

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali Eren ŞİMŞEK

**CMS'İN HADRONİK KALORİMETRESİNİN 2016
VERİLERİYLE PERFORMANS ANALİZİ**

FİZİK ANABİLİM DALI

ADANA-2017

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CMS'İN HADRONİK KALORİMETRESİNİN 2016 VERİLERİYLE
PERFORMANS ANALİZİ**

Ali Eren ŞİMŞEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

Bu tez 16/01/2017 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ
ÜYE

.....
Prof. Dr. Sefa ERTÜRK
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: FYL-2016-6802

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

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CMS'İN HADRONİK KALORİMETRESİNİN 2016 VERİLERİYLE
PERFORMANS ANALİZİ

Ali Eren ŞİMŞEK

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU
Yıl: 2017, Sayfa: 65
Jüri : Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU
: Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ
: Prof. Dr. Sefa ERTÜRK

2016 yılında CMS dedektöründe, $\sqrt{s} = 13$ TeV'de proton-proton çarpışma verileri alınmıştır. Bu veriler ile CMS dedektörünün alt dedektörlerinden biri olan HKAL (Hadronik Kalorimetre)'in verimliliği kontrol edilmiştir. HKAL'in verimliliği, fizik analizleri açısından büyük önem taşımaktadır. HKAL'in alt dedektörlerinden biri olan HF (Hadronik İleri) Kalorimetresi, Jet'lerin ve MET (Kayıp Dik Enerji)'nin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. HF Kalorimetresinde bulunan gürültülü kanalların tespiti ve bu gürültülerin elenmesi, Jet analizlerinin doğruluğu için önemlidir. Bu tezde, 2016 yılında $\sqrt{s} = 13$ TeV alınan proton-proton çarpışma verileri ile HKAL'in verimliliği analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: HKAL, Gürültü, HF, FÇT

ABSTRACT

MSc THESIS

**PERFORMANCE ANALYSIS OF HADRONIC CALORIMETER OF
CMS WITH 2016 DATASETS**

Ali Eren ŞİMŞEK

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

Supervisor : Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU
Year: 2017, Pages: 65
Jury : Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU
: Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ
: Prof. Dr. Sefa ERTÜRK

In 2016, the CMS detector took proton-proton collision data at $\sqrt{s} = 13$ TeV. The performance of the HCAL (Hadronic Calorimeter) which is subdetector of the CMS was controlled with those data. The Performance of the HCAL is very important in terms of physics analysis. HF (Hadronic Forward) Calorimeter which is one of the subdetector of the HCAL, plays an important role in identification of Jets and METs (Missing Transverse Energy). The detection and elimination of noisy channels in the HF Calorimeter are important for the correctness of Jet analysis. In this thesis, HCAL performance was analyzed with $\sqrt{s} = 13$ TEV proton-proton data taken in 2016.

Key Words: HCAL, Noise, HF, PMT

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

1. Standart Model

Parçacık Fiziği olarak da bilinen Yüksek Enerji Fiziği, maddenin atom altı parçacıklarını ve bunların aralarındaki etkileşimleri inceleyen bir bilim dalıdır. Kuramlar, her ne kadar parçacıklar ve onların doğa yasalarıyla ilişkileri konusunda fikir edinmek bakımından öngörülerde bulunsa da bilimsel çalışmaların doğası gereği bu öngörülerin ispatlanması, çürütülmesi veya eksiklerinin giderilmesi amacıyla deneysel çalışmaların yapılması gerekir.

SM (Standart Model), atom altı parçacıkları anlamamızı sağlayan en iyi ve en geçerli kuramdır. SM, şimdiye dek bulunmuş temel parçacıkları ve bunların etkileşmesinde önemli rolü olan 4 temel kuvveti açıklayan kuramdır. Sözü geçen 4 temel kuvvet: Elektromanyetik kuvvet, zayıf kuvvet (ikisi birleştirilince elektro-zayıf kuvvet de denmektedir), güçlü kuvvet ve kütle-çekim kuvvetidir. SM'in açıklayamadığı tek kuvvet kütle çekim kuvvetidir ve bu SM'in en büyük eksiğidir.

2. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

BHÇ (Büyük Hadron Çarpıştırıcısı), İsviçre ve Fransa sınırları arasında yerin 100 m altındaki LEP (Büyük Elektron Pozitron Çarpıştırıcısı) tüneline yerleştirilen 27 km'lik çapı ile şimdiye kadar inşa edilmiş dünyadaki en büyük ve en güçlü parçacık çarpıştırıcısıdır. Bilinen en küçük parçacıkları incelemek ve yeni keşifler yapmak için kullanılmaktadır.

BHÇ'de dördü çarpışma noktalarına yerleştirilmiş altı deney bulunmaktadır.

2.1. CMS

CMS silindirik soğansız bir yapıya sahip olup 21 m uzunluğunda, 15 m genişliğinde, 15 m yüksekliğinde ve 14000 ton ağırlığındadır. CMS'in merkezinde, 13 m uzunluğunda, 11.8 m iç çapında 4T'lık süper iletken solenoid mıknatıs

bulunmaktadır. Bir çarpışmada meydana gelen yüklü parçacıkların izlerini belirlemek için en iç kısımda iz dedektörü bulunmaktadır. İz dedektörünün hemen arkasında elektronların ve fotonların enerjilerini ölçen elektromanyetik kalorimetre ve hemen ardından da kuvvetli etkileşen parçacıkları ölçmek için hadronik kalorimetre yer almaktadır. Son olarak en dışta müonların yük ve momentumlarını ölçmek için müon odacıkları bulunmaktadır. CMS dedektörü solenoidal manyetik alana sahiptir.

2.1.1. Elektromanyetik Kalorimetre

EKAL (Elektromanyetik Kalorimetre), ~**76000** kurşun tungsten (**PbWO₄**) ışıldaıcı kristalinden yapılmıştır. EKAL her biri 1700 kristal içeren 36 süper modülden oluşan merkezi EB (Elektromanyetik Fıçı) ve her biri 7324 kristal içeren EE (Elektromanyetik Kapak) kısımlarından oluşmuştur.

CMS'in çok yüksek performanslı bir EKAL'e sahip olması hedeflenmiştir. Tasarlanan ışıldaıcı kristal kalorimetre, kristal hacmi içinde biriken bütün elektron ve fotonların enerji çözünürlüğü için mükemmel bir performans sağlamaktadır.

2.1.2. Hadronik Kalorimetre

HKAL (Hadronik Kalorimetre), manyetik halka içerisinde bulunan son dedektördür. HKAL, çarpışmadan çıkan parçacıkların kayıp dik enerjilerini ve jetleri ölçen dedektördür. Diğer dedektörlerde olduğu gibi HKAL'de yapılan ölçümler Higgs bozonunun keşfinde önemli yer almaktadır. HKAL; HB (Hadronik Fıçı), HE (Hadronik Kapak), HO (Hadronik Dış) ve HF (Hadronik İleri) olmak üzere dört alt dedektörden oluşmaktadır. HKAL $|\eta| \leq 5.0$ psüdo-rapidite aralığını kapsamaktadır (CMS TDR, 2006-001).

2.1.2.1. Hadronik İleri Kalorimetresi

HKAL'in alt dedektörlerinden biri olan HF (Hadronik İleri) Kalorimetresi, jetlerin ve kayıp dik enerjinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. HF Kalorimetresi, $3 \leq |\eta| \leq 5$ psüdorapidite aralığında yer alır. HF, 130 cm'lik dış yarıçapı, 12,5 cm'lik iç yarıçapı ve 165 cm'lik uzunluğu olan silindirik, çelik bir yapıdır. HF – ve HF + olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır ve toplam 36 kama sahiptir. HF'in bölümleri etkileşim noktasından $\pm 11,2$ m mesafede bulunmaktadır. HF'in her bölümü 20° 'lik 18 kamadan oluşmuştur ve her kama ise 10° 'lik eşit açıyla 2 sektöre bölünmüştür (The CMS-HF Quartz Fiber Calorimeters, 2008, 012014).

3. Gürültü Olaylarının Belirlenmesi

3.1. Topolojik Filtreler

CMS dedektöründe alınan verilerin doğruluğu, fizik analizlerinin sağlığı açısından büyük bir önem taşımaktadır. Verilerin doğruluğunun artırılabilmesi, gürültü denilen kısımların elenmesine bağlıdır.

Bu tarz gürültüleri belirlemek ve temizlemek için L1 ve HLT tetikleme sistemlerine ek olarak yazılımsal topolojik filtreler oluşturulmuştur. Gürültüleri yakalamak ve temizlemek için kullanılan bu filtreler; HFLongShort Filtresi, HFPET Filtresi ve HFS8S1Ratio Filtresi'dir.

4. Veri Analizi

4.1. $\sqrt{s} = 13$ TeV Çarpışma Verilerinin Analizi

2013 yılında BHC'nin ilk çalışması, planlı yükseltmeler için resmi olarak sonlandırıldı. Yükseltilmiş çarpıştırıcıda test çarpıştırmaları Nisan 2015'te yeniden başlamış ve Mayıs 2015'te demet başına 6.5 TeV ile 13 TeV'lik bir kütle merkezi enerjisine ulaşılmıştır. Dedektörün verimliliği fizik analizlerinin doğruluğu açısından büyük önem taşımaktadır. Bu yüzden $\sqrt{s} = 13$ TeV'de alınan verilerin ve

gürültülerin kontrollerinin yapılıp dedektörün verimliliğinin analiz edilmesi gerekmektedir.

HF kalorimetresinde gürültü oranı çok düşüktür fakat **HF** + bölgesindeki (sağ taraf) $i\phi = 39$ düzlemsel açısına karşılık gelen kanallarda gürültü miktarının diğer kanallara göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu tespit, daha önce bahsi geçen topolojik filtreler ile yapılmıştır.

5. Sonuç ve Öneriler

$i\phi = +39$ 'daki bu yüksek gürültü oranı, CMS'in HF Gürültü (Noise) grubuna iletilmiş ve gerekli önlemler üzerine tartışılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda 2017 yılı itibari ile HF'te kullanılan QIE8 kartları yerine, QIE10 kartlarının takılmasına karar verilmiştir. QIE10 kartlarında çift RBX kullanılmaktadır. Ayrıca Japon Hamamatsu şirketi tarafından üretilen eski R7525HA tip FÇT'lerin yerine, yeni R7600U-100-M4 tip FÇT'ler de 2017 itibari ile kullanılmaya başlanacaktır. QIE10 kartlarının TDC (Zaman Sayısallaştırıcı) özelliği olduğu için istenmeyen gürültüleri elemekte daha iyi olacağı beklenmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasının her aşamasında desteğini hissettiğim, yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. İsa DUMANOğLU'na sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım değerli hocalarım Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ, Prof. Dr. Eda EŐKUT ve Prof. Dr. Aysel KAYIŐ TOPAKSU'ya sonsuz teşekkür ederim.

CERN'deki deneysel çalıŐmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyip bilgi ve deneyimlerini paylaŐan Samet LEZKİ ve Doğ. Dr. Shuichi KUNORI'ye teŐekkürlerimi sunarım.

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

Yüksek lisans eğitimim süresince desteğini her zaman derinden hissettiğim sevgilim, dostum, arkadaŐım, her Őeyim Doruk AğYEL'e sonsuz teşekkür ederim.

Ders döneminde ve CERN'de bulunduğumuz süre boyunca yanımda olan, bana her türlü destek veren tüm Yüksek Enerji Fiziği grubu arkadaşlarıma teşekkür ederim.

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

| İÇİNDEKİLER | SAYFA |
|---|--------------|
| ÖZ..... | I |
| ABSTRACT..... | II |
| GENİŞLETİLMİŞ ÖZET..... | III |
| TEŞEKKÜR..... | VII |
| İÇİNDEKİLER..... | VIII |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | X |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | XII |
| SİMGELER VE KISALTMALAR..... | XVI |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR..... | 3 |
| 2.1. Standart Model..... | 3 |
| 2.2. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı..... | 6 |
| 2.2.1. ALICE..... | 9 |
| 2.2.2. ATLAS..... | 11 |
| 2.2.3. LHCb..... | 11 |
| 2.3 CMS..... | 12 |
| 2.3.1. Koordinat Kuralları..... | 13 |
| 2.3.2. CMS'in Alt Dedektörleri..... | 14 |
| 2.3.2.1. İzleyici Sistem..... | 14 |
| 2.3.2.2. Kalorimetreler..... | 15 |
| 2.3.2.2.(1). Elektromanyetik Kalorimetre..... | 16 |
| 2.3.2.2.(2). Hadronik Kalorimetre..... | 17 |
| 2.3.2.3. Mıknatıs..... | 18 |
| 2.3.2.4. Müon sistemi..... | 19 |
| 3. MATERYAL VE METOD..... | 21 |
| 3.1. Hadronik Kalorimetre..... | 21 |
| 3.1.1. Hadronik Fıçı Kalorimetresi..... | 22 |

| | |
|---|----|
| 3.1.1.1. Soğurucu Yapısı..... | 23 |
| 3.1.1.2. Işıldayıcı Yapısı | 24 |
| 3.1.2. Hadronik Uç Kapak Kalorimetresi | 25 |
| 3.1.2.1. Soğurucu Yapısı..... | 26 |
| 3.1.2.2. Işıldayıcı Yapısı | 27 |
| 3.1.3. Hadronik Dış Kalorimetresi..... | 28 |
| 3.1.4. Hadronik İleri Kalorimetresi..... | 30 |
| 3.2. Elektronikler ve Veri Toplama..... | 32 |
| 3.2.1. Foto-Çoğaltıcı Tüp | 33 |
| 3.2.1.1. Foto-Katot..... | 35 |
| 3.2.1.2. Anot Toplama Bölgesi | 37 |
| 4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR | 39 |
| 4.1. Hadronik İleri Kalorimetresi | 39 |
| 4.1.1. Hadronik İleri Kalorimetresinin Tasarımı | 40 |
| 4.2. Kullanılan Yazılımlar..... | 44 |
| 4.2.1. Putty..... | 44 |
| 4.2.2. Xming..... | 46 |
| 4.2.3. WinSCP | 46 |
| 4.2.4. ROOT | 48 |
| 4.3. Gürültü Olaylarının Belirlenmesi..... | 48 |
| 4.3.1. Topolojik Filtreler..... | 48 |
| 4.3.1.1. HFLongShort Filtresi | 49 |
| 4.3.1.2. HFPET Filtresi | 51 |
| 4.3.1.3. HFS8S1Ratio Filtresi | 53 |
| 4.4. Veri Analizi..... | 55 |
| 4.4.1. $s = 13$ TeV Çarpışma Verilerinin Analizi..... | 55 |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 59 |
| KAYNAKLAR..... | 61 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 65 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

| | |
|---|----|
| Çizelge 2.1. CMS süperiletken solenoidin parametreleri..... | 19 |
| Çizelge 3.1. C26000 / Pirinç kartuş olarak bilinen pirinç soğurucunun fiziksel özellikleri | 24 |
| Çizelge 3.2. Bazı standart foto-katotların karakteristikleri (PMT Tubes Principles & Applications, 2002, Flyckt Marmonier)..... | 36 |
| Çizelge 5.1. HF kalorimetresindeki $i\emptyset = +39$ ve çevresindeki 3 kanalın sinyal ve gürültü miktarları..... | 59 |
| Çizelge 5.2. HF dedektöründe kullanılan QIE kartlarının $i\eta$ düzlemsel açısına göre gösterimi (https://indico.cern.ch/event/588258/contributions/2371635/attachments/1371035/2079407/kunori_20161114_HFqie10_Pulse.pdf) ... | 60 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

| | | |
|-------------|--|----|
| Şekil 2.1. | Kuark, Lepton ve bozonların özellikleri | 4 |
| Şekil 2.2. | BHÇ'nin şematik yapısı (https://cds.cern.ch/record/841560/files/lhc-pho-1997-057.jpg) | 7 |
| Şekil 2.3. | ALICE Dedektörü'nün şematik gösterimi (http://aliceinfo.cern.ch/Public/Objects/Chapter2/ALICE-SetUp-NewSimple.gif) | 10 |
| Şekil 2.4. | ATLAS Dedektörü (http://home.cern/about/experiments/atlas) | 11 |
| Şekil 2.5. | LHCb Dedektörü (http://home.cern/about/experiments/lhcb) | 12 |
| Şekil 2.6. | CMS Dedektörü (https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=11514&version=1&filename=cms_120918_03.png) | 13 |
| Şekil 2.7. | CMS Koordinat Sistemi | 14 |
| Şekil 2.8. | CMS İzleyici Sistemi'nin şematik gösterimi. Her çizgi bir dedektör modülünü temsil etmektedir. Çift çizgiler, iki taraflı modülleri göstermektedir (http://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0168900212005657-gr5.jpg) | 15 |
| Şekil 2.9. | CMS EKAL'in yapısı (CMS TDR, 2006-001). | 17 |
| Şekil 2.10. | CMS dedektörünün çeyrek kısmından bir kesit | 18 |
| Şekil 2.11. | CMS dedektörünün Süperiletken Mıknatısı | 19 |
| Şekil 2.12. | CMS'in Müon Sistemi | 20 |
| Şekil 3.1. | CMS dedektörünün boyuna görünümü. HB, HE, HO ve HF'in CMS'deki yerleri (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004) | 22 |
| Şekil 3.2. | Bir HB kamasının izometrik görünüşü (CMS Note 2006/138) | 23 |
| Şekil 3.3. | Işıldayıcı tablanın bir kısmının şematik görünüşü (CMS Note 2006/138) | 24 |
| Şekil 3.4. | Uç kapak demir boyunduruğuna yerleştirilen HE (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004) | 26 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Şekil 3.5. | HE soğurucunun mekanik yapısı. Parçacıklar alt taraftan kalorimetreye girer (CMS Note 2008/010)..... | 27 |
| Şekil 3.6. | a) WLS'nin sabitlemesi için bir oluklu ışıldayıcı tablasının temel yapısı, b) 1-17 arası katmanlar için 4 mm kalınlıkta ışıldayıcının kesit alanı, c) Katman-0 için 9 mm kalınlığında ışıldayıcının kesit alanı. İki kat yansıtıcı boya tablanın yan yüzeylerini kaplar (CMS Note 2008/010) | 28 |
| Şekil 3.7. | Kalorimetrenin ışıldayıcı tablası (CMS Note 2008/010) | 28 |
| Şekil 3.8. | CMS dedektörünün boyuna ve enine görünüşünde, HO katmanlarının pozisyonu (CMS NOTE, 2006/127) | 30 |
| Şekil 3.9. | HF Kalorimetresi okuma ünitesinin şematik görünümü | 31 |
| Şekil 3.10. | Kuvars fiberlerin yerleştirildiği HF kuleleri (https://cds.cern.ch/record/1431489/files/IMG_0195.jpg)..... | 32 |
| Şekil 3.11. | HKAL'in veri toplama elektroniklerinin genel görünümü. HFD'den gelen veri, QIE (Yük Toplayıcı ve Kodlayıcı)'de sayısallaştırılarak GOL (Gigabit Optik Bağlantı) aracılığı ile dedektörden alınır. Veri, DCC (Veri Toplama Kartı) yardımıyla CMS veri akış sistemine gönderilirken, HTR (Yüksek Tetikleme Okuyucusu)'da birincil tetiklemeleri oluşur (CMS HCAL Collaboration, 2006, CMS Note 2006/138)..... | 33 |
| Şekil 3.12. | Bir FÇT'nin şematik gösterimi | 34 |
| Şekil 3.13. | Voltaj bölücü devre (PMT Tubes Principles & Applications, 2002, Flyckt Marmonier) | 35 |
| Şekil 3.14. | Toplama bölgesi (a) Odaklanmış dinot tipi (b) Izgara tipli dinot | 37 |
| Şekil 4.1. | Hadronik İleri Kalorimetresinin görünümü (Dedektörün boyutsal büyüklüğünü belirtmek için insan boyu ile kıyaslanmıştır)..... | 39 |
| Şekil 4.2. | HF+'nın çeyreklerinin görünümü | 40 |
| Şekil 4.3. | Eski (a) ve Yeni (b) HF FÇT'leri (Conference Report, CMS CR-2013/002) | 41 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Şekil 4.4. | Kuartz fiberlerin ve FÇT 'lerin yerleştirildiği HF kuleleri (www.fnal.gov/pub/today/images/images04/Calorimeter_Wedges.jpg)..... | 42 |
| Şekil 4.5. | HF Kalorimetresinin teknik çizimi (2008 JINST 3 S08005) | 43 |
| Şekil 4.6. | Putty programının giriş arayüzünün görünümü | 45 |
| Şekil 4.7. | Putty programının terminal arayüzünün görünümü | 45 |
| Şekil 4.8. | Xming programının çalıştığını belirten simge | 46 |
| Şekil 4.9. | WinSCP programının giriş arayüzünün görünümü..... | 47 |
| Şekil 4.10. | WinSCP programının giriş arayüzünün görünümü..... | 47 |
| Şekil 4.11. | ROOT programının ağaç yapısının ve kullanıcı arayüzünün genel görünümü. | 48 |
| Şekil 4.12. | HF Kalorimetresindeki uzun ve kısa fiberlerin, enerji oranlarının (<i>R</i>) grafiği..... | 50 |
| Şekil 4.13. | HFLongShort filtresi tarafından tespit edilen gürültülü verilerin Denklem 4.1'e göre oranlaması (yatay düzlem $i\eta$ ve dikey düzlem $i\phi$ 'ı temsil etmektedir) | 50 |
| Şekil 4.14. | HFLongShort filtresi uygulanmadan önce ve uygulandıktan sonraki enerji dağılımı (Mavi: HFLongShort filtresi öncesi, Kırmızı: HFLongShort filtresi sonrası)..... | 51 |
| Şekil 4.15. | HFPET filtresi tarafından tespit edilen gürültülü verilerin Denklem 4.1'e göre oranlaması (yatay düzlem $i\eta$ ve dikey düzlem $i\phi$ 'ı temsil etmektedir) | 52 |
| Şekil 4.16. | HFPET filtresi uygulanmadan önce ve uygulandıktan sonraki enerji dağılımı (Mavi: HFPET filtresi öncesi, Kırmızı: HFPET filtresi sonrası) | 53 |
| Şekil 4.17. | HFS8S1Ratio filtresinin hesaplanması için kullanılan yöntemin şematik gösterimi (L: uzun fiberler, S: kısa fiberler)..... | 54 |

