

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İlknur BALDAN

**HADRONİK İLERİ KALORİMETRE (HF)'DE KULLANILAN QIE10
KARTLARININ PEDESTAL, CAPID, İCİ TESTLERİ**

FİZİK ANABİLİM DALI

ADANA,-2017

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HADRONİK İLERİ KALORİMETRE (HF)'DE KULLANILAN QIE10
KARTLARININ PEDESTAL, CAPID, İCİ TESTLERİ**

İlknur BALDAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

Bu tez 30/06/2017 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/ Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Eda EŞKUT
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU
ÜYE

.....
Doç. Dr. Sezgin AYDIN
ÜYE

Bu tez Enstitümüz Fizik Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: FYL-2016-5696**

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. kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HADRONİK İLERİ KALORİMETRE (HF)'DE KULLANILAN QIE10
KARTLARININ PEDESTAL, CAPID, ICI TESTLERİ**

İlknur BALDAN

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

Danışman : Prof. Dr. Eda EŞKUT
Yıl: 2017, Sayfa: 101
Jüri : Prof. Dr. Eda EŞKUT
: Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU
: Doç.Dr. Sezgin AYDIN

Büyük Hadron Çarpıştırıcı (BHÇ)'nda çok amaçlı iki dedektörden biri Compact Muon Solenoid (CMS) dedektörüdür. CMS'te bulunan HKAL'in alt detektörlerinden biri olan Hadronik İleri Kalorimetre (HF) kayıp enerji ölçümlerinde ve yüksek rapitide objelerinin yeniden yapılandırmasında önemli bir rol oynar. Bu tezde HF'de kullanılan QIE10 kartlarının montajından bahsedilmiştir ve Pedestal verileri ile Pedestal ve CapID testleri, ICI verileri ile ICI testleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: HF, QIE10, Pedestal, CapID, ICI

ABSTRACT

MSc THESIS

**PEDESTAL, CAPID, ICI ANALYSIS FOR QIE10 CARDS IN
HADRONIC FORWARD CALORIMETER (HF) IN CMS EXPERIMENT**

İlknur BALDAN

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

Supervisor : Prof. Dr. Eda EŞKUT
Year: 2017, Pages: 101
Jury : Prof. Dr. Eda EŞKUT
: Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU
: Assoc. Prof. Dr. Sezgin AYDIN

The Compact Muon Solenoid (CMS) detector is one of the two multi-purpose experiments at the LHC. The Forward Hadron (HF) calorimeter is one of the sub-detector of HCAL detector in the CMS (Compact Muon Solenoid), which has a significant role in measuring of the missing energy and reconfiguring the pseudorapidity object. Assembling of the QIE10 cards in the HF calorimeter and pedestal testing with pedestal data and CapID testing with pedestal datas and ICI testing with ICI datas are mentioned in in this thesis.

Key Words: HF, QIE10, Pedestal, CapID,ICI

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Standart Model: Yüksek Enerji Fiziği veya Parçacık Fiziği, maddenin temel bileşenlerini ve bu bileşenler arasındaki etkileşimleri inceleyen bilim dalıdır. Standart Model (SM) olarak adlandırılan modern kuram, parçacık fiziğinin bazı bilinmeyenlerini inceleyen bir kuramdır. Bu kuram ile günümüze kadar gözlenen temel parçacıklar ve bu parçacıkların etkileşmelerini sağlayan üç temel kuvvet açıklanmaktadır. Bu kuvvetler; elektromanyetik kuvvet, zayıf kuvvet ve güçlü kuvvettir. Üç bilim adamı (Steven Weinberg, Sheldon Lee Glashow ve Abdus Salam) elektromanyetik kuvvet ile zayıf kuvveti birleştirmeyi başarmışlardır. Bu birleşik kuram elektro-zayıf kuvvet olarak bilinmektedir. Kuram deneysel olarak kanıtlandıktan sonra bilim adamları 1979 yılında Nobel ödülü almıştır. Parçacık fizikçilerinin şimdiki amacı elektro zayıf kuvvet ile güçlü kuvvetin birleşmesinden oluşan Büyük Birleşim Kuramını deneysel olarak ispatlamaktır. Böylece evrenin büyük patlamadan hemen sonraki fazını anlamak mümkün olabilecektir.

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı: Parçacık fiziğinin son yıllardaki en önemli projelerinden biri olan BHÇ (Büyük Hadron Çarpıştırıcısı), daha önce elektron-pozitron çarpıştırıcısı olarak kullanılan yerin 100 m altındaki Büyük Elektron Pozitron Çarpıştırıcısının (LEP) olduğu tünele inşa edilmiştir. BHÇ, bilinen çok küçük parçacıkların incelenmesi ve yeni keşiflerin yapılması için parçacık hızlandırıcısı olarak kullanılır ve BHÇ’de dünyadaki farklı üniversitelerden gelen binlerce fizikçinin çalıştığı altı farklı deney bulunmaktadır (https://en.wikipedia.org/wiki/Large_Hadron_Collider).

CMS: CMS (Compact Müon Selenoid), dedektörü BHÇ’nin Nokta 5 kısmında, bir Fransız köyü olan Cessy’de yerin 100 m altındaki tünele yerleştirilmiştir. 28.7 metre uzunluğunda, 15 metre genişliğinde, 15 metre yüksekliğinde ve 14.500 ton ağırlığındadır. CMS dedektörünün amacı, geniş bir enerji aralığında müon, elektron, foton ve jetleri belirlemek, bu parçacıkların

hassas ölçümleri ile fizik alanında yeni keşifler yapmaktadır (<https://home.cern/about/experiments/cms>).

CMS dedektörünün ana kısmı 3.8 T manyetik alan üreten süper iletken bir selenoid mıknatıstır. Selenoidin dış kısmından iç kısmına doğru sırasıyla bir hermetik pirinç-sintilatordan oluşan Hadronik KALorimetre (HKAL), yüksek tanecikli kristal Elektromanyetik KALorimetre (EKAL) ve en içte bir izleyici dedektör bulunmaktadır. Müonların belirlenmesi ve yörüngelerinin yeniden yapılandırılması için selenoid dışında demir boyunduruğa gömülü gaz dedektörleri vardır. CMS dedektörü, büyük bir mıknatısın etrafına inşa edilmiştir (Focardi, 2011).

Elektromanyetik Kalorimetre: EKAL, Higgs bozonu ve yeni fizik araştırmaları için elektromanyetik etkileşme yapan parçacıkların özellikle de elektron, pozitron ve fotonların enerjilerini ölçmekte önemli rol oynar (<http://cms.web.cern.ch/news/electromagnetic-calorimeter>).

EKAL, kurşun tungstat ($PbWO_4$)'dan yapılan homojen ve hermetik bir kalorimetredir. EKAL'de, CMS'in dış kapak ve fıçı kısmında elektromanyetik etkileşme yapan parçacıkların enerjilerinin doğru bir şekilde ölçülebilmesi için 75848 tane $PbWO_4$ ($PbWO_4$ % 86 metal ama tamamen şeffaf) kristal kullanılmıştır (https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=12172&filename=ECALposter_Sept2013_PrintQuality.pdf&version=1). $PbWO_4$ kristallerinin yüksek yoğunluk ($8.28g\ cm^{-3}$), kısa radyasyon uzunluğu (8.9 mm) ve küçük Molie`re yarıçapı (23 mm) gibi özelliklere sahip olması kompakt bir kalorimetre oluşturmasını mümkün kılmıştır. EKAL, bir fıçı (EB) ve iki dış kapak (EE)'den oluşur. 4 T'lık yüksek bir manyetik alana maruz kalmaktadır (CMS Collaboration, 2015, JINST 10 P08010).

Hadronik Kalorimetre: Hadronik KALorimetre (HKAL), jetlerin momentumlarını ve hadronik duşların kayıp enerjilerini ölçmek için kullanılmaktadır. Bu durum dedektörün yüksek hermetisiti, iyi bir jet enerji

çözünürlüğü ve kayıp dik enerji (MET)'i hassas ölçecek biçimde yapılandırılmasını gerektirir. HKAL, kuark ve gluonların oluşturduğu hadronların (örneğin; proton, nötron, pion ve kaonlar) enerjilerini ölçmektedir. Ayrıca HKAL, hadron jetleri, Higgs bozonu, süpersimetrik (SUSİ) parçacıklar ve nötrinolar veya egzotik parçacıkların ölçümü için önemli bir dedektördür (Pandolfi, F, 2014).

HKAL bir örnekleme kalorimetredir. Parçacıkların yerinin, enerjilerinin ve varış zamanlarının soğurucu tabakalar ve sintilatör materyaller yardımı ile belirlenmesini sağlar. HKAL'de soğurucu olarak pirinç, aktif materyal olarak plastik sintilatör kullanılmaktadır. Bu sintilatör materyaller, içinden parçacıklar geçtiğinde hızlı bir ışık atımı üretirler ve bu ışık atımları özel fiber optikler ile okuma kutularında çoğaltılarak toplanır. Belirli bölgede kuleler üzerinde biriken bir miktar ışık aslında parçacığın enerjisidir

HKAL, manyetik halka içinde bulunan son dedektördür. HKAL sırasıyla Hadronik Fıçı (HB), Hadronik Kapak (HE), Hadronik Dış (HO) ve İleri Hadronik (HF) kalorimetrelerden oluşmaktadır ve HKAL $|\eta| \leq 5.0$ psüdorapidite aralığını kapsamaktadır (CMS TDR, 2006-001).

İleri Hadronik Kalorimetre: $3 \leq |\eta| \leq 5$ psüdorapidite aralığını kapsayan HF, etkileşme noktasının her iki tarafından 11,2 m uzaklıkta olup HF \pm olmak üzere iki modülden oluşmuştur. HF, jetlerin parçacık bozunumlarının belirlenmesinde, yeniden yapılandırılmasında, üst kuark üretimi, SM Higgs ve tüm SUSİ parçacık araştırmaları için önemlidir (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1).

HF'in gövdesi 130 cm'lik bir dış çapa sahip silindirik bir çeliktir. Bu tasarım, azimutal olarak 20°'lik modüler kamalardan oluşmuştur. HF'de etkileşim noktasının her iki tarafında 18 adet olmak üzere toplam 36 kama bulunmaktadır (CMS DN -2015/006). Her kama 24 kuleden ve 10°'lik eşit açıyla bölünmüş iki kısımdan oluşmuştur (CMS NOTE, 2006/44).

HF'de Yükseltme/İyileştirme Çalışmaları: HF, ileri jetlerin tespitinde, ışıklılığın ölçümünde, kayıp dik enerjinin saptanmasında, BHÇ'deki Higgs üretiminde ve Vektör Bozon Füsyon (VBF) araştırmaları için önemlidir. İleri jetler

(özellikle VBF’de), hafif Higgs bozonun genişlik ölçümüne izin vermektedir. HF’in psüdorapiditi aralığı 5’e kadar uzandığından, HF’de SM ötesi fizik araştırmaları için önemli olan kayıp dik enerji (MET) ölçümleri de yapılmaktadır. Bu nedenle, yüksek yığılma (pile-up) etkisi altında HF’in performansı CMS’in fizik programı için önemli bir role sahiptir.

HF’den beklenen performansın sağlanması için dedektörde bir takım değişikliğe ihtiyaç duyulmuştur. HF’in iyileştirme programı Çizelge 3.1’de özetlenmiştir (Onel Y. 2015). İlk değişim daha önce kullanılan Hamamatsu R7525 FÇT’lerin yeni Hamamatsu R7600U-200-M4 çoklu anot tüpleri ile değiştirilmesi olmuştur. FÇT’lerin çıkışında çoklu anot kullanılması anormal sinyal miktarını önemli ölçüde azaltmıştır (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010).

Çizelge 3.1. HF iyileştirme planı

Yenileme	Tarih
FÇT Değişimi	Faz1 – 2014’de tamamlandı
FÇT Destekleyici kablolar	Faz1 – 2014’de tamamlandı
Ön-Uç Elektronikleri	Ocak 2017’de tamamlandı
Arka-Uç Elektronikleri	Ocak 2017’de tamamlandı

HF ve HB /HE elektroniklerinin iyileştirme ve geliştirme çalışmaları kapsamında Yük Toplayıcı ve Kodlayıcı Kart (QIE10 ADC) çipleri değiştirilmiştir.

Veri Analizi: HF'deki FÇT'nin penceresine çarpan bir parçacık tarafından üretilen Cherenkov radyasyonu nedeniyle, HF'nin okuma modülleri içindeki FÇT'ler fazla miktarda anormal sinyaller üretmiştir. Bu durum CMS'in veri kalitesini düşürdüğünden HF'den beklenen performansın sağlanabilmesi amacıyla HF için iyileştirme planı yapılmıştır. Bu değişikliklerle anormal sinyal hızının önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Ayrıca HF'in ön-uç ve arka-uç elektroniklerini iyileştirme çalışmaları yeni çok anotlu R7600 FÇT'leri desteklemek için yapılmıştır. Önceden kullanılan QIE8 kartları QIE10 ASIC'ler ile değiştirilmiştir ve yenilenen HF ön-uç ve arka-uç elektronikleri ile varış zamanından daha erken ulaşan sahte sinyaller tespit edilebilmektedir.

HF904 Test Sistemi ve Veri Alımı : 2016 yılında, CERN'in Preveşin yerleşkesinde bulunan 904 numaralı binada ön-uç ve arka-uç elektroniklerinin testi ve montajı için bir test düzeneği hazırlanmıştır. Bu sistem 4 tane rack'dan oluşmuştur ve bu rackların her biri 4 tane ön-uç kasa, arka-uç kasa ve tüm ön-uç kasaları için bir adet arka-uç kasa içermektedir. Bu ön-uç kasalar, bir kalibrasyon modülü, bir yeni nesil Kontrol ve Saat Modülü (ngCCM) ve 12 adet QIE10 kartından oluşmuştur. Arka-uç kasa ise iki tane güç modülü, bir Mikro Telekomünikasyon (μ TCA) Taşıyıcı Göbek (MCH) modülü, bir Gelişmiş Ara Kat Kartı (AMC13) modülü, üç tane Yeni Nesil Ön-Arka Uç Kontrol (ngFEC) modülü ve dokuz tane mikro Hadronik Tetikleyici ve Okuma kartları (μ HTR)'dan oluşmaktadır. Bu kasalar fiber optik kablolar ile bağlanmıştır ve bu şekilde veri akışı sağlanmıştır.

Yeni QIE10 kartlarının önce montajı yapılmıştır ve kartlar daha sonra bir takım kalite kontrol testlerinden geçmiştir. Daha sonra Pedestal testi, CapID testi ve ICI testleri yapıldıktan sonra dedektöre monte edilmiştir.

Sonuç ve Öneriler: HF904 test düzeneğinde tüm QIE10 kartların montajı yapılırken kartlar kontrol edilmiştir ve bazı problemler bulunmuştur. Kartlarda birçok lehimleme hatası, kıvrılmış uçlar ve eksik/çarpık bileşenler gibi sorunlar

tespit edilmiştir. Bir diğer sorun ise DC/DC dönüştürücülerindeki gerilim çok düşük olduğunda, kapasitörlerin tamamen deşarj olmamasıdır. Bu da bir "yankı" oluşturur. Bu yüzden voltaj değeri 5,01'den büyük olan DC/DC dönüştürücüler kullanılmıştır. Son olarak kartlara Pedestal, CapID ve ICI testleri yapılmıştır. QIE10 kartlarının testler sonunda kötü sonuçlar verme nedeni QIE10 kartları üzerinde bulunan çiplerin sorunlu olmasıdır.

Yapılan testler sonucunda Ocak 2017 yılında HF'te kullanılan QIE8 kartları QIE10 kartları ile değiştirilmiştir. QIE10 kartlarının Zaman Sayısallaştırıcı (TDC) özelliği ile istenmeyen gürültülerin ortadan kalkması beklenmektedir.

TEŞEKKÜR

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

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

CERN'deki deneysel çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyip bilgi ve deneyimlerini paylaşan Joseph MARIANO, Danny NOONAN ve Semra TÜRKÇAPAR'a teşekkürlerimi sunarım.

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

Yüksek lisans eğitimim süresince desteğini her zaman derinden hissettiğim ve her zor anımda yanımda olan sevgilim, arkadaşım, her şeyim Hasan Hüseyin IŞIK'a sonsuz teşekkür ederim.

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

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

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET.....	III
TEŞEKKÜR.....	IX
İÇİNDEKİLER.....	X
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XX
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
2.1. Standart Model.....	3
2.2. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ).....	6
2.2.1. ALICE.....	12
2.2.2. ATLAS.....	13
2.2.3. LHCb.....	14
2.2.4. LHCf.....	15
2.2.5. TOTEM.....	16
2.2.6. CMS Deneyi.....	17
2.2.6.1. CMS' in Alt Dedektörleri.....	19
2.2.6.1.(1) İç İzleyici Sistem.....	20
2.2.6.1.(2). Selenoid Mıknatıs Sistemi.....	21
2.2.6.1.(3). Elektromanyetik Kalorimetre (EKAL).....	22
2.2.6.1.(4). Hadronik Kalorimetre (HKAL).....	24
2.2.6.1.(5). Müon Sistemi.....	25
3. MATERYAL VE METOD.....	29
3.1. Hadronik Kalorimetre (HKAL).....	29
3.1.1. HKAL' in Alt Dedektörleri.....	29

3.1.1.1. Hadronik Fıçı (HB) Kalorimetre	30
3.1.1.2. Hadronik Uç Kapak (HE) Kalorimetre.....	32
3.1.1.3. Hadronik Dış (HO) Kalorimetre.....	34
3.1.1.4. Hadronik İleri (HF) Kalorimetre	35
3.2. HKAL'in Okuma ve Kontrol Sistemi.....	38
3.2.1. HKAL Elektronikleri ve Veri Toplama	39
3.3. HF'de Yükseltme/ İyileştirme Çalışmaları.....	41
3.3.1. Değiştirilen Bileşenler	43
3.3.2. Foto Çoğaltıcı Tüp (FÇT)'lerin Yükseltilmesi	45
3.3.3. Okuma Kartları	48
3.3.4. Ön-Uç Elektronikleri	49
3.3.4.1. Yük Toplayıcı ve Kodlayıcı (QIE10) Kartların Özellikleri...50	
3.3.4.2. Ön-Uç Kontrol Modül	52
3.3.4.3. Kalibrasyon Modülü	53
3.3.4.4. Mikro Telekomünikasyon Yapısı (μ TCA)	53
3.3.5. Arka-Uç Elektronikleri	54
3.3.5.1. Gelişmiş Ara Kat Kartı (AMC13) Modülü.....	55
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR	59
4.1. HF904 Test Sistemi ve Veri Alımı	62
4.2. HF'deki Yeni QIE Kartlarının Analizi	70
4.2.1. Pedestal Testleri.....	70
4.2.2. Kapasitör Tanımlama (CapID) Testi	78
4.2.3. İç Yük Enjeksiyon (ICI) Testi	84
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	101

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. HF'in iyileştirme planı.	43
Çizelge 4.1. HF'in Ön-Uç Elektronikleri	60
Çizelge 4.2. Kartların Test Bilgileri.	67
Çizelge 4.3.(a). Run Numarası ve Run Tipi	71
Çizelge 4.3.(b). Ön-uç Konfigürasyonu ve Kasa numarası: HF 13.....	71
Çizelge 4.4.(a). Run Numarası ve Run Tipi	74
Çizelge 4.4.(b). Ön-uç Konfigürasyonu ve Kasa numarası: HF 4.....	74



ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 2.1.	Standart Model Parçacıkları (http://en.wikipedia.org/wiki/File:Standard_Model_of_Elementary_Particles.svg).....	4
Şekil 2.2.	Standart Model parçacıkları arasındaki etkileşimler (http://cms.desy.de/e128524/e230441/DESY-2014-02385.pdf).....	5
Şekil 2.3.	BHÇ'nin mıknatıs tasarımı (Rinchiuso, 2016).	7
Şekil 2.4.	BHÇ'nin mıknatıslarının bir kısmı (http://home.cern/sites/home.web.cern.ch/files/image/inlineimages/old/lhc_long_1.jpg)	8
Şekil 2.5.	2011, 2012, 2015 ve 2016 yıllarındaki ışıklık değerleri (https://home.cern/cern-people/updates/2016/06/lhc-report-staying-cool-despite-record-highs).	9
Şekil 2.6.	BHÇ'nin şematik yapısı (http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/images/lhc-schematic.jpg).....	10
Şekil 2.7.	Dedektördeki parçacıklar ve bıraktıkları izler (CERN Brochure, 2009).	11
Şekil 2.8.	ALICE dedektörü (http://home.cern/sites/home.web.cern.ch/files/image/experiment/2013/01/alice.png)	13
Şekil 2.9.	ATLAS dedektörü (http://home.cern/sites/home.web.cern.ch/files/image/experiment/2013/01/atlas.jpeg).....	14
Şekil 2.10.	LHCb dedektörü (http://home.cern/sites/home.web.cern.ch/files/image/updatefor_the_public/2016/09/rsz_1img0020_0.jpg)	15

Şekil 2.11.	LHCf dedektörü (<a href="http://home.cern/sites/home.web.cern.ch/files/image/updatefor_t
he_public/2016/11/cover.jpg">http://home.cern/sites/home.web.cern.ch/files/image/updatefor_t he_public/2016/11/cover.jpg)	16
Şekil 2.12.	LHC tüneline 'Roman Pot' olarak adlandırılan dedektörlerin görüntüsü (<a href="http://home.cern/sites/home.web.cern.ch/files/image/updatefor_t
he_public/2016/09/02_ma27926.jpg">http://home.cern/sites/home.web.cern.ch/files/image/updatefor_t he_public/2016/09/02_ma27926.jpg)	17
Şekil 2.13.	CMS dedektörü (CMS TDR 2, CERN/LHCC-2015-10)	18
Şekil 2.14.	CMS deneyinin çeyrek kısmının görünümü (<a href="http://inspirehep.net/record/837837/files/Figures_cms_quadrant.
png">http://inspirehep.net/record/837837/files/Figures_cms_quadrant. png)	19
Şekil 2.15.	CMS'in iç izleyici sitesinde bulunan silikon şerit dedektörünün görünümü (http://cms.web.cern.ch/news/tracker-detector).....	21
Şekil 2.16.	Süper iletken mıknatıs (CMS HCAL Collaboration, 2008, CMS Note 2008/010)	22
Şekil 2.17.	EKAL kalorimetresinin enine kesiti (CMS TDR, 2006)	24
Şekil 2.18.	HKAL kalorimetresinin dikey kesitinin görünümü (http://www.hephy.at/user/friedl/diss/html/img41.gif)	25
Şekil 2.19.	Müon sistemi (http://inspirehep.net/record/1185262/files/MuonSys-mod3.png).....	26
Şekil 3.1.	CMS dedektörünün boyuna kesitinde HB, HE, HF ve HO'nun yerleri (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).....	29
Şekil 3.2.	HB kamaları (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004)	30
Şekil 3.3.	Sol: Daha önce kullanılan HFD'lerin enine kesitinin görünüşü. Sağ: Tek bir okuma modülünden gelen 48 tane SiFÇ'leri gösteren SiFÇ kutusunun iç kısmı (CMS CR -2015/291).....	31
Şekil 3.4.	Demir boyunduruk üzerine yerleştirilen HE kalorimetresi (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).....	32
Şekil 3.5.	HB ve HE için DAQ veri akışının şeması (CMS CR -2015/291).....	33

Şekil 3.6.	CMS dedektöründeki tüm HO halkalarının yerleşimi (CMS DN - 2016/023)	35
Şekil 3.7.	HF'in enine kesiti (CMS DN -2015/024)	36
Şekil 3.8.	Hadronik İleri kalorimetre (HF)'in kamaları (http://www.fnal.gov/pub/today/images/images04/Calorimeter_Wedges.jpg)	37
Şekil 3.9.	HKAL'in okuma ve kontrol sisteminin yapısı (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1).....	39
Şekil 3.10.	HKAL veri toplama elektroniklerinin görünüşü (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).....	40
Şekil 3.11.	BHÇ için yükseltme programı (Onel Y., 2015)	42
Şekil 3.12.	Değiştirilen Bileşenler (Onel Y., 2015)	44
Şekil 3.13.	HF dedektörünün veri akış şeması	44
Şekil 3.14.	Vakumlu tüp içindeki FÇT'nin enine kesiti (http://learn.hamamatsu.com/articles/images/photomultiplier.jpg)	45
Şekil 3.15.	(a) Önce kullanılan FÇT (Hamamatsu R7525 FÇT) (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1), (b) 4-anotlu FÇT (Hamamatsu R7600U-200-M4) (http://www.hamamatsu.com/eu/en/product/category/3100/3001/R7600U-00-M4/index.html)	47
Şekil 3.16.	Gerçek HF sinyali ile Minimum iyonizasyon etkileşimi (MIP) (Onel Y., 2015)	48
Şekil 3.17.	HF R7600 FÇT için kullanılan adaptör kartı (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010)	48
Şekil 3.18.	Sol: HF ön-uç kartının önden, orta: HF ön-uç kartının arkadan ve sağ: HF'in iki ön-uç modülünün mekanik gösterimi (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010)	49
Şekil 3.19.	Altı QIE10 modülünü gösteren bir HF ön uç kasa gösterimi (12 kart) (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010)	50

Şekil 3.20. HKAL'in elektroniklerinin yapısı (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010).....	52
Şekil 3.21. Mikro Telekomünikasyon Mimarisi (μ TCA) (Zimmerman T., 2014, Fermilab).....	54
Şekil 3.22. Sol: μ TCA kasasının diğer arka-uç elektronikleri ile ilişkisi ve onlar arasındaki iletişiminin şeması. Sağ: her MCH ve AMC arasındaki arka-uç elektroniklerinin iletişimi için kullanılan çeşitli bağlantıların diyagramı (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010).....	55
Şekil 3.23. AMC13 Modülü (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010).....	56
Şekil 3.24. Geliştirilmiş μ TCA taşıyıcı göbek (MCH)'de bir AMC13 ile μ TCA kasa temel düzeni (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010).....	57
Şekil 4.1. (a) QIE8 kartı Winchester kablosu ve (b) QIE10 kartı Winchester kablosu.....	61
Şekil 4.2. Okuma kutusu (Status of QIE Card Rework, Heintz, U., 2016) (https://indico.cern.ch/event/565464/contributions/2284279/attachments/1326712/1992024/QIEcards_08-25-2016.pdf)	61
Şekil 4.3. Montajı tamamlanan boş bir kasa	62
Şekil 4.4. Montajı tamamlanmamış QIE10 kartının ön ve arka yüzü	64
Şekil 4.5. DC/DC dönüştürücüleri, Zemin Düzlemi ve Arka Yüz giriş gücü.....	65
Şekil 4.6. Montajı bitmiş bir QIE10 kartı.....	66
Şekil 4.7. (a) U40 bükülmüş (b) Eksik kondansatör (c) Kısa devre olmuş ve eğilmiş pimler (d) Kanal 24 gevşek pimler ve Kanal 21 çarpık kondansatör (e) Kanal 8 gevşemiş pimler (Problems with card 634, Noonan, D., 2016) (https://indico.cern.ch/event/563683/contributions/2277974/attachments/1324599/1988156/ProblemsWithReworkQuality.pdf).....	68
Şekil 4.8. İyi pedestal ve kötü pedestal grafikleri	72

Şekil 4.9.	Tüm QIE10 kartları ve QIE10 çiplerinin durumları	72
Şekil 4.10.	Tüm QIE10 kartlarının Pedestal Grafikleri.....	73
Şekil 4.11.	Tüm QIE10 kartları ve QIE10 çiplerinin durumu	75
Şekil 4.12.	İki ölü kanalın pedestal grafiği.....	76
Şekil 4.13.	Çizelge 4.4’de verilen QIE10 kartların Pedestal Eğrileri.....	77
Şekil 4.14.	Tüm kartların ve çiplerinin durumu	79
Şekil 4.15.	Tüm QIE10 kartlarının CapID test grafikleri.....	81
Şekil 4.16.	Tüm QIE10 kartlarının ve çiplerinin durumu	82
Şekil 4.17.	Tüm QIE10 kartlarının CapID test grafikleri.....	84
Şekil 4.18.	İyi ve Kötü çipin ICI grafikleri	85
Şekil 4.19.	(a) Tüm QIE10 kartlarının ve QIE10 çiplerinin durumu (b) Kart 691 sorunlu kanal 10 ve Kart 782 sorunlu kanal 17 ve 24’ün ICI test grafikleri	85
Şekil 4.20.	Test edilen QIE10 kartlarının grafikleri.....	87
Şekil 4.21.	Tüm QIE10 kartlarının ve QIE10 çiplerinin durumu.....	88
Şekil 4.22.	Tüm kartların ICI test grafikleri.....	89



SİMGELER VE KISALTMALAR

SM	: Standart Model
\sqrt{s}	: Kütle Merkezi Enerjisi
\emptyset	: Düzlemsel (Azimutal) Açı
ADC	: Analog – Sayısal Çevirici
ADC	: Analog Sinyal Dönüştürücü
ALICE	: Büyük İyon Çarpıştırma Deneyi
APD	: Çığ Foto Diyot
ATLAS	: Büyük Toroidal Detektör
BHÇ	: Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
CCA	: Özel Toplu Devre Kontrol Kartı
CCM	: Saat ve Kontrol Modülü
CDAQ	: Merkezi Veri Akış Sistemi
CERN	: Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
CM	: Kalibrasyon Modülü
CMS	: Sıkı Müon Solenoidi
CP	: Yük Eşlenikliği – Parite
CSC	: Katot Şerit Odaları
DAQ	: Veri Akış Sistemi
DCC	: Veri Toplama Kartı
DT	: Sürüklenme Tüpleri
DTC	: Veri ve Zaman Okuyucu Kart
EB	: Elektromanyetik Fıçı
EE	: Elektromanyetik Uç Kapak
EKAL	: Elektromanyetik Kalorimetre
ES	: Elektromanyetik Ön Duş
eV	: Elektron Volt

fC	: Femto Coulomb
FÇT	: Foto Çoğaltıcı Tüp
FPGA	: Alan Programlayabilir Kapı Dizisi
GeV	: Milyar Elektron Volt
GOL	: Gigabit Optik Bağlantı
HB	: Hadronik Fıçı
HE	: Hadronik Uç Kapak
HF	: İleri Hadronik Kalorimetre
HFD	: Hibrit Foto Diyot
HKAL	: Hadronik Kalorimetre
HO	: Hadronik Dış
HTR	: Yüksek Tetikleme Okuyucusu
HV	: Yüksek Voltaj
IP	: Etkileşme Noktası
KRD	: Kuantum Renk Dinamiği
L	: Işıklılık
LEP	: Büyük Elektron Pozitron Çarpıştırıcısı
LHCb	: LHCb Fiziği Deneyi
LHCf	: Büyük İleri Hadron Çarpıştırıcısı
LS	: Uzun Mola
LV	: Düşük Voltaj
MB	: Müon Fıçı Bölgesi
ME	: Müon Kapak Bölgesi
MET	: Kayıp Dik Enerji
MeV	: Milyon Elektron Volt
ngCCM	: Yeni Nesil Kontrol Modülü
ODU	: Optik Şifre Çözücü
PbWO ₄	: Kurşun Tungstant

PS	: Proton Siklotron
QE	: Kuantum Verimliliđi
QIE	: Y¼k Toplayıcı Kodlayıcı
RBX	: Okuma Kutusu
RM	: Okuma Mod¼l¼
RPC	: Dirençli Paralel Levhali Odalar
SiFÇ	: Silikon Foto Çoğaltıcı
SPS	: S¼per Proton Sinkrotronu
SST	: Silikon Şerit İzleyici
SUSİ	: S¼persimetri
<i>T</i>	: Tesla
TDC	: Zaman Sayısal D¼n¼řt¼r¼c¼
TeV	: Trilyon Elektron Volt
TOTEM	: Toplam Elastik ve Difraktif Tesir Kesiti ¼lç¼m Detekt¼r¼
VBF	: Vekt¼r Bozon F¼syon
VME	: Versa Mod¼le Europa
VTTx	: Çok Y¼nl¼ Çift Verici
WLS	: Dalga Boyu Kaydırıcı
WLS	: Winchester Bağlantı Kablosu
η	: Ps¼dorapidite
θ	: Polar Açı
μ HTR	: Mikro Y¼ksek Tetikleme Okuyucusu



1. GİRİŞ

İnsanlar geçmişten günümüze kadar evrenin oluşumu ve çevremizdeki maddelerin nelerden meydana geldiğini merak etmektedir. Evrendeki tüm bu maddelerin özelliklerinin anlaşılabilmesi için, doğadaki temel parçacıkları gözlemlemek ve bu parçacıklar arasındaki etkileşimleri incelemek için bir model geliştirilmiştir. Standart Model (SM) olarak adlandırılan kuram bir çok deneysel testlerden başarılı bir şekilde geçmiş olmasına rağmen hala yetersiz veya eksik kaldığı konular bulunmaktadır. Bu yüzden bilim insanları SM'in daha ötesinde yeni kuramlara yönelmiştir. Bu kuramlar SM ötesi fizik olarak adlandırılır ve bu programda ekstra boyutlar, Süpersimetri (SÜSİ) ve kütleli yeni vektör bozonları gibi fizik konuları bulunmaktadır.

