ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Umut Kayhan ŞEN

CMS DETEKTÖRÜNÜN HF KALORİMETRESİNİN DÖRT ANOTLU FOTOÇOĞALTICI TÜPLERİNİN KONTROL TESTLERİ

FİZİK ANABİLİM DALI

ADANA, 2014

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CMS DETEKTÖRÜNÜN HF KALORİMETRESİNİN DÖRT ANOTLU FOTOÇOĞALTICI TÜPLERİNİN KONTROL TESTLERİ

Umut Kayhan ŞEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

Bu Tez …./…./2014 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/~~Oyçokluğu~~ ile Kabul Edilmiştir.

…….....	...…….....	……..……
Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU DANIŞMAN	Prof. Dr. Aysel KAYIŞ TOPAKSU ÜYE	Prof. Dr. Sefa ERTÜRK ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

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

Sevgili Anne ve Babama…

Hayat arkadaşım Cansu UĞURUYAR'a…

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CMS DETEKTÖRÜNÜN HF KALORİMETRESİNİN DÖRT ANOTLU FOTOÇOĞALTICI TÜPLERİNİN KONTROL TESTLERİ

Umut Kayhan ŞEN

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU
Yıl: 2014 Sayfa:53
Jüri : Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU
Prof. Dr. Aysel KAYIŞ TOPAKSU
Prof. Dr. Sefa ERTÜRK

CMS'in Hadron kalorimetresi; hadronik fıçı (HB), hadronik kapak (HE), hadronik dış (HO) ve ileri hadronik (HF) olmak üzere dört alt kalorimetreden oluşmaktadır. HF'te fotodedektör olarak tek anotlu FÇT'ler kullanılmaktadır. CMS'in iyileştirme çalışmaları sırasında HF'te bulunan tek anotlu FÇT'lerin dört anotlu FÇT'lerle değiştirilmesine karar verilmiştir. Bu çalışma HF'te kullanılacak olan dört anotlu FÇT'lerin HF'e yerleştirilmeden önceki kontrol testlerinden oluşmaktadır.

Anahtar Kelimeler: CMS, HCAL,HF, FÇT, kalite kontrol testleri

ABSTRACT

MSc THESIS

THE CONTROL TESTS OF FOUR ANODE PHOTOMULTIPLIER TUBES FOR HF CALORIMETER OF CMS DETECTOR

Umut Kayhan ŞEN

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF PHYSICS

Supervisor : Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU
Year: 2014 Sayfa:53
Jury : Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU
Prof. Dr. Aysel KAYIŞ TOPAKSU
Prof. Dr. Sefa ERTÜRK

The hadron calorimeter of the CMS detector consists of four units of sub detectors which are the hadronic barrel (HB), the hadronic endcap (HE), the hadronic outer (HO) and the hadronic forward (HF) calorimeters. HF had been using single anode PMTs as photodetectors. It has been decided to change the single anode PMTs with four anode PMTs during the upgrade of the CMS. This study consists of the control tests of the four anode PMTs which are going to be used in HF before the installation.

Key Words: CMS, HCAL,HF,PMT, quality control tests

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında ve yürütülmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen engin bilgileriyle bana yol gösteren danışman hocam sayın Prof. Dr İsa DUMANOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Doğrudan ve dolaylı katkıları için Çukurova Üniversitesi Yüksek Enerji Gurubu öğretim üyeleri sayın Prof. Dr. Gülsen ÖNENGÜT, Prof. Dr. Eda EŞKUT, Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ, Prof.Dr. Aysel KAYIŞ TOPAKSU'ya teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olup bugünlere getiren ve desteklerini esirgemeyen canım annem Faize ŞEN'e ve babam Şaban ŞEN'e sonsuz teşekkür ederim.

Her zaman varlıklarından destek aldığım, hayatımın hiç anında yalnız bırakmayan ablalarım Birgül OKAT (ŞEN), Deniz TELLİ (ŞEN), Ebru ŞEN'e ve yaşama sevincim olan Barış Uygar OKAT ve Nehir Eylül TELLİ'ye sonsuz teşekkür ederim.

Bütün üniversite yaşamım boyunca ve tezimin her aşamasında ilgi ve desteğini her an hissettiğim, aynı zamanda edindiğim tüm bilgilerde payı olan ve varlığıyla onurlandıran Cansu UĞURUYAR'a sonsuz teşekkür ederim.

Hayatımın her anında desteklerini hissettiğim sevgili dostlarım Kadir TELLİ, Hasan ŞAHİN, İlyas İNEKÇİ, Yusuf KANTOS, Nebil BASALAK, Azem Yaşar ŞENGÜLEN, Görkem UYAN, Müge Anıl UĞURUYAR, A. Erdi UĞURUYAR ve Erhan KANTOS'a sonsuz teşekkür ederim.

CERN'de bulunduğum süre döneminde aile sevgisini bende esirgemeyen teyzem Mukaddes KUŞ'a, değerli Tolga ÖLMEZ ve ailesine, değerli Öztürk KANTOS ve ailesine sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
İÇİNDEKİLER IV
ÇİZELGELER DİZİNİ VI
ŞEKİLLER DİZİNİ VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR X
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5
2.1. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı 5
2.1.1 CMS 7
2.2.1. Koordinatlar 9
2.2.2. CMS'nin Alt Dedektörleri 10
2.2.2.1. İz Dedektörleri 11
2.2.2.2. Elektromanyetik Kalorimetre 13
2.2.2.3. Hadronik Kalorimetre 13
2.2.2.4. Müon Sistemi 14
3. MATERYAL VE METOD 15
3.1. Hadronik Kalorimetre 15
3.1.1. Hadronik Fıçı Kalorimetresi 16
3.1.2. Hadronik Kapak Kalorimetresi 18
3.1.3. Hadronik Dış Kalorimetresi 19
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR 23
4.1. İleri Hadron Kalorimetresi (HF) 23
4.1.1. Fotoçoğaltıcılar (FÇT) 27
4.2. Foto Çoğaltıcı Tüp LED Verileri Kontrol Çalışması 28
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 49
KAYNAKLAR 51
ÖZGEÇMİŞ 53

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 3.1. Her bir η aralığına karşılık gelen kuleler 18
Çizelge 4.1. TT 7, 8, 10'a ait FÇT'lerin dizilimi 31
Çizelge 4.2. 200 ışık şiddetin'de alınan LED Run_ verileri 35
Çizelge 4.3. 600V yüksek voltajda alınan LED Run_ verileri..... 36
Çizelge 4.4. KK01 ve KK02 de bulunan TT, FÇT ve kanal numaraları..... 36

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 1.1. Maddenin yapısı.. 1
Şekil 1.2. Dört temel kuvvet. 2
Şekil 1.3. Leptonlar ve Kuarklar. 3
Şekil 2.1. BHÇ'nin yerini gösteren hayali halka. 5
Şekil 2.2. BHÇ için hızlandırma zinciri 6
Şekil 2.3. BHÇ Detektörlerinin BHÇ üzerinde bulunduğu yerler 7
Şekil 2.4. CMS dedektörü. 8
Şekil 2.5. CMS koordinat sisteminde eksen seçimleri 10
Şekil 2.6. CMS dedektörünün yapısı ve alt sistemleri 11
Şekil 2.7. (a) Piksel dedektör (b) İz dedektörün genel görünümü 12
Şekil 2.8. EKAL' in (a) Bir kesiti (b) İç kısmı 13
Şekil 2.9. Müon detektörü 14
Şekil 2.10. Müon sisteminin dikine kesiti 14
Şekil 3.1. HKAL ve alt bölümleri. 15
Şekil 3.2. CMS dedektör kesitinde HB, HE, HO ve HF'nin yerleri 16
Şekil 3.3. HB'nin genel görünümü 17
Şekil 3.4. HE+ ve kamalarının görünümü. 19
Şekil 3.5. HO'nun genel görünümü. 20
Şekil 3.6. HO'nun sektörleri ve halkaları 21
Şekil 4.1. HF in görünüşü 23
Şekil 4.2. HF+'nin çeyreklerinin görünümü 24
Şekil 4.3. Kuartz fiberlerinin ve FÇT 'lerin yerleştirildiği HF kuleleri 25
Şekil 4.4. HF'te kullanılan fiberlerin soğurucu içerisindeki düzeni 26
Şekil 4.5. Bir kulede bulunan uzun ve kısa kuartz kablolar 26
Şekil 4.6. Bir FÇT'nin şematik gösterimi 27
Şekil 4.7. 4 anotlu FÇT 29
Şekil 4.8. KK01 ve KK02 30
Şekil 4.9. KK içinde bulunan TT'ları 30
Şekil 4.10. TT'larına yerleştirilen FÇT'ler 31

Şekil 4.11. TT'larına monte edilen yüksek voltaj kabloları 32
Şekil 4.12. TT üzerine sabitlenmiş Adaptör ile Referans ve Sinyal kabloları 32
Şekil 4.13. (a), (b) ve (c)'de sırasıyla KK01 deki TT7 –PMT_5 (14), TT8 –PMT_3 (12), TT10 –PMT_2 (04)'ün sinyal değerlerinin, zaman dilimlerine karşı değerleri gösterilmektedir 38
Şekil 4.14. (a), (b) ve (c)'de sırasıyla KK02 de ki TT14 –PMT_5 (14), TT15 –PMT_3 (12), TT16 –PMT_2 (04)'ün sinyal değerlerinin, zaman dilimlerine karşı değerleri gösterilmektedir 39
Şekil 4.15. (a), (b) ve (c) sırasıyla KK01 de ki TT7, TT8 ve TT10 'da bulunan kanalların ortalama LED enerji değerinin, 120 veri'ye karşı değerleri gösterilmektedir 41
Şekil 4.16. (a), (b) ve (c) sırasıyla KK02 de ki TT14, TT15 ve TT16'da bulunan kanalların ortalama LED enerji değerinin, 120 veri'ye karşı değerleri gösterilmektedir 43
Şekil 4.17. (a), (b) ve (c) sırasıyla KK01 de ki TT7, TT8 ve TT10'da bulunan kanalların ortalama LED enerji değerinin, 60 veri'ye karşı değerleri gösterilmektedir..... 45
Şekil 4.18. (a), (b) ve (c) sırasıyla KK02 de ki TT14, TT15 ve TT16'da bulunan kanalların ortalama LED enerji değerinin, 60 veri'ye karşı değerleri gösterilmektedir..... 47