- Şekil 4.18. HFS8S1Ratio filtresi tarafından tespit edilen gürültülü verilerin Denklem 4.1'e göre oranlaması (yatay düzlem $i\eta$ ve dikey düzlem $i\phi$ 'ı temsil etmektedir)55
- Şekil 4.19. HFS8S1Ratio filtresi uygulanmadan önce ve uygulandıktan sonraki enerji dağılımı (Mavi: HFS8S1Ratio filtresi öncesi, Kırmızı: HFS8S1Ratio filtresi sonrası).....55
- Şekil 4.20. (a) HF Kalorimetresinin doluluk oranı (b) HF Kalorimetresinin topolojik filtreler tarafından tespit edilen gürültü oranı (Her $i\eta$ ve $i\phi$ kesişimi bir HF kulesine denk gelmektedir)56
- Şekil 4.21. $i\phi$ düzlemsel açısına göre, 13 TeV'lik çarpışma verilerine, topolojik filtreler uygulanmadan önceki ve uygulandıktan sonraki enerji dağılımları. (Mavi: topolojik filtreler uygulanmadan önce, Kırmızı: topolojik filtreler uygulandıktan sonra.), (a) $i\phi = 35$ düzlemsel açısı için enerji dağılımı, (b) $i\phi = 37$ düzlemsel açısı için enerji dağılımı, (c) $i\phi = 39$ düzlemsel açısı için enerji dağılımı, (d) $i\phi = 41$ düzlemsel açısı için enerji dağılımı (grafikler HF + bölgesinin enerji dağılımını göstermektedir)57
- Şekil 4.22. 13 TeV'lik çarpışma verilerinin analizinden elde edilen ES (kısa fiber enerjisi)'nin EL (uzun fiber enerjisi)'ye karşı grafikleri. (a) Topolojik filtreler uygulanmadan önceki enerji grafiğini, (b) Topolojik filtreler uygulandıktan sonraki enerji grafiği göstermektedir.....58

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 |
| PS | : Proton Sinkrotron |
| SPS | : Süper Proton Sinkrotron |
| 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 |
| ME | : Müon Kapak Bölgesi |

| | |
|--------|-----------------------------------|
| MB | : Müion Fıçı Bölgesi |
| 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 |
| SL | : Süper-Katman |
| HTR | : Yüksek Tetikleme Okuyucusu |
| ADC | : Analog – Sayısal Çevirici |
| 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 |
| QE | : Kuantum Verimliliği |
| TDC | : Zaman Sayısallaştırıcı |
| TDR | : Teknik Tasarım Raporu |
| η | : Psüdorapidite |

| | |
|-----------------------|---------------------------------------|
| θ | : Polar Açđ |
| \emptyset | : Düzlemsel (Azimutal) Açđ |
| MET | : Kayıp Dik Enerji |
| PbWO ₄ | : Kurşun Tungsten |
| eV | : Elektron Volt |
| MeV | : Milyon Elektron Volt |
| GeV | : Milyar Elektron Volt |
| TeV | : Trilyon Elektron Volt |
| T | : Tesla |
| fC | : Femto Coulomb |
| L | : Işıklılık |
| \sqrt{s} | : Kütle Merkezi Enerjisi |
| Cu | : Bakır |
| Zn | : Çinko |
| SbCs | : Antimonid-Sezyum |
| AgOCs | : Gümüş-Oksit-Sezyum |
| SbKCs | : Antimonid-Potasyum-Sezyum |
| Sb-Rb-Cs | : Antimonid-Rubidyum-Sezyum |
| SbNa ₂ KCs | : Antimonid-di-Sodyum-Potasyum-Sezyum |
| SbNaK | : Antimonid-Sodyum-Potasyum |
| CsTe | : Sezyum-Tellür |
| λ_I | : Nükleer Etkileşme Uzunluğu |
| S | : Stokastik Terim |
| N | : Gürültü Terimi |
| C | : Sabit Terim |

1. GİRİŞ

Parçacık Fiziği olarak da bilinen Yüksek Enerji Fiziği, maddenin atom altı parçacıkları ve bunların aralarındaki etkileşmeleri inceleyen bir bilim dalıdır. Kuramlar, her ne kadar parçacıklar ve onların doğa yasalarıyla ilişkileri konusunda fikir edinmek açısından öngörülerde bulunsun da bilimsel çalışmaların doğası gereği bu öngörülerin ispatlanması, çürütülmesi veya eksiklerinin giderilmesi amacıyla deneysel çalışmaların yapılması gerekir. SM, atom altı parçacıkları anlamamızı sağlayan en iyi ve en geçerli kuramdır. SM, şimdiye kadar elde edilen temel parçacıkları ve bunların etkileşmesinde önemli rolü olan 4 temel kuvveti açıklayan kuramdır. Sözü geçen 4 temel kuvvet: Elektromanyetik kuvvet, zayıf kuvvet (ikisi birleştirilince elektro-zayıf kuvvet de denmektedir), güçlü kuvvet ve kütle-çekim kuvvetidir. SM'e göre temel parçacıklar; 6 çeşit lepton (elektron, müon, tau ve bunlara ait nötrinolar), 6 çeşit kuark (u,c,t,d,s,b) ve bunların karşıt parçacıkları (12 tane) olmak üzere toplam 24 adet fermiyondan, 8 çeşit gluon, 3 çeşit vektör bozonu ve fotondan oluşan kuvvet taşıyıcı parçacıklar ve bu parçacıklara kütle kazandıran Higgs bozonundan oluşmaktadır. SM'in açıklayamadığı tek kuvvet kütle çekim kuvvetidir ve bu SM'in en büyük eksiğidir.

SM'in cevaplayamadığı sorulara cevap bulmak için, İsviçre-Fransa sınırına, CERN (Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi) adı verilen devasa bir araştırma merkezi kurulmuştur. CERN'de kütle merkezi enerjisi gittikçe artacak biçimde hem proton-proton hem de ağır iyonlar (kurşun-kurşun) BHÇ (Büyük Hadron Çarpıştırıcısı) 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 geliştirme ve iyileştirme çalışmaları başlatılmıştır. Bu süreçte alt dedektörlerin bazı yıpranmış ve/veya problemlili olduğu tespit edilen kısımları ve materyalleri yenilenmiştir.

Bu tez çalışmasında, CERN'deki CMS deneyinde bulunan kalorimetre sisteminin performans analizlerini yapmak için alınan verilerin incelenmesi amaçlanmaktadır.

Tezin önceki çalışmalar kısmında, SM hakkında bilgi verilmiş, BHÇ ve üzerindeki deneyler anlatılmıştır. HKAL ve alt dedektörlerin ayrıntıları materyal ve metot kısmında tartışılmıştır. Tezin araştırma ve bulgular kısmında ise HF dedektörünün performansı ile ilgili olarak yapılan analizler yer almaktadır. Tezin sonuç ve öneriler kısmında HF kalorimetresindeki gürültülü oldukları tespit edilen kanallar gösterilmiş ve alınacak önlemler anlatılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Standart Model

Doğada bilinen dört temel etkileşim vardır: kütleçekimi, elektromanyetik etkileşim, güçlü etkileşim ve zayıf etkileşim. Bunlardan ikisi (kütleçekimi ve elektromanyetik etkileşim) hepimizin günlük hayatta aşına olduğu etkileşimlerdir. Güçlü ve zayıf etkileşim ise atomaltı ölçekte etkindir. Kuarkların bir arada durarak parçacıklar oluşturmasını sağlayan güçlü kuvvettir. Zayıf kuvvet ise özellikle parçacıkların bozunma sürecinde etkindir. Bu dört etkileşimin üçünü (elektromanyetik, güçlü ve zayıf etkileşim) tek bir çatı altında bir araya getiren kurama SM (Standart Model) denir.

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 arttırdı.

SM’e göre evren birbirinin kopyası gibi duran 3 tane aileden oluşmaktadır. Birinci aile etrafımızda gördüğümüz maddeyi oluşturmaktadır. İkinci ve üçüncü aileler birinci aileden daha ağırdırlar. Her ailede 2 kuark (yükleri $2/3$, $-1/3$), 2 lepton (yükleri -1 , 0) ve bunların anti parçacıkları vardır. Bütün kuarklar ve leptonlar elektromanyetizma ve zayıf birleşimi olan elektro-zayıf kuvvet ile etkileşirler. Bu kuvveti γ , Z, W^\pm bozonları taşırlar. İlaveten, kuarkların sadece kendi aralarında etkileşmelerini sağlayan bir kuvvet daha vardır. Buna güçlü etkileşim denir; taşıyıcıları g (gluon) lardır (Şekil 2.1).

Ayrıca Peter Higgs, Gerald Guralnik, Richard Hagen, Tom Kibble, François Englert ve Robert Brout tarafından SM'deki fermiyonlara kütle kazandırmak için Higgs Bozonu'nun varlığı öne sürülmüştür. Spini ve yükü 0 (sıfır) olan ve evrenin oluşumu esnasında önemli ipuçları taşıdığına inanılan bu parçacık ilk olarak Temmuz 2012'de CERN'de 5σ (sigma) seviyesindeki sinyal ile doğrulanmıştır. Mart 2013'te Higgs Bozonu'nun varlığı kanıtlanmış ve bunun sonucunda Ekim 2013'te Peter Higgs ve François Englert nobel ödülünü kazanmıştır. Bu keşifle neden bazı parçacıkların kütesiz bazıları kütleli olduğu, maddelerin neden bir yoğunluğa sahip oldukları ve yoğunluklarının maddeden maddeye nasıl değiştiği sorularının açıklık kazanacağı beklenmektedir. (https://tr.wikipedia.org/wiki/Standart_Model)

| Kütle → | ~2.3 MeV/c ² | ~1.275 GeV/c ² | ~173.07 GeV/c ² | 0 | ~126 GeV/c ² |
|---------|--|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|--------------------------|
| Yük → | 2/3 | 2/3 | 2/3 | 0 | 0 |
| Spin → | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 | 0 |
| | u Yukarı Kuark | c Çizme Kuark | t Üst Kuark | g Gluon | H Higgs Bozonu |
| | d Aşağı Kuark | s Garip Kuark | b Alt Kuark | γ Foton | |
| | e Elektron | μ Müon | τ Tau | Z Z Bozonu | |
| | ν_e Elektron Nötrino | ν_μ Müon Nötrino | ν_τ Tau Nötrino | W W Bozonu | |

Şekil 2.1. Kuark, Lepton ve bozonların özellikleri

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 μ ve τ kararsız oldukları için normal maddenin parçası olamazlar.

Maddeyi oluşturan diğer temel parçacıklar kuarklardır. Kuarklar; u (yukarı), d (aşağı), c (çekici), s (acayıp), t (üst) ve b (alt) kuark olmak üzere altı çeşittir (Şekil 2.1). 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. 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 KRD (Kuantum Renk Dinamiği) 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.

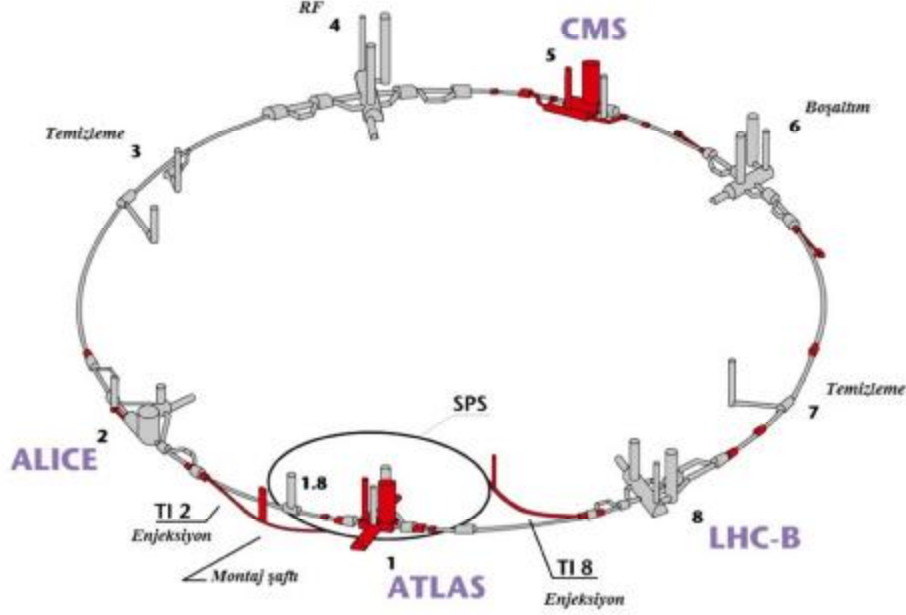
SM şu ana kadar birçok kez deneysel olarak test edilmiştir. Başarılarına rağmen modelin bir takım eksiklikleri ve kusurları vardır. Örneğin; kuarklar ve leptonların bir alt yapıları var mı, onları oluşturan daha temel parçacıklar var mı? Şuan bildiğimiz madde birinci lepton ve kuark ailesinden oluşuyor, o halde neden ikinci ve üçüncü aileler var? SM’de elektrozayıf ve güçlü kuvvetler çok yüksek enerjilerde (10^{15} GeV) birleşmektedir. 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. Diğer taraftan kütle çekim kuvveti modele dahil edilememiştir. Evren üzerindeki kütle çekimi etkisi açıkça görülen karanlık madde'nin yapısı nedir ve neden gözlenemiyor? sorularına yanıtsız kalan SM bu kuvvet hakkında hiçbir şey söylememektedir.

SM, nötrinoların kütsesiz olduklarını öngörmektedir. Fakat yapılan deneyler nötrinoların kütle salınımı yaptıklarını ve çok küçük de olsa kütleyle sahip olduklarını göstermektedir (https://tr.wikipedia.org/wiki/Standart_Model).

2.2. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

BHÇ (Büyük Hadron Çarpıştırıcısı), İsviçre ve Fransa sınırları arasında yerin 100 m altındaki LEP (Büyük Elektron Pozitron Çarpıştırıcısı) tüneline yerleştirilen 27 km'lik çevresi ile şimdiye kadar inşa edilmiş dünyadaki en büyük ve en güçlü parçacık çarpıştırıcısıdır. Bilinen en küçük parçacıkları incelemek ve yeni keşifler yapmak için kullanılmaktadır. BHÇ'nin şematik yapısı Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. BHÇ'nin şematik yapısı (<https://cds.cern.ch/record/841560/files/lhc-photo-1997-057.jpg>)

BHÇ, dairesel bir hızlandırıcıdır ve dairesel halka boyunca parçacıkların enerjisini arttırmak için hızlandırıcı yapının büyük bir bölümü süperiletken mıknatıslarla çevrelenmiştir. Hızlandırıcı içinde iki parçacık demeti ($p - p$ veya ağır iyonlar) birbirleri ile çarpışmadan önce 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. Bu süperiletken mıknatısların yaklaşık -271.3°C sıcaklıkta olması gerekmektedir. Bu sebeple, mıknatısların ve diğer materyallerin soğutulması için sıvı helyum dağıtım sistemi kullanılmaktadır. Farklı tipte ve büyüklükteki binlerce mıknatıs hızlandırıcı etrafında demetleri yönlendirmektedir. Bunlar, demetleri bükme için 15 m uzunluğunda 1232 tane dipol mıknatıs ve demetleri odaklamak için her biri 5-7 m uzunluğunda olan 392 tane kuadropol mıknatıstan oluşmuştur.

Çarpışmadan hemen önce, çarpışma olasılığını arttırmak ve birbirlerine daha yakın olan parçacıkları sıkıştırmak için bir başka mıknatıs tipi daha kullanılmaktadır (<http://home.cern/topics/large-hadron-collider>).

BHÇ’de dördü çarpışma noktalarına yerleştirilmiş altı deney bulunmaktadır. Bunlar Şekil 2.2’de de görüldüğü gibi, ATLAS (A Toroidal LHC Apparatus), CMS (Compact Müon Selenoid), ALICE (A Large Ion Collider Experiment) ve LHCb (The Large Hadron Collider beauty) olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca TOTEM (Total Elastic and diffractive cross section Measurement) ve LHCf (The Large Hadron Collider forward) özel fizik analizleri için veri alan küçük deneylerdir. Bu deneyler tüm dünyadaki enstitü ve üniversitelerden katılan binlerce bilim insanının bir araya gelmesiyle oluşan uluslararası işbirliği ile yürütülmektedir. (<http://home.cern/about/experiments>).

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

$$N_{olay} = L\sigma_{olay} \quad (2.1)$$

ile verilir. Burada σ_{olay} incelenen olay için tesir kesiti, L makinenin ışıklılığıdır.

Makine ışıklılığı sadece hüzme parametrelerine bağlıdır ve bir Gaussian hüzme dağılımı için;

$$L = \frac{N_b^2 n_b f_{dön} \gamma_T}{4\pi \epsilon_n \beta^*} F \quad (2.2)$$

ifadesi yazılabilir. Burada; N_b : demet başına parçacık sayısı, n_b : hüzme başına demet sayısı, $f_{dön}$: dönme frekansı, γ_T : relativistik gama faktörü, ϵ_n : enine hüzme yayma gücü, β^* : çarpışma noktasındaki beta fonksiyonu ve F : etkileşme

noktasındaki kesit açısından dolayı geometrik ışıklılık indirgeme faktörüdür (LHC Machine, Lyndon Evans and Philip Bryant, 2008).