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ), 1998-2008 yılları arasında Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi (CERN)'de inşa edilmiş dünyanın en büyük ve en güçlü tek parçacık çarpıştırıcısıdır. BHÇ, İsviçre'nin Cenevre şehrinde Fransa-İsviçre sınırını içine alan tünelde yerin 100 metre altına indirilmiştir. BHÇ'de 27 km uzunluğunda süper iletken halka ile 14 TeV'lik kütle merkezi enerjisinde proton-proton ve ağır yüklü iyon (kurşun-kurşun) çarpışmaları yapılmaktadır. Bu çarpışmalardan alınan veriler ile merak edilen pek çok soru yanıt bulacaktır. 2013-2015 yılları arasında BHÇ üzerine yerleştirilen dedektörleri yenilemek ve eksiklikleri gidermek amacı ile teknik bir ara verilmiştir. Bu kapsamda CMS dedektörünün alt bileşenleri kontrol edilerek çeşitli testler yapılmış ve dedektörler yenilenmiştir.

Bu tez çalışması, BHÇ halkası üzerinde bulunan CMS deneyindeki Hadronik Kalorimetrenin (HKAL) alt dedektörlerinden Hadronik İleri Kalorimetre (HF)'in iyileştirme çalışmalarının bir kısmını içermektedir. Bu tezin analiz kısmında HF ön-uç ve arka-uç elektroniklerinin iyileştirme çalışmaları için yapılan testlerin bir kısmı yer almaktadır.

Tezin önceki çalışmaları kısmında, SM hakkında kısa bir bilgi verilmiş, BHÇ, BHÇ üzerindeki deneyler ve CMS deneyi özetlenmiştir. Materyal metod kısmında, HKAL ve alt dedektörleri, HKAL elektronikleri ile veri toplama ve HF'in iyileştirme çalışmaları tartışılmıştır. Araştırma ve bulgular kısmında, HF'de kullanılan yeni QIE10 kartlarının Pedestal, CapID ve ICI test çalışmaları ile ilgili yapılan analizler yer almaktadır. Sonuç ve öneriler kısmında ise HF'de kullanılan QIE10 kartları üzerindeki sorunlu çiplerin belirlenmesi ile ilgili yapılan çalışma verilmiştir.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Standart Model

Parçacık fiziğinin amacı maddenin temel yapı taşları ve onların arasındaki etkileşimleri incelemektir. Parçacık Fiziği veya Yüksek Enerji Fiziği yıllardır Standart Model (SM) denilen bir kuram ile açıklanmaktadır. SM’de parçacıklar spinlerine göre iki farklı sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıfın ilk üyesi fermiyon olarak bilinen ve spinleri $\frac{1}{2}$ olan leptonlar ve kuarklardır. İkincisi ise spini tamsayı olan bozonlardır, bunlar ayar bozonu veya kuvvet taşıyıcısı olarak da bilinirler. Fermiyonlar ve bozonlar alt yapısı olmayan temel parçacıklardır. Temel fermiyonlar on iki parçacık ve bu parçacıkların anti parçacıklarından oluşur. Anti parçacıklar ve parçacıklar aynı spin ve kütleyle sahiptir, fakat elektrik yükleri zıt işaretlidir. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi hem lepton hem de kuarklar her birinde iki birey bulunan üç aileden oluşur. Leptonların ilk ailesinde elektron ve elektron nötrinosu, ikincisinde müon ve müon nötrinosu, üçüncüsünde ise tau ve tau nötrinosu bulunur. Kuarklarda ilk ailede yukarı, aşağı, ikincide cazibeli, acayip ve üçüncüde üst ve alt (veya güzel) kuarklar yer alır. Hem lepton hem de kuarkların anti lepton ve anti kuark aileleri bulunmaktadır.

Doğada kütle çekim, elektromanyetik, zayıf ve güçlü olmak üzere dört temel etkileşme (kuvvet) bulunmaktadır. Kütle çekim; kütlesi olan her şeyi içerir ve evrende bulunan gezegenlerin, güneşin, yıldızların kısaca tüm gök cisimlerinin yörüngelerinde kalmalarını sağlar. Günlük yaşamımızda etkili olan ve kütlesi olan cisimlerin birbirini çekmesinden kaynaklanan kütle çekim, şiddet olarak en zayıf kuvvettir. Fakat etki alanı yani menzili sonsuz olup uzaklık arttıkça azalır. Elektromanyetik kuvvet elektrik yüklü parçacıklar arasında etkilidir. Bu kuvvet ile elektronlar ve çekirdek bir araya gelirler. Sonsuz menzillidir. Kararsız çekirdeklerin (beta bozunumu) bozunumundan sorumlu kuvvete, zayıf kuvvet ve etkileşimlerine zayıf etkileşme denir. Zayıf kuvvet kütle çekiminden 10^{32} kat daha büyüktür ve kısa menzillidir. Çekirdeğin içindeki kuarkları ve temel parçacıkları

bir arada tutmayı sağlayan ise güçlü kuvvettir. Kuarklar bir araya gelerek hadronları oluşturur. Üç kuark bir araya gelerek baryonları (proton, nötron en iyi bilinen iki örnektir), bir kuark ve anti kuark bir araya gelerek mezonları (pi mezonu gibi) oluşturur. Güçlü kuvvet elektromanyetikten 10^2 , zayıftan $10^6 - 10^{10}$, kütle çekimden 10^{38} kat daha şiddetlidir (<http://www.bilgiustam.com/fizikte-temel-kuvvetler/>). Parçacıklar dünyası kütle çekim dışındaki üç kuvvet ile açıklanır. Kuarklar güçlü, zayıf ve elektromanyetik olarak etkileşebilirken, leptonlar güçlü etkileşimde bulunmazlar.

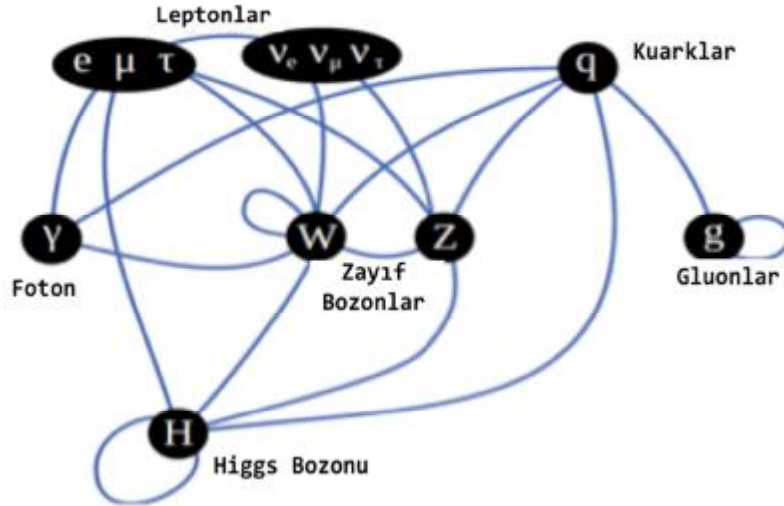
mass →	~2.3 MeV/c ²	~1.275 GeV/c ²	~173.07 GeV/c ²	0	~126 GeV/c ²
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
KUARKLAR	u yukarı	c cazibeli	t üst	g gluon	H Higgs bozonu
	d aşağı	s acayip	b alt	γ foton	
	e elektron	μ müion	τ tau	Z Z bozonu	
LEPTONLAR	ν_e elektron nötrinosu	ν_μ müion nötrinosu	ν_τ tau nötrinosu	W W bozonu	
					AYAR BOZONLARI

Şekil 2.1. Standart Model Parçacıkları

(http://en.wikipedia.org/wiki/File:Standard_Model_of_Elementary_Particles.svg)

Etkileşmelerin taşıyıcı bozonları sırasıyla, graviton, foton, W^{\pm} , Z^0 ve gluonlardır. Graviton, kütle çekimi, fotonlar ise elektromanyetik etkileşmenin taşıyıcısıdır. W^{\pm} ve Z^0 bozonları zayıf çekirdek kuvvetinin ortamını yaratır. Gluonlar güçlü çekirdek kuvvetinin kuvvet taşıyıcısıdır. Ayrıca SM'de Higgs

mekanizması sonucu fermiyonların kütle kazanmalarını sağlayan Higgs bozonu bulunmaktadır. Higgs parçacığının kütlesi çok büyüktür, spini ve elektrik yükü yoktur (Englert ve Brout, 1964). CERN'deki CMS (Compact Muon Solenoid-Küçük Müon Selonoid), ve ATLAS (A Torodial LHC ApparatuS-Büyük Toroidal Detektör) deneyleri Higgs bozonunun $125 \text{ GeV}/c^2$ (133 proton kütlesi, 10^{-25} kg) değerinde bir kütleyle sahip olduğunu 4 Temmuz 2012 yılında dünyaya duyurmuştur. 8 Ekim 2013 tarihinde Peter Higgs ve François Englert Nobel Fizik ödülü almıştır. Şekil 2.2'de parçacıkların birbiri ile etkileşimi gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Standart Model parçacıkları arasındaki etkileşimler
(<http://cms.desy.de/e128524/e230441/DESY-2014-02385.pdf>)

Birçok deneyden başarı ile geçen ve defalarca test edilen SM'in yanıtlayamadığı sorular vardır. Bunlardan birkaç tanesi; madde ilk lepton ve kuark ailesi ile açıklanmasına rağmen neden 2. ve 3. aileye ihtiyaç duyulmuştur ve 4. aile de var mıdır? Bugün evrenin sadece %4-5 gibi küçük bir kesrini bilmekteyiz. Geriye kalan %23'ü karanlık madde ve %73'ü karanlık enerjiden oluşmaktadır. Bunların yapısı nedir? Büyük patlamadan hemen sonra evrende baskın olan madde-

anti madde simetrisi bugün madde baskın olan bir asimetriye dönüşmüştür. Bu durumda anti maddeye ne olmuştur? soruları örnek olarak verilebilir. Bunlar ve bunlar gibi soruları yanıtlayabilmek için farklı araştırmalara (SUSİ-Süpersimetri, Ekstra Boyutlar, CP-Yük Parite Kırınımı, B Fiziği Araştırmaları gibi) ihtiyaç duyulmuştur. Bu araştırmalar CERN'deki BHC deneyleri tarafından yapılmaktadır.

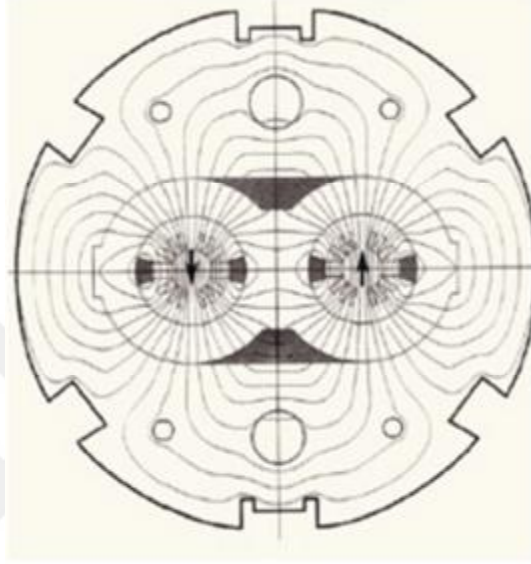
2.2. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

CERN'de dünyanın farklı ülkelerinden yüzlerce üniversite ve laboratuvarından gelen 10,000 bilim insanı ve mühendis çalışmaktadır. BHC, 1998-2008 yılları arasında CERN'de çalışan Büyük Elektron Pozitron Çarpıştırıcısı (LEP)'in proton ve ağır iyonları çarpıştıracak biçimde yeniden tasarlanmasıyla inşa edilmiştir. Bugün dünyanın en büyük ve en güçlü tek parçacık çarpıştırıcısıdır. BHC, Fransa-İsviçre sınırını içine alacak biçimde yerin yaklaşık 100 metre altında bulunmaktadır. Gerçek veri alımı 2009 yılında başlayan BHC çevresi 27 km olan süper iletken bir halkadır. Bu halkanın içinde proton-proton (p-p) ve ağır yüklü iyon (kurşun-kurşun, Pb-Pb) hüzmeleri kafa kafaya çarpıştırılmaktadır. p-p çarpışmaları için $\sqrt{s} = 14$ TeV'lik kütle merkezi enerjisi, $L = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ışıklılık, Pb-Pb çarpışmaları için $\sqrt{s} = 5.5$ TeV'lik kütle merkezi enerjisi ve $L = 10^{27} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ışıklılık değerine çıkılması hedeflenmektedir. BHC yüksek sıcaklık ve yüksek yoğunluklu çalışma ortamını sağlayabilmek, Büyük Patlamadan sonraki fiziksel süreçler ve plazma koşullarında ortaya çıkan kuark-gluon kombinasyonlarını oluşturmak üzere tasarlanmıştır

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

Parçacık hüzmeleri ultra yüksek vakumda aynı boru içinde ters yönlerde hareket etmektedirler. Hüzmeler, hızlandırıcı halkadaki süper iletken elektromıknatıslardan elde edilen güçlü bir manyetik alan aracılığı ile halkada dönerler (Şekil 2.3). Mıknatıs, yaklaşık olarak -271 °C sıcaklığında tutulmalıdır.

Bu nedenle sıvı helyum dağıtım sistemi mıknatıslar ve diğer soğutma sistemleri için kullanılmaktadır.



Şekil 2.3. BHÇ'nin mıknatıs tasarımı (Rinchiuso, 2016)

Halka üzerinde farklı tip ve boyutta çok sayıda mıknatıs bulunmaktadır. Hüzme akışını sağlamak için 15 metre uzunluğunda 1232 tane tek kutuplu mıknatıs, hüzme odaklamak için 5-7 metre uzunluğunda 392 tane dört kutuplu mıknatıs kullanılmıştır. Ayrıca çarpışmadan hemen önce çarpışma olasılığını artırmak ve birbirine yakın parçacıkları “sıkıştırmak” amacıyla kullanılan mıknatıslar da bulunmaktadır. BHÇ halkasını oluşturan mıknatısların bir kısmı Şekil 2.4’de gösterilmiştir.

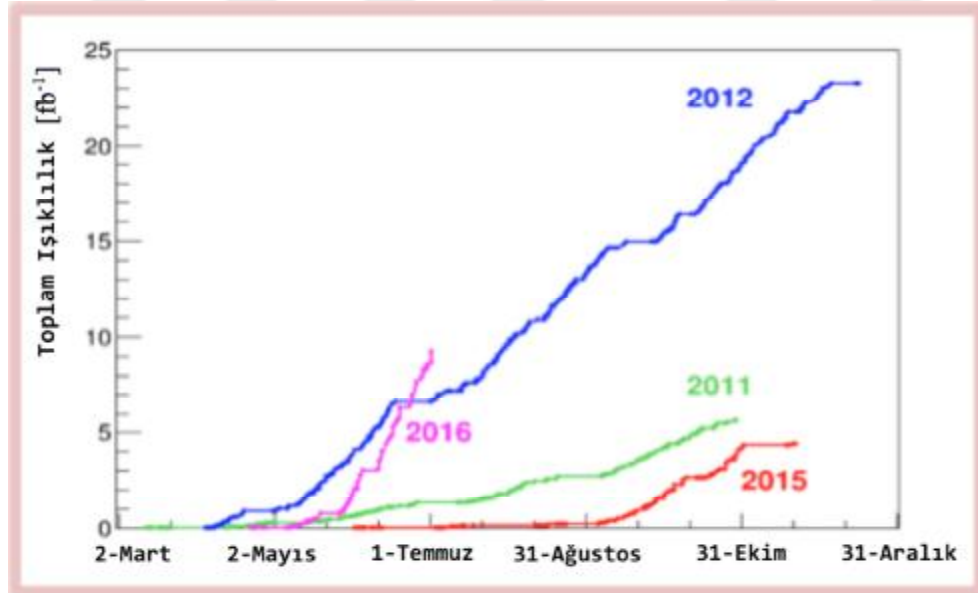


Şekil 2.4. BHC'nin mıknatıslarının bir kısmı

(http://home.cern/sites/home.web.cern.ch/files/image/inlineimages/old/lhc_long_1.jpg)

1998'de inşaatı başlayan BHC'de ilk fizik verisi Kasım 2009 yılında $\sqrt{s} = 900 \text{ GeV}$ 'lik kütle merkezi enerjili p-p çarpışması ile başlamıştır. Aralık 2009'da $\sqrt{s} = 2,36 \text{ TeV}$ 'ye ulaşılarak yüksek enerjili çarpışmalarda ilk dünya rekoru kırılmıştır. 30 Mart 2010'da $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ 'e çıkılmıştır. 8 Kasım 2010'da çekirdek çifti başına $\sqrt{s} = 2,36 \text{ TeV}$ 'lik Pb-Pb çarpışmaları yapılmıştır. BHC'ye ilk iyonlar gönderildikten sonra Kasım 2010'da, $2,8 \cdot 10^{25} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 'lik ışıklılığa ulaşılmıştır (<http://cdsweb.cern.ch/journal/CERNBulletin/2010/48/News>). Aralık 2010'da hüzmeye işletimi sona ererek iyon veri alımı tamamlanmıştır (<http://cdsweb.cern.ch/journal/CERNBulletin/2010/50/News>). CMS 2011 yılının sonlarına kadar 6 fb^{-1} 'lık ışıklılık değerinde veri toplamıştır. 2012 yılında, $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ 'lik enerjiye, 11 fb^{-1} 'lık toplam ışıklılık ve $7 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 'lik anlık pik ışıklılık değerine ulaşılmıştır. BHC'nin yenileme ve iyileştirme çalışmaları için Faz-1, Faz-2 ve Faz-3 olmak üzere üç uzun mola (ara) dönemi planlanmıştır (CMS

Collaboration, 2012). İlk veri alımı 13 Şubat 2013 tarihinde sonlandırılmış ve ardından yenileme ve iyileştirme çalışmaları için planlanan Faz-1 dönemi başlamıştır. Çarpışma testleri 5 Nisan 2015 yılında başlamıştır, 20 Mayıs 2015'de hüzmeye başına 6,5 TeV yani toplam kütle merkezi enerjisi 13 TeV'e çıkmıştır. İkinci veri alımı 3 Temmuz 2015'te başlamış ve 2016 yılını da kapsayacak biçimde devam etmiştir. Alınan deneysel verileri test etmek temel fiziğin gelişmesi ve anlaşılması bakımından çok önemlidir. Şekil 2.5'de BHC'nin yıllara göre performansı gösterilmektedir. (<https://home.cern/about/updates/2016/05/2016-physics-season-starts-lhc-0>). 2018 yılında yapılması planlanan Faz-2 periyodunda, BHC'nin içinden yüksek yoğunluklu ve düşük yayma gücüne sahip çok parlak hüzmeler geçirilecektir, bundan dolayı enjektör zincirinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi gerekmektedir. BHC'nin en iyi performans ve hızlandırıcı için planlanan iyileştirme sürecinde pik ışıklılık değerinin Faz-2 tamamlanmadan önce $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ değerine ulaşması hedeflenmektedir (CMS Collaboration, 2012).

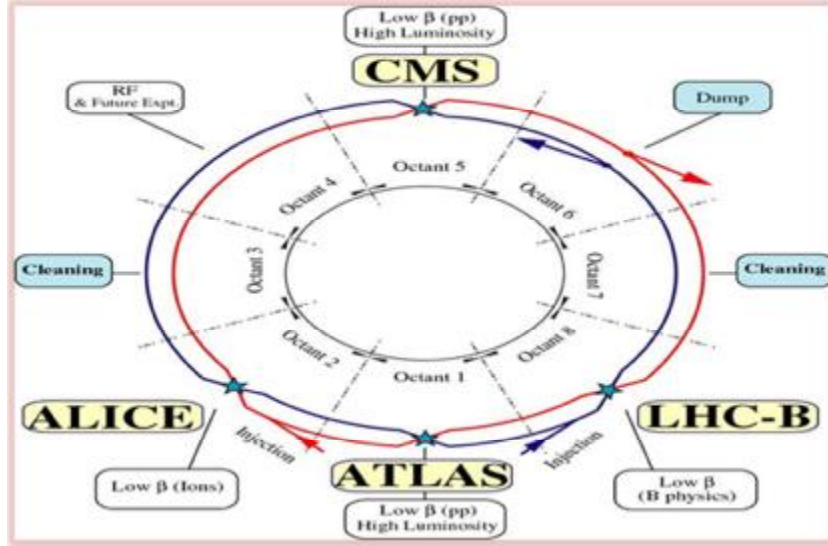


Şekil 2.5. 2011, 2012, 2015 ve 2016 yıllarındaki ışıklılık değerleri (<https://home.cern/cern-people/updates/2016/06/lhc-report-staying-cool-despite-record-highs>)

BHÇ çarpışmalarında birim saniyede üretilen olay sayısı $N_{olay} = L\sigma_{olay}$ olarak tanımlanmaktadır. Burada σ_{olay} olayın tesir kesiti, L makinenin ışıklılığıdır. Makinenin ışıklılığı sadece hüzmeye parametrelerine bağlıdır ve aşağıda tanımlanan bir Gaussian hüzmeye dağılımı;

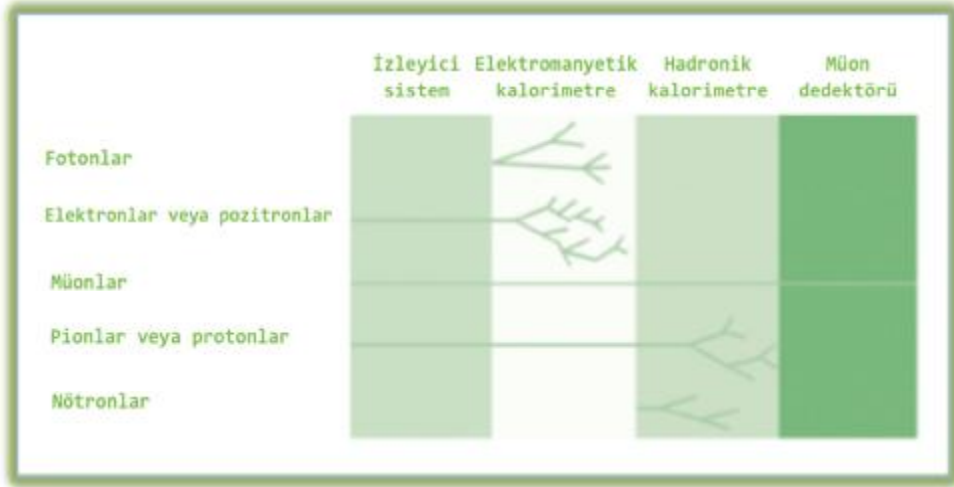
$$L = \frac{N_b^2 n_b f_{dön} \gamma_r}{4\pi \epsilon_n \beta^*} F$$

ile verilir. Burada N_b her hüzmeyeindeki parçacık sayısı, n_b hüzmeye başına demet sayısı, $f_{dön}$ dönme frekansı, γ_r relativistik gama faktörü, ϵ_n normlanmış dik hüzmeye yayma gücü, β^* çarpışma noktasındaki betatron fonksiyonu ve F etkileşme noktasındaki geçiş açısından oluşan azaltma faktörüdür (Rinchiuso, 2016). BHÇ, bilinen çok hafif ve ağır kütleli parçacıkların araştırılması, yeni keşiflerin yapılması için kullanılan bir parçacık hızlandırıcısıdır. BHÇ'nin şematik yapısı Şekil 2.6.'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. BHÇ'nin şematik yapısı (<http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/images/lhc-schematic.jpg>)

BHÇ’de altı farklı deney bulunmaktadır. Bunlar; ATLAS, CMS, ALICE (A Large Ion Collider Experiment-Ağır İyon Çarpıştırıcı Deneyi), LHCb (A Large Hadron Collider beauty-LHC b Fiziği Deneyi), TOTEM (TOTAL Elastic and diffractive cross section Measurement - Toplam elastik ve difraktif tesir kesiti ölçümü) ve LHCf (Large Hadron Collider forward-İleri Büyük Hadron Çarpıştırıcısı)’dir. Şekil 2.6’da ATLAS, CMS, ALICE ve LHCb dedektörleri BHÇ halkasının üzerinde gösterilmiştir. ATLAS (Aad ve ark., 2008) ve CMS (Adolphi and friends., 2008) genel amaçlı deneylerdir. Bu deneylerin dedektörleri silindirik yapıda olup aralarındaki en büyük farklılık, manyetik alan üretmek için kullanılan mıknatıslardan birinin selenoidal diğerinin toroidal olmasıdır. Dedektörün tüm katmanlarından gelen bilgiler birleştirildiğinde, dedektördeki parçacıkların kimlik izleri tespit edilebilir. Şekil 2.7 yüksek enerjili bazı parçacıkların dedektörün farklı katmanları ile nasıl etkileştiğini göstermektedir.



Şekil 2.7. Dedektördeki parçacıklar ve bıraktıkları izler (CERN Brochure, 2009)

B-fiziği (Güzellik kuarkı) araştırmaları için tasarlanan LHCb (Alves and friends., 2008) dedektörünün ışıklılık değeri $1 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ’dir. TOTEM, küçük açılarda esnek çarpışmalardan gelen protonları tespit etmek için tasarlanmıştır ve

$2 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ışıklılık değerine ulaşması hedeflenmektedir. p-p çarpışmaları dışında BHC'de ağır iyon çarpışmaları da yapılmaktadır. ALICE (Aamodt and friends, 2008), Pb-Pb çarpışmalarını araştırmaktadır, elde edilen veriler ile ışıklılık değeri $1 \times 10^{27} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 'e ulaşılmıştır (Evans and Bryant, 2008). Şekil 2.7'de ilk katmanda bulunan iz dedektörü çarpışma sonucu ortaya çıkan yüklü parçacıkların izlerini belirlemeyi sağlar. Elektronların, pozitronların ve fotonların kaybettiği enerji elektromanyetik kalorimetrede ölçülür ve elektromanyetik kalorimetreden hemen sonra yerleştirilmiş olan hadronik kalorimetre proton, nötron ve pion gibi kuvvetli etkileşen parçacıkların dedektörde bıraktığı enerjiyi ölçmektedir. Sadece müonların ulaşabildiği müon odaları ise en dış katmanda yer almaktadır. Müonlar dedektörde oluşturdukları iyonizasyon ile gözlenebilir. Zayıf etkileşme yapan nötrinolar ise detektör içinde etkileşme yapmadan geçip giderler. Bundan dolayı, nötrinoların varlığı dedektördeki kayıp enerji ile belirlenmektedir. Bu tip parçacıklar enerjinin korunumu yasasından faydalanılarak dolaylı olarak gözlenir. Aşağıda BHC üzerinde bulunan deneylerden kısaca bahsedilmektedir.

2.2.1. ALICE

ALICE (A Large Ion Collider Experiment - Ağır İyon Çarpıştırıcı Deneyi) 18 farklı dedektör sisteminden oluşmuştur ve bu sistemler BHC'den beklenen hem fiziksel gereksinimler hem de deneysel koşullar aracılığı ile sürdürülen özel teknoloji ve tasarım kısıtlamalarına sahiptir (ALICE Collaboration, 2008). Dedektör Fransa'da St Genis Pouilly'de yerin 100 m altındaki büyük bir mağaraya indirilmiştir. 26 metre uzunluğunda, 16 metre yüksekliğinde, 16 metre genişliğinde ve 10,000 ton ağırlığındadır (CERN Brochure, 2009). ALICE dedektörünün çekilen bir fotoğrafı Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Deney özellikle ağır iyon çarpışmalarını incelemek üzere tasarlanmıştır. Bunun için Pb-Pb çarpışmalarından toplanan veriler analiz edilmektedir. Deneyin amacı güçlü etkileşen madde ve evrenin Büyük Patlamadan hemen sonra oluştuğu düşünülen kuark-plazma yapısını araştırmaktır.

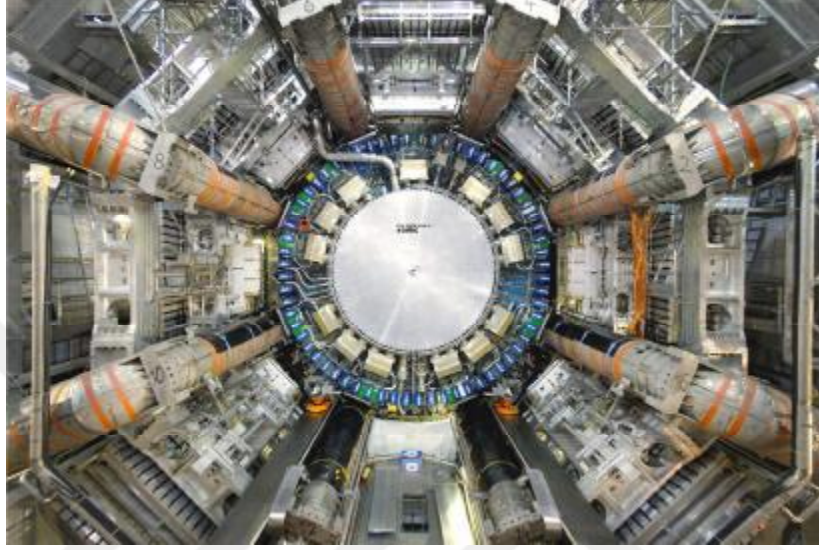


Şekil 2.8. ALICE dedektörü
(<http://home.cern/sites/home.web.cern.ch/files/image/experiment/2013/01/alice.png>)

2.2.2 ATLAS

ATLAS (A Toroidal LHC Apparatus-Büyük Toroidal Detektör) dedektörünün en temel özelliği dev mıknatis sistemidir. Mıknatis sistemi kendini çevreleyen büyük toroid (CERN Brochure, 2009) dir. 46 m uzunluk, 25 m yükseklik ve 25 m genişlik ile şimdiye kadar inşa edilen en büyük hacimli detektör olup ağırlığı 7000 tondur (<http://home.cern/about/experiments/atlas>). Şekil 2.9’da ATLAS dedektörü gösterilmiştir. Dedektör İsviçre’nin Meyren yerleşkesinde BHC halkası üzerindeki Nokta1’de bulunmaktadır. ATLAS deneyin amacı maddenin temel yapıtaşlarını gözlemlemek ve yasalarını daha iyi anlamak, maddeye kütle kazandırdığı düşünülen Higgs parçacığı hakkında bilinmeyenleri araştırmak, evrendeki madde-antimadde asimetrisi olarak bilinen CP (Yük Eşlenikliği-Parite) bozunumunu anlamak, evrende varlığı kabul edilen fakat henüz gözlemleyemediğimiz karanlık madde, karanlık enerjiyi açıklamak. Süpersimetrik (SÜSİ) parçacıkları keşfetmek, ekstra boyutlardan mikro karadeliklere kadar birçok

fizik kuramını açıklamaya çalışmaktadır. CMS deneyi de ATLAS deneyi ile aynı fizik konularını araştırmaktadır.



Şekil 2.9. ATLAS dedektörü

(<http://home.cern/sites/home.web.cern.ch/files/image/experiment/2013/01/atlas.jpeg>)

2.2.3. LHCb

LHCb (A Large Hadron Collider beauty - LHC b Fiziği Deneyi), eski LEP deneyinin bulunduğu yere yani BHC'nin 8. noktasına yerleştirilmiştir. Dedektör 21 metre uzunluk, 10 metre yükseklik, 13 metre genişlik, 5600 tonluk ağırlık (<http://home.cern/about/experiments/lhcb>) ve 1600 tonluk dev mıknatısa sahiptir. Dedektörün parçaları yerin altına parça parça monte edilmiştir (CERN Brochure, 2009). Şekil 2.10'da dedektörün genel görünümü verilmiştir. LHCb deneyi b-fizik araştırmaları ve B-mezonunun asimetrisi yani CP bozunumu ile ilgili parametreleri ölçmeyi amaçlamaktadır. Büyük Patlamadan sonra evrendeki madde-anti maddenin eşit oranda olduğu düşünülmektedir. Gözlemediğimiz evrende maddenin baskın olduğunu biliyoruz. Neden anti madde yok oldu ve CP asimetrisi hüküm sürüyor? sorularına bu deneyin yanıt vermesi beklenmektedir.



Şekil 2.10. LHCb dedektörü

(http://home.cern/sites/home.web.cern.ch/files/image/updatefor_the_public/2016/09/rsz_1img0020_0.jpg)

2.2.4. LHCf

LHCf (Large Hadron Collider forward - İleri Büyük Hadron Çarpıştırıcısı) küçük ölçekli deney olup, BHC’de astro parçacık (kozmetik ışın) fiziği araştırmaları için tasarlanmıştır. Kafa-kafaya çarpışan proton hüzmeleri ile hemen hemen aynı doğrultuda, ileri bölgede oluşan ikincil parçacıkları araştırmaktadır. ATLAS’ın çarpışma noktasının her iki tarafında etkileşme noktasından 140 metre uzağa hüzmeye borusunun üzerine yerleştirilen iki dedektörden oluşmuştur. Her bir dedektör 30 cm uzunluğunda, 80 cm yüksekliğinde, 10 cm genişliğinde ve 40 kg ağırlığındadır (<http://home.web.cern.ch/about/experiments/lhcf>). Şekil 2.11’de yapım aşamasındaki LHCf dedektörü gösterilmektedir. LHCf daha küçük ölçekli deney olup ileri yöndeki parçacıkları (protonlar ve ağır iyonlar) araştırmaktadır.



