ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bahriye KAPLAN

İLERİ HADRONİK KALORİMETRE (HF)'İN LED'LERİNDE GÖZLENEN TEKLEME PROBLEMİ

FİZİK ANABİLİM DALI

ADANA-2022

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İLERİ HADRONİK KALORİMETRE (HF)'İN LED'LERİNDE GÖZLENEN TEKLEME PROBLEMİ

Bahriye KAPLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

Bu Tez 08/09/2022 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/~~Oyçokluğu~~ ile Kabul Edilmiştir.

……	…….	……
Prof. Dr. Eda EŞKUT	Prof.Dr. Ayşe POLATÖZ	Doç.Dr. Hüseyin TOPAKLI
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Fizik Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof.Dr.Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

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

İLERİ HADRONİK KALORİMETRE (HF)'İN LED'LERİNDE GÖZLENEN TEKLEME PROBLEMİ

Bahriye KAPLAN

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Eda EŞKUT
Yıl: 2022 Sayfa: 69
Jüri : Prof. Dr. Eda EŞKUT
: Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ
: Doç. Dr. Hüseyin TOPAKLI

CMS dedektörünün global veri alımı sırasında Hadronik İleri (HF) alt kalorimetresinin elektroniklerinden kaynaklı bir sorun gözlenmiştir. Bu verileri içeren veri seti analiz edilerek sorunun gözlendiği elektronik kanallar tespit edilmiştir. Ayrıca, sorunlu tespit edilen lumi aralıklarnın Golden JSON dosyasına eklenmemesi önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: CMS, HKAL, HF, QIE10

ABSTRACT

MSc THESIS

A MISFIRE PROBLEM OBSERVED IN THE LEDs OF THE FORWARD HADRONIC CALORIMETER (HF)

Bahriye KAPLAN

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF PHYSICS

Supervisor : Prof. Dr. Eda EŞKUT
Year: 2022 Pages: 69
Jury : Prof. Dr. Eda EŞKUT
: Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ
:Assoc. Prof. Dr. Hüseyin TOPAKLI

During the global data acquisition of the CMS detector, a problem regarding the front-end electronics of the Hadronic Forward (HF) sub-calorimeter is observed. The data set containing these runs are analyzed and the corresponding electronic channels where the problem was observed are identified. In addition, the problematic lumi sections are recommended not to be added to the Golden JSON file.

Key Words: CMS, HCAL, HF, QIE10

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Bugün dünyanın en büyük hızlandırıcısı olarak bilinen Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi (CERN)'ndeki Büyük Hadron Çarpıştırıcı (BHÇ), uzunluğu 27 km olan dairesel bir hızlandırıcıdır. İsviçre-Fransa sınırlarını içine alacak biçimde yerin altında bulunan tünele yerleştirilmiştir. Tünelin içinde hem proton-proton (p-p) hem de kurşun-kurşun (Pb-Pb) hüzmeleri hızlandırılmaktadır. p-p çarpışmaları için toplam hüzme enerjisinin $\sqrt{s} = 14\ \mathrm{TeV}$ ve ışıklılık $L = 10^{34}\,\mathrm{cm}^{-2}\mathrm{s}^{-1}$, Pb-Pb çarpışmaları için ise kütle merkezi enerjisinin $\sqrt{s} = 5.5\,\mathrm{TeV}$ ve $L = 10^{27}\,\mathrm{cm}^{-2}\mathrm{s}^{-1}$ ışıklılık değerine ulaşması hedeflenmektedir. BHÇ üzerinde ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS - Büyük Toroidal Detektör), CMS (Compact Muon Solenoid- Sıkı Müon Solenoid), ALICE (A Large Ion Collider Experiment- Büyük İyon Çarpıştırıcı Deneyi), LHCb (The Large Hadron Collider beauty - Büyük Hadron güzellik Çarpıştırıcı) deneyleri bulunmaktadır.

CMS detektörü silindirik yapıya sahip olup kütlesi 14.000 ton, çapı 15 m ve uzunluğu 28.7 m dir. CMS'in etkileşme noktası (IP)'ndan hemen sonra İzleyici dedektör, İzleyiciden sonra elektromanyetik kalorimetre (EKAL) ve onu saran hadronik kalorimetre (HKAL) yer almaktadır. HKAL detektör boyunca güçlü bir manyetik alan oluşturan süper iletken solenoid mıknatıs ile çevrelenmiştir. CMS'in en dışında müon odacıkları bulunur. CMS deneyinde Higgs bozonu, Süpersimetrik (SÜSİ) parçacık araştırmaları, karanlık madde, karanlık enerji, ekstra boyutlar, Yük eşlenikliği (CP) kırınımı, B-fiziği, ileri fizik araştırmaları gibi önemli fizik konuları araştırılmaktadır.

Yüklü parçacıkların yolu CMS deneyinde yaklaşık 75 milyon elektronik sensörden oluşan bir silikon İzleyici dedektör ile izlenmektedir. Yüklü parçacıkların izleri kullanılarak onların momentumları ve kimlikleri tespit edilmektedir. Parçacık yoğunluğunun çok yüksek olduğu detektörün merkezinde üç

katmandan oluşan silikon piksel ve onu saran on katmanlı silikon mikro şerit detektör bulunmaktadır.

İzleyiciden sonra elektromanyetik etkileşme yapan elektron, pozitron ve foton gibi hafif kütleli parçacıklar EKAL'ye geçerler. Bu dedektörün malzemesi ile etkileşen parçacıklar enerjilerini kalorimetrede bırakır. Dedektörün aktif malzemesi kurşun tungstant ($PbWO_4$) kristallerinden oluşmuştur.

Hadronların enerjisi HKAL tarafından ölçülür. HKAL'de soğurucu olarak manyetik alandan fazla etkilenmeyen pirinç malzeme kullanılmıştır. Dedektör Hadronik Fıçı (HB), Hadronik Uç Kapak (HE), Hadronik Dış Kalorimetre (HO) ve İleri Hadron Kalorimetre (HF),) olarak bilinen dört alt detektörden oluşmuştur. Ayrıca ileri bölgeye yerleştirilen CASTOR (Centauro And Strange Object Research - Centauro ve Acayip Parçacık Araştırıcısı) ve ZDC (Zero Degree Calorimeter - Sıfır Derece Kalorimetre) de bulunmaktadır. Bunun dışında CMS'in etkileşim noktasının her iki yanına yerleştirilen ve iki detektörden oluşan TOTEM (Toplam Esnek ve Difraktif tesir kesiti ölçümü) dedektörleri vardır.

CMS deneyi 3.8 Teslalık manyetik alan oluşturan güçlü bir süper iletken solenoid mıknatısa sahiptir. İzleyici, EKAL ve HKAL mıknatısın iç kısmına Müon Odacıkları ise dış kısmına yerleştirilmiştir.

Müon odacıkları birkaç GeV'den birkaç TeV'ye kadar olan geniş bir enerji aralığında müonları varlamak ve momentumlarını ölçmek üzere tasarlanmıştır. CMS'nin kalorimetreleri ve bobinin arkasında bulunmaktadır. Sürüklenme tüpü (DT), katot şerit odası (CSC) ve dirençli plaka odasından (RPC) oluşmuştur.

HF $3 \leq |\eta| \leq 5$ psüdorapidite aralığını kapsamaktadır. İleri yöndeki jetlerin parçacık bozunumlarını tespit etmek, yeniden yapılandırmak, kayıp dik enerjiyi belirlemek ve ışıklılık ölçümleri için tasarlanmıştır. IP'den 11,2 m uzaklığa HF± olmak üzere iki modül olarak yerleştirilmiştir. Kalorimetrenin aktif malzemesi kuvars fiberler, soğurucu malzeme ise 5mm kalınlığında oluklu levhalardan oluşan çeliktir. Fiberler olukların içine gömülüdür. Soğurucuda oluşan duşlar Çerenkov ışımasını oluşturur ve oluşan ışınım fiberler tarafından varlanır.

Bu ışınımlar fiberin içinde tam yansımaya uğrayarak, ışık kılavuzları aracılığı ile Foto Çoğaltıcı Tüp (FÇT)'lere ulaşır. Çerenkov ışığının yoğunluğu duşun oluşmasına neden olan gelen parçacıkların enerjisi ile orantılıdır. Gelen her parçacığın enerjisi FÇT'lerdeki fotonlar sayılarak ölçülür.

FÇT'in giriş penceresinden gelen ışık foto katot üzerine düşer ve fotoelektrik olay aracılığıyla malzemeden foto elektron söker. Foto katot gelen fotonun enerjisini foto elektrik etki ile elektrik akımına dönüştürmektedir. Sökülen foto elektronlar dinota doğru hızlandırılır, odaklanır ve ikincil elektron yayınımını oluşturur. Son dinota çarpan ikincil elektronlar anot tarafından toplanır. Anot ikincil elektronların toplandığı ve dış devrelere akım olarak aktarıldığı bir elektrottur. FÇT'ler fiberlerden gelen ışığı elektrik sinyallerine dönüştürür.

BHÇ'de hüzme enerjisi ve ışıklılığın yavaş yavaş artması sonunda CMS'deki dedektörlerin bazı bileşenlerinin iyileştirilmesi ve yenilenmesi gerekmiştir. Bunlardan biri HF'de daha önce kullanılan tek anotlu R7525 FÇT'ler yerine dört anotlu Hamamatsu R7600U-200-M4 FÇT'ler dir.

HF'deki Veri Akış Sistemi (DAQ) Ön Uç (FE) ve Arka Uç (BE) elektroniği ile sağlanmaktadır. FE, FÇT'lerden gelen sinyalleri sayısal veriye dönüştürerek BE elektroniğine gönderir. Bu iş yük toplayıcı ve kodlayıcı (QIE) kartları aracılığı ile sağlanmaktadır. BE ise QIE kartlarından gelen sayısal verileri mikro yüksek tetikleme okuyucu (μHTR)'ye göndermekten sorumludur.

QIE kartlar, FÇT'lerden gelen analog sinyalleri sayısal veriye dönüştüren donanımlardır. 24 analog giriş kanalına sahip olduklarından her bir kartta aynı anda 24 farklı sinyal işlenmektedir. Her bir FÇT iki kanalla okunduğundan her QIE kartı 12 adet FÇT'den gelen sinyali aynı anda okumaktadır. Faz-1 yükseltme çalışmaları kapsamında HF'de daha önce kullanılan QIE8 kartlarının yerine QIE10 kartları kullanılmaya başlamıştır. QIE ailesine eklenen QIE10 ve QIE11 kartları CMS'in iyileştirmesi/yenilenmesi çalışmaları için tasarlanmıştır. Bir QIE10 kartı, alan programlayabilir kapı dizisi (FPGA) köprüsü, IGLOO2 FPGA, çok yönlü çift

verici (VTTx), MTP konektörü, Winchester konektörleri, zaman sayısal dönüştürücü (TDC) ve DC-DC dönüştürücülerden oluşmaktadır.

Eylül 2018'de Point 5'de global veri alınırken uzmanlar veri akış sistemi (DAQ) histogramlarında HF kalorimetrenin elektroniklerinden kaynaklanan bir sorun ile veri kalitesinin bozulduğunu gözlemiştir. Ön-uç sürücü (FED) elektronikleri alarm vererek HKAL histogramlarında LEDMisfire bayrağı hata (kırmızı çizgi) vermiştir. Bu alarmların HF'in + modülünün 4. kaması (HFP04)'nda bulunan okuma kutularındaki QIE10 kartlarının üzerindeki kapasitörlerden (CapID) kaynaklandığı tespit edilmiştir. Mevcut problemi anlamak için global veri alımı durdurulmuş ve veri alımı tekrar başlatılmıştır. Aynı CapID sorunu diğer veri alımının başlangıcında da görülmüştür. FED1121 ile ilgili HKAL alarmlarının nedenini anlayabilmek için HFP04'un düşük voltaj (LV) sistemi yeniden başlatılmıştır. Bundan dolayı HKAL 6 dakika 30 saniye boyunca "düşük-degraded" durumunda çalışmış ve otomatik olarak kendini toparlamıştır. LV sisteminin yeniden başlatılmasının HF'deki LED bayrağını teklettiği gözlenmiştir. JetHT/Run2018D-v1/RAW veri seti kullanılarak problemin nedeni ve çözümü araştırılmıştır. Bunun için CMSSW_10_2_1 versiyonu ve HCALPFG/HcalTupleMaker analiz paketi kurulmuştur. Global etiket 101X_dataRun2_HLT_v7 kullanılarak veri numaralarına ait Ntuple'lar üretilmiştir.

HF'de kullanılan QIE10 bilgileri kullanılarak yük (fC), analog – sayısal dönüştürücü (ADC) ve zaman sayısal dönüştürücü TDC dağılımlarına bakılmıştır. ADC dağılımlarında 25 ns'lik döngü için yük aralığı (256) içinde kapasitörün boşalımını tamamlayamadığı görülmüştür. Bu sorun alınan verinin ilgili ışıklılık bölümünde veri kalitesinin bozulmasına neden olmuştur. Yük dağılımları incelendikten sonra TDC dağılımlarına bakılmıştır. TDC, 50 bin aralığına sahiptir. Düzgün çalışan QI10 kartı ile elde edilen veride sinyalin bu aralık içinde olması gerekir. Fakat bu verilerde, nominal aralığı (50)'nın dışında da sinyaller gözlenmiştir. Sorunun hangi HF modülünde olduğunu anlamak için HF+/– modüllerindeki yük dağılımlarına bakılmıştır. HF+'a ait yük dağılımlarında

kapasitördeki yük boşalmasından kaynaklanan yüksek genlikli yük değerlerinin ortaya çıktığı gözlenmiştir. Ayrıca tüm HF için ışıklılık bölümlerine (LS Lumi Section: 23 saniyelik veri alımının gerçekleştiği süre) karşılık gelen yük dağılımları elde edilerek kapasitör sorunun hangi ışıklılık değerlerinde ortaya çıktığı da araştırılmıştır. HKAL'in ieta/iphi haritalanmasından yararlanarak sorunlu ön-uç elektroniğinin detektörün hangi bölümünde olduğunu belirleyebilmek için ieta'ya karşılık gelen iphi dağılımlarına bakılmıştır. Dağılımlarda iki kanalın yük değerlerinin diğer kanallardaki yük değerinden daha fazla olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak online DQM histogramlarında gözlenen sorun araştırılarak sorunlu HF'in elektronik kanallarının id'si belirlenmiştir. Sorunun tespit edildiği lumi aralıkları, fizik analizlerinde kullanmak için önerilen lumi aralıklarının belirlendiği dosyaya (Golden JSON file) eklenmemiştir.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aşamasında desteğini hissettiğim, yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Eda EŞKUT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tezimin analiz kısımlarında bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan ve beni olumlu yönde yönlendiren Dr. Zühal Şeyma DEMİROĞLU'na katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Tezim ile ilgili değerli yorumlarda bulunan bilgi ve deneyimlerini paylaşan jüri üyelerine (Prof. Dr. Eda EŞKUT, Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ ve Doç. Dr. Hüseyin TOPAKLI) teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET III
TEŞEKKÜR IX
İÇİNDEKİLER X
TABLOLAR DİZİNİ XII
ŞEKİLLER DİZİNİ …….. XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR XVI
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 3
2.1. Büyük Hadron Çarpıştırıcı 3
2.2. Büyük Hadron Çarpıştırıcısındaki Deneyler 6
2.3. CMS Deneyi 11
2.3.1. İzleyici 14
2.3.2. Solenoid Mıknatıs 15
2.3.3. Kalorimetreler 16
2.3.3.1 EKAL (Elektromanyetik Kalorimetre) 16
2.3.3.2 HKAL (Hadronik Kalorimetre) 18
2.3.4. Müon Odacıkları 22
3. MATERYAL VE METOD 25
3.1 İleri Hadronik Kalorimetre (HF) 25
3.2. HF'de İyileştirme Çalışmaları 30
3.2.1 Foto Çoğaltıcı Tüp 30
3.2.2. Okuma Kartları 36
3.2.3. Ön-Arka Uç Elektroniği 37
3.2.4. QIE (Yük Toplayıcı ve Kodlayıcı) kartları 38
3.2.4.1. QIE10 kartları 41

3.2.4.2 IGLOO2 FPGA 43
3.2.4.3 VTTx 43
3.2.4.4 FPGA Köprüsü 43
3.2.4.5. Zaman Sayısal Dönüştürücü (TDC) 44
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 45
4.1. HF'de Değiştirilen Bileşenler 45
4.2. HF'de Arka Uç (BE) elektroniklerinin İyileştirilme Çalışmaları 48
4.3 Global Veri Alımı Sırasında Gözlenen HF LED Bayrağının Teklemesi 49
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 61
KAYNAKLAR 63
ÖZGEÇMİŞ 69

TABLOLAR DİZİNİ **SAYFA**

Tablo 4.1. HKAL bölümleri için kasa ve FED numaraları. 51
Tablo 4.2. QIE10'a ait giriş yükünün çıkış koduna nominal eşleşmesi 54

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 2.1. BHÇ'nin çalışma takvimi 6
Şekil 2.2. BHÇ tünelinin bir bölümü 7
Şekil 2.3 BHÇ halkası üzerindeki deneyler ve parçacık hızlandırma sistemi 7
Şekil 2.4. CMS detektörü 13
Şekil 2.5. CMS detektörünün bir bölümü 13
Şekil 2.6 CMS deneyindeki EKAL 18
Şekil 2.7. HKAL dedektörü 20
Şekil 2.8. HKAL'in alt detektörleri 21
Şekil 2.9. CMS Dedektörlerinin Rapidite Aralıkları ve Azimutal Açıları 22
Şekil 2.10. Pseudoapidite aralıklarında müon odacıklarının yeri. 23
Şekil 3.1. Etkileşme noktası (IP)'ndan hüzme eksenine doğru HF'in görünümü 25
Şekil 3.2. HF'in çelik kamaları içine gömülen kuvars fiberler. 27
Şekil 3.3. Bir kuledeki fiberlerin görünümü (kırmızı: kısa fiberler, yeşil: uzun fiberler, beyaz: radyoaktif kaynak telleri) 29
Şekil 3.4. HF + modülü 29
Şekil 3.5. Tipik bir FÇT 30
Şekil 3.6. Bir FÇT 'nin yapısı 31
Şekil 3.7. Hamamatsu R7525 ve Hamamatsu R7600U-200-M4 FÇT'leri. 33
Şekil 3.8 Hamamatsu R7525 marka FÇT'lerden birindeki ana sinyale göre ardarda pik geciktirmesi 34
Şekil 3.9. FÇT'ler ve taban tablası 36
Şekil 3.10. Adaptör kartı eklenmiş FÇT taban tablası 37
Şekil 3.11. Winchester bağlantı kablosu 39
Şekil 3.12. Bir QIE kartının ön yüzü ve bileşenleri 41
Şekil 4.1. Yenilenen/ İyileştirilen HF'in bazı yeni bileşenleri 45

Şekil 4.2. HF'de veri akışı 46
Şekil 4.3. HKAL'in veri blok diyagramı 47
Şekil 4.4. HKAL'in HF kalorimetresinde gözlemlenen BadCapID ve LEDMisfire hataları. 52
Şekil 4.5. Hassaslığı belirlemek için yükün mantise karşı grafiği 55
Şekil 4.6. Veri 323524 ve 323525 için HF yük (sol) ve ADC (sağ) dağılımları. 56
Şekil 4.7. Veri 323524 ve 323525 için HF TDC dağılımları. 57
Şekil 4.8. HF- yük dağılımı (sol), HF- yük dağılımının büyütülmüş hali (orta), ve HF+ yük dağılımı (sağ). 58
Şekil 4.9. HF için LS'ye karşılık yük dağılımı (a) Veri 323524 (b) Veri 323525 (c) Veri 323525 için elde edilen dağılımın skalasının büyütülmüş hali. 59
Şekil 4.10. HF ieta'sina karşılık iphi dağılımları: Tüm HF (sol), HF+(orta) ve HF+'in sorunun tespit edildiği bölgenin daha ayrıntılı hali (sağ). 60

SİMGELER VE KISALTMALAR

SM	: Standart Model
SUSİ	: Süpersimetri
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 Kesiti Ölçüm Detektörü
PS	: Proton Sinkrotronu
SPS	: Süper Proton Sinkrotronu
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
ngFEC	: yeni nesil Ön Arka Uç Kontrolü
FÇT	: Foto Çoğaltıcı Tüp
HTR	: Yüksek Tetikleme Okuyucusu

μHTR	: Mikro Hadronik Tetikleme Okuyucu
ngCCM	: yeni nesil Saat ve Kontrol Modülü
DC	: Doğru Akım
DAQ	: Veri Akış Sistemi
cDAQ	: Merkezi Veri Akış Sistemi
QIE	: Yük Toplayıcı ve Kodlayıcı
GOL	: Gigabit Optik Link
DCC	: Veri Toplama Kartı
WLS	: Dalga Boyu Kaydırıcı
RBX	: Okuma Kutusu
RM	: Okuma Modülü
FE	: Ön Uç
BE	: Arka Uç
DTC	: Veri ve Zaman Okuyucu Kart
CCM	: Saat ve Kontrol Modülü
CM	: Kalibrasyon Modülü
ADC	: Anolog Sinyal Dönüştürücü
TDC	: Zaman Sayısal Dönüştürücü
TDR	: Teknik Tasarım Raporu
SiFÇ	: Silikon Foto Çoğaltıcı
FPGA	: Alan Programlayabilir Kapı Dizisi
WLS	: Winchester Bağlantı Kablosu
CCA	: Özel Toplu Devre Kontrol Kartı
GOL	: Gigabit Optik Bağlantı
VBF	: Vektör Bozon Füsyon
VME	: Versa Modül Avrupa
VTTx	: Çok Yönlü Çift Verici
$PbWO_4$	: Kurşun Tungstant

AMC	: Gelişmiş Arakat Kartı
DCC	: Veri Yoğunlaştırıcı Kart
TeV	: Trilyon Elektron Volt
HV	: Yüksek Voltaj
LV	: Düşük Voltaj
GBT	: Gigabit Alıcı Verici
FED	: Ön Uç Sürücü

1. GİRİŞ

Günlük yaşamımızda karşılaştığımız doğa olayları fizik biliminin ilkeleri ve kuralları ile açıklanmaktadır. Fiziğin alt dallarından biri olan Yüksek Enerji veya Parçacık Fiziği ile evrenin oluşumu, işleyişi, madde ve doğadaki temel kuvvetler ve aralarındaki ilişkiler araştırılmaktadır. Bu araştırmalar çok yüksek enerji bölgelerinde geçerli olduğundan ve atom altı parçacıkların doğasını anlamayı hedeflediğinden bu alt bilim dalı Yüksek Enerji ve/veya Parçacık Fiziği adını almıştır. Araştırmaların deneysel kısmı son teknolojilerin kullanıldığı parçacık hızlandırıcıları ve detektörleri ile yapılmaktadır. Hızlandırıcıların üstüne yerleştirilen detektörlerden alınan verilerin analizleri parçacıkların gizemli dünyasını aralarken insanlığa yararlı yeni teknolojik ürünlerin doğmasını ve gelişmesini sağlamaktadır. Kuramsal kısmı ise Standart Model (SM) ile açıklanmaktadır.