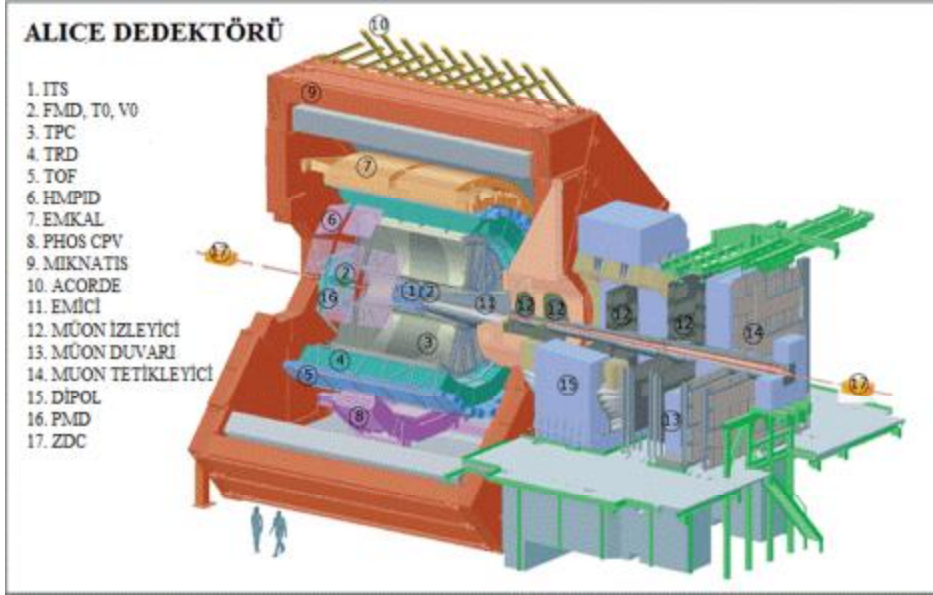
BHÇ ilk defa Kasım 2009'da $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ kütle merkezi enerjisindeki $p - p$ çarpışmaları ile başlamıştır. 2011 yılsonu itibariyle, CMS tarafından 6 fb^{-1} ışıklılıkla veri örneği toplanmıştır. Ağustos 2012'de kütle merkezi enerjisi $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ 'e çıkarılmıştır ve 11 fb^{-1} ışıklılık toplanmıştır.

Şubat 2013'de BHÇ'nin ilk çalışması planlı iyileştirmeler için resmi olarak sonlandırılmıştır. İyileştirilmiş çarpıştırıcıda test çarpıştırmaları Nisan 2015'te yeniden başlamış ve Mayıs 2015'te demet başına 6.5 TeV ile kütle merkezi enerjisi $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ 'e ulaşılmıştır. BHÇ, planlı iyileştirmeler için Ekim 2016'da tekrar durdurulmuştur. 2017 yılı itibari ile iyileştirilmiş çarpıştırıcıda veri alımına başlanması planlanmaktadır

(https://en.wikipedia.org/wiki/Large_Hadron_Collider).

2.2.1. ALICE

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 10.000 ton ağırlığındadır (Şekil 2.3). 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'nün şematik gösterimi
(<http://aliceinfo.cern.ch/Public/Objects/Chapter2/ALICE-SetUp-NewSimple.gif>)

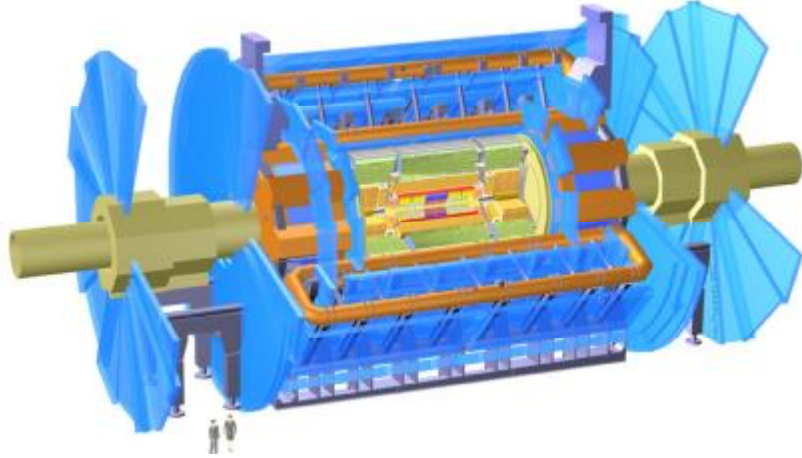
Evrende tüm maddelerin atomlardan meydana geldiğine inanılmaktadır. Her atom, proton ve nötrondan oluşan bir çekirdekte ve bu çekirdeğin etrafındaki elektron bulutundan oluşmuştur. Protonlar ve nötronlar, birbirlerine gluonlar ile bağlanmış olan kuarklardan meydana gelmiştir. Bu oldukça güçlü bir bağdır ve kuarkların tek başına bulunamadığı bilinmektedir.

BHÇ'deki çarpışmalar, Güneş merkezindeki sıcaklıktan 10^5 kat daha fazla sıcaklık oluşturur. 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://home.cern/about/experiments/alice>).

2.2.2. ATLAS

ATLAS, BHC hızlandırıcısında kurulan altı deneyden biridir. Deneyde; SUSİ (Süper Simetri) araştırmaları, karanlık madde ve karanlık enerji araştırmaları, Higgs bozonu, ekstra boyutlar, parçacık - anti parçacık asimetrisi (CP - Yük Eşlenikliği Parite Kırınımı) gibi birçok konu araştırılmaktadır. ATLAS dedektörü diğer tüm parçacık dedektörleri gibi çarpışmalarda oluşan parçacıkların izlerini, enerjilerini ve parçacıklarının kimliklerini kayıt etmekte ve onlar hakkında bilgiler vermektedir.

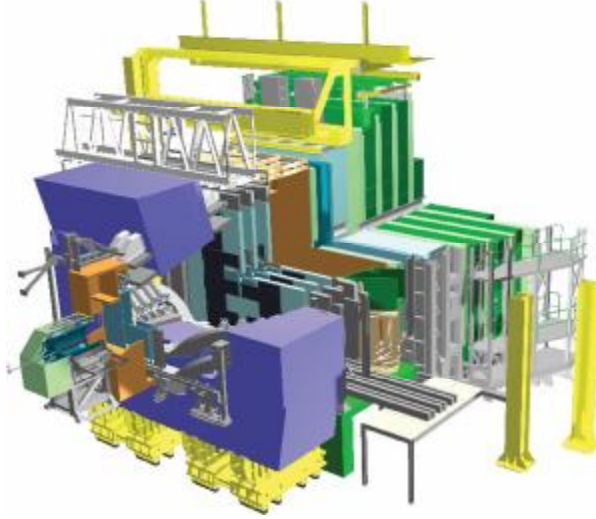
ATLAS dedektörü (Şekil 2.4) , 46 m uzunluğunda, 25 m yüksekliğinde, 25 m genişliğinde olup 7000 ton ağırlığındadır. Deneyde 37 ülkeden 172 enstitüden 3000'den fazla bilim insanı çalışmaktadır. (<http://home.cern/about/experiments/atlas>).



Şekil 2.4. ATLAS Dedektörü (<http://home.cern/about/experiments/atlas>)

2.2.3. LHCb

LHCb 21 m uzunluğunda, 10 m yüksekliğinde ve 5600 ton ağırlığındadır. b-quark ve B mezonların özelliklerini ve parite bozunmasını araştırmak amacıyla dizayn edilmiştir. Şekil 2.5'te LHCb dedektörü gösterilmektedir.

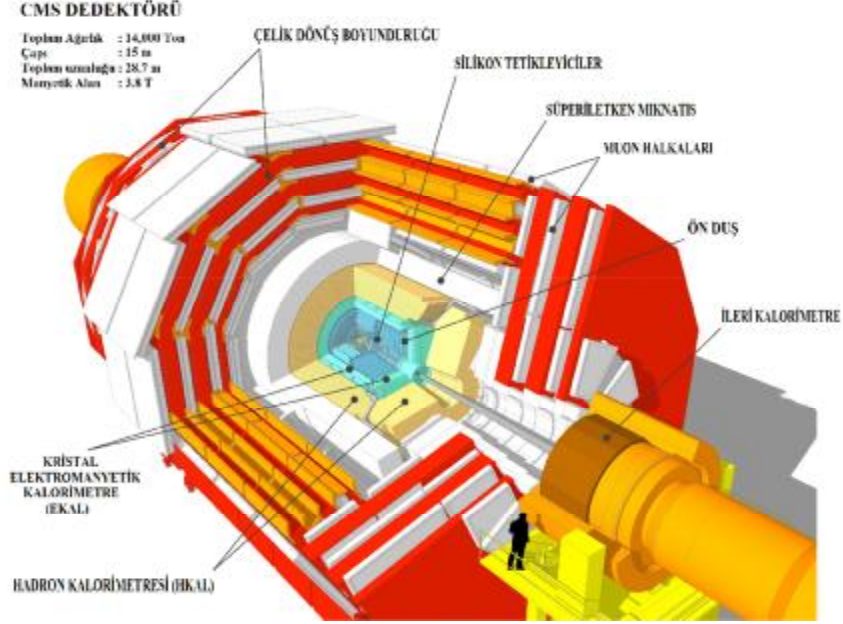


Şekil 2.5. LHCb Dedektörü (<http://home.cern/about/experiments/lhcb>)

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://home.cern/about/experiments/lhcb>).

2.3 CMS

CMS silindirik soğansı bir yapıya sahip olup 21 m uzunluğunda, 15 m genişliğinde, 15 m yüksekliğinde ve 14000 ton ağırlığındadır. CMS’in merkezinde, 13 m uzunluğunda, 11.8 m iç çapında 4T’lık süper iletken solenoid mıknatıs bulunmaktadır. Bir çarpışmada meydana gelen yüklü parçacıkların izlerini belirlemek için en iç kısımda iz dedektörü bulunmaktadır. İz dedektörünün hemen arkasında elektronların ve fotonların enerjilerini ölçen elektromanyetik kalorimetre ve hemen ardından da kuvvetli etkileşen parçacıkları ölçmek için hadronik kalorimetre yer almaktadır. Son olarak en dışta müonların yük ve momentumlarını ölçmek için müon odacıkları bulunmaktadır. CMS dedektörü solenoidal manyetik alana sahiptir. Şekil 2.6’da CMS dedektörü gösterilmektedir.

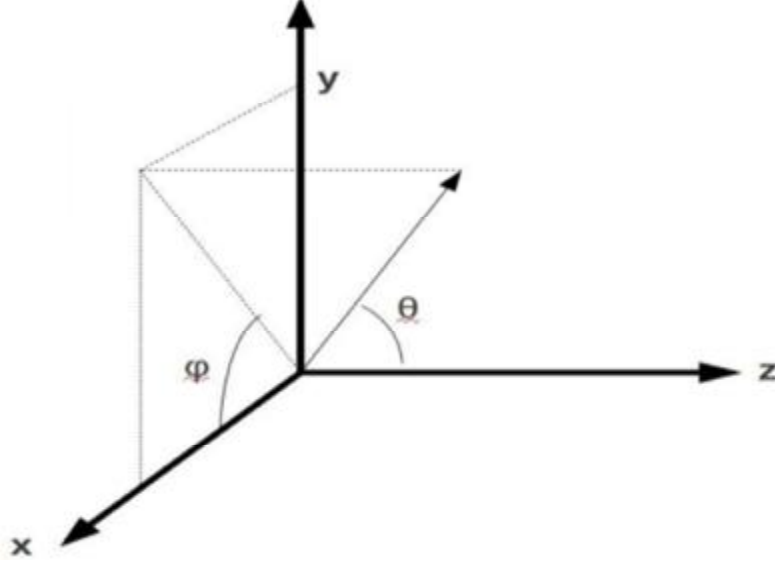


Şekil 2.6. CMS Dedektörü (https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=11514&version=1&filename=cms_120918_03.png)

2.3.1. Koordinat Kuralları

Dedektörün merkezi, çarpışma ya da etkileşme noktası olarak kabul edilir. Şekil 2.7 CMS koordinat sistemini göstermektedir. x -ekseni; radyal olarak BHC halkasının merkezine doğru, y -ekseni; başlangıç noktasından yukarı doğru, z -ekseni ise hüzmeye doğrultusundadır. Düzlemsel açı ϕ , x - y düzlemindeki x -ekseninden ve kutupsal açı θ , z -ekseninden ölçülmektedir. CMS kutup açısı yerine psüdorapidite (η) kullanılmaktadır ve η , denklem 2.3 ile verilmektedir (CMS TDR, 2006-001).

$$\eta = -\ln \left[\tan \left(\frac{\theta}{2} \right) \right] \quad (2.3)$$



Şekil 2.7. CMS Koordinat Sistemi

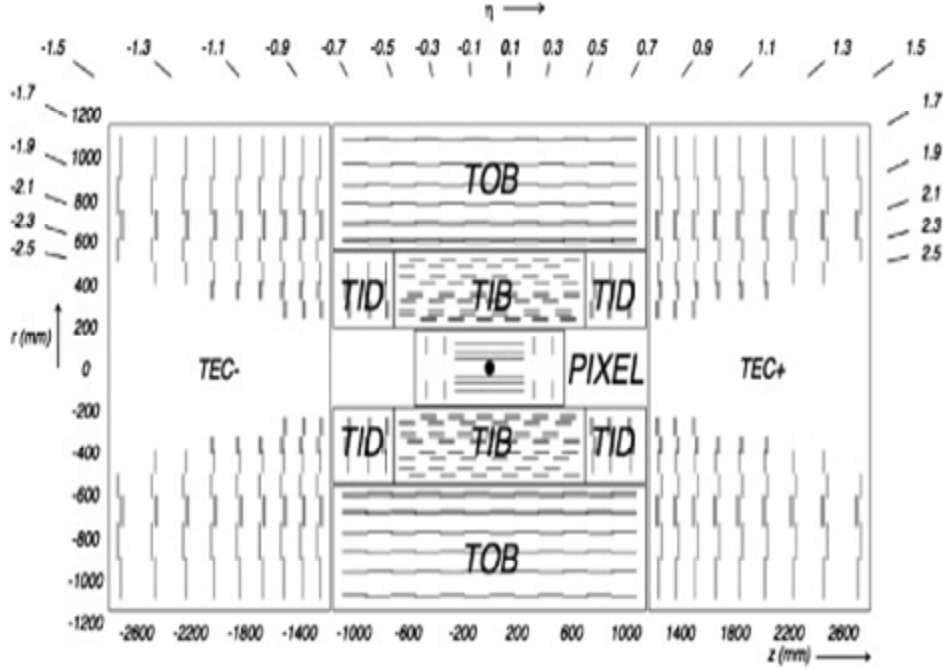
2.3.2. CMS'in Alt Dedektörleri

2.3.2.1. İzleyici Sistem

CMS dedektörünün güçlü bir izleme sistemi vardır. Bu sistem proton-proton çarpışmasında ortaya çıkacak olan herhangi bir parçacığın dedektörde ilk geldiği bölgeye yerleştirilmiştir. İzleyicide yüklü parçacıkların yükleri, momentumları ve yörüngeleri belirlenir.

İzleme sistemi piksel ve silikon şerit iz dedektörleri olmak üzere iki farklı dedektörden meydana gelmektedir. İzleme sisteminde yüklü parçacıkların izlerini (yörüngelerini) belirlemeye yarayan konum ölçümleri yapılmaktadır. İzleyici dedektör, çapı 2.6m, uzunluğu 6m olan silindirik bir yapıdadır. Burada her iz için 13 nokta ölçümü yapılacaktır. İz yoğunluğu yarıçap arttıkça hızla azaldığından silikon piksel dedektör, etkileşme noktasına en yakın olan bölgeye yerleştirilmiştir. Bu dedektörü 5 tabakadan oluşan silikon mikro-şerit dedektörü izlemektedir. Bu dedektörler radyasyona karşı dayanıklı olmalıdırlar. İçinden hüzme geçen boruların yakınlarındaki yüksek radyasyon silikon dedektörlere zarar verecektir. Yüklü parçacıklar CMS'teki manyetik alandan geçerken spiral bir yol izlerler. Parçacık

momentumları bu izlerin eğriliği incelenerek ölçülecektir (Status of the CMS Detector, Ettore Focardi, 2011). Şekil 2.8’de CMS detektörümüzün izleyici sisteminin şematik görünümü bulunmaktadır.



Şekil 2.8. CMS İzleyici Sistemi'nin şematik gösterimi. Her çizgi bir dedektör modülünü temsil etmektedir. Çift çizgiler, iki taraflı modülleri göstermektedir (<http://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0168900212005657-gr5.jpg>)

2.3.2.2. Kalorimetreler

CMS Kalorimetresi elektromanyetik ve hadronik kalorimetre olarak iki kısımdan oluşur. İlk kısımda elektromanyetik etkileşme yapan elektron ve fotonların enerji ölçümleri yapılmaktadır. İkinci kısım ise hadronların enerjilerini ölçmek üzere dizayn edilir. Aşağıdaki bölümlerde CMS'in elektromanyetik ve hadronik kalorimetreleri hakkında kısaca bilgi verilmektedir.

2.3.2.2.(1). Elektromanyetik Kalorimetre

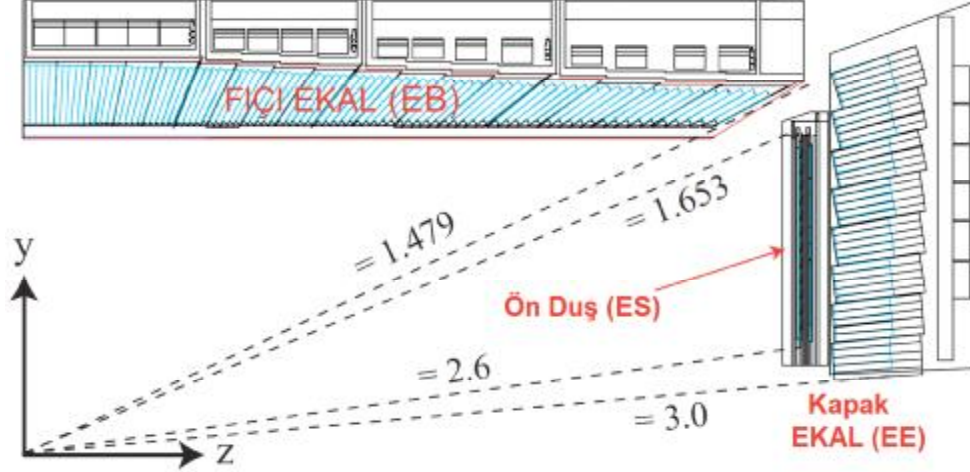
CMS'in çok yüksek performanslı bir EKAL (Elektromanyetik Kalorimetre)'e sahip olması hedeflenmiştir. Tasarlanan ışıldayıcı kristal kalorimetre, kristal hacmi içinde biriken bütün elektron ve fotonların enerji çözünürlüğü için mükemmel bir performans sağlamaktadır. CMS'den beklenen sıkı kalorimetre sistemine ulaşmak için yüksek yoğunluklu, küçük Moliere yarıçaplı ve kısa radyasyon uzunluğuna sahip olan kurşun tungsten (PbWO_4) kristalleri kullanılmıştır. Yüksek çözünürlüklü elektromanyetik kristal kalorimetre, BHC'de başlangıçtaki düşük ışıklılık çalışmalarında Higgs parçacığının $\text{H} \rightarrow \gamma\gamma$ kanalında keşfedilme olasılığını artırmaktadır (CMS Detector Posters, ECAL, 2000).

$\text{H} \rightarrow \gamma\gamma$ 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).

EKAL ~ 76000 kurşun tungsten (PbWO_4) ışıldayıcı kristalinden yapılmıştır. EKAL her biri 1700 kristal içeren 36 süper modülden oluşan merkezi EB (Elektromanyetik Fıçı) ve her biri 7324 kristal içeren EE (Elektromanyetik Kapak) kısımlarından oluşmuştur.

ES (Silikon Ön Duş) dedektörü, EKAL'in kapak kısmının önünde bulunmaktadır. ES dedektörlerinin amacı yüksüz pionları tespit etmektir. EB'nin psüdorapidite aralığı $|\eta| < 1.8$ 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 2.9'da verilmiştir (Status of the CMS Detector, Ettore Focardi, 2011).



Şekil 2.9. CMS EKAL'in yapısı (CMS TDR, 2006-001).

Elektron hüzmeleri kullanılarak yapılan testlerde EKAL için enerji çözünürlüğü, kristallerin merkezindeki elektron olayları için aşağıdaki gibi ifade edilmiştir (CERN-PH-EP/2013-097, 2013, CMS-EGM-11-001).