Şekil 2.11. LHCf dedektörü
(http://home.cern/sites/home.web.cern.ch/files/image/updatefor_the_public/2016/11/cover.jpg)

2.2.5. TOTEM

BHÇ halkasındaki p-p çarpışmaları, protonun kendisi de dahil olmak üzere bir çok fizik olayını bir mikro laboratuvar ortamında araştırmayı sağlar. TOTEM (TOTAl Elastic and diffractive cross section Measurement–Toplam elastik ve difraktif tesir kesiti ölçümü) deneyi de LHCf gibi küçük ölçekli deney olup proton hüzmeleri ile aynı yöndeki parçacıkları araştırmakta, hem toplam hem de diferansiyel tesir kesiti ölçümleri yapmaktadır. Deney ileri bölge olarak bilinen çok küçük açılardaki çarpışmalarla ortaya çıkan protonları kesin olarak ölçmektedir. TOTEM, CMS deneyinin etkileşme noktasının her iki tarafında bulunup neredeyse yarım kilometre uzaklıktadır. CERN’ün en uzun deneyidir. Dedektör 5 m yüksekliğinde, 5 m genişliğinde ve 20 ton ağırlığındadır. 26 “Roman pot” dedektörü ve dört parçacık dedektörü ile birlikte yaklaşık 3,000 kg’lık bir ekipmana sahiptir (<http://home.cern/about/experiments/TOTEM>). Roman pot’ları

etkileşme noktasının her iki yanındaki yüklü parçacık izlerini tespit etmekte kullanılmaktadır. Şekil 2.12’de gösterilmektedir.

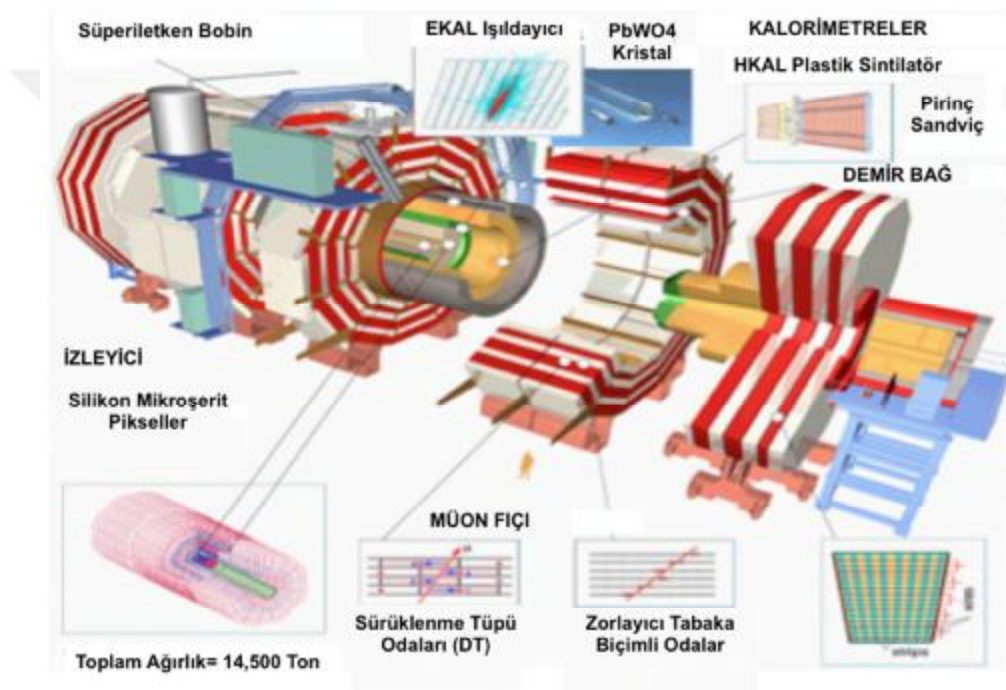


Şekil 2.12. LHC tüneline 'Roman Pot' olarak adlandırılan dedektörlerin görüntüsü (http://home.cern/sites/home.web.cern.ch/files/image/updatefor_the_public/2016/09/02_ma27926.jpg)

2.2.6. CMS Deneyi

CMS dedektörü BHC'nin Nokta 5 kısmında, bir Fransız köyü olan Cessy’de yerin 100 m altındaki tünele yerleştirilmiştir. 28,7 metre uzunluğunda, 15 metre genişliğinde, 15 metre yüksekliğinde ve 14,500 ton ağırlığındadır (<https://home.cern/about/experiments/cms>). CMS dedektörünün amacı, geniş bir enerji aralığında müon, elektron, foton ve jetleri belirlemek, bu parçacıkların hassas ölçümleri ile fizik alanında yeni keşifler yapmak ve ATLAS deneyinde bahsedilen fizik konularını araştırmaktır. CMS dedektörü, yaklaşık $1 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ışıklılık miktarı ve $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$ kütle merkezi enerjisinde p-p çarpışmalarının yeniden yapılandırılması ve kaydedilmesi için tasarlanmıştır. CMS dedektörünün ana kısmı 3,8 T manyetik alan üreten süper iletken bir selenoid mknatısdır. Selenoidin dış kısmından iç kısmına doğru sırasıyla bir hermetik piriç-sintilatörden oluşan hadronik kalorimetre (HKAL), yüksek tanecikli kristal elektromanyetik kalorimetre (EKAL) ve en iç kısımda bir izleyici dedektör

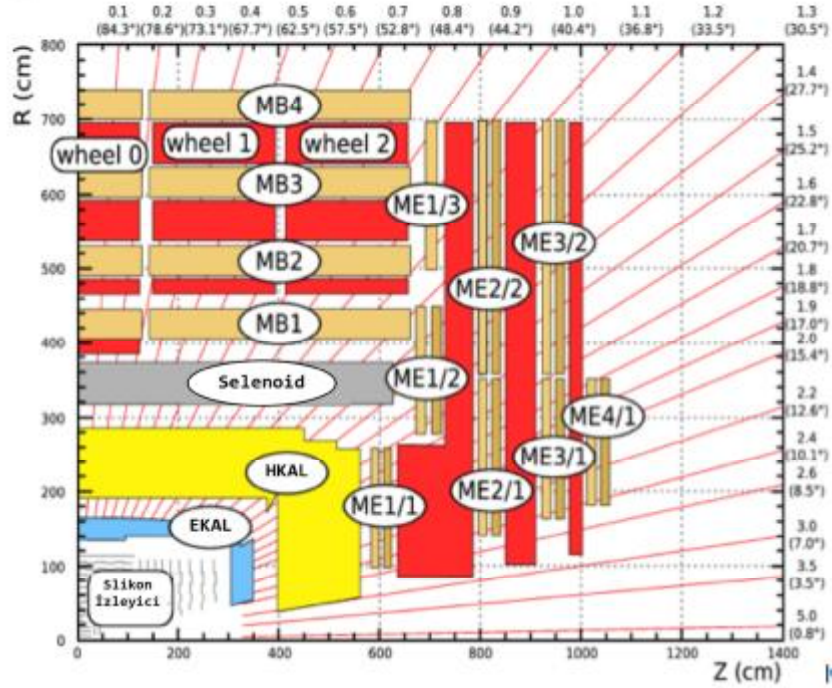
bulunmaktadır. Müon ve momentumların yörüngelerinin yeniden yapılandırılması ve müonların algılanması için selenoid dışında demir boyunduruğa gömülü gaz dedektörleri vardır (Focardi, 2011). ATLAS dedektörü CMS ile aynı fizik araştırmaları yapmasına rağmen, CMS dedektöründe farklı teknikler ve farklı mıknatıs sistemi kullanılmıştır. CMS dedektörü, büyük bir mıknatısın etrafını saracak biçimde tasarlanmıştır. Şekil 2.13' de CMS dedektörü gösterilmektedir.



Şekil 2.13. CMS dedektörü (CMS TDR 2, CERN/LHCC-2015-10)

CMS tarafından kabul edilen koordinat sisteminde, çarpışma noktası orijin olarak kabul edilmektedir. x eksenini radyal olarak BHC'nin merkezinden içeri doğru, y -ekseni dikey olarak yukarı doğru ve z -ekseni hüzmelin yönünü göstermektedir. Azimutal açı (ϕ) x - y düzlemi içinde x -ekseninden itibaren ölçülürken, kutup açısı (θ) z ekseninden itibaren ölçülmektedir. $\eta = -\ln \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$,

psüdorapiditeyi temsil eder. Parçacığın p_t ve E_t olarak tanımlanan dik momentum ve dik enerjisi hüzme yönü boyunca ölçülmektedir. Dik momentum ve dik enerji x ve y bileşenlerinden hesaplanır. Düşey düzlemde enerji kaybı $E_T^{kayıp}$ ile verilmektedir. CMS dedektörünün çeyrek kesiti Şekil 2.14'te gösterilmektedir (CMS TDR, 2006).



Şekil 2.14. CMS deneyinin çeyrek kısmının görünümü
(http://inspirehep.net/record/837837/files/Figures_cms_quadrant.png)

2.2.6.1. CMS' in Alt Dedektörleri

CMS dedektörünün en önemli amaçlarından biri müonların belirlenmesidir. Bu nedenle, gerekli manyetik alanı oluşturmak ve deneydeki müonların momentumlarını doğru bir şekilde ölçmek için mıknatıs olarak süper iletken selenoid seçilmiştir. Tüm geometriyi kapsamak için dört müon istasyonu üzerine yerleştirilen mıknatıs 1,5 m'lik demir (Fe) yapıdan oluşmuştur.

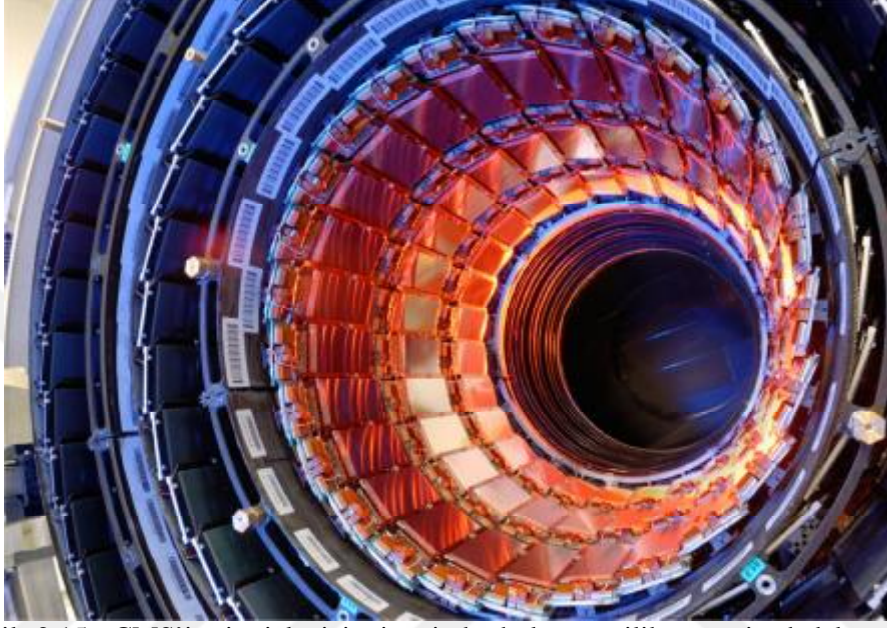
İç izleyici sistem ve kalorimetreler manyetik bobinin içine gömülmüştür. İç izleyici sistem, 6 metre uzunluğunda ve 2,6 metre çapında olan bir silindirdir. 10-katmanlı silikon mikro-şerit dedektörler iç izleyici sistem tarafından yüksek parçacık çokluluğunu belirlemek için kullanılır. Üç katmanlı silikon piksel dedektörler ise, yüklü parçacık izleri ve ikincil parçacıkların konumunu belirlemek için etkileşim bölgesine yakın olacak biçimde yerleştirilmiştir. Daha sonra parçacıklar, enerjilerini kaybettikleri kalorimetre sistemine ulaşırlar. Kurşun tungstat ($PbWO_4$) kristallerden oluşan EKAL fotonlar, elektronlar ve pozitronların enerjisini ölçmek için kullanılır. EKAL, sintilatörler arasına yerleştirilen pirinç tabakalardan oluşan HKAL ile çevrilmiştir. İleri kalorimetreler tam geometrik kapsama sağlamak için merkezi kalorimetrenin her iki tarafında yer almaktadır (Focardi, 2011).

2.2.6.1.(1) İç İzleyici Sistem

İç izleyici sistem çarpışma noktasına yakın olayları belirlemek ve parçacıkların momentumlarını ölçmek için kullanılır. Bir parçacığın momentumunu ölçmenin yollarından biri, manyetik alan boyunca onun izini belirlemektir. İzleyici, yüklü parçacıkların konumlarını tespit ederek onların izlerini kaydeder (<http://cms.web.cern.ch/news/tracker-detector>).

İç izleyici sistem, BHC'deki çarpışmalarda ortaya çıkan yüklü parçacıkların yörüngelerinin doğru ve etkili bir biçimde ölçülmesini sağlar. Etkileşme noktasını çevreleyen bu sistem, 5,8 metre uzunluğunda, 2,5 metre çapında ve $|\eta| < 2,5$ psüdorapitite aralığını kapsamaktadır. Bir piksel dedektörü ve bir silikon şerit dedektörü yüksek iz çözünürlüğü elde etmek için ve CMS'in iç izleyici sisteminde gerekli hassasiyeti sağlamak için kullanılır. CMS iç izleyici sistemi 1440 piksel dedektör ve 15148 şerit dedektör modülden oluşmaktadır. Piksel dedektör farklı üç silindirik katmandan (4,4 cm, 7 cm and 10,2 cm) oluşurken, silikon şerit dedektör 1,1 m yarıçapa sahip yukarı doğru uzanan ön fiçı algılama katmanından oluşmuştur (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

Şekil 2.15, CMS'in iç izleyici sisteminde bulunan silikon şerit dedektörlerini göstermektedir.

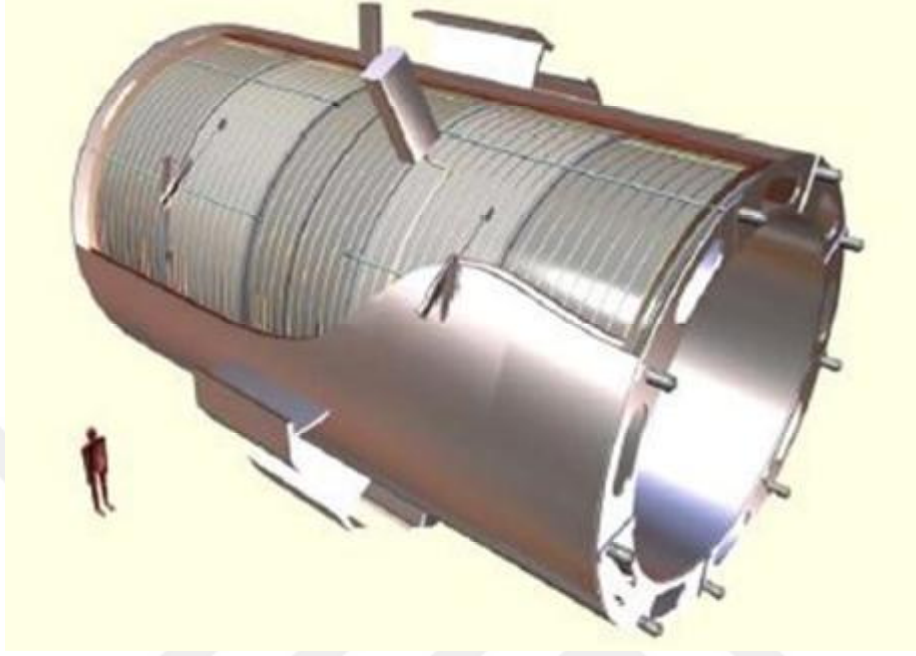


Şekil 2.15. CMS'in iç izleyici sisteminde bulunan silikon şerit dedektörünün görünümü (<http://cms.web.cern.ch/news/tracker-detector>)

2.2.6.1.(2). Selenoid Mıknatıs Sistemi

Dedektörün tasarımındaki en önemli noktalardan biri dedektör ve manyetik alan parametrelerinin yapılandırılmasıdır. Dedektördeki yüklü parçacıkların momentumlarının ölçülmesi, kendi yörüngelerindeki bükülmeye bağlıdır. Bu yüzden bir süper-iletken mıknatıs CMS'de 4 T'lık manyetik alan sağlamak için kullanılmaktadır (CMS Detector Posters, Magnet Field, 2000).

12,5 metre uzunluğunda, 6,3 metre çapında olan mıknatıs, 3,8 T'lık manyetik alan üreten süper iletken selenoidden oluşmuştur. Bobin, her biri 2,5 metre olan 5 modüle sahiptir. İç izleyici sistem, EKAL ve HKAL bu mıknatıs içerisinde bulunmaktadır. CMS' in mıknatıs sistemi şekil 2.16'da gösterilmektedir.



Şekil 2.16. Süper iletken mıknatıs (CMS HCAL Collaboration, 2008, CMS Note 2008/010)

2.2.6.1.(3). Elektromanyetik Kalorimetre (EKAL)

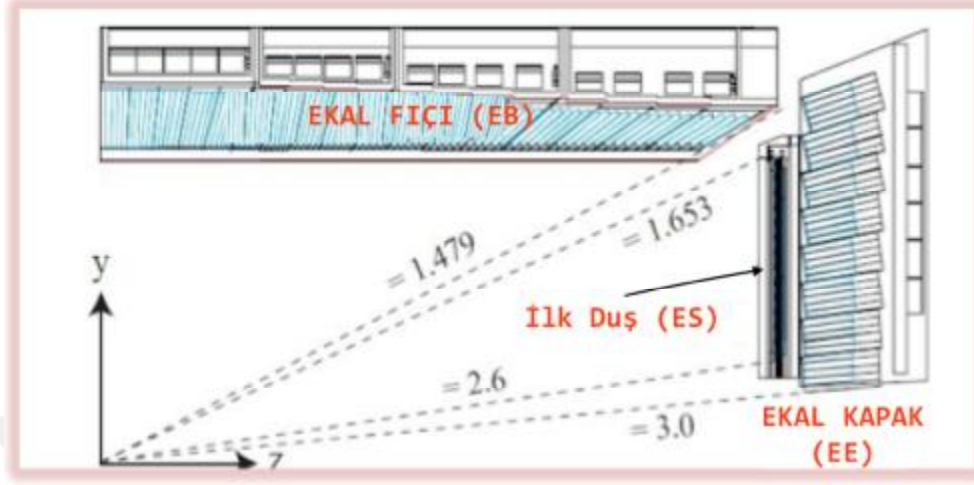
Kalorimetreler, birincil parçacıkları durduran ve parçacıkların dedektörde bıraktığı (kaybettiği) enerjiyi ölçen aletlerdir. Kalorimetreler ikiye ayrılır. Bunlardan birincisi elektromanyetik kalorimetre (EKAL)'dir. EKAL, elektromanyetik etkileşme yapan parçacıkların enerjisini ölçmek için tasarlanmıştır. EKAL, Higgs bozonu ve yeni fizik araştırmaları için elektromanyetik etkileşim yapan parçacıklar özellikle de elektron ve fotonların enerjilerinin ölçümü için önemli bir role sahiptir. EKAL'in amaçlarından biri, Higgs bozonunun iki fotona bozunumunu tespit etmektir (<http://cms.web.cern.ch/news/electromagnetic-calorimeter>).

EKAL, parıldayan kristaller olan $PbWO_4$ 'dan yapılmış homojen ve hermetik bir kalorimetredir. $PbWO_4$ kristallerinin yüksek yoğunluk ($8,28g\text{ cm}^{-3}$), kısa radyasyon uzunluğu (8,9 mm) ve küçük Moliere yarıçapı (23 mm) gibi

özelliklere sahip olması kompakt bir kalorimetre oluşturmasını mümkün kılmıştır. EKAL, bir fıçı (EB), iki dış kapaktan (EE) oluşur ve yüksek bir manyetik alana maruz kalmaktadır. EKAL'in fıçı kısmı (EB) $|\eta| < 1,48$ psüdorapidite aralığını, dış kapak (EE) kısmı $1,48 < |\eta| < 3$ psüdorapidite aralığını kapsamaktadır ve $|z| > 3154$ mm noktasında yer almaktadır. Işınım uzunluğu (X_0) genel olarak ve soğurucu materyalin doğası olup elektronun enerjisinin bir fonksiyonudur Ancak foton ve elektronun 1 GeV'lik enerjisinin üzerindeki enerjiler için X_0 neredeyse enerjiden bağımsızdır. Toplam 3 X_0 aralıklı kurşun ile aralara yerleştirilmiş iki silikon sensör düzleminden oluşan bir ön duş detektörü, uç kapakların önünde bulunur ve $1,65 < |\eta| < 2,60$ psüdorapidite aralığını kapsamaktadır (CMS Collaboration, 2015, JINST 10 P08010).

EKAL'in fıçı kısmı, ön yüzey enine kesitleri yaklaşık 22×22 mm² olan 61200 tane yamuk şeklindeki kristalden yapılmıştır. Kristallerin uzunluğu 230 mm ($25,8 X_0$)'dır. Her yarım fıçı, azimutal olarak 20°'lik, $85 \times 20 = 1700$ adet kristal içeren 18 tane süper modülden oluşmuştur. EKAL'in uç kapakları, ön yüz enine kesiti $28,6 \times 28,6$ mm² ve uzunluğu 220 mm ($24,7 X_0$) olan 14648 tane trapez kristalden yapılmıştır. Kristaller, arasındaki boşluklar 350 µm genişliğinde olan 5x5 kristal yapı halinde gruplandırılmıştır; komşu birimlerdeki kristaller, 2 mm'lik bir boşluk ile birbirinden ayrılmıştır. Her uç kapak, iki yarım diskten oluşmuştur (CMS Collaboration, 2015, JINST 10 P08010).

EKAL'de CMS'in dış kapak ve fıçı kısmında fotonların ve elektronların enerjilerinin doğru bir şekilde ölçülebilmesi için 75848 tane PbWO₄ kullanılmıştır. Fıçı kısmındaki kristaller $2,2 \times 2,2 \times 23$ cm³ ve dış kapaktaki kristaller $3 \times 3 \times 22$ cm³ hacindedir. Her biri $6,1 \times 6,1 \times 0,03$ cm³ ölçülerinde 4288 sensörden oluşan bir ön dedektör, uç kapaklardaki parçacıkların tanımlamasına yardımcı olur. (https://cmsdocdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=12172&filename=ECALposter_Sept2013_PrintQuality.pdf&version=1). Şekil 2.17'de EKAL kalorimetresinin enine kesiti gösterilmektedir.



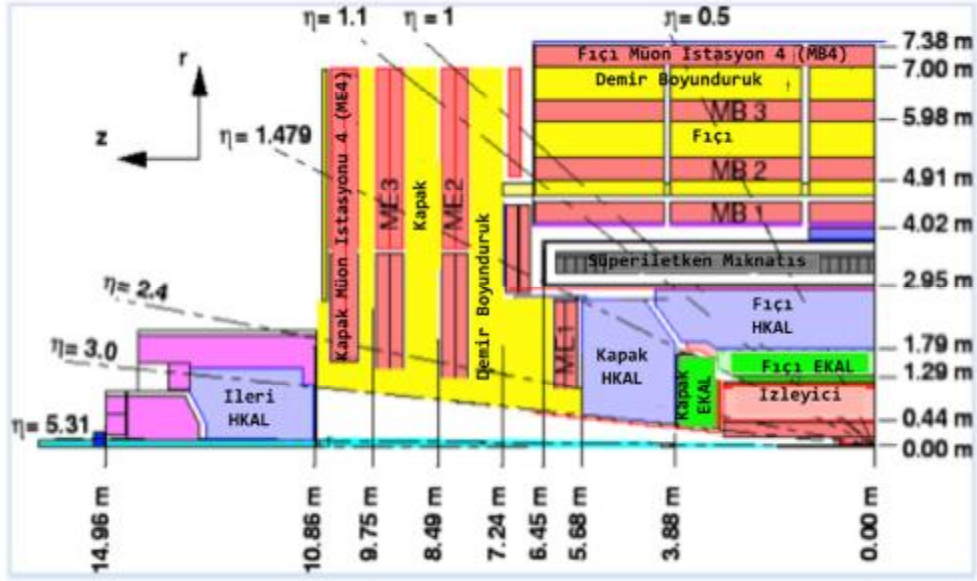
Şekil 2.17. EKAL kalorimetresinin enine kesiti (CMS TDR, 2006)

2.2.6.1.(4). Hadronik Kalorimetre (HKAL)

Hadronik kalorimetre (HKAL), jetlerin momentumlarını ve hadronik duşların kayıp enerjilerini ölçmeye yaramaktadır. Bu durum dedektörün yüksek hermetisiti, iyi bir jet enerji çözünürlüğü ve kayıp dik enerjii (MET) hassas ölçecek biçimde yapılandırılmasını gerektirir. HKAL, kuark ve gluonların oluşturduğu hadronların (örneğin; proton, nötron, pion ve kaonlar) enerjilerini ölçmektedir. Ayrıca HKAL, hadron jetleri, Higgs bozonu, SÜŞİ parçacıkları ve nötrinolar veya egzotik parçacıkların ölçümü için önemli bir dedektördür. (Pandolfi, 2014)

HKAL bir örnekleme kalorimetredir. Parçacıkların yerinin, enerjilerinin ve varış zamanlarının soğurucu tabakalar ve sintilatör materyaller yardımı ile belirlenmesini sağlamaktadır. HKAL'de soğurucu olarak pirinç, aktif materyal olarak plastik sintilatör kullanılmaktadır. Bu sintilatör materyaller, içinden parçacıklar geçtiğinde hızlı bir ışık atımı üretirler ve bu ışık atımları özel fiber optikler ile okuma kutularında çoğaltılır ve toplanır. Belirli bölgede kuleler üzerinde biriken bir miktar ışık aslında parçacığın enerjisidir (<http://cms.web.cern.ch/news/hadron-calorimeter>).

HKAL, dört alt dedektörden oluşmaktadır. Bunlar; Hadronik Fıçı (HB) Hadronik Kapak (HE), Hadronik Dış Kalorimetre (HO) ve Hadronik İleri Kalorimetre (HF)'dir. Bu dedektörler daha sonra ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Şekil 2.18'de HKAL'in dikey kesiti gösterilmiştir.



Şekil 2.18. HKAL kalorimetresinin dikey kesitinin görünümü
(<http://www.hephy.at/user/friedl/diss/html/img41.gif>)

2.2.6.1.(5). Müon Sistemi

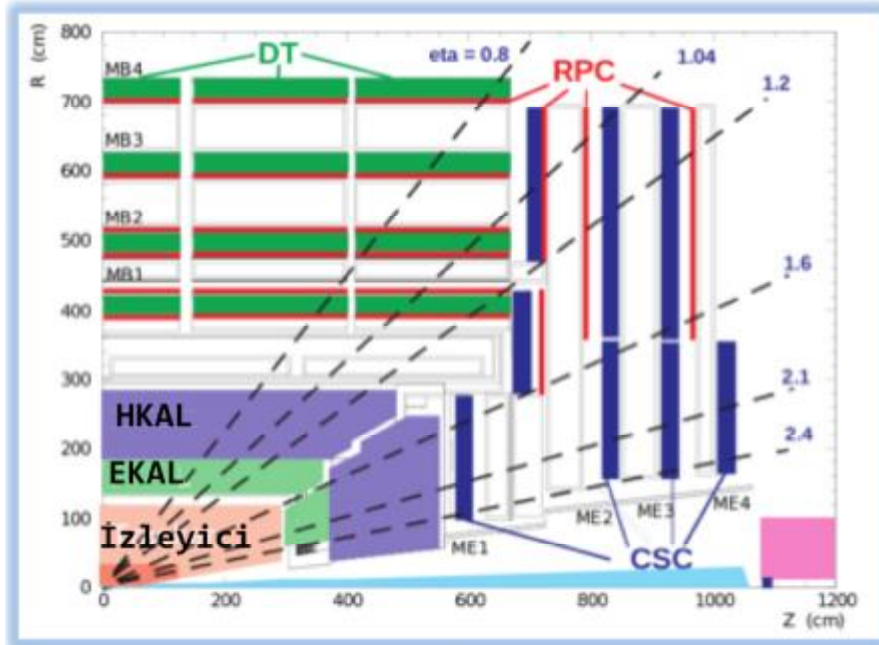
Müonlar, elektronlar ve pozitronlar gibi yüklü parçacıklardır ama onlardan 200 kat daha ağırdır. Müonlar herhangi bir etkileşim olmadan ve birçok parçacığın aksine herhangi bir CMS kalorimetresi tarafından durdurulmadan demir bloğun yüzlerce metre ilerisine gidebilirler. Bu nedenle, müonlar dedektörün sonuna yerleştirilmiş olan müon odacıkları tarafından tespit edilmektedir (<http://cms.web.cern.ch/news/muon-detectors>).

Müonlar BHC'de arka plan üzerinde ilginç olayların algılanmasını sağlar. CMS Müon sistemi, müon dedektöründeki müonların tespit edilmesi için tasarlanmıştır ve müonların momentumlarının ölçülmesini sağlar. Müon sistemi,

neredeyse tüm psüdorapidite aralıklarında tetikleme yeteneğine sahiptir (CMS TDR 3, CERN/LHCC 97-32).

Şekil 2.19'da gösterilen müon sistemi yaklaşık 250000 m²'lik algılama düzleminde oluşmaktadır ve selenoid mıknatısın geometrisinden dolayı silindirik olarak devam eder. Ek olarak müon sistemi bir silindirik fiçı ve iki düzlemsel kapaktan oluşmaktadır (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

Müon sistemi müonları belirlemek ve ölçmek için üç ayrı teknolojiye dayanmaktadır. Bu teknolojiler; fiçı bölgesindeki sürüklenme tüpleri (DT), kapak bölgesindeki katot şerit odaları (CSC) ve hem fiçı hem de kapak bölgesindeki dirençli paralel levha odaları (RPC)'dir.



Şekil 2.19. Müon sistemi (<http://inspirehep.net/record/1185262/files/MuonSys-mod3.png>)

Şekil 2.19'a göre, fiçı bölgesinde dört DT istasyonu (MB1-MB4, yeşil), kapak bölgesindeki dört CSC istasyonu (ME1-ME4, mavi) ve kırmızı renkteki RPC istasyonu görülmektedir. Tüm müon odacıkları müon yörüngelerine dik uzanmaktadır. Fiçı DT'leri $0 < |\eta| < 1,3$ aralığını, dış kapak CSC'leri $0,9 < |\eta| < 2,4$ aralığını ve RPC'ler ise $0 < |\eta| < 2,1$ aralığı kapsamaktadır (CMS TDR 3, CERN/LHCC 97-32).

Müon sistemi, 250 tane DT'ler, 540 tane CSC'ler ve 610 tane RPC'ler olmak üzere toplam 1400 müon odacığından oluşmuştur. DT'ler ve CSC'ler parçacıkların belirlenmesini sağlarken, RPC'ler müon verilerinin kaydedilip kaydedilmemesine karar vermektedir (<http://cms.web.cern.ch/news/muon-detectors>).



3. MATERYAL VE METOD

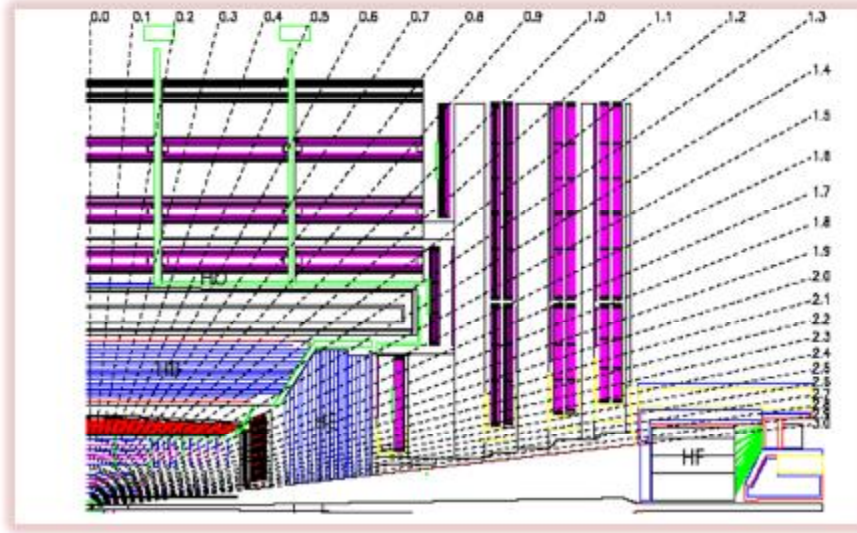
Tezin bu kısmında, CMS'deki Hadronik KALorimetre (HKAL)'in alt dedektörlerinden ileri hadronik kalorimetre (HF)'in tasarımı, performansı, işleyişi ve kalibrasyonu özetlenecektir. Ayrıca, diğer alt dedektörleri olan Hadronik Fıçı (HB), Hadronik Kapak (HE) ve Hadronik Dış Kapak (HO) hakkında kısaca bilgi verilecektir.