Günümüzde dünyanın en kapsamlı ve en yüksek enerjiye sahip hızlandırıcısı İsviçre-Fransa sınırlarını içine alan Avrupa Araştırma Merkezi (CERN)'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ)'dir. BHÇ'de 14 TeV kütle merkezi enerjisine sahip proton-proton $(p-p)$ ve 5.5 TeV kütle merkezi enerjisinde çekirdek-çekirdek hüzmeleri çok yüksek vakumda birbirlerine zıt yönlerde hareket ederek çarpıştırılmaktadır. Halka üzerinde dört büyük deney bulunmaktadır. Bu deneylerden biri Sıkı Müon Solenoid (CMS) dir. Deneyin uzun yıllar fizik verisi toplaması planlanmaktadır. Bu süreçde detektörlerdeki bazı malzemeler ve/veya dedektör bileşenleri çok yüksek enerji ve ışıklılıktan etkilenmektedir. Dedektörlerin çalışacağı yıllar içinde üç uzun mola verilmesine karar verildiğinden belirli dönemlerdeki molalarda dedektörlerin iyileştirilmesi ve yenilenmesi ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır.

Bu tez çalışması BHÇ'nin ilk molası olan Faz 1 esnasında CMS'deki Hadronik Kalorimetre (HKAL)'in alt dedektörlerinden İleri Hadronik Kalorimetre (HF)'in elektroniği ile ilgili problemlerinden birini kapsamaktadır.

Tezin önceki çalışmalar kısmında BHÇ halkasının üzerindeki deneyler, CMS deneyi ve CMS dedektörünün alt bileşenleri hakkında kısaca bilgi verilmiştir. Materyal ve metot kısmında Faz 1 molası esnasında HF'in iyileştirilen ve/veya yenilenen bazı parçaları tartışılmaktadır. 2018 yılında HF'in performans test çalışmaları esnasında global veri alınırken kalorimetrenin ön-uç elektroniklerindeki problemden dolayı veri kalitesinin bozulduğu gözlenmiştir. HF'in ön-uç elektroniklerinden olan QIE kartlarının üzerindeki bazı CapID'lerden kaynaklandığı tespit edilen sorun tezin araştırma ve bulgular kısmında tartışılmıştır. Tezin sonuç ve öneriler kısmında ise mevcut sorunun çözümü için yapılan çalışmalar sunulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Büyük Hadron Çarpıştırıcı

CERN'nde bulunan BHÇ, uzunluğu 27 km olan dairesel bir hızlandırıcıdır. İsviçre - Fransa sınırlarını içine alacak biçimde coğrafi duruma bağlı olarak yerin 100 m altına inşa edilmiştir. Derinliği 50 m (Cenevre gölüne doğru) ile 175 m (Jura dağlarının altında) arasında değişmektedir (https://home.web.cern.ch/sites/default/files/2018-07/CERN-Brochure2017-002-Eng_0.pdf). Parçacıklar BHÇ'ye ulaşmadan bir hızlandırıcı sisteminden geçer. Hızlandırma işleminden önce hidrojen gazı iyon ışını kaynağına enjekte edilmektedir. Uygulanan elektrik alanıyla hidrojen atomları elektronlarından ayrılır ve protonlar ayrıştırılır. Oluşan protonların enerjisi Doğrusal Hızlandırıcı 2 (LINAC2)'de 50 MeV'a sonra bir dairesel hızlandırıcı olan Proton Sikrotron Hızlandırıcı (PBS)'de 1,4 GeV enerjisine çıkarılmaktadır. Buradan Proton Siklotronu (PS)'ye geçen protonların enerjisi 26 GeV'ye daha sonra ise Süper Proton Sinklotronu (SPS)'de 450 GeV'ye ulaşır. SPS halkasından BHÇ halkasına geçen parçacıklar burada birbirlerine zıt yönde hızlandırılırlar. BHÇ'de sadece proton hüzmeleri çarpışmaz. Bunun yanı sıra büyük patlamadan hemen sonra oluştuğuna inanılan çok yoğun maddenin kuark-gluon plazma yapısını anlamak için kurşun-kurşun (Pb-Pb) çekirdekleri de çarpıştırılmaktadır. BHÇ'ye aktarılan parçacık demetleri (protonlar ya da kurşun iyonları) aynı boru içinde yüksek vakumda, birbirlerine zıt yönlerde hareket etmektedir. Parçacık demetleri BHÇ halkasının üzerinde bulunan dört deney noktasında birbirleriyle yaklaşık 40 MHz'de çarpıştırılmaktadır. Çarpışmalar her 25 nano saniyede bir gerçekleşmektedir. Süper iletken mıknatıslar ile çok güçlü bir manyetik alan oluşturulmuştur. Elektromıknatıslar süper iletken durumda çalışan direnç veya enerji kaybı olmadan elektriği verimli bir şekilde ileten özel elektrik kablolu bobinlerinden yapılmıştır. Bu durum uzaydan daha soğuk ortam olan -271.3 C'a

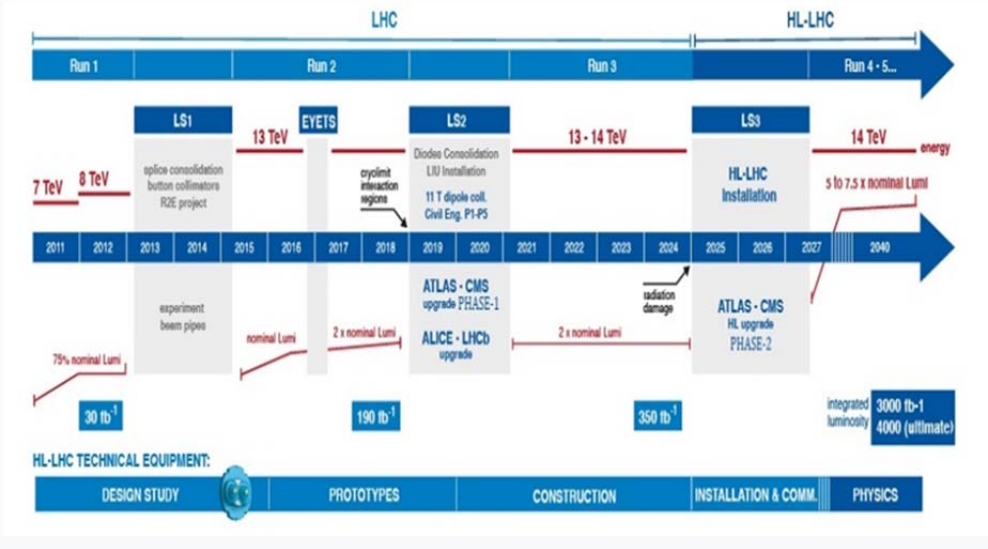
kadar soğutulmayı gerektirir. Bu nedenle hızlandırıcıların çoğu mıknatısları soğutan sıvı helyum sistemine bağlıdır.
(https://home.cern/science/accelerators/large-hadroncollider). Parçacık hüzmelerini BHÇ'de bükmek için her birinin uzunluğu $15\ \mathrm{m}$ olan 1232 adet dipol mıknatıs, parçacıkları odaklamak için ise her biri $5-7\ \mathrm{m}$ uzunluğunda olan 392 adet kuadropol mıknatıs kullanılmıştır
(http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/HowLHC-en.html).

BHÇ'de $p-p$ çarpışmaları için toplam kütle merkezi enerjisi $\sqrt{s} = 14\ \mathrm{TeV}$, ışıklılık $L = 10^{34}\,\mathrm{cm}^{-2}\mathrm{s}^{-1}$, $Pb-Pb$ çarpışmaları için kütle merkezi enerjisi $\sqrt{s} = 5.5\,\mathrm{TeV}$ olup ışıklılık $L = 10^{27}\,\mathrm{cm}^{-2}\mathrm{s}^{-1}$ değerindedir. Işıklılık, hızlandırıcının performansı ile ilgili olup belirli bir zamanda birim yüzey başına oluşacak olası çarpışma sayısıdır. Anlık ışıklılık, $\mathrm{cm}^{-2}\ \mathrm{s}^{-1}$ olarak verilir. Toplam ışıklılık, fb^{-1} olarak ölçülür ve belirli bir zamanda oluşabilecek çarpışma sayısıdır. 100 katrilyon çarpışma 1 fb^{-1}'dir.

BHÇ'de ilk fizik veri alımı Eylül 2008'de başlamış fakat teknik bir arızadan dolayı Kasım 2009'da veri alımı sonlandırılmıştır. 2009 yılının Kasım ayı sonlarına doğru tekrar çarpışma verisi toplanmaya başlamıştır. $p-p$ hüzmelerinin enerjisi yavaş yavaş artırılarak 2010 ve 2011 yıllarında hüzme başına enerji $\sqrt{s} = 7\ \mathrm{TeV}$'ye ulaşmıştır. 2009-2011 yılları arasında 6 fb^{-1}'lık toplam ışıklılıkla veri toplanmıştır. 2013 yılının başlarında ise toplam enerji $\sqrt{s} = 8\ \mathrm{TeV}$, anlık ışıklılık $L = 7 \times 10^{33}\,\mathrm{cm}^{-2}\mathrm{s}^{-1}$'e yaklaşırken toplam ışıklılık 11 fb^{-1} olmuştur (CMS Collaboration, 2012). BHÇ ve enjektör zinciri için LS1, LS2 ve LS3 olarak adlandırılan üç uzun molaya karar verilmiştir. Molalar süresince BHÇ'deki detektörlerin bakım ve onarımları yapılarak gerekli görülen bazı dedektör parçaları değiştirilmektedir. Şubat 2013'de deneysel veri alımı sonlandırılmış, dedektörlerin yenilenmesi ve iyileştirilmesi için ilk mola olan Faz-1 dönemine geçilmiştir. Nisan 2015'de başlayan çarpışma testlerinden sonra enerji tekrar artırılarak Mayıs

2015'de $\sqrt{s}=13\text{TeV}$ değerine ulaşmıştır. Temmuz 2015'te başlayan ikinci veri alımı 2016 yılını da kapsamıştır (https://home.cern/about/updates/2016/05/2016-physics-season-starts-lhc-0). 2016-2018 yılları arasında kütle merkezi enerjisi $\sqrt{s}=13\text{TeV}$ ve ulaşılan toplam ışıklılık 23.2 fb^{-1}dir. LS2 (2018 yılında) mola döneminde, enjektör zincirinin BHÇ'ye çok parlak demetler (yüksek yoğunluk ve düşük yayınım) verecek şekilde geliştirilmesi ve yükseltilmesine karar verilmiştir. BHÇ'nin asıl performans hedefi, 25 ns demet aralığında $L = 10^{34}\,\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$'lik anlık ışıklılıkta çalışmasıdır. Bu koşullar altında CMS'de olay birikmesi olarak adlandırılan demet geçişi başına ortalama yaklaşık 25 esnek olmayan etkileşme beklenmektedir.

2019 yılında ikinci Uzun Mola (LS2) dönemine girilmiştir. LS2 döneminde Faz-1, LS3 döneminde ise Faz-2 yükseltme çalışmalarının yapılması kararlaştırılmıştır. Yükseltme çalışmalarından sonra, anlık ışıklılık $5 \times 10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, toplam ışıklılık $3000\,\text{fb}^{-1}$ değerine çıkacaktır. Yüksek Işıklılık-BHÇ (HL-LHC) olarak adlandırılan bir proje vardır. Projenin temel amacı, BHÇ'deki dedektörlerin çok daha büyük miktarda fizik verisi toplamasıdır 5 Temmuz 2022 tarihinde BHÇ'de pp hüzme enerjisi $\sqrt{s} = 13.6$ TeV'e çıkarılarak RUN3 dönemi başlatılmıştır. BHÇ'nin yıllar içinde işletimi ile ilgili zaman çizelgesi Şekil 2.1'de verilmiştir (CMS Collaboration, 2017).



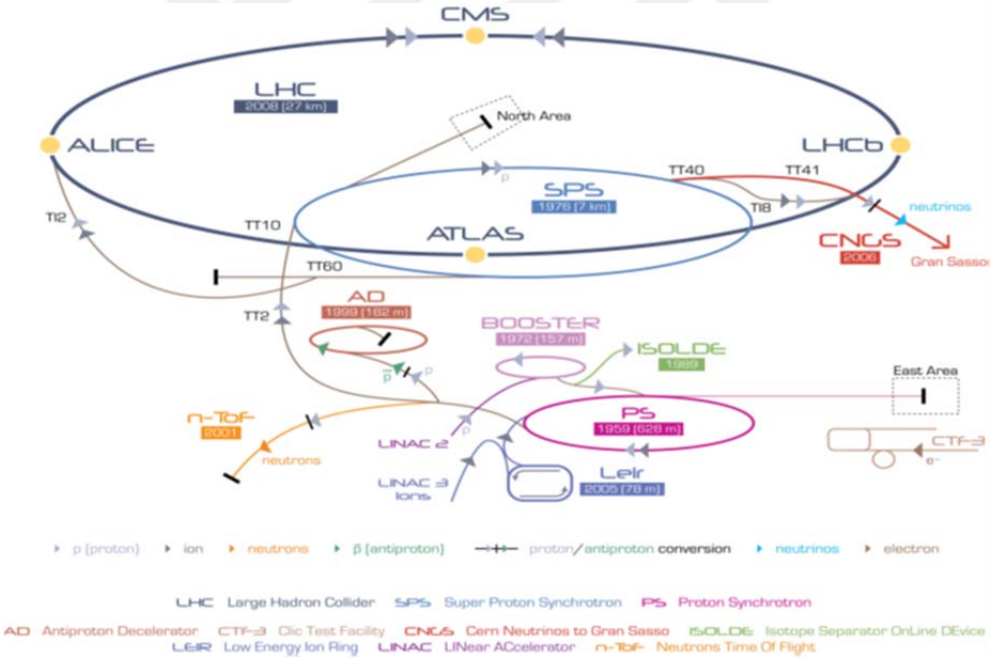
Şekil 2.1. BHÇ'nin çalışma takvimi (CMS Collaboration, 2017)

2.2. Büyük Hadron Çarpıştırıcısındaki Deneyler

Elektrik alanı etkisi altında hızlandırılan parçacıklar süper iletken mıknatıslar aracılığı ile dairesel BHÇ tünelinin içinde tutulur. Şekil 2.2'de tünelin küçük bir bölümü görülmektedir. Tünelde her birinde 154 çift kutuplu ve 54 dört kutuplu süper iletken elektro mıknatıstan oluşan sekiz bölüm vardır. Çift kutuplu elektro mıknatıslar parçacık demetlerinin vakum tüp içinde dairesel yörünge üzerinde kalmasını sağlar, demetler dört kutuplu elektro mıknatıslarla odaklanır (https://home.cern/about/updates/2016/05/2016-physics-season-starts-lhc-0). BHÇ halkasının üzerinde dört çarpışma noktası bulunmaktadır. Bu noktalarda ATLAS (Büyük Toroidal Dedektör), CMS (Sıkı Müon Selonoid), ALICE (Büyük İyon Çarpıştırıcı Deneyi), LHCb (Büyük Hadron güzellik Çarpıştırıcı) deneyleri yer almaktadır. Point 1'e ATLAS, Point 2'ye ALICE Point 5'e CMS ve Point 8'e LHCb dedektörleri yerleştirilmiştir. Dedektörlerin halka üzerindeki konumları ve parçacık hızlandırma sistemi Şekil 2.3'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. BHÇ tünelinin bir bölümü https://www.researchgate.net/figure/View-of-the-LHC-tunnel-with-an-artistic-cut-through-a-LHC-dipole-magnet-highlighting the_fig2_306186204



Şekil 2.3 BHÇ halkası üzerindeki deneyler ve parçacık hızlandırma sistemi (Lef‘evre, 2008).

BHÇ'deki deneyler büyük patlamadan bu yana evrenin günümüze kadar geçirdiği evreleri ve maddenin temel yapısını anlamak için çeşitli araştırmalar yapmaktadır. Yüksek Enerji Fiziği (YEF)'nin kuramsal modeli olarak bilinen SM doğadaki kuvvetler ve etkileşmeleri açıklamaktadır. Yıllardır testlerden geçen SM'in öngörüleri ATLAS ve CMS deneylerinde tekrar test edilmektedir. Ayrıca Higgs bozonu, Süpersimetrik (SÜSİ) parçacık araştırmaları, karanlık madde, karanlık enerji, ekstra boyutlar, yük eşlenikliği (CP) kırınımı, B-fiziği, ileri fizik araştırmaları bu deneylerin araştırdığı fizik konularından birkaçıdır. BHÇ üzerindeki en büyük hacime sahip olan ATLAS detektörü 46 m uzunluğunda, 25 m yüksekliğinde, 25 m genişliğinde olup 7000 tonluk bir kütleye sahiptir İsviçre'nin Cenevre kentinde Meyrin yakınlarında, ana CERN sahasının yakınında, yerden 100 m aşağıda bir mağara içinde yer almaktadır (https://home.cern/science/experiments/atlas). Aynı fizik konularını araştıran bu iki deneyin en belirgin farklılığı CMS'de solenoid mıknatıs kullanılırken ATLAS'da toroidal mıknatıs sisteminin kullanılmasıdır.

ALICE ve LHCb deneyleri daha özel fizik konularını araştırmak için tasarlanmıştır. LHCb deneyinde B-fiziği araştırmaları yapılmaktadır. ALICE'de ise Pb-Pb çarpışma verileri analiz edilerek kuvvetli etkileşen madde ve evrenin büyük patlamadan hemen sonraki kuark-plazma yapısı araştırılmaktır. ALICE kuark-gluon plazması adı verilen maddenin bir fazının oluştuğu aşırı enerji yoğunluklarında güçlü şekilde etkileşime giren maddenin fiziğini incelemektedir. Günümüzde sıradan madde atomlardan oluşur. Her atom proton ve nötronlardan oluşan bir çekirdek içerir ve bir elektron bulutu ile çevrelenmiştir (hidrojen dışında, hidrojende nötron yok). Proton ve nötronlar gluon adı verilen ara parçacıklarla birbirine bağlanan kuarklardan oluşur. Hiçbir kuark tek başına gözlenemez: kuarklar ve gluonlar, proton ve nötronlar gibi bileşik parçacıkların içinde hapsedilmiş gibi görünmektedir. Bu durum kuark hapsedilmesi olarak bilinir. BHÇ'deki çarpışmalar, Güneş'in merkezinden 100.000 kat daha sıcaktır. Her yıl belirli bir süre için BHÇ de kurşun iyonları da çarpıştırılmaktadır. Böylece

büyük patlamadan hemen sonra oluşan koşullar laboratuvar ortamında yaratılmaktadır. Bu uç koşullar altında, protonlar ve nötronlar "eriyerek" kuarkları gluonlarla olan bağlarından kurtarır. Bu kuark-gluon plazmasıdır. Böyle bir fazın varlığı ve özellikleri, Kuantum Renk Dinamiği (KRD) kuramındaki hapsetme olayını anlamak ve kiral simetri yeniden yapılanması adı verilen fizik problemi için kilit konulardır. ALICE genişleyen ve soğuyan kuark-gluon plazmasını inceleyerek günümüzde evrendeki maddeyi oluşturan parçacıkların aşamalı olarak nasıl ortaya çıktığını araştırmaktadır. ALICE dedektörü Fransa'nın St Genis-Pouilly köyünde yerin 56 m altında bulunan bir mağaranın içindedir. 26 metre uzunluğunda, 16 metre yüksekliğinde, 16 metre genişliğinde olup 10,000 ton ağırlığındadır (https://home.cern/science/experiments/alice). LHCb dedektörünün. uzunluğu 21 m, yüksekliği 10 m, genişliği 13 metre ve kütlesi 5600 tondur ve 1600 tonluk dev bir mıknatısa sahiptir. Fransa'nın Ferney-Voltaire kasabası yakınlarında yerin 100 m altında bulunmaktadır. LHCb deneyi, "güzellik kuarkı" veya "b kuarkı" adı verilen bir kuark çeşnisini inceleyerek madde ve antimadde arasındaki farklılıkları araştırmaktadır. ATLAS ve CMS'de olduğu gibi tüm çarpışma merkezini kapalı detektörlerle sarmak yerine, LHCb deneyi ileri yöndeki parçacıkları (çarpışmada bir yönde, ileriye fırlatılanlar) tespit etmek için bir dizi alt dedektör kullanılmaktadır. b kuarklarını yakalamak için, LHCb, BHÇ'de dönen hüzmenin yoluna yakın, gelişmiş hareketli izleme dedektörlerini yerleştirmiştir. LHCb dedektörü, bir ileri spektrometre ve düzlemsel dedektörlerden oluşmuştur (https://home.cern/science/experiments/lhcb).

Ayrıca BHÇ halkası üzerinde toplam ve diferansiyel tesir kesiti araştırmaları için TOTEM (Toplam esnek ve difraktif tesir kesiti ölçümü), astro parçacık (kozmik ışın) fiziği araştırmaları için LHCf (İleri Büyük Hadron Çarpıştırıcısı) (https://public-archive.web.cern.ch/en/LHC/LHCf-en.html) ve manyetik tek kutuplu olduğu düşünülen kuramsal parçacık araştırmaları için MOEDAL (Tek Kutup ve Egzotik Parçacık Dedektörü) (https://home.cern/science/experiments/moedal-mapp) gibi küçük boyutlu ileri

bölge parçacık detektörleri tasarlanmıştır. Bu detektörlerde hüzmeler kafa kafaya çarpışmak yerine çarpışmalarda hemen hemen birbirine paralel olan proton veya ağır iyonlar kullanılmaktadır.