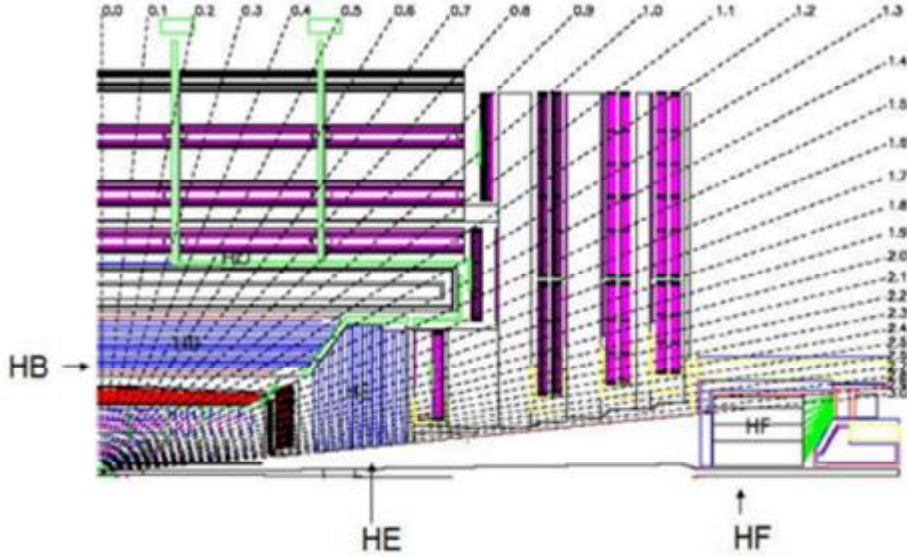
$$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{2.8\%}{\sqrt{E(\text{GeV})}} \oplus \frac{12\%}{E(\text{GeV})} \oplus 0.3\% \quad (2.4)$$

2.3.2.2.(2). Hadronik Kalorimetre

HKAL (Hadronik Kalorimetre), manyetik halka içerisinde bulunan son dedektördür. HKAL, çarpışmadan çıkan parçacıkların kayıp dik enerjilerini ve jetleri ölçen dedektördür. Diğer dedektörlerde olduğu gibi HKAL'de yapılan ölçümler Higgs bozonunun keşfinde önemli yer almaktadır. HKAL; HB (Hadronik Fıçı), HE (Hadronik Kapak), HO (Hadronik Dış) ve HF (Hadronik İleri) olmak üzere dört alt detektörden oluşmaktadır. HKAL $|\eta| \leq 5.0$ psüdo-rapidite aralığını kapsamaktadır (CMS TDR, 2006-001).

HKAL'da kuleler η ve ϕ 'ye göre yerleştirilir. Bu kuleler sektörleri oluşturmaktadır. Mevcut kuleler ve sektörler sayesinde izdüşümsel geometri elde

edilir. Şekil 2.10'da CMS dedektöründe HKAL'ın konumu gösterilmektedir. HKAL ile ilgili daha detaylı bilgiler Bölüm 3'te verilmektedir.



Şekil 2.10. CMS dedektörünün çeyrek kısmından bir kesit

2.3.2.3. Mıknatıs

CMS dedektörünün tasarımındaki önemli noktalardan biri de müonun momentumunun ölçümündeki hassasiyetin yüksek olma gerekliliğidir. Bunu sağlamak için yüksek manyetik alana gereksinim duyulmaktadır (Şekil 2.11). Bu yüzden, CMS' de süper iletken bir solenoid mıknatıs kullanılmaktadır. Bu mıknatıs sayesinde büyüklüğü 4T olan, demet eksenine paralel (z -ekseninde) bir manyetik alan elde edilmektedir.



Şekil 2.11. CMS dedektörünün Süperiletken Mıknatısı

Solenoidin parametreleri Çizelge 2.1’de verilmiştir. Solenoidin boyutundan dolayı büyük bir bükme gücü elde edilebilir ve yüksek süperiletken alanından dolayı bükülme ilk olay köşesinde başlamaktadır. Uygun bir uzunluk/yarıçap oranı, ileri bölgede iyi bir momentum çözünürlüğü sağlamak için gereklidir.

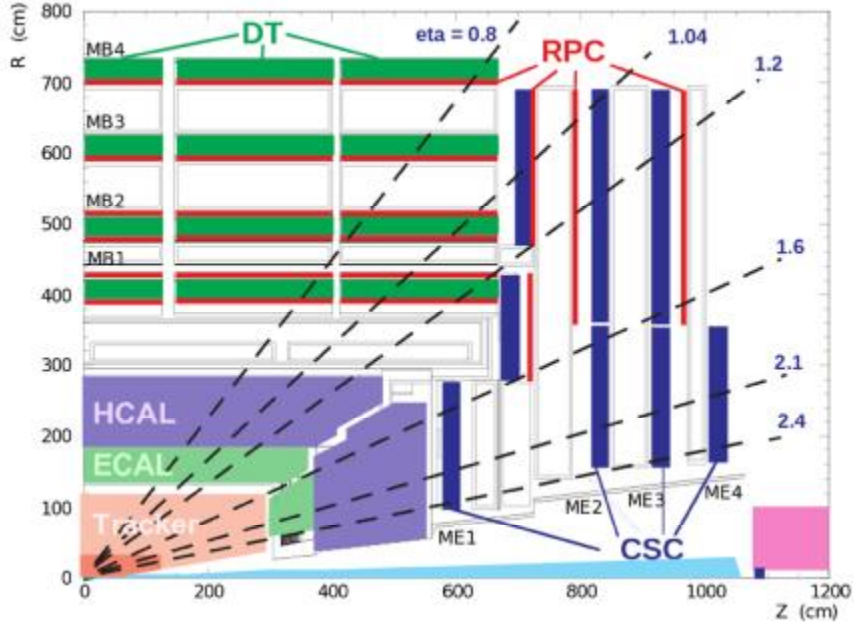
Çizelge 2.1. CMS süperiletken solenoidin parametreleri

| | |
|------------------|---------|
| Alan | 4 T |
| Uzunluk | 12.9 m |
| İç çap | 5.9 m |
| Sarım sayısı | 2168 |
| Akım | 19.5 kA |
| Depolanan Enerji | 2.7 GJ |
| Halka Basıncı | 64 atm |

2.3.2.4. Müon sistemi

Müon sistemi dedektörün en dış kısmında bulunur ve amacı müonları algılamaktır. Bu sistem ME (Müon Kapak Bölgesi) ve MB (Müon Fıçı Bölgesi)

olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. MB bölgesi $|\eta| \leq 1.2$ ve ME bölgesi $|\eta| \leq 2.4$ psüdorapidite aralığındadır. Şekil 2.12’de Müon sistemi görülmektedir.



Şekil 2.12. CMS'in Müon Sistemi

MB ve ME kısımları 5 diske bölünmüştür. Bunlar 250 adet müon odacıklarından oluşmaktadır. Disklerin herbiri $\varphi = 30^\circ$ lik düzlemsel açıya karşılık gelen 12 sektöre ayrılmıştır (MB1, MB2, MB3, ...). En içte bulunan (MB1, MB2, MB3) DT (Sürüklenme Tüpleri) üzerli olarak toplam dört grupta bulunan 12 sürüklenme odacığı katmanından oluşmaktadır. Bu katmanlara SL (Süper-Katman) denir (CMS TDR, 2006-021).

CMS detektöründeki müon sistemi dört adet müon istasyonundan oluşmaktadır. Bu müon istasyonları, MB'deki DT'ler, ME bölgesinde bulunan iki adet CSC (Katot Şerit Odacıkları) ve hem MB hem de ME bölgesinde bulunan RPC (Dirençli Plaka Odacıkları)'lerden oluşmaktadır (CMS TDR, 2006-001).

3. MATERYAL VE METOD

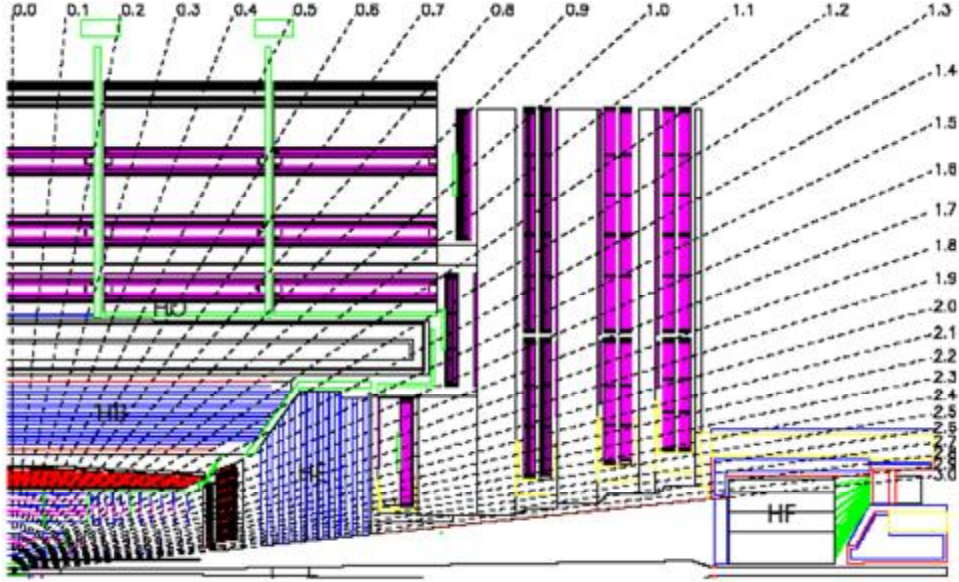
3.1. Hadronik Kalorimetre

CMS'in kalorimetre sistemi; jetlerin yönünü ve MET (Kayıp Dikine Enerji) akışını kullanarak kuark, glüon ve nötrinoların yönlerini ve ayrıca enerjilerini ölçmek için tasarlanmıştır. Kayıp enerjinin bu şekilde belirlenmesi, kuarkların ve gluonların süper-simetrik ortaklarının aranmasında kullanılabileceği gibi yeni parçacıklar ve olgular için de önemli bir imza oluşturmaktadır. HKAL (Hadronik Kalorimetre), elektromanyetik kalorimetre ve müon sistemi ile birlikte elektron, foton ve müonların tanımlanmasına da yardımcı olmaktadır. Bu nedenle HKAL, hadron jetleri ve nötrinolar veya egzotik parçacıkların ölçümü için önemli bir dedektördür (CERN-LHCC-97-031 ; CMS-TDR-2).

Şekil 3.1, CMS dedektörünün boyuna kesitini göstermektedir. Kesikli çizgiler η değerini göstermektedir. HB ve HE, izleyici ve elektromanyetik kalorimetrenin arkasına yaslanır. Hadron kalorimetresi, elektromanyetik varil kalorimetrenin dış uzantısı ($R = 1.77$ m) ile mıknatıs bobininin iç genişliği ($R = 2.95$ m) arasında radyal olarak sınırlandırılmıştır. Bu hadronik duşu emmek için konulabilecek toplam malzeme miktarını sınırlar. Bu sınırlandırmadan dolayı HB, geç başlayan hadronik duşları durdurmakta yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle solenoidin dışına HB'yi tamamlayıcı bir HO (Hadronik Dış) kalorimetresi veya diğer bir adıyla kuyruk yakalayıcı yerleştirilmiştir. $|\eta| = 3$ değerinin ötesinde ve etkileşim noktasından 11.2 m mesafeye yerleştirilen HF (Hadronik İleri) kalorimetresi, Çerenkov tabanlı radyasyona dayanıklı bir teknoloji kullanarak radyasyona dayanıklı olması sağlanmış ve psüdo-rapidite aralığı $|\eta| = 5.2$ 'ye kadar uzatılmıştır (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

HF'in enerji çözünürlüğü Denklem 3.1'de görülmektedir (PII: S0954-3899(04)80026-4).

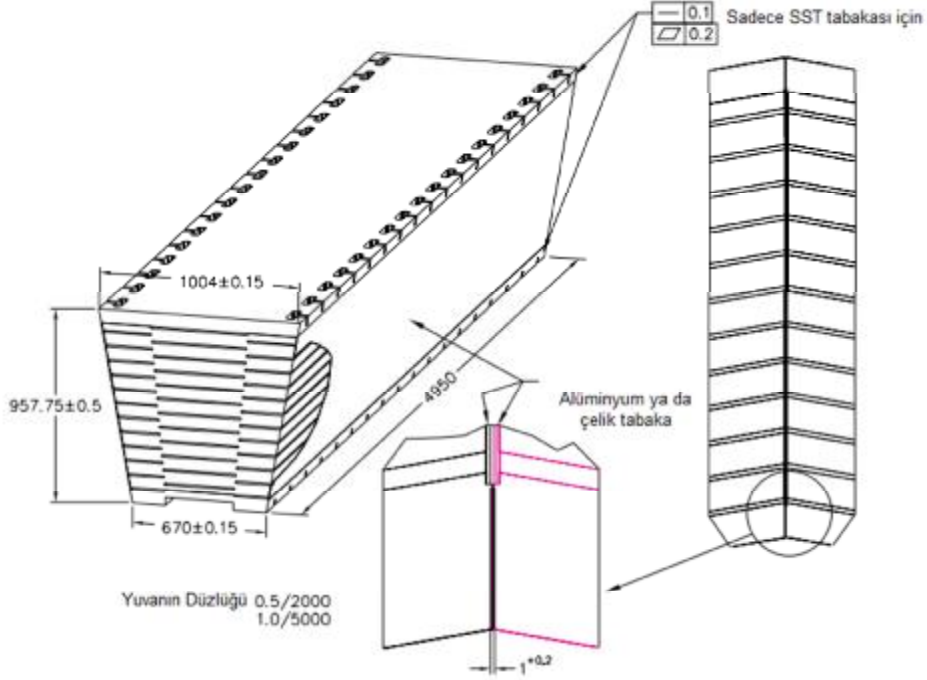
$$\left(\frac{\sigma}{E(\text{GeV})}\right)^2 = \left(\frac{197\%}{\sqrt{E(\text{GeV})}}\right)^2 + (8\%)^2 \quad (3.1)$$



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 Kalorimetresi

HB (Hadronik Fıçı) Kalorimetresi, $|\eta| = 1.3$ psüdo-rapidite aralığını kapsayan bir örnekleme kalorimetresidir. HB'de her biri 20° 'lik düzlemsel açıya ($\Delta\theta = 20^\circ$) sahip 36 özdeş kamadan (Şekil 3.2) meydana gelen iki yarım fıçıdan (HB+ ve HB-) oluşur. Her kama dört düzlemsel ($\Delta\theta = 5^\circ$) sektörden oluşmuştur.



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

HB’de kullanılan plakalar, yapısal desteği sağlamak için paslanmaz çelikten yapılmıştır. Işıldayıcı 16η sektörüne ayrılmıştır ve bu ayrılma sonucunda HB, $(\Delta\eta, \Delta\phi) = (0.087, 0.087)$ bölmelerinden oluşmuştur. Dedektörde pasif materyal olarak soğurucu malzemeler (çelik ve pirinç levha), aktif materyal olarak plastik ışıldayıcılar kullanılmıştır (CMS Note 2006/138).

3.1.1.1. Soğurucu Yapısı

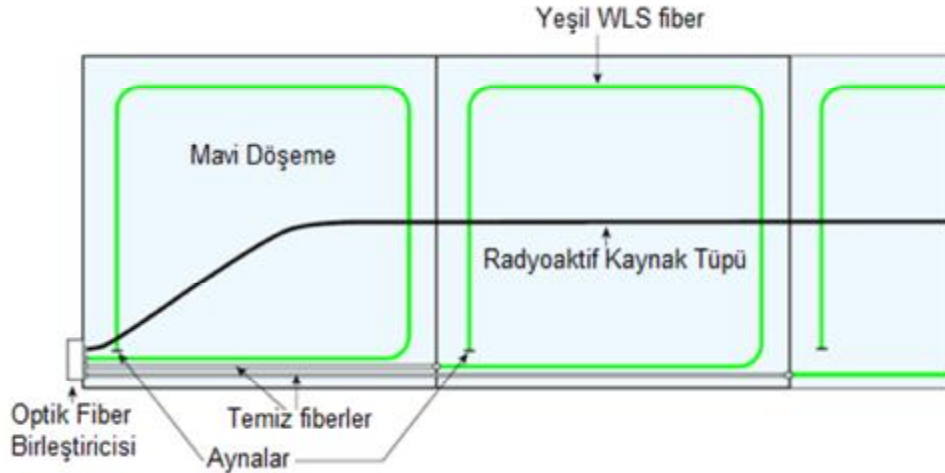
Soğurucu, 40 mm kalınlığında ön çelik levhadan ve bunu takiben sekiz adet 50.5 mm, altı adet 56.5 mm kalınlığında pirinç levha ve 75 mm kalınlığında çelik arka plakadan oluşur. 90° ’de toplam soğurucu kalınlığı, $\lambda_1 = 5,82$ nükleer etkileşim uzunluğuna sahiptir. HB’nin etkin kalınlığı $1/\sin\theta$ polar açısı ile artmaktadır ve $|\eta| = 1.3$ ’deki değeri $10.6 \lambda_1$ ’dir. Çizelge 3.1’de soğurucu maddenin özelliklerini görebilirsiniz (CMS Note 2006/138).

Çizelge 3.1. C26000 / Pirinç kartuş olarak bilinen pirinç soğurucunun fiziksel özellikleri

| | |
|--------------------|------------------------|
| Kimyasal Bileşim | 70% Cu, 30% Zn |
| Yoğunluk | 8.53 g/cm ³ |
| Radyasyon uzunluğu | 1.49 cm |
| Etkileşim uzunluğu | 16.42 cm |

3.1.1.2. Işıldayıcı Yapısı

HKAL yaklaşık 70.000 tane ışıldayıcıdan oluşur. Farklı fiziksel elemanların sayısını sınırlamak için belirli bir düzlemsel bölüm ve derinlik katmanındaki döşemeler tek bir ışıldayıcı tepsi ünitesinde gruplandırılmıştır. Şekil 3.3'te ışıldayıcı tablasının bir kısmının şematik görünüşü gösterilmektedir.



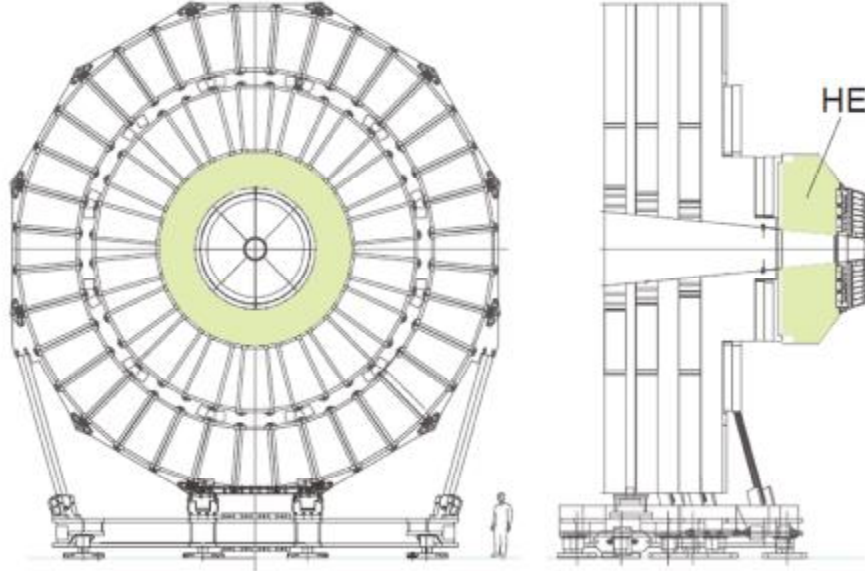
Şekil 3.3. Işıldayıcı tablanın bir kısmının şematik görünüşü (CMS Note 2006/138)

HB'de 3.7 mm kalınlığındaki Kuraray SCSN81 markalı ışıldayıcı tabakaları kullanılmaktadır. Bu ışıldayıcı seçimi, tabakanın uzun vadeli kararlılık ve radyasyon dayanıklılığı göstermesi nedeniyle yapılmıştır. Işıldayıcılar, 0.5 mm kalınlığa sahip bir plastik zemine tutturulmuştur. Her döşemeden gelen ışık 0.94 mm çapında yeşil, çift katlı WLS (Dalga Boyu Kaydırıcı) fiberler ile

toplanmaktadır. WLS fiberler, ışıdayıcıda oluşan ışığı foto-detektörlerin algılayabildiği dalga boyuna çevirir. WLS fiberlerinin bir ucu ışığın kaçmasını engellemek için alüminyum ile kaplanır. Bu alüminyum yansıtıcı görevi görür. WLS'nin diğer ucu, ışığı HPD (Hibrit Foto Diyot)'lere taşıyan z fiberlere bağlanır. Bu temiz fiberler de ışığı HPD'ye taşıyan optik fiberlere bağlanır. HPD'ler üzerlerine düşen ışığı elektrik akımına dönüştüren aletlerdir. WLS fiberlerin ortalama yansıtma oranı %6.5'lik bir yayılma ile yaklaşık %83'tür (CMS Note 2006/138).