3.1. Hadronik Kalorimetre (HKAL)

HKAL'in amacı hadron jetlerini yeniden yapılandırmak, hadronik düş enerji ve kayıp dik enerjisi belirlemektir.

3.1.1. HKAL'in Alt Dedektörleri

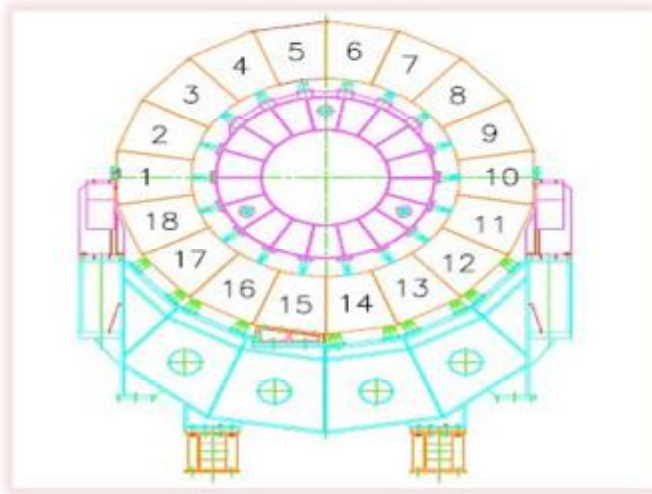
HKAL dört alt dedektörden oluşur. Bunlar; HB, HE, HO ve HF'dir. Bu dedektörler Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



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

3.1.1.1 Hadronik Fıçı (HB) Kalorimetre

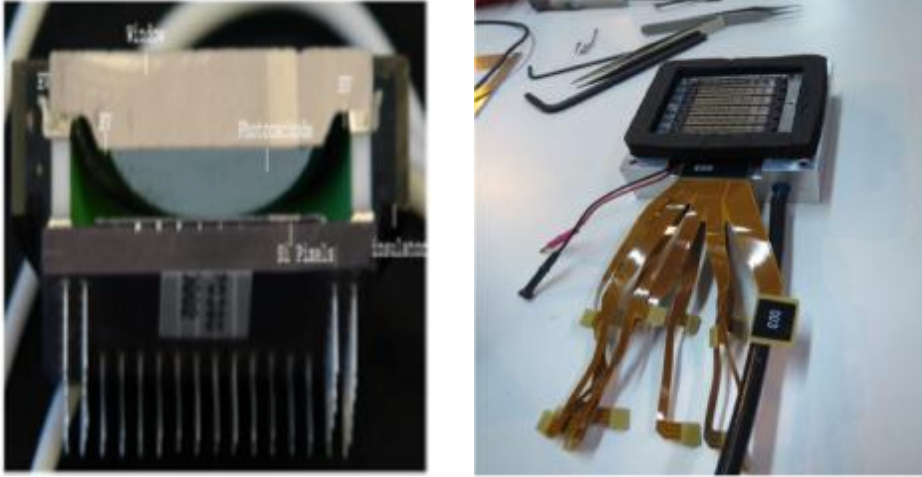
HB $-1,3 < |\eta| < 1,3$ psüdorapidite aralığını kapsamaktadır. HB+ ve HB- olmak üzere iki modülden oluşan kalorimetrede Şekil 3.2'de gösterildiği gibi eşit açılı ($\Delta\phi=20^\circ$) 18 kama bulunmaktadır. Kamalar pirinç malzemeden yapılan soğurucu tabakalar ve bu tabakaların arasına yerleştirilen sintilatör plakalardan oluşmuştur. Her bir kama $\Delta\phi=5^\circ$ 'lik 18 kuleden oluşmuş ve dört sektöre bölünmüştür. Yani toplam $4 \times 18 = 72$ okuma kanalı bulunmaktadır. En içteki ve en dıştaki soğurucu levhalar yapısal dayanıklılığı sağlamak için paslanmaz çelikten yapılmıştır. Pirinç soğurucu levhalar ve paslanmaz çelik levhalar arasında 17 tane plastik sintilatör katman vardır. Sintilatörler 16 η sektörüne bölünmüştür.



Şekil 3.2. HB kamaları (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004)

BHÇ'de anlık ışıklılık miktarı artmaya devam etmektedir. Bu durum HKAL'in hem aktif maddesindeki hem de ön uç elektroniklerindeki radyasyon dozunu artırmaktadır. Okuma elektroniği, CMS'in Faz-1 yükseltme programı kapsamında, aktif maddeyi değiştirmeden radyasyon etkisini azaltmak için yeni teknolojilerle güncellenmektedir (CMS Collaboration, 2015)

HKAL'in aktif malzemesindeki radyasyon hasarı, HB ve HE ön uç okuma sisteminin yükseltilmesi ile düzeltilebilir. HKAL'deki yüksek radyasyon sintilatörler ve dalgaboyu kaydırıcı fiberleri koyulaştırmaktadır. Bu etki, bir lazer izleme sistemi ve hüzmeye çarpışma verileri kullanılarak sintilatör ve fiberlerin geçirgenliği izlenerek düzeltilmektedir. Önceden kullanılan Hibrid Foto Diyot (HFD)'ler ile HB ve HE sinyallerini okumak çok zordu. Çünkü düşük sinyal-gürültü oranı, bozulmuş sintilatörden gelen sinyallerin temiz bir biçimde belirlemeyi zorlaştırıyordu. HFD tabanlı okumada sınırlı sayıda kanal olduğundan bir çok aktif malzeme katmanını optik olarak HFD'lere tek bir kanala toplanıyordu ve radyasyon hasarı dedektördeki derinliğe bağlı olduğu için ışık verimini azaltmaktaydı. Bu sorunlar Şekil 3.3'de (sol) gösterilen eski HFD'lerin sökülerek yerlerine Hamamatsu Silikon Foto Çoğaltıcılar (SiFC)'in (sağ) yerleştirilmesiyle çözülmüştür. SiFC'ler HFD'lere göre çok küçük ve yüksek kazançta (3.5×10^5) sahiptir. Bu, aynı alanda daha fazla okuma kanalına ve kalorimetre katmanlarının daha ince derinliğe bölünmesini sağlar. Ayrıca SiFC'ler radyasyon ve manyetik alana karşı daha dayanıklıdır (CMS CR -2015/291).

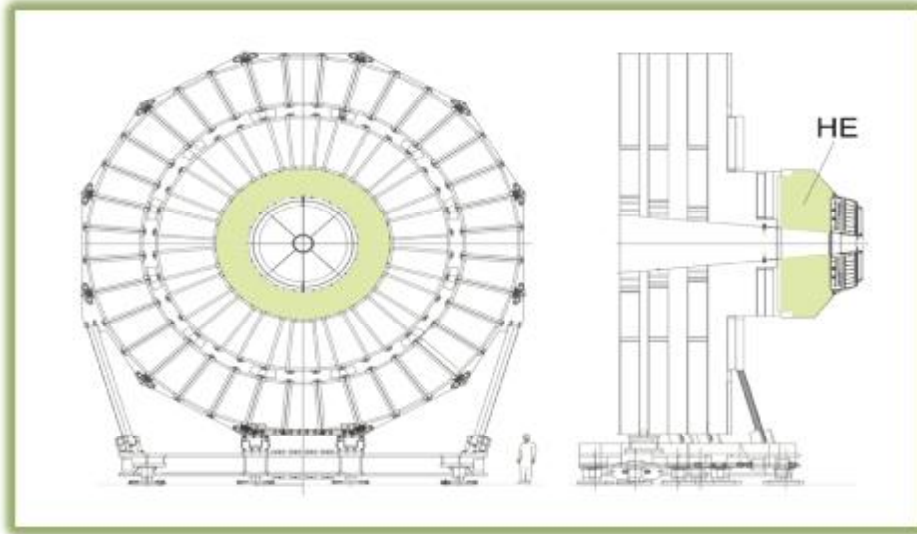


Şekil 3.3. Sol: Daha önce kullanılan HFD'lerin enine kesitinin görünüşü. Sağ: Tek bir okuma modülünden gelen 48 tane SiFC'leri gösteren SiFC kutusunun iç kısmı (CMS CR -2015/291)

3.1.1.2. Hadronik Uç Kapak (HE) Kalorimetresi

HB ile aynı yapıya sahip olan HE, $1,3 < |\eta| < 3$ psüdorapidite aralığını kapsamaktadır. HE+ ve HE- olmak üzere iki modülden oluşur. Modüller Şekil 3.4'de gösterildiği gibi müon kapak boyunduruğuna bağlıdır. Dış tabakalar 10 cm kalınlığında paslanmaz çelik levha ile kaplanmıştır. Foto dedektör ve ön uç elektronikleri bu katmanlara yerleştirilmiştir. Son durumda üretilen parçacıkların yaklaşık % 34'ü bu bölgede bulunur.

HE, 19 sintilatör ve 18 adet soğurucu pirinçten oluşmuştur. HB ve HE arasında bulunan aralık geçiş bölgesi olarak kullanılmaktadır. HE'nin soğurucu yapısı tasarlanırken, HB ve HE arasındaki bu aralığın çok dar olmasına dikkat edilmiştir, çünkü jetlerinin çözünürlüğü, manyetik alan ve parton parçalanması sınırlıdır (CMS HCAL Collaboration, 2008).

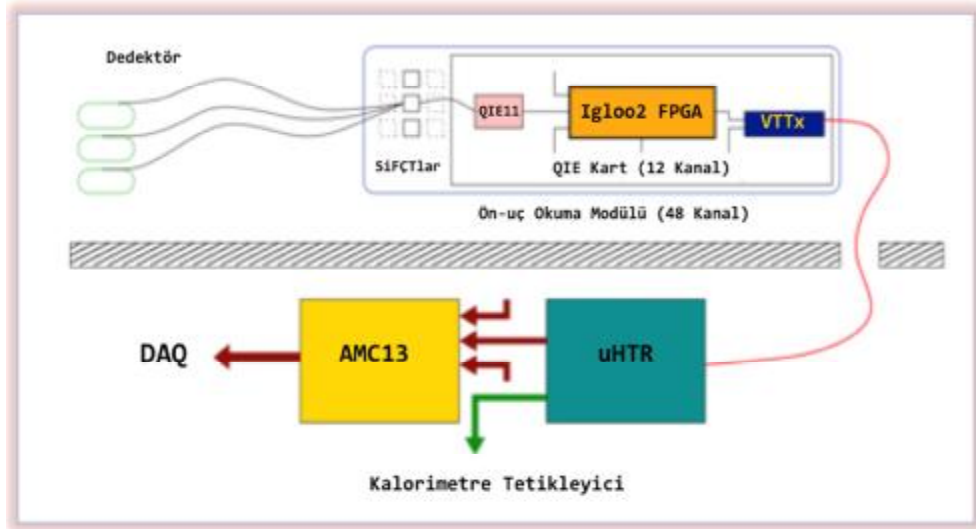


Şekil 3.4. Demir boyunduruk üzerine yerleştirilen HE kalorimetresi (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004)

HE'nin okuma sistemi, her biri 48 adet SiFÇ içeren okuma modülleri (RM), tek bir kontrol kartı ve dört tane ön uç okuma kartından oluşmuştur.

Her bir RM'de, aktif materyallerden gelen fiberleri SiFÇ yüzeyine düzgün bir şekilde eşleştiren optik şifre çözücü birimi (ODU) bulunur. Bir okuma kutusu (RBX) dört RM, bir saat ve kontrol modülü (CCM)'den oluşmuştur. RBX'in son bileşeni, SiFÇ'lere doğrudan kalibrasyon ışık kaynağı sağlamak için LED'leri kullanan bir kalibrasyon modülüdür (CM). Şekil 3.5'de Veri Akış Sistemi (DAQ) gösterilmektedir (CMS CR -2015/291).

RBX, hızlı ve yavaş kontrol sinyallerini CCM modülünden alır. Bu modül, arka uç elektroniklerden gelen optik sinyaller aracılığıyla zaman ve hızlı sıfırlama sinyallerini alır ve bu sinyalleri RBX'daki her bir karta dağıtır. Ön uç için konfigürasyon bilgileri optik bağlantı üzerinden de alınır. Son olarak, CCM, tekrar optik bir bağlantı yoluyla arka uca iletilen RBX ile ilgili tüm durum bilgileri toplamak ve geri iletmekten sorumludur.



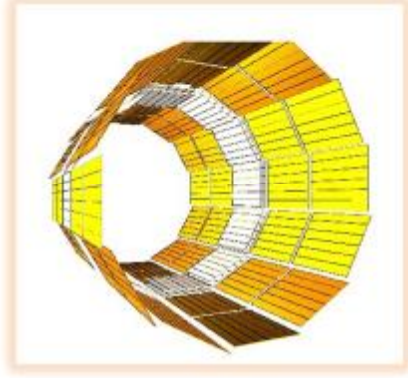
Şekil 3.5. HB ve HE için DAQ veri akışının şeması (CMS CR -2015/291)

SiFÇ'ler, Fermi Ulusal Laboratuvarı (FERMİLİLAB)'da geliştirilen Yük Toplayıcı ve Kodlayıcı (QIE11) Uygulamaya Özel Entegre Devre (ASIC)'in on birinci sürümü kullanılarak okunmaktadır. QIE11, 40 MHz'de çalışacak şekilde

tasarlanmış sıfır ölü zamanlı yük toplayıcısıdır. QIE11, giriş akımını her biri farklı bir dinamik aralığı kapsayacak şekilde tasarlanan dört toplayıcı devre arasında eşit olmayacak bir şekilde böler ve daha sonra, en küçük aralıklarla toplanan birikmiş yük, 6 bitlik bir yarı-logaritmik analog sinyal dönüştürücü (ADC) kullanılarak sayısallaştırılır. QIE11 ayrıca, giriş yükünün, her bir entegrasyon penceresi içinde ayarlanan eşğin 0,5 nano saniye doğruluğuna ilk geçtiği zamanı ölçen bir zaman-sayısal dönüştürücü (TDC)'de içerir. Sayısallaştırılmış veriler, QIE11'den 8-bit 80 MHz'lik bir veri yolu ile iletilir. HKAL ön uç elektronikleri arka uç elektronikler için tam 40 MHz veri hızında okunur. Bunu başarmak için ön uç okuma kartları ham QIE11 verilerini biçimlendirmek ve seri hale getirmek için Microsemi Igloo2 Field Programmable Gate Array-Alan Programlayabilir Kapı Dizisi (FPGA) yüklenir. Igloo2 FPGA'nin son tasarımının radyasyona çok dayanıklı olduğu kanıtlanmıştır ve BHC'deki detektör elektronikleri için idealdir. Her ön uç okuma kartı, on iki QIE11 çipinden veri toplayan bir Igloo2 içerir. Seri hale getirilen veriler daha sonra iki adet 4,8 Gbps optik bağlantı içeren Çok Yönlü Çift Verici, CERN Çok Yönlü Bağlantı projesi tarafından geliştirilen optik alıcı-verici (VTTx) modül aracılığıyla arka uç elektroniklerine iletilmektedir (CMS CR -2015/291).

3.1.1.3. Hadronik Dış (HO) Kalorimetre

HB, hadron duşlarını algılamakta yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden selenoid mıknatısın dışına psüdo-rapidite aralığı $|\eta| < 1,3$ 'e kadar uzanan Hadronik Dış Kalorimetre (HO) denilen bir kuyruk yakalayıcı eklenmiştir. Manyetik alan, beş adet 2537 mm genişliğinde halkalar (2,1,0,+1,+2) şeklinde tasarlanmış bir demir boyunduruğu ile döndürülmektedir. HO kalorimetresinin amacı, HB kalorimetresinden sızan duşların enerjisini ölçmektir. Şekil 3.6'da CMS dedektöründeki tüm HO halkalarının yerleşimi gösterilmiştir. (CMS DN - 2016/023). HO, bir veya iki sintilatör tabakasından oluşur ve mıknatıs sisteminin metalini bir soğurucu gibi kullanmaktadır (<https://cms.web.cern.ch/news/hcal-upgrades-its-photodetectors>).

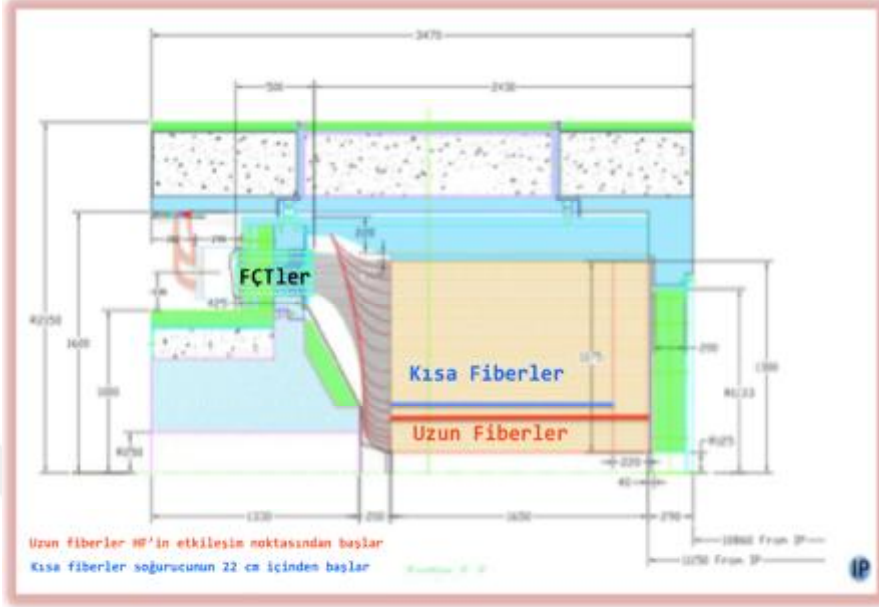


Şekil 3.6. CMS dedektöründeki tüm HO halkalarının yerleşimi (CMS DN - 2016/023)

3.1.1.4. Hadronik İleri (HF) Kalorimetre

$3 \leq |\eta| \leq 5$ psüdorapidite aralığını kapsayan HF, etkileşme noktasının her iki tarafından 11,2 m uzaklıkta olup HF_{\pm} olmak üzere iki modülden oluşmuştur. HF, jetlerin parçacık bozunumlarının belirlenmesinde, yeniden yapılandırılmasında, üst kuark üretimi, SM Higgs ve tüm SÜSİ parçacık araştırmalarında önemli bir kalorimetredir (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1).

HF'in ilk yapısı 130,0 cm'lik bir dış çapa sahip silindirik çeliktir. Bu tasarım, Şekil 3.8'de gösterildiği gibi azimutal olarak 20° 'lik modüler kamalardan oluşmuştur. HF'de etkileşim noktasının her iki tarafında 18 adet olmak üzere toplam 36 kama bulunmaktadır (CMS DN-2015/006). Her kama 24 kuleden ve 10° 'lik eşit açıyla bölünmüş iki kısımdan oluşur (CMS NOTE, 2006/44). Şekil 3.7'de HF'in enine kesiti gösterilmektedir. Şekilde hüzmeye yönündeki 1650 mm'lik soğurucu ölçüleri verilmiştir. Gölgeyi alanda bulunan bir çelik-kurşun-polietilen koruyucu matrisi ile çevrilmiş fiberler, kalorimetrenin arkasından hava çekirdekli ışık demetlerini taşımaktadır. Okuma kutularının içinde FÇT'ler bulunmaktadır (CMS DN -2015/006).



Şekil 3.7. HF'in enine kesiti (CMS DN -2015/024)

Yoğun parçacık akısına maruz kalan kalorimetre, radyasyona dayanıklı malzemeden yapılmıştır. HF, 5 mm kalınlığında kanallı plakalardan oluşan çelik bir soğurucudan oluşmuştur (CMS DN-2015/006). Aktif madde olarak kullanılan kuvars fiberler çelik soğurucuların içine gömülmüştür. Kuvars fiberler belli seviyedeki radyasyona karşı dayanıklıdır ve parçacık doğrultularının belirlenmesini sağlarlar. Ayrıca FÇT'ler aracılığı ile belirlenen Çerenkov ışımaya neden olurlar. HF'in önüne yerleştirilen 10 cm kalınlığındaki kurşun plaka, soğurucudan gelen radyasyon miktarını azaltmaktadır. FÇT'ler 40 cm'lik çelik ile kaplıdır ve sinyallerin okunması için kullanılmaktadır (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

HF kalorimetresinde uzun ve kısa olmak üzere iki farklı fiber kullanılmaktadır. Fiberlerin yarısı (uzun fiberler) (165 cm \approx 10 etkileşim uzunluğunda) HF'nin tam derinliği boyunca ilerlemekte iken diğer fiberler (kısa fiberler) dedektörün ön yüzünden 22 cm derinlikte başlamaktadır (Şekil 3.6). Uzun ve kısa fiberlerde biriken enerjiler ayrı ayrı okunmakta ve sırasıyla E_{uzun} ve $E_{kısa}$

olarak adlandırılmaktadır (CMS DN-2017/004). Kısa fiberler HF'in hadronik kısmında bulunur ve sadece kuvvetli etkileşen parçacıklara karşı duyarlıdır. Uzun fiberler ise HF'nin elektromanyetik kısmındadır ve hem elektromanyetik hem de kuvvetli etkileşen parçacıklara karşı duyarlılık gösterirler (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

HF'deki sinyal, yüklü parçacıkların kuvars fiberlerini geçerken ürettikleri Çerenkov ışığından kaynaklanır. Çerenkov ışığı ancak parçacığın enerjisi, parçacığın kütlesine bağlı olan Çerenkov eşiğinden büyük olduğunda yayılır. Kalorimetrede kaydedilen sinyalin çoğu parçacık duşlarının elektromanyetik bileşeninden oluşmuştur. Elektronlar veya fotonlar daha kısa duş ile sonuçlandığından, bunlar sadece uzun liflerde sinyal oluştururlar. Bununla birlikte, hadronik duşlar daha uzun süre devam eder ve hem kısa hem de uzun liflerde sinyal oluştururlar (CMS DN -2017/004).



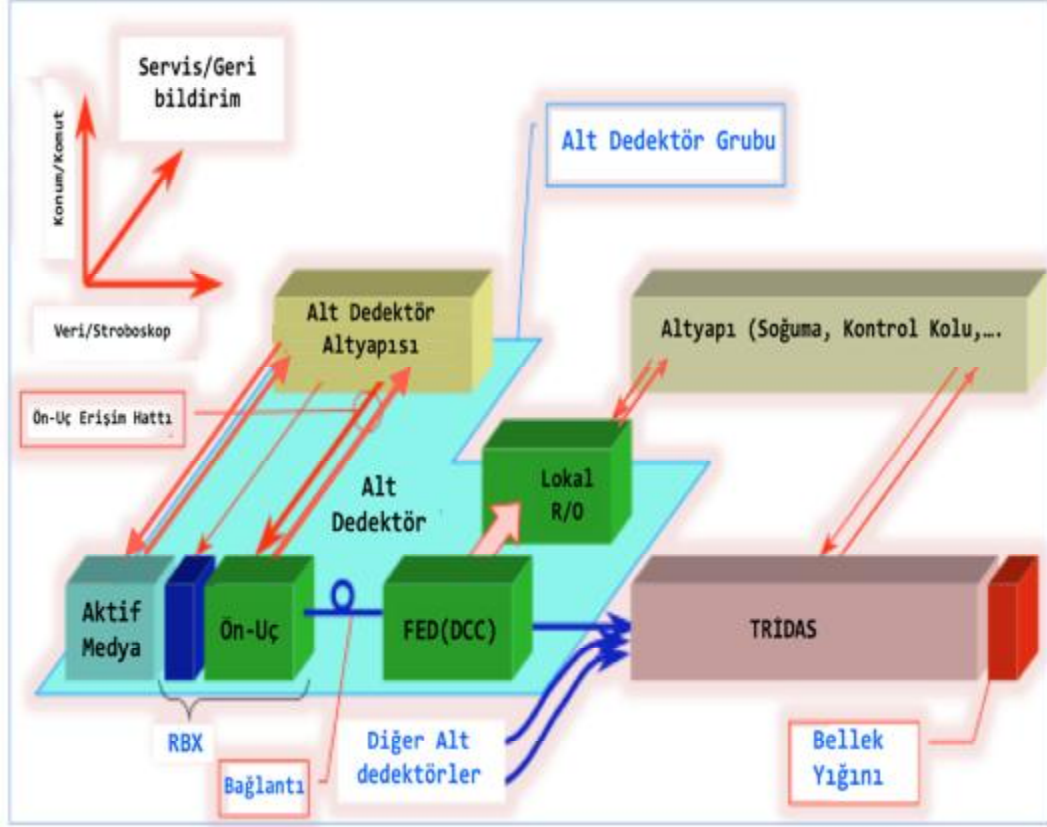
Şekil 3.8. Hadronik İleri kalorimetre (HF)' in kamaları
(http://www.fnal.gov/pub/today/images/images04/Calorimeter_Wedges.jpg)

3.2. HKAL'in Okuma ve Kontrol Sistemi

HKAL'in okuma ve kontrol sisteminin temel yapısı Şekil 3.9'da gösterilmektedir. HKAL'in fiziksel veri zinciri sintilatör fıçılar, HFD'lerin birleşim dönüştürücüleri, ön uç (FE) elektronikleri ve optik veri iletim hatlarından oluşmuştur. Bu sistemler, Hadronik Tetikleyici ve Okuma kartları (HTR) ve ön uç sürücüler (FED) olarak da bilinen veri toplayıcı kartlarından (DCC) oluşan sayısal elektronikler ile izlenir. HB ve HE'de 2592 okuma kanalı, HO'da 2160 ve HF'de 1728 olmak üzere HKAL'in, toplam 9072 okuma kanalı bulunmaktadır.

HKAL'in kontrol sistem (DCS)'nin iç yapısı HKAL'in tüm alt bileşenlerinin kontrolünde ve desteklenmesinde kullanılmaktadır. (CMS HCAL Phase 1 Upgrade TDR, 2012). HKAL'in kontrol sistemi CMS'in diğer alt dedektörleri ile aynıdır; yine de, her bir alt dedektör için kaçınılmaz olan elektronik tasarım ve kalibrasyon ihtiyaçları ile ilgili benzersiz bir yapıya sahiptir. HKAL DCS sistemi, aşağıdaki bileşenlerden oluşmuştur:

- Yüksek voltaj (HV) kaynağının kontrolü ve izlenmesi,
- Düşük voltaj (LV) kaynağının kontrolü ve izlenmesi,
- Okuma kutusu (Readoutbox) sıcaklığını izleme,
- Parametre indirme,
- LED kalibrasyon kontrolü,
- Yük enjeksiyon kalibrasyon kontrolü,
- Kaynak kalibrasyon kontrolü,
- Lazer kalibrasyon kontrolü
- Radyasyon izleme



Şekil 3.9. HKAL'ın okuma ve kontrol sisteminin yapısı (Sergueev ve ark., 2005)

3.2.1 HKAL Elektronikleri ve Veri Toplama

HKAL'deki sintilatörlerden gelen ışık, dalga boyu kaydırıcı (WLS) fiberler ve optik kablolar aracılığı ile foto dedektörlere iletilir. HKAL elektronikleri ve veri toplama sistemleri Şekil 3.10 'da gösterilmektedir.

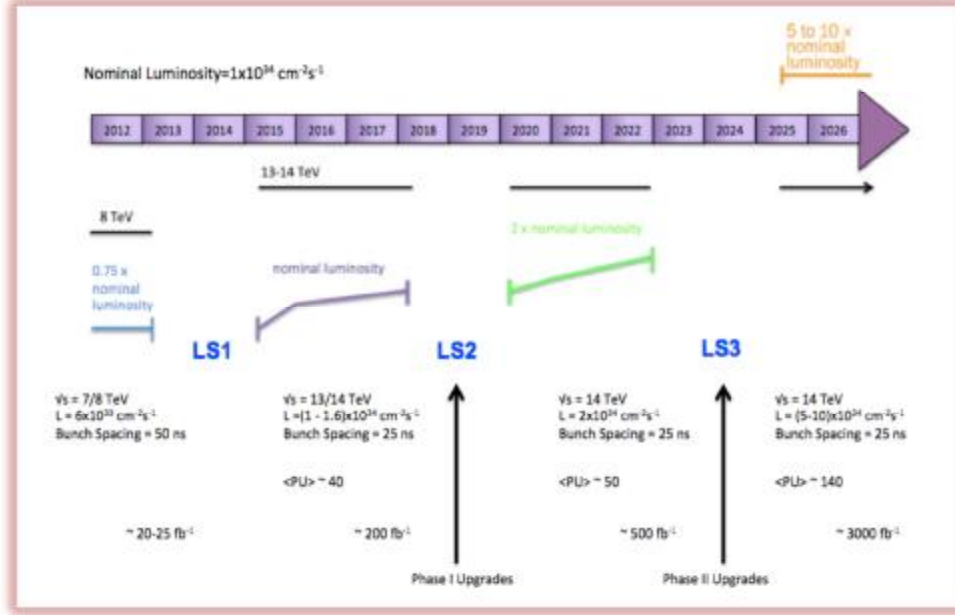
Ön-uç elektronikleri, 40 MHz'lik hüzmeye etkileşiminden gelen analog sinyalleri sayısal sinyallere çevirir ve okuma kartlarına iletir (CMS Collaboration, 2002, FERMILAB-Conf-02/278). Optik kablolar aracılığı ile taşınan ışık, okuma kartlarına iletilir. Her bir okuma kartı dört okuma modülüne (RM) ayrılmaktadır. Sadece bir RM bağımsız $(\Delta\eta, \Delta\phi) = (0,0875, 0,0875)$ kulesinden gelen sinyalleri kaydeden 19 kanallı HFD'lerden oluşmaktadır. HFD düzlem sisteminin tümü

yardımları ile Yüksek Tetikleme Okuyucusu (HTR)'lara ve 25 ns aralıklarla veri akış sistemine (DAQ) aktarılmaktadır (CMS DN-2015/006).

3.3. HF'de Yükseltme/ İyileştirme Çalışmaları

HF ve HB/HE elektroniklerini iyileştirme ve geliştirme çalışmaları kapsamında QIE8 kartları QIE10 kartları ile değiştirilmiştir. Ayrıca bir takım kurulum programları, foto çeviriciler ve farklı işlemler yapılmıştır (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010). Şekil 3.11 gelecek ~ 10 yıl içinde gerçekleştirilecek BHÇ işletimlerinin zaman çizelgesini göstermektedir.

HF, ileri jetlerin tespitinde, ışıklılığın ölçümünde, kayıp dik enerjinin saptanmasında, BHÇ'deki Higgs üretiminde ve Vektör Bozon Füsyon (VBF) araştırmaları için önemlidir. İleri jetler (özellikle VBF'de), hafif Higgs bozonunun genişlik ölçümüne izin vermektedir. HF'in psüdo-rapidite aralığı 5'e kadar uzandığından, HF'de SM ötesi fizik araştırmaları için önemli olan kayıp dik enerji (E_T) ölçümleri de yapılmaktadır. Bu nedenle, yüksek yığılma (pile-up) etkisi altında HF'in performansı CMS fizik programı için önemlidir (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010).



Şekil 3.11. BHC için yükseltme programı (Önel, 2015)

FÇT'ler fiberler aracılığıyla ışığı toplar. 2010 yılında dedektör ilk çalışmaya başladığı sırada anormal sinyaller tespit edilmiştir. Bunlar müonlar veya parçacık duşları olarak değerlendirilmiştir. Bu durum büyük bir enerji birikimine neden olmuştur. Anormal seviyedeki sinyalleri ışıklılığın artması ile ortadan kaldırmak zorlaşmıştır. Normal Çerenkov atımı ile karşılaştırıldığında anormal sinyallerin çok uzun atımlar ürettiği görülmüştür (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010).

HF'den beklenen performansın sağlanması için dedektörde bir takım değişikliğe ihtiyaç duyulmuştur. HF'in iyileştirme programı Çizelge 3.1'de özetlenmiştir (Önel, 2015). İlk değişim Hamamatsu R7525 FÇT'lerin Hamamatsu R7600U-200-M4 çoklu anot tüpleri ile değiştirilmesi olmuştur. FÇT'lerin çıkışında çoklu anot kullanıldığından anormal sinyal önemli ölçüde azalmıştır (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010).