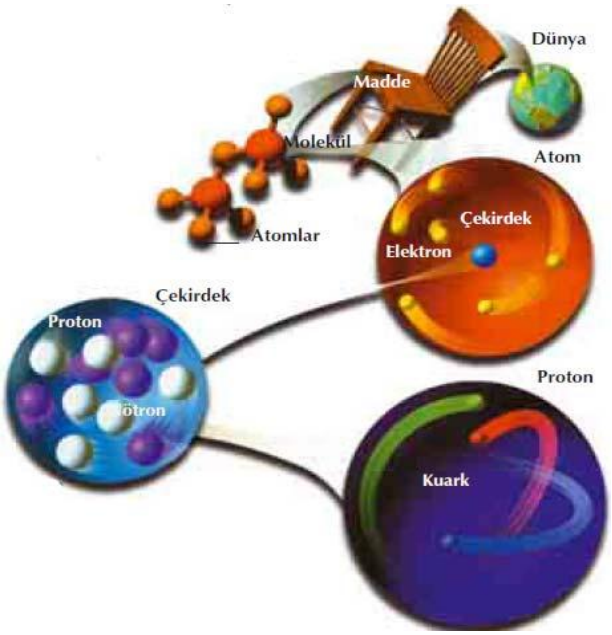
SİMGELER VE KISALTMALAR

CERN	: Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
SUSİ	: Süper-Simetri
SM	: Standart Model
BHÇ	: Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
CMS	: Sıkı Müon Solenoidi
ATLAS	: Büyük Toroidal Dedektör
ALICE	: Büyük İyon Çarpıştırıcısı
LINAC	: Doğrusal Hızlandırıcı
SPS	: Süper Proton Sinkrotronu
PS	: Proton Sinkrotron
LHCb	: LHCb Fiziği Deneyi
LHCf	: LHC İleri Deneyi
TOTEM	: Toplam Elastik ve Difraktif Tesir Kesit Ölçüm Dedektörü
EKAL	: Elektromanyetik Kalorimetre
HKAL	: Hadronik Kalorimetre
HB	: Hadronik Fıçı Kalorimetresi
HE	: Hadronik Kapak Kalorimetresi
HO	: Hadronik Dış Kalorimetresi
HF	: İleri Kısım Hadronik Kalorimetre
MB	: Müon Detektörü Fıçı Bölgesi
ME	: Müon Detektörü Kapak Bölgesi
EE	: Elektromanyetik Kapak Kalorimetresi
FÇT	: Foto Çoğaltıcı Tüp
LED	: Işık Yayan Diyot
ev	: Elektron Volt
MeV	: Milyon Elektron Volt
GeV	: Milyar Elektron Volt
TeV	: Trilyon Elektron Volt
MHz	: Milyon Herz

QIE	: Yük Toplayıcı Kodlayıcı
QE	: Kuantum Verimliliği
HTR	: Hadronik Tetikleme Bölgesi
L	: Işıklılık
$\sqrt{s}$	: Kütle-Merkezi Enerjisi
φ	: Azimutal Açı
η	: Psüdorapidite
e	: Temel Elektrik Yükü
$PbWO_4$	: Kurşun-Tungsten Kristali
TT	: Taban Tahtası
KK	: Karanlık Kutu
SPE	: Tek Foto Elektron
HV	: Yüksek Voltaj
ZD	: Zaman Dilimi

1. GİRİŞ

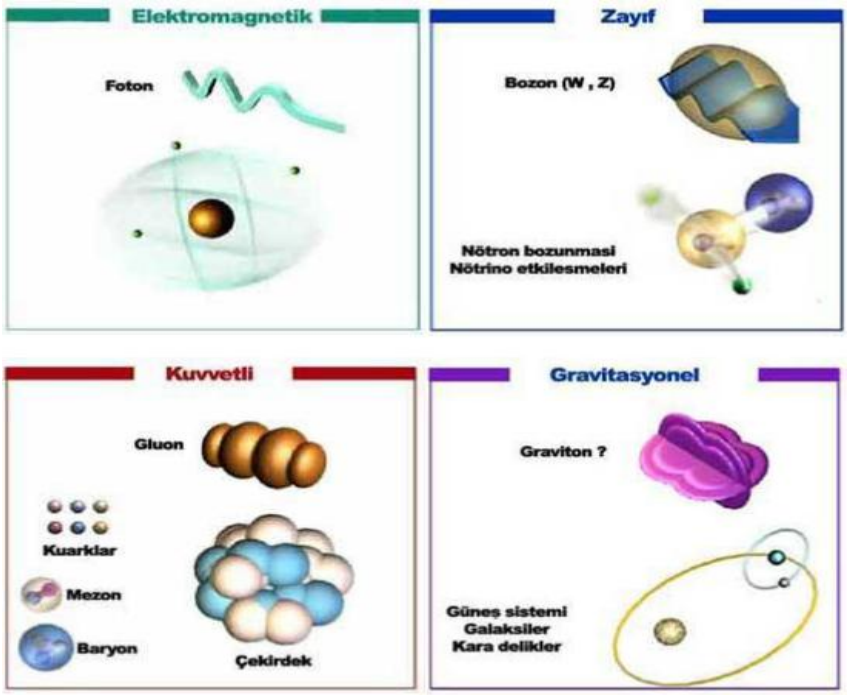
Yüzyıllar boyunca insanlar maddenin yapısını merak etmiş, maddeyi meydana getiren en küçük yapıtaşlarını ve bu yapıtaşlarını bir arada tutan kuvvetleri belirlemeye çalışmışlardır. Maddenin yapısı hakkında bilgi sahibi olabilmek için birçok araştırma yapılmış, bu araştırmalarda birçok soru sorulmuş ve sorulan bu sorulara cevaplar aranmıştır. Bu araştırmalar sonucunda maddenin molekülerden moleküllerin ise atomlardan meydana geldiği gözlenmiştir. Yapılan deneylerde J.J. Thomson'nun 1897 yılında elektronu keşfetmesi, 1900'lü yılların başında Ernest Rutherford'un çekirdeği bulması ve daha sonra çekirdeğin pozitif yüklü protonlardan oluştuğunun gözlenmesi ile günümüz atom modelinin temelini teşkil eden yapı ortaya konuldu. Daha sonra da Chadwick'in 1932'de nötronun varlığını kanıtlamasıyla atomun da bir içyapısı olduğu gösterildi. Bir süre temel parçacıkların proton, elektron ve nötron olduğu düşünülse de bilimsel gelişmeler bunların da kuark dediğimiz daha temel parçacıklardan oluştuğunu göstermiştir. Şekil1.1'de maddenin yapısı gösterilmiştir. Bu gelişmelerden sonra da keşfedilen temel parçacık sayısı hızla artmıştır.



Şekil.1.1. Maddenin yapısı.

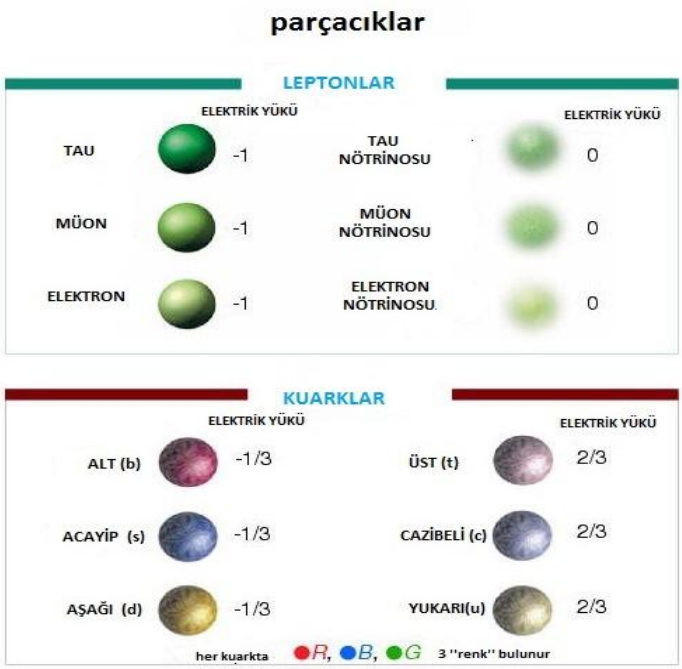
Atom altı parçacıkların yapı taşları ve bu yapı taşları arasındaki etkileşimleri inceleyen fizik dalı yüksek enerji fiziğidir. Atom altı parçacıkları gözlemleyebilmek için yüksek enerjilere ihtiyaç vardır. Bu sebeple istenen özelliklerde ve hedeflenen enerjilerde parçacık demetleri elde etmek için parçacık hızlandırıcıları inşa edilmiştir. Hızlandırıcılarda parçacıklar elektrik ve manyetik alanlar yardımıyla yörüngede tutularak hızlandırılır ve parçacıklar istenilen enerjilerde çarpıştırılır. Yüksek enerjide çarpışan parçacıklar dedektörler yardımıyla incelenir.

Evrendeki maddeyi oluşturan parçacıkları gruplandırmak ve bu parçacıklar arasındaki etkileşimleri incelemek amacıyla bir model ortaya konulmuştur. Bu model Standart Model (SM) olarak adlandırılır. Standart Model'e göre bütün maddesel evren birbirleriyle dört temel kuvvet aracılığıyla etkileşen temel parçacık (kuark ve lepton)'lardan oluşur. Bu dört temel kuvvet Şekil.1.2'de gösterilmektedir. Şekil.1.3'te ise kuarklar ve leptonlar gösterilmektedir



Şekil.1.2. Dört temel kuvvet
(http://wwweth.cern.ch/~disserto/IPPaboutUs/ParticlePhysics_eng.html).

Şiddetli kuvvet atomun çekirdeğini oluşturan proton ve nötronları aynı zamanda proton ve nötron içindeki kuarkları bir arada tutan kuvvetlerdir. Yüksek enerjili gluonlar şiddetli kuvvetin aracı parçacığıdır(kuvvet taşıyıcısı). Elektromanyetik kuvvet ise atomun çekirdeğindeki protonlarla, çekirdeğin çevresinde dolanan elektronların birbirlerini çekmesini sağlayarak atomu bir arada tutan kuvvettir. Bu kuvvetin aracı parçacığı (ayar bozonu) fotondur. Şiddetli kuvvetten 100 kez daha küçüktür ve kütle çekim kuvvetinde olduğu gibi etkileşim mesafesi(menzil) sonsuzdur. Beta bozunumu gibi radyoaktif bozunma olaylarının sorumlusu zayıf kuvvettir. Bu kuvvetin aracı parçacıkları olan W^+, W^-, Z^0 bozonları 1983'te CERN'de keşfedildi. Zayıf etkileşmenin etkileşim mesafesi oldukça kısadır. Gravitasyonel kuvvet ise kütleli parçacıklar arasında gerçekleşir. Doğanın en zayıf kuvvetidir. Etki alanı yani menzili sonsuzdur. Bu kuvvetin aracı parçacığı kütlesiz gravitondur ve hala gözlenememiştir.



Şekil 1.3. Leptonlar ve Kuarklar
(http://wwweth.cern.ch/~disserto/IPPaboutUs/ParticlePhysics_eng.html).