3.1.2. Hadronik Uç Kapak Kalorimetresi

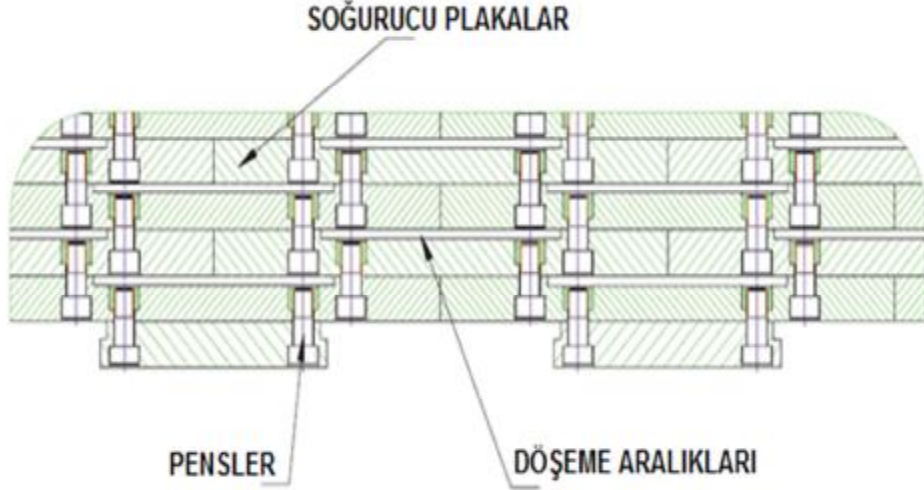
HE (Hadronik Uç Kapak) Kalorimetresi, CMS dedektöründe $1.3 < |\eta| < 3$ psüdorapidite aralığında bulunmaktadır. Üretilen parçacıkların %34'ü bu kısımdan geçmektedir. BHÇ'nin yüksek ışıklılık oranından dolayı HE'nin yüksek sayım oranına ve yüksek radyasyon toleransına sahip olması gereklidir. HE, 4 T'lık solenoid mıknatısın uç kısmında bulunduğundan kalorimetrenin soğurucu kısmı manyetik alandan etkilenmeyen bir malzemedir yapılmıştır (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004). Şekil 3.4'te demir boyunduruğuna yerleştirilen HE görülmektedir.



Şekil 3.4. Uç kapak demir boyunduruğuna yerleştirilen HE (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004)

3.1.2.1. Soğurucu Yapısı

Soğurucu tasarımı, tek tanecikli enerji çözünürlüğü yerine, HB ve HE arasındaki çatlakları en aza indirmeye ihtiyacı ile yönlendirilir. HE'deki jetlerin çözünürlüğü; yığılma (pile-up), manyetik alan etkileri ile sınırlandırılacaktır. Plakalar "ölü" yansıtıcı madde içermeyecek şekilde kademeli bir geometride bir araya getirilir. Tasarım kendinden destekli hermetik bir yapı sağlar. Işıldayıcılar piriç levhalar içerisine, 79 mm kalınlık ve 9 mm'lik boşluklar ile yerleştirilmektedir. Elektromanyetik kristaller ile HKAL'in toplam etkileşme uzunluğu yaklaşık olarak $10 \lambda_l$ ' dir. Şekil 3.5'te HE kalorimetresinin soğurucu mekaniğinin yapısı görülmektedir (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

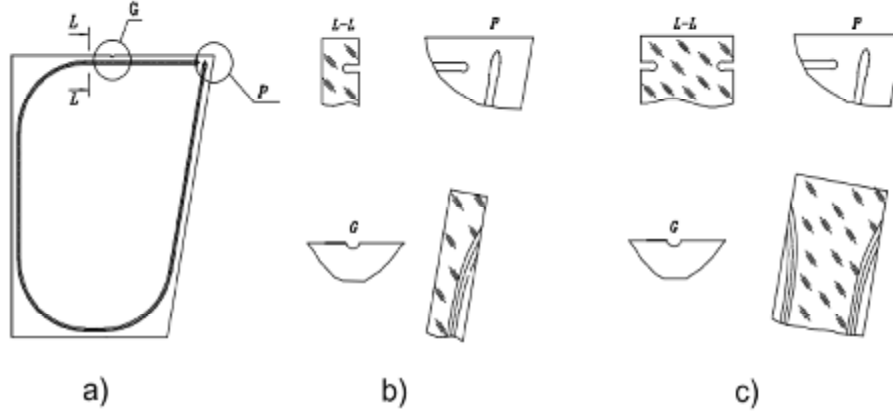


Şekil 3.5. HE soğurucunun mekanik yapısı. Parçacıklar alt taraftan kalorimetreye girer (CMS Note 2008/010)

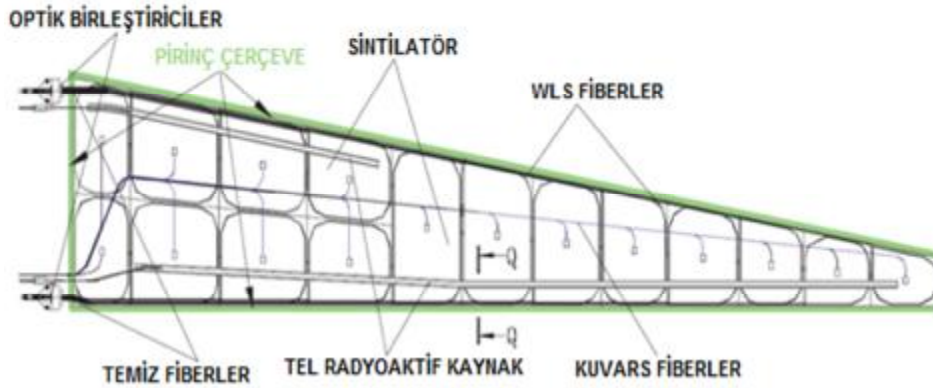
3.1.2.2. Işıldayıcı Yapısı

Sintilasyon ışığı, WLS fiberler ile toplanmaktadır. Şekil 3.6'da görülen tasarım ölü bölgeyi en aza indirir. Çünkü ışık kolaylıkla fiberler ile foto detektörlere yönlendirilir. İkizkenar yamuk şeklindeki ışıldayıcıların sıfırıncı katmanında 9mm kalınlığında Bicorn BC408, 1-17 katmanlarında ise 3.7mm kalınlığında SCSN81 kullanılmıştır. Işıldayıcılar, WLS'lerin takılı olduğu oluklara sahiptir.

HE kalorimetresinde toplam 20.916 döşeme ve 368 tabla bulunmaktadır (CMS Note 2008/010). Şekil 3.7'de ışıldayıcı tablası tasarımı görülmektedir.



Şekil 3.6. a) WLS'nin sabitlemesi için bir oluklu ışıldayıcı tablasının temel yapısı, b) 1-17 arası katmanlar için 4 mm kalınlıkta ışıldayıcının kesit alanı, c) Katman-0 için 9 mm kalınlığında ışıldayıcının kesit alanı. İki kat yansıtıcı boya tablanın yan yüzeylerini kaplar (CMS Note 2008/010)



Şekil 3.7. Kalorimetrenin ışıldayıcı tablası (CMS Note 2008/010)

3.1.3. Hadronik Dış Kalorimetresi

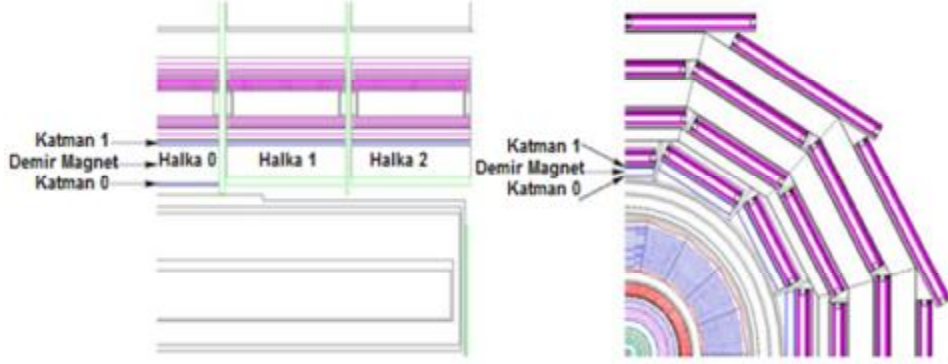
HKAL'in yeterince örnekleme sağlaması için solenoid mıknatısın dışına, HO (Hadronik Dış) Kalorimetresi adı verilen bir dedektör yerleştirilmiştir. HO kalorimetresi, $1.4/\sin\theta$ etkileşme uzunluğuna eşit solenoid mıknatısı ek bir soğurucu olarak kullanarak, HB'nin geometrisinin ötesindeki düş enerjisini ölçmektedir. HO aynı zamanda, HB kalorimetresinden sonra depolanan düş

enerjisini ölçmek için kullanılmaktadır. $|\eta| < 1.26$ psüdorapidite aralığını kapsamaktadır.

HO, 2.536 m genişliğinde (z -ekseni boyunca) beş halka şeklinde tasarlanmıştır. Halkalar -2 , -1 , 0 , $+1$, $+2$ sayılarıyla tanımlanır. Bu 5 halkanın numaralandırma artışı etkileşim noktasından başlayarak, z -eksenine bağlı olup konumları sırasıyla -5.342 m, -2.686 m, 0 , $+2.686$ m, $+5.342$ m'dir.

$\eta = 0$ 'da HB, proton-proton çarpışmasında üretilmiş hadronlarla düşük seviyede etkileşim sağlar. Bu nedenle merkezi halka, 3820 mm ve 4070 mm'lik radyal mesafelerde bulunan HO ışıldayıcılarına sahiptir. Diğer tüm HO katmanları 4070 mm radyal mesafeye sahiptir. HB-HE sınır bölgesi haricinde kalorimetre sisteminin toplam derinliği minimum olarak $11.8 \lambda_I$ 'dir.

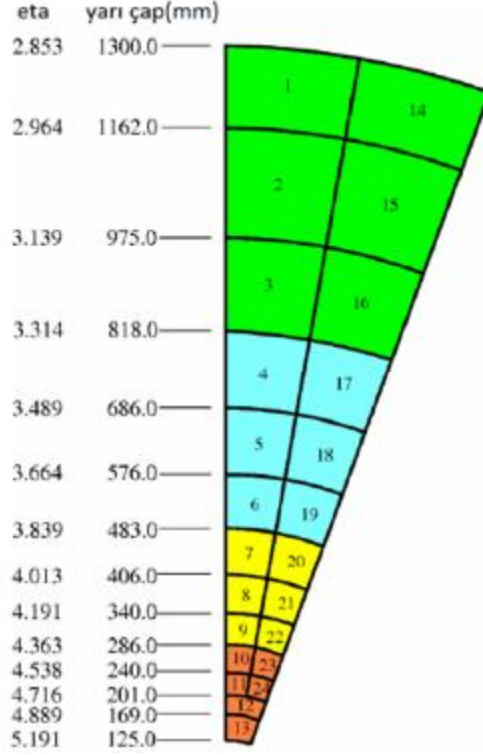
HO, müon sisteminin geometrisi ve yapısıyla sınırlanmıştır. Şekil 3.8, müon istasyonlarının halkalarındaki HO tabakalarının konumunu göstermektedir. Her halka, 12 özdeş \emptyset -sektörüne bölünmüştür. 12 sektör, 75 mm kalınlığında paslanmaz çelik kirişler ile birbirinden ayrılır ve bu mıknatıs sistemi, geri dönüş boyunduruğunun ardışık katmanlarını ve müon sistemini tutar. Buna ek olarak HO, halka -1 'in 3. sektöründe bacalar (chimneys) tarafından işgal edilen alanda ve halka $+1$ 'in 4. sektöründe sınırlandırılmıştır. Bacalar, mıknatıs sisteminin soğutucu (kriyojenik) aktarma hatları ve güç kabloları için kullanılır. Işıldayıcı tepsilerini konumlandırmak için gerekli olan mekanik yapılar, HO'nun \emptyset boyunca daha da sınırlandırılmasını sağlar (CMS NOTE, 2006/127).



Şekil 3.8. CMS dedektörünün boyuna ve enine görünüşünde, HO katmanlarının pozisyonu (CMS NOTE, 2006/127)

3.1.4. Hadronik İleri Kalorimetresi

HF (Hadronik İleri) Kalorimetresi, $3 < |\eta| < 5$ psüdo-rapidite aralığında yer almakta ve etkileşme noktasından 11.2 m uzaklıkta bulunmaktadır. Jetlerin ve kayıp dik enerjilerin belirlenmesinde önemli rol almaktadır. HF özellikle ileri jetleri ölçmek için tasarlanmıştır. HF kalorimetresi, HF_{\pm} olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Her bir kısım 20° 'lik 18 kamadan oluşmaktadır. Fakat Şekil 3.9'da görüldüğü gibi HF^{\pm} 'te her kama 10° 'lik eşit açıyla bölünmüş 2 sektöre sahiptir (CMS NOTE, 2006/044).



Şekil 3.9. HF Kalorimetresi okuma ünitesinin şematik görünümü

HF kalorimetresi çelik soğurucular ve bu soğurucuların içinde bulunan kuvars fiberlerden meydana gelmektedir. Kullanılan fiberler radyasyona karşı dayanıklıdır ve soğurucuda oluşan duşlar Çerenkov ışımaya yol açar. HF’te 1.65 m elektromanyetik, 1.43 m hadronik olmak üzere 5mm aralıklarla yerleştirilmiş iki çeşit kuvars fiber kullanılmıştır. Bu fiberler demetler haline getirilerek detektörün arka kısmında birleştirilir ve sinyal buradaki fiberler ile foto tüplere iletilerek ayrı ayrı okuma bilgisi alınır (Şekil 3.10) (CMS TDR, 2006-001).

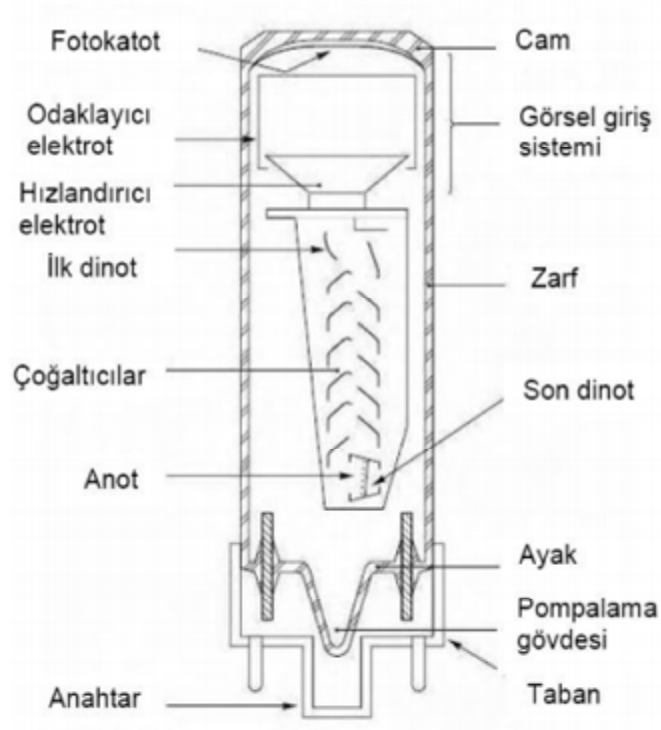


Şekil 3.10. Kuvars fiberlerin yerleştirildiği HF kuleleri
(https://cds.cern.ch/record/1431489/files/IMG_0195.jpg)

3.2. Elektronikler ve Veri Toplama

Şekil 3.11, HCAL elektronik ve veri toplama sistemine genel bir bakış sunmaktadır. Tüm önemli öğeler bu ölçümler sırasında test edilmiştir.

Her kama, 14. kule yakınındaki detektör çevre birimine monte edilen 72 ön uç elektroniği kanalını içerir. Bu devreler, RBX (Okuma Kutusu) olarak adlandırılan bir muhafazaya yerleştirilmiştir. Bu RBX'lerin herbiri ayrıca dört RM (Okuma Modülü)'e ayrılmıştır. Tek bir RM, bağımsız kuleden gelen sinyalleri kaydeden, 19 kanal HFD (Hibrit Foto Diyot)'yi içerir. HFD, 3.5 mm uzaklıkta bulunan bir fotokatot ve bir silikon diyottan oluşan düzlemsel bir yapıdır. (CMS HCAL Collaboration, 2006, CMS Note 2006/138).



Şekil 3.12. Bir FÇT'nin şematik gösterimi

Bir FÇT'de foto-yayınım ve ikincil yayınım olmak üzere iki temel işlev vardır;

Foto yayınım, bir fotonun bütün enerjisini foto-katot malzemesinin bağlı elektronlarına vermesiyle oluşur. Eğer ilk dinota çarpan foto-elektron sayısı n_k ve dinotun kazancı g_1 ise ikincil elektronların sayısı $n_k \cdot g_1$ olur . Eğer ikinci dinotun kazancı g_2 ise ikinci dinottan yayınlanan elektronların sayısı $n_k \cdot g_1 \cdot g_2$ olur. Bu işlem dinottan dinota ve son olarak anota kadar tekrarlanır ve en sonunda elektronlar anotta toplanır. Eğer N toplam dinot sayısı ise, toplanan elektronların sayısı;

$$n_a = n_k \prod_{i=1}^N g_i \quad (3.4)$$

2. Saydam olmayan katot; FÇT içerisine bir metal elektrot olarak yerleştirilir ve elektronlar aydınlatılmış yerlerden yayımlanır. Toplama elektrotların büyüklüğünden dolayı bu alan birkaç cm^2 ile sınırlıdır.

En çok kullanılan foto-katot materyaller, Gümüş-Oksit-Sezyum (Ag-O-Cs), Antimonid-Sezyum (SbCs) ve Bi-Tri-Alkali bileşenler Sb-K-Cs, Sb-Rb-Cs ve Sb-Na₂K-Cs'dir.

Uzun dalga boyları materyalin foto yayılım eşik değeri tarafından, kısa dalga boylarıysa kullanılan pencere malzemesinin spektral geçirgenliği ile sınırlıdır. Çizelge 3.2'de bazı standart foto-katotların karakteristikleri verilmektedir (PMT Tubes Principles & Applications, 2002, Flyckt Marmonier).

Çizelge 3.2. Bazı standart foto-katotların karakteristikleri (PMT Tubes Principles & Applications, 2002, Flyckt Marmonier)

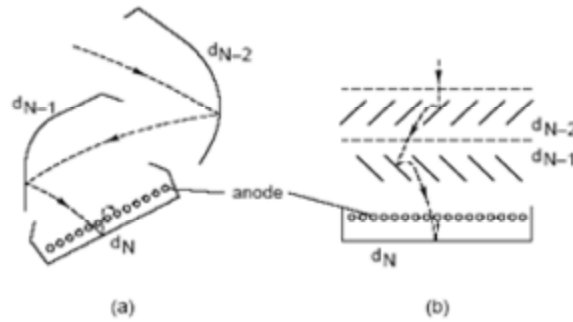
| Spektral Tepki Tipi | Bileşenler | Pencere Tipi | Fotoyayınım Eşik Değeri (nm) | Maksimum Duyarlılıkt a DalgaBoyu (nm) | Maksimum Dalga Boyunda Kuantum Verimliliği (%) |
|---------------------|-----------------------|--------------|------------------------------|---------------------------------------|--|
| S1 | AgOCs | 1 | 1100 | 800 | 0.4 |
| S4 | SbCs ₃ | 1.2.3 | 680 | 400 | 16 |
| S11 | SbCs ₃ | 1 | 700 | 440 | 22 |
| S13 | SbCs ₃ | 2 | 700 | 440 | 22 |
| S20 | SbNa ₂ KCs | 1 | 850 | 420 | 20 |
| S20R | SbNa ₂ KCs | 1 | 900 | 550 | 8 |
| Bialkali | SbKCs | 1 | 630 | 400 | 28 |
| Bialkali | SbKCs | 2 | 630 | 400 | 28 |
| Bialkali | SbKCs | 1 | 700 | 440 | 28 |
| Bialkali | SbNaK | 1 | 700 | 400 | 16 |
| SB (Erimiş silis) | CsTe | 2 | 340 | 235 | 10 |

3.2.1.2. Anot Toplama Bölgesi

FÇT'nin çıkış ucundaki elektrotların şekli ve düzeni, tekrarlanan kısımda kullanılanlardan farklıdır. Geometri aşağıdakiler için uygun olmalıdır:

- Son dinottan yayınlanan bütün elektronların toplanması,
- Darbe modunda doğrusal tepki sağlamak için uzay-yükü etkilerinin en aza indirgenmesi,
- Anot empedansının çıkış bağlantısının karakteristik empedansı ile eşleştirilmesi.