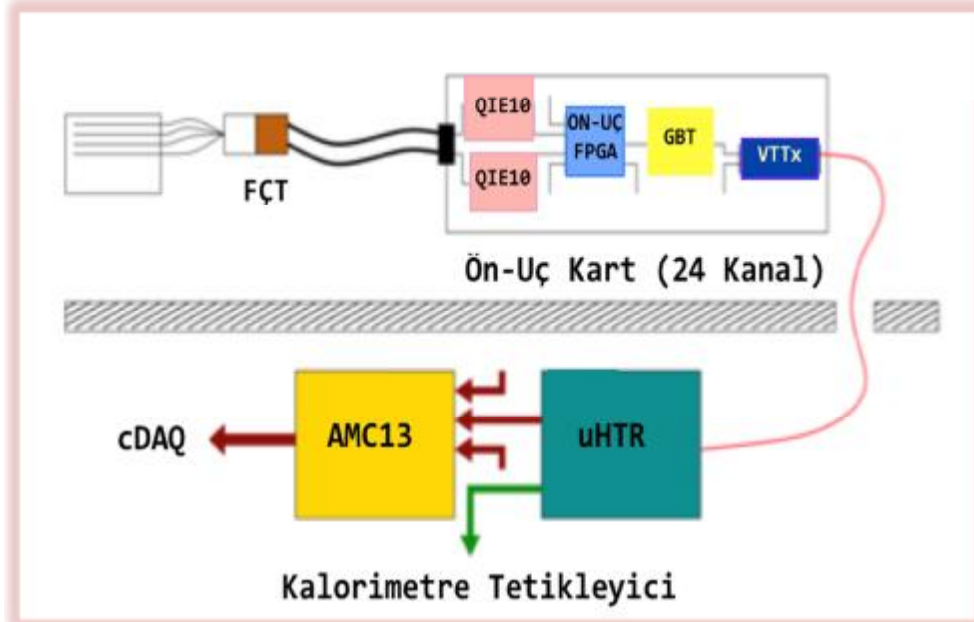
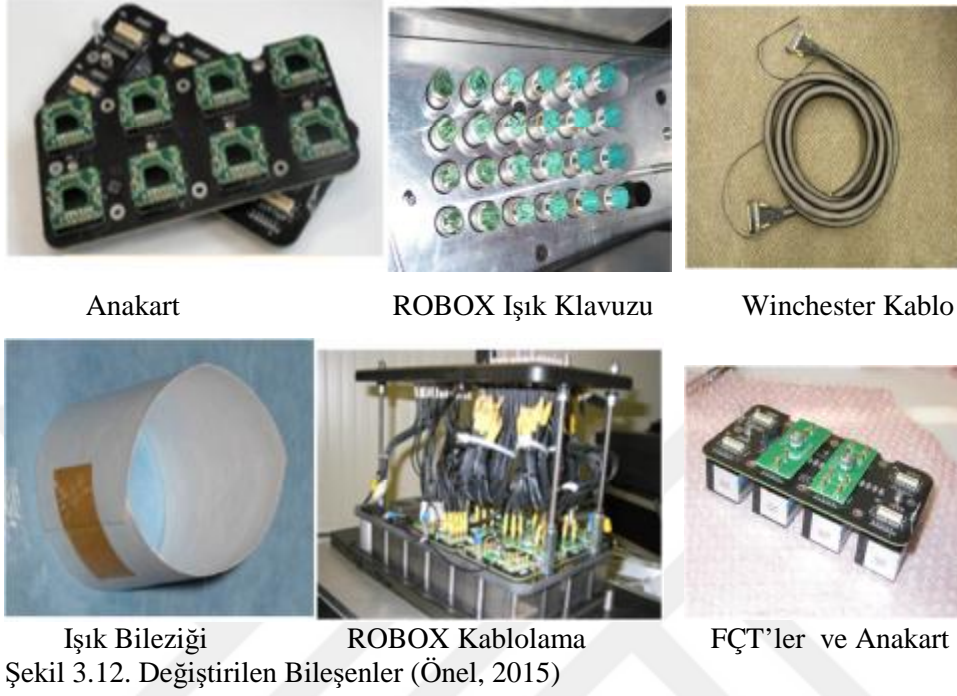
Çizelge 3.1. HF'in iyileştirme planı

Yenileme	Tarih
FÇT Değişimi	Faz1 – 2014'de tamamlandı
FÇT Destekleyici kablolar	Faz1 - 2014'de tamamlandı
Ön-Uç Elektronikleri	2017 Ocak'da tamamlandı
Arka-Uç Elektronikleri	2017 Ocak'da tamamlandı

3.3.1. Değiştirilen Bileşenler

Faz-1 yükseltme çalışmaları kapsamında HF'de daha önce kullanılan Hamamatsu R7525 FÇT'ler Hamamatsu R7600U-200-M4 dört anotlu FÇT'ler ile değiştirilmiştir. Adaptör kartlarının yeni tasarımı, ışık kılavuzu ve kablolama ile ilgili olan 1, 2 ve 4 kanallı okuma seçenekleri arasında geçiş esnekliği sağlamaktadır. Değiştirilen tüm bileşenler şekil 3.12'de gösterilmektedir.

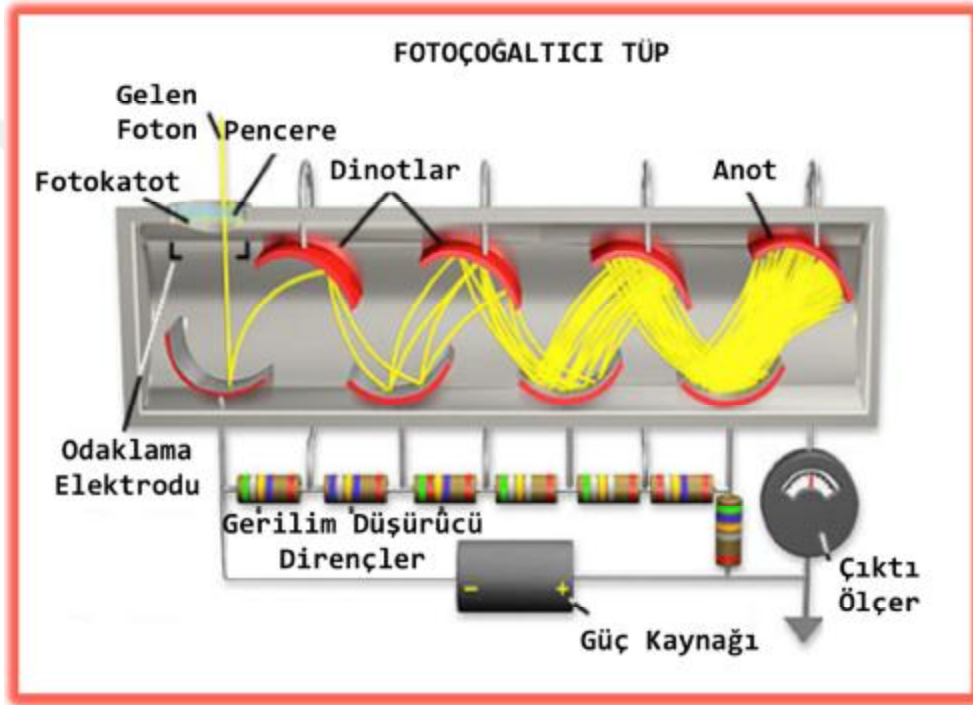
Değiştirilen elektronik sistem önceki sistem ile bazı ortak elektronik bileşenlerden oluşmuştur. Bunlar; geliştirilmiş toplayıcı/ADC (QIE10), yüksek bant aralıklı veri bağlantısı, veri sıralama için radyasyona dayanıklı FPGA'lar ve geliştirilmiş kontrol sistem (ngCCM/ngFEC)'leridir. Şekil 3.13'de HF'in bu bileşenlerini içeren bir veri akışı gösterilmektedir. Diagram; çok anotlu FÇT'lerden gelen sinyal akışı ve bu sinyallerin ADC/TDC (QIE10) üzerinden çift anot modunda yapılandırılması, ön uç-FPGA programı ile formatlama ve veri sıralama, verilerin GBT/VTTx ile taşınması ve daha sonra uHTR'lara ve cDAQ bağlantı (AMC13)'lere iletilmesini göstermektedir (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010).



Şekil 3.13. HF dedektörünün veri akış şeması (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010).

3.3.2. Foto Çoğaltıcı Tüp (FÇT)'lerin Yükseltilmesi

FÇT'ler ışığı ölçülebilir elektrik sinyallerine dönüştürerek ışığa karşı oldukça hızlı yanıt ve aşırı duyarlılık gösterirler. Şekil 3.14'de gösterildiği gibi FÇT'ler boşluk içinde foto katot, elektron toplayıcı elektrotlar (anotlar), elektron çoğaltıcı sistem ve elektrotlardan oluşur.



Şekil 3.14. Vakumlu tüp içindeki FÇT'nin enine kesiti

(<http://learn.hamamatsu.com/articles/images/photomultiplier.jpg>).

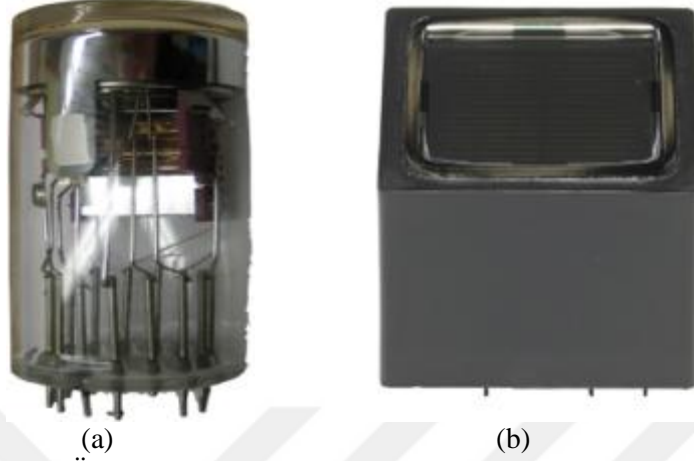
- **Foto katot:** Işık akısını elektrik akımına çevirir.
- **Elektron-optik giriş sistemi:** Katottan gelen elektrik akımını hızlandırarak ilk diyotta odaklanmayı sağlar.
- **Elektron çoğaltıcı sistem:** Bir dizi dinottan oluşur ve katot akımının yükseltilmesini sağlar.
- **Anot:** Elektron akımlarını toplar ve çıkış sinyallerine dönüştürür.

Işık foto katota girdiğinde, foto katot elektronları boşluk içine bırakır. Bu foto elektronlar elektron çoğaltıcıya karşı elektrot gerilimlerini odaklayarak dinotlar ile kontrol edilmektedir. Elektronlar, ikincil yayılım işlemi ile toplanır ve bu elektronlar bir çıkış sinyali olarak anotlar aracılığı ile toplanır (<http://physik.uibk.ac.at/hephy/muon/pmtcnste.pdf>).

CMS dedektöründen geçen müonlar HF'in FÇT'leri ile etkileşerek dedektörde çok miktarda istenmeyen anormal sinyaller üretmektedir. Bu sinyal kirliliğinin nasıl giderileceğini belirleyen bir program geliştirilmiştir. Programa göre anormal sinyal zamanı, HF fiberlerinin içinden geçen sinyallerden çok daha önce müonların FÇT'lerde sinyaller oluşturduğunu göstermiştir. HF'de müonların oluşturduğu başka sinyaller de vardır. Bu sinyaller ile işaret sinyalinin zamanı dışında gelen sinyaller zaman-sayısal dönüştürücü (TDC) aracılığı ile okunur. HF'in FÇT'leri ve yeni kullanılan dört anotlu FÇT'ler tel odacıklarının önüne doğrudan yerleştirilmiştir. FÇT penceresinin bir anotundaki etkileşim, diğer anot pencerelerindeki sinyaller ile bire bir karşılaştırılarak ayırt edilmektedir.

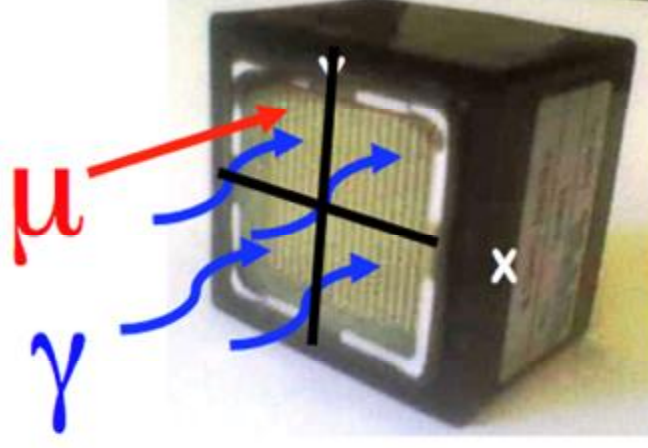
R7600 FÇT'lerinin pencereleri Hamamatsu R7525 FÇT'lere göre daha incedir. Bu yüzden bir parçacık ile doğrudan etkileşme olasılığı ve yoğunluğu azalmaktadır. İki kanallı okuma tasarlanmış olmasına rağmen dört anotlu tasarım, bu amaca daha uygundur (Önel, 2015). Önceki çalışmalara göre; yeni FÇT'lerde etkileşim oranı geliş açısından bağımsız olarak azalmaktadır (CMS HCAL Collaboration, 2010).

Önce kullanılan R7525 FÇT'leri cam pencere ve cam gövdeye sahip iken, yeni R7600 FÇT'lerinin sadece camları ince pencereli olup gövdesi metal bir dış kabuk içine yerleştirilmiştir. R7525 FÇT'leri daha düşük kuantum verimliliğine sahiptir. Yeni R7600 FÇT'ler ve önceki R7525 FÇT'ler Şekil 3.15 (a) ve (b)'de gösterilmektedir.



Şekil 3.15. (a) Önce kullanılan FÇT (Hamamatsu R7525 FÇT) (CMS Collaboration, 2011, CMS UG-TP-1), (b) 4-anotlu FÇT (Hamamatsu R7600U-200-M4) (<http://www.hamamatsu.com/eu/en/product/category/3100/3001/R7600U-00-M4/index.html>)

Minimum iyonizasyon etkileşimi (MIP) gerçek sinyali iyileştirilebilirken, böyle olaylar eski FÇT'lerde okunma esnasında ihmal ediliyordu. Bir ışık kılavuzu karıştırma modülü, HF'in optik fiberlerinden gelen ışığı FÇT'nin yüzüne kabaca düzgün bir biçimde iletmesi için, dört anot temelde ışığı eşit oranda almalıydı. Bir MIP, yeni R7600 FÇT'nin cam yüzeyine çarparsa, onun Çerenkov ışınımı çarptığı çeyrek bölmede (anot penceresinde) depolanacaktır. Bu çeyrek bölme diğerlerinden daha yüksek bir sinyal üretir. İstenmeyen anormal sinyal ve FÇT ile etkileşmeyen MIP sinyalini yok etmek için farklı algoritmalar kullanılabilir. Bu olay Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Gerçek HF sinyali ile Minimum iyonizasyon etkileşimi (MIP) (Önel, 2015)

3.3.3 Okuma Kartları

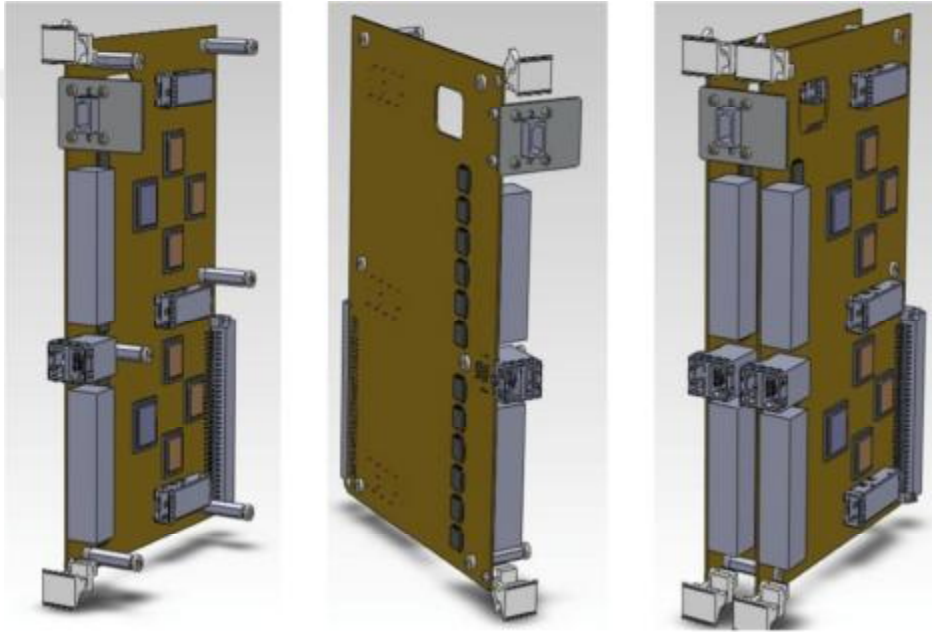
HF, 72 adet okuma kutusu, 216 adet okuma kartı ve 1728 tane FÇT'den oluşmaktadır. HF'in tek anotlu FÇT'leri için kullanılan adaptör kartı Şekil 3.17'de gösterilmektedir (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010).



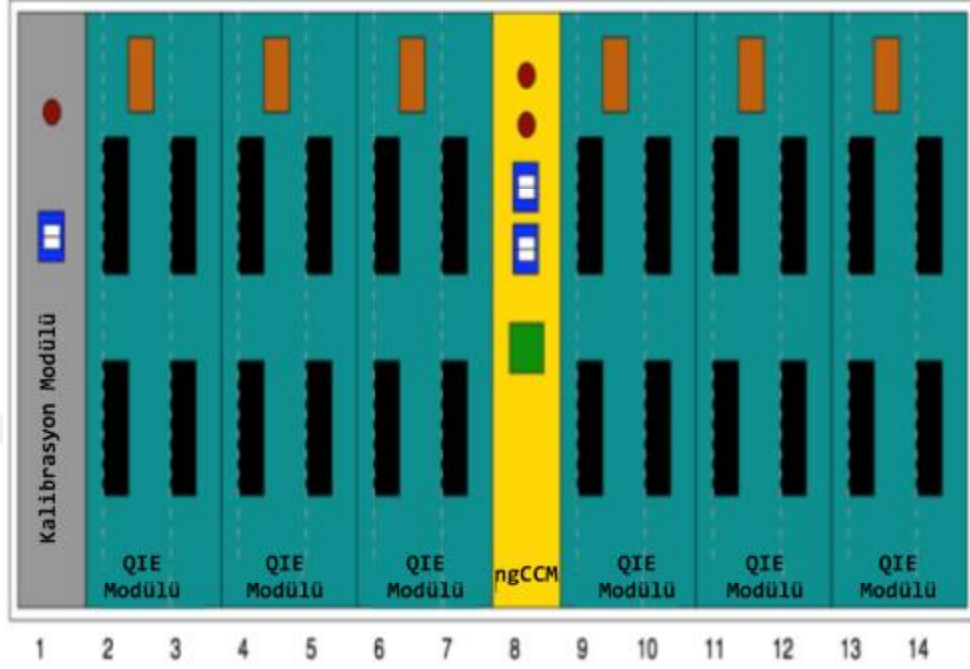
Şekil 3.17. HF R7600 FÇT için kullanılan adaptör kartı (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010)

3.3.4 Ön-Uç Elektronikleri

Ön-uç elektronikleri (FE) Faz-1 periyodunda HF için güncellenmiştir (Şekil 3.18). Her kart ön uç kablo bağlantısının büyüklüğünden dolayı tipik 0,8 inç Versa Modül Europa veri yolu (VME)'in aksine 1,2 inç'lik yatay alan kaplamaktadır (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010). Kasa düzeni Şekil 3.19'da gösterilmektedir.



Şekil 3.18. Sol: HF ön-uç kartının önden, orta: HF ön-uç kartının arkadan ve sağ: HF'in iki ön-uç modülünün mekanik gösterimi (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010)



Şekil 3.19. Altı QIE10 modülünü gösteren bir HF ön uç kasa gösterimi (12 kart) (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010)

3.3.4.1. Yük Toplayıcı ve Kodlayıcı (QIE10) Kartların Özellikleri

QIE10 ve QIE11 kartları QIE ailesine son eklenen kartlardır. Kartlar CMS ve ATLAS deneylerinin yükseltilme/iyileştirme çalışmaları için tasarlanmıştır ve sadece negatif girişler için yapılmıştır.

QIE10 kartı, 17 bitte depolanan geniş dinamik aralığa (3 fC'dan 330 pC'a kadar) ve kalorimetre çözünürlüğü %2-3'den daha az olan sayısallaştırma hatasına sahiptir. Bundan dolayı bir veri artışı oluşur ve veri artışı da yeni bir kablo hattı gerektirmektedir. Bunun için QIE10 kartı, kapalı bir çip anahtar ayarlayıcı üzerinde 3,3 V üreterek ek bir voltaj sağlamaktadır. Mevcut VBE sistemi HF'in arka-uç elektronikleri yükseltilerek yenilenmiştir (Zimmerman, 2014).

Yükseltilen elektronikler için Mikro Telekomünikasyon Mimarisi (MicroTCA) olarak bilinen yeni bir endüstriyel standarttan yararlanılmıştır. Bu kasa mevcut standart VME kasa sisteminin yerini almıştır. Faz-1 periyodu

elektroniklerin iyileştirmesindeki ilk adımdır. Yeni elektroniklerin gürültüyü azaltması, HF okuma ve tetikleyici (HTR)'yi geliştirmesi beklenmektedir. Bir prototip mikro HTR veri toplama kartı Faz-1'den kısa bir süre önce ağır iyon çarpışmaları için çok iyi performans sağlayacaktır. QIE10 kartı FÇT sinyalini sayısallaştırmaktadır ve sinyalin varış zamanı hakkında bilgi vermektedir (Önel, 2015).

Her QIE10 kartı analog verinin 24 kanalından sorumludur. QIE10 kartları üzerinde 24 adet çip bulunmaktadır ve bu çipler HF'den gelen analog sinyalleri toplar ve sayısallaştırır. 12 yuva için 6 adet QIE10 modülü vardır. Her modül, FÇT'lerden gelen sinyalleri işleyen iki QIE10 kartını tutmaktadır. 144 adet kart, ikili anot okuma durumunda HF'den gelen sinyallerin tamamını işlemek için gereklidir. Kasanın ortasında bulunan yeni nesil zaman ve kontrol modülü (ngCCM-FEE'nin bir parçası) lazer kalibrasyonu ve görüntülemeye sorumludur (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010).

Ön-uç elektronikleri 40 MHz'de verileri sayısallaştırmakta ve sürekli olarak sinyalleri arka-uç elektroniklere iletmektedir (Whitbeck ve Hirschauer, 2015).

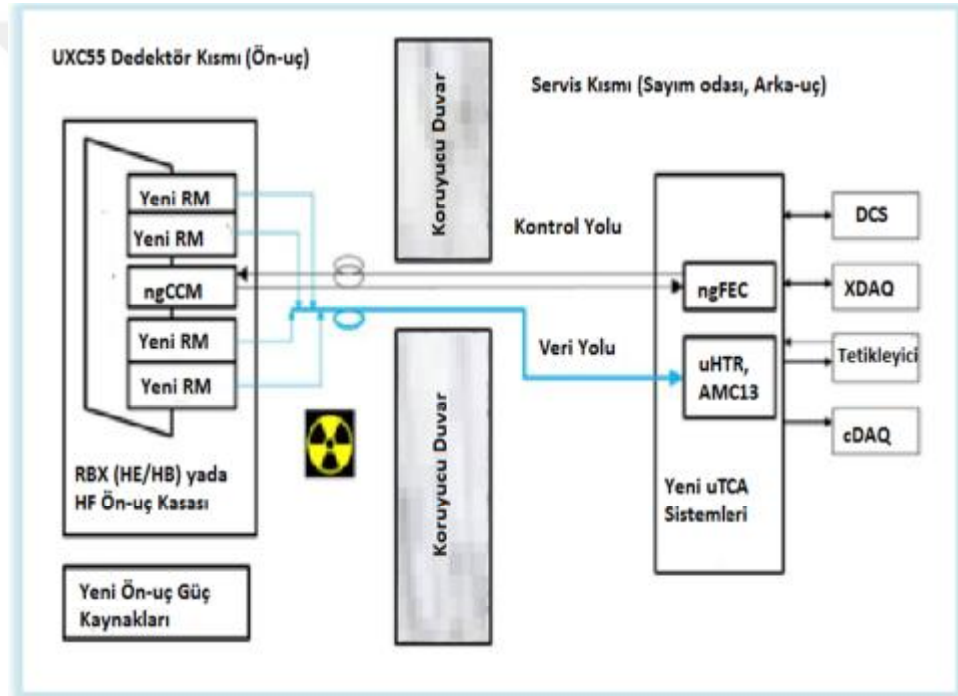
Bir Mikrosemi IGLOO2 FPGA programı, 12 QIE10 kartından gelen verileri aynı anda yakalar, sıralar ve biçimlendirir. Bu program, radyasyon toleransı ve 5 Gbps serileştiriciler için seçilmiştir. Veri bütünlüğünü izleme ve zaman faz ayarı gibi ek işlevleri IGLOO2 yapmaktadır. IGLOO2, QIE'lerin TDC ayırt edicisi ve QIE'lerin ön kenar TDC'ine ek olarak bir arka kenar TDC oluşturmak için bir iç faz kilitli döngü kullanır.

IGLOO2'den gelen serileştirilmiş veriler daha sonra ön uç-arka uç optik bağlantı noktasına gönderilmektedir. Her QIE kartı ön uç- arka uç bağlantısında 3 bant genişliğini karşılamak için gereklidir. Bunun için, CERN tarafından geliştirilen çok yönlü alıcı/verici çift optik sürücüler kullanılmaktadır. Bu cihazlar radyasyona dayanıklı olup en fazla 5,0 Gbps hızında çalışabilmektedir. Her QIE kartı ve kalibrasyon kartı arka panelden 6,5 V'luk güç almaktadır. CERN için

geliştirilen anahtarlama DC-DC dönüştürücüler bireysel bileşenlere güç sağlamak için kullanılmaktadır (Whitbeck ve Hirschauer, 2015).

3.3.4.2. Ön-Uç Kontrol Modül

Ön-uç elektroniklerinin yeni yapısı daha önce kullanılan ön-uç elektronikleri gibidir. Bu nedenle yavaş ve hızlı kontrol yeni nesil saat ve kontrol modülü (ngCCM) ile işlenmektedir. Yeni tasarım Şekil 3.20’de gösterilmektedir.



Şekil 3.20. HKAL'in elektroniklerinin yapısı (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010)

Yeni nesil saat ve kontrol modülü aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır;

1. GBTXs'lerde yeniden veri alımı için kaliteli bir zamanı olmalı,
2. Ön-uç (FE) elektronikleri için sıfırlama yeteneğine (RESET) sahip olmalı,

3. Kalibrasyon amaçlı bir giriş uyarı testi etkinleştirerek (WTE) sinyali iletmeli,
4. Kendi gerilim ve sıcaklığını okumalı,
5. GTBX, QIE10 ve FE-FPGA çiplerinin konfigürasyonu için I2C iletişimi sağlamalı,
6. Sistemin sağlamlığını arttırmalıdır.

3.3.4.3. Kalibrasyon Modülü

Her ön-uç elektronik kasası bir kalibrasyon modülü içerir. Kalibrasyon modülü, bir lazer ışığı dağıtım sisteminin yanı sıra kasalar tarafından okunan FÇT kutuları için bir LED üretici de içermektedir. Lazer üreticinin tasarımı orjinal HF kalibrasyon modülüne benzemektedir. Sinyal üretici için kontrol, orjinal kalibrasyon modülünden geliştirilmiştir. Özellikle, kalibrasyon modülü BHÇ'de sinyal atımları arasında (25 ns'lik zaman boşluğunda), LED sinyalleri üretmek için CMS VBE (Warning-Test-Enable) sinyali kullanmayı sağlayacaktır. Bu da FÇT'lerin kazancının izlenmesine yardımcı olur (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010).

3.3.4.4. Mikro Telekomünikasyon Yapısı

Mikro Telekomünikasyon Yapısı (μ TCA) (Şekil 3.21), saat ve veri toplama için gerekli olan çok hızlı arka plan (fon) sinyallerinin oluşumunu sağlar. μ TCA yapısı aşağıdaki elektronikleri içermelidir:

Mevcut VMEbus sisteminin özel arka panelleri, ön panel kabloları ve fiberleri geliştirilmesi,

12 tane Gelişmiş Ara Kat Kart (AMC) yuvası,

İki Merkezi Yuva; μ TCA Taşıyıcı Göbek (MCH) gücü yönetir ve I²C kablosu üzerinden Modül Yönetim Denetleyicisi (MMC) aracılığıyla sıcaklık, voltaj ve akımları izler.

Her biri 10 Gb/s aktarım hızına sahip arka panel bağlantısı için en fazla 21 porta kadar kapasite sağlar,

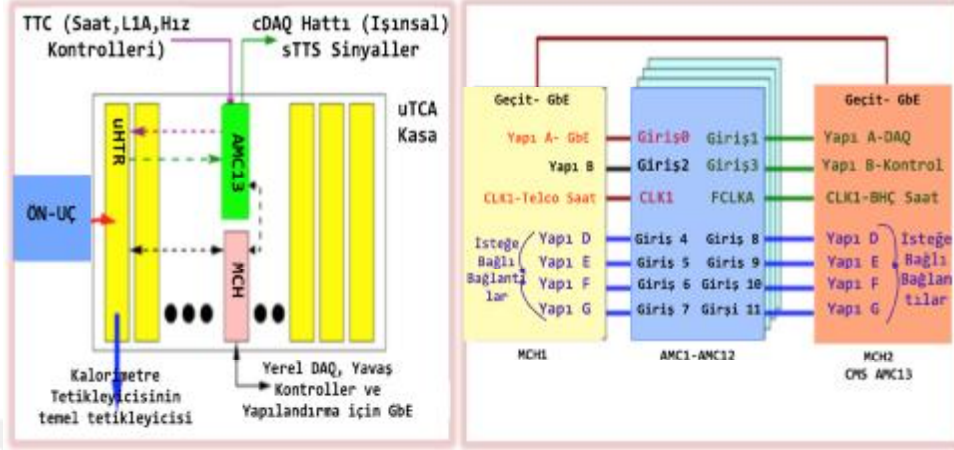
Her MCH ve her AMC arasında noktadan noktaya bağlantılar içermektedir.



Şekil 3.21. Mikro Telekomünikasyon Mimarisi (μ TCA) (Zimmerman, 2014)

3.3.5. Arka-Uç Elektronikleri

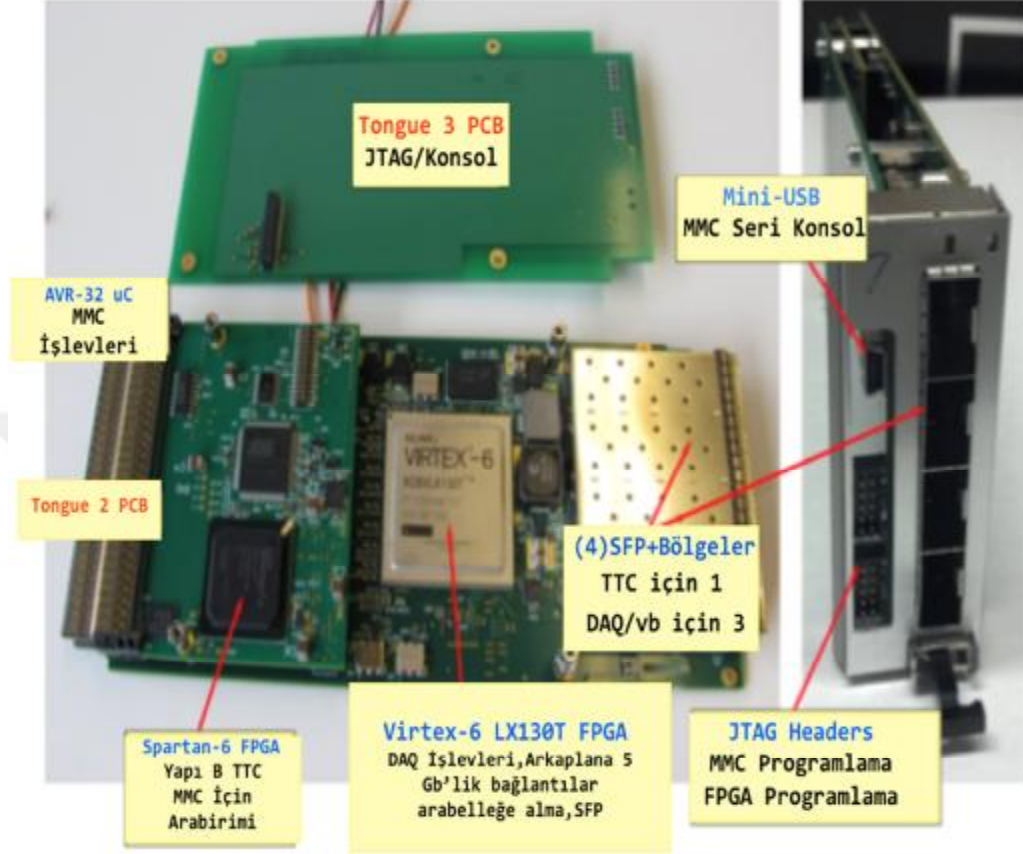
HKAL arka-uç elektronikleri, Seviye-1 tetikleme sistemi ile iletişimin sağlanması ve olayların merkezi veri akış sistemine gönderilmesinden sorumludur. Arka uç elektronikleri bir ticari μ TCA kasasında bulunmaktadır ve iki tip özel modül, bir " μ TCA HKAL Tetikleme ve Okuma" (μ HTR) modülü ve bir AMC13 modülünden oluşmaktadır. Her μ TCA kasasında birincil MikroTCA Taşıyıcı Bağlantı Göbeği - MCH (MicroTCA Carrier Hub) yer almaktadır. İkincil MCH yuvası ise tüm μ HTR'lardan derlenen verileri merkezi CMS veri akış sistemine gönderen AMC13 modülüne ev sahipliği yapmaktadır. Şekil 3.22, arka uç kasalarının şematik bir diyagramını göstermektedir.