Protonlar BHÇde kafa kafaya çarpıştığında, protonların kendileri de dahil olmak üzere birçok olayı araştırmak için bir mikro-laboratuvar ortamı oluşur. TOTEM küçük açılı çarpışmalardan çıkan protonların hassas ölçümlerini keşfetmek üzere tasarlanan bir deneydir. Araştırmanın yapıldığı bölge diğer BHÇ deneylerinin erişemediği 'ileri' yön olarak bilinir. CERN'in 'en uzun' deneyi olan TOTEM dedektörleri, CMS'in etkileşim noktasının her iki yanına yerleştirilen iki detektörden oluşmuştur. TOTEM'de dört adet parçacık dedektörü içeren '26 adet 'Roman kabı' dedektörünün dahil olduğu yaklaşık 3.000 kg'lık ekipman bulunmaktadır. 'Teleskop' olarak – T1 ve T2 – CMS'in etkileşim noktasında çarpışmalardan ortaya çıkan parçacıkları izlemek üzere katot-şerit odaları ve Gaz Elektron Çoğaltıcıları (GEM) kullanılmaktadır Saçılan protonlar, silikon sensörlü 'Roman kabları' ile ölçülmektedir. 1970'lerde Romalı fizikçiler tarafından şekli ve ilk kullanımıyla adlandırılan 'Roma kapları', vakumda hem dikey hem de yatay olarak hareket etme yeteneğine sahiptir
(https://home.cern/science/experiments/totem). LHCf deneyi, laboratuvar koşullarında kozmik ışınları simüle etmek için BHÇ'deki çarpışmalarda ileri yönde oluşturulan parçacıkları kullanmaktadır. Kozmik ışınlar, sürekli olarak Dünya'nın atmosferini bombalayan, uzayda doğal olarak ortaya çıkan yüklü parçacıklardır. Kozmik ışınlar atmosferin üst tabakasındaki çekirdeklerle çarpışarak yer seviyesine ulaşan bir dizi parçacığın oluşmasını sağlarlar. BHÇdeki çarpışmaların benzer parçacık dizilerini nasıl oluşturduğunu incelemek, fizikçilerin binlerce kilometreyi kapsayan büyük ölçekli kozmik ışın deneylerini yorumlamalarına ve kalibre etmelerine yardımcı olacaktır. LHCf, ATLAS detektörünün çarpışma noktasının her iki yanındadır ve çarpışma noktasından 140 m uzaklıkta bulunan BHÇ hüzme ekseni boyunca yerleştirilen iki detektörden oluşmuştur Konumu, parçacıkların proton hüzme yönünde neredeyse sıfır derecede gözlemlenmesine izin verir. iki

dedektörün her biri sadece 40 kg ağırlığında ve 30 cm uzunluğunda, 80 cm yüksekliğinde ve 10 cm genişliğindedir (https://home.cern/science/experiments/lhcf). MoEDAL LHCb'nin yakınına yerleştirilmiştir ve ana motivasyonu doğrudan manyetik monopol (manyetik yüke sahip olduğu varsayılan bir parçacık) aramaktır. Eğer manyetik monopoller varsa, bunlar BHÇ'deki çarpışmalarda oluşturulabilir. Bu monopoller MOEDAL dedektöründen geçerek plastik nükleer iz dedektörlerinde uzun zincirli molekülleri kırarak hasar izlerini oluşturacaktır. Deney doğrudan manyetik yükün kuzey veya güney olup olmamasını önemsemeyerek manyetik tek kutup araştırmalarının yanı sıra egzotik parçacık araştırmaları da yapmaktadır. LHCb'ye yakın bir noktaya yerleştirilmiştir (https://home.cern/science/experiments/moedal-mapp).

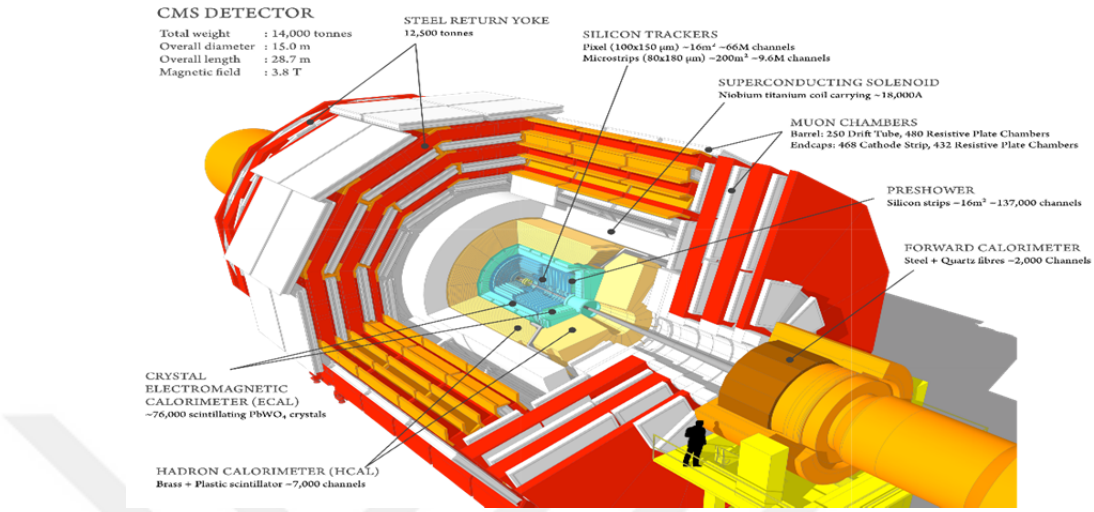
2.3. CMS Deneyi

CMS, yeni fizik araştırmaları için tasarlanan genel amaçlı bir detektördür. Parçacık çarpışmalarının saniyede 40 milyon kere tüm yönlerden üç boyutlu "fotoğraflarını" çeken yüksek hızlı çok büyük bir kamera gibidir. Çarpışmalar sonunda oluşan parçacıkların büyük bir kısmı "kararsız" olmalarına rağmen bu parçacıklar hızla dedektör tarafından varlanabilen daha "kararlı" parçacıklara dönüşür. Her bir çarpışmada oluşan kararlı parçacıkların neredeyse tamamı CMS tarafından tanımlanır. Bu parçacıkların enerji ve momentumları ölçülerek tıpkı bir bulmacanın parçalarının birleştirilmesi gibi tüm parçacık bilgileri bir araya getirilir ve daha ileri analizler için yeniden çarpışmanın bir "görüntüsü" oluşturulabilir (https://cms.cern/detector).

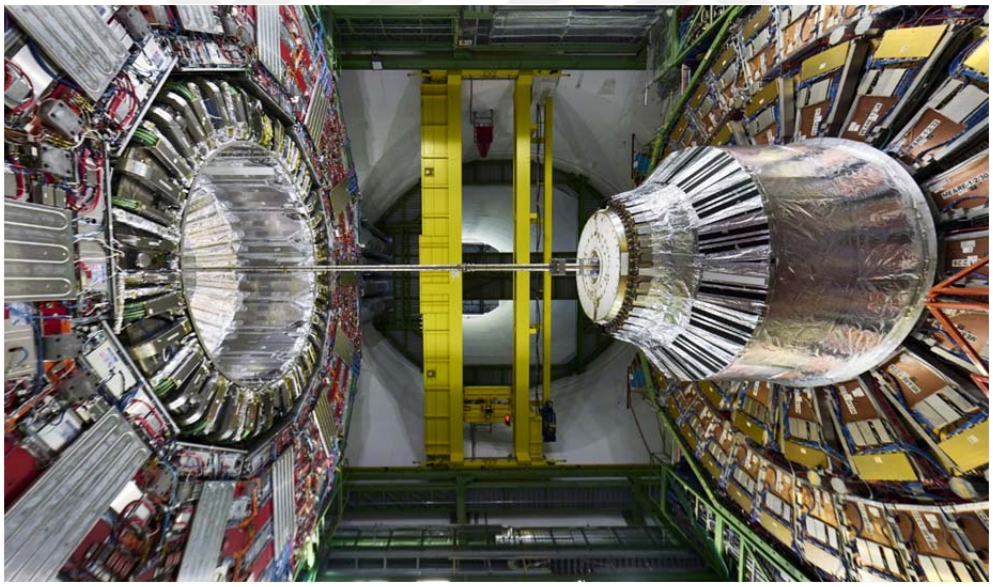
Silindirik yapıya sahip olan detektörün kütlesi 14.000 ton, çapı 15 m ve uzunluğu 28.7 m dir. Yüklü parçacıkları çarpışma noktasından dışarı doğru bükmek için güçlü bir mıknatıs gerekir. 3,8 Tesla manyetik alan sağlayan solenoid bir mıknatıs kullanılmaktadır. Parçacıkların yörüngelerini bükmenin iki amacı vardır: Birincisi pozitif ve negatif yüklü parçacıklar aynı manyetik alanda zıt yönlerde büküldüklerinden parçacıkların yükü belirlenir. İkincisi ise aynı manyetik

alanda, yüksek momentumlu parçacıklar, düşük momentumlu parçacıklara kıyasla daha az büküldüklerinden parçacığın momentumunun ölçülmesi sağlanır (https://cms.cern/detector). Mıknatıs çelik bir "boyunduruk" ile çevrelenmiştir. CMS'e adını veren solenoid mıknatıs, süper iletken liflerden oluşan silindirik bobinden yapılmıştır. Bu bobinlerde elektrik (18.500 amper!) dolaştırıldığında süper iletkenliğin özelliğinden dolayı hiçbir dirençle karşılaşmazlar Mıknatıs Dünya'nın manyetik alanının yaklaşık 100.000 katı olan yaklaşık 4 Tesla'lık bir manyetik alan üretme kapasitesine sahiptir.

Parçacıklar manyetik alan etkisiyle bükülür. CMS, bükülen yüklü parçacıkların izlediği yolları çok yüksek bir hassasiyetle belirlemelidir. Bu, eş merkezli katmanlar halinde düzenlenmiş yaklaşık 75 milyon bireysel elektronik sensörden oluşan bir silikon İzleyici tarafından yapılır. Şekil 2.4.'de görüldüğü gibi, CMS'in kalbi olarak bilinen etkileşme noktası (IP)'den hemen sonra yüklü parçacıkların detektör içinde bıraktıkları izlerden parçacıkların yörüngeleri ile momentumlarını belirleyen ve kimliklerini saptayan İzleyici dedektör bulunmaktadır. İzleyiciden hemen sonra elektron ve fotonların enerjilerini ölçen elektromanyetik kalorimetre (EKAL), daha sonra içinden geçen tüm hadronları durduran ve parçacıkların dedektör malzemesinde kaybettikleri enerjiyi ölçen HKAL yer almaktadır. HKAL detektör boyunca güçlü bir manyetik alan oluşturan süper iletken solenoid mıknatıs ile çevrelenmiştir. CMS'in en dışında ise müon odacıkları bulunur. Detektörün iç içe geçen katmanları soğansı bir yapıda ve hermetik (sıkıştırılmış) olduğu için çarpışmalar sonunda ortaya çıkan tüm bozunum ürünlerinin detektörün dışına sızması en aza indirgenmiştir (https://cms.cern/detector). CMS dedektörünün bir bölümü Şekil 2.5 verilmiştir.



Şekil 2.4. CMS detektörü (https://cms.cern/news/cms-detector-design).



Şekil 2.5. CMS detektörünün bir bölümü (https://home.web.cern.ch/science/experiments/cms).

2.3.1. İzleyici

Manyetik alan etkisiyle parçacıkların yollarının bükülmesi yeterli değildir. CMS, bükülmüş yüklü parçacıkların aldığı yolları çok yüksek bir hassasiyetle tanımlamalı ve konumlarını tespit etmelidir. Bu CMS deneyinde, eş merkezli katmanlardan oluşan yaklaşık 75 milyon elektronik sensörlü silikon İzleyici ile yapılmaktadır. Yüklü bir parçacık İzleyici katmanından geçtiğinde, silikon ile elektromanyetik etkileşmeye girer ve bir vuruş (hit) yaratır. Bu bireysel vuruşlar, hareket eden parçacığın izini tanımlamak üzere daha sonra birleştirilmektedir (https://cms.cern/detector).

Parçacıkların momentumunu ölçmek çarpışmanın merkezinde ortaya çıkan olayların tespit edilmesi için önemlidir. Bir parçacığın momentumunu hesaplamanın bir yöntemi, parçacığın yolunu bir manyetik alan boyunca izlemektir; parçacıklar manyetik alandan geçerlerken detektör malzemesinde bıraktıkları izler bir araya getirilir ve böylece parçacıkların yolları belirlenir. Manyetik alanın etkisiyle parçacıkların yolu ne kadar fazla bükülürse parçacığın momentumu o kadar azalır (http://cms.cern/detector/identifying-tracks). İzleyicinin yüksek enerjili elektronların, müonların ve elektrik yüklü hadronların yollarını yeniden yapılandırmak gibi zor bir görevi vardır. Çok kısa ömürlü parçacıkların bozunmasını yeniden yapılandırmak da çok önemlidir. Örneğin madde-antimadde arasındaki asimetriyi anlamayı sağlayan güzelik (b) kuarkı gibi kısa ömürlü parçacıkların yolları yeniden yapılandırılabilir.

CMS deneyindeki İzleyici silikondan yapılmıştır: Parçacık yoğunluğunun çok yüksek olduğu detektörün merkezinde üç katmandan oluşan silikon piksel ve onu saran on katmanlı silikon mikro şerit detektör bulunmaktadır. Ayrıca silindir kapaklarında toplam on dört tabaka vardır. Parçacıklar İzleyiciden geçerken piksel ve mikro şerit dedektörlerde zayıf elektrik sinyalleri oluşur, bu sinyaller yükseltilir ve varlanırlar (https://cms.cern/detector/identifying-tracks).

Silikon Piksel İzleyici eş merkezli katmanlardan ve 1800'den fazla küçük silikon modülden oluşan halkalardan yapılmıştır. Bu modüllerin her biri, toplam

120 milyon piksel - 120 mega piksel için yaklaşık 66000 ayrı piksele sahiptir. Her piksel 100x150 μm^2 boyutundadır. Bu boyutlar dedektörden geçen bir parçacığın yörüngesinin çok hassas bir şekilde ölçmesini ve bu parçacığın nereden geldiğini yaklaşık 10μm hassasiyetle belirlemeyi sağlar (https://cms.cern/index.php/news/cms-pixel-tracker-installation). IP'ye çok yakın olması nedeniyle Piksel İzleyici parçacık çarpışmalarının ürettiği radyasyon hasarından çok zarar görür. En içteki katman, hüzme borusundan yaklaşık 2,9 cm uzaktadır. Bu nedenle dedektörün bir santimetre karesinden saniyede yaklaşık 600 milyon parçacık geçmektedir. Parçacıklar BHÇ'de çarpışırken yüksek radyasyon seviyesine rağmen Piksel İzleyicinin çalışmasını sağlamak için izleyici -20°C'de tutuluyor olsa da bu durum problemden tamamen kurtulmak için yeterli değildir. Silikon şeritler Piksel İzleyici kadar hassas uzaysal doğruluk sağlamamakla birlikte şerit vuruşları piksel sinyalleriyle birleştirildiğinde, her bir iz için 10 mikronluk ölçüm doğruluğu belirlenir (http://cms.cern/detector/identifying-tracks).

2.3.2. Solenoid Mıknatıs

Yüklü parçacıkların çarpışma noktasından dışarıya doğru yollarını bükmek için güçlü mıknatıslara ihtiyaç duyulur. CMS'in solenoid mıknatısı süper iletken fiberlerin silindirik bir bobininden oluşmuştur. Bu bobinlerin içinde elektrik (18.500 amper) dolaştığında, hiçbir dirençle karşılaşılmaz ve Dünya'nın manyetik alanının yaklaşık 100.000 katı olan bir manyetik alan üretilebilir. Süperiletkenlik belli bir sıcaklık değerinin altında bir malzemenin direncinin tamamen ortadan kalkmasıdır (http://www.bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/superiletkenlik-nedir). Süperiletkenler bir dış voltaj uygulanmadan elektrik akımını süperiletken elektromıktanıslar yardımı ile barındırabilir. Bir elektrik akımı süperiletken bir bobinde yıllarca, herhangi bir azalma olmadan kalabilir (https://tr.wikipedia.org/wiki/Superiletkenlik). Bu nedenle CMS'de 3,8 T'lık manyetik alan sağlayan bir süperiletken mıknatıs kullanılmaktadır. CMS'nin

mıknatısı 12,5 metre uzunluğunda, 6,3 metre çapındadır. Bobin, her biri 2,5 metre olan beş modülden oluşmuştur (https://cms.cern/detector/bending-particles).

CMS deneyinde İzleyici ve kalorimetreler (EKAL ve HKAL), mıknatıs bobininin içinde otururken, müon dedektörleri manyetik bobinleri çevreleyen, manyetik alanı içeren ve yönlendiren 12 taraflı bir demir yapı ile iç içe geçecek biçimde tasarlanmıştır. Üç katmandan oluşan bu "dönüş boyunduruğu" 14 m çapındadır ve bir filtre görevi görerek sadece müonlar ve nötrinolar gibi zayıf etkileşme yapan parçacıklara izin verir. Mıknatıs aynı zamanda dedektöre yapısal destek sağlamak görevini de üstlenmiştir (https://cms.cern/index.php/detector/bending-particles).

2.3.3. Kalorimetreler

Her bir çarpışma sonunda ortaya çıkan parçacıkların enerjisinin belirlenmesi dedektörün çarpışma noktasında nelerin olduğunu anlamak bakımından çok önemlidir. Bu bilgi CMS deneyindeki EKAL ve HKAL'den gelmektedir. EKAL içteki kalorimetre katmanıdır. Elektron ve fotonları tamamen durdurarak onların enerjilerini ölçer. Kuark ve gluonların oluşturduğu hadronlar ise EKAL'den geçerler ve dıştaki kalorimetre katmanı olan HKAL tarafından durdurularak, enerjilerini kaybederler (https://cms.cern/detector).

2.3.3.1 EKAL (Elektromanyetik Kalorimetre)

Parçacıklar izleyiciden sonra, EKAL'e geçerler. Hafif kütleli leptonlar (elektron ve pozitron) ile fotonlar elektromanyetik etkileşen parçacıklardır. Bu parçacıkların enerjileri EKAL tarafından ölçülür. Bazen hadronik parçacıklar da EKAL'deki bir çekirdek ile etkileşirler, fakat kalorimetre yeterli kalınlığa sahip olmadığı için parçacık duşu ile sonuçlanan etkileşimin ilk (başlangıç) kısmından daha fazlası ölçülemez (http://cms.web.cern.ch/news/electromagnetic-calorimeter).

BHÇ'deki yüksek manyetik alan ve yüksek radyasyonun yanı sıra çarpışmalar arasında 25 ns gibi çok kısa bir zaman aralığının olması gibi katı

koşullar parçacıkların enerjilerini hassas olarak ölçebilmek için dedektörde kullanılacak malzemelerinin dikkatli seçilmesini zorunlu kılmıştır. EKAL'de metal malzeme olarak paslanmaz çelikten daha ağır olan kurşun tungstant ($PbWO_4$) kristaller kullanılmaktadır. Bu kristallerin özelliklerinden biri elektron ve fotonlara karşı çok duyarlı olmalarıdır. 8300 kg/m^3 gibi yüksek yoğunluğa sahip bir malzeme olduğundan elektromanyetik etkileşen parçacıklarla etkileşme olasılığı yüksektir. Kristaller yüksek kütle yoğunluğuna sahip olmakla birlikte görünür ışığa karşı transparandır. Bu yüksek yoğunluklu kristaller hassas, hızlı ve oldukça kompakt bir dedektör için hızlı, kısa ve iyi tanımlanmış foton patlamalarında ışık üretir. Elektron ve fotonlar $PbWO_4$ malzemenin içinden geçtiğinde "parıldama" yapar ve parçacıkların enerjisiyle orantılı ışık üretilir. Yüksek manyetik alan etkisi altında çalışmak üzere tasarlanan foto detektörlerde parıldayan ışığı belirlemek, yükseltmek ve bir elektrik sinyaline dönüştürmek için malzeme her bir kristalin arkasına yapıştırılmıştır (http://cms.cern/detector/measuring-energy/energy-electrons-and-photons-ecal). Bir "fıçı" (EB) bölümü ve iki "uç kapaktan" (EE) oluşan EKAL, İzleyici ve HKAL arasına yerleştirilmiştir. EB, her birinin ağırlığı yaklaşık üç ton olan ve 1700 kristal içeren 36 "süper-modül" içine yerleştirilen 61,200 kristalden yapılmıştır. Her bir kristal küçük bir kahve fincanı büyüklüğünde olup 1,5 kg'dır. Uzaysal hassasiyeti artırmak için EE'lerin önüne Ön-Duş detektörleri yerleştirilmiştir (http://cms.web.cern.ch/news/electromagnetic-calorimeter). EB $|\eta| < 1.48$ psüdorapidite aralığına, EE $1.48 < |\eta| < 3.0$ psüdorapidite aralığında yer almaktadır. Ön-Duş detektörleri $1.65 < |\eta| < 2,60$ psüdorapidite aralığında bulunmaktadır (CMS Collaboration, 2015b). Şekil 2.5'de CMS'deki EKAL gösterilmektedir.



Şekil 2.6 CMS deneyindeki EKAL (http://cms.web.cern.ch/news/electromagnetic-calorimeter).

2.3.3.2 HKAL (Hadronik Kalorimetre)

Parçacıklar EKAL'den geçtikten sonra HKAL'e girerler. Hem yüklü (protonlar, pionlar, kaonlar gibi) hem de yüksüz (nötronlar, yüksüz pion ve kaonlar gibi) hadronlar dedektör malzemesi ile etkileşerek enerjilerini kaybeder. HKAL parçacıkların birbirleri ile etkileşmeleri sonunda ortaya çıkan kuark ve gluonların hadronizasyon süreçleri esnasında oluşan jetlerin tespit edilmesi ve ölçülmesi bakımından önemli bir detektördür. Bundan dolayı hadron jetlerinin yeniden yapılandırılması, hadronik duşların enerjisi ve parçacıkların kayıp dik enerjilerinin belirlemesinde kullanılır. HKAL nötrinolar gibi dedektör malzemesi ile etkileşmeyen, yüksüz parçacıkların varlığının dolaylı olarak ölçülmesini de sağlar. HKAL; Hadronik Fıçı (HB), Hadronik Kapak (HE) ve Hadronik Dış Kapak (HO) ve İleri Hadronik Kalorimetre (HF) alt detektörlerinden oluşmuştur (http://cms.web.cern.ch/news/hadron-calorimeter). Ayrıca ileri bölgeye CASTOR

(Centauro ve Acayip Parçacık Araştırıcısı) ve ZDC (Sıfır Derece Kalorimetre) yerleştirilmiştir. CASTOR, $\mathbf{5,2 < |\eta| < 6,6}$ pseudorapidite aralığında olup IP'den 14,38 metre uzaklıktadır. ZDC ise $|\eta| \geq 8.3$ pseudorapidite aralığına sahiptir ve hüzme borusunun her iki tarafında IP'den 140 metre uzaklıkta bulunmaktadır. Hem CASTOR hem de ZDC Tungsten (W)- Kuvartz (Q)'dan yapılmış örnekleme kalorimetrelerdir.