Kuarklar ½ spinli parçacıklardır. Kuarklar aşağı (d), yukarı (u), acayip (s), cazibeli (c), alt (b), üst (t) ve bu altı kuarka karşılık altı tane de anti- kuark olmak üzere on iki tanedir (Şekil 1.3). Kuarklar bir araya gelerek hadronları oluştururlar. Bilinen en kararlı hadron protondur ve üç tane kuarktan(uud) yapılmıştır. Hadronlar, baryonlar ve mezonlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Baryonlar üç kuarktan oluşurken, mezonlar bir kuark bir anti kuarktan oluşurlar.

Leptonlar elektromanyetik veya zayıf etkileşme yapan parçacık gruplarıdır. Elektron, muon, tau ve bunların nötrinoları bu grup içerisinde bulunur (Şekil 1.3). Nörtinolar yüksüzdür ve çok küçük kütleye sahiplerdir. Bunlar da anti parçacıklarıyla birlikte on iki tanedir.

SM atom altı dünyayı anlamamızı sağlayan en iyi kuramdır ve birçok deneysel testten başarıyla çıkmıştır. Ancak SM parçacık fiziğinde çok önemli bazı soruları yanıtlamada yetersiz kalmıştır. Örneğin evrendeki kayıp karanlık maddeyi, kütle ölçekleri arasındaki farktan oluşan hiyerarşi problemini, büyük patlama sonucu oluşan evren başlangıçta madde ile anti-madde oluştuğu halde şu anda yaşadığımız evrende neden sadece madde olduğunu ve anti maddeye ne olduğunu açıklayamamaktadır. Bu da SM'in ötesinde yeni fikir ve teorilerin doğmasına neden olmuştur. SM ötesindeki bu teorilerin geçerli olabilmesi için mutlaka deneysel olarak gözlenmesi ve doğrulanması gerekmektedir. Bu ve bunlara benzer soruları yanıtlayabilmek ve SM'de derinlemesine araştırabilmek için İsviçre'nin Cenevre şehrinde bulunan Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi(CERN)'nde Büyük Hadron Çarpıştırıcısı(BHÇ) yapılmıştır. BHÇ üzerinde birçok dedektör (deney) bulunur. Bunlar; CMS, ATLAS, LHCb, ALICE, TOTEM ve LHCf'dir. Bu deneylerden biri olan CMS, protonların çarpışması sonucu ortaya çıkan parçacıkları inceler. Her yüksek enerji dedektöründe olduğu gibi CMS de alt dedektörlerden oluşmaktadır. Bunlar sırayla İzleyiciler, Elektromanyetik Kalorimetre (EKAL), Hadronik Kalorimetre (HKAL) ve Müon detektörüdür.

Bu tezde CMS deneyinde kullanılan HKAL'in alt dedektörlerinden biri olan İleri Hadron (HF) kalorimetresinde tek anotlu Fotoçoğaltıcı Tüp (FÇT) yerine kullanılması düşünülen daha yüksek kazançlı dört anotlu FÇT'lerin test sonuçları sunulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

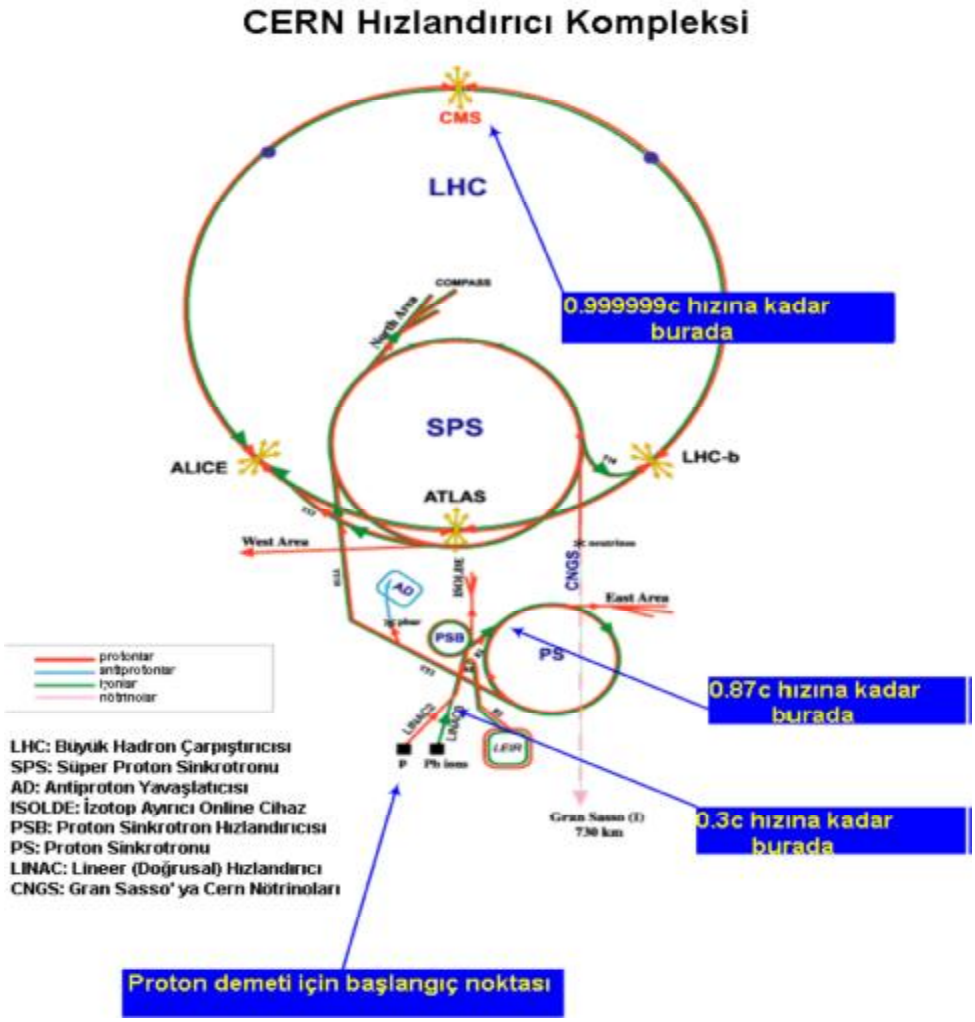
Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ), İsviçre-Fransa sınırında bulunan Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi (CERN)'nde inşa edilmiş hadron çarpıştırıcısıdır. Dairesel bir parçacık hızlandırıcısı olan BHÇ, çevresi 27 km olan ve yerin ortalama 100 m altında bulunan bir proton- proton ve ağır iyon çarpıştırıcısıdır. Şekil 2.1'de Cenevre civarının üstten görünüşü üzerinde BHÇ halkasının yerini gösteren hayali halka gösterilmektedir.

Şekil 2.1. BHÇ'nin yerini gösteren hayali halka (https://espace.cern.ch/CRSS/default.aspx).

Parçacık hızlandırıcılarının önemli tasarım parametreleri, kütle merkezi enerjisi ve ışınlılıktır. BHÇ'de, proton-proton çarpışmalarında kütle merkezi enerjisi $\sqrt{s}$ = 14 TeV ve ışınlılık $L = 10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, ağır iyon çarpışmalarında ise bu değerler sırasıyla $\sqrt{s}$ = 5.5 TeV ve $L = 10^{27}\ \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ olarak planlanmıştır(CMS TDR, 2006).

BHÇ'de protonları yüksek enerjilere ulaştırmak için bir hızlandırıcı serisi kullanılmaktadır. Bu seride proton demetleri ilk olarak LINAC'da (Doğrusal Hızlandırıcı) 50 MeV'e kadar hızlandırılmakta daha sonra PS (Proton Sinkrotronu)

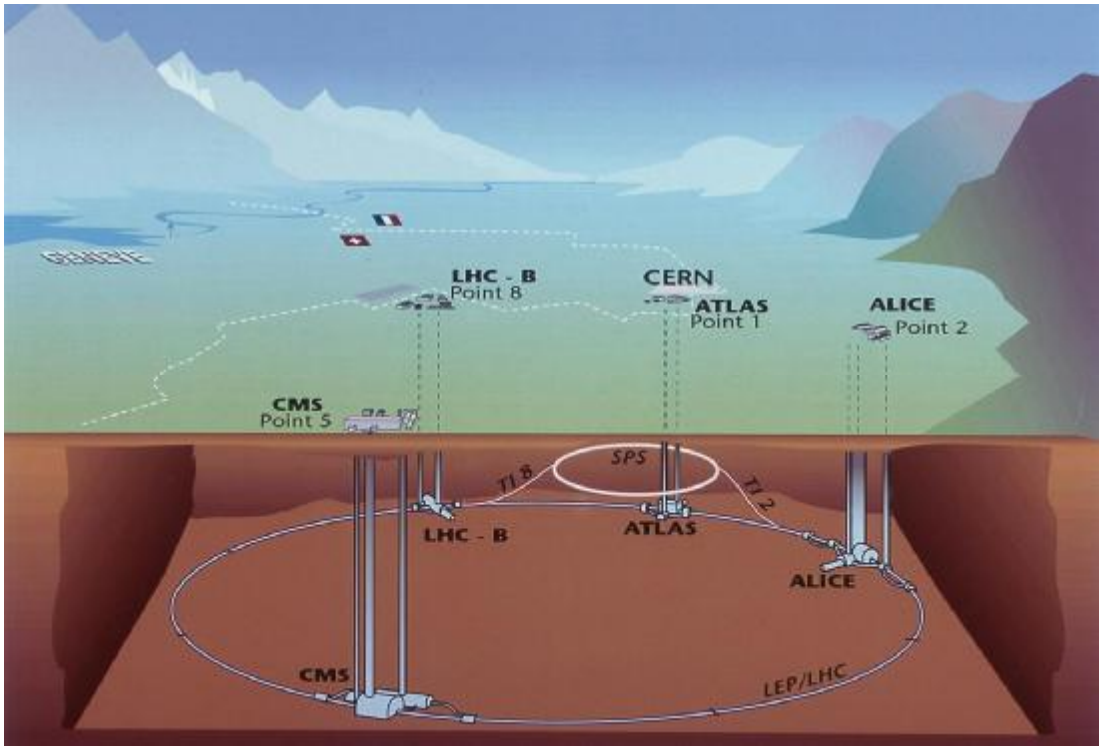
ve SPS (Süper Proton Sinkrotronu)'de sırayla 25 GeV ve 450 GeV enerjiye ulaştırılmaktadır (CMS TDR, 2006). BHÇ'de 4 TeV'e kadar hızlandırılmaktadır (S.Wouters 2009-2010). BHÇ'de 2009 yılında $\sqrt{s}$ = 7 TeV kütle merkezi enerjisindeki p-p çarpışmaları yapılmış. 2012'de kütle merkezi enerjisi$\sqrt{s}$ = 8 TeV'e kadar çıkarılmıştır. (https://cms-docdb.cern.ch). Şu anda kütle merkezi enerjisini 14 TeV'e çıkarmak ve dedektörlerin bakım ve yenilenmesini yapabilmek için çarpışmalara ara verilmiştir. BHÇ için hızlandırıcı zinciri şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. BHÇ için hızlandırma zinciri (http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/images/complex/Cern-complex.gif).