Şekil 3.22. Sol: μ TCA kasa ve diğer arka-uç elektronikleri ile ilişkisi ve onlar arasındaki iletişiminin şeması. Sağ: her MCH ve AMC arasındaki arka-uç elektroniklerinin iletişimi için kullanılan çeşitli bağlantı diyagramı (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010)

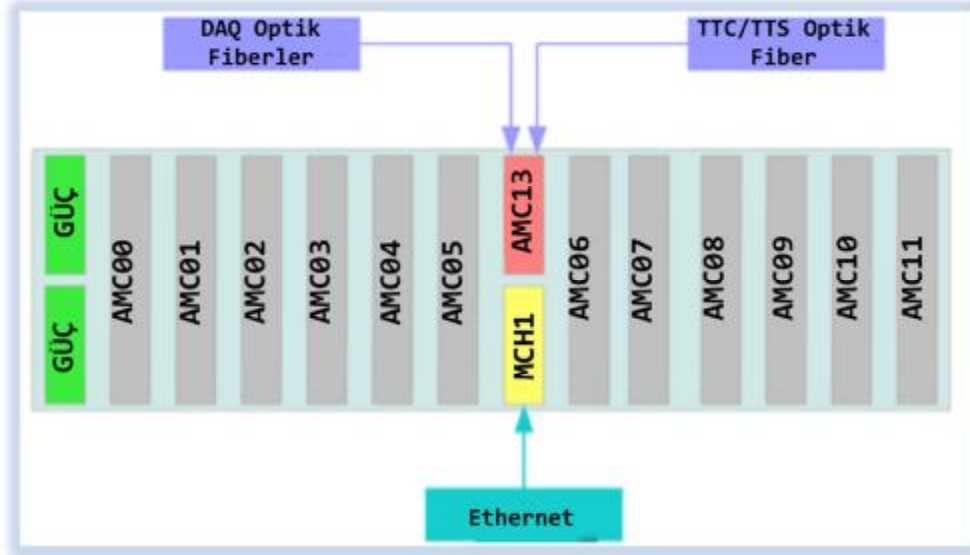
3.3.5.1 Gelişmiş Ara Kat Kartı (AMC13) Modülü

Gelişmiş Ara Kat Kartı AMC13 olarak adlandırılan μ TCA, CMS HKAL arka-uç elektroniklerinin iyileştirme çalışmaları için özellikle veri konsantrasyon ve zaman dağıtım kartı olarak tasarlanmıştır. Şekil 3.23'de AMC13 Modülü gösterilmektedir.



Şekil 3.23. AMC13 Modülü (CMS Collabration, 2012, CMS-TDR-010)

AMC13, μ TCA kasaların geliştirilmiş AMC'lerinden alınan veri fraksiyonunun işlenmesinden ve ayrıca, tetikleme elde etmek, zamanlama bilgisi ve μ TCA kasaların geri kalanına zaman bilgisinin dağıtılmasından, okuma için biçimlendirilmiş olayları oluşturmaktan sorumludur. Bu Şekil 3.24'de gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Geliştirilmiş μ TCA taşıyıcı göbek (MCH)'de bir AMC13 ile μ TCA kasa temel düzeni (CMS Collaboration, 2012, CMS-TDR-010)

Şekil 3.24'de gösterildiği gibi, 12 tane AMC ticari MCH kartı (MCH1) ve AMC13 (MCH2), arka panel bağlantıları ile birbirine bağlanmaktadır. AMC13 (MCH2) ön panele takılabilir dört küçük biçim faktörlü optik verici (SFP)'den oluşmaktadır ve bunlar tetikleyici, zamanlama ve kontrol sistemi (TTC) ayrıca CMS merkezi veri toplayıcı (cDAQ)'ya iki yönlü bağlantı sağlamaktadır.

Önceden bahsedildiği gibi AMC13, CMS deneyi üzerine arka-uç odaklayıcı kartı için HKAL grubu tarafından geliştirilen μ TCA sisteminde önemli bir role sahiptir. μ TCA sisteminin CMS'e özgü özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- 1) AMClar HKAL'i iyileştirme kapsamında mikro HKAL Tetikleyici Okuma (μ HTR) kartlarıdır. Her μ HTR, ön-uç dedektör elektroniğinden gelen 12 fiber optik bağlantıdan oluşmuştur. Bu μ HTR'lar ile ham ADC ve TDC kanal verileri ve ardından AMC13 olay parçalarını işlemek için bu tip veriler alınmaktadır

- 2) HKAL'in iyileştirilmesi için mevcut μ TCA düzeni iki MCH1 modülü kullanmaktadır. Modüller AMC13 ile test edilmiştir.
- 3) AMC13'ün, HKAL içinde çok özel bir işlevi vardır, bağlantı veri ve zaman okuyucu kart (DTC) olarak gösterilirler (Hill, 2012) http://ohm.bu.edu/~chill90/op_specs/AMC13_Operational_Spec_05_13_2_013.pdf).



4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

HF'in ön-uç ve arka-uç elektroniklerini iyileştirme çalışmaları Faz-1'in önemli bir kısmını oluşturmuştur. Daha önce kullanılan QIE8 kartları QIE10 ASIC'ler ile değiştirilmiştir. Yenilenen HF ön-uç ve arka-uç elektronikleri ile beklenen varış zamanından daha erken ulaşan sahte sinyaller belirlenmiştir. Yeni QIE10 kartlarının tamamı Türkiye'de fakat ön panel Brezilya'da üretilmiştir. HF'de kullanılmak üzere 180 tanesi çipli, 20 tanesi çipsiz olmak üzere toplam 200 kart üretilmiştir. Bunlardan 152 tanesi dedektöre takılmış 28 tanesi de yedek olarak ayrılmıştır. Çizelge 4.1'de HF'in ön-uç elektroniklerinin nerelerde üretildiği gösterilmektedir.

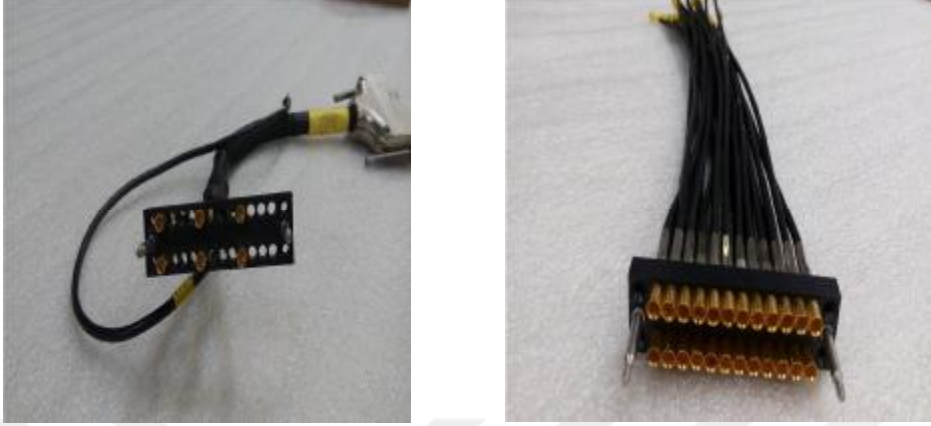
Ön-uç elektronikleri, QIE10 kartlarından oluşmaktadır ve bu kartlar (100 Gy kadar) radyasyona karşı dayanıklılık göstermektedir. Bir QIE10 kartında 12 adet ön yüzde ve 12 adet arka yüzde olmak üzere toplam 24 tane çip bulunmaktadır. Her bir çipin üzerinde de sinyalin varış zamanını belirleyen TDC (Sayısal Zaman Dönüştürücü) vardır. QIE10 kartları, 25 ns'lik zaman aralığında birikmiş yükün sayısallaştırılmasını ve ölü zamanların birleştirilmesini sağlamaktadır. QIE10 kartları, 17 bitte depolanan (3 fC'dan 330 pC'a kadar) dinamik aralığa ve sayısallaştırma hatası %2-3 arasında değişen kalorimetre çözünürlüğüne sahiptir. Bu durum bir veri artışına neden olur ve veri artışı da yeni bir iletim hattını gerektirmektedir. Bunun için QIE10 kartları, kapalı bir çip anahtar ayarlayıcı üzerinde 3,3 V üreterek ek bir voltaj sağlamaktadır. QIE10 kartlarından gelen veriler GBTx teknolojisi ile sayısallaştırılmakta ve sayma odalarındaki arka-uç elektroniklerine iletilmektedir. Daha önce kullanılan VBE temelli sistem HF arka-uç elektroniklerinin iyileştirilmesi ile değiştirilmiştir. Yükseltile elektronikler, MicroTCA olarak bilinen yeni bir elektronikten oluşmuştur (Zimmerman, 2014).

Çizelge 4.1. HF'in Ön-Uç Elektronikleri

Kısım	Gerekli Miktar	Üretilen
HF ngCCM 	16	25
HF QIE Kartları   	152	200
HF Kalibrasyon Atımı 	8	15
Işık Karıştırıcıları 	8	10
HF Kasaları 	16	20
HF Arkaplanları  	16	20
FÇT Adaptör Kartları 	216	240
Düşük Voltaj Kaynakları 	16	Mevcut
Veri Fiberleri  	Çok Fazla	Mevcut

QIE10 kartları, HKAL kalorimetresinin tüm alt dedektörlerinde kullanılmıştır. Alt dedektörlerin okuma kanalları farklı materyal, farklı fiziksel süreçler ve farklı yük toplayıcı ile çalışmasına rağmen, okuma zincirindeki son bağlantı noktası tüm HKAL dedektörleri için aynıdır.

Daha önceki sistem ile yeni sistem karşılaştırıldığında önceki sistemde CCM (Saat ve Kontrol Modülü), GLIB olarak adlandırılan FEC (Ön-Arka Uç Kontrolleri) ve QIE8 kartı kullanılırken, yeni sistemde ngCCM (Yeni nesil Saat ve Kontrol Modülü), FC7 olarak adlandırılan ngFEC (Yeni Nesil Ön-Arka Uç Kontrolleri) ve QIE10 kartı kullanılmıştır. Ek olarak, önceki sistemdeki winchester bağlantı kabloları 12 tane girişe (port) sahiptir fakat yeni sistemin winchester bağlantı kablosu 24 girişlidir. Bu iki kablo Şekil 4.1 (a) ve (b)'de gösterilmiştir. Ayrıca QIE10 kartları zaman bilgisi de sağlamaktadır.



Şekil 4.1.(a) QIE8 kartı Winchester kablosu ve (b) QIE10 kartı Winchester kablosu

QIE8 kartı için kullanılan FÇT kutusu yeni sistemde de kullanılmıştır fakat FÇT kutusunda, 2-anotlu adaptör kartlarının yerine 4-anotlu adaptör kartı kullanılmaktadır. Okuma kutusu Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Okuma kutusu (Status of QIE Card Rework, Heintz, U., 2016) (https://indico.cern.ch/event/565464/contributions/2284279/attachments/1326712/1992024/QIEcards_08-25-2016.pdf)

4.1 HF904 Test Sistemi ve Veri Alımı

2016 yılında, CERN'in Preveşsin yerleşkesinde bulunan 904 numaralı binada ön-uç ve arka-uç elektroniklerinin testi ve montajı için bir test düzeneği hazırlanmıştır. 4 tane rack'dan oluşan bu sistemdeki rackların her birinde 4 tane ön-uç kasa, arka-uç kasa ve tüm ön-uç kasaları için bir adet arka-uç kasa bulunmaktadır. Ön-uç kasalar, bir kalibrasyon modülü, bir ngCCM modülü ve 12 adet QIE10 kartından, arka-uç kasa ise 2 tane güç modülü, bir MCH modülü, bir AMC13 modülü, 3 tane FC7 modülü ve 9 tane μ HTR'dan oluşmaktadır. Veri bu kasalara bağlanan fiber optik kablolar aracılığı ile iletilmektedir. Kasalar, QIE10 kartlarının indirilmesi için birleştirilip, arka panel bağlantıları ve QIE10 kartları sandıklara yerleştirilmiştir. Şekil 4.3'de montajı tamamlanmış boş bir kasa gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Montajı tamamlanan boş bir kasa

180 tane QIE10 kartının her biri için Kalite Güvenliği testi yapılmıştır. 11 tane QIE10 kartı Temmuz 2016'da, 20 tane QIE10 kartı Ağustos 2016'da Fermi

Laboratuvarı'ndan CERN'e gelmiştir. QIE10 kartlarının montaj çalışmaları aşağıdaki gibi yapılmıştır;

- 1) İlk olarak kartlara bandrol yapıştırılmıştır ve her bir kart için bandrol numarası veri tabanına eklenmiştir.
- 2) CERN'e taşınması sırasında kartlarda herhangi bir hasar veya eksiklik olup olmadığına bakılmıştır. Ardından QIE10 kartlarında lehimleme veya kart üzerindeki devrelerde bir sorun olup olmadığı kontrol edilmiştir. Şekil 4.4'de montajı tamamlanmamış bir QIE10 kartının ön ve arka yüzü gösterilmektedir.
- 3) DC/DC düzenleyici olarak adlandırılan voltaj düzenleyicileri beş farklı voltaj değerine (0.5V, 1.5V, 2.5V, 3.0V, 5.0V) sahiptir ve bunlar QIE10 kartlarının üzerinde bulunmaktadır. DC/DC düzenleyicileri QIE kartlarına ve CCM modülleri için gereken voltaj düzenlemelerini yaparak aşırı yüklenme/ısınma gibi sorunların önüne geçilmesi için tasarlanmıştır. DC/DC düzenleyicileri QIE10 kartlarının üzerine montaj yapılmadan önce, CERN'de gerilim değerleri testleri yapılmakta ve gerçek gerilim değerleri bandrol sayılarına göre veri tabanına eklenmektedir. DC/DC düzenleyicilerinin gerçek gerilim değerlerine bir barkod okuyucu aracılığı ile ulaşılmaktadır. DC/DC dönüştürücülerindeki gerilim çok düşük olduğunda, kapasitörler tam boşalamayacağından bu durum bir "yankı" oluşturmaktadır. Bu nedenle QIE10 kartlarında voltaj değeri 5,01 V'dan büyük olan DC/DC dönüştürücüler kullanılmıştır.



Şekil 4.4. Montajı tamamlanmamış QIE10 kartının ön ve arka yüzü

Hasarsız kartlar daha sonra kısa devre testine tabi tutulmuştur. Bir Ohm metre kullanılarak toprak ile her bir voltaj rayları arasında ve her bir voltaj rayı ile diğer voltaj rayları arasında ve son olarak arka panel ile toprak arasındaki direnç kontrol edilmiştir. Ölçümler sırasıyla Arka Yüz ile Zemin Düzlemi, 1.5 V ile zemin düzlemi, 2.5 V ile zemin düzlemi, 1.2 V ile zemin düzlemi, 3.3 V ile zemin düzlemi, 1.5 V ile 2.5 V, 1.5 V ile 1.2 V, 1.5 V ile 3.3 V, 1.5 V ile 5.0 V, 2.5 V ile

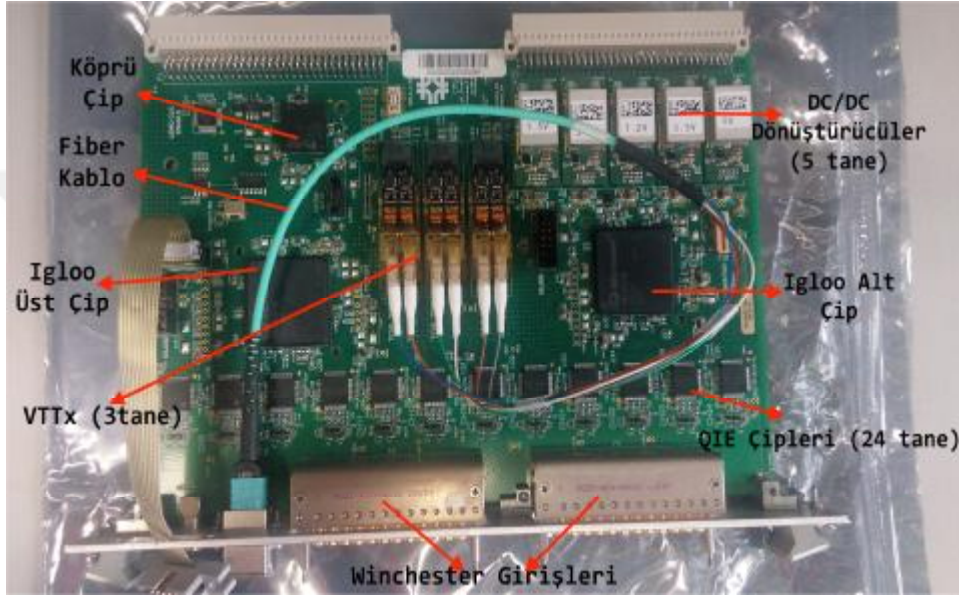
1.2 V, 2.5 V ile 3.3 V, 2.5 V ile 5.0 V, 1.2 V ile 3.3 V, 1.2 V ile 5.0 V, 3.3 V ile 5.0 V için yapılmıştır. Test noktaları, Zemin Düzlemi ve Arka Yüz giriş gücü Şekil 4.5’de gösterilmektedir.



Şekil 4.5. DC/DC dönüştürücüleri, Zemin Düzlemi ve Arka Yüz giriş gücü

- 4) Kısa devre testini başarıyla geçen kartın üzerine voltaj değerlerine göre DCDC dönüştürücüleri karta montaj edilmiştir. Ön panel yüz plakasının vidaları, kolları, stand-off, vs. gibi donanımları hazır şekilde gelmiştir ve kartın ön paneli hazırlanarak QIE10 kartına monte edilmiştir.
- 5) Bağlantı verici kablo (VTTx)’ler, vidalar ve yıldız pulları kullanılarak kurulmuştur. Fiber kuyrukları, ön paneldeki bağlayıcı (MTP konektörü) ile VTTx modüller arasında yerleştirilmiştir. Fiberler, önceden belirlenen renk sırasına göre takılmış ve ön uç kasalara yerleştirilmiştir.

- 6) Son olarak, kurulu kartlar güç kaynağı olmayan bir kasaya (merkezi yuvada ngCCM ile) yerleştirilmiştir. Kasaya 8,0 Volt uygulanmış ve ön uç kasasında bulunan QIE kartlarının güç testleri yapılmıştır. Montajı biten bir QIE10 kartı Şekil 4.6'da gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Montajı bitmiş bir QIE10 kartı

- 7) Yenilenen programlama sistemi, kartlar üzerindeki FPGA çiplere (igloo üst, igloo alt için Igloo FW 4.13 ve köprü için Köprü FW 1.f) yüklenmiştir. Daha sonra bu programın düzgün çalışıp çalışmadığı kontrol edilmiştir ve her kartın bilgileri veri tabanına eklenmiştir.
- 8) Son olarak kartlara pedestal testi, CapID ve ICI testleri yapılmıştır. Bu testler, QIE10 kartının beş farklı fonksiyonunu doğrulamak için kullanılmaktadır ve her test için farklı veriler kullanılır. Çizelge 4.2'de kartların test bilgileri verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kartların Test Bilgileri

Barcode Numaraları	Durum
597	İyi
599	İyi
600	İyi
619	İyi
626	İyi
627	İyi
629	İyi
631	İyi
632	İyi
633	İyi
634	Kanal 19'da kısa devre olmuş pinler, C108 eksik, Kanal 24'de ve Kanal 8'de gevşemiş pinler ve U40'da yukarı bükülmüş şekilde pinler mevcut.
637	İyi
643	İyi
654	İyi
656	İyi
660	İyi
691	İyi
697	İyi
699	İyi
782	İyi
784	İyi

634 barkod numaralı kartın bazı problemler tespit edilmiştir. Karta mikroskop altında bakıldığında birçok lehimleme hatası, kıvrılmış uçlar ve eksik/çarpık bileşenler gibi sorunların olduğu fark edilmiştir. Şekil 4.7 (a) U40 eğilmiş, (b) Eksik kondansatör, (c) Kısa devre olmuş ve eğilmiş pimler, (d) kanal

24'de gevşek pimler ve Kanal 21'de çarpık kondansatör ve (e) kanal 8'de gevşemiş pimler gösterilmektedir.



Şekil 4.7.(a) U40 bükülmüş

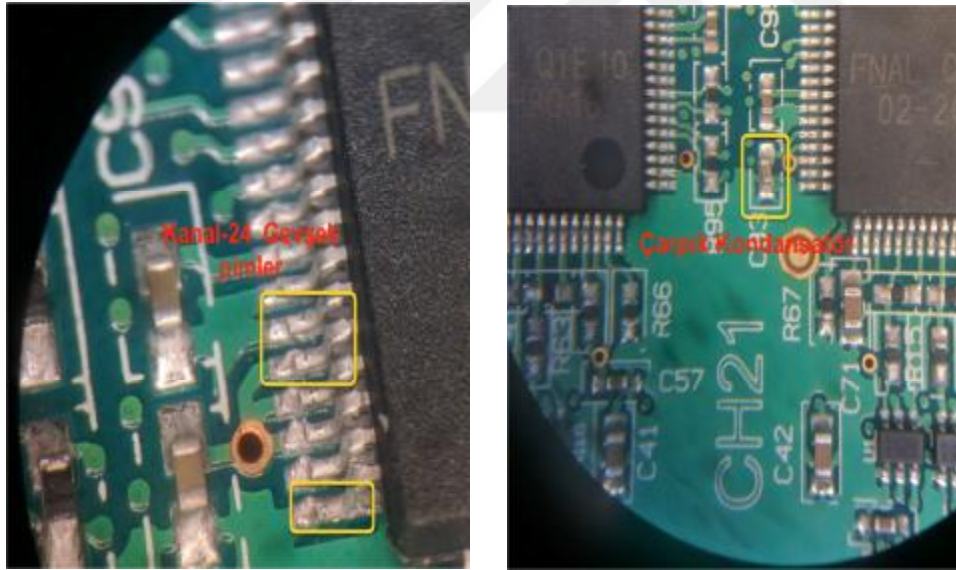


(b) Eksik kondansatör

Şekil 4.7 (a)'da PCB üzerine çizilmiş dikdörtgen (U40) kutuya düz durmalıdır.



Şekil 4.7.(c) Kısa devre olmuş ve eğilmiş pimler



4.7. (d) Kanal 24 gevşek pimler ve Kanal 21 çarpık kondansatör



Şekil 4.7. (e) Kanal 8 gevşemiş pimler (Problems with card 634, Noonan, D., 2016)
<https://indico.cern.ch/event/563683/contributions/2277974/attachments/1324599/1988156/ProblemsWithReworkQuality.pdf>

4.2. HF'deki Yeni QIE Kartların Analizi

4.2.1. Pedestal Testleri

Pedestal (gürültü) testleri, belirli bir karttaki her bir kanalın uygun bir RMS ile kararlı bir pedestale sahip olduğunu doğrulamak için tasarlanmıştır. Toplam Pedestal (P_{TOPLAM}), Ortalama (P_M), RMS (P_{RMS}), Tarama Dirseği (P_{SE}) ve Tarama Eğimi (P_{SS}) değerlerinin toplamından oluşmaktadır. Toplam Pedestal değerine ($P_{\text{TOPLAM}} = P_M + P_{\text{RMS}} + P_{\text{SE}} + P_{\text{SS}}$) kanal-kanal bakılmıştır eğer sorun yok ise $P_{\text{TOPLAM}} = \text{İyi}$, sorun var ise $P_{\text{TOPLAM}} = \text{Kötü}$ olarak değerlendirilmiştir. $P_{\text{TOPLAM}} = \text{İyi}$ ve $P_{\text{TOPLAM}} = \text{Kötü}$ grafikleri Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Yeni QIE10 kartlarının analizi için, "QIE10_Testing-ped_scan" bir veri olarak alınmıştır. Bu testin amacı, eğer pedestal dağılımının beklenen kararlılıkları göstermemesi durumunda hangi çipin sorunlu olduğunu belirlemektir. Ağustos 2016'da alınan Pedestal verisi için Çizelge 4.3 (a)'da alınan Run numarası ve Run tipi ve 4.3 (b)'de Ön-uç ve arka-uç konfigürasyonu gösterilmiştir.

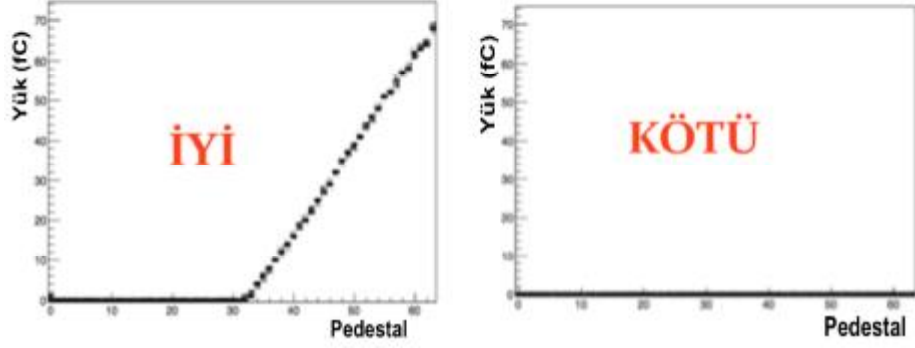
Çizelge 4.3. (a) Run Numarası, Run Tipi

Run Numarası	Run Tipi
1000022254	Pedestal Verisi

Çizelge 4.3. (b). Ön-Uç Konfigürasyonu ve Kasa numarası: HF 13

Yuva numarası	Seri No	Durumu
2	782	Seri öncesi kart—CERN’de bakıldı
3	691	Seri öncesi kart—CERN’de bakıldı
4	629	1. grup kart
5	597	1. grup kart
6	637	1. grup kart
7	619	1. grup kart
9	627	1. grup kart
10	626	1. grup kart
11	784	1. grup kart
12	599	1. grup kart – test edilmedi
13	600	1. grup kart - Daha önce kötü bir 5V DC / DC dönüştürücüye sahipti ve şimdi yeni bir dönüştürücü ile değiştirildi

Çalışan yuva numaraları: [2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13] Arka-Uç Konfigürasyonu: Kasa numarası:50 ve uHTR Yuva numaraları:1,2 ve 3.dür. Şekil 4.9 tüm QIE10 kartlarının ve bu kartların üzerindeki çiplerin durumlarını göstermektedir ve hiç bir QIE10 kartın çipinde problem görülmemektedir.



Şekil 4.8. İyi pedestal ve kötü pedestal grafikleri

TOPLAM PEDESTAL

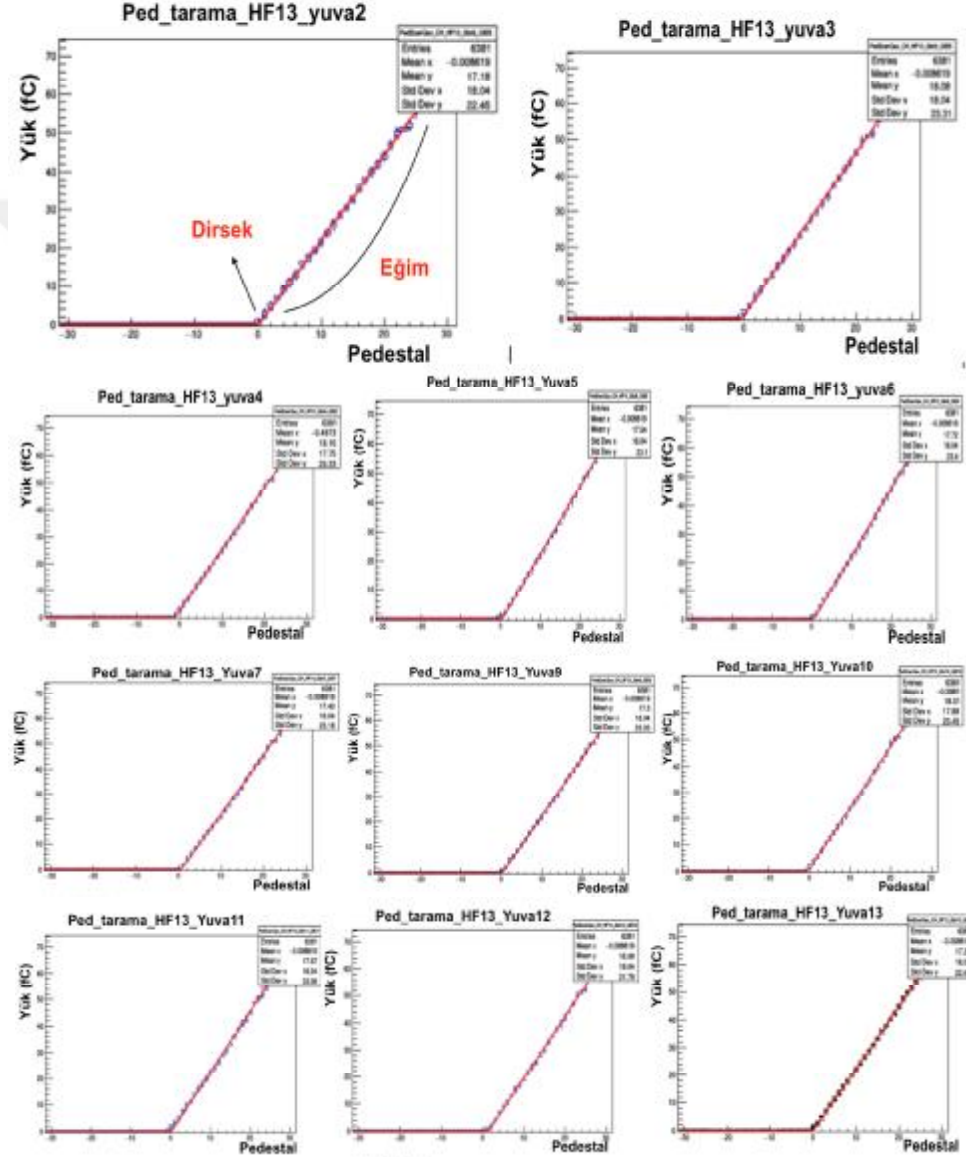
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

Yuva1 Yuva2 Yuva3 Yuva4 Yuva5 Yuva6 Yuva7 Yuva8 Yuva9 Yuva10 Yuva11 Yuva12 Yuva13 Yuva14

HF13

Şekil 4.9. Tüm QIE10 kartları ve QIE10 çiplerinin durumları

Şekil 4.10 ise tüm QIE10 kartlarının pedestal dağılımlarını göstermektedir ve tüm pedestal karakteristikleri iyi görünmektedir. Grafiklerde x eksenı gürültü (Pedestal) ve y eksenı yükü ifade etmektedir.



Şekil 4.10. Tüm QIE10 kartlarının Pedestal Grafikleri

Ağustos 2016'da, diğer QIE10_Testing-ped_scan çalışması ile alınan Run bilgisi, Çizelge 4.4 (a) ve 4.4 (b)'de verilmiştir.