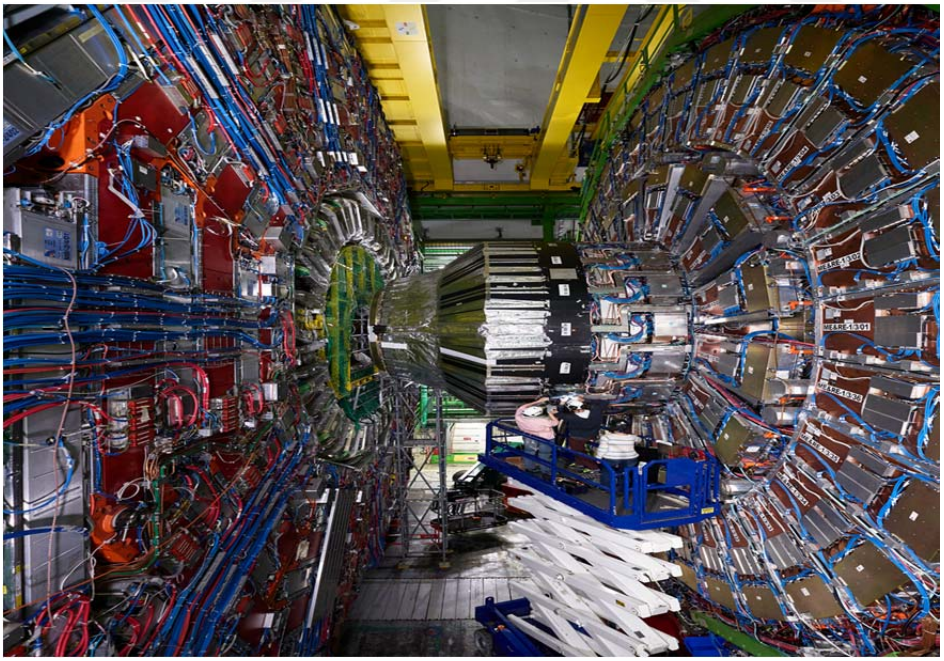
HB'de her birinin ağırlığı 26 ton olan 36 kama bulunmaktadır. Bunlar mıknatıs bobinin içine yerleştirilen son tabaklalardır. HB selonoid mıknatıs boyunca sızan parçacık enerjilerini tespit etmek üzere 36 adet HE kaması ile her iki uçtan kapatılmıştır. HF etkileşme noktası ve hüzme eksenine paralel olarak ortaya çıkan çok sayıdaki parçacığı tespit etmek üzere etkileşme noktasının her iki uç kısmında yer almaktadır. HB $-1.3 < |\eta| < 1.3$ psüdorapidite aralığını kapsar. Her birinde 18 kama bulunan HB+ ve HB- modüllerinden oluşmuştur. Kamalarda soğurucu tabaka olarak pirinç kullanılmıştır. Soğurucu tabakaların arasında sintilatör plakalar bulunmaktadır. Her kama 18 kuleden oluşan dört sektöre ayrılmıştır ve veriler toplam 4x18=72 okuma kanalı ile okunmaktadır. En iç ve en dışta bulunan soğurucu levhalar paslanmaz çelikten yapılmıştır (CMS Collaboration, 2008).

$1.3 < | \eta | < 3$ psüdorapidite aralığını kapsayan HE müon kapak boyunduruğuna tutturulmuştur. HE+ ve HE- olmak üzere iki modülden oluşmuştur. Dış tabakalar 10 cm kalınlığında paslanmaz çelik levha ile kaplanmıştır. Foto dedektörler ve ön uç elektronikleri bu tabakalara yerleştirilmiştir. HE'de 19 adet sintilatör ve 18 adet soğurucu pirinç tabaka bulunmaktadır. HB ve HE arasında geçiş bölgesi olarak kullanılmaktadır. (CMS HCAL Collaboration, 2008).

HB yarıçapı 1,806 m ve 1,950 m arasında olan içi boş bir silindirdir fakat yer kısıtlamalardan dolayı derinliği 1 m'den daha azdır. Bu yetersiz etkileşme derinliğini telafi etmek için HO denilen bir dış kalorimetre mıknatıs ve müon odacıklarının ilk plakalarının arasına WLS (dalga boyu kaydırıcı) fiberler ve başka

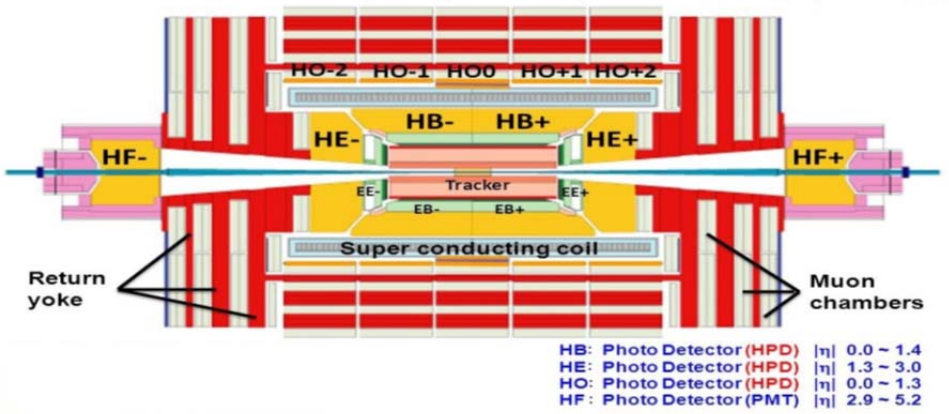
sintilatör döşeme tabakalar yerleştirilmiştir. HO, HB'in varlamakta yetersiz kaldığı hadronik duşları tespit etmek için selonoid mıknatısın dışında yer almaktadır. Kuyruk yakalayıcı olarak da bilinen HO, $-\mathbf{1,26} < |\eta| < \mathbf{1,26}$ psüdorapidite aralığını kapsar. HO, ilk oluşan başlangıç duşlarını tanımlamak ve HB'den daha uzakta biriken duşların enerjisini ölçmek için kullanılmaktadır. HKAL'in diğer alt dedektörlerinden olan HF daha sonra ayrıntılı olarak tartışılacaktır.

HKAL bir örnekleme kalorimetredir. Detektör içinden geçen parçacıklar çok hızlı bir ışık sinyali oluşturur. Soğurucu ve sintilatör malzemeler kullanılarak parçacıkların enerjisi, yeri ve uçuş zamanı belirlenebilir. Işık özel optik fiberler aracılığı ile toplanır ve sinyaller yükseltilmek üzere foto detektörlere gönderilir. Belirli bir bölgedeki ışık miktarı kule olarak bilinen çok sayıdaki plakanın derinliğinde toplandığında bu toplam ışık miktarı parçacıkların enerjisine karşılık gelir. Şekil 2.7'de HKAL gösterilmiştir.

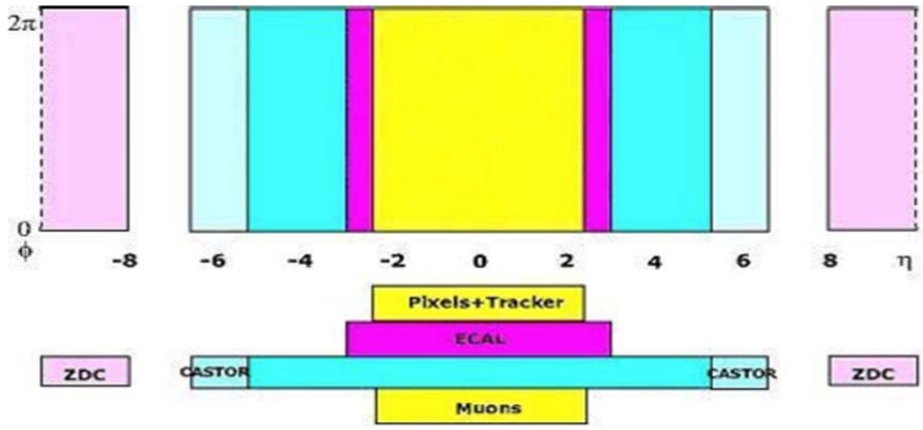


Şekil 2.7. HKAL dedektörü (http://cds.cern.ch/record/2747317).

Bir hadronun yoğun soğurucu malzemeye vurması ile oluşan parçacık duşu veya parçacık çağlayanı çok fazla olduğundan HKAL hacimce büyük ve kalın yapılmıştır. Bundan dolayı da CMS'ye yerleştirilmesi zor olmuştur. HKAL'de soğurucu malzeme olarak bakır ve çinko (% 90 Cu, %10 Zn) alaşımından oluşan pirinç kullanılmıştır. Fakat en iç ve en dış tabakalar mekanik dayanıklılığı sağlamak için paslanmaz çelikten yapılmıştır. (http://cms.cern/detector/measuring-energy/energy-hadrons-hcal). Duşların parıldamasını sağlamak için ise plastik sintilatör döşemeler kullanılmıştır. Sintilasyon ışığı WLS fiberlerle toplanır ve bu ışık hibrit foto diyotlar (HPD) ile okunmaktadır. Şekil 2.8'de HKAL'in alt detektörleri, Şekil 2.9'da ise dedektörlerin CMS'de pseudorapidite aralıkları ve azimutal açıya bağımlılıkları gösterilmiştir.



Şekil 2.8. HKAL'in alt detektörleri (www.slideserve.com/zeki/cms-calorimeter).



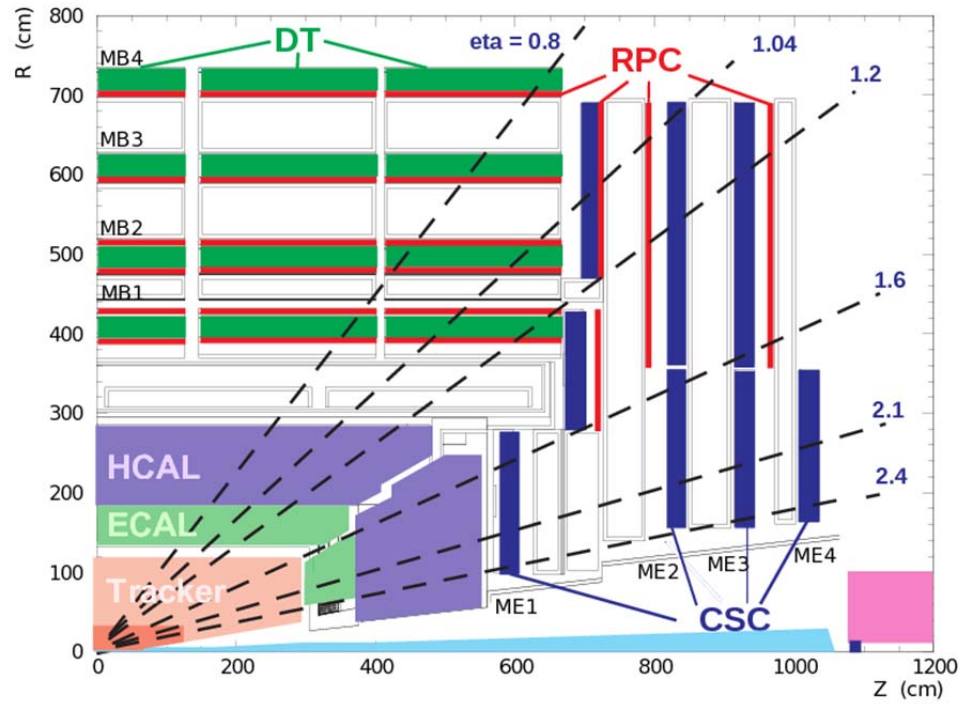
Şekil 2.9. CMS Dedektörlerinin Rapidite Aralıkları ve Azimutal Açıları (Beamont W, 2007).

2.3.4. Müon Odacıkları

Elektron ve pozitrondan 200 kez daha ağır olan müonlar birçok yeni parçacık bozunumlarında ortaya çıkarlar. Higgs bozonunun en iyi "imzalarından" biri olan Higgs parçacığının dört müona bozunumu buna iyi bir örnektir. Müonlar madde içinden geçerken elektronlara göre daha az enerji kaybeder. Birkaç metrelik demir içinden etkileşme yapmadan geçip gidebildikleri için CMS'nin kalorimetreleri tarafından durdurulamayan tek parçacıktır. Madde ile genellikle iyonizasyon ve atomik uyarılma yoluyla etkileşirler. Yüksek enerjili müonlar detektörden geçerken iyonizasyonun yanı sıra çoklu saçılma ve foto nükleer etkileşmelerle enerjilerini kaybederler. Bu nedenden dolayı müonları varlayabilmek için müon odacıkları kaorimetrelerden sonra yerleştirilir. Müon odacıklarına sadece yüksek enerjili müonlar ulaşabilir.

CMS'nin müon odacıkları, merkez fıçı bölgesindeki 250 adet sürüklenme tüpü (DT), kapak bölgesindeki 540 adet katot şerit odası (CSC) ve hem kapak hem de fıçı bölgesindeki 610 adet dirençli plaka odasından (RPC) oluşmuştur. Müonların konumlarını belirlemek ve tetikleyici görevi DT ve CSC detektörlerinin işidir. RPC'ler ise toplanan verinin müon olup olmadığını tespit etmektedir

(http://cms.cern/detector/detecting-muons). DT'ler $|\eta| < 1,2$ ve CSC'ler $0,9 < |\eta| < 2,4$ pseudorapidite aralığını kapsamaktadır. Müon odacıklarının pseudorapidite aralıklarına bağlı olarak CMS'deki yerleşimi Şekil 2.10'da verilmiştir.

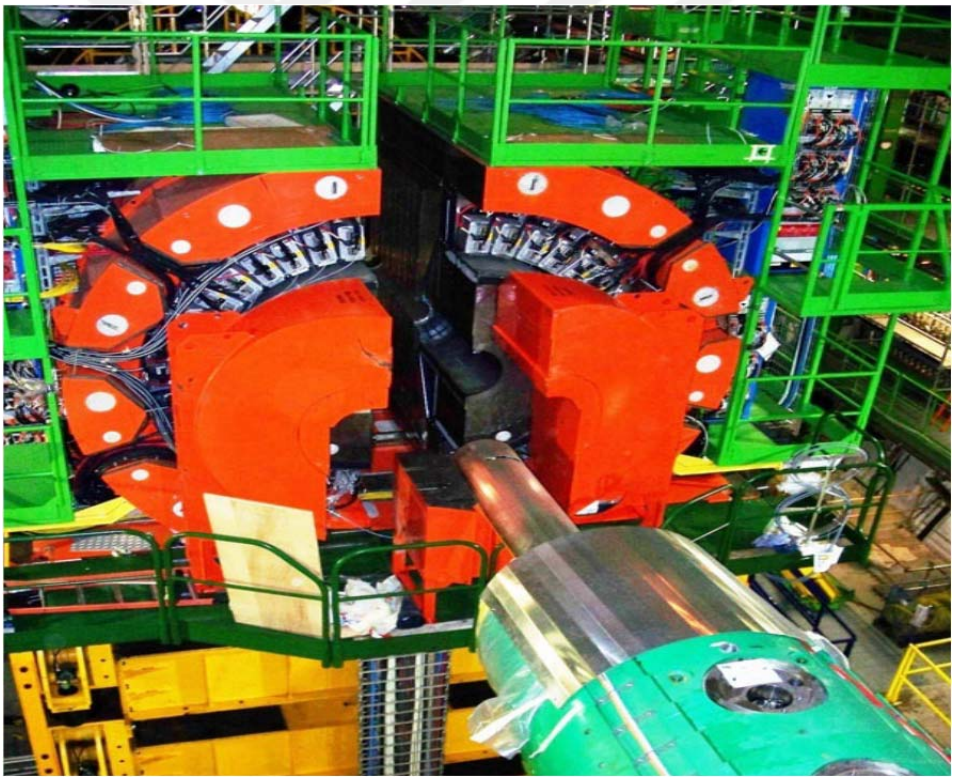


Şekil 2.10. Pseudoapidite aralıklarında müon odacıklarının yeri (https://cds.cern.ch/record/1477844/plots).

3. MATERYAL VE METOD

3.1 İleri Hadronik Kalorimetre (HF)

CMS'deki İleri Hadronik Kalorimetre (HF), ileri yöndeki jetlerin parçacık bozunumlarını tespit etmek, yeniden yapılandırmak, kayıp dik enerjiyi belirlemek, difraktif ve düşük-x fiziği olayları gibi fizik araştırmalarını çalışmak ve ışıklılık ölçümlerini yapmak için kullanılan bir kalorimetredir. HF, $3 \leq |\eta| \leq 5$ psüdorapidite aralığını kapsamaktadır. CMS'in etkileşme noktası (IP)'nden 11,2 m uzaklığa yerleştirilmiş olup HF± olmak üzere iki modülden oluşmuştur (CMS Collaboration, 2011). Şekil 3.1'de HF gösterilmektedir



Şekil 3.1. Etkileşme noktası (IP)'ndan hüzme eksenine doğru HF'in görünümü (https://cds.cern.ch/record/1431489).

HF'de soğurucu olarak çelik, aktif malzeme olarak kuvars fiberler kullanılmıştır. Soğurucu iç yarıçapı 12,5 cm ve dış yarıçapı 130 cm olan silindirdir. Uzunluğu 165 cm olan silindirler hüzme ekseniyle eş merkezlidir ve silindirlerin merkezindeki oyuktan berilyum hüzme borusu geçmektedir. Her bir HF modülü 18 özdeş kamadan oluşmuştur. Kamalar 20^0'lik açıya sahiptir ve her bir kamada 24 adet kule bulunmaktadır.

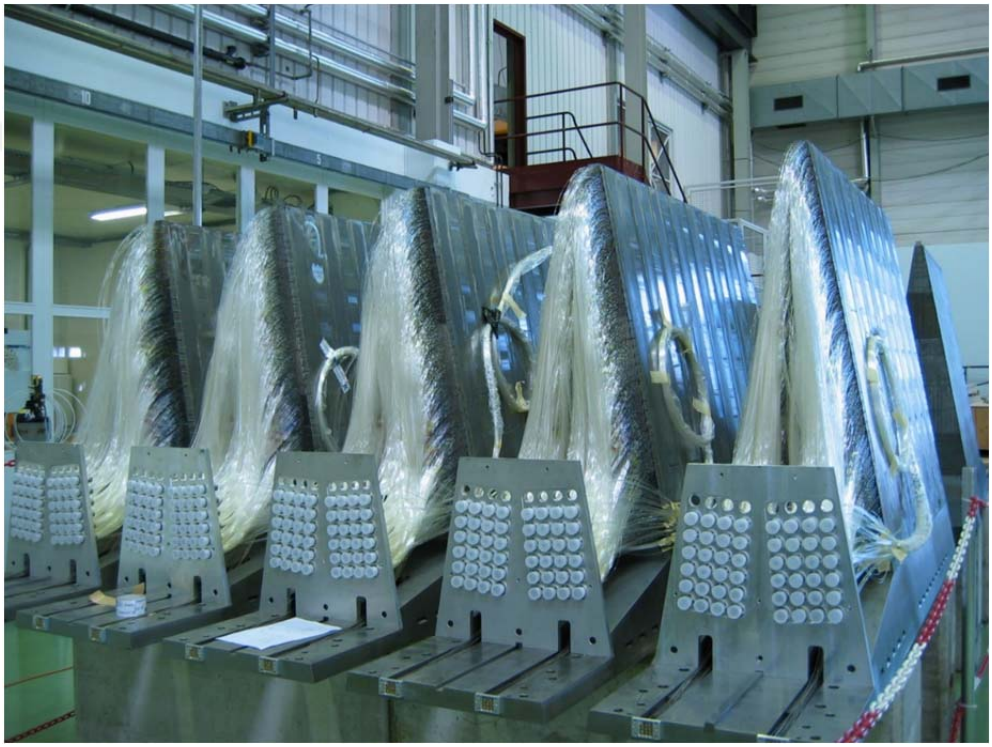
IP'de parçacıkların çarpışmasıyla oluşan yeni parçacıklar çelik kamalar tarafından soğurulur. Soğurucu malzeme ile etkileşen parçacıklar ikincil parçacıkları oluşturur. İkincil parçacık etkileşmeleri üçüncül ve diğer ard arda etkileşmeler bir parçacık duşunu oluşturur. Duşlar etkileşmenin türüne bağlı olarak "elektromanyetik" ve "hadronik" olarak adlandırılır. Hadronik duşlar genellikle bir elektromanyetik duş bileşenine sahiptir. Kalorimetrenin aktif malzemesi olan kuvars fiberler hüzme eksenine paralel biçimde soğurucu çelik oyukların içine gömülüdür (Köseyan,2016).

Yüklü bir parçacığın bir maddesel ortamdaki hızı ışığın aynı madde içindeki hızından daha büyük ise Cerenkov ışıması oluşur. HF ışık hızından daha yavaş hareket eden parçacıklara karşı duyarlı değildir. Çerenkov ışınımı yüklü parçacığın yolu boyunca yayılan ışık konisi biçimindedir. Çelik oyukların içinde gömülü olan fiberler parçacık duşlarının oluşturduğu Çerenkov ışığını varlar. Çerenkov ışımasında tam yansıma koşulunu sağlayan ışınlar fiberin içinde tam yansımaya uğrayarak ışık kılavuzları aracılığı ile Foto Çoğaltıcı Tüp (FÇT)'lere ulaşır. Çerenkov ışığının yoğunluğu duşu oluşturan gelen parçacıkların enerjisi ile orantılıdır. Gelen her parçacığın enerjisi FÇT'lerdeki fotonlar sayılarak ölçülür (CMS HCAL Collaboration, 2008). Kuvars fiberler 600 µm çapa sahiptir ve erimiş silika çekirdeğinden yapılmış olan 5 mm aralıklı kare ızgara içine yerleştirilerek 15 µm çaplı sert bir polimer ile kaplanmıştır. 85 µm çapında koruyucu akrilat kullanılmıştır (Penzo,2009).

Fiberler her bir kamanın içine yarısı kısa yarısı uzun olmak üzere iki farklı uzunlukta yerleştirilmiştir. Uzun fiberler HF boyunca uzanmaktadır ve kamaların

içinde IP'ye bakan yüzden FÇT'lerin içinde bulunduğu hafif okuma kutularına (RBX) yerleştirilmiştir. Kısa fiberler dedektör yüzeyinden 22 cm içerden başlayarak yerleştirilmiştir ve RBX'lere bağlanmıştır. Şekil 3.2'de HF'in çelik kamaları içine gömülen kuvars fiberler ve fiberlerin RBX'lere bağlantı yuvaları görülmektedir (https://cds.cern.ch/record/1431489).

.

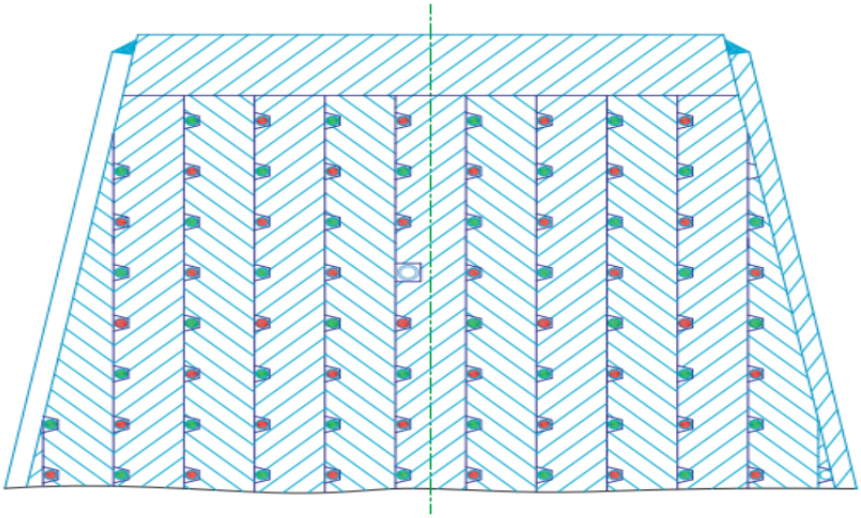


Şekil 3.2. HF'in çelik kamaları içine gömülen kuvars fiberler (https://cds.cern.ch/record/1431489).

