-Brochure-2009-007-Eng.pdf>, (Eriřim Tarihi: 16 Kasım 2014).
- CERN Brochure, 2009. <http://cds.cern.ch/record/1165534/files/CERN-Brochure-2009-003-Eng.pdf>, (Eriřim Tarihi: 16 Kasım 2014).
- CERN Brochure, 2009. <http://cds.cern.ch/record/1183425/files/CERN-Brochure-2009-006-Eng.pdf>, (Eriřim Tarihi: 16 Kasım 2014).
- CERN Brochure, 2010. <http://cds.cern.ch/record/1324123/files/CERN-Brochure-2010-007-Eng.pdf>, (Eriřim Tarihi: 16 Kasım 2014).
- CERN Brochure, 2012. <http://cds.cern.ch/record/1485019/files/CERN-Brochure-2012-004-Eng.pdf>, (Eriřim Tarihi: 16 Kasım 2014).
- 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: 13 Kasım 2013).
- 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: 13 Kasım 2013).
- CMS Collaboration, 2008. “The CMS experiment at the CERN LHC”, The CERN Large Hadron Collider: Accelerator and Experiments, http://iopscience.iop.org/1748-0221/3/08/S08004/pdf/1748-0221_3_08_S08004.pdf (Eriřim Tarihi: 21 řubat 2014).
- 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: 20 řubat 2014).

- 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=ECALncol.pdf>, (Eriřim Tarihi: 16 Mayıs 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=HCALncol.pdf>, (Eriřim Tarihi: 16 Mayıs 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=MagnetField.pdf>, (Eriřim Tarihi: 16 Mayıs 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: 16 Mayıs 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: 16 Mayıs 2013).
- CMS HCAL Collaboration, 2006. “Design, Performance, and Calibration of CMS Hadron-Barrel Calorimeter Wedges”, CMS Note, CMS NOTE 2006/138, http://cds.cern.ch/record/1049915/files/NOTE2006_138.pdf, (Eriřim Tarihi: 16 řubat 2014).
- 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, (Eriřim Tarihi: 08 Mart 2014).
- 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, (Eriřim Tarihi: 15 Ocak 2014).
- 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 Mayıs 2014).
- 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 Mayıs 2014).
- 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>, (Eriřim Tarihi: 06 Mayıs 2014)
- HAMAMATSU 2006, “Photomultiplier Tubes Basic and Applications, Third Edition”, http://psec.uchicago.edu/links/pmt_handbook_complete.pdf, (Eriřim Tarihi: 03 Haziran 2014).
- LUTZ, B., 2012, “Upgrade of The CMS Hadron Outer Calorimeter with SiPM Sensors”, Conference Report, CMS CR-2012/189, http://cds.cern.ch/record/1476274/files/CR2012_189.pdf, (Eriřim Tarihi: 23 řubat 2014).
- 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: 02 Mayıs 2014).

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: 16 Mayıs 2014).

DEMİROĞLU Z. Ş., 2013. CMS Deneyindeki HB ve HE Kalorimetrelerindeki HFD'lerin Gürültü Analizleri ve HO904 Test Düzenegindeki SİFÇ'lerin Self Trigger Analizi. Ç. Ü. Fen Edebiyat Fakültesi – Yüksek Lisans Tezi (Eriřim Tarihi: 21 Kasım 2013)

Özcan M., 2013. CMS'deki Hadronik Dış Kalorimetre (HO) İçin HO904 Kararlılık Testlerinde Led Analizi. Ç. Ü. Fen Edebiyat Fakültesi – Yüksek Lisans Tezi (Eriřim Tarihi: 21 Kasım 2013)

<http://home.web.cern.ch/topics/large-hadron-collider-en.html>, (Eriřim Tarihi: 03 Eylül 2013)

<http://home.web.cern.ch/about/experiments-en.html>, (Eriřim Tarihi: 03 Eylül 2013).

<http://home.web.cern.ch/about/experiments/atlas-en.html>, (Eriřim Tarihi: 03 Eylül 2013).

<http://home.web.cern.ch/about/experiments/totem-en.html>, (Eriřim Tarihi: 03 Eylül 2013).

<http://home.web.cern.ch/about/experiments/cms-en.html>, (Eriřim Tarihi: 03 Eylül 2013).

<http://home.web.cern.ch/about/experiments/lhcb-en.html>, (Eriřim Tarihi: 03 Eylül 2013).

<http://home.web.cern.ch/about/experiments/lhcf-en.html>, (Eriřim Tarihi: 03 Eylül 2013)

<http://totem-experiment.web.cern.ch/totem-experiment/physics/>, (Eriřim Tarihi: 03 Eylül 2013).

<http://cms.web.cern.ch/news/hadron-calorimeter-en.html>, (Eriřim Tarihi: 20 Eylül 2013)

<http://cms.web.cern.ch/news/muon-detectors-en.html>, (Eriřim Tarihi: 20 Eylül 2013)

http://cmsdoc.cern.ch/cms/HCAL/document/904/HO_teststand/904_HO_SiPM_Teststand.html, (Eriřim Tarihi: 24 Nisan 2014).

<http://hcc.web.cern.ch/hcc/file/beam.png> (Eriřim Tarihi: 03 Eylöl 2013).

<http://te-epclpc.web.cern.ch/te-epc-lpc/machines/pagesources/Cern-Accelerator-Complex.jpg> (Eriřim Tarihi: 03 Eylöl 2013).

<http://www.hep.lu.se/alice/images/AliceDet.gif> (Eriřim Tarihi: 03 Eylöl 2013).

http://www.hep.physik.uni-siegen.de/pics/atlasdetector_cs.jpg (Eriřim Tarihi: 03 Eylöl 2013).

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/36/Lhcbview.jpg> (Eriřim Tarihi: 03 Eylöl 2013).

https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=11514&version=1&filename=cms_120918_03.png (Eriřim Tarihi: 03 Eylöl 2013).

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8a/CMS_Slice.gif (Eriřim Tarihi: 03 Eylöl 2013).

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4f/CMS_Silicon_Tracker_Arty_HiRes.jpg (Eriřim Tarihi: 03 Eylöl 2013).

<http://cds.cern.ch/record/628234/files/phos-2003-001.jpg> (Eriřim Tarihi: 03 Eylöl 2013).

<http://cms.web.cern.ch/sites/cms.web.cern.ch/files/styles/large/public/field/image/OT0061H.jpg?itok=XikwzpZY> (Eriřim Tarihi: 06 Haziran 2014).

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/25/CERN_CMS_Solenoid_schematic.jpg (Eriřim Tarihi: 06 Haziran 2014).

<http://cms.web.cern.ch/news/muon-detectors.gif> (Eriřim Tarihi: 06 Haziran 2014).

https://inspirehep.net/record/1251416/files/Figures_Experimental_Apparatus_HCAL.png (Eriřim Tarihi: 08 Haziran 2014).

https://cds.cern.ch/record/1431489/files/IMG_0195.jpg?subformat=icon-1440 (Eriřim Tarihi: 08 Haziran 2014).

ÖZGEÇMİŞ

21/12/1981 yılında İstanbul'da doğdu. İlkokul öğrenimini İstanbul'da, ortaokul ve lise öğrenimini ise Adana'da tamamladı. 2000 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesinde lisans öğrenimine başladı. 2011 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik bölümünde yüksek lisansa başladı. 2012 yılının Temmuz ve Kasım ayları arasında, 2013 senesinin Ağustos ve Aralık ayları arasında CERN'de bilimsel çalışmalara katıldı.