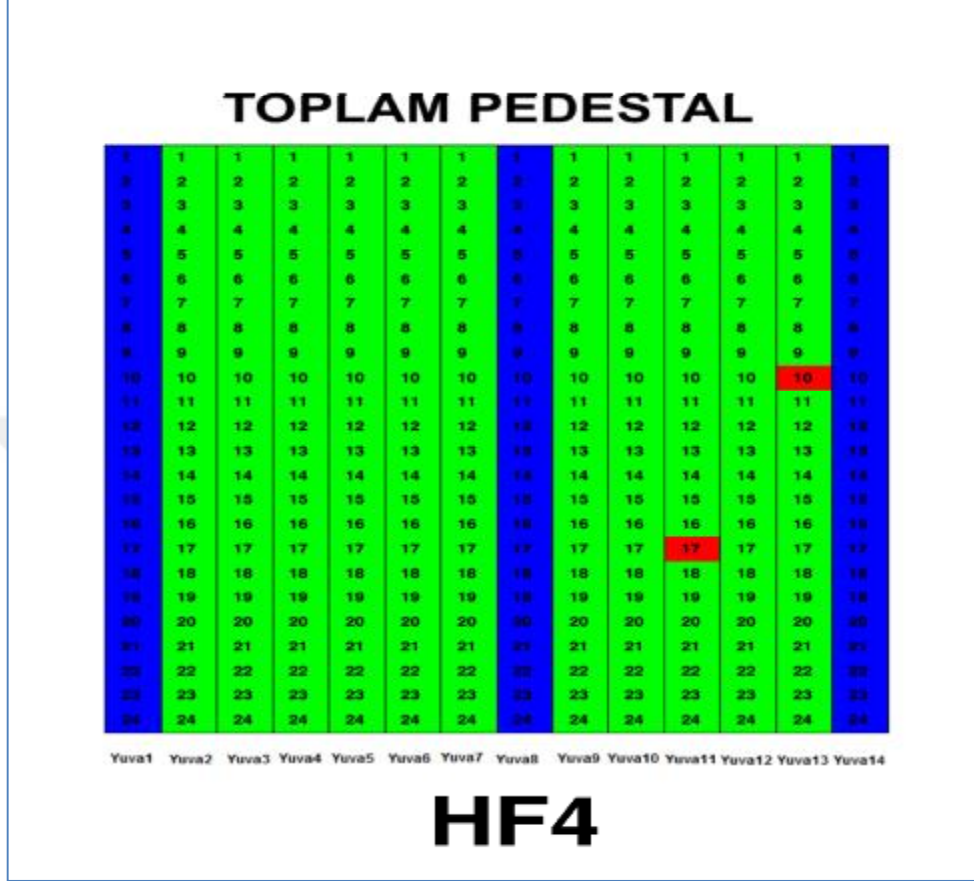
Çizelge 4.4 (a) Run Numarası ve Run Tipi

Run Numarası	Run Tipi
1000021202	Pedestal Verisi

Çizelge 4.4. (b). Ön-Uç Konfigürasyonu ve Kasa numarası: HF 4

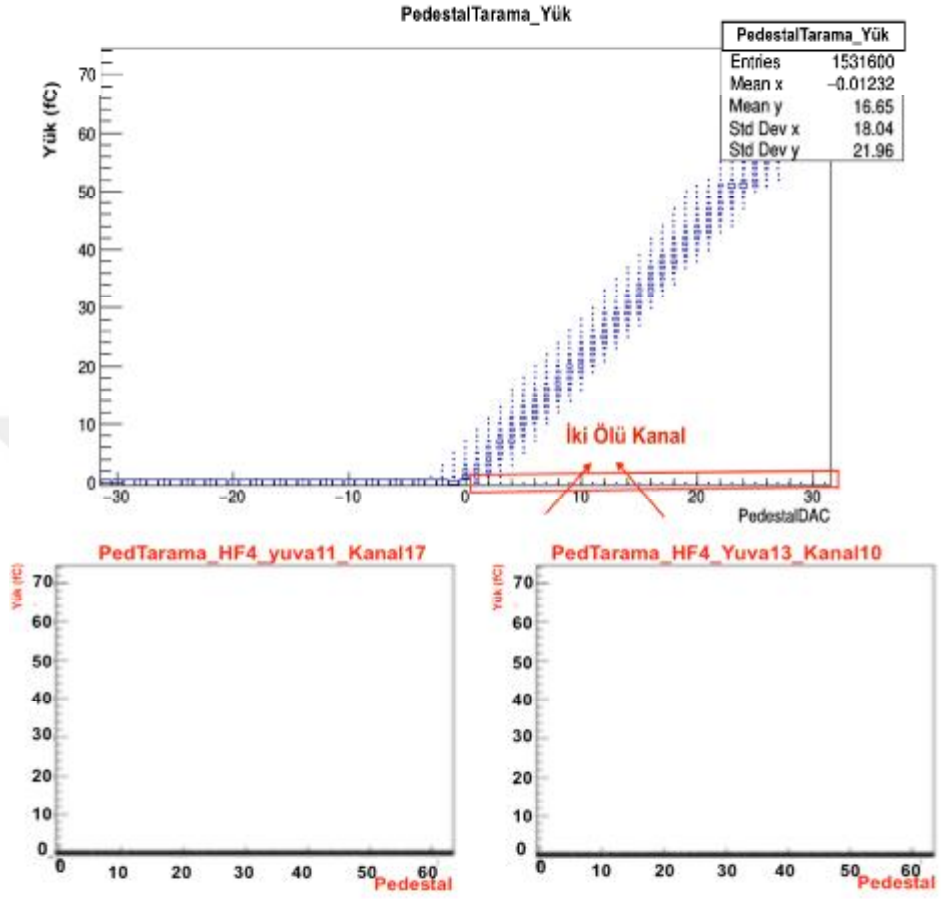
Yuva numarası	Seri No	Durumu
2	699	1. grup kart – test edilmedi
3	631	1. grup kart – test edilmedi
4	643	1. grup kart – test edilmedi
5	656	1. grup kart – test edilmedi
6	697	1. grup kart – test edilmedi
7	633	1. grup kart – test edilmedi
9	654	1. grup kart – test edilmedi
10	660	1. grup kart – test edilmedi
11	782	Seri öncesi kart—CERN'de bakıldı
12	632	1. grup kart – test edilmedi
13	691	1. grup kart – test edilmedi

Çalışan yuva numaraları: [2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13] Arka-Uç Konfigürasyonu: Kasa numarası: 50 ve μ HTR Yuva numaraları: 1,2 ve 3. Şekil 4.11'de tüm kartlar ve çiplerin durumları gösterilmektedir.

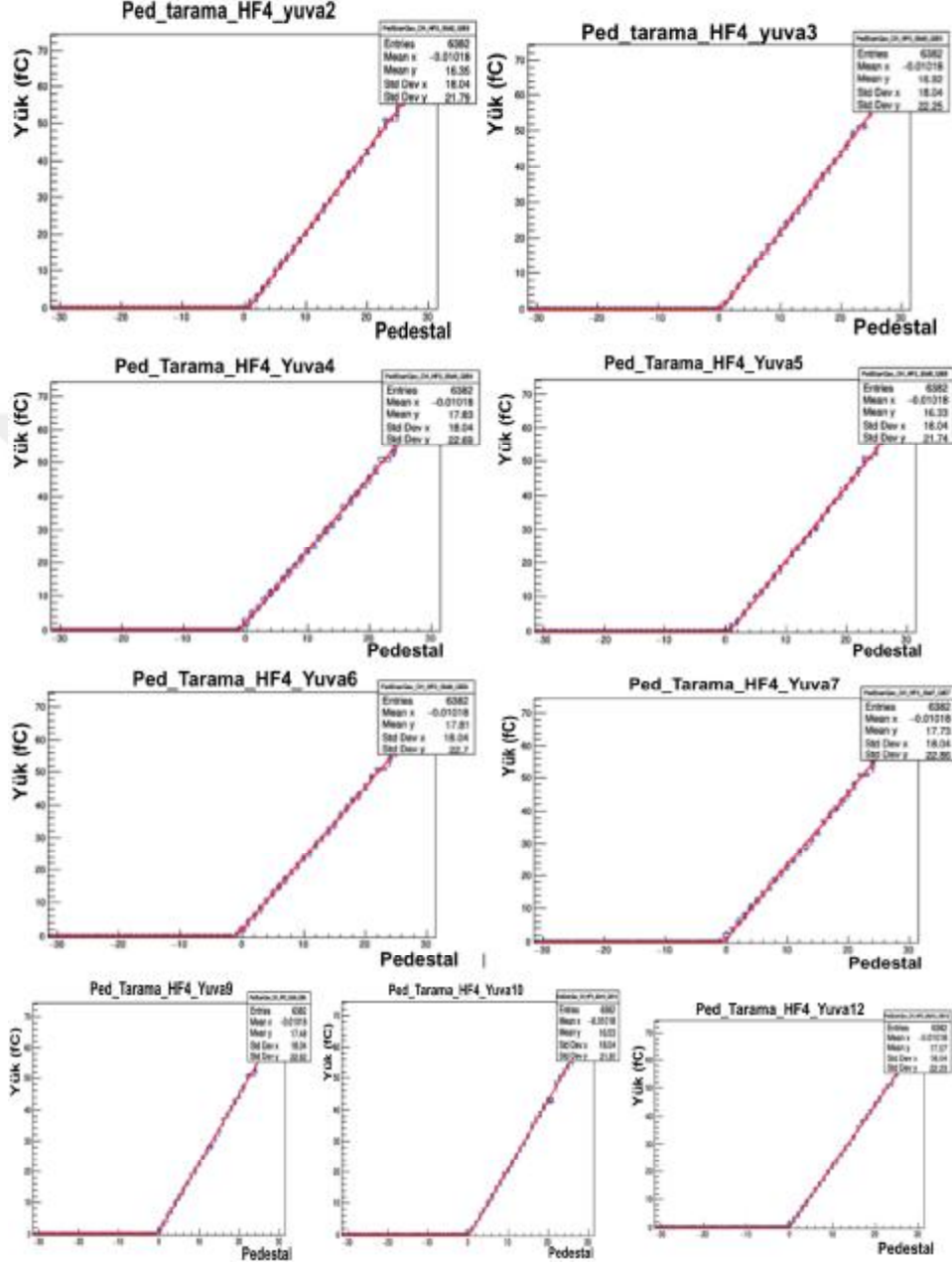


Şekil 4.11. Tüm QIE10 kartları ve QIE10 çiplerin durumu

Şekil 4.11'e göre, 782 numaralı kartın 17. kanalı (pedestal testinde başarısız) ve 691 numaralı kartın 10. kanalında bir problem (pedestal testinde başarısız) olduğu görülmektedir. Bu iki kanalda ADC sürekli olarak 0'dır, ancak kayıtlar okunabilir/yazılabilir ve iyi CapID dönüşümü görülebilir (Şekil 4.16). İki ölü kanalın grafiği Şekil 4.12'de verilmiştir. Çizelge 4.4'de gösterilen QIE10 kartlarının Pedestal grafikleri Şekil 4.13'de gösterilmektedir.



Şekil 4.12. İki ölü kanalın pedestal grafiği



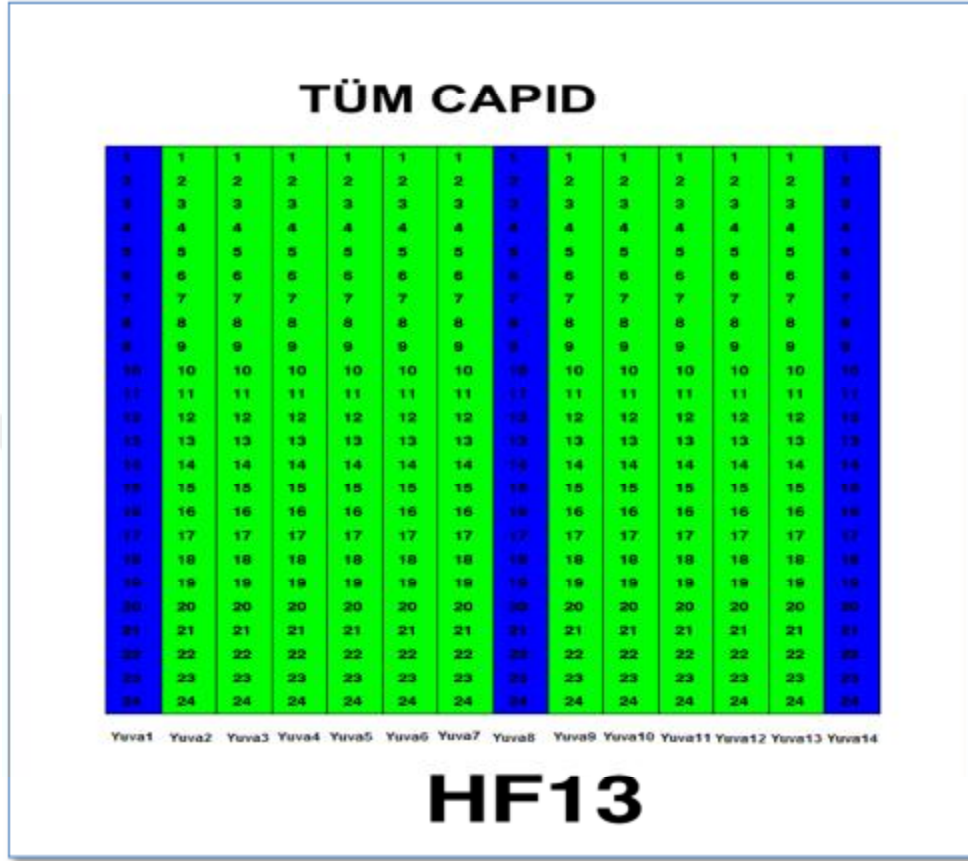
Şekil 4.13. Çizelge 4.4’de verilen QIE10 kartların Pedestal Eğrileri

4.2.2. Kapasitör Tanımlama (CapID) Testi

Kapasitör Tanımlama (Capacitor IDentification-CapID)'nin amacı, QIE sıfırlama (reset) sinyallerinin tüm kanallara, TDC'lere, QIE zaman sıralamasına ve iç yük enjeksiyon işlevine olan kararlılığını eş zamanlı olarak doğrulamaktır.

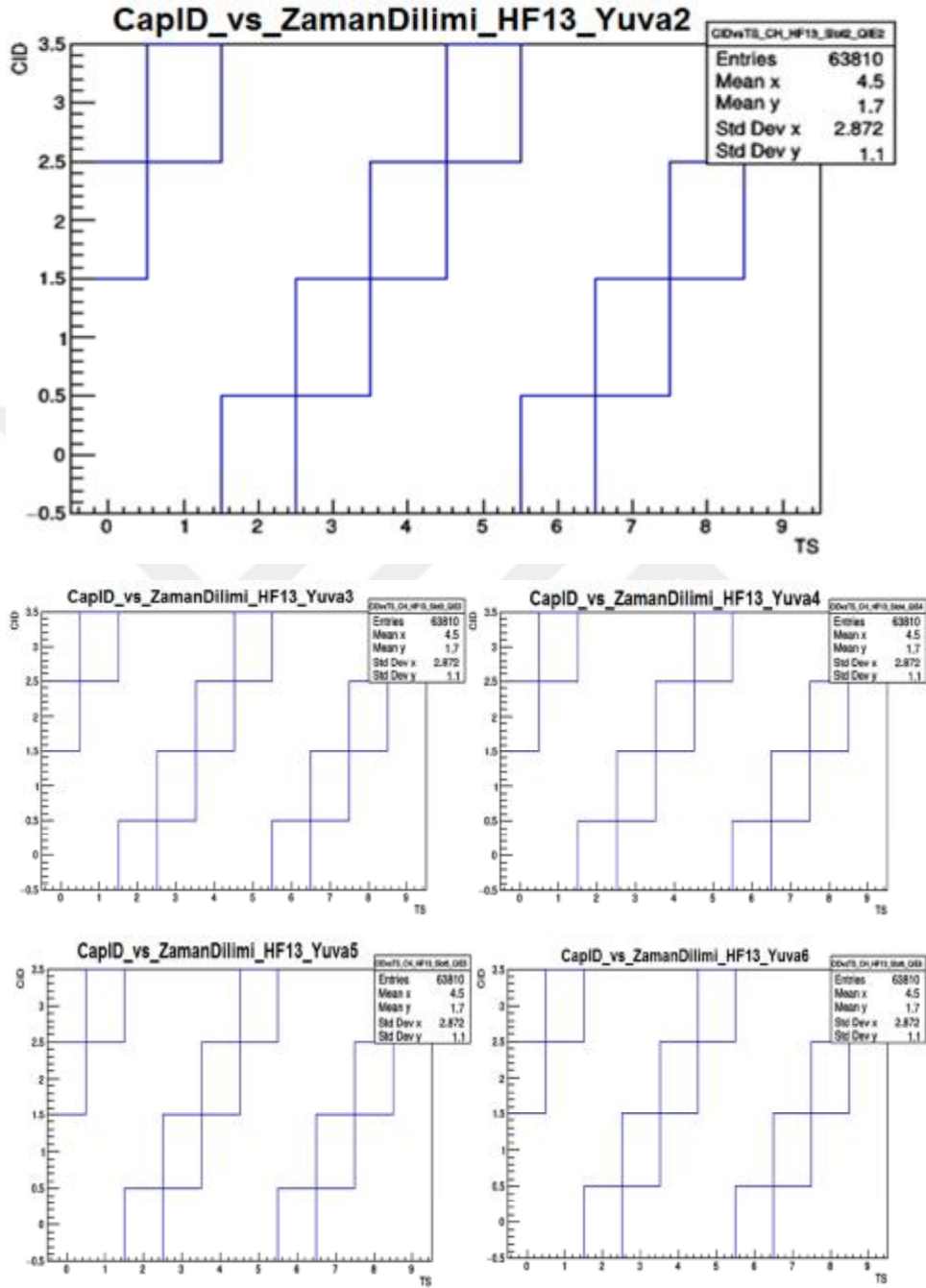
QIE işlemi, dört aşamalı olarak iletilir ve böylece her bir sonuçla hangi fazın ilişkili olduğunu belirleyen 2 bitlik bir "CapID" kodu sağlanır. Normalde her fazın veya CapID'in tepkisi aynı olmalıdır, ancak uygulamada alt uçtaki pedestal de küçük farklılıklar olabilir, bu nedenle her faz için bir pedestal ayarlaması yapılmalıdır. Verilen bir entegre giriş darbesi için sayısal çıkış sonucu 4 saatlik periyot gecikmesine sahiptir. QIE10 dört fazlı iletim hattı ile önceki CapID0 entegrasyonunun sayısallaştırılmış sonucu birbirinden çıkarılır ve CapID0 fazı için giriş yükü birleştirilir. Yani her bir fazın sonucundan bir önceki fazın sonucu çıkarılır ve belirlenen giriş yükü ile toplanır.

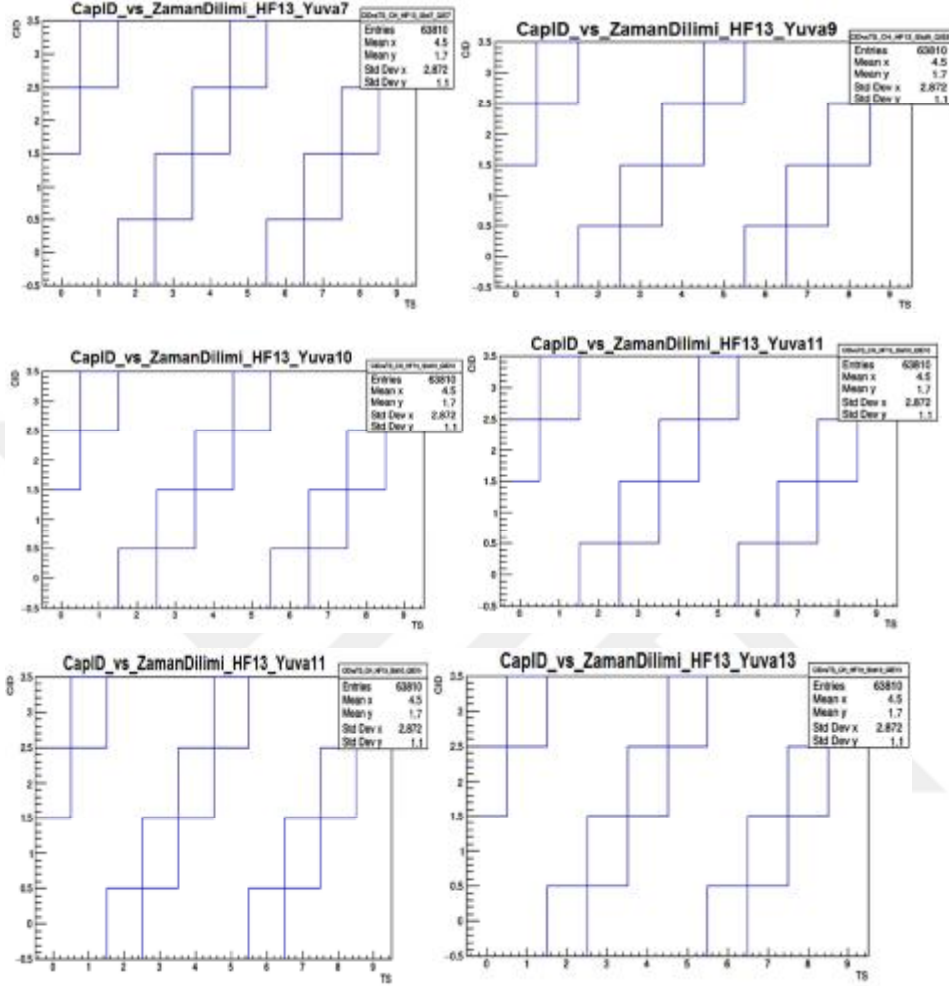
CapID ve Pedestal testi için aynı veriler alınmaktadır. Bu test için pedestal testi ile aynı olan 100002254 numaralı run kullanılmıştır ve run bilgisi çizelge 4.3 (a) ve 4.3 (b)'de verilmiştir. Şekil 4.14'de tüm kartların ve çiplerin durumu gösterilmektedir. Bu testte CapID ile zaman dilimine olay-olay bakılmıştır, eğer sorunlu ise kanal-kanal bakılıp sorunlu kanal bulunmaktadır.



Şekil 4.14. Tüm kartların ve çiplerin durumu

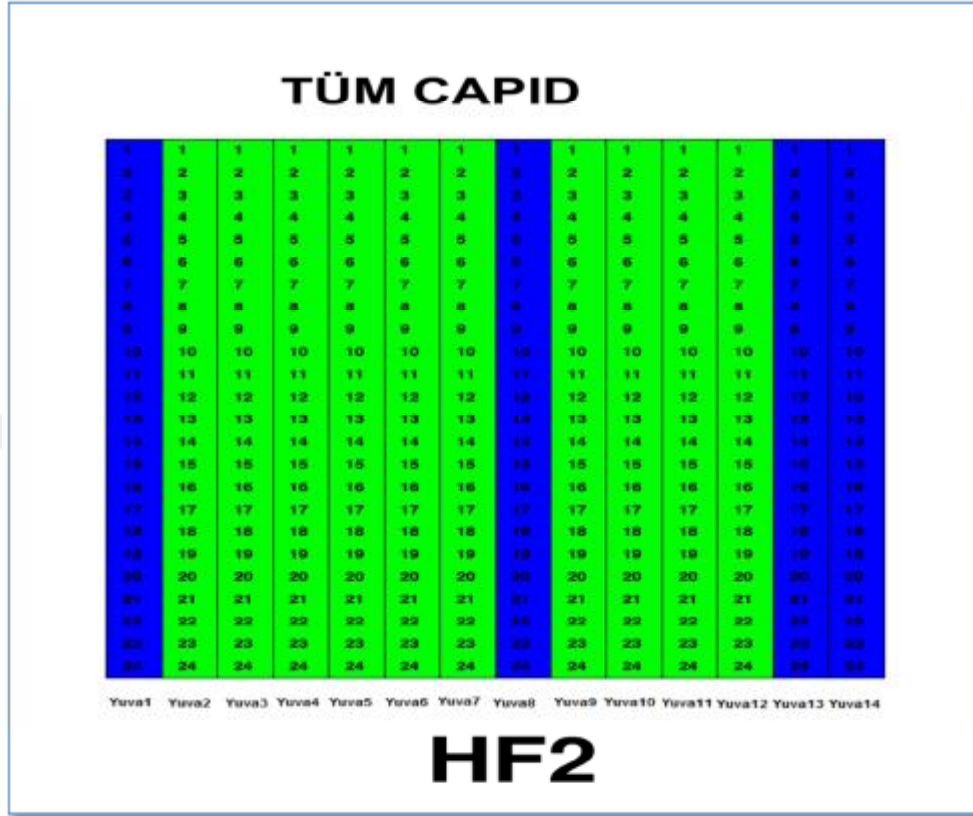
Şekil 4.14'e göre kanallarda bir problem yoktur. Tüm QIE10 kartlarının CapID test grafikleri Şekil 4.15'te gösterilmektedir.



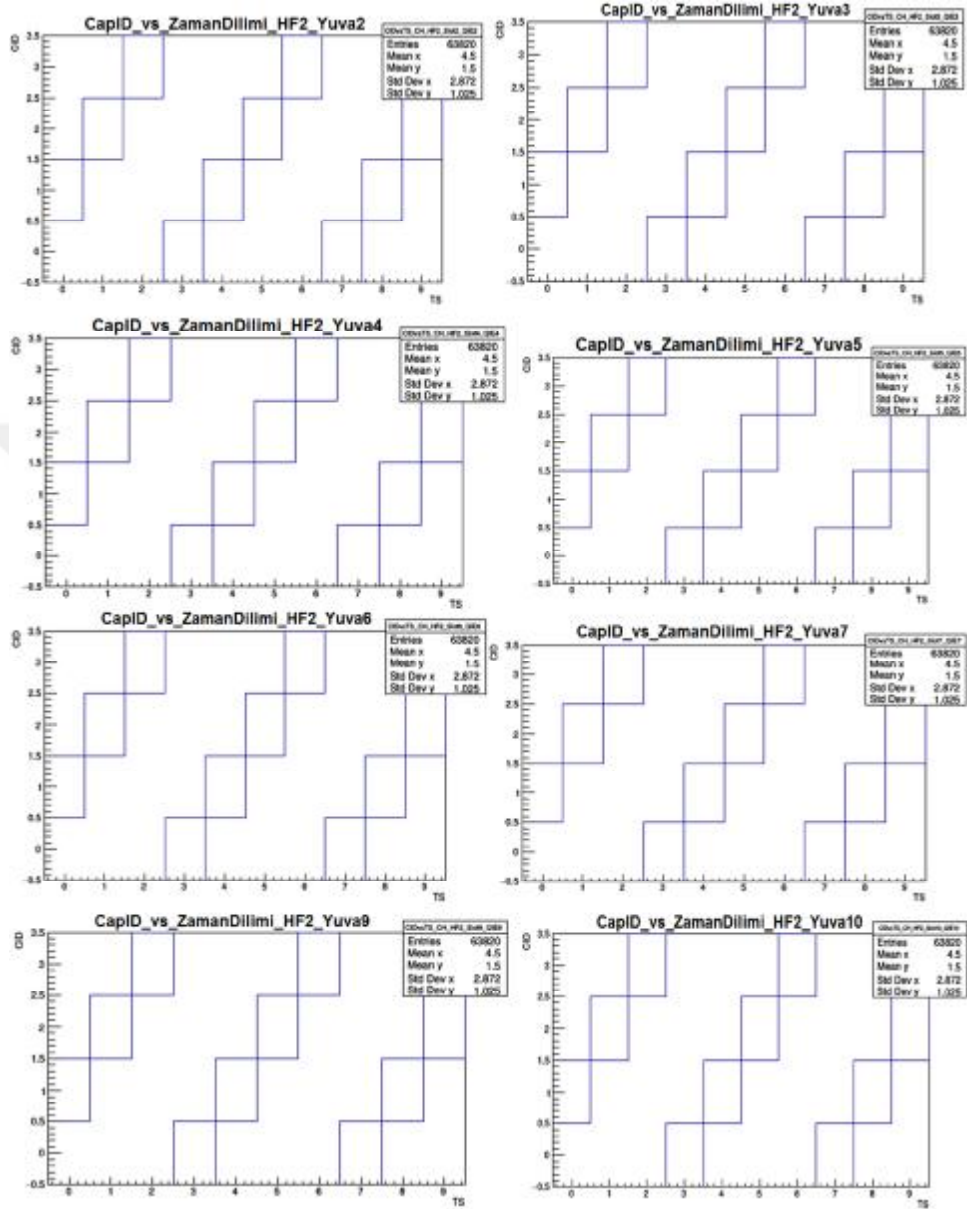


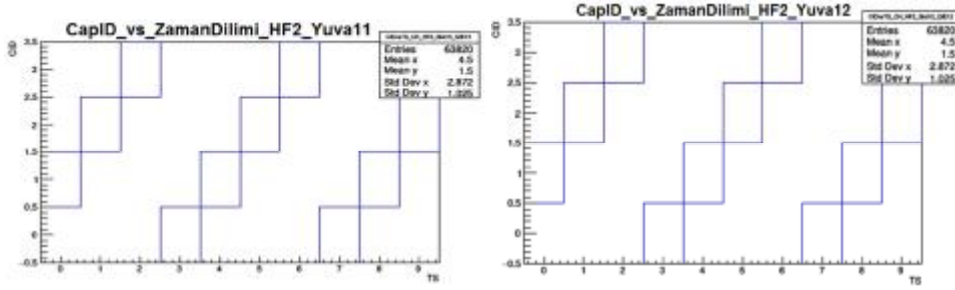
Şekil 4.15. Tüm QIE10 kartlarının CapID test grafikleri

Diğer bir run 1000021202 CapID testi için kullanılmıştır ve run bilgileri Çizelge 4.4. (a) ve (b)'de verilmiştir. Şekil 4.16 bakılan QIE10 kartlarının durumlarını, şekil 4.17 ise zaman dilimine (x eksenine) karşılık CapID (y eksenine) değerini göstermektedir.



Şekil 4.16. Tüm QIE10 kartların ve çiplerin durumu





Şekil 4.17. Tüm QIE10 kartlarının CapID test grafikleri

4.2.3 İç Yük Enjeksiyon Testi

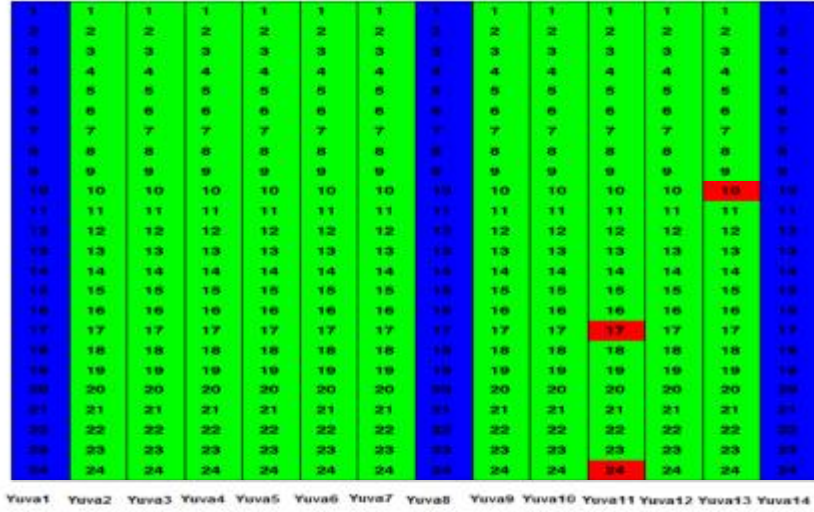
İç yük enjeksiyon (ICI) testinin amacı uzun kuyrukları ve ikincil sinyalleri tespit etmeyi sağlamaktır. ICI mod (Yük Enjeksiyon Modu) 3,3 V seviyesindedir. Bu modda sıfırlama girişinin işlevselliği değiştirilerek sıfırlama girişinin pozitif geçişi, bir kapalı çip kondansatörü aracılığıyla negatif bir giriş yüküne neden olur (bu modda, Reset, capID ve çipi sıfırlamaz). Yükün büyüklüğü program kaydındaki 3 bit ile kontrol edilmektedir. Ardından, sıfırlama girişinin negatif giriş geçişinde, girdiye karşıt polarite (pozitif) atım eklenmekte ve QIE iyi duruma gelirken belirli bir süre devre dışı kalmaktadır. İyileşme süresi enjekte edilen atımın büyüklüğüne bağlıdır. Şekil 4.18'de iyi ve kötü çipin ICI grafikleri gösterilmektedir.

Bu testte veri olarak QIE10_Testing-ici_scan kullanılmıştır. ICI testi için 1000021207 numaralı run analiz edilmiştir. Ağustos 2016'da alınan ICI veri bilgileri çizelge 4.4 (a) ve 4.4 (b)'de verilmiştir.