BHÇ'de altı tane dedektör (deney) vardır. Bunlar; CMS, ATLAS, LHCb, ALICE, TOTEM, LHCf'dir. CMS (The Compact Muon Solenoid) ve ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS) genel amaçlı iki dedektördür. CMS deneyi ile ATLAS

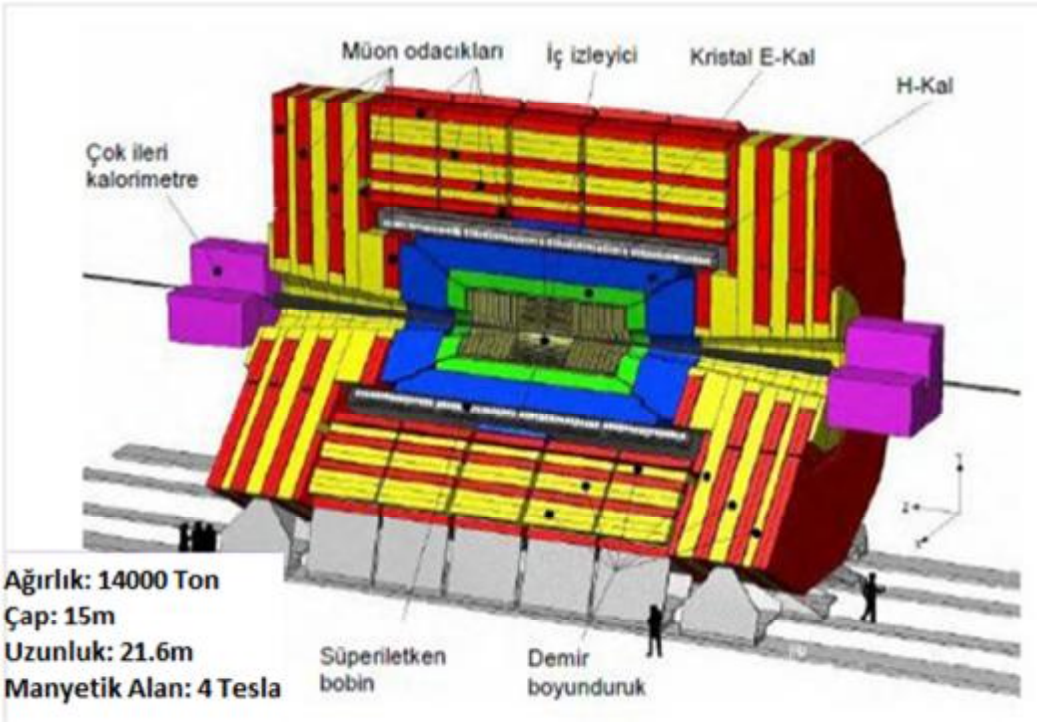
aynı amaca hizmet etmektedir. Fakat dizaynları farklıdır. CMS solenoidal, ATLAS ise toroidal manyetik alan kullanmaktadır. LHCb (LHC beauty)'de genel olarak b ve anti-b fiziği üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. ALICE (A Large Ion Collider Experiment), maddeyi evrenin ilk anlarındaki koşulları ile araştırmak için tasarlanmıştır, ağır iyon çarpışmaları ve parton-plazma üzerine çalışır. TOTEM(TOTal Elastic and diffractive cross section Measurement), pp çarpışmasında hassas bir şekilde tesir kesiti ölçümü yapar. CMS'in yakınına yerleştirilmiştir (etkileşim noktasından 147 ve 220 m). LHCf (LHC forward), küçük açılardaki pp çarpışmalarını ve kozmik ışınları inceler. ATLAS yakınlarına yerleştirilmiştir (137.16 m). Şekil 2.3'te BHÇ Detektörlerinin bulunduğu yerler gösterilmiştir.



Şekil 2.3. BHÇ Detektörlerinin BHÇ üzerinde bulunduğu yerler (http://cds.cern.ch/record/40525).

2.1.1 CMS

BHÇ üzerindeki deneylerden bir tanesi olan CMS 14000 ton ağırlığında 21.6 m uzunluğunda 15 m genişliğinde bir dedektördür ve 4 T'lık manyetik alan üretebilen bir mıknatısa sahiptir (https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=6116&version=6&filename=CMShiggs2012_TR.docx). Şekil 2.4'te CMS dedektörünün bir temsili resmi gösterilmektedir. Boyutları hakkında bir fikir verebilmek için en alt kısımlarına insan figürleri konulmuştur.



Şekil 2.4. CMS dedektörü (http://lav01.sinp.msu.ru/cmsview3.gif).

CMS dedektörü Higss bozonu, süpersimetrik parçacıklar, b fiziği ve ağır iyon fiziği gibi fizik konularını araştırmak için dizayn edilmiştir. CERN'de Higgs bozonu ile ilgili kesin bilgiler 14 Mart 2013'te CMS ve ATLAS ekiplerinin basın sözcüleri tarafından ayrı ayrı kamuoyuna bildirilmiştir. Fizik alanında devrim niteliğindeki Higgs bozonunun keşfi ile maddenin neden bir kütleye sahip olduğu, neden her temel

parçacığın kütlesinin farklı olduğuna dair sorulara cevap bulunacağı düşünülmektedir. Bu durum SM'in tamamlayıcısı niteliğindedir.

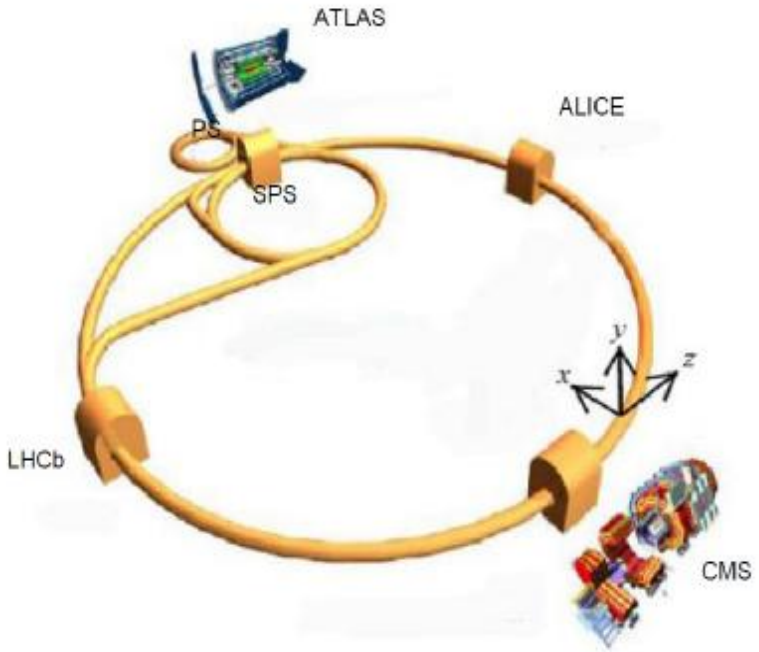
CMS dedektörünün amacına uygun şekilde çalışabilmesi için dedektörün bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bunları şöyle sıralayabiliriz;

- Geniş bir açı aralığında müonların hassas olarak saptanması ve momentumlarının iyi bir çözünürlükle ölçülmesi,
- Muon çiftleri için oldukça iyi kütle çözünürlüğü,
- Yüksek çözünürlüğe sahip elektromanyetik kalorimetre,
- Yüksek manyetik alan oluşturmak için güçlü bir süperiletken selenoid,
- Etkileşme sonrasında parçacıkların izini ve dolayısıyla momentumunu hassas şekilde belirleyebilmek için "izleyici" sisteminin etkileşme noktasına yakın olması.

2.2.1. CMS'in Koordinat Sistemi

CMS tarafından kabul edilen koordinat sisteminde başlangıç noktası, etkileşme noktası olarak kabul edilir ve bu sisteminde x ekseni başlangıç noktasından BHÇ halkasının merkezine doğru, y ekseni başlangıç noktasından yukarıya dikey doğrultuda ve z ekseni, parçacık demeti doğrultusunda seçilmiştir. CMS koordinat sistemi Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Azimutal açı φ, $x - y$ düzlemindeki x-ekseninden ve kutupsal açı θ, z −ekseninden ölçülmektedir. CMS kutup açısı yerine psüdorapidite (η) kullanmaktadır ve η denklem 2.1 ile verilmektedir (CMS TDR, 2006).

$$\eta = -\ln\left(\tan\frac{\theta}{2}\right) \tag{2.1}$$

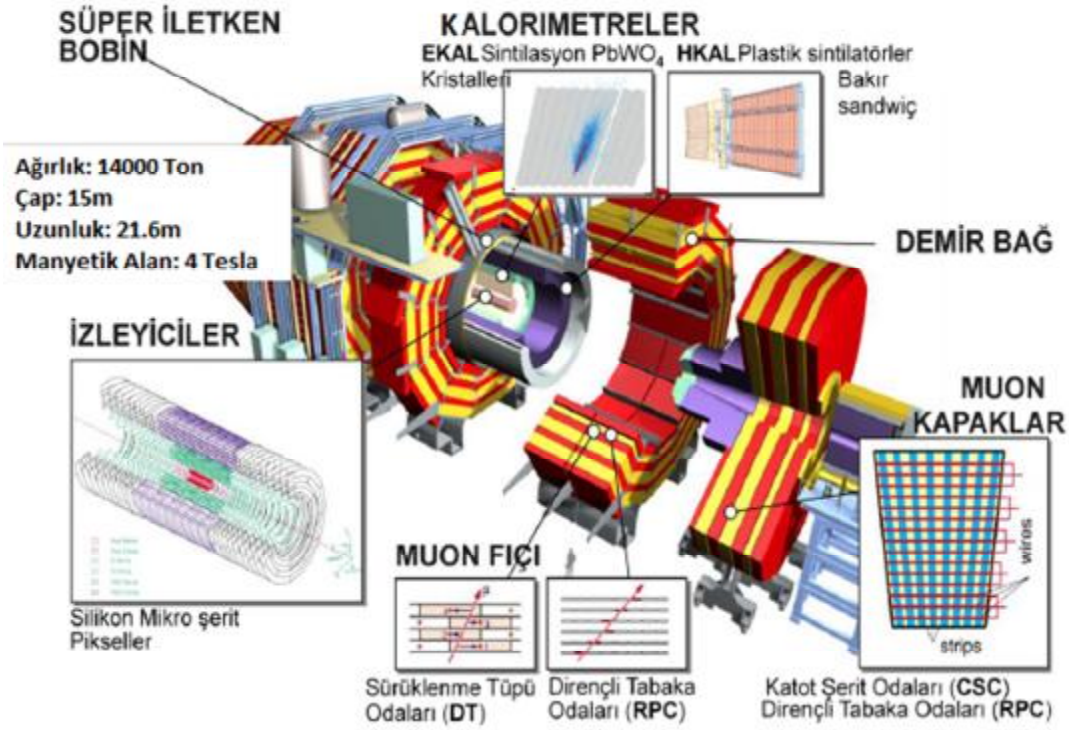


Şekil 2.5. CMS koordinat sisteminde eksen seçimleri (http://wwwiexp.desy.de/users/srivastava/RESEARCH%20INTERST.htm).