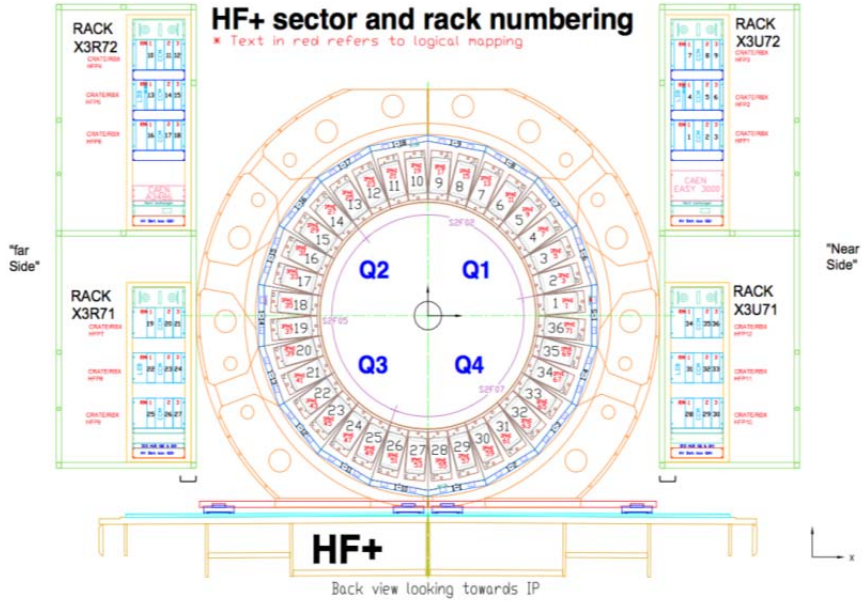
Elektromanyetik duşlar çoğunlukla HF soğurucunun başlangıcında oluşur. Oluşan bu duşlar uzun fiberler (uzunluğu 1.65 m) kullanılarak tespit edilir. Elektromanyetik duşların aksine, IP'den gelen hadronlar tüm kamaların başından sonuna kadar yavaş yavaş soğurulur. Hadronların oluşturduğu sinyaller ilk 22 cm'de soğurulduğu için uzun fiberlerden gelen sinyaller elektromanyetik ve

hadronik parçacıkların bir karışımıdır. Uzunluğu **143 cm** olan kısa fiberler dedektörün ön yüzünden **22 cm** kadar uzaklıkta bulunur. 22 cm'den sonra soğurucunun soğurulabileceği çok az elektromanyetik etkileşme yapan parçacık kalır. Bu nedenle kısa fiberler hadronik etkileşen parçacıkları belirlediğinden sadece kuvvetli etkileşen parçacıklara karşı duyarlıdır (Köseyan,2016). Uzun ve kısa optik fiberler hüzme ekseni boyunca 5mm'lik aralıklarla soğurucu içine gömülmüştür. Fiberler 0.175 x 0.175 boyutlarında demet oluşturacak biçiminde gruplandırılmıştır. Oluşan demetler ışık klavuzları kullanılarak FÇT'lere bağlanmıştır. FÇT'ler ışık sinyalini elektrik sinyaline dönüştürür.

HF'de toplam 36 adet çelik kama bulunur ve her bir kama 24 kuleye bölünmüştür. Her bir kuleye yerleştirilen uzun ve kısa fiberler Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Yerleştirilen fiber sayısı yaklaşık 5×10^5 dir. Uzun ve kısa fiberler ayrı ayrı okunduğundan her bir kuleden gelen sinyaller iki FÇT ile okunur. Bu durumda her kamada 48 FÇT vardır. CMS'nin her iki tarafında 18 adet kama olduğundan tüm HF sisteminde toplam 1728 adet FÇT kullanılmıştır. FÇT'ler RBX'lerin içine yerleştirilmiştir. RBX'ler 12'den 36'ya kadar numaralandırılan dört parçaya bölünmüştür (Q1-Q4). Her bir kama 20°'lik azimut açıya sahiptir (Şekil 3.4). Kuvars fiberlerden başka dedektörü kalibre etmek amacıyla her bir kuleye bir radyoaktif kaynak teli yerleştirilmiştir (Köseyan, 2016).



Şekil 3.3. Bir kuledeki fiberlerin görünümü (kırmızı: kısa fiberler, yeşil: uzun fiberler, beyaz: radyoaktif kaynak telleri) (CMS HCAL Collaboration, 2008).

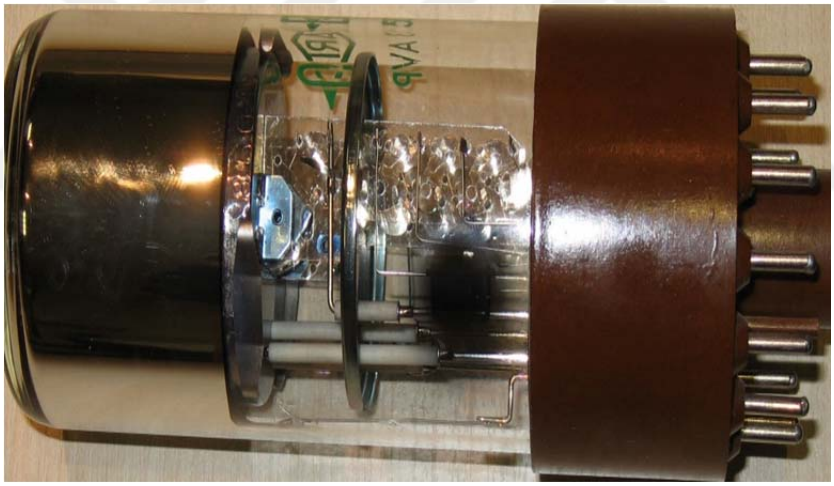


Şekil 3.4. HF + modülü (CMS Detector Note, CMS DN-2015/024).

3.2. HF'de İyileştirme Çalışmaları

3.2.1 Foto Çoğaltıcı Tüp

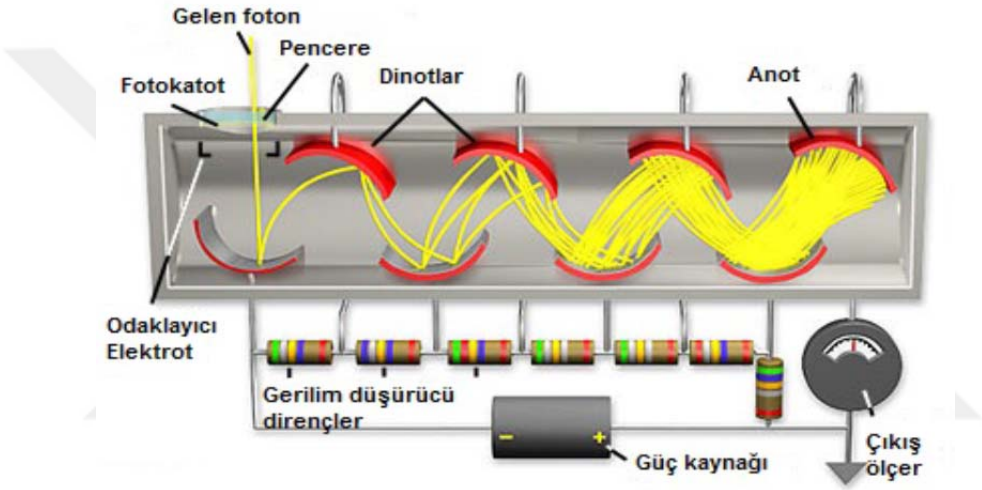
FÇT'ler elektromanyetik spektrumun ultraviyole, görülebilir ve yakın kızılötesi ışık dalga boylarında çalışır. FÇT'ler yüksek verim, düşük gürültü ve geniş toplama alanına sahiptir. Tıp, yüksek enerji, astro fizik, nükleer fizik araştırmaları, radar yayınının bozulması ve yüksek bitli tarayıcı alanları gibi bir çok kullanım alanları vardır (https://en.wikipedia.org/wiki/Photomultiplier_tube). Genellikle bir giriş penceresi, foto katot, elektron çoğaltıcı görevini üstlenen bir kaç dinot ve elektron akımlarını toplayıp çıkış sinyallerine dönüştüren bir anottan oluşur ve kapalı bir cam tüpten yapılmıştır. Şekil 3.5'de tipik bir FÇT gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Tipik bir FÇT **(**https://tr.wikipedia.org/wiki/Fotomultiper).

FÇT'nin giriş penceresinden gelen ışık, foto katot malzeme üzerine düşer ve fotoelektrik etkiden dolayı malzemeden elektron söker. Foto katotun görevi gelen fotonun enerjisini foto elektrik etki ile elektrik akımına dönüştürmektir. Bu değişikliğin verimliliği veya foto katotun hassasiyeti (duyarlılığı) gelen fotonun dalga boyuna bağlıdır. Foto katottan sökülen ilk foto elektronlar birinci dinota

doğru hızlandırılır ve odaklanır. Dinota çarpan elektronlar ikincil elektron yayınımını başlatır. İkincil yayınım her bir dinotta ard arda tekrarlanır. Son dinota çarpan ikincil elektronlar anot tarafından toplanır. Dinotlar foto elektronların çoğaltıldığı yerdir. Anot ikincil elektronların toplandığı ve dış devrelere akım olarak aktarıldığı bir elektrottur. Şekil 3.6'da FÇT 'nin şematik bir yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Bir FÇT 'nin yapısı
(https://www.olympus-lifescience.com/es/microscope resource/primer/digitalimaging/concepts/photomultipliers/).

CMS deneyindeki HF, parçacıkların kayıp dik enerji ölçümlerinde ve yüksek psüdorapidite aralıklarına karşılık gelen ileri yöndeki parçacıkların yeniden yapılandırmasında önemli olan alt detektörlerden biridir. Çerenkov ışığını varlayabilen bir kalorimetredir. CMS dedektöründen geçen müonların HF'deki FÇT'lerin pencereleri ve gövdeleri ile etkileşime girdiği ve dedektörde büyük genliğe sahip anormal sinyaller oluşturduğu keşfedildikten sonra, bu sinyal kirliliğinin nasıl azaltılacağına karar vermek için bir program geliştirilmiştir. Anormal sinyal zamanlama çalışmaları, etkileşme noktasından gelen müonların,

HF fiberden geçen sinyallerden daha önce FÇT'lere ulaştığını göstermiştir. Bundan dolayı HF sinyalleri ile zamanın dışında gelen sinyalleri birbirinden ayırt etmek için zaman-sayısal dönüştürücü (TDC) devresi eklenmiştir. Doğrudan telli odacıkların önündeki kirişe yerleştirilen çoklu-anot FÇT'ler kullanılarak yapılan çalışmalarda, çoklu-anot FÇT'lerin daha kullanışlı olduğuna karar verilmiştir. FÇT'nin tek bir anoduyla etkileşimi yerine, çoklu-anot kullanılarak sinyallerin tek tek karşılaştırılmasıyla gerçek sinyallerin daha kolay ayırt edilebileceği düşünülmüştür (Önel, 2015).

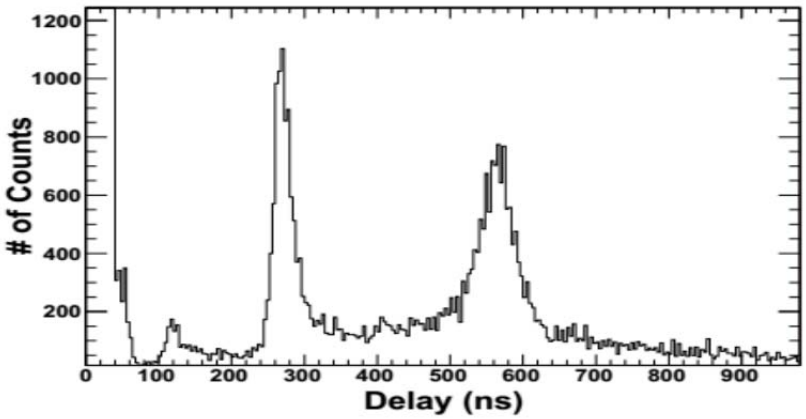
Dedektör ilk çalışmaya başladığında HF'deki kuartz fiberlerden gelen ışığı toplamak için Hamamatsu R7525 kodlu tek anotlu FÇT'ler kullanılıyordu. HF'deki FÇT'lerin görevi her bir kuledeki fiber demetinden gelen fotonları okumaktır. Uzun ve kısa fiberler ayrı ayrı okunduğundan bu durumda her bir kuleyi okuyan iki FÇT bulunmaktadır. FÇT'ler gruplar halinde RBX'lerin içine yerleştirilmişti. Her bir RBX'in içinde tek bir taban tablasına bağlı olan ve 6'ya 4 olacak biçimde dizilen toplam 24 adet FÇT bulunmaktaydı. Her bir kamada 24 adet kule olduğundan her bir kuleden gelen 24 çift fiber demetini okumak için kama başına iki RBX gerekiyordu (Köseyan, 2016). Tek anotlu FÇT'ler 8 dinot katmanı ve 25 mm çaplı bir bialkali foto katota sahipti. Ön pencere ve silindirik gövde borosilikat camdan yapılmıştı. Cam kalınlığı ön pencerenin merkezinde 1 mm, kenarlarında ise 6,1 mm'dir. Kuantum verimlilikleri 450 nm dalga boyu için %23 olarak ölçülmüştü. (Köseyan, 2016). Kuantum verimliliği yayımlanan foto elektron sayısının gelen foto elektron sayısına oranıdır (Flyckt ve Marmonier, 2002). R7525 FÇT'ler 1,3 ns'lik bir anot pik artış zamanı ve 14 ns'lik bir elektron geçiş zamanına sahipti. BHÇ'de her bir demet geçişi 25 ns olduğundan bu süreler HF'in çalışma amaçları için yeterliydi (Köseyan, 2016). Şekil 3.7'de solda HF'de daha önce kullanılan sağda ise HF'in yenilenme ve iyileştirilme kapsamında kullanılan FÇT'ler görülmektedir.



Şekil 3.7. Hamamatsu R7525 ve Hamamatsu R7600U-200-M4 FÇT'leri (Önel,2015).

BHÇ'de enerji ve ışıklılığın yavaş yavaş artması CMS'in dedektörlerinde bazı sorunların doğmasına neden oldu. Bu sorunlardan biri de HF'deki FÇT'lerde afterpulse (ardarda pik-sinyal) problemidir (Akgün, 2008). Ardarda sinyaller ana sinyalden sonra ortaya çıkan birkaç foto elektron seviyesine sahip küçük sinyallerdir. Şekil 3.8'de görüldüğü gibi ardarda sinyaller uzun bir zaman aralığında tespit edilmiştir. R7525 FÇT'lerinin bazılarında bir veya iki sinyal görünürken çoğunda sinyal üç bölgede ortaya çıkmaktaydı. Genelde iki tip ardarda sinyal vardır. Bunlardan biri ana sinyalden sonra onlarca nano saniye içinde oluşan kısa gecikmeli ardarda gelen sinyallerdir. Bunlar elektronların ilk dinottan esnek saçılmasından kaynaklanırlar. Diğeri ise ana sinyalden sonra onlarca nano saniyeden başlayarak birkaç mikro saniyeye kadar devam eden uzun gecikmeli sinyallerdir. Bu tür ardarda sinyallerin çoğu FÇT'lerin içindeki kalıntı gaz moleküllerinin iyonlaşmasından kaynaklanır. Problem uzun süren gecikmeli durumlarda gözlenmekteydi. Sorunun HF ortamında bulunan helyum gazındaki sızıntının FÇT boşluğunun azalmasından kaynaklandığı düşünüldü. Sorunu çözmek

için helyum gazı yerine RBX'lere azot gazının pompalanması önerildi (Köseyan, 2016).



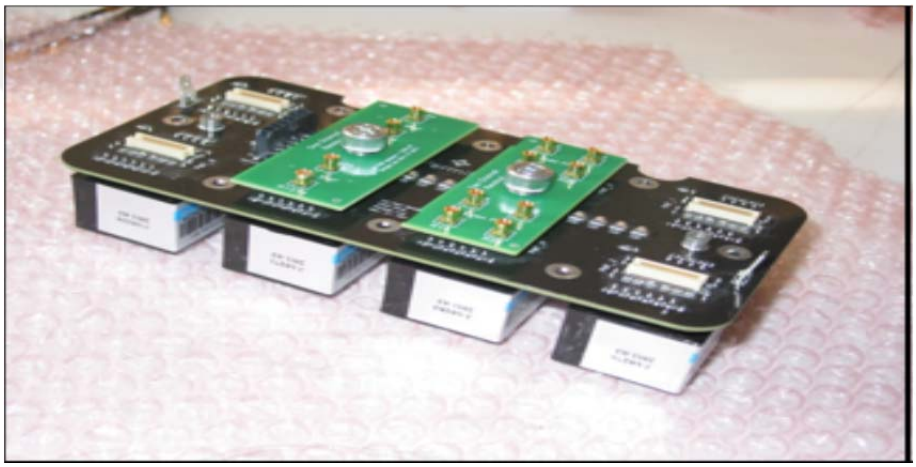
Şekil 3.8 Hamamatsu R7525 marka FÇT'lerden birindeki ana sinyale göre ardarda pik geciktirmesi (Akgün,2008).

Eski (R7525) FÇT'ler ile ilgili bir başka sorun FÇT'lerin pencere camları ve cam gövdeleri ile ilgiliydi. FÇT'ler IP'den gelen aşırı radyasyonun zararlı etkisinden RBX'ler ve kamalar arasına yerleştirilen soğurucu döşemelerle korunmaktadır. FÇT'lere gelen yüksek enerjili elektromanyetik veya hadronik parçacıkların çoğunun sıradan madde ile etkileşmesi çok düşük soğurma oranına sahip olan tekli müonlar dışında döşemeler tarafından soğurulur. Kuvars fiberler dedektörün arkasından okunur. Bundan dolayı hadronik ve elektromanyetik duşların oluşumu arasında yaklaşık $1-2$ ns gibi bir zaman gecikmesi vardır. HF'den gelen Çerenkov sinyali hızlı üretim ve toplama zamanına sahiptir. Yüklü parçacıklar FÇT'in ön penceresine ve cam gövdeye çarptığında camdan geçerken bozunuma uğrayan müonların oluşturduğu Çerenkov ışıması ve geç gelişen duşlardan kaynaklanan yüklü parçacıklar eski FÇT'lerde büyük oranda sahte sinyaller oluşturuyordu. FÇT'lerde sahte sinyalerin oluşmasının bir başka nedeni

kozmik ışınlardır. Bu durum çok önceden de biliniyordu fakat büyük bir sorun olarak düşünülmemişti. Kuvars fiberlerden gelen gerçek veri ve FÇT penceresinden gelen anormal sinyaller, uzun ve kısa fiberlerden gelen sinyallerle karşılaştırılarak kolayca birbirinden ayırt ediliyordu. BHÇ'de hüzme ışıklılığı arttıkça, aynı kamayla ilişkili her iki FÇT'de eşzamanlı pencere olayları ortaya çıkmaya başladı. Sahte sinyaller gerçek sinyal gibi kaydedilmeye başladı. Hem EM hem de hadronik duşlar her iki fiberde imza bıraktığından gerçek olaylar genellikle her iki FÇT'de eş zamanlı imzalara sahiptir oysa pencere olayları FÇT'de tek bir imza bırakır. BHÇ'de ışıklılığın artması ile büyük bir enerji birikimi oluşturan bu sahte ve anormal sinyalleri ortadan kaldırmak zorlaşmıştır. Anormal sinyallerin normal Cherenkov sinyallerinden çok daha uzun pikler ürettiği görülmüştür (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010). Bu sorunu çözmek ve sahte olay oranını azaltmak için FÇT'leri değiştirerek pencere olay oranını azaltmaya karar verilmiştir. Bu değiştirme BHÇ'nin Uzun Mola 1 döneminde yapılmıştır. HF'deki tüm Hamamatsu R7525 FÇT'ler, Hamamatsu R7600U-200-M4 FÇT'ler ile değiştirilmiştir.

Yeni FÇT'lerin kuantum verimliliği eski FÇT'lere göre daha yüksektir. Yeni FÇT'lerde 400 nm civarındaki kuantum verimliliği % 40'dır. Pencere malzemesi yine borosilikat camdır ancak eski FÇT'lerin camından daha ince olup cam kalınlığı 1 mm'den daha azdır. Bu durum bir parçacığın pencere ile etkileşme olasılığını azaltmıştır. Yeni FÇT'lerin performansı eskilerinden daha iyidir. Pencereler daha ince olduğundan sahte (pencere) olay oranı düşüktür. Yüksek kuantum verimliliği nedeniyle gerçek veri yanıtı da iyileşmiştir. Ayrıca yeni FÇT'lerin çıkışında çoklu anot kullanıldığından her bir fiber demeti çoklu kanallarla okunmakta ve bu durum gerçek sinyalleri sahte sinyallerden ayırmayı kolaylaştırmaktadır. Çünkü gerçek bir olay tüm anotlarda bir imza bırakacaktır, pencere olayı yani sahte olay genellikle tek bir anotta bir imza bırakır (Köseyan, 2016). Kalorimetreden gelen sinyal, ışık kılavuzları aracılığıyla FÇT'lere dağıtılmaktadır. Her bir anot sinyali foto katot yüzey dilimine karşılık üretilen foto

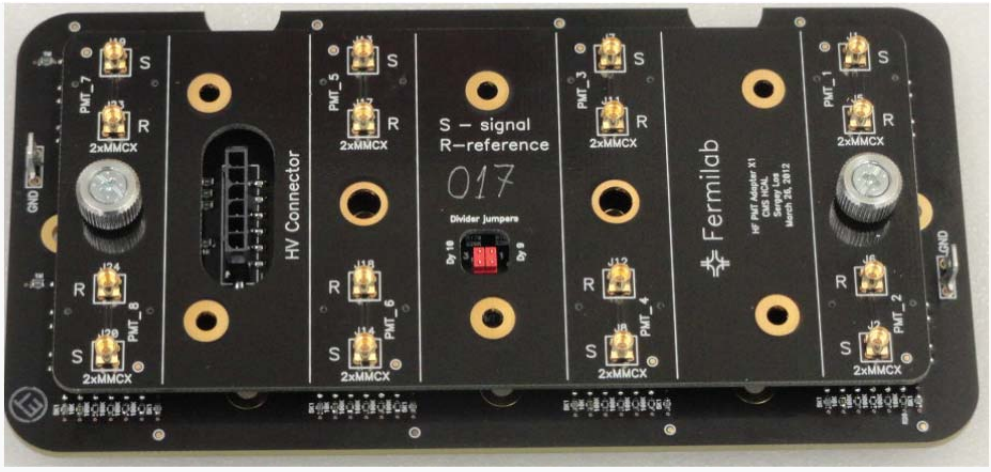
elektronların bir sonucudur. FÇT'lerden gelen analog sinyaller uygun FÇT taban tablalarıyla birbirlerinden bağımsız olarak okunur. Şekil 3.9'da taban kartı ile birlikte FÇT verilmiştir. R7525 FÇT'leri cam pencere ve cam gövdeye sahip iken, daha önce de bahsedildiği gibi R7600 FÇT'lerinin camları ince pencerelidir ve gövdesi metal bir dış zarf içine yerleştirilmiştir. FÇT'nin gövdesinden geçen parçacıklar tarafından oluşan sahte Çerenkov ışınımını azaltmak için gövde metal ile zırhlanmıştır (CMS Collaboration ,2011).