Şekil 4.18. İyi ve kötü çipin ICI grafikleri (x eksenı zaman dilimi, y eksenı yük miktarını göstermektedir)

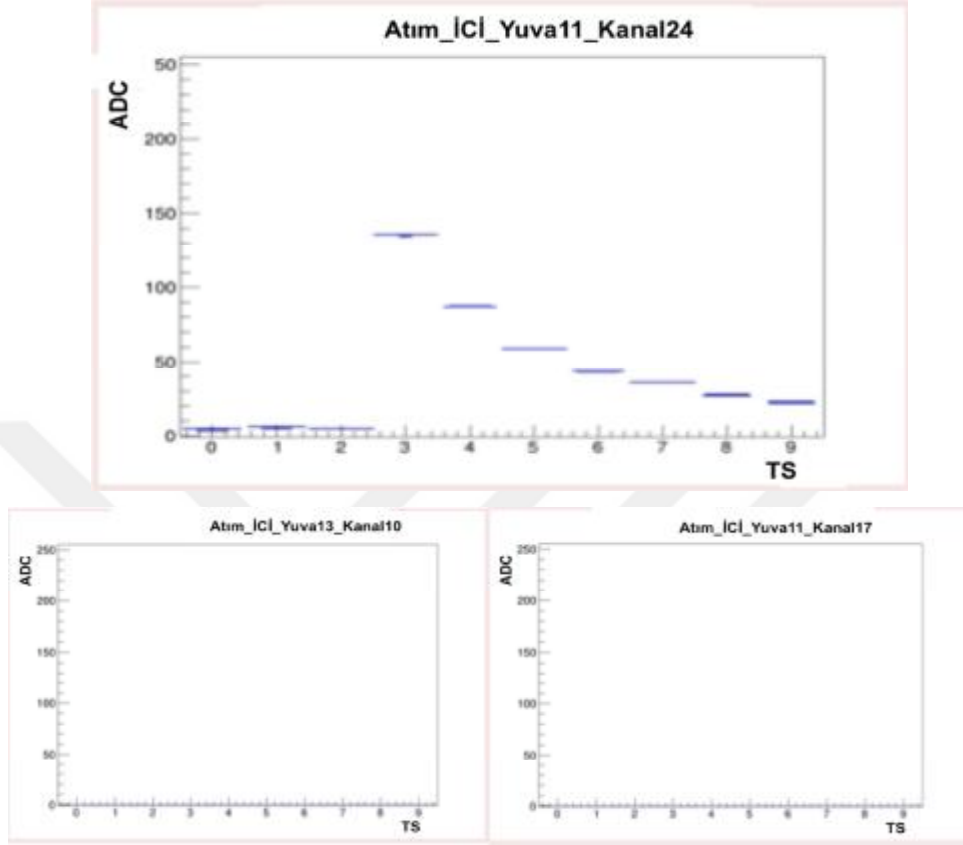
TOPLAM ICI



HF2

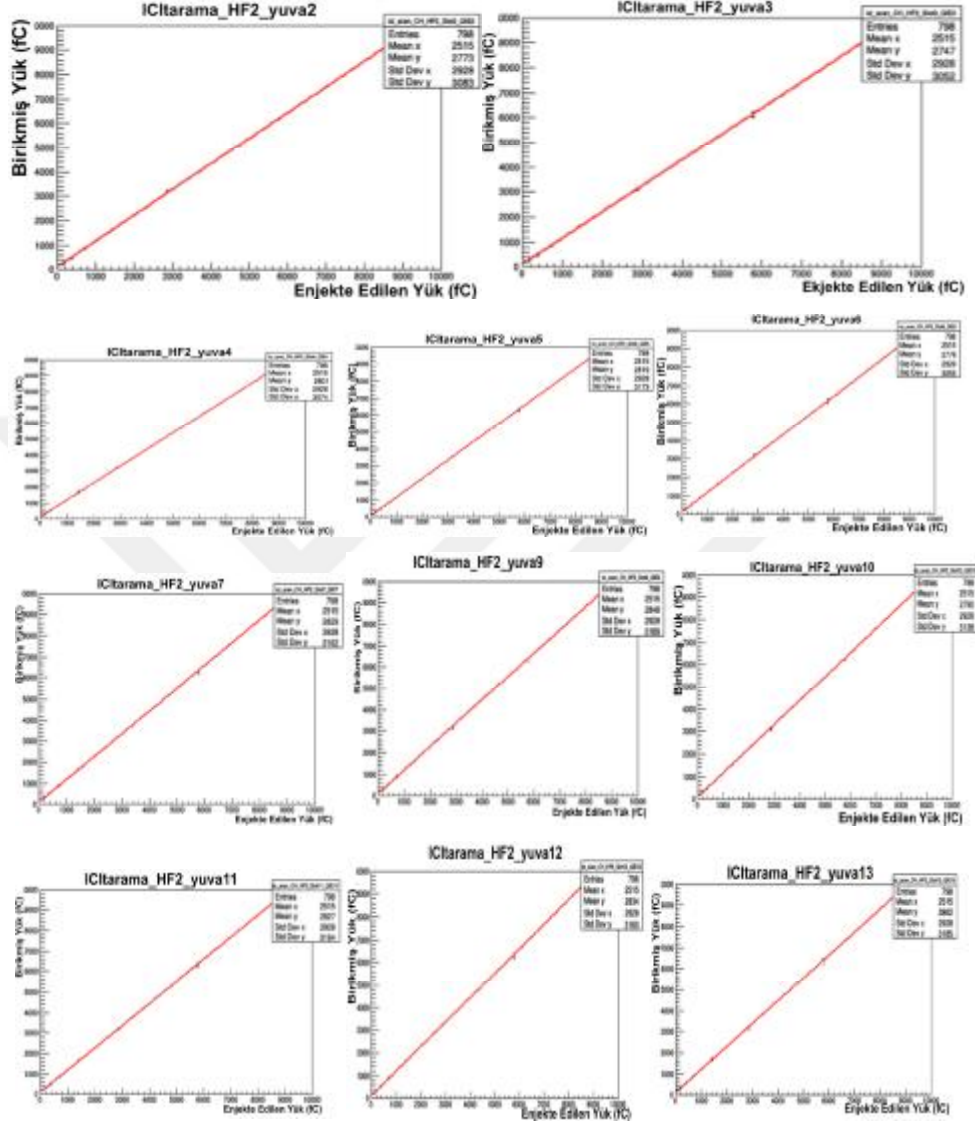
Şekil 4.19. (a) Tüm QIE10 kartlarının ve QIE10 çiplerinin durumu

Tüm QIE10 kartlarının ve QIE10 çiplerinin durumu Şekil 4.19 (a)'da ve arızalı olan 631 ve 782 numaralı kartların ICI test grafikleri Şekil 4.19 (b)'de gösterilmiştir.



Şekil 4.19.(b). Kart 691 sorunlu kanal 10 ve Kart 782 sorunlu kanal 17 ve 24'ün ICI test grafikleri

Şekil 4.19 (a)'ya göre ICI testinde Kart 782'nin 17 ve 24 numaralı kanalları ve Kart 691'in 10. kanalı problemlidir. Kart 782'nin 24. kanalının uzun kuyruklu ve düşük tepeli bir grafiğe sahip olduğu görülmektedir. ICI testi için tüm kartların grafikleri Şekil 4.20'de gösterilmiştir. Grafiklerde enjekte edilen yük ile birikmiş yük arasındaki kararlılığa bakılmıştır.



Şekil 4.20. Test edilen QIE10 kartlarının grafikleri

ICI testi için ikinci bir run 1000022260 kullanılmıştır. Ağustos 2016'da alınan diğer QIE10_Testing-ici_scan verisinin bilgileri, Çizelge 4.3 (a) ve 4.3 (b)'de verilmiştir.

Tüm QIE10 kartlarının ve QIE10 çiplerinin durumu Şekil 4.21'de ve tüm QIE10 kartlarının ICI test grafikleri Şekil 4.22'de gösterilmiştir.

TOPLAM İCİ

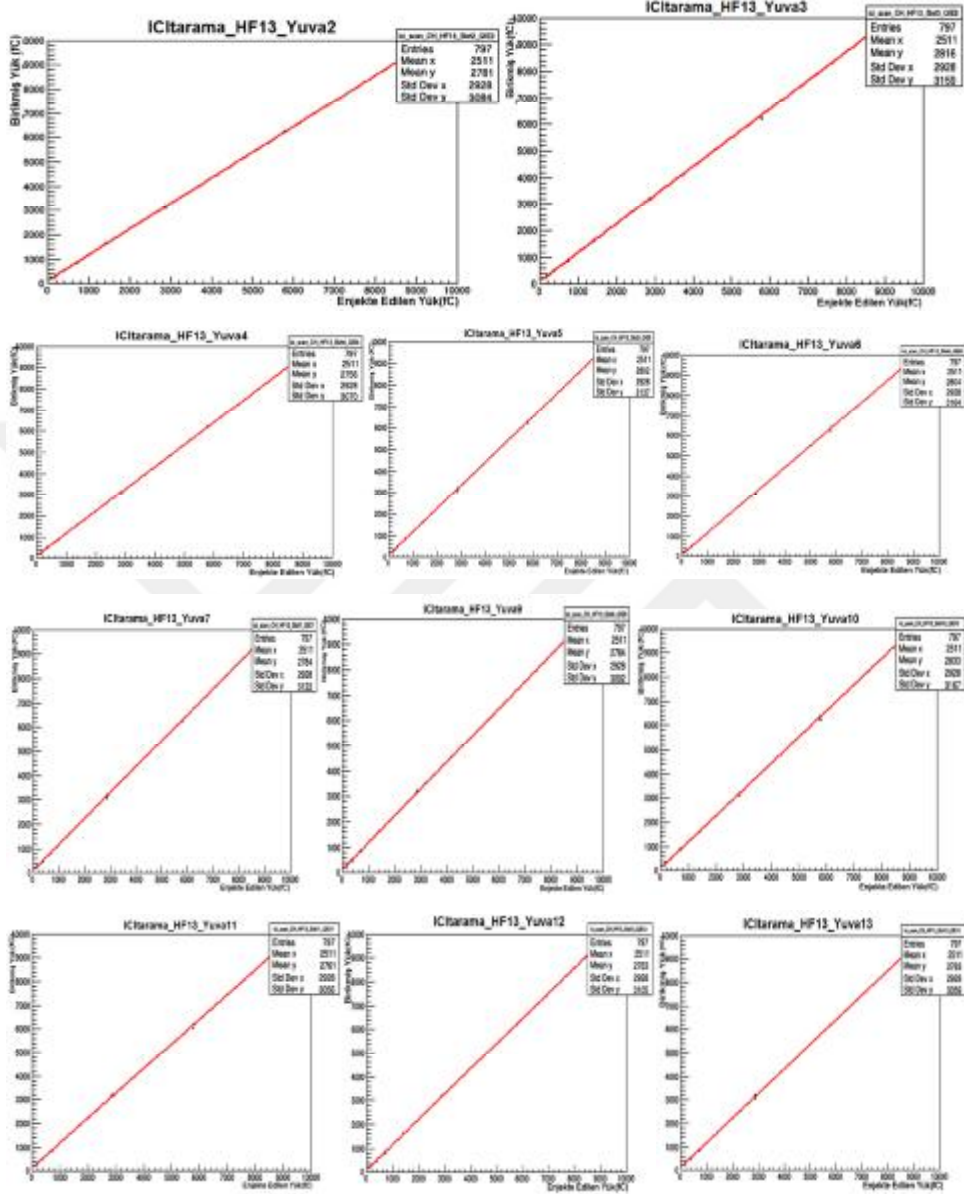
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

Yuva1 Yuva2 Yuva3 Yuva4 Yuva5 Yuva6 Yuva7 Yuva8 Yuva9 Yuva10 Yuva11 Yuva12 Yuva13 Yuva14

HF13

Şekil 4.21. Tüm QIE10 kartlarının ve QIE10 çiplerinin durumu

Şekil 4.21'e göre, QIE10 kartları ve QIE10 kartlarındaki çiplerinde bir problem bulunmamaktadır.



Şekil 4.22 Tüm kartların ICI test grafikleri



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

CMS deneyinin alt dedektörlerinden HKAL'in HF kalorimetresinde bir takım yenileme ve iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. HF kalorimetresinde foto dedektör olarak FÇT'ler kullanılmaktadır. Daha önceki yıllarda dedektörde veri alımı sırasında FÇT'lerde anormal sinyaller gözlenmiştir. Anormal sinyalleri azaltmak için daha önce kullanılan tek anotlu FÇT'ler dört anotlu FÇT'lerle değiştirilmiştir. HF'in ön-uç ve arka-uç elektroniklerini iyileştirme çalışmaları da değiştirilen bu çok anotlu R7600 FÇT'leri desteklemek için yapılmıştır. HF'in ön-uç ve arka-uç elektroniklerinin iyileştirme çalışmaları Faz-1'in önemli bir kısmını oluşturur. Yenilenen HF ön-uç ve arka-uç elektronikleri ile varış zamanından daha erken ulaşan sahte sinyaller tespit edilebilmektedir.

Daha önceki sistem ile yeni sistem arasında bir takım farklılıklar bulunmaktadır; önceki sistemde CCM, GLIB olarak adlandırılan FEC ve QIE8 kartları kullanılırken, yeni sistemde ngCCM, FC7 olarak adlandırılan ngFEC ve QIE10 kartları kullanılmaktadır. Daha önce kullanılan sistemdeki winchester bağlantı kabloları 12 tane girişe sahip iken yeni sistemin winchester bağlantı kablosu 24 girişe sahiptir. QIE8 kartı için kullanılan FÇT kutusu yeni sistemde de kullanılmıştır fakat FÇT kutusunda, 2-anotlu adaptör kartları yerine 4-anotlu adaptör kartları kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasının ilk kısmında HF'de kullanılmak üzere tasarlanan yeni QIE10 kartları test edilmiş ve alınan veriler ile pedestal kararlılıkları, CAPID ve ICI test grafikleri incelenmiştir.

HF'de daha önce kullanılan QIE8 kartları QIE10 ASIC'ler ile değiştirilmiştir. 180 tanesi çipli, 20 tanesi çipsiz olmak üzere toplam 200 tane QIE10 kartı üretilmiştir. Üretilen 180 adet QIE10 kartından 152 tanesi dedektöre takılmış ve 28 tanesi de yedek olarak ayrılmıştır.

Ön-uç elektronikleri, QIE10 kartlarından oluşmaktadır. QIE10 kartları sadece negatif giriş için tasarlanmıştır ve (100 Gy kadar) radyasyona dayanıklıdır.

QIE10, negatif giriş yükü atımlarını geniş bir dinamik aralıkta 25 ns'lik demetlerde birleştirir ve tüm dinamik aralıklarda sonucu yaklaşık olarak sayısallaştırır. Bunu, eşzamanlı olarak, 8 faktörü ile ölçeklendirilen dört farklı aralıkta giriş yükünü birleştirerek gerçekleştirir. Sinyal büyüklüğüne göre, bu aralıklardan sadece biri sayısallaştırma için seçilir. QIE10 kartlarında bulunan toplam 24 adet çip TDC'den oluşmaktadır. TDC, sinyalin varış zamanının belirlenmesini sağlamaktadır.

HF904 test düzeneğinde tüm QIE10 kartların montajı tamamlanmış ve kartların montajı sırasında QIE10 kartları kontrol edilerek problemler tespit edilmiştir. Kartlarda birçok lehimleme hatası, kıvrılmış uçlar ve eksik/çarpık bileşenler gibi sorunlar bulunmuştur. Ayrıca DC/DC dönüştürücülerindeki gerilim çok düşük olduğunda, kapasitörler tamamen boşalmaz, bu da bir "yankı" oluşturur. Bu yüzden voltaj değeri 5,01 V'dan büyük olan DC/DC dönüştürücüler kullanılmıştır. Problemler giderildikten sonra kartlar kasalara yerleştirilerek kartlar üzerindeki çiplere yenilenen programlama sistemi FPGA (igloo üst , igloo alt için Igloo FW 4.13 ve köprü için Bridge FW 1.f) yüklenmiştir. Daha sonra bu proramın düzgün çalışıp çalışmadığı kontrol edilmiştir. Son olarak kartlara pedestal, CapID ve ICI testleri yapılmıştır. Pedestal ve CapID testleri için aynı veriler kullanılmıştır, fakat ICI testi için ICI Scan verisi kullanılmıştır. Önce kartlara pedestal testi yapılmıştır. Pedestal toplam değeri (P_{TOPLAM}), Ortalama, RMS (P_{R}), Tarama Dirseği (P_{SE}) ve Tarama Eğimi (P_{SS}) değerlerinin toplamından oluşmaktadır. İlk olarak Toplam Pedestal değerine ($P_{TOPLAM} = P_M + P_{RMS} + P_{SE} + P_{SS}$) kanal kanal bakılmıştır eğer sorun yok ise P_{TOPLAM} =İyi, sorun var ise P_{TOPLAM} =Kötü olarak değerlendirilmiştir. QIE10 kartları üzerinde bulunan çiplerin sorunlu olması P_{TOPLAM} değerinin kötü olması demektir. Testlerde hangi kanalın sorunlu olduğu belirlenmiştir. Daha sonra aynı veriler kullanılarak CapID testi yapılmıştır. Bu testte CapID ile zaman dilimi değerine olay olay bakılmıştır, eğer sorunlu ise kanal kanal bakılıp sorunlu kanal bulunmuştur. Son olarak QIE10 kartlarına ICI testi yapılmıştır. Bu teste de toplam ICI değerine kanal kanal bakılmıştır ve sorunlu kanallar tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Alice Collaboration, 2008. "The ALICE Experiment At The CERN LHC". JINST 0803, S08002., [Http://Iopscience.Iop.Org/1748-0221/3/08/S08002/Pdf/1748-0221/3/08/S08002.Pdf](http://iopscience.iop.org/1748-0221/3/08/S08002/Pdf/1748-0221/3/08/S08002.Pdf), (Eriřim Tarihi: 8 Eylöl 2016).
- Atlas Collaboration, 2008. "The ATLAS Experiment At The CERN Large Hadron Collider". JINST 0803, S08003., [Http://Iopscience.Iop.Org/Article/10.1088/1748-0221/3/08/S08003/Pdf](http://iopscience.iop.org/Article/10.1088/1748-0221/3/08/S08003/Pdf), (Eriřim Tarihi: 9 Eylöl 2016).
- Cern Brochure, 2009. [Http://Cds.Cern.Ch/Record/1194057/Files/CERN-Brochure-2009-007-Eng.Pdf](http://Cds.Cern.Ch/Record/1194057/Files/CERN-Brochure-2009-007-Eng.Pdf), (Eriřim Tarihi: 11Ağustos 2016).
- Cern Brochure, 2009. [Http://Cds.Cern.Ch/Record/1165534/Files/CERN-Brochure-2009-003-Eng.Pdf](http://Cds.Cern.Ch/Record/1165534/Files/CERN-Brochure-2009-003-Eng.Pdf), (Eriřim Tarihi: 11Ağustos 2016).
- Cern Brochure, 2009. [Http://Cds.Cern.Ch/Record/1183425/Files/CERN-Brochure-2009-006-Eng.Pdf](http://Cds.Cern.Ch/Record/1183425/Files/CERN-Brochure-2009-006-Eng.Pdf), (Eriřim Tarihi: 11Ağustos 2016).
- Cern Brochure, 2012. [Http://Cds.Cern.Ch/Record/1485019/Files/CERN-Brochure-2012-004-Eng.Pdf](http://Cds.Cern.Ch/Record/1485019/Files/CERN-Brochure-2012-004-Eng.Pdf), (Eriřim Tarihi: 12 Ağustos 2016).
- Cern Press Office (13 February 2012). "LHC To Run At 4 Tev Per Beam İn 2012". CERN., (Eriřim Tarihi: 25 Ağustos 2016).
- Chatterjee, S., Majumder, G., 2016. "Upgrade Of HO Weight Factor İn Particle-Flow Algorithm". CMS DN -2016/023., (Eriřim Tarihi: 24 Ocak 2017).
- Cms Collaboration, 2006. "Physics Performance". CMS Physics, Technical Design Report, Volume 2, CERN - LHCC 2006-021, [Http://Cds.Cern.Ch/Record/942733/Files/Lhcc-2006-021.Pdf](http://Cds.Cern.Ch/Record/942733/Files/Lhcc-2006-021.Pdf), (Eriřim Tarihi: 12 Ağustos 2016).

- Cms Collaboration, 2008. "The CMS Experiment At The CERN LHC". The CERN Large Hadron Collider: Accelerator And Experiments, 122 P., [Http://Iopscience.Iop.Org/Article/10.1088/1748-0221/3/08/S08004/Pdf](http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/3/08/S08004/pdf), (Eriřim Tarihi: 13 Ağustos 2016).
- Cms Collaboration, 2008. "The CMS Experiment At The CERN LHC". The CERN Large Hadron Collider: Accelerator And Experiments, 122 P., [Http://Iopscience.Iop.Org/Article/10.1088/1748-0221/3/08/S08004/Pdf](http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/3/08/S08004/pdf) , (Eriřim Tarihi: 11 Ağustos 2016).
- Cms Collaboration, 2010. "Study Of Various Photomultiplier Tubes With Muon Beams And Cerenkov Light Produced In Electron Showers". [Http://Lss.Fnal.Gov/Archive/2009/Pub/Fermilab-Pub-09-842-Cms.Pdf](http://lss.fnal.gov/archive/2009/pub/fermilab-pub-09-842-cms.pdf) (Eriřim Tarihi: 30 Aralık 2016).
- Cms Collaboration, 2008. "The Lhcb Detector At The LHC", The CERN Large Hadron Collider: Accelerator And Experiments, [Http://Iopscience.Iop.Org/Article/10.1088/1748-0221/3/08/S08005/Pdf](http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/3/08/S08005/pdf) (Eriřim Tarihi: 13 Ağustos 2016).
- Cms Collaboration, 2011. "Technical Proposal For The Upgrade Of The CMS Detector Through 2020". CMS UG-TP-1., (Eriřim Tarihi: 16 Ağustos 2016).
- Cms Collaboration, 2015. "Performance Of Photon Reconstruction And Identification With The CMS Detector In Proton-Proton Collisions At $\sqrt{s} = 8$ Tev". CERN - LHCC 2015 JINST 10, P08010)., (Eriřim Tarihi: 1 Ocak 2017).
- Cms Hcal Collaboration, 2006. "Desing, Performance And Calibration Of CMS Forward Calorimeter Wedges". CMS Note, CMS NOTE 2006/044, [Https://Inspirehep.Net/Record/720904/Files/NOTE2006_044.Pdf](https://inspirehep.net/record/720904/files/NOTE2006_044.pdf), (Eriřim Tarihi: 15 Eylöl 2016).

- Cern/Lhcc 2000 - 38, CMS TDR 6.1, 599 Pages, December 15, 2000. “The Tridas Project, Technical Design Report”. Volume 1: The Trigger Systems, (Eriřim Tarihi: 10 Ocak 2017).
- Cern/Lhcc İn Press, 530 Pages, December 2002. “The Tridas Project, Technical Design Report”. Volume 2: Data Acquisition And High-Level Trigger, (Eriřim Tarihi: 10 Ocak 2017).
- Cern/Lhcc-P-008 CMS-TDR-15-02, (June 2015). (Eriřim Tarihi: 10 Ocak 2017).
- Cern/Lhcc 97-31 CMS TDR 2 (June 1997). “The Hadron Calorimeter Technical Design Report”, (Eriřim Tarihi: 10 Ocak 2017).
- Cern-Lhcc-2015-19 LHCC-G-165., (25 September 2015). “CMS Phase II Upgrade Scope Document”. (Eriřim Tarihi: 4 Haziran 2017).
- Cms Hcal Collaboration, 2006. “Design, Performance, And Calibration Of CMS Hadron-Barrel Calorimeter Wedges”. CMS Note, CMS NOTE 2006/138, [Http://Cds.Cern.Ch/Record/1049915/Files/NOTE2006_138.Pdf](http://Cds.Cern.Ch/Record/1049915/Files/NOTE2006_138.Pdf), (Eriřim Tarihi: 14 Eylül 2016).
- Cushman, P., Heering, A., And Ronzhin, A., “Custom HPD Readout For The CMS HCAL”, Nucl. Instr. And Meth., A 442 (2000) 289., (Eriřim Tarihi: 10 Ağustos 2016).
- Dugad, S., 2015. “Saturation Study Of HO With Sipm Readout For The Choice Of Dynamic Range And Gain”. CMS DN -2015/015., (Eriřim Tarihi: 25 Ocak 2017).
- Dumanoglu, I., Guler, Y., Gurpınar, E., Kunorı, S., Lezki, S., Talı, B., 2015. “Noise Filter Performance Studies For CMS HF By Comparing New And Old Pmts Using Collection Of Data Taken İn 2012”. CMS Detector Note, CMS DN-2015/024, [Http://Cms.Cern.Ch/İcms/Jsp/Openfile.Jsp?Type=DN&Year=2015&Files=DN2015_024.Pdf](http://Cms.Cern.Ch/İcms/Jsp/Openfile.Jsp?Type=DN&Year=2015&Files=DN2015_024.Pdf). (Eriřim Tarihi: 10 Ocak 2017).

- Hazen E., J. Rohlf, S. Wu, A. Baden, And T. Grassi, “The CMS HCAL Data Concentrator: A Modular, Standards-Based Implementation, Proceedings Of The 7th Workshop On Electronics For LHC Experiments”, Stockholm, CERN 2001-005 And CERN/LHCC/2001-034, 347 (2001)., (Eriřim Tarih,: 10 Eylül 2017).
- Englert, F., Ve Brout, R., 1964. “Broken Symmetry And The Mass Of Gauge Vector Mesons”. Phys. Rev. Lett. 13, 321 323, (Eriřim Tarih,: 10 Ocak 2017).
- Evans, L., And Bryant, P. (Editors), 2008. “LHC Machine”. The CERN Large Hadron Collider: Accelerator And Experiments, [Http://Jinst.Sissa.It/LHC/Lhcmachine/2008_JINST_3_S08001.Pdf](http://Jinst.Sissa.It/LHC/Lhcmachine/2008_JINST_3_S08001.Pdf), (Eriřim Tarihi: 15 Ağustos 2016).
- Focardı, E., 2011. “Status Of The CMS Detector”. Conference Report, CMS CR-2011/214, TIPP 2011, [Http://Cds.Cern.Ch/Record/1395445/Files/CR2011_214.Pdf](http://Cds.Cern.Ch/Record/1395445/Files/CR2011_214.Pdf), (Eriřim Tarihi: 11 Ağustos 2016).
- Gutleber, S. Murray, And L. Orsini, 2003. “Towards A Homogeneous Architecture For High-Energy Physics Data Acquisition Systems”. Comp. Phys. Comm. 2578. [Http://Xdaq.Web.Cern.Ch/Xdaq/Hill](http://Xdaq.Web.Cern.Ch/Xdaq/Hill), C., 2012, ‘AMC13 XG Operational Specification: [Http://Ohm.Bu.Edu/~Chill90/Op_Specs/AMC13_Operational_Spec_05_13_2013.Pdf](http://Ohm.Bu.Edu/~Chill90/Op_Specs/AMC13_Operational_Spec_05_13_2013.Pdf), (Eriřim Tarihi: 8 Eylül 2016).
- Hegde, V., Sharma, S., 2017. “Energy Response İn Long And Short Fibres Of Hadron Forward Calorimeter”. CMS DN -2017/004., (Eriřim Tarihi: 26 Ocak 2017).
- Heintz, U., 2016. “STATUS OF QIE CARD REWORK”. ([Https://Indico.Cern.Ch/Event/565464/Contributions/2284279/Attachments/1326712/1992024/Qiecards_08-25-2016.Pdf](https://Indico.Cern.Ch/Event/565464/Contributions/2284279/Attachments/1326712/1992024/Qiecards_08-25-2016.Pdf)), (Eriřim Tarihi: 20 Eylül 2016).

- Highfield, R., (16 September 2008). "Large Hadron Collider: Thirteen Ways To Change The World". The Daily Telegraph. London. Retrieved 2008-10-10. (Eriřim Tarihi: 9 Ocak 2017).
- Hill, C. 2012. "AMC13 XG Operational Specification". [Http://Ohm.Bu.Edu/~Chill90/Op_Specs/AMC13_Operational_Spec_05_13_2013.Pdf](http://Ohm.Bu.Edu/~Chill90/Op_Specs/AMC13_Operational_Spec_05_13_2013.Pdf), (Eriřim Tarihi 18 Nisan 2017).
- Khristenko, V., 2015. "Calibration Of The CMS Hadron Forward Calorimeter In Preparation For Run II". CMS DN -2015/006., (Eriřim Tarihi: 25 Ocak 2017).
- Musienko, Yu., Et Al., 2015. "Radiation Damage Studies Of Silicon Photomultipliers For The CMS HCAL Phase I Upgrade". Nuclear Instruments And Methods In Physics Research Section A, 787 319—322. (Eriřim Tarihi: 16 Ocak 2017).
- Martin, B. ve Shaw, G., 997. Particle Physics, Jhon Wiley And Sons, Second Edition, [Http://Web-Docs.Gsi.De/~Gkalicy/Books/Martin%20-%20Particle%20Physics%203e%20\(Wiley,%202008\).Pdf](http://Web-Docs.Gsi.De/~Gkalicy/Books/Martin%20-%20Particle%20Physics%203e%20(Wiley,%202008).Pdf), (Eriřim Tarihi: 4 Haziran 2017).
- Önel, Y., 2015. "CMS Hadron Forward Calorimeter Phase I Upgrade Status". Journal Of Physics: Conference Series 587 012007, (Eriřim Tarihi: 18 Ağustos 2016).
- Pandolfi, F., 2013. "Search For The Standard Model Higgs Boson In The $H \rightarrow ZZ \rightarrow L + L - Qq$ Decay Channel At CMS", (Eriřim Tarihi: 13 Ağustos 2016).
- Rinchiuso, F., 2016. "Associated Production Of The Higgs Boson With A Vector Boson At The LHC: Study Of The CMS Electromagnetic Calorimeter And Definition Of The Run2 Analysis Selections". (Eriřim Tarihi: 23 Ocak 2017).

Sergueev, S.V., Elias, J., Linn, S.L., Rohlf, J., 2005. "CMS HCAL Detector Control System, The XX International Symposium On Nuclear Electronics & Computing (NEC'2005)". [Http://Wwwinfo.Jinr.Ru/NEC/NEC-2005/Proceeding2005/Sergueev,Elias,Linn,Rohlf.Doc](http://Wwwinfo.Jinr.Ru/NEC/NEC-2005/Proceeding2005/Sergueev,Elias,Linn,Rohlf.Doc), (Eriřim Tarihi: 1 Eylül 2016).

Whitbeck, A. And Hirschauer, J., 2015. "The CMS Central Hadron Calorimeter DAQ System Upgrade". FERMILAB-CONF-15-227-CMS-E JINST 10 CO5019. (Eriřim Tarihi: 30 Mayıs 2017).

Zimmerman, T. And Hoff, J. R., 2004. "The Design Of A Charge-Integrating Modified Floating-Point ACD Chip". IEEE J. Solid-State Circuits 39 (2004) 895, (Eriřim Tarihi: 12 Ağustos 2016).

Zimmerman T., 2014, "Fermilab QIE10 Specifications", (Eriřim Tarihi: 18 Ocak 2017).

"([Http://Www.Fnal.Gov/Pub/Today/Images/Images04/Calorimeterwedges.Jpg](http://Www.Fnal.Gov/Pub/Today/Images/Images04/Calorimeterwedges.Jpg)).

[Http://Cms.Web.Cern.Ch/News/Cms-Detector-Design](http://Cms.Web.Cern.Ch/News/Cms-Detector-Design), (Eriřim Tarihi: 4 Ağustos 2016).

"The Large Hadron Collider". *Cern.Ch.*, (Eriřim Tarihi: 4 Ağustos 2016).

([Http://Iopscience.Iop.Org/1748-0221/3/08/S08002/Pdf/17480221/3/08/S08002.Pdf](http://Iopscience.Iop.Org/1748-0221/3/08/S08002/Pdf/17480221/3/08/S08002.Pdf)), (Eriřim Tarihi: 10 Ağustos 2016).

[Http://Home.Cern/About/Experiments/Atlas](http://Home.Cern/About/Experiments/Atlas) (Eriřim Tarihi: 10 Ağustos 2016).

[Http://Public.Web.Cern.Ch/Public/En/Lhc/ALICE-En.Html](http://Public.Web.Cern.Ch/Public/En/Lhc/ALICE-En.Html) (Eriřim Tarihi: 9 Ağustos 2016).

[Http://Totem-Experiment.Web.Cern.Ch/Totem-Experiment](http://Totem-Experiment.Web.Cern.Ch/Totem-Experiment) (TOTEM 10 Ağustos 2016)

[Http://Cds.Cern.Ch/Record/942733/Files/Lhcc-2006-021.Pdf](http://Cds.Cern.Ch/Record/942733/Files/Lhcc-2006-021.Pdf), (Eriřim Tarihi: 11 Ağustos 2016).

[Http://Inspirehep.Net/Record/837837/Files/Figures_Cms_Quadrant.Png](http://Inspirehep.Net/Record/837837/Files/Figures_Cms_Quadrant.Png), (Eriřim Tarihi: 19 Ocak 2017).

(<http://www.hephy.at/User/Friedl/Diss/html/img41.gif>), (Eriřim Tarihi: 20 Ocak 2017).

(<http://inspirehep.net/record/1185262/files/muonsys-mod3.png>), (Eriřim Tarihi: 23 Ocak 2017).

<http://cms.web.cern.ch/news/muon-detectors>, (Eriřim Tarihi: 23 Ocak 2017)

<http://physik.uibk.ac.at/hephy/muon/pmtcnste.pdf>, (Eriřim Tarihi: 22 Ocak 2017).

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Standard_Model_of_Elementary_Particles.svg, (Eriřim Tarihi: 22.01.2017)

<http://www.bilgiustam.com/fizikte-temel-kuvvetler/> (Eriřim Tarihi: 10 Ocak 2017).

<http://home.cern/sites/home.web.cern.ch/files/image/update-for-the-public/2016/11/cover.jpg>, (Eriřim Tarihi: 22 Ocak 2017).

http://home.cern/sites/home.web.cern.ch/files/image/update-for-the-public/2016/09/02_ma27926.jpg, (Eriřim Tarihi: 22 Ocak 2017).

<http://home.cern/sites/home.web.cern.ch/files/image/experiment/2013/01/atlas.jpg>, (Eriřim Tarihi: 22 Ocak 2017).

<http://home.cern/sites/home.web.cern.ch/files/image/experiment/2013/01/alice.png> http://home.cern/sites/home.web.cern.ch/files/image/update-for-the-public/2016/09/rsz_1img0020_0.jpg, (Eriřim Tarihi: 23 Ocak 2017).

<https://cms.web.cern.ch/news/hcal-upgrades-its-photodetectors>, (Eriřim Tarihi: 24 Ocak 2017).

<http://home.cern/about/experiments/lhcb>, (Eriřim Tarihi: 11 Ağustos 2016)

<http://news.bbc.co.uk/2/hi/8593780.stm>, (Eriřim Tarihi: 9 Haziran 2017).



ÖZGEÇMİŞ

21/04/1987 yılında Mersin’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Mersin’de tamamladı. 2010 yılında Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü’nde Lisans öğrenimine başladı. 2011 yılında Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü’nde çift ana dal programına başladı. 2013 yılında Fizik bölümünden fakülte birincisi olarak mezun oldu. 2014 yılında Kimya bölümünden mezun oldu. 2014 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Fizik Anabilim Dalında tezli yüksek lisans programına başladı. 2014 yılında Çukurova Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsünde Biyofizik Anabilim Dalında tezli yüksek lisans programına başladı. 2016 yılının Haziran – Eylül ayları arasında CERN’deki CMS deneyinde yapılan çalışmalara katıldı.