2.2.2. CMS'nin Alt Dedektörleri

Genel amaçlı bir parçacık dedektörü olan CMS, etkileşme noktasının etrafını çevreleyen soğansı yapıdan meydana gelmektedir. Bu soğansı yapı içten dışa doğru olmak üzere dört alt sistemden oluşmuştur (Şekil 2.6). Bunlar;

- İz Dedektörleri
- Elektromanyetik Kalorimetre,
- Hadronik Kalorimetre,
- Müon Dedektörü'dür.

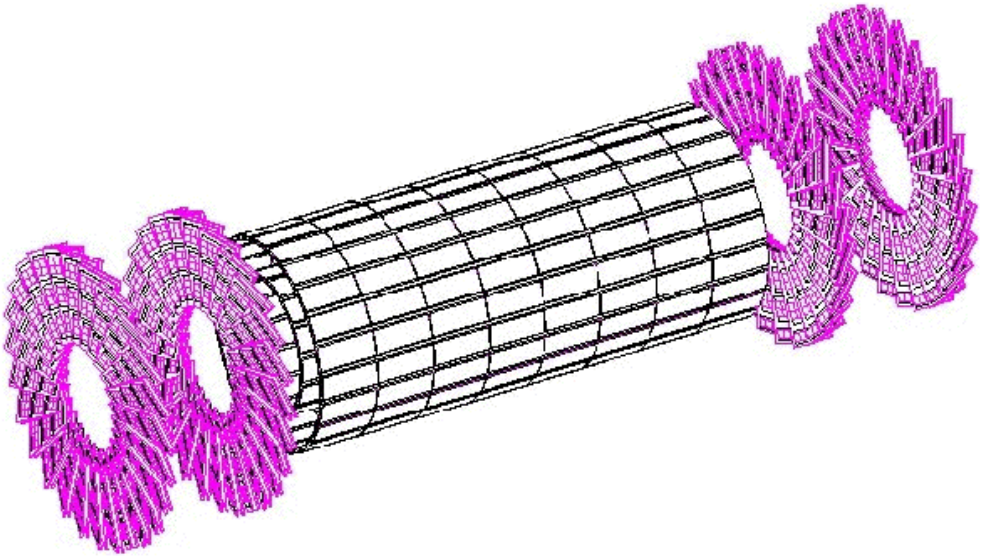


Şekil 2.6. CMS dedektörünün yapısı ve alt sistemleri (http://lecb.physics.lsa.umich.edu/wl/umich/phys/um-cern-reu/2004/20040805-umwlap002-08-wagner/realaudio/sld003.htm).

2.2.2.1. İz Dedektörleri

CMS'te 4 T'lık güçlü bir manyetik alan içinde, çarpışmadan çıkan yüklü parçacıkların (müon, elektron vb.) izlerini belirleyen ve momentumlarını ölçen iz dedektörleri, etkileşim noktasını çevreler 5.8 m uzunluğunda, 2.5 m çapındadır ve $-2.5 < \eta < 2.5$ psüdorapidite aralığında yer alır.(http://jinst.sissa.it/LHC/CMS/ch03.pdf)

İz dedektörünün, piksel dedektör ve silikon şerit dedektör olmak üzere iki bileşeni bulunmaktadır. Piksel dedektör izleyicinin etkileşme noktasına en yakın olan elemanıdır. Piksel dedektör, silikon şerit dedektör tarafından çevrelenmektedir. İz dedektörü etkileşme noktasına yakın olup yüksek radyasyona maruz kalmaktadır. Bu sebeple radyasyona karşı dayanıklı olacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 2.7'de piksel dedektör ve İz dedektörün genel görünümü gösterilmektedir.



(a)

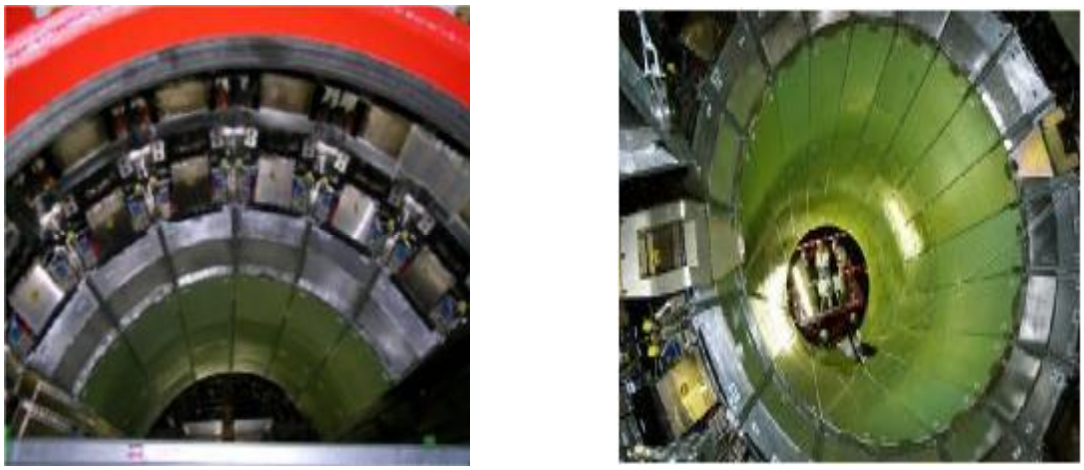
(b)

Şekil 2.7. (a) Piksel dedektör (http://www.phy.olemiss.edu/HEP/cms/pixel/),
(b) İz dedektörün genel görünümü(http://cds.cern.ch/record/1203203).

2.2.2.2. Elektromanyetik Kalorimetre

CMS'in alt dedektörlerinden olan elektromanyetik kalorimetre (EKAL), elektronun ve fotonların enerjisini yüksek çözünürlükte ölçmek için tasarlanmıştır. EKAL, fıçı ve kapak bölümlerinden oluşmaktadır. Fıçı bölgesi (EB), $|\eta| < 1.479$ psüdorapidite aralığında yer alırken, kapak bölümü (EE) $1.48 < |\eta| <$

3.0 psüdorapidite aralığında yer alır. Merkezi fıçı kısmı 61200 tane ve her 2 kapak kısmı da 7234 tane kurşun tungsten ($PbWO_4$) kristallerden oluşur ve homojen bir kalorimetredir. EKAL'in çalışmasına uygun olarak seçilen kurşun tungsten kristal; yüksek yoğunluğa (8.28 g/cm^3) , küçük Moliere yarıçapına (2.2 cm) ve kısa radyasyon uzunluğuna (0.89 cm) sahiptir. Şekil 2.8'de EKAL'den bazı bölümler gösterilmektedir(http://jinst.sissa.it/LHC/CMS/ch04.pdf).



(a) (b)

Şekil 2.8. EKAL' in (a) Bir kesiti (b) İç kısmı
(http://cms.web.cern.ch/news/electromagnetic-calorimeter).

2.2.2.3. Hadronik Kalorimetre

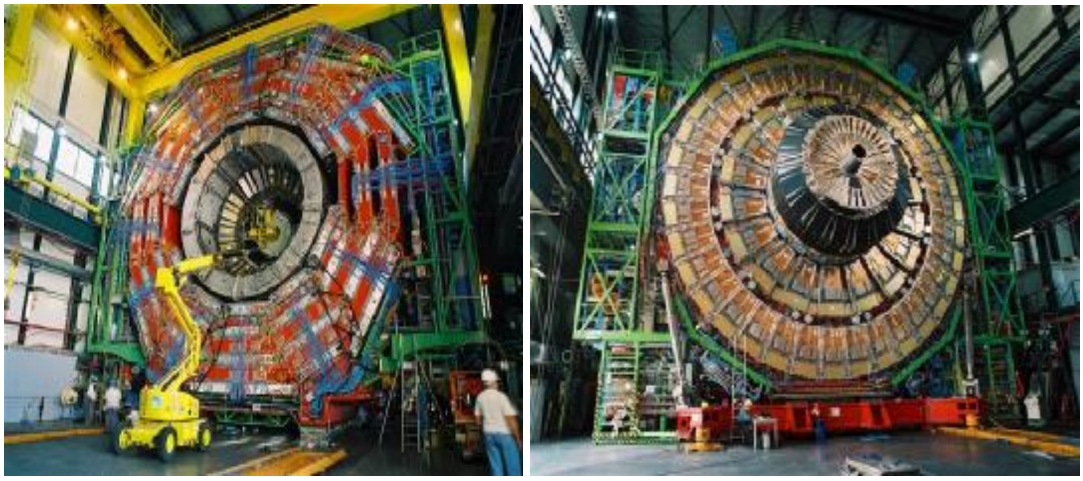
Hadronik kalorimetre ile ilgili daha geniş bilgi bir sonraki kısımda verilecektir.

2.2.2.4. Müon Sistemi

Müon sistemi proton-proton çarpışmasında ortaya çıkan müonların yüklerini belirlemek ve momentumlarını ölçmek amacıyla dizayn edilmiştir. Müonlar yüklü parçacıklardır ve madde içerisinde diğer parçacıklara daha fazla nüfuz edebildikleri için müon sistemi CMS dedektörünün en dış kısmına monte edilmiştir.