Şekil 3.14'te genel amaçlı iki foto-çoğaltıcı için toplama bölgeleri gösterilmektedir. Anot ya da toplayıcı, son dinota çok yakın olarak ızgara şeklinde yerleştirilir. Böylece son dinota yakın olan dinotlardan yayınlanan elektronlar anotun içerisinden geçip giderler ve sadece son dinottan yayınlanan ikincil elektronlar toplanır. Bu düzenleme son dinot ve anot arasında yüksek bir elektrik alan oluşmasına olanak sağlar ve boşluk yüklerinin etkisini azaltır. Ayrıca son dinot, toplayıcı çevresinde kısmen bir elektrostatik ekran formundadır (PMT Tubes Principles & Applications, 2002, Flyckt Marmonier).



Şekil 3.14. Toplama bölgesi (a) Odaklanmış dinot tipi (b) Izgara tipli dinot

4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

4.1. Hadronik İleri Kalorimetresi

HKAL'in alt dedektörlerinden biri olan HF (Hadronik İleri) Kalorimetresi, jetlerin ve kayıp dik enerjinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. HF'in BHÇ kuyusuna indirilirken çekilmiş bir resmi Şekil 4.1'de gösterilmektedir. HF kalorimetresinin 2 ana hedefi vardır. Bunlar;

1. MET (Dikine Kayıp Enerji) ölçümünü iyileőtirmek,
2. İleri jetlerin tanımlanması ve yeniden yapılandırılmasını sağlamaktır.

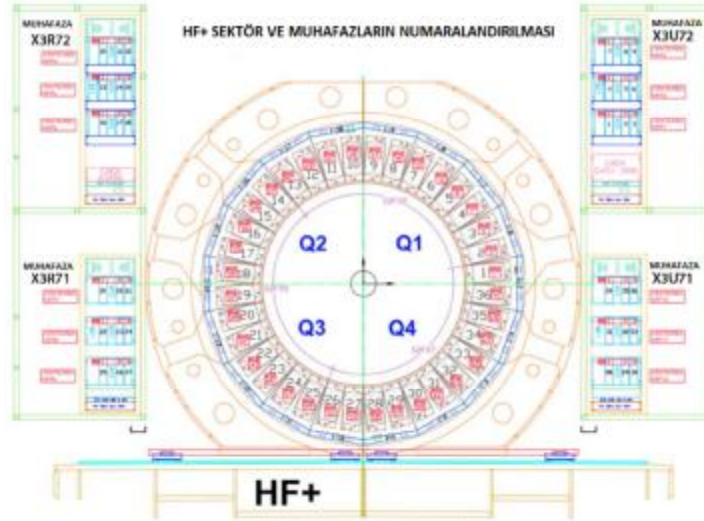


Şekil 4.1. Hadronik İleri Kalorimetresinin görünümü (Dedektörün boyutsal büyüklüğünü belirtmek için insan boyu ile kıyaslanmıştır)

4.1.1. Hadronik İleri Kalorimetresinin Tasarımı

HF Kalorimetresi, $3 \leq |\eta| \leq 5$ psüdorapidite aralığında yer alır. HF, 130 cm'lik dış yarıçapı, 12,5 cm'lik iç yarıçapı ve 165 cm'lik uzunluğu olan silindirik, çelik bir yapıdır. **HF -** ve **HF +** olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır ve toplam 36 kamaya sahiptir. HF'in bölümleri etkileşim noktasından $\pm 11,2$ m mesafede bulunmaktadır. HF'in her bölümü 20° 'lik 18 kamadan oluşmuştur ve her kama ise 10° 'lik eşit açıyla 2 sektöre bölünmüştür (The CMS-HF Quartz Fiber Calorimeters, 2008, 012014).

HF + ile **HF -**, 9 sektörden ve 216 kanala sahip olacak biçimde 4 çeyrek bölümden oluşmaktadır. Her çeyrek bölüme muhafaza adı verilen elektronik sistemlerin bulunduğu kutular monte edilmiştir. Muhafazalarda bulunan elektronik sistem ile LED sinyali fiberler aracılığıyla 216 kanala gönderilmektedir. Her kanala bağlanmış bir tane, **HF +** ile **HF -**'de ise toplam 1728 FÇT (Foto-Çoğaltıcı Tüp) bulunmaktadır. Şekil 4.2'de **HF +**'nın çeyreklerinin görünümü gösterilmektedir (2008 JINST 3 S08005).



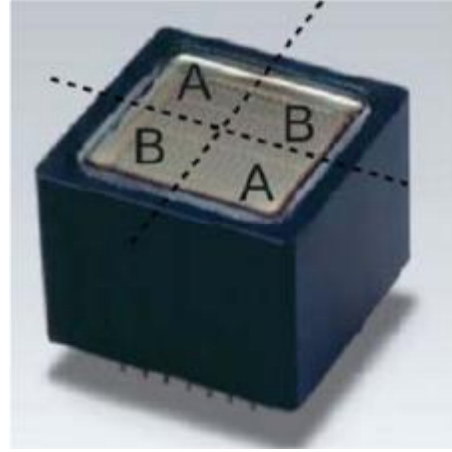
Şekil 4.2. HF+'nın çeyreklerinin görünümü

HF kalorimetresinde foto-dedektör olarak, 2013 yükseltmesine kadar Hamamatsu şirketi tarafından üretilmiş olan R7525HA (Şekil 4.3. (b)) model numaralı FÇT'ler kullanılmaktaydı. Bu FÇT'ler; bir anotlu, tek kanallı, kalın, silindirik ve küçük yüzeylidirler. 2013 yükseltmesi ile beraber R7600U-100-M4 (Şekil 4.3. (a)) model numaralı 4 anotlu FÇT'lere geçiş yapılmıştır (http://indico.cern.ch/event/246600/attachments/423723/588246/CERNTR_-_16.04.2013_2.pdf).

Yeni FÇT'ler Süper-Bialkali foto-katot malzemeden üretilmiştir ve maksimum QE (Kuantum Verimliliği) %35'tir (2010 JINST 5 P06002).



(a) Hamamatsu R7525HA



(b) Hamamatsu R7600-100-M4

Şekil 4.3. Eski (a) ve Yeni (b) HF FÇT'leri (Conference Report, CMS CR-2013/002)

Yeni FÇT'ler, eski FÇT'lerin aksine; 4 kanallı, ince, geniş yüzeyli, kazancı yüksek FÇT'lerdir. Eski tip FÇT'lerde sahte sinyaller ve gerçek sinyaller tek bir anotta gözlenirken, yeni tip FÇT'lerde sahte sinyaller yalnızca bir anotta gözlemlenir. Ancak gerçek sinyaller tüm anotlarda gözlenmektedir.

HF, soğurucular ve bu soğurucular içine yerleştirilmiş kuvarz fiberlerden meydana gelmektedir. Kuvarz fiberlerin ve FÇT'lerin yerleştirildiği HF kuleleri Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Bu fiberler HF dedektörünün aktif kısmını oluşturur.

HF dedektörlerinin ön yüzüne gelen parçacıklar soğurucu içerisinde duşlar oluşturur. Bu duşların bir kısmı Çerenkov eşiğinin altında bir kısmı da Çerenkov eşiğinin üstünde olan yüklü parçacıklardır. Çerenkov eşiğinin üstündeki yüklü parçacıklar fiberler içerisinde Çerenkov ışması yapar. Oluşan ışıktan tam yansıma şartını sağlayanlar fiberler aracılığıyla FÇT'lere ulaşırlar. FÇT'ler, kendilerine gelen ışık sinyalini, analog sinyale dönüştürürler. FÇT'lerden gelen analog sinyaller QIE (Yük Toplayıcı ve Kodlayıcı)'ler aracılığı ile sayısal sinyale dönüştürülerek bir dizi gibi sıralanan fiber optiklerle ön uç elektroniklerdeki veri akışından sorumlu olan HTR (Hadronik Tetikleme) kartına iletilir. HTR kartı farklı türdeki verileri işleyerek bu verileri diğer sistemlere iletmektedir (2008 JINST 3 S08005).

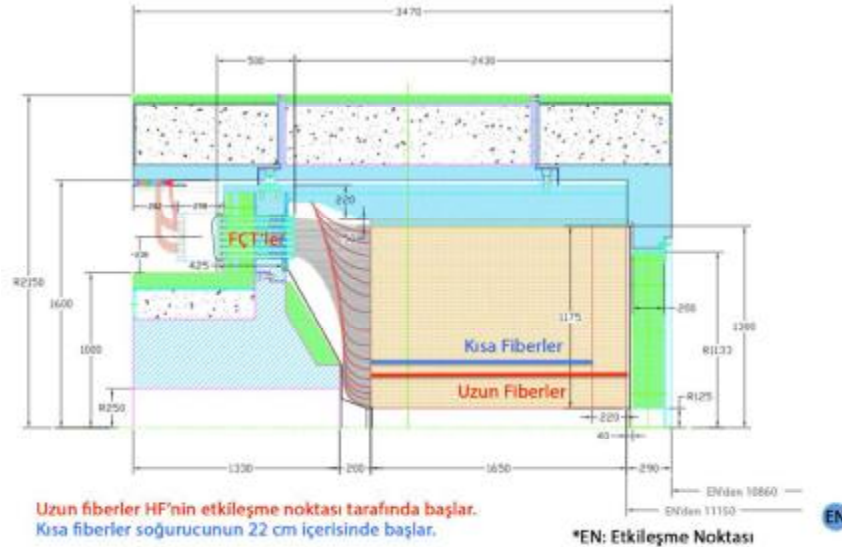


Şekil 4.4. Kuartz fiberlerin ve FÇT 'lerin yerleştirildiği HF kuleleri (www.fnal.gov/pub/today/images/images04/Calorimeter_Wedges.jpg)

HF kalorimetresi bulunduğu psüdo-rapidite bölgesinden dolayı yüksek radyasyona maruz kalmaktadır. HF’te aktif madde olarak radyasyona en dayanıklı maddelerden biri olan kuvarz fiberler kullanılmıştır.

HF’te 1.65 m ve 1.43 m uzunluğunda olmak üzere 5 mm aralıklarla yerleştirilmiş iki farklı uzunlukta kuvarz fiber kullanılmıştır. Fiberlerden uzun olanları EM (Elektromanyetik) Bölüm’ü meydana getirirler. Bu bölüm foton ve elektron gibi elektromanyetik etkileşim gösteren parçacıkların enerjisini ölçmeye yarar. Kısa fiberler ise HA (Hadronik Bölüm)’yü meydana getirirler. Bu bölüm elektromanyetik etkileşen parçacıkları hadronlardan ayırmaya ve elektromanyetik bölümle birlikte hadronların enerjisini ölçmeye yarar.

Uzun ve kısa kuvarz fiberler detektöre eşit aralıklarla yerleştirilmiştir ve demet haline getirilerek dedektörün arka kısmında birleştirilir. HF’ten gelen ışık buradaki fiberler ile fotoçoğaltıcı tüplere iletilir. Şekil 4.5’te HF kalorimetresinin teknik çizimi bulunmaktadır (2008 JINST 3 S08005).



Şekil 4.5. HF Kalorimetresinin teknik çizimi (2008 JINST 3 S08005)

4.2. Kullanılan Yazılımlar

CMS dedektöründe alınan verilerin doğruluğu, fizik analizleri için oldukça büyük önem taşımaktadır. Bu verileri analiz edebilmek için C++ ve Python programlama dillerinin bilinmesi gereklidir. Microsoft Windows işletim sisteminde yapılan çalışmalar için 4 adet masaüstü uygulaması kullanılmıştır. Bunlar;

- Putty
- Xming
- WinSCP
- ROOT

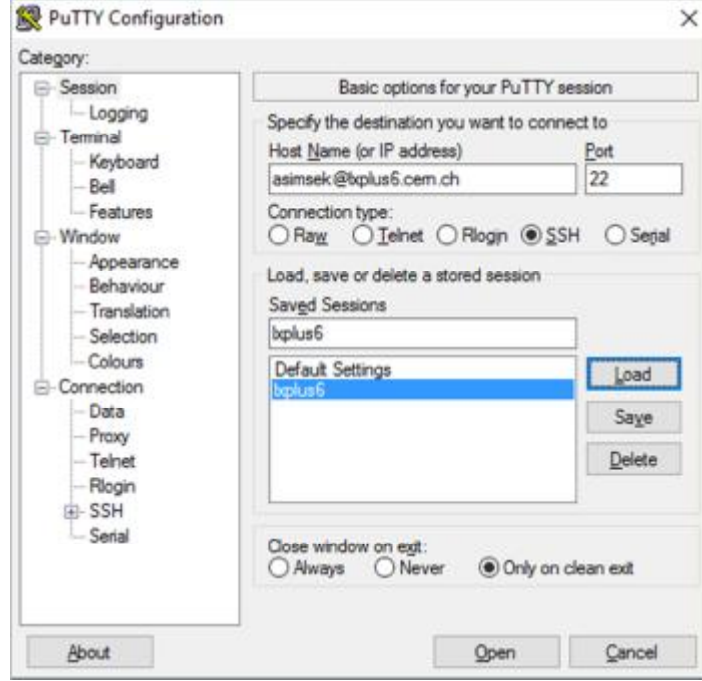
Ayrıca Linux işletim sisteminde yapılan çalışmalar için, Root adlı uygulama ve sistemin içerisinde bulunan Terminal adlı uygulama kullanılmıştır.

4.2.1. Putty

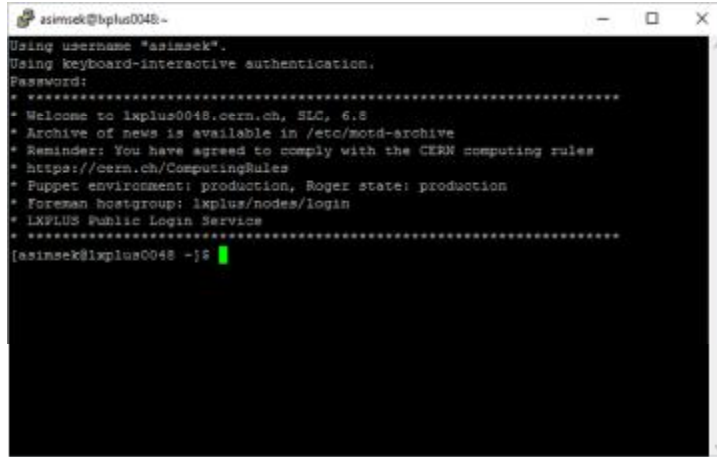
CERN, Linux tabanlı bilgisayar sistemleri kullanmaktadır ve bu sistemlerin içerisinde herkesin kendine ait özel alanı bulunmaktadır. Analizlerin yapılabilmesi için bu sistemlere sanal bağlantı oluşturulması gerekmektedir.

Putty programı, Microsoft Windows işletim sistemleri için terminal görevi görerek sanal bağlantının oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. Sanal bağlantının sağlanabilmesi için kişiye özel kullanıcı adı ve şifrenin Putty programına girilmesi gerekmektedir.

Programın 2 farklı arayüzü bulunmaktadır. Şekil 4.6'da görülen arayüzde terminalin, sanal bağlantı ve görünüm ayarlarının düzenlendiği bölüm bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 4.7'de programın bağlantı sağlandıktan sonraki terminal arayüzü görülmektedir.



Şekil 4.6. Putty programının giriş arayüzünün görünümü

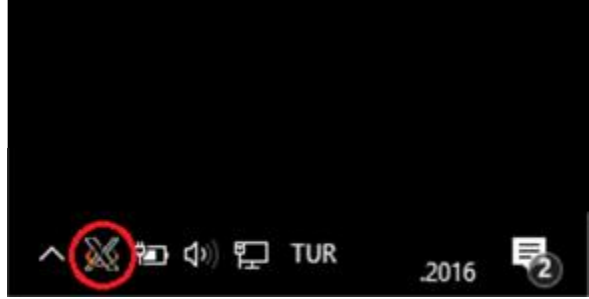


Şekil 4.7. Putty programının terminal arayüzünün görünümü

4.2.2. Xming

Xming, Windows işletim sistemleri için oluşturulmuş, sanal bir Linux X11 grafik sistemidir. Yapılan analizler sonucunda, Linux ortamında oluşturulan grafiklerin, Windows ortamında kontrol edilebilmesi için Xming programı gereklidir.

Programın hiçbir arayüzü bulunmamaktadır. Program çalıştığı süre boyunca arkaplan hizmeti olarak görevini sürdürmektedir (Şekil 4.8).



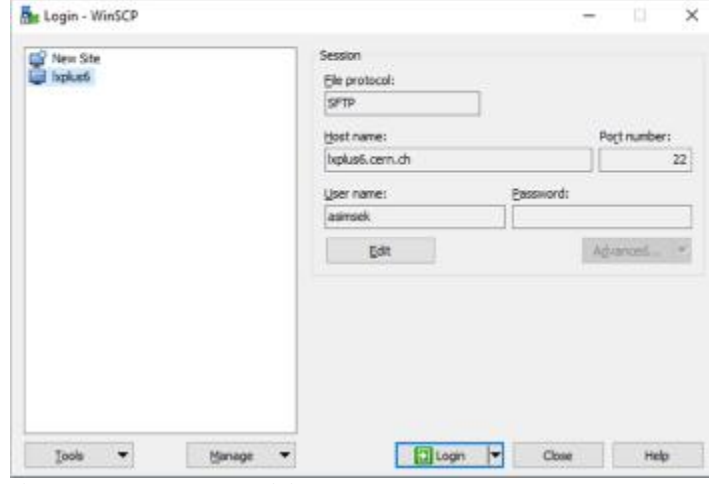
Şekil 4.8. Xming programının çalıştığını belirten simge

4.2.3. WinSCP

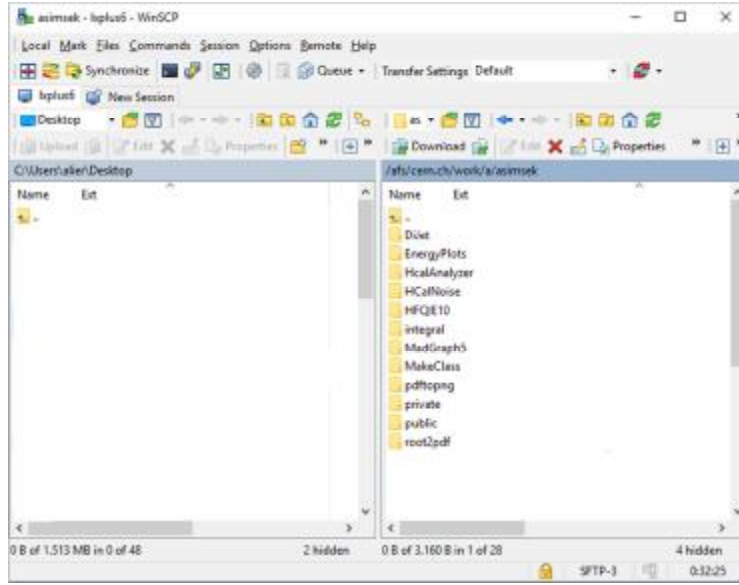
Daha öncelerde de bahsedildiği gibi CERN'de Linux tabanlı işletim sistemleri kullanılmaktadır. Analizler, sanal ortamdaki bir Linux makinesinde yapıldığı için Windows ortamı ile dosya alışverişi yapmak mümkün değildir.

WinSCP programı, SFTP (Güvenli Dosya Taşıma Protokolü) sistemlerini kullanarak Linux sistemindeki dosyalara erişmeye yardımcı olmaktadır.