Şekil 3.9. FÇT'ler ve taban tablası (Önel,2015)

3.2.2. Okuma Kartları

HF'de 72 adet RBX, 1728 adet FÇT'li 216 adet okuma kartı bulunmaktadır. 4-anotlu FÇT'lerin 1, 2 veya 4 kanal işlemlerini okuyabilecek yeteneğe sahip olması gerekir 2016-2017 yılları arasındaki moladan sonra 1-kanallı adaptör panolarının yerini 2-kanallı adaptör panoları almıştır. Tek bir FÇT taban tablası Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Adaptör kartı eklenmiş FÇT taban tablası (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010).

R7600 FÇT taban kartında üç bağımsız voltaj (Vpc, Vd9, Vd10)'lı her bir FÇT başına bir adet olmak üzere sekiz adet güç kaynağı bulunmaktadır. Bu tasarım konvensiyonel direnç tabanları içerir, QIE okuma kartları için referans sinyali ve FÇT zırhlarına toprak bağlantısı sağlar. Adaptör tablası farklı okuma seçenekleri arasında uygun geçişi sağlamak üzere tasarlanmıştır. Adaptör tablası deliğin içine MMQX (mikro minyatür koaksiyel) sinyal bağlantıları kullanılarak monte edilmiştir (Önel,2015).

3.2.3. Ön-Arka Uç Elektroniği

HF'deki Veri Akış Sistemi (DAQ) Ön Uç (FE) ve Arka Uç (BE) olmak üzere iki temel bileşenden oluşur. FE, FÇT'lerden gelen sinyalleri alır, sayısal veriye dönüştürür ve BE elektroniğine gönderir. Bu iş QIE kartları kullanılarak yapılır. BE'de ise QIE kartlarından gelen sayısal veriler Mikro Yüksek Tetikleme Okuyucu (μHTR)'ye gönderilir. Bunlar sayısal veriyi alan ve hesaplayan donanımlardır. FE ve BE farklı kasaların üzerine yerleştirilmiştir. Ancak FE, BE ile BE içine yerleştirilmiş olan ve bir optik fiber kabloyla bağlanan yeni nesil saat kontrol modülü (ngCCM) olarak bilinen bir kart yardımıyla eşzamanlı olarak

çalışmaktadır (Köseyan, 2016). FE elektronikleri, verileri 40 MHz'de sayısallaştırarak oluşan sinyalleri sürekli bir biçimde BE elektroniklerine iletmektedir (Roy T., 2015).

Her bir FE elektronik kasasının içinde bir kalibrasyon modülü bulunmaktadır. Bu modül bir lazer ışığı dağılım sistemi ve FÇT kutuları için bir LED üretecine sahiptir. Lazer üreteci HF'in kalibrasyon modülü gibidir. Kalibrasyon modülü dışarıdan uygulanan voltaja bağlı olarak FÇT'lere bir ışık sinyali göndermektedir. Bu sinyal daha sonra bir elektrik sinyali olarak QIE10 kartlarına geçer ve fiberler aracılığıyla μHTR kartlarına sayısal veri olarak iletilir. Sinyal üretecinin kontrolü, kalibrasyon modülünden geliştirilmiştir. Kalibrasyon modülü, FÇT'lerin kazancını tespit etmeyi sağlayan LED sinyallerini üretmek için CMS VBE (Warning-Test-Enable, Uyarıcı-Test Etkinleştirici) sinyalini kullanmayı gerektirmektedir (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010). FÇT kazancı anot akımının katot akımına oranıdır. Kazanç dinot sayısı, karakteristiklerine ve FÇT'ye uygulanan besleme gerilimine bağlıdır. İletişimi Seviye-1 tetikleme sistemi kullanarak sağlamak ve olayları merkezi veri akış sistemine göndermek için HKAL'de BE elektronikleri tasarlanmıştır. BE bir ticari µTCA kasasının içine yerleştirilmiş olup iki modülden oluşmuştur. İlk modülde bir µHTR ve bir gelişmiş arakat kart (AMC13) modülü bulunmaktadır (CMS Collaboration 2012, CMS-TDR-010).

3.2.4. QIE (Yük Toplayıcı ve Kodlayıcı) kartları

Kalorimetreler tipik olarak düşük enerjide zayıf çözünürlüğe sahiptir ve çözünürlük, artan enerjiyle içsel bir sınıra yükselir. Dinamik aralığı genişletmek için gereken bit sayısı, en yüksek enerjilerde kesinliği sağlamak için gerekenden daha fazla olduğundan, bu bir optimizasyon zorluğu teşkil eder. HKAL bu problemi yükseltilmiş/iyileştirilmiş sisteminde QIE10 kartları kullanarak çözmüştür. QIE10'ler, yüksek enerji fizik deneylerinde kullanılmak üzere geliştirilen hızlı ve geniş dinamik aralıklığa sahip anolog sinyal dönüştürücü

(ADC) ailesinin en yeni cihazlarıdır. QIE10, dijital çıktıya TDC bilgilerini dahil ederek önceki nesil çiplerinden farklıdır. Hem CMS HKAL hem de ATLAS deneyinin TileCal alt dedektörlerinde kullanılmaktadır (CMS Collaboration 2012, CMS-TDR-010).

QIE kartları FÇT'lerden gelen analog sinyalleri toplayarak sayısal veriye dönüştüren donanımlardır. Bu kartlar 24 analog giriş kanalına sahiptir. Bunun için her bir kartta aynı anda 24 farklı sinyal işlenir. Yeni konfigürasyona göre her FÇT iki kanalla okunacağından bu her QIE kartının aynı anda 12 adet FÇT'den gelen sinyali okuyacağı anlamına gelmektedir. Bu FÇT'ler kartların önündeki Winchester konektörlerine bağlanmıştır. Bu yeni okuma düzeni için HFde toplam 144 karta ihtiyaç duyulmuştur. Bu kartlar, ikili anot okuma durumunda HF'den gelen sinyallerin tamamını işlemektedir. Şekil 3.11'de bir Winchester bağlantı kablosu (WLS) verilmiştir.



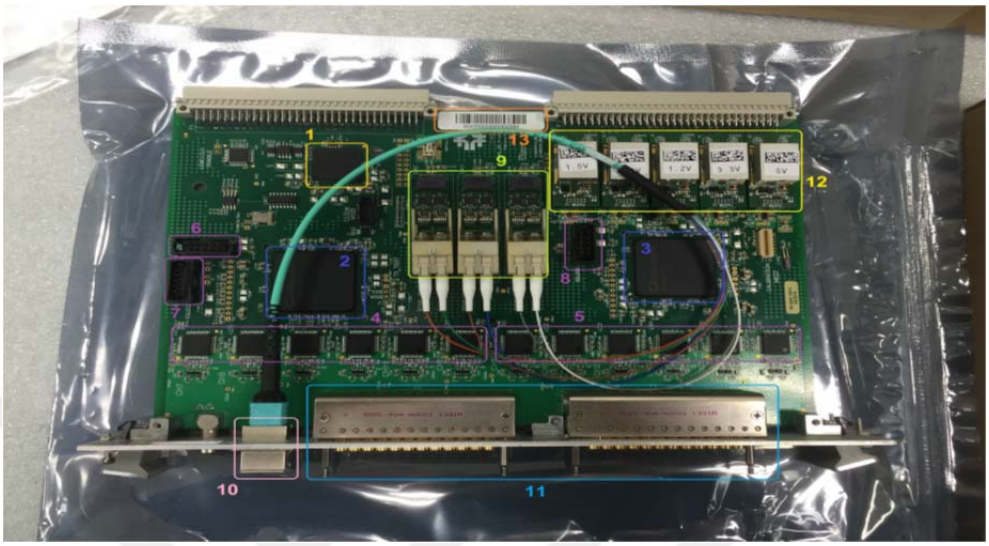
Şekil 3.11. Winchester bağlantı kablosu (Önel, 2015)

24 kanalın her biri verilen bir QIE kartının üstündeki 24 adet QIE çipinin birini beslemektedir. Burada girişlerden gelen 24 sinyalin tümü 25 ns aralıklarla ayrı ayrı toplanarak sonuçlar sayısal verilere dönüştürülür. Bu sayısal veriler daha sonra iki alan programlayabilen kapı dizisi IGLOO2 (FPGA)'a gönderilir. Burada QIE çiplerinden gelen veriler yeniden biçimlendirilir, altı seri veri satırı haline

getirilerek çok yönlü çift verici (VTTx)'lere gönderilir. VTTx'ler elektriksel veri sinyallerini optik sinyallere dönüştüren cihazlardır. Her VTTx iki elektriksel veri sinyalini iki optik veri sinyaline dönüştürebilir. Bu optik sinyaller daha sonra BE'yi beslemektedir (Köseyan, 2016).

Bir kasa içine yerleştirilen QIE kartları bu kasanın arka paneline bağlanmıştır. Her bir kasa arka panelden 8 V'luk bir doğru akım (DC) güç kaynağı ile beslenmektedir. Bu güç daha sonra DC-DC dönüştürücüleri besler ve QIE kartları üzerinde 1.5 V, 2.5 V, 1.2 V, 3.3 V ve 5 V'a dönüştürülür. Kartlardaki çiplerin çoğu 3.3 V gerilimde çalışmaktadır. Fakat, FPGA'ları çalıştırabilmek için çeşitli farklı voltaj seviyelerine ihtiyaç vardır.

QIE kartlarının bileşenleri Şekil 3.12'de gösterilmiştir (Köseyan, 2016). Şekil üzerindeki numaralar sırasıyla, 1: FPGA köprüsü, 2: Üst IGLOO2 FPGA, 3: Alt IGLOO2 FPGA, 4: Üst QIE10 çipleri (7-12 kanalları), 5: Alt QIE10 çipleri (19-26 kanalları), 6: FPGA köprüsü programlama portu, 7: Üst IGLOO2 programlama PORTU, 8: Alt IGLOO2 programlama PORTU, 9: VTTx, 10: MTP konektörü, 11: Winchester konektörleri (FÇT girişleri), 12: DC-DC dönüştürücüler, 13: CMS tanımlama etiketini göstermektedir.



Şekil 3.12.Bir QIE kartının ön yüzü ve bileşenleri (Köseyan,2016)

3.2.4.1. QIE10 kartları

Bu kartlar temel olarak FÇT sinyallerini alan ve yeni QIE kartları için sayısal verilere dönüştüren ADC'lerdir. Anolog girişleri kartın ön yüzündeki Winchester konektörlerine sayısal çıkışları ise IGLOO2 FPGA'lara bağlıdır. Bu çipler Şekil 3.12'de görüldüğü gibi her bir kartta üst QIE ve alt QIE olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Her iki yüzde 6 adet olmak üzere toplam 12 üst QIE ve yine her iki yüzde 6 adet olmak üzere toplam 12 alt QIE kartı vardır. Bu çiplerin analog girişlerindeki negatif voltajlarla uğraşması gerektiği anlamına gelir. QIE10 kartları FÇT sinyallerini tespit ederek onları doğru biçimde ölçer ve sinyalin varış zamanını sayısallaştırır. Kartlar 25 ns'lik demetler, ölü zamansız entegrasyon ve yükleri sayısallaştırma özelliğine sahiptir. Bu işlemler BHÇ ile eş zamanlı gerçekleşir. Bir QIE çipi önce sinyali, her 25 ns periyodunda analog girişe enjekte edilen yük miktarını akım darbesi olarak alır, bunu bir ADC değerine dönüştürür ve bir veri hattı üzerinden gönderir. Toplama işleminin 25 ns aralıklarla yapılmasının nedeni BHÇ'de hüzme geçişlerinin 25 ns'de olmasıdır. Bu 25 ns

aralığı ayrıca birleştirme aralıklarının zamanlamasını FÇT sinyalleriyle eşleştirmek için 16 saat fazına (her biri 1.5625 ns uzunluğunda) bölünmüştür. Birleştirme çip üzerindeki kapasitörlerde FÇT tarafından enjekte edilen yükün depolanmasıyla yapılır. Yük depolanmasından bahsedince kısaca kapasitörleri özetlersek; Kapasitörler basit olarak elektrik yükünü elektrik alan içinde depolayan devre elemanlarıdır. Alternatif akım üretme özellikleri vardır. Birimi Farad'tır ve değeri kapasitesine göre değişir. Karakteristik özellikleri plakaları arasında bulunan yalıtkanın cinsine, çalışma ve dayanma gerilimine, depolayabildiği yük miktarına bağlı olarak değişir. Kapasitörler bir DC kaynağına bağlanırsa, kısa sürede yükü depolar ve dolar. Bu şekilde devreden ayrılan bir kondansatör yüklenmiştir ve plakaları arasında bir gerilim değeri okunur (https://tr.wikipedia.org/wiki/Kondansatör).

Deneyde her 25 ns'lik döngü için bir kapasitör kullanılmıştır ve her QIE çipinde bu kapasitörlerden dört adet bulunmaktadır. Bunun nedeni değerin okunması ve bir sonraki döngüye hazırlanması için kapasitörün boşalmasının zaman almasıdır. Kapasitör Cap Id adı altında etiketlemiş ve 0 dan 3'e kadar numaralandırılmıştır. Cap Id, 2 bitlik kayıdı depolar ve veri olarak gönderir. Bu çiplerin sayısal çıkışı doğrusal olmayıp yarı logaritmiktir. İki bitişik komşu bin arasındaki yük farkı, bir periyotta QIE10 çipinin giriş kanalına enjekte edilen yük miktarı ile değişir. Bu göreceli giriş yük çözünürlüğünün çok fazla değişmemesi için yapılır. Bu ölçeklendirme giriş yük aralığını dört aralığa ve her bir aralığı da dört alt aralığa bölerek yapılır. Giriş yüküne bağlı olarak ADC değerleri bin başına yük ile değişir. ADC toplam 8 bittir. QIE çipleri aynı zamanda bir TDC işlevselliğine de sahiptir. TDC temelde bir zamanlayıcıdır ve sinyalin varış zamanın belirler. Yani bir giriş atımının ilk yükselen ucunun varış zamanını ölçer ve her 25 ns'lik periyodu elli 500 ps aralıklarına böler. TDC, 0 ile 49 arasında değerler alabildiğinden 6 bitlik bir değer olarak gösterilebilir. Eğer ADC, TDC ve Cap Id bit sayıları toplanırsa 25 ns başına toplam 16 bit bulunur bu da veri satırının

frekansının 40 MHz olması demektir. Ayrıca her bir QIE10 çipinin içinde bu 16 bitlik 40 MHz verisini 8 bitlik 80 MHz'e dönüştüren bir eşleyici bulunur.

3.2.4.2. IGLOO2 FPGA

FPGA'ların her biri 12 adet QIE10'den gelen veriyi aynı anda alıp bu verileri üç 5 Gbps seri satırı biçiminde serileştirir ve sonuçları VTTx'lere gönderir. Bu bir programdır, IGLOO2'nın görevi veri bütünlüğünü sağlamak ve zaman fazını ayarlamaktır. IGLOO2, QIE'lerin bir TDC ayırt edicisi olup ayrıca QIE'lerin ön kenar TDC'ine bir, arka kenar TDC oluşturmak için bir iç faz kilitli döngü kullanmaktadır. IGLOO2'ler QIE10 kartının 12 adet ön ve 12 adet arka yüzünde olmak üzere toplam 24 çipten sorumludur. Her bir kartın 24 çipine gerekli yazılımlar yüklenerek Pedestal (elektronik gürültü), ICI ve CapID testleri yapılmıştır.

IGLOO2'den gelen serileştirilmiş veri ön -arka uç optik bağlantı noktasına geçer. Ön - arka uç bağlantısında 3 bant genişliğini karşılamak için QIE kartlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bundan dolayı en fazla 5 Gbps'de çalışabilen çok yönlü alıcı/verici çift optik sürücüler kullanılmakta olup bu sürücüler radyasyona karşı oldukça dayanıklıdır. Her QIE kartı ve kalibrasyon kartı arka panelden 6,5 V'luk güç almaktadır (Köseyan, 2016).

3.2.4.3. VTTx

VTTx'ler sayısal veri seri satırlarını optik veriye dönüştürür. Bir VTTx aynı anda iki seri veri satırını dönüştürebilir. Her kartın üstünde iki IGLOO2 FPGA olduğundan verileri gönderebilmek için üç adet VTTx'e ihtiyaç duyulmaktadır.

3.2.4.4. FPGA Köprüsü

FPGA köprüsü FE arka panelinin tüm QIE çipleri, IGLOO2 ve QIE kartı üzerindeki diğer arabirimlerle bağlantısını sağlar.

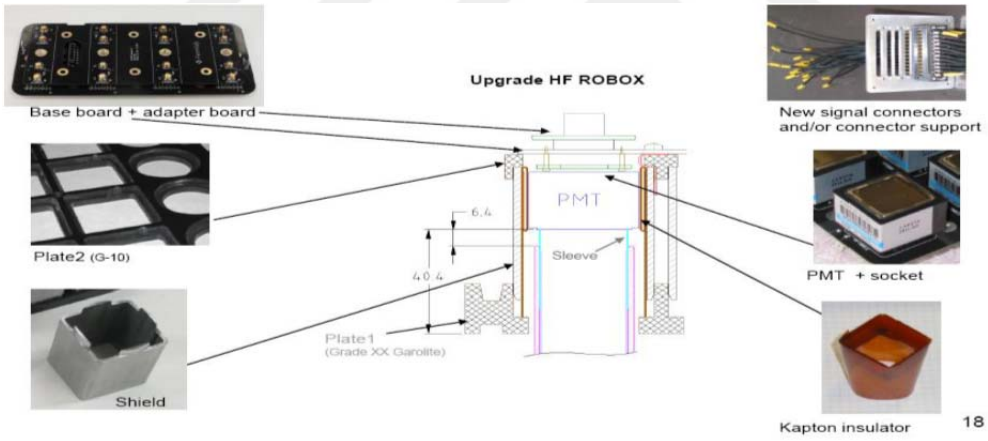
3.2.4.5. TDC

TDC sinyalin varış zamanını belirler ve temel olarak bir giriş sinyalinin ilk yükselen kenarının varış zamanını ölçen bir zamanlayıcıdır. FÇT sinyallerinin zamanlamasını ayarlayarak veri alım sisteminde hatalı sinyalleri ayıklamaktadır. TDC işlevseli her saat döngüsünde 6-bit'lik bir TDC kodu üreterek üstel ve ondalık olarak okunur. Gecikme Kilit Döngüsü (DLL), 25 ns saat periyodunu her biri 500 ps'lik 50 periyoda böler ve 50 geçerli zaman kodu verir. Ek olarak 61, 62 ve 63 özel kodları vardır. DLL kilitli değilse, özel kod 61 üretilir. DLL kilitlendiğinde, geçerli zaman kodları 0 - 49 arasındadır. Ayrıştırıcı çıktısı düşük başladığında 0 oluşur ve verilen bir yüksek sayı değerine gider. Ayrıştırıcı yüksek başladığında özel kod 62 üretilir. Ayrıştırıcı düşük başlayıp düşük kaldığında (hiçbir şey olmuyordur) özel kod 63 oluşur (https://cmsdocdb.cern.ch/cgibin/DocDB/RetrieveFiledocid=11521filename=QIE10_P5.pdfversion=6).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. HF'de Değiştirilen Bileşenler

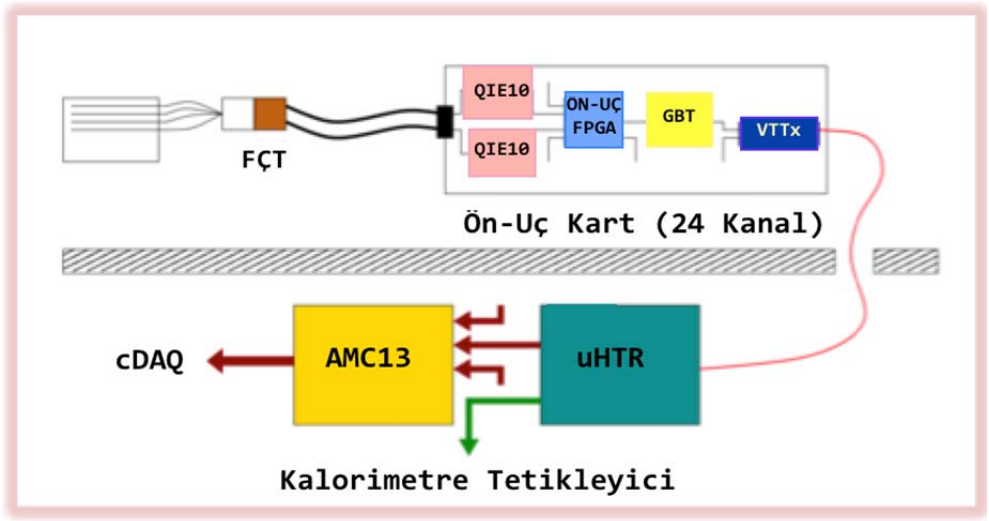
Tezin materyal metod kısmında da bahsedildiği gibi BHÇ'de Faz-1 molası esnasında HF'deki tek anotlu Hamamatsu R7525 kodlu FÇT'ler dört anotlu Hamamatsu R7600U-200-M4 FÇT'ler ile değiştirilmiştir. FÇT'lerin değiştirilmesi yeni taban ve adaptör kartlarının 1, 2 ve 4 kanallı okuma seçenekleri arasındaki geçiş esnekliğini, soketler, ışık kılavuzu ve kablolama (Winchester kablosu) gibi birtakım iyileştirme çalışmalarının yapılmasını gerektirmiştir. Eski FÇT'lerde 12 girişli Winchester kablosu kullanılırken yeni FÇT'lerde 24 girişli Winchester kablosu kullanılmıştır (Önel, 2015). HF'in iyileştirme/yenileme çalışmaları kapsamında değiştirilen HF bileşenlerinden bazıları Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1. Yenilenen/ İyileştirilen HF'in bazı yeni bileşenleri (Önel, 2015).