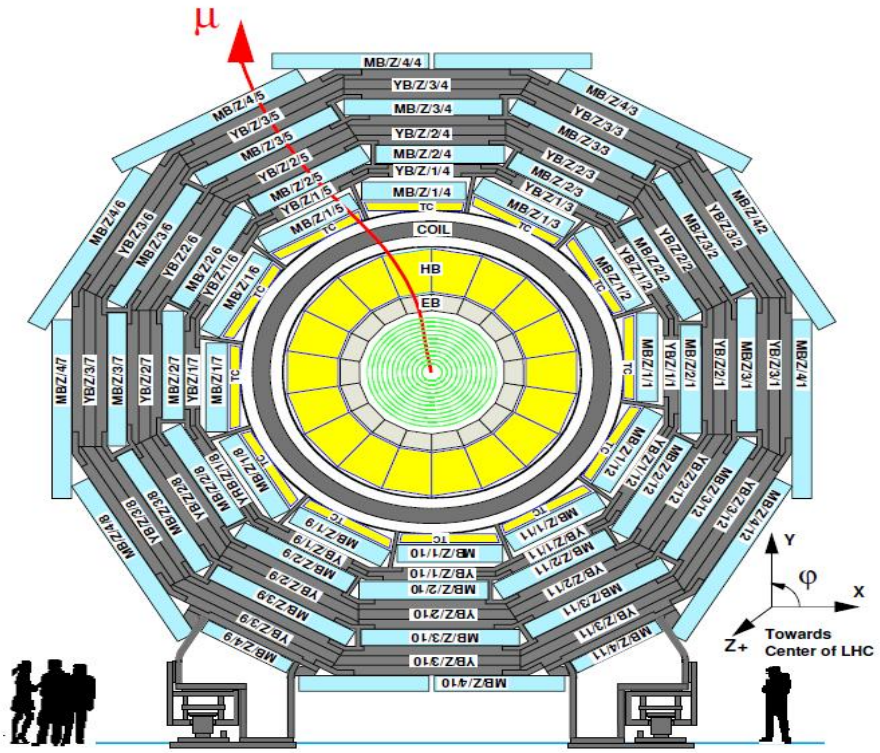
Müon sistemi kapak bölgesi (ME) ve fıçı bölgesi (MB) bölgesi olmak üzere iki kısımdan oluşur [CMS Collabration 2008]. Şekil 2.9.a ve şekil 2.9.b'de fıçı

bölgesindeki bir halka ve kapak bölgesindeki disk görülmektedir. Müon fıçı kısmı 5 diske bölünmüştür. Her bir disk de 30 derecelik açılarla 12 sektöre ayrılmıştır. Şekil 2.10'da müon sisteminin dikine kesiti görülmektedir.



(a) (b)

Şekil 2.9. Müon detektörünün fıçı bölgesindeki (MB) bir halka (a) ve müon kapakbölgesindeki (ME) bir diskin görünüşü (b) (http://cds.cern.ch/record/974402).



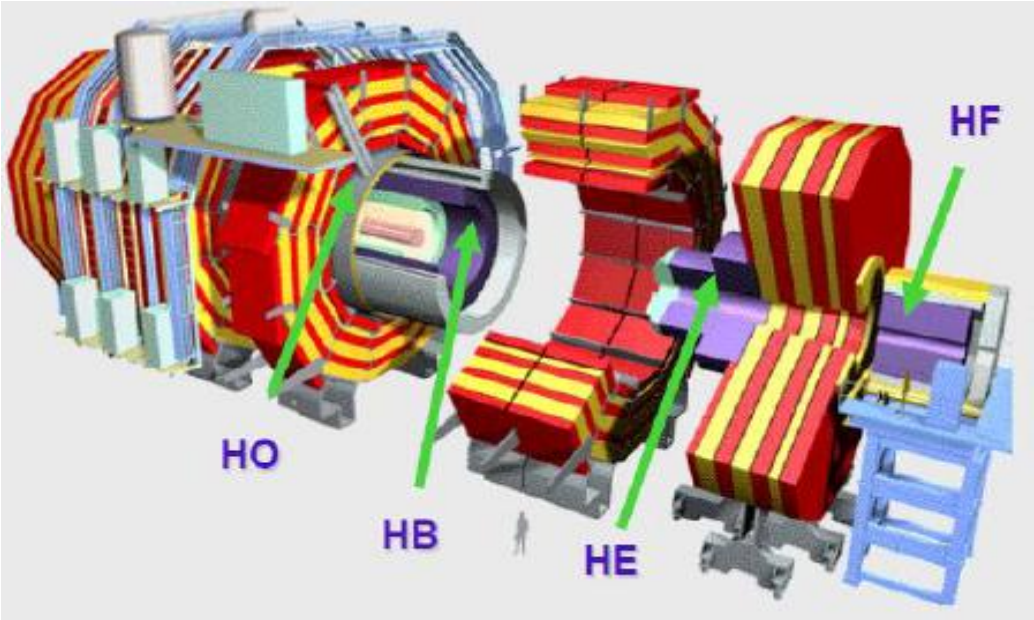
Şekil 2.10. Müon sisteminin dikine kesiti(http://jinst.sissa.it/LHC/CMS/ ch07. pdf).

3. MATERYAL VE METOD

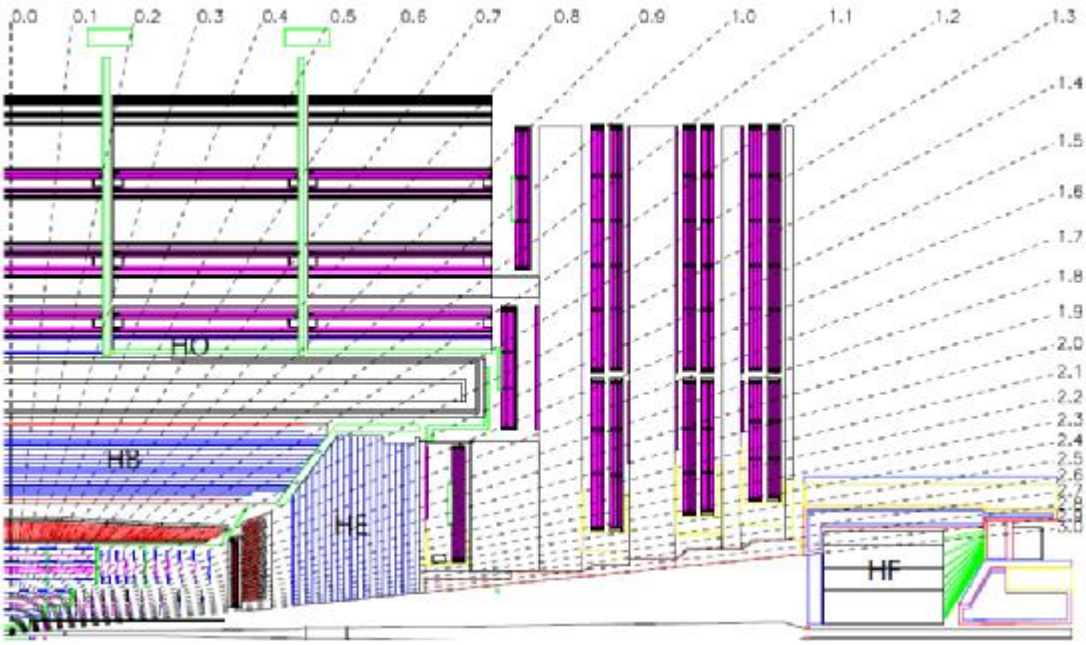
3.1. Hadronik Kalorimetre

EKAL'i çevrelemiş olan Hadronik Kalorimetre(HKAL), mıknatıs içinde bulunan son dedektördür. HKAL, kayıp dik enerji ve jetlerin ölçülmesi için tasarlanmış olup, bu ölçümler Higgs ve süpersimetrik parçacıkların keşfinde önemli rol oynar.

HCAL; hadronik fıçı (HB), hadronik kapak (HE), hadronik dış (HO) ve hadronik ileri kalorimetre (HF) olmak üzere dört alt dedektörden oluşmaktadır. Şekil 3.1'de HKAL ve alt bölümlerinin CMS dedektöründeki yerleri gösterilmektedir. Şekil 3.2 CMS dedektör kesitinde HB, HE, HO ve HF'in yerlerini göstermektedir. Kesikli çizgiler sabit η değerleridir. HB ve HE elektromanyetik kalorimetre ile müon izleme sistemi arasında yer alırken, HO $|\eta| < 1.3$ psüdorapidite bölgesinde ve solenoid mıknatısın dış kısmında yer alır. HF ise, her iki tarafta, çarpışma noktasından 11.2 m uzağa yerleştirilmiş ve $3 < |\eta| < 5$ psüdorapidite aralığında yer almaktadır[CMS Collaboration,2006].



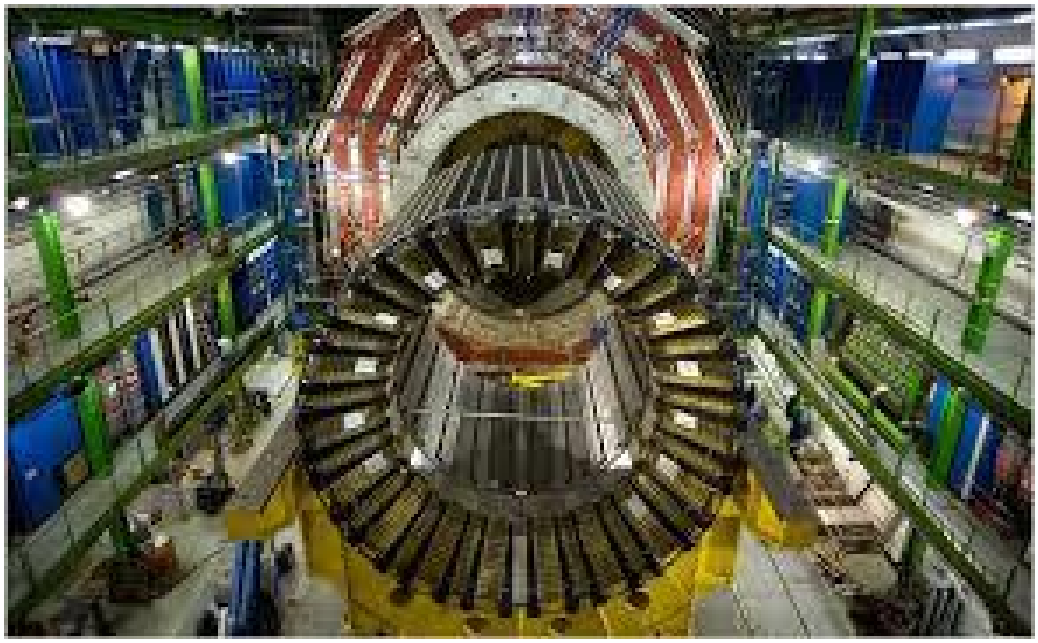
Şekil 3.1. HKAL ve alt bölümleri (http://www.chepreo.org/cms.htm).



Şekil 3.2. CMS dedektör kesitinde HB, HE, HO ve HF'nin yerleri(http://jinst.sissa.it/LHC/CMS/ch05.pdf).

3.1.1. Hadronik Fıçı Kalorimetresi

CMS dedektöründe $-1.3 < \eta < 1.3$ psüdorapidite aralığında yer alan HB, HB+ ve HB− olmak üzere 2 kısımdan oluşmuştur. HB'nin CMS'teki genel görünümü Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3. HB'nin genel görünümü(http://cds.cern.ch/record/42594).

HB+ ve HB−'nin her birinde 20°'lik eşit açılarla 18'er tane kama bulunmaktadır. Kamalar ışın eksenine paralel hizalanmış pirinç soğurucu tabakalara sahiptir. C26000/kartuş pirinç olarak bilinen HB pirinç soğurucunun fiziksel özellikleri: soğurucunun bileşenleri %70'i bakır (Cu) %30'u çinko (Zn), yoğunluğu 8,83 g/cm^3, radyasyon uzunluğu X_0 = 1.49 cm, etkileşme uzunluğu λ_I = 16.42 cm(http://jinst.sissa.it/LHC/CMS/ch05.pdf).