Şekil 4.9'da, SFTP bağlantısı için gerekli bilgilerin giriş arayüzüne eklendiği görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.10'da programın dosya taşıma arayüzü görülmektedir.



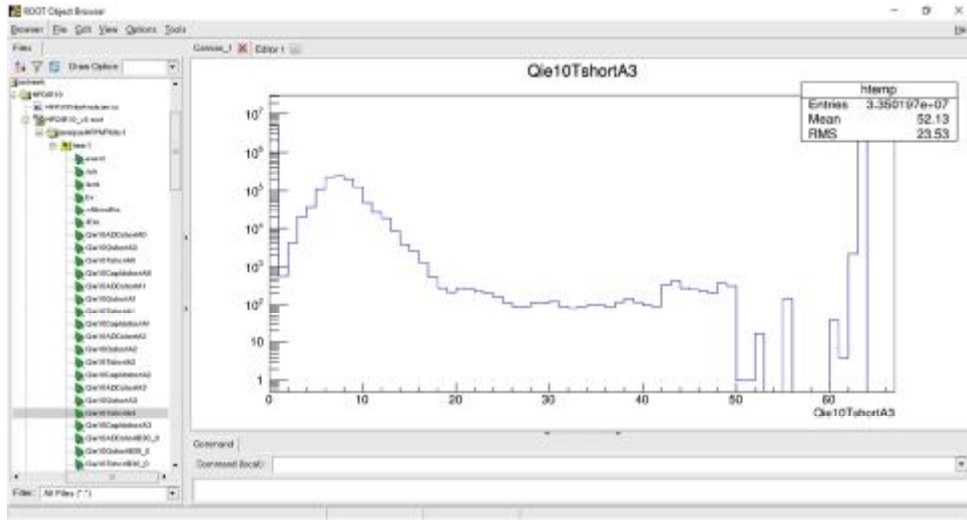
Şekil 4.9. WinSCP programının giriş arayüzünün görünümü



Şekil 4.10. WinSCP programının giriş arayüzünün görünümü

4.2.4. ROOT

ROOT, CERN'de alınan verileri işleyebilmek için oluşturulan bir sistemdir. Binlerce fizikçi, verilerini analiz etmek veya simülasyonlar oluşturmak için bu programı kullanmaktadır. Bu sistem, ağaç adı verilen bir yapıda olduğu için çok büyük miktardaki verilere daha hızlı ulaşmayı mümkün kılmaktadır. Şekil 4.11'de bahsi geçen ağaç yapısı ve root programının genel görünümü bulunmaktadır.



Şekil 4.11. ROOT programının ağaç yapısının ve kullanıcı arayüzünün genel görünümü.

4.3. Gürültü Olaylarının Belirlenmesi

4.3.1. Topolojik Filtreler

Daha öncede bahsedildiği gibi, CMS dedektöründe alınan verilerin doğruluğu, fizik analizlerinin sağlığı açısından büyük bir önem taşımaktadır. Verilerin doğruluğunun artırılabilmesi, gürültü denilen kısımların elenmesine bağlıdır. HF kalorimetresinde genellikle gürültülerin sebebi müonlardır. HF içerisinde durdurulamayan müonlar, HF üzerinde bulunan FÇT'lere çarpmaktadır. Bu durumda FÇT'lerde, istenmeyen sinyaller üretilmektedir. Bu tarz gürültüleri belirlemek ve temizlemek için L1 ve HLT tetikleme sistemlerine ek olarak

yazılımsal topolojik filtreler oluşturulmuştur. Gürültüleri yakalamak ve temizlemek için kullanılan bu filtreler;

- HFLongShort Filtresi
- HFPET Filtresi
- HFS8S1Ratio Filtresi

Topolojik filtreler tarafından tespit edilen gürültüler aşağıdaki denklem ile oranlanmaktadır.

$$R = \frac{\text{Gürültü}}{\text{Toplam}} \quad (4.1)$$

Bu denklem ile elde edilen R oranı; FÇT'lerin, bulunduğu kanalda ürettiği sinyallerin ne kadarlık bir kısmının gürültü olduğunu göstermektedir.

4.3.1.1. HFLongShort Filtresi

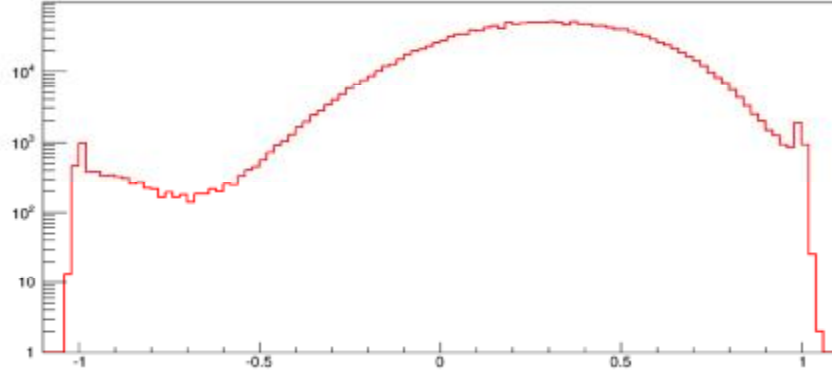
HF Kalorimetresi, 2 farklı uzunlukta fiberden oluşmaktadır. Bu fiberlere uzun ve kısa fiberler denilmektedir. HFLongShort filtresi, bu iki fiberden alınan enerji verilerini, Denklem 4.2 'ye göre kıyaslamaktadır.

$$R = \frac{E_L - E_S}{E_L + E_S} \quad (4.2)$$

Burada; E_L : uzun fiberde ölçülen enerjiyi, E_S : kısa fiberde ölçülen enerjiyi temsil etmektedir.

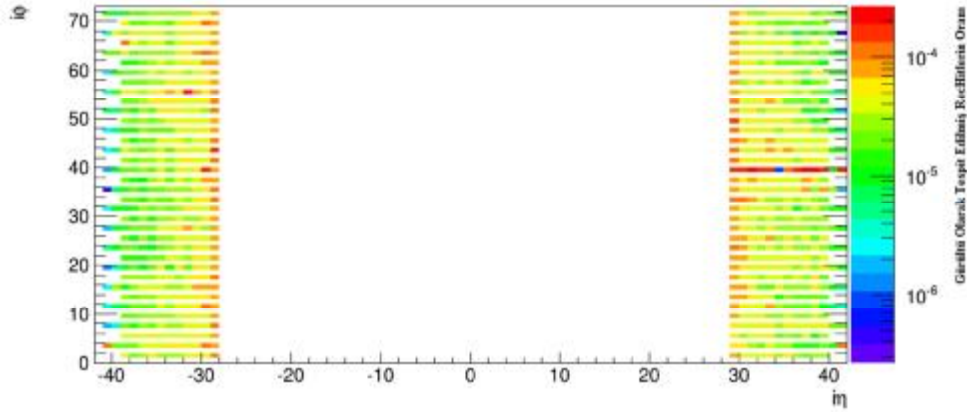
Şekil 4.12'de, Denklem 4.2'nin sonucunun -1 ve $+1$ arasında olduğu görülmektedir. R değeri $+1$ ise alınan veri sadece uzun fiberde ölçülmüş demektir. Eğer R değeri -1 ise veri sadece kısa fiberde ölçülmüş demektir ve sadece kısa

fiberde ölçülen veriler, tamamen gürültü olarak kabul edilmektedir (CMS DN-2015/024).

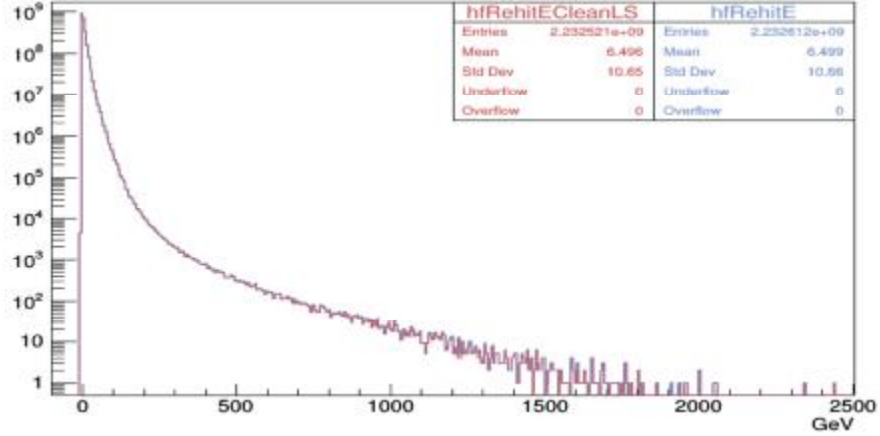


Şekil 4.12. HF K kalorimetresindeki uzun ve kısa fiberlerin, enerji oranlarının (R) grafiği

HF K kalorimetresi, $i\eta$ ve $i\phi$ düzlemsel koordinatları ile kanallara bölünmüştür. Şekil 4.13'te, HFLongShort filtresi tarafından bu kanallarda tespit edilen verilerin Denklem 4.1'e göre hesaplanan oranları gösterilmektedir. Şekil 4.14'te ise filtrenin etkinliği görülmektedir.



Şekil 4.13. HFLongShort filtresi tarafından tespit edilen gürültülü verilerin Denklem 4.1'e göre oranlaması (yatay düzlem $i\eta$ ve dikey düzlem $i\phi$ 'ı temsil etmektedir)

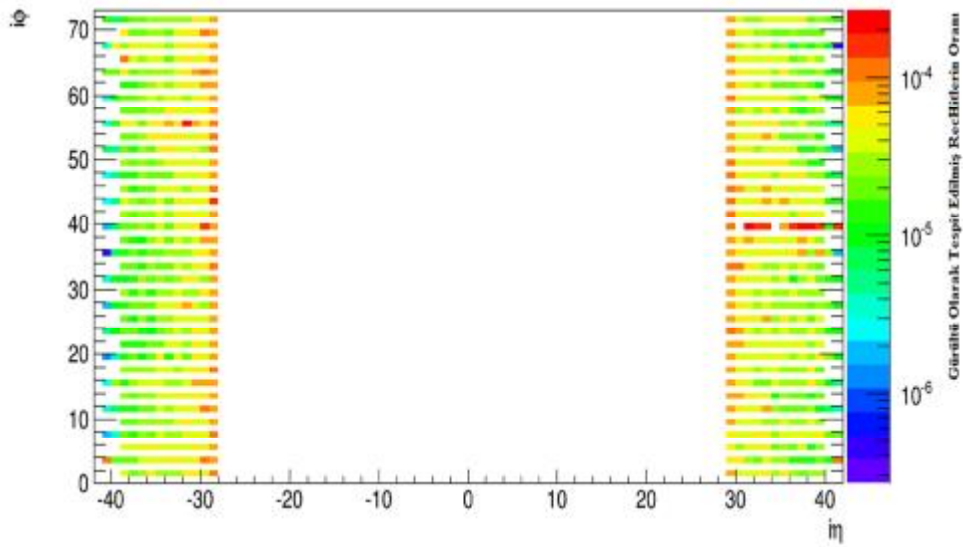


Şekil 4.14. HFLongShort filtresi uygulanmadan önce ve uygulandıktan sonraki enerji dağılımı (Mavi: HFLongShort filtresi öncesi, Kırmızı: HFLongShort filtresi sonrası)

HFLongShort filtresi diğer filtrelerden daha etkili bir filtredir. Şekil 4.13'e bakıldığında $i\emptyset = 39$ kanalındaki gürültü miktarının (sağ taraf, kırmızı bölge) diğer kanallara göre 10 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Bu problem için alınacak önlemler hakkında sonuç bölümünde bahsedilmiştir.

4.3.1.2. HFPET Filtresi

HF Kalorimetresinde kullanılan bir diğer filtre PET (Polinom Enerji Eşiği) filtresidir. Denklem 4.2'de verilen R denklemine göre eğer uzun fiberde ölçülen enerji kısa fiberde ölçülen enerjiden çok büyükse, ($R \sim 1$) bu gürültü olarak kabul edilebileceği gibi sadece EM olarak etkileşen ve kısa fiberlere ulaşamayan parçacıklardan da kaynaklanıyor olabilir. Şekil 4.15'te, HFPET filtresi tarafından tespit edilen gürültülü verilerin Denklem 4.1'e göre oranlaması görünmektedir.

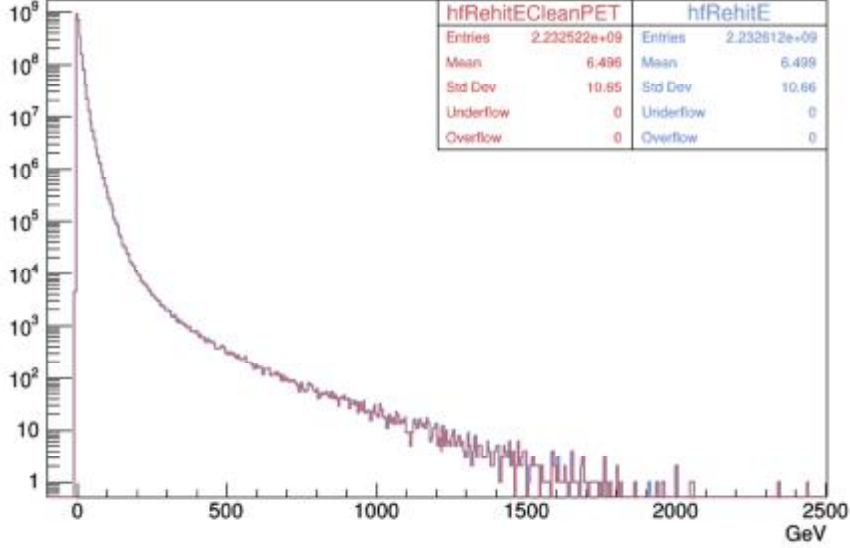


Şekil 4.15. HFPET filtresi tarafından tespit edilen gürültülü verilerin Denkleme 4.1'e göre oranlaması (yatay düzlem $i\eta$ ve dikey düzlem $i\phi$ 'ı temsil etmektedir)

Filtre, uzun ve kısa fiberde gözlemlenen enerjilere ve Denkleme 4.2'de hesaplanan oranlara (R) kısıtlama koyar. Bu kısıtlamalar aşağıdaki gibidir:

- $R < R_L$ ve $E_L > E_{PET,L}(|i\eta|) = 162.4 - 10.19\|i\eta\| + 0.21(\|i\eta\|)^2$
- $R < R_S$ ve $E_S > E_{PET,S}(|i\eta|) = 129.9 - 6.61\|i\eta\| + 0.1153(\|i\eta\|)^2$

Bu şartları sağlayanlar gürültü olarak kabul edilmektedir. Burada; R : Denkleme 4.2'de belirtilen oran, E_L : uzun fiberin enerjisi, E_S : kısa fiberin enerjisi, R_L : uzun fibere uygulanan kısıtlama miktarı (~ 0.8), R_S : kısa fibere uygulanan kısıtlama miktarı (~ 0.8), $E_{PET,L}$: uzun fibere uygulanan enerji kısıtlama miktarı, $E_{PET,S}$: kısa fibere uygulanan enerji kısıtlama miktarıdır. Şekil 4.16'da filtrenin etkinliği görülmektedir.



Şekil 4.16. HFPET filtresi uygulanmadan önce ve uygulandıktan sonraki enerji dağılımı (Mavi: HFPET filtresi öncesi, Kırmızı: HFPET filtresi sonrası)

PET filtresi, HFLongShort filtresi kadar etkili bir filtredir. HFLongShort filtresinde olduğu gibi $i\phi = 39$ bölgesinde, diğer bölgelere göre daha yüksek gürültü tespit etmektedir. Fakat HFLongShort filtresinin aksine Şekil 4.15'te, $i\phi = 39$ bölgesindeki $i\eta = 30$ ve $i\eta = 34$ kanalları boş görülmektedir. Bu farklılık, belirtilen kanallarda diğer kanalların aksine sadece QIE10 kartlarının kullanılıyor olmasından kaynaklıdır. QIE10 kartlarının denemeleri bu kanallarda yapılmaktadır ve bir sonraki yükseltme döneminde bu kartların tüm kanallarda kullanılması amaçlanmıştır.

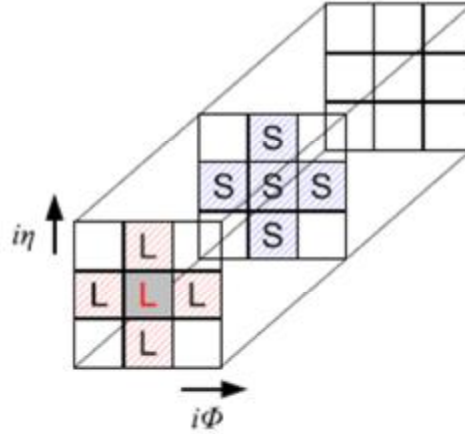
4.3.1.3. HFS8S1Ratio Filtresi

S8S1Ratio filtresinin algoritması Denklem 4.3'te gösterilmiştir. S8S1Ratio filtresi, S9S1Ratio filtresi olarak Denklem 4.4'te görüldüğü gibi düzenlenmiştir fakat adı S8S1Ratio filtresi olarak kalmıştır. Düzenlenmiş olan S9S1Ratio filtresi, uzun fiberden alınan veriler üzerinde kullanılmaktadır (CMS CR-2012/238).

$$\left(\frac{S8}{S1}\right)_S = \frac{\sum_{i=1}^4 E_i^L + \sum_{i=1}^4 E_i^S}{E} \quad (4.3)$$

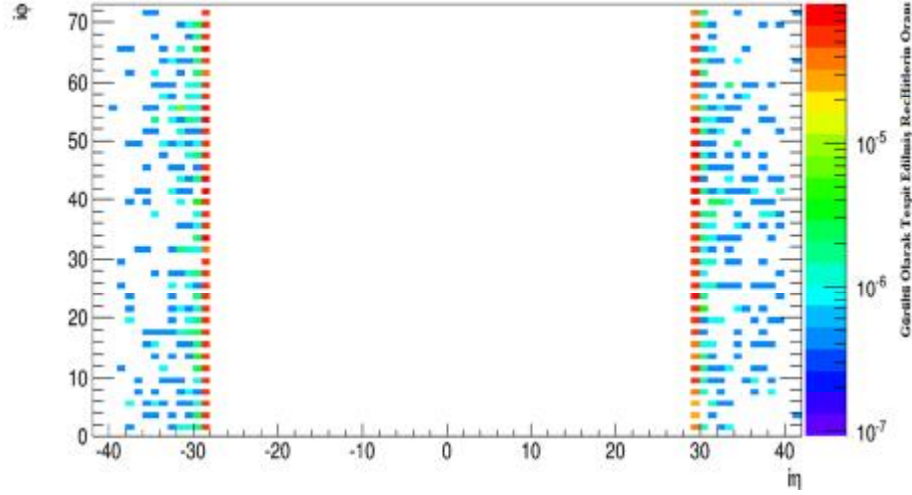
$$\left(\frac{S9}{S1}\right)_L = \frac{E^S + \sum_{i=1}^4 E_i^L + \sum_{i=1}^4 E_i^S}{E^L} \quad (4.4)$$

S8S1Ratio filtresi, HF kalorimetresi üzerindeki her kuleye sırası ile uygulanmaktadır. Sırası gelen kulenin kısa fiberinde ölçülen enerjisi (E^S), bu kuleye komşu olan 4 kuledeki kısa ($\sum_{i=1}^4 E_i^S$) ve uzun fiberlerin ($\sum_{i=1}^4 E_i^L$) enerjileri ile toplanır. Bulunan bu sonuç ilgili kulenin uzun fiberinden alınan enerjisi (E^L) ile Denklem 4.4'teki gibi oranlanır. Şekil 4.17'de HFS8S1Ratio filtresinin hesaplanması için kullanılan yöntemin şematik gösterimi bulunmaktadır.