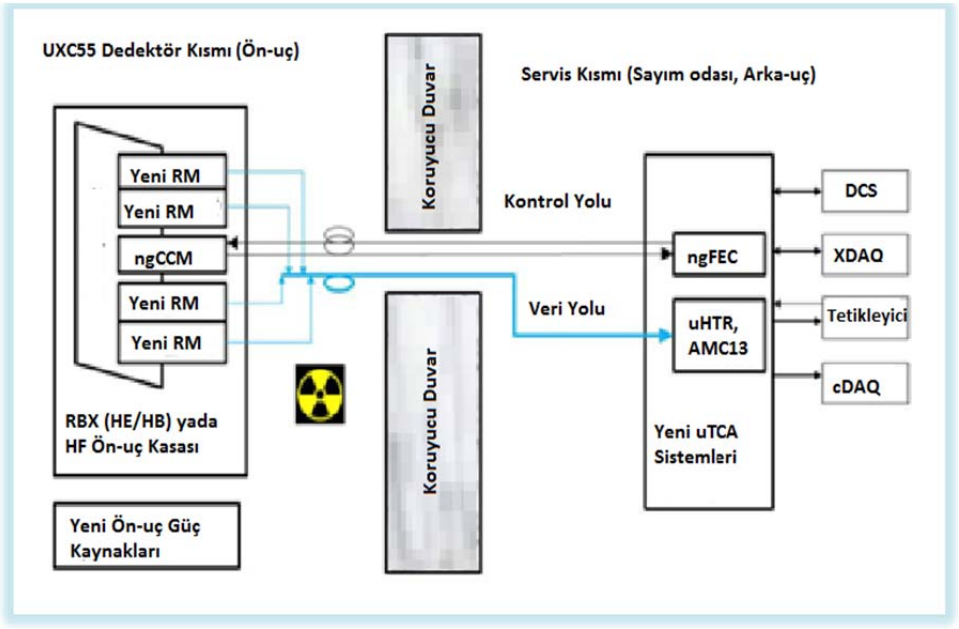
HF'de ön-arka uç elektronik (FE-BE)'leri de değiştirilmiştir. Değiştirilen elektronik sistemdeki bazı elektronik bileşenler önceki sistemin elektronik bileşenleri ile aynıdır. Bunlar; geliştirilmiş toplayıcı/ADC (QIE10), yüksek bant aralıklı veri bağlantısı, veri sıralama için radyasyona dayanıklı FPGA'lar ve geliştirilmiş kontrol sistem (ngCCM/ngFEC - yeni nesil saat ve kontrol modülü

/yeni nesil ön arka uç kontrolü)'leridir. Değiştirilen yeni elekronik sistemin veri akış diyagramı Şekil 4.2'de verilmiştir. Şekilde Hamamatsu R7600U-200-M4 marka FÇT'lerden gelen sinyallerin QIE10, ADC/TDC üzerinden çift anot modunda yapılandırılması, ön uç-FPGA programı kullanarak formatlanması ve verilerin sıralanması, sıralanan verilerin Gigabit alıcı verici (GBT) ve VTTx ile taşınması oradan μHTR'lara ve AMC13 bağlantısı kullanılarak cDAQ'ya iletilmesi görülmektedir (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010).



Şekil 4.2. HF'de veri akışı (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010)

HKAL'in blok diyagramı Şekil 4.3'de verilmiştir. Şekilde yüksek voltaj (HV), düşük voltaj (LV) ve ngCCM görülmektedir.



Şekil 4.3. HKAL'in veri blok diyagramı (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010)

ngCCM mödülünün sağlaması gereken özellikler aşağıda özetlenmiştir:

1. Gigabit Veri ve Zamanlayıcı Alıcı Verici (GBTx)'lerde modül yeni bir veri için zamanı çok iyi kullanabilmeli,
2. Eş zamanlı veri alabilmek için bir veri işaret sinyali yapabilmeli ve FE elektroniklerinin geri kalanına bir yörünge sinyali gönderilebilmeli (QIERESET),
3. FE elektroniklerini sıfırlama yeteneğine sahip olmalı,
4. Kalibrasyon için ileri bir giriş uyarı test (WTE) sinyali iletmeli,
5. Kendi voltajını ve sıcaklığını okuma yeteneği olmalı,
6. GTBx, QIE10 ve FE-FPGA çiplerinin konfigürasyonu için I2 Coulomb iletişimi sağlamalı,
7. Sistemin dayanıklılığını arttırmalıdır (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010).

4.2. HF'de Arka Uç (BE) elektroniklerinin İyileştirilme Çalışmaları

BE elektronikleri, QIE10 kartlarından oluşmuştur. QIE ailesine son eklenen QIE10 ve QIE11 kartları CMS'in iyileştirme/yenileme çalışmaları kapsamında tasarlanmıştır. Radyasyona karşı 100 Gy'a kadar dayanıklılık gösteren bu kartlar HKAL'in diğer alt dedektörlerinde de kullanılmıştır.

Bir QIE10 kartında 24 adet çip vardır. Bu çiplerin 12 tanesi kartın ön yüzünde 12 tanesi ise arka yüzündedir. Her çipin üstünde sinyalin varış zamanını belirleyen TDC bulunur. QIE10 kartları, 25 ns'lik zaman aralığında biriken yükün sayısallaştırılması ve ölü zamanların birleştirilmesini sağlar. Kartlar, 3 fC (femto Coulomb)'dan 330 pC (piko Coulomb)'a kadar, 17 bitte depolanan dinamik aralığa ve sayısallaştırma hatası % 2-3 arasında değişen kalorimetre çözünürlüğüne sahiptir. Bu durum verinin artmasını sağlar. Verinin artıyor olması yeni bir iletim hattı gerektirdiği için QIE10 kartları, kapalı bir çip anahtar ayarlayıcıda 3,3 V üreten ek bir voltaj sağlar. QIE10 kartlarından gelen veriler GBTx teknolojisi ile sayısallaştırılarak FE elektroniklerine iletilir. Daha önce VBE (beyz/baz-emiter gerilimi) temelli bir sistem kullanılırken HF'deki BE'leri iyileştirmek için elektronik bileşenler değiştirilmiştir. Yeni sistem Mikro Telekomünikasyon Hesaplama Mimarisi (MicroTCA) olarak bilinen elektronikten yapılmıştır (Zimmerman, 2014). MicroTCA, PCI Endüstriyel Bilgisayar Üreticileri Grubu tarafından oluşturulan ve sürdürülen modüler, açık bir standarttır. Doğrudan bir arka panele bağlı Gelişmiş Ara Kartlar kullanarak anahtarlamalı bir yapı bilgisayar sistemi oluşturmak için elektrik, mekanik, termal ve yönetim özelliklerini sağlar (https://en.wikipedia.org/wiki/MicroTCA).

HKAL'in alt dedektörlerinin okuma kanalları farklı materyallerden oluşmuştur. Fiziksel süreçleri ve yük toplayıcı sistemleri farklı çalışıyor olsa da okuma zincirindeki son bağlantı noktaları HKAL'in tüm dedektörleri için aynıdır. 2016 yılında BE, 2017'de FE'nin bazı elektronik bileşenleri değiştirilmiştir Elektroniklerin iyileştirilip yenilenmesi ile dedektörlerde istenmeyen gürültünün azalması, HF'deki verilerin okuması ve tetikleyici (yüksek tetikleme okuyucu –

HTR) geliştirilmiştir. Kontrol ve performans testleri tamamlanan elektronikler detektörlere yerleştirilmiştir. Daha önceki sistemde saat ve kontrol modülü (CCM) GLIB olarak bilinen ön-arka uç kontrolleri (FEC) ve QIE8 kartlar kullanılmaktaydı. Bunların tamamı değiştirilip yerlerine ngCCM, FC7 olarak bilinen yeni nesil ön arka uç kontrolü (ngFEC) ve QIE10 kartları kullanılmaya başlanmıştır.

4.3 Global Veri Alımı Sırasında Gözlenen HF LED Bayrağının Teklemesi

Bu kısımda fizik verilerinin kalite kontrol çalışmaları esnasında HF elektroniklerden kaynaklanan sorunun belirlenmesi için yapılan çalışma tartışılacaktır. 2018 yılının Eylül ayında 13TeV'lik kütle merkezi enerjisine sahip $p - p$ çarpışmasına ait veri (Global Veri) alımı esnasında ön-uç sürücü (FED) 1121 ile ilgili HKAL alarmları gözlenmiştir. Birkaç global veride benzer problem tespit edilmiştir. Online DQM histogramlarında gözlenen sorunlu global verilerini içeren veri setleri analiz edilerek sorunun neden ve dedektörün hangi bölümünden kaynaklandığı araştırılmıştır.

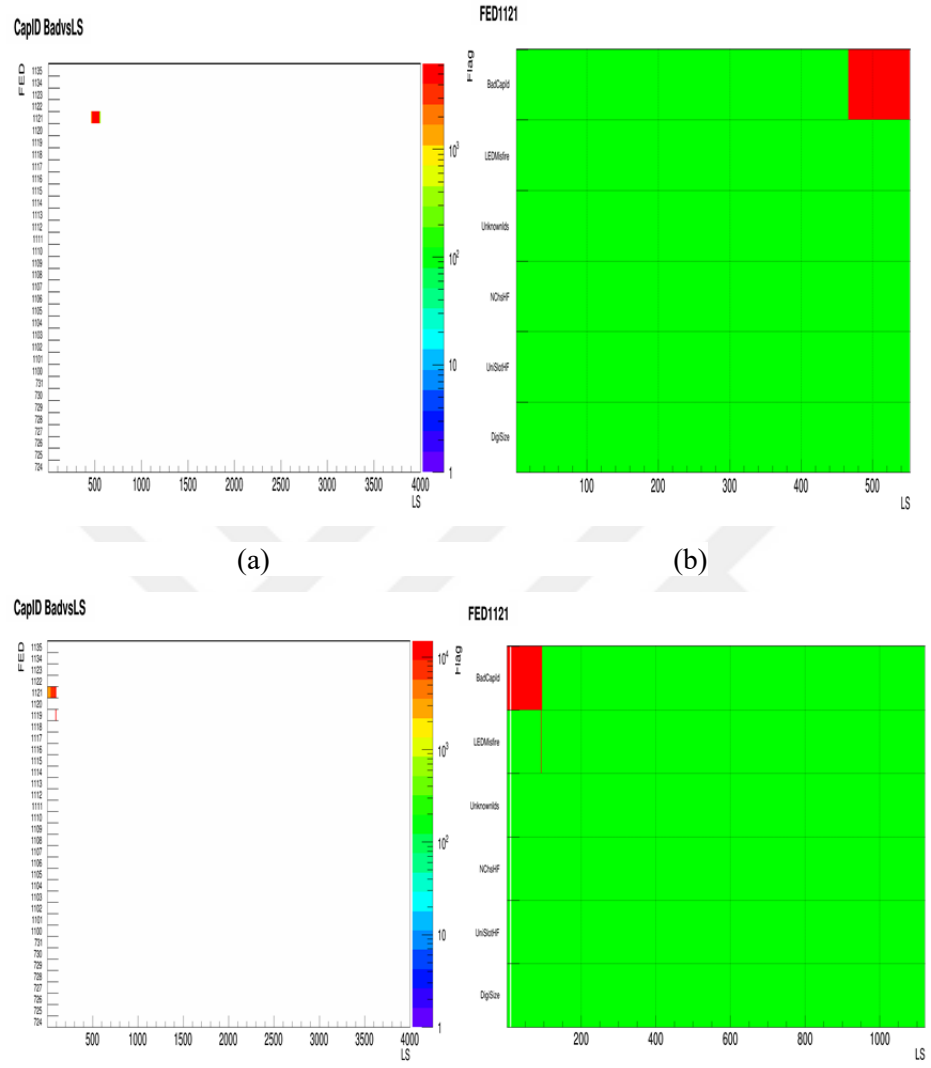
Işık Yayan Diyot (LED), doğru yönde voltaj uygulandığında ışıma yapan, yani elektrik enerjisini ışık enerjisine dönüştüren özel katkı maddeli PN diyotlardır (https://tr.wikipedia.org/wiki/Diyod_Işık_Yayan_Diyod_(LED)). HKAL'deki ön uç sürücü FED'lerin yapısı şu şekildedir: Bütün HKAL sistemi 9U Versa Modül Avrupa Sürücü (VME) okuma kasası içermektedir ve bunlardan her biri iki adet HKAL veri yoğunlaştırıcı kartına (DCC) sahiptir. HKAL'de FED, DCC'in rolünü üstlenmiştir ve DAQ'i besler. FED, optik analog veriyi alıp sayısal veriye dönüştürerek sayısal sinyal işlemini sağlamaktadır. HKAL'de toplam 32 adet FED bulunmaktadır ve bunlardan 6 tanesi HF kalorimetresine aittir. Tablo 4.1'de HKAL bölümlerinin kasa ve FED sayısı gösterilmektedir (J.Mans et al.. HCAL Partition Definitions- CMS IN 2005/999). Tablodan da görüldüğü gibi FED1121 HF kalorimetre bölümüne ait bileşendir. Gözlenen FED ile ilgili alarmların, HF'in + modülünün 4. kaması (HFP04)'nda yer alan FE elektroniklerinden biri olan

okuma kutularındaki QIE10 kartların üzerinde bulunan kapasitörlerden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu kapasitör sorunu öncelikle 323524 numaralı global veri alımı sırasında verilerin kalitesinin (DQM) kontrol edildiği online veri alımı esnasında fark edilmiştir.

Şekil 4.4 (a)'da FED numaralarına karşılık gelen ışıklılık bölümlerinin (LS) dağılımda 1121 numaralı FED'de hata görülmektedir. Hatayı daha iyi anlayabilmek için her bir ışıklılık bölümüne karşılık gelen farklı HKAL alarm bayraklarına bakılmıştır. Şekil 4.4 (b)'de de gösterildiği gibi 1121 FED'in BadCapID bayrağının hata (kırmızı çizgi) verdiği anlaşılmıştır. Yeşil ilgili bölgelerin sorunsuz olduğunu göstermektedir. 323524 numaralı veride gözlenen sorunu gidermek için global veri alımı durdurulmuş ve yeni veri alımı başlatılmıştır. Aynı kapasitör sorunu 323525 numaralı veri alımının başlangıcında da görülmüştür. Şekil 4.4 (c)'de yine FED1121'in hata verdiğini ve (d)'de bu FED'in BadCapID ve LEDMisfire hatalarını verdiği görülmektedir. FED1121 ile ilgili olan HFP04'un düşük voltaj (LV) sistemi yeniden başlatılmıştır. Bundan dolayı HKAL 6 dakika 30 saniye boyunca "degraded-kalitesiz" durumunda çalışmış, daha sonra otomatik olarak kendini toparlamıştır. LV sisteminin yeniden başlatılması Şekil 4.4 (d)'den görüleceği gibi HF'te LED bayrağının tekleme sorununa yol açmıştır.

Tablo 4.1. HKAL bölümleri için kasa ve FED numaraları. (Mans., 2005)

Bölüm	Kasa	Ön Uç Sürücü (FED) ID sol-sağ
HBHEa	HBHEa/1	1100 -1101
	HBHEa/2	1102 -1103
	HBHEa/3	1104 -1105
HBHEb	HBHEb/1	1106-1107
	HBHEb/2	1108-1109
	HBHEb/3	1110-1111
HBHEc	HBHEc/1	1112-1113
	HBHEc/2	1114-1115
	HBHEc/3	1116-1117
HF	HF/1	1118-1119
	HF/2	1120-1121
	HF/3	1122-1123
HO	HO/1	724-725
	HO/2	726-727
	HO/3	728-729
	HO/4	730-731



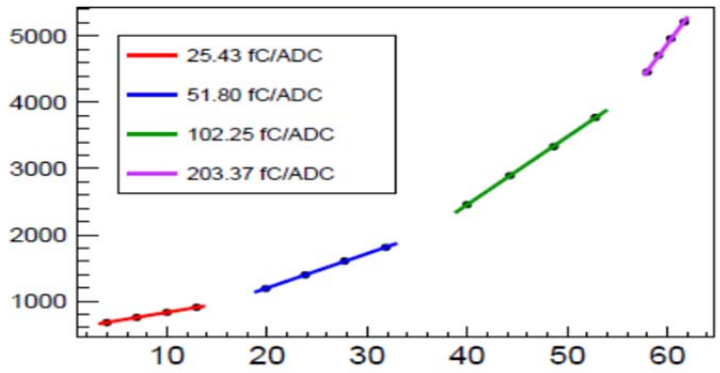
Şekil 4.4. HKAL'in HF kalorimetresinde gözlemlenen BadCapID ve LEDMisfire hataları.

Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen özellikle iki veriyi içeren /JetHT/Run2018D-v1/RAW veri seti kullanılarak BadCapID/LEDMisfire sorununun gözlendiği ışıklılık bölümleri araştırılarak sorunun HF'in hangi ieta/iphi bölümünde gözlendiği belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için CMSSW_10_2_1

versiyonu ve HCALPFG/HcalTupleMaker analiz paketi kurulmuştur. Global etiket 101X_dataRun2_HLT_v7 kullanılarak her iki veri numarasına ait Ntuple'lar üretilmiştir. HF'de kullanılan QIE10 bilgileri kullanılarak önce ADC ve ADC'ye karşılık gelen yük (fC) dağılımlarına bakılmıştır. Tablo 4.2'de QIE10'a ait giriş yükünün çıkış koduna nominal eşleşmesi gösterilmiştir. QIE'de dört adet menzil (range) bulunmaktadır ve her bir menzil 64 binning içermektedir. 0,1,2,3 değerleri bu 4 menzil aralığını ifade etmektedir. Son sütunda da hassaslık (her bir menzil için her bir bin'deki yük) değerleri verilmiştir. Her 6-bit değeri için yük dağılımına bakılmış ve tablonun son sütunu için de bu dağılımın mean değeri dikkate alınmıştır. Hassaslık Şekil 4.5'de gösterildiği gibi, her bir alt aralık için yüke karşı mantis (logaritmanın ondalık kısmı) grafiğinin eğiminden hesaplanabilir. Bu hassaslığın veya her bir alt aralıktaki yük/bin'in sabit kalması ve beklenen kuramsal değerlere sahip olması gerekir (https://lss.fnal.gov/archive/2015/conf/fermilab-conf-15-057-ppd.pdf).

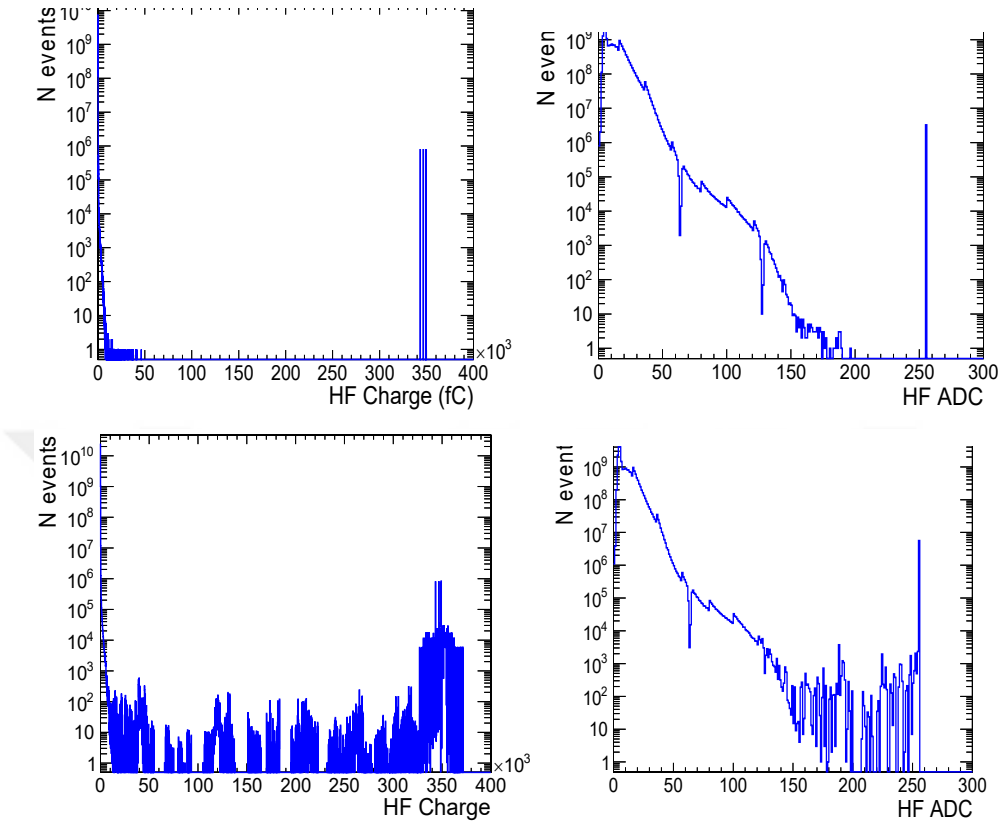
Tablo 4.2. QIE10'a ait giriş yükünün çıkış koduna nominal eşleşmesi (Zimmerman, 2016)

Menzil (Exp.)	Giriş Yükü	ADC Kodu (Mant.)	Hassaslık (Q/bin)
0	16 fC – 34 fC	0 – 15	3.1 fC/bin
0	34 fC – 158 fC	16 – 35	6.2 fC/bin
0	158 fC – 419 fC	36 – 56	12.4 fC/bin
0	419 fC – 592 fC	57 – 63	24.8 fC/bin
1	517 fC – 915 fC	0 – 15	24.8 fC/bin
1	915 fC – 1910 fC	16 – 35	49.6 fC/bin
1	1910 fC – 3990 fC	36 – 56	99.2 fC/bin
1	3990 fC – 5380 fC	57 – 63	198.4 fC/bin
2	4780 fC – 7960 fC	0 – 15	198.4 fC/bin
2	7960 fC – 15.9 pC	16 – 35	396.8 fC/bin
2	15.9 pC – 32.6 pC	36 – 56	793.6 fC/bin
2	32.6 pC – 43.7 pC	57 – 63	1587 fC/bin
3	38.9 pC – 64.3 pC	0 – 15	1587 fC/bin
3	64.3 pC – 128 pC	16 – 35	3174 fC/bin
3	128 pC – 261 pC	36 – 56	6349 fC/bin
3	261 pC – 350 pC	57 – 63	12.70 pC/bin



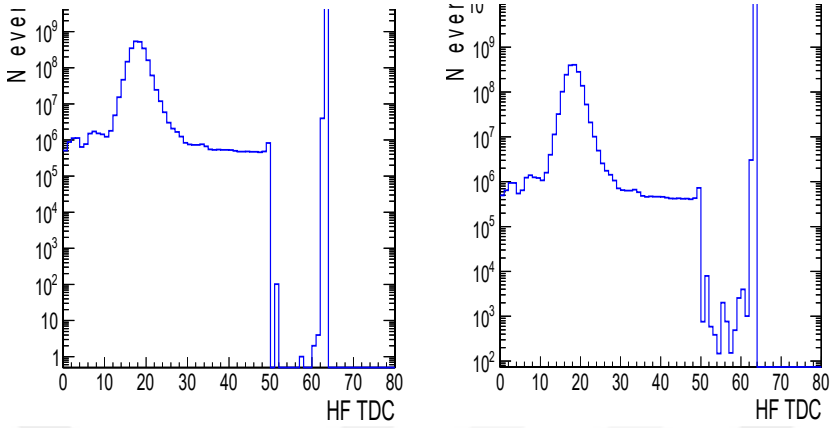
Şekil 4.5. Hassaslığı belirlemek için yükün mantise karşı grafiği (https://lss.fnal.gov/archive/2015/conf/fermilab-conf-15-057-ppd.pdf)

Şekil 4.6'da yük dağılımları fC ve ADC cinsinden elde edilmiştir. Burada her iki veri için elde edilen HF yük (fC) ve ADC dağılımları görülmektedir. x ekseni yük değerini, y ekseni ise sayımı (count) göstermektedir. Daha önce bahsedildiği gibi QIE10 kartları; 8-bit ADC'ye sahip olduğundan analog giriş 256 yük aralığına bölünmektedir. Kapasitörlerin normal çalışması durumunda alınan veriye ait olan yük dağılımının bu aralıklar içinde olması beklenmektedir. $\simeq 350 \times 10^3$ değerinde görülen ikincil pik bir problemin varlığını işaret etmektedir. Kapasitor tam olarak boşalamadığı için ikinci bir pik ortaya çıkmaktadır.