Her kama 4 sektöre bölünmüştür. Ayrıca her sektör "kule" adı verilen 16 tane η değerine bölünmüştür. 16. kule HE ile çakışmaktadır. Bu kuleler ve bu kulelere karşılık gelen η değerleri Çizelge 3.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Her bir η aralığına karşılık gelen kuleler.

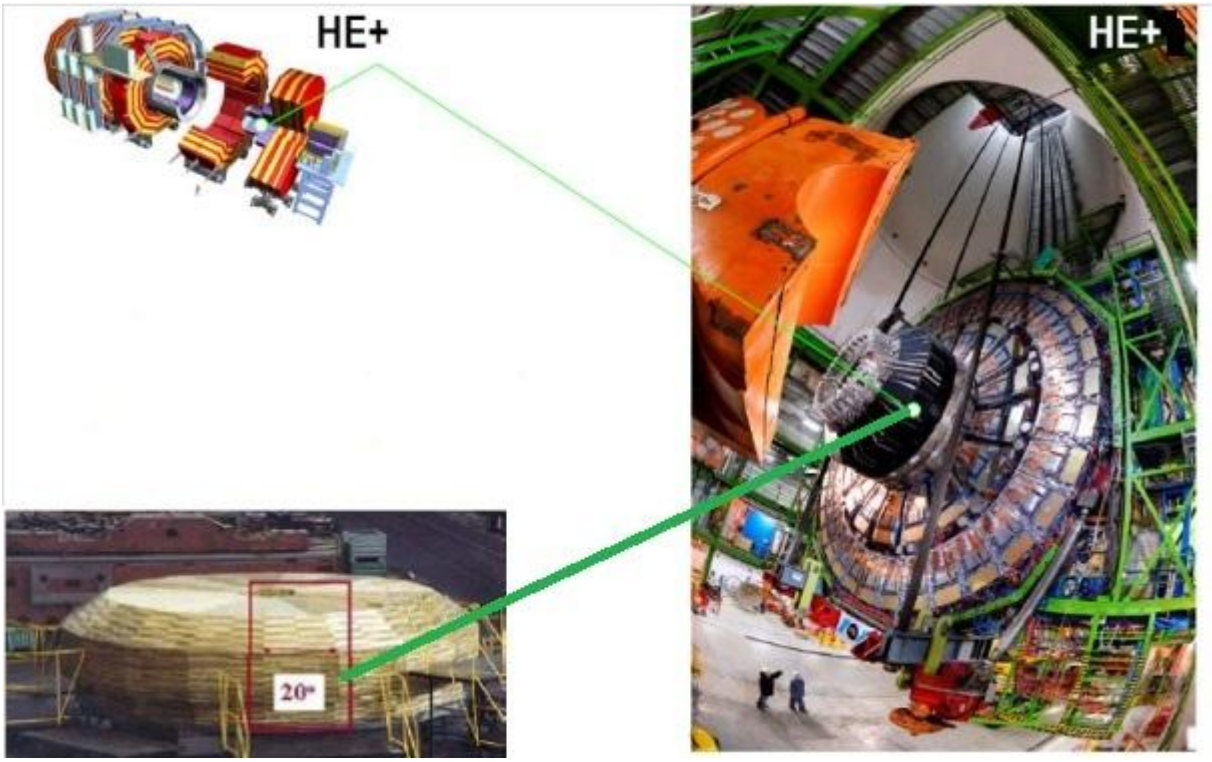
Kule	η aralığı
1	0.000 – 0.087
2	0.087 – 0.174
3	0.174 – 0.261
4	0.261 – 0.348
5	0.348 – 0.435
6	0.435 – 0.522
7	0.522 – 0.609
8	0.609 – 0.696
9	0.696 – 0.783
10	0.783 – 0.870
11	0.870 – 0.957
12	0.957 – 1.044
13	1.044 – 1.131
14	1.131 – 1.218
15	1.218 – 1.305
16	1.305 – 1.392

Çizelge 3.1'den görülebileceği gibi kalorimetrenin en küçük parçasının boyutu $\Delta\eta \times \Delta\varphi = 0.087 \times 0.087$ birimdir.

3.1.2. Hadronik Kapak Kalorimetresi

HE, EKAL genişliğinin dış kısmı ile manyetik bobin genişliğinin iç kısmı arasında radyal olarak kısıtlanmıştır. HE, HB'ye oldukça benzeyen bir kalorimetredir.

HE de HE+ ve HE− olmak üzere iki bölümden oluşur. HE+ ve HE−'nin her birinde 20°'lik eşit açılarla 18'er tane kama bulunmaktadır. Şekil 3.4'te HE+'nın ve kamalarının görünümü verilmektedir.

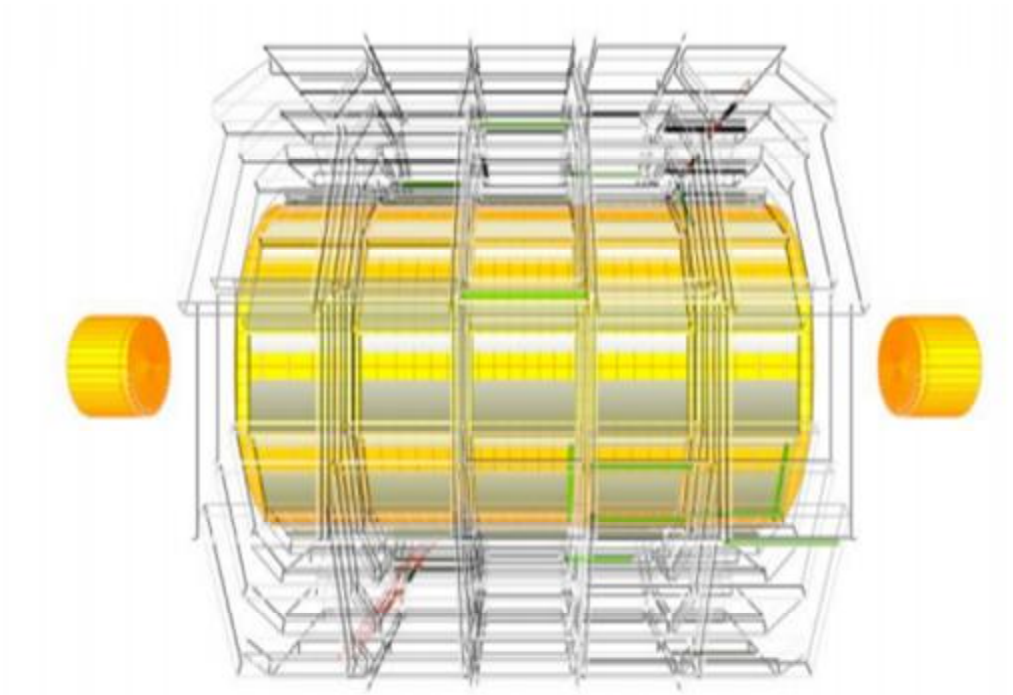


Şekil 3.4. HE+ ve kamalarının görünümü(http://cds.cern.ch/record/1431487).

HE, CMS dedektöründe 1.3 < $|\eta|$ < 3 psüdorapidite aralığında yer almakta olup son durumda üretilen parçacıkların yaklaşık %34'ü bu bölgeye düşmektedir. HE, 18 tane pirinç soğurucu katmandan oluşmaktadır. Her katman 78 mm kalınlığındadır ve soğurucular arasında 19 tane 3.7 mm kalınlığında sintilatörler bulunmaktadır. (http://jinst.sissa.it/LHC/CMS/ch05.pdf).

3.1.3. Hadronik Dış Kalorimetresi

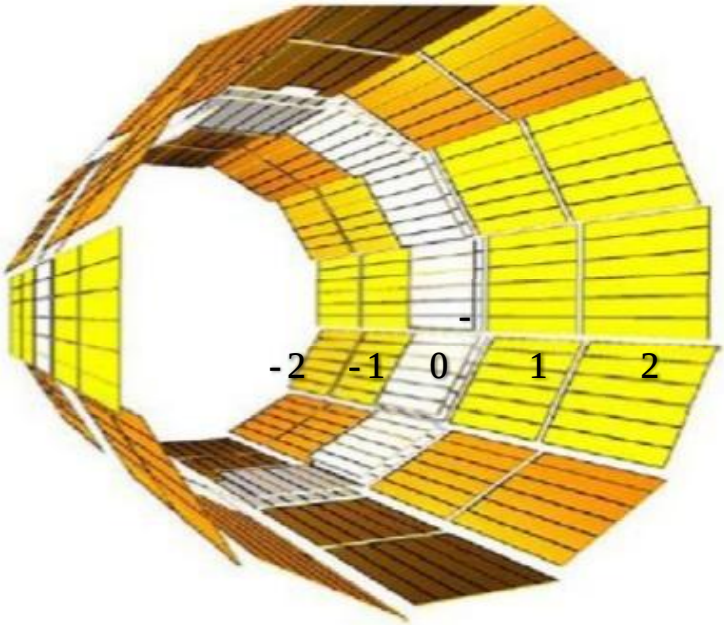
HO, $|\eta|$ < 1.3 psüdorapidite aralığında solenoid mıknatısın arka kısmına monte edilmiş ek bir soğurucudur. Şekil 3.5'te HO'nun genel görünümü gösterilmektedir (The CERN LHC, 2009 http://jinst.sissa.it/LHC/CMS/ch05.pdf).



Şekil 3.5. HO'nun genel görünümü.

Solenoid mıknatısın dış kısmına yerleştirilmiş olan HO, müon silindir sistemi geometrisiyle sınırlı olduğundan dolayı geometrik yapısı müon sistemine uygun olarak tasarlanmıştır. HO $-2, -1, 0, 1, 2$ olmak üzere 5 halkadan oluşmaktadır. Bu 5 halkanın konumu merkezi z ekseninde sırayla -5.342 m, -2.686 m, 0, $+2.686$ m, $+5.342$ m dir (The CERN LHC, 2009 http://jinst.sissa.it/LHC/CMS/ch05.pdf).

HO da $x - y$ düzleminde sektörlere ayrılmıştır. HO'nun her bir halkası, $x - y$ düzlemi üzerinde 30°'lik 12 sektöre bölünmüştür. Her sektör de 5°'lik 6 dilime ayrılmıştır (The CERN LHC, 2009 http://jinst.sissa.it/LHC/CMS/ch05.pdf). Şekil 3.6'de HO'nun sektörlere bölünmüş hali ve halkaları gösterilmektedir.