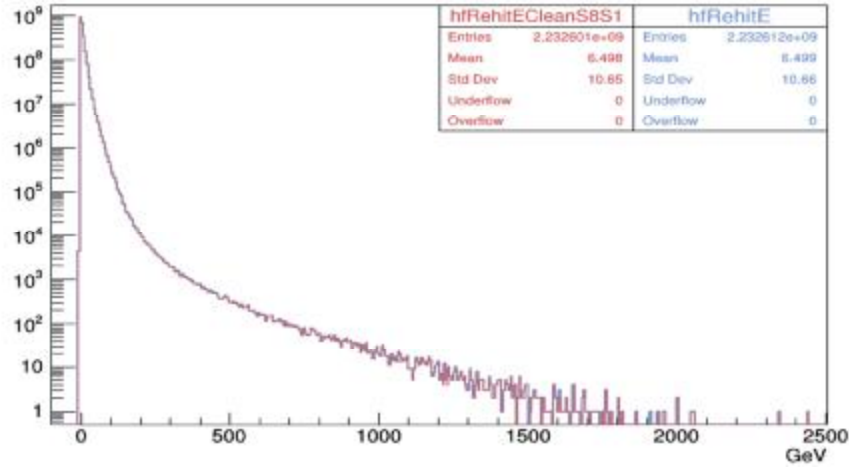


Şekil 4.17. HFS8S1Ratio filtresinin hesaplanması için kullanılan yöntemin şematik gösterimi (L: uzun fiberler, S: kısa fiberler)

HFS8S1Ratio Filtresi, HFLongShort ve HFPET filtreleri kadar etkili olmayan bir filtredir. Şekil 4.18'de görülebileceği gibi bu filtrede, $i\phi = 39$ bölgesindeki kanallar, diğer kanallarla aynı oranda gürültü içermektedir. Bu durum filtrenin tek başına yetersiz olduğunu göstermektedir. Ayrıca Şekil 4.19'da filtrenin etkinliği görülmektedir.



Şekil 4.18. HFS8S1Ratio filtresi tarafından tespit edilen gürültülü verilerin Denklem 4.1'e göre oranlaması (yatay düzlem $i\eta$ ve dikey düzlem $i\phi$ 'ı temsil etmektedir)



Şekil 4.19. HFS8S1Ratio filtresi uygulanmadan önce ve uygulandıktan sonraki enerji dağılımı (Mavi: HFS8S1Ratio filtresi öncesi, Kırmızı: HFS8S1Ratio filtresi sonrası).

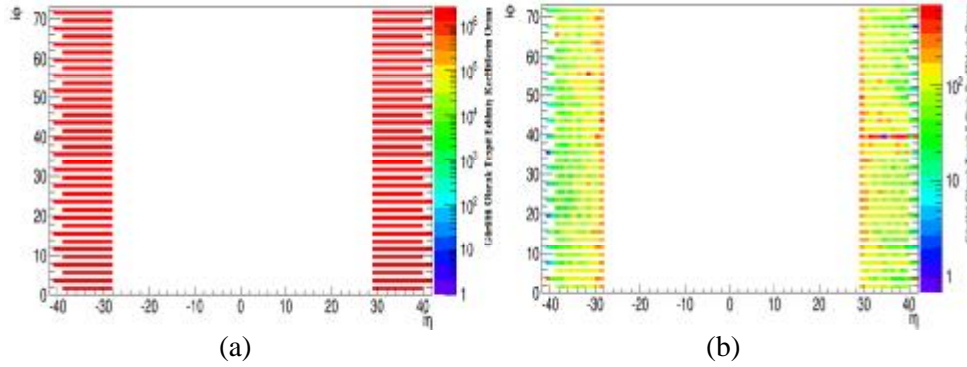
4.4. Veri Analizi

4.4.1. $\sqrt{s} = 13$ TeV Çarpışma Verilerinin Analizi

2013 yılında BHC'nin ilk çalışması, planlı yükseltmeler için resmi olarak sonlandırıldı. Yükseltilmiş çarpıştırıcıda test çarpıştırmaları Nisan 2015'te yeniden

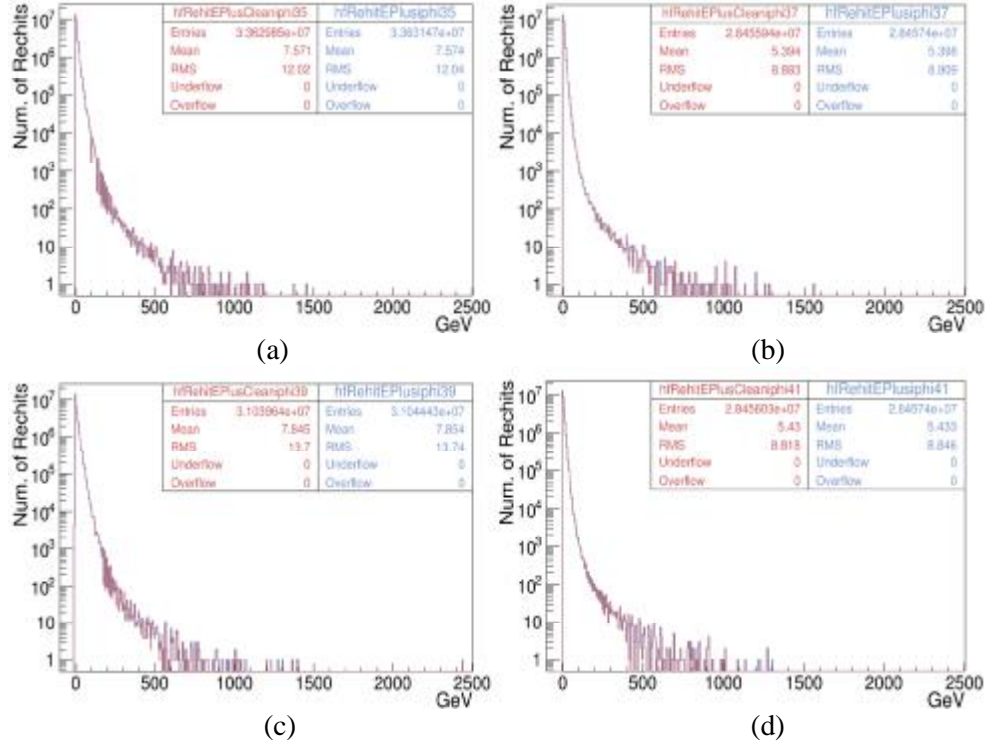
başlamış ve Mayıs 2015'te demet başına 6.5 TeV ile 13 TeV'lik bir kütle merkezi enerjisine ulaşılmıştır.

Dedektörün verimliliği fizik analizlerinin doğruluğu açısından büyük önem taşımaktadır. Bu yüzden $\sqrt{s} = 13$ TeV'de alınan verilerin ve gürültülerin kontrollerinin yapıp dedektörün verimliliğinin analiz edilmesi gerekmektedir. Şekil 4.20'de görüldüğü gibi HF kalorimetresinde gürültü oranı çok düşüktür fakat **HF +** bölgesindeki (sağ taraf) $i\phi = 39$ düzlemsel açısına karşılık gelen kanallarda gürültü miktarının diğer kanallara göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



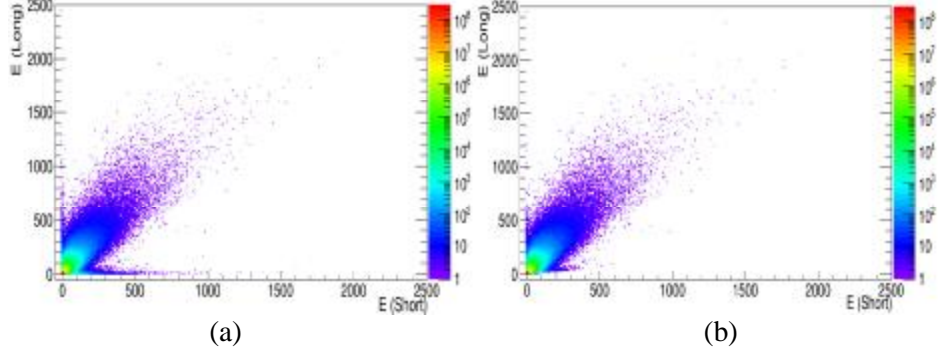
Şekil 4.20. (a) HF Kalorimetresinin doluluk oranı (b) HF Kalorimetresinin topolojik filtreler tarafından tespit edilen gürültü oranı (Her $i\eta$ ve $i\phi$ kesişimi bir HF kulesine denk gelmektedir)

Şekil 4.21'de **HF +** bölgesindeki $i\phi = 39$ düzlemsel açısına sahip kanalların ve bu kanallara en yakın konumdaki diğer 3 kanalın filtre uygulanmadan öncesi ve sonrasına ait enerji dağılım grafiği görülmektedir.



Şekil 4.21. $i\theta$ düzlemsel açısına göre, 13 TeV'lik çarpışma verilerine, topolojik filtreler uygulanmadan önceki ve uygulandıktan sonraki enerji dağılımları. (Mavi: topolojik filtreler uygulanmadan önce, Kırmızı: topolojik filtreler uygulandıktan sonra.), (a) $i\theta = 35$ düzlemsel açısı için enerji dağılımı, (b) $i\theta = 37$ düzlemsel açısı için enerji dağılımı, (c) $i\theta = 39$ düzlemsel açısı için enerji dağılımı, (d) $i\theta = 41$ düzlemsel açısı için enerji dağılımı (grafikler HF + bölgesinin enerji dağılımını göstermektedir)

HF kalorimetresi için uzun fiberlerde ölçülen enerjinin kısa fiberlerde ölçülen enerjiye karşı grafiklerine bakıldığında, sadece uzun fiberlerden veya sadece kısa fiberlerden çok fazla gürültülü sinyalinin gelmediği gözlemlendi. Az miktarda olan bu tür sinyallerin de gürültü filtreleri tarafından elendiği görüldü (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. 13 TeV'lik çarpışma verilerinin analizinden elde edilen E_S (kısa fiber enerjisi)'nin E_L (uzun fiber enerjisi)'ye karşı grafikleri. (a) Topolojik filtreler uygulanmadan önceki enerji grafiğini, (b) Topolojik filtreler uygulandıktan sonraki enerji grafiği göstermektedir

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

CMS deneyi, 2013 yılında uzun süreli teknik araya girmiştir. Bu ara süresince gerekli yükseltmeler yapılmış ve bu doğrultuda 2015 yılında tekrar veri alınmasına başlamıştır. Alınan verilerin kesinliğinin kontrolü, fizik analizleri açısından büyük önem taşımaktadır.

HKAL kalorimetresinin alt dedektörlerinden biri olan HF dedektöründe, yükseltme sonrası $\sqrt{s} = 13$ TeV kütle merkezi enerjisinde çalışırken, beklenilmeyen ve istenmeyen tuhaf gürültüler kaydedilmiştir. Bu gürültülerin, 2016 yılında alınan “SingleMuon”, “JetHT”, “ExpressPhysics” ve “NoBPTX” verileri kullanılarak analizleri yapılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında gürültü filtreleri ve bu filtrelerin performansları analiz edilmiştir. Alınan sonuçlara göre kullanılan topolojik temelli filtrelerin, 2016 yılında alınan veriler üzerinde gayet sağlıklı çalıştığı gözlemlenmiştir. Gözlemlenen gürültülerin, oluşan dışlardaki bazı yüksek enerjili parçacıkların HF’te durdurulamayıp, FÇT’lere çarpmasından kaynaklandığı anlaşılmıştır.

Topolojik filtreler kullanılarak elde edilen verilerde, HF kalorimetresinin HF + bölgesindeki $i\emptyset = +39$ kanalının, diğer kanallara göre daha yüksek gürültü içerdiği gözlenmiştir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. HF kalorimetresindeki $i\emptyset = +39$ ve çevresindeki 3 kanalın sinyal ve gürültü miktarları

| $i\emptyset$ | +35 | +37 | +39 | +41 |
|----------------|------------|------------|------------|------------|
| Toplam Sinyal | 1707394000 | 1444719000 | 1576057000 | 1444718000 |
| Toplam Gürültü | 80946 | 70197 | 257824 | 66277 |
| Gürültü Oranı | %0.0047 | %0.0048 | %0.0163 | %0.0046 |

$i\phi = +39^\circ$ 'daki bu yüksek gürültü oranı, CMS'in HF Gürültü (Noise) grubuna iletilmiş ve gerekli önlemler üzerine tartışılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda 2017 yılı itibari ile HF'te kullanılan QIE8 kartları yerine, QIE10 kartlarının takılmasına karar verilmiştir. QIE10 kartlarında çift RBX kullanılmaktadır. Ayrıca Japon Hamamatsu şirketi tarafından üretilen eski R7525HA tip FÇT'lerin yerine, yeni R7600U-100-M4 tip FÇT'ler de 2017 itibari ile kullanılmaya başlanacaktır. QIE10 kartlarının TDC (Zaman Sayısallaştırıcı) özelliği olduğu için istenmeyen gürültüleri elemekte daha iyi olacağı beklenmektedir.

$i\phi = +39^\circ$ bölgesindeki tüm $i\eta$ düzlemsel açılara göre QIE kartlarının dağılımı Çizelge 5.2'de görülmektedir.

Çizelge 5.2. HF dedektöründe kullanılan QIE kartlarının $i\eta$ düzlemsel açısına göre gösterimi
(https://indico.cern.ch/event/588258/contributions/2371635/attachments/1371035/2079407/kunori_20161114_HFqie10_Pulse.pdf)

| $i\eta$ | Uzun Fiber | | Kısa Fiber | | $i\eta$ | Uzun Fiber | | Kısa Fiber | |
|---------|------------|------|------------|--------------|---------|------------|------|------------|------|
| | Anot | | Anot | | | Anot | | Anot | |
| | A | B | A | B | | A | B | A | B |
| 29 | QIE10 | QIE8 | QIE10 | QIE8 | 36 | QIE10 | QIE8 | QIE10 | QIE8 |
| 30 | QIE10 | QIE8 | QIE10 | QIE10 | 37 | QIE10 | QIE8 | QIE10 | QIE8 |
| 31 | QIE10 | QIE8 | QIE10 | QIE8 | 38 | QIE10 | QIE8 | QIE10 | QIE8 |
| 32 | QIE10 | QIE8 | QIE10 | QIE8 | 39 | QIE10 | QIE8 | QIE10 | QIE8 |
| 33 | QIE10 | QIE8 | QIE10 | QIE8 | 40 | QIE10 | QIE8 | QIE10 | QIE8 |
| 34 | QIE10 | QIE8 | QIE10 | QIE10 | 41 | QIE10 | QIE8 | QIE10 | QIE8 |
| 35 | QIE10 | QIE8 | QIE10 | QIE8 | | | | | |

KAYNAKLAR

- Cern Brochure, 2010. <http://cds.cern.ch/record/1324123/files/CERN-Brochure-2010-007-Eng.pdf>, (Erişim Tarihi: 30 Aralık 2016).
- Cms Collaboration, 2004. "Energy resolution and the linearity of the CMS forward quartz fibre calorimeter pre-production-prototype (PPP-I)", http://www2.physics.uiowa.edu/~uakgun/FILES/g4_12_n01.pdf, PII: S0954-3899(04)80026-4, (Erişim Tarihi: 20 Ocak 2017).
- Cms Collaboration, 2006. "Detector Performance and Software", CMS Physics, Technical Design Report, Volume 1, CERN - LHCC 2006-001, <http://cds.cern.ch/record/922757/files/lhcc-2006-001.pdf>, (Erişim Tarihi: 30 Aralık 2016).
- 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>, (Erişim Tarihi: 30 Aralık 2016).
- Cms Collaboration, 2008. "The CMS experiment at the CERN LHC", The CERN Large Hadron Collider: Accelerator and Experiments, 122 p., <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/3/08/S08004/pdf> (Erişim Tarihi: 30 Aralık 2016).
- Cms Collaboration, 2008. "The LHCb Detector at the LHC", The CERN Large Hadron Collider: Accelerator and Experiments, <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/3/08/S08005/pdf> (Erişim Tarihi: 30 Aralık 2016).
- Cms Collaboration, 2010. "Study of various photomultiplier tubes with muon beams and Cerenkov light produced in electron showers", <http://lss.fnal.gov/archive/2009/pub/fermilab-pub-09-842-cms.pdf> (Erişim Tarihi: 30 Aralık 2016).

- Cms Collaboration, 2013. “Energy calibration and resolution of the CMS electromagnetic calorimeter in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV”, <https://arxiv.org/pdf/1306.2016v2.pdf>, (Erişim Tarihi: 18 Ocak 2017).
- Cms Conference Report, 2012. “Identification and mitigation of anomalous signals in CMS HCAL”, http://cds.cern.ch/record/1479437/files/CR2012_238.pdf, (Erişim Tarihi: 30 Aralık 2016).
- Cms Conference Report, 2013. “Status of the Upgrades for the CMS Hadron Calorimeter” http://cds.cern.ch/record/1504319/files/CR2013_002.pdf, (Erişim Tarihi: 30 Aralık 2016).
- 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=ECAL_ncol.pdf, (Erişim Tarihi: 30 Aralık 2016).
- Cms Hcal Collaboration, 2006. “Design, Performance, and Calibration of CMS Hadron-Barrel Calorimeter Wedges”, CMS Note, CMS NOTE 2006/138, http://cds.cern.ch/record/1049915/files/NOTE2006_138.pdf, (Erişim Tarihi: 30 Aralık 2016).
- Cms Hcal Collaboration, 2006. “Design, Performance, and Calibration of CMS Forward Calorimeter Wedges”, CMS Note, CMS NOTE 2006/044, https://inspirehep.net/record/720904/files/NOTE2006_044.pdf, (Erişim Tarihi: 30 Aralık 2016).
- Cms Hcal Collaboration, 2006. “The CMS Outer Hadron Calorimeter”, CMS Note, CMS NOTE 2006/127, http://inspirehep.net/record/726638/files/NOTE2006_127.pdf, (Erişim Tarihi: 30 Aralık 2016).

- 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, (Erişim Tarihi: 30 Aralık 2016).
- Dumanoglu, I., Guler, Y., Gurpinar, E., Kunori, S., Lezki, S., Tali, B., 2015. “Noise Filter Performance studies for CMS HF by comparing new and old PMTs using Collection of data taken in 2012”, CMS Detector Note, CMS DN-2015/024, http://cms.cern.ch/iCMS/jsp/openfile.jsp?type=DN&year=2015&files=DN2015_024.pdf.
- 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, (Erişim Tarihi: 30 Aralık 2016).
- Focardı, 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, (Erişim Tarihi: 30 Aralık 2016).
- Mans, J., 2012. “The Hadron Calorimeter Project Technical Design Report”, CERN-LHCC-97-031; CMS-TDR-2, https://cds.cern.ch/record/357153/files/CMS_HCAL_TDR.pdf, (Erişim Tarihi: 30 Aralık 2016).
- Penzo, A. and OneL, Y., 2008, XIII International Conference on Calorimetry in High Energy Physics, “The CMS-HF quartz fiber calorimeters”, http://inspirehep.net/record/822895/files/jpconf9_160_012014.pdf, (Erişim Tarihi: 30 Aralık 2016).

Pmt Tubes Principles & Applications, 2002. "PHOTOMULTIPLIER TUBES",
www2.pv.infn.it/~debari/doc/Flyckt_Marmonier.pdf,
<https://tr.scribd.com/document/332843824/Flyckt-Marmonier-pdf>, (Erişim
Tarihi: 30 Aralık 2016).

https://tr.wikipedia.org/wiki/Standart_Model

https://en.wikipedia.org/wiki/Large_Hadron_Collider

<http://home.cern/topics/large-hadron-collider>

<http://home.cern/about/experiments>

<http://home.cern/about/experiments/alice>

<http://home.cern/about/experiments/atlas>

<http://home.cern/about/experiments/lhcb>

http://indico.cern.ch/event/246600/attachments/423723/588246/CERNTR_-_16.04.2013_2.pdf

https://indico.cern.ch/event/588258/contributions/2371635/attachments/1371035/2079407/kunori_20161114_HFqie10_Pulse.pdf

<https://cds.cern.ch/record/841560/files/lhc-pho-1997-057.jpg>

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

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

<http://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0168900212005657-gr5.jpg>

http://www.fnal.gov/pub/today/images/images04/Calorimeter_Wedges.jpg

ÖZGEÇMİŞ

04.10.1992 yılında Adana'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adana'da tamamladı. 2010 yılında Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde Lisans öğrenimine başladı. 2014 yılında Fizik bölümünden mezun oldu. 2014 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Fizik Anabilim Dalında tezli yüksek lisans programına başladı. 2016 yılının Haziran – Ekim ayları arasında CERN'deki CMS deneyinde yapılan çalışmalara katıldı.