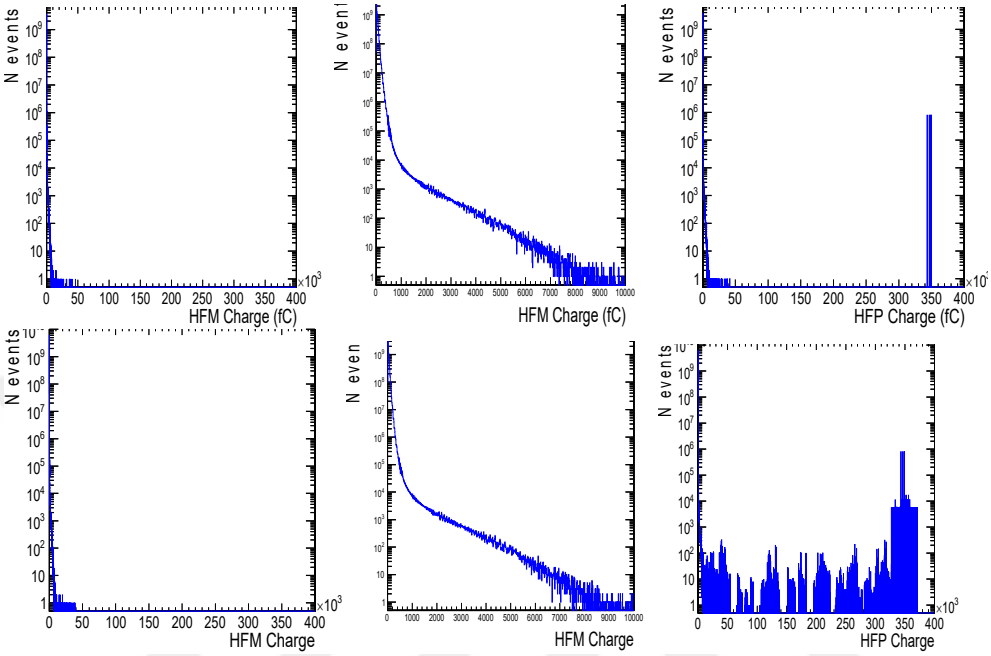
Şekil 4.6. Veri 323524 ve 323525 için HF yük (sol) ve ADC (sağ) dağılımları.

Şekil 4.6'daki HF ADC dağılımlarından görüleceği gibi 25 ns'lik döngü içinde yük aralığı (256) içinde kapasitör boşalmasını tamamlayamamıştır. Bu sorun da alınan verinin ilgili ışıklılık bölümünde kalitesiz olduğunu göstermektedir. QIE10 kartı ayrıca 6-bit TDC'ye sahip olduğundan TDC dağılımlari da elde edilmiştir. TDC, 50 bin aralığına sahiptir. Normal koşullarda çalışan QIE10 kartı ile elde edilen veride sinyal bu aralık içinde beklenmektedir. Şekil 4.7'de 323524 ve 323525 verileri için elde edilen TDC dağılımı gösterilmiştir ve dağılımlarda belirtilen nominal aralığı (50)'nın dışında sinyal gözlenmiştir.



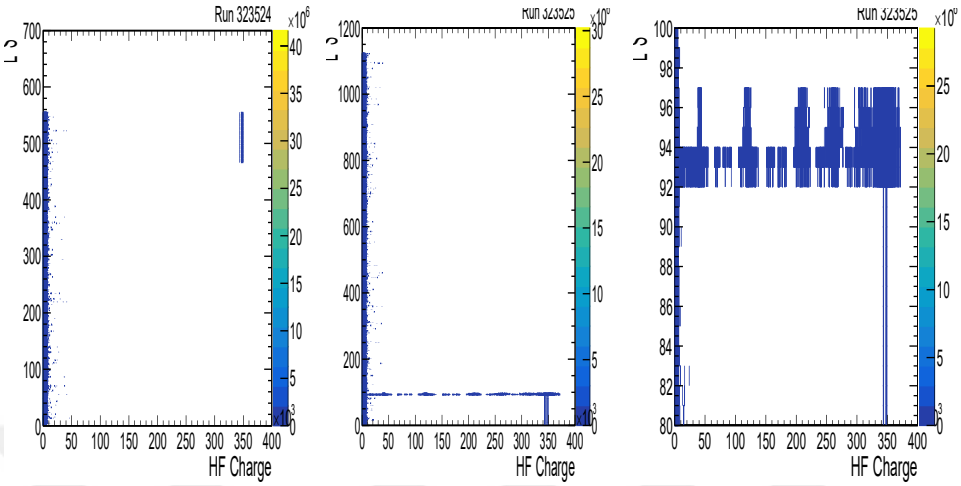
Şekil 4.7. Veri 323524 ve 323525 için HF TDC dağılımları.

Sorunun HF'in hangi bölümünden kaynaklandığını gösterebilmek için HF'in + ve – modülleri ayrı ayrı incelenmiştir. Şekil 4.8'de her iki veri kullanılarak HF+/– modüllerindeki yük dağılımları gösterilmektedir. Kapasitörlerin beklendiği şekilde çalışması durumunda görülmesi gereken yük dağılımı, HF- modülüne ait yük dağılımı gibi olmalıdır. HF+'a ait yük dağılımlarında ise bahsedilen kapasitör sorunundan kaynaklan yüksek genlikteki yük değerleri gözükmektedir.



Şekil 4.8. HF- yük dağılımı (sol), HF- yük dağılımının büyütülmüş hali (orta), ve HF+ yük dağılımı (sağ).

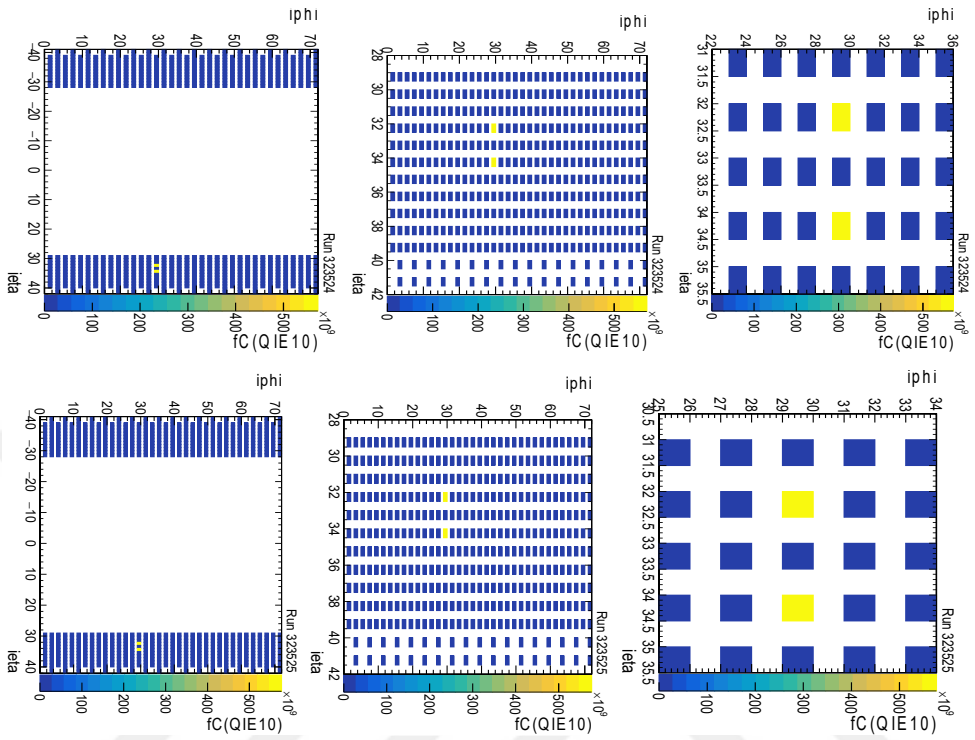
Ayrıca bütün HF için ışıklılık bölümlerine (LS -Lumi Section: 23 saniyelik veri alımının gerçekleştiği süre) karşılık gelen yük dağılımları elde edilip kapasitör sorunun hangi ışıklılık değerlerinde ortaya çıktığı araştırılmıştır. Bu çalışma ile ilgili dağılımlar Şekil 4.9'da gösterilmektedir. 323524 numaralı veri için LS > 466 bölgesinde ve 323525 için ise LS 0-97 bölgesinde yüksek yük dağılımları gözlenmiştir. 323525 veri sırasında sorunu gidermek amacıyla HFP04'un LV sisteminin kapanıp açılması LED bayrağının teklemesine sebep olmuştu ve bu sorun Şekil 4.9 (b)'deki ışıklılık bölmelerine karşılık yük dağılım grafiğinden de görülmektedir. 92 – 97 LS aralığında bu teklemeden kaynaklı yüksek yük değerleri gözükmektedir. Şekil 4.9 (c)'de 323525 verisi için bu dağılımın sorunlu olan LS bölgesine ait dağılım gösterilmektedir.



(a) **(b)** **(c)**

Şekil 4.9. HF için LS'ye karşılık yük dağılımı (a) Veri 323524 (b) Veri 323525 (c) Veri 323525 için elde edilen dağılımın skalasının büyütülmüş hali.

HKAL'in ieta/iphi haritalanmasından yararlanarak ön-uç elektroniğinin detektörün tam olarak hangi bölümüne yerleştirildiğini belirlemek için ieta'ya karşılık gelen iphi dağılımlarına bakılmıştır. Şekil 4.10'da bütün HF ve ayrı ayrı olarak HF+/- modüllerine ait yük dağılımı ieta'ya karşılık iphi dağılımları yük ağırlıklandırılarak elde edilen dağılımlar gösterilmiştir. Bu dağılımlar yük değeri ile ağırlıklandırılmış (weighted) dır, Burada z-ölçeği yük değerini göstermektedir. Dağılımlardan görüleceği gibi iki adet kanala ait yük değerleri diğer kanallardaki yük değerinden daha fazla gözlenmiştir. Bu çalışma sonucunda bu kanalların [IPhi:29; IEta:32,34] olduğu tespit edilmiştir. Sarı ile gösterilen bölgeler yüksek yük değeri yani problemli bölgeleri göstermektedir.



Şekil 4.10. HF ieta'sina karşılık iphi dağılımları: Tüm HF (sol), HF+(orta) ve HF+'in sorunun tespit edildiği bölgenin daha ayrıntılı hali (sağ).

Sonuç olarak online DQM histogramlarında gözlenen sorunlu global verilerini içeren veri setleri analiz edilerek HF'in elektronik kanallarının id'si belirlenmiştir. Bu sorunun gözlemlendiği lumi aralıkları, fizik analizlerinde kullanmak için önerilen lumi aralıklarının belirlendiği dosyaya (Golden JSON file) dahil edilmemiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

BHÇ'deki Faz-1 süresince HF'deki CMS dedektörünün bazı bileşenlerinde iyileştirme ve yenileme çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda HF kalorimetresindeki tek anotlu Hamamatsu R7525 FÇT'ler dört anotlu Hamamatsu R7600U-200-M4 FÇT'ler ile yer değiştirilerek yenilenmiştir. 2018 yılının Eylül ayında 13TeV'lik kütle merkezi enerjisinde proton-proton çarpışması fizik verilerinin kalite kontrol testlerinde online DQM histogramlarında veri (Global Run) alımı esnasında FED1121 ile ilgili beklenmeyen anormal HKAL alarmları gözlenmiştir. Problemin nedenini ve HF'in hangi bölgesinden kaynaklandığını anlayabilmek için global veri setleri analiz edilmiştir. Bu alarmların, HF'in + modülünün 4. kaması (HFP04)'nda yer alan FE elektroniklerinden biri olan okuma kutularındaki QIE10 kartların üzerinde bulunan kapasitörlerden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Problemi ortadan kaldırmak için HFP04'un LV sistemi yeniden başlatılmıştır. LV sisteminin tekrar başlatılması HF'deki LED bayrağının teklemesine yol açmıştır. JetHT/Run2018D-v1/RAW veri seti kullanılarak problemin nedeni ve çözümü araştırılmıştır. CMSSW_10_2_1 versiyonu ve HCALPFG/HcalTupleMaker analiz paketi kurularak Global etiket 101X_dataRun2_HLT_v7 kullanılarak veri numaralarına ait Ntuple'lar üretilmiştir. QIE10 bilgileri kullanılarak yük (fC), ADC ve TDC dağılımlarına bakılmıştır. ADC dağılımlarında 25 ns'lik döngüde yük aralığı (256) içinde kapasitörün boşalımını tamamlayamadığı için alınan verinin ilgili ışıklılık bölümünde veri kalitesinin bozulmasına neden olduğu anlaşılmıştır. TDC, 50 bin aralığına sahiptir TDC dağılımlarda 50 bin'e kadar entry görmek gerekirken 50. bin'den sonraki bölümlerde de sinyaller gözlenmiştir. HF+'nın yük dağılımlarında kapasitördeki yük boşalmasından kaynaklanan yüksek genlikli yük değerlerinin ortaya çıktığı gözlenmiştir. Diğer taraftan tüm HF için ışıklılık bölümlerine (LS Lumi Section: 23 saniyelik veri alımının gerçekleştiği süre) karşılık gelen yük dağılımları incelenmiş ve kapasitör sorunun hangi ışıklılık değerlerinde ortaya çıktığı araştırılmıştır.

323524 numaralı veri için $LS > 466$ bölgesinde ve 323525 için ise LS 0-97 bölgesinde gözlenen yüksek yük dağılımını ortadan kaldırmak için HFP04'un LV sisteminin kapanıp açılmasının LED bayrağının teklemesine neden olduğu anlaşılmıştır. Sorunlu ön-uç elektroniğinin detektörün hangi bölümünde olduğunu tespit etmek için ieta/iphi haritalanmasından yararlanılmıştır. ieta'ya karşılık gelen iphi dağılımlarında gözlenen yük değerlerinin diğer kanallardaki yük değerinden daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bu çalışma sonucunda [IPhi:29; IEta:32,34] kanallarının problemli olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak bu tezde online DQM histogramlarında ortaya çıkan problemli global verilerin veri setleri analiz edilerek problemli HF'in elektronik kanallarının id'si belirlenmiştir. Problemin tespit edildiği lumi aralıkları, fizik analizlerinde kullanmak için önerilen lumi aralıklarının belirlendiği dosyaya (Golden JSON file) eklenmemiştir.

KAYNAKLAR

Akgun, U., A. S. Ayan, G. Aydin, F. Duru, J. Olson and Y. Onel, “Afterpulse timing and rate investigation of three di_erent Hamamatsu Photomultiplier Tubes", J. of Instrumentation, Vol. 2008, No. 3, p. T01001, 2008.

Beamont W. 2007, “CMS Zero Degree Calorimeter”, CMS Note, CMS ZDC, (October, 2007).

Brice, M.,(2008), “Images of CMS HCAL Forward Calorimeter (HF)", CMS Collection, 2008,

CMS Collaboration, 2008. The CERN Large Hadron Collider: Accelerator and Experiments, The CMS experiment at the CERN LHC, JINST 3S08004.

CMS Collaboration (2008c). “The CMS experiment at the CERN LHC”. The CERN Large Hadron Collider: Accelerator and Experiments, 122 p.,

CMS Collaboration (2011) CERN-LHCC-2011-06, CMS-UG-TP-1, Upgrade of the CMS detector throught 2020. Technical Proposal ,2011

CMS Collaboration (2011). “Technical Proposal for The Upgrade of The CMS Detector Through 2020”.

CMS Collaboration (2012) CERN-LHCC-2012-015, CMS-TDR-010, CMS Technical Design Report fort he Phase I Upgrade of the Hadron Calorimeter ,2012

CMS Collaboration (2012). CMS Technical Design Report for the Phase 1 Upgrade of the Hadron Calorimeter CERN-LHCC-2012-015 CMS-TDR-010 26 September 2012

CMS Collaboration, (2013). “CMS reconstruction improvement for the muon tracking by the RPC chambers”, PoS RPC2012 (2012) 045, JINST 8 (2013) T03001

CMS Detector Note, CMS DN-2015/024., 2015. “Noise Filter Performance studies for CMS HF by comparing new and old PMTs using Collection of data taken in 2012”,

CMS Collaboration (2015b). “Performance of photon reconstruction and identification with the CMS detector in proton-proton collisions at √s = 8 TeV”. CERN - LHCC 2015 JINST 10, P08010).

CMS Collaboration (2016d), “Detector Drawings", CMS Collection, 2012,

https://cds.cern.ch/record/1433717, accessed at July 2016.

CMS HCAL Collaboration, (2008)“Design, performance, and calibration of CMS forward calorimeter wedges", The European Physics Journal C, Vol. 53, pp. 139{166, 2008.

CMS Collaboration,(2017). The Phase-2 Upgrade of the CMS Barrel Calorimeters, Technical Design Report, CERN-LHCC-2017-011, CMS-TDR-015.

https://cds.cern.ch/record/2283187/files/CMS-TDR-015.pdf

https://cds.cern.ch/record/1481837/files/CMS-TDR-010.pdf

https://cms.cern/news/cms-detector-design

https://www.researchgate.net/publication/237058402_Large_Hadron_Collider_LHC

https://cds.cern.ch/record/1477844/plots

https://cds.cern.ch/record/1431489

http://cds.cern.ch/record/2747317

https://cms.cern/detector

http://cms.cern/detector/measuring-energy/energy-hadrons-hcal

https://cms.cern/index.php/news/cms-pixel-tracker-installation

https://cms.cern/detector/identifying-tracks

http://cms.cern.ch/iCMS/jsp/openfile.jsp?type=DN&year=2015&files=DN2015_024.pdf.

https://cms.cern/detector/bending-particles

http://cms.cern/detector/detecting-muons

http://cms.cern/detector/measuring-energy/energy-electrons-and-photons-ecal

https://cms.cern/news/cms-detector-design

http://cms.cern/detector/identifying-tracks
http://cms.cern/detector/measuring-energy/energy-electrons-and-photons-ecal
http://cms.web.cern.ch/news/electromagnetic-calorimeter
http://cms.cern/detector/measuring-energy/energy-hadrons-hcal
https://cms.cern/detector/identifying-tracks.
http://cms.cern/detector/detecting-muons
https://cmsdocdb.cern.ch/cgibin/DocDB/RetrieveFiledocid=11521filename=QIE10_P5.pdfversion=6
http://cms.web.cern.ch/news/hadron-calorimeter
http://cms.web.cern.ch/news/electromagnetic-calorimeter
https://en.wikipedia.org/wiki/Photomultiplier_tube
https://en.wikipedia.org/wiki/MicroTCA
https://home.cern/about/updates/2016/05/2016-physics-season-starts-lhc-0
https://home.cern/science/accelerators/large-hadron-collider
https://home.web.cern.ch/science/experiments/cms
http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/3/08/S08004/pdf,
http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/HowLHC-en.htm
https://public-archive.web.cern.ch/en/LHC/LHCf-en.html
https://www.researchgate.net/figure/View-of-the-LHC-tunnel-with-an-artistic-cut-through-a-LHC-dipole-magnet-highlighting-the_fig2_306186204
https://www.olympus-lifescience.com/es/microscope-resource/primer/digitalimaging/concepts/photomultipliers/
https://home.web.cern.ch/sites/default/files/2018-07/CERN-Brochure-2017-002-Eng_0.pdf
http://www.bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/superiletkenlik-nedir
https://tr.wikipedia.org/wiki/Süperiletkenlik
http://www.hamamatsu.com/us/en/product/category/3100/3001/R7600200-M4/index.html
https://home.cern/science/experiments/atlas

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

https://home.cern/science/experiments/alice

https://home.cern/science/experiments/lhcf

https://home.cern/science/experiments/moedal-mapp

https://home.web.cern.ch/science/experiments/cms

https://cms.cern/index.php/detector/bending-particles

https://home.cern/science/experiments/totem

https://public-archive.web.cern.ch/en/LHC/LHCf-en.html

https://www.sciencenews.org/blog/science-ticker/weasel-has-shut-down-large-hadron-collider

https://home.cern/science/experiments/moedal

http://cmsdocdb.cern.ch/cgibin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=12352&filename=QIE10_final.pdf&version=23

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

https://lss.fnal.gov/archive/2015/conf/fermilab-conf-15-057-ppd.pdf

http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/HowLHC-en.html

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

https://tr.wikipedia.org/wiki/Diyod_Işık_Yayan_Diyod_(LED)

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

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

https://lss.fnal.gov/archive/2015/conf/fermilab-conf-15-057-ppd.pdf

Flyckt, S-O ve Marmonier, C. 2002. "Photomultiplier Tubes principles&applications", (Eylül,2002).

HAMAMATSU-2006, Photomultiplier Tubes Basic and Applications, Third Edition

Köseyan, O. K., (2016) "Phase 1 Upgrade of the Hadronic Forward Calorimeter – Testing the Frondend DAQ Electronic Cards", Yüksek Lisans tezi , 2016.

Lef‘evre, C., https://cds.cern.ch/record/1260465 The CERN accelerator complex. Complexe des acc´el´erateurs du CERN, Geneva, 2008.

Mans J. Et al, (2005), HCAL Partition Definitions, CMS IN 2005/999

Penzo A. (2009), Penzo, A. and Y. Onel, \The CMS-HF quartz _ber calorimeters", J. of Physics Conference Series, Vol. 160, p. 012014, 2009.

Roy T, 2015. QIE: Performance studies of the next generation charge integrator, JINST 10 C02009.

Önel. Y, 2015. 16th International Conference on Calorimetry in High Energy Physics (CALOR 2014) IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series 587 (2015) 012007 doi:10.1088/1742-6596/587/1/012007

www.slideserve.com/zeki/cms-calorimeter

Zimmerman, 2014, QIE10 Specifications Production Version

ÖZGEÇMİŞ

Bahriye KAPLAN, 2009 yılında Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde lisans eğitimine başladı. Lisans eğitimini 2013 yılında tamamladıktan sonra 2020 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında tezli yüksek lisans programına başladı.