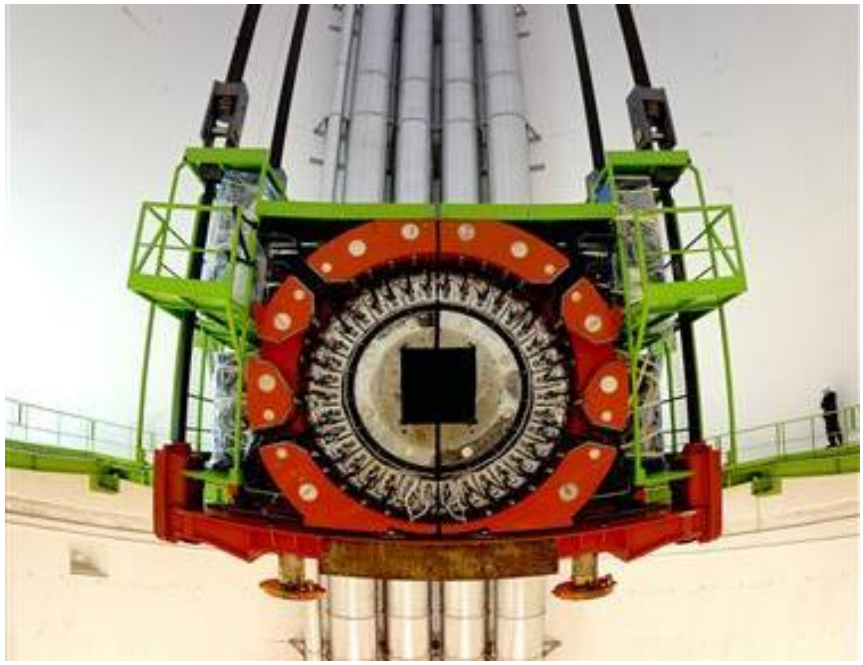


Şekil 3.6.'de HO'nun sektörleri ve halkaları(http://jinst.sissa.it/LHC/CMS/ch05.pdf).

4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

4.1. İleri Hadron Kalorimetresi (HF)

HKAL'in alt dedektörlerinden biri olan HF, jetlerin ve kayıp dik enerjinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. HF'in genel bir görünümü Şekil 4.1'de gösterilmektedir.

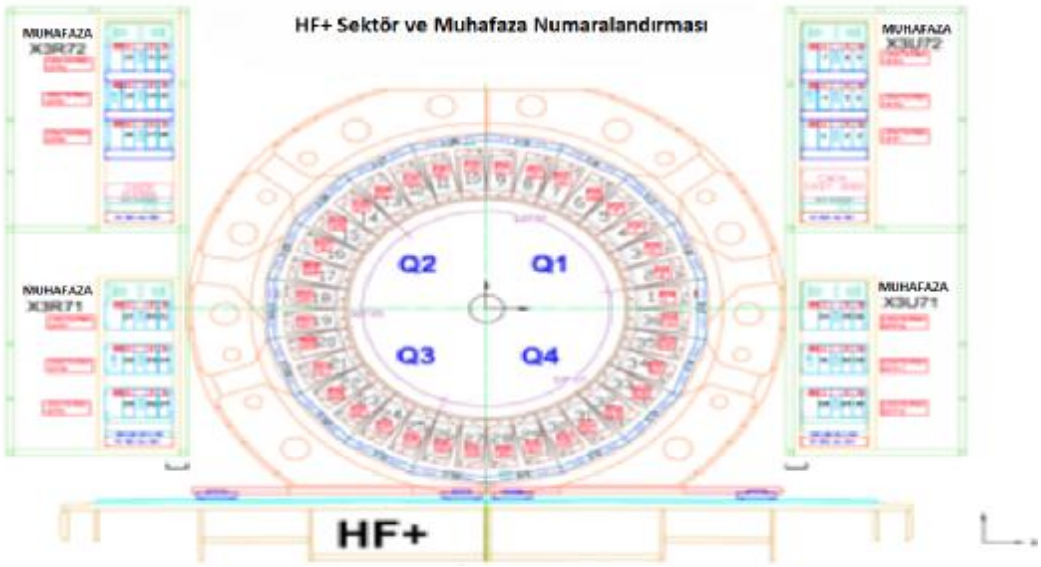


Şekil 4.1. HF in görünüşü (http://cds.cern.ch/record/998566).

HF, 130 cm'lik dış yarıçapı ve 125 cm'lik iç yarıçapı olan silindirik bir çelik yapıdır. HF, HF− ve HF+ olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır ve toplam 36 kamaya sahiptir. Her bir kısmının etkileşme noktasına uzaklığı 11.2 m'dir ve her kısmı 20°'lik 18 kamadan oluşmuştur ve her kama ise 10°'lik eşit açıyla 2 sektöre bölünmüştür (http://jinst.sissa.it/LHC/CMS/ ch05.pdf).

HF+ ile HF− dokuz sektörden ve 216 kanala sahip olacak biçimde dört çeyrek bölümden oluşmaktadır. Her çeyrek bölüme muhafaza adı verilen elektronik sistemlerin bulunduğu kutular monte edilmiştir. Muhafazalarda bulunan elektronik sistem ile LED sinyali fiberler aracılığıyla 216 kanala gönderilmektedir. Her kanala

bağlanmış bir tane, HF+ ile HF−'de ise toplam 1728 fotoçoğaltıcı tüp (FÇT) bulunmaktadır. Şekil 4.2'de HF+'nın çeyreklerinin görünümü gösterilmektedir.



Şekil 4.2. HF+'nin çeyreklerinin görünümü (http://indico.cern.ch/event/179541/material/slides/1?contribId=0).

HF'de foto-dedektör olarak seçilen FÇT'lerin model numarası R7525HA'dır ve Hamamatsu şirketi tarafından üretilmiştir. 8 aşamalı dinottan oluşan FÇT'ler bialkali foto katota, borosilikat cam pencereye sahiptir. FÇT'lerin 450 nm dalga boylu mavi ışık için maksimum kuantum verimliliği (QE) %22'dir (CMS Collaboration, 2011, https://cds.cern.ch /record /1355706/files/LHCC-P-004.pdf).

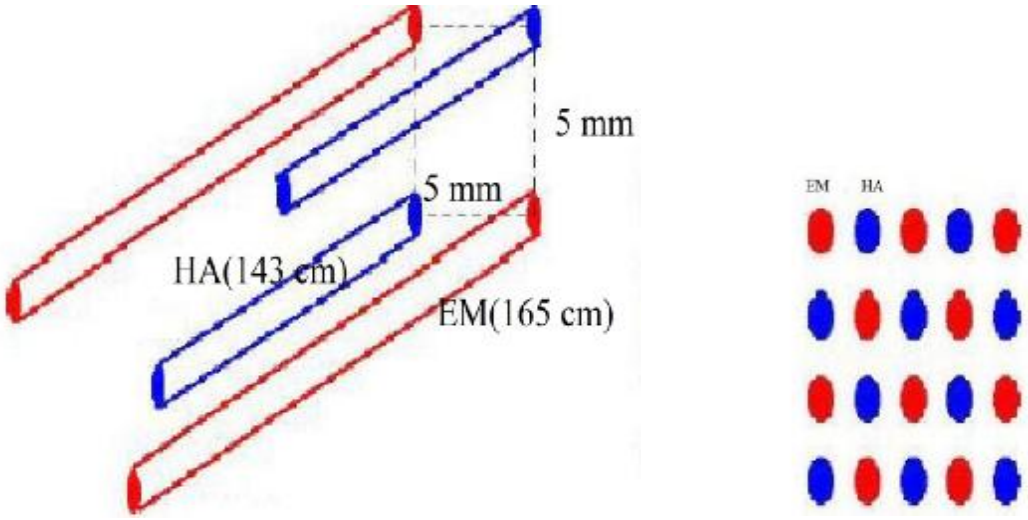
HF, soğurucular ve bu soğurucular içine yerleştirilmiş kuvartz fiberlerden (lif) meydana gelmektedir. Kuvartz fiberlerin ve FÇT'lerin yerleştirildiği HF kuleleri Şekil 4.3'de gösterilmektedir. Kuvartz fiberler soğurucu içerisine yerleştirilmiştir. Bu fiberler HF dedektörünün aktif kısmını oluşturur. HF dedektörlerinin ön yüzüne gelen parçacıklar soğurucu içerisinde duşlar oluşturur. Bu duşların bir kısmı Çerenkov eşiğinin altında bir kısmı da Çerenkov eşiğinin üstünde olan yüklü parçacıklardır. Çerenkov eşiğinin üstündeki yüklü parçacıklar fiberler içerisinde Çerenkov ışıması yapar. Oluşan ışıktan tam yansıma şartını sağlayanlar fiberler aracılığıyla FÇT'lere ulaşırlar. FÇT'ler, kendilerine gelen ışık sinyalini, analog sinyale dönüştürürler. FÇT'lerden gelen analog sinyaller yük toplayıcı ve kodlayıcı

(QIE)'lar aracılığı ile sayısal sinyale dönüştürülerek bir dizi gibi sıralanan fiber optiklerle ön uç elektroniklerdeki veri akış alımından sorumlu olan hadronik tetikleme (HTR) kartına iletilir. HTR kartı farklı türdeki verileri işleyerek bu verileri diğer sistemlere iletmektedir.

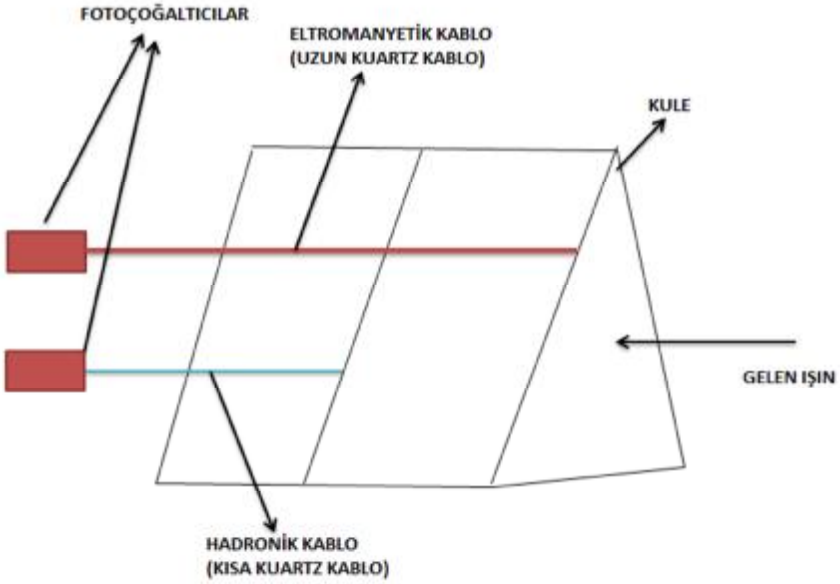
Şekil 4.3. Kuartz fiberlerinin ve FÇT 'lerin yerleştirildiği HF kuleleri (http://cds.cern.ch/record/946271).

HF, CMS'te $3 < |\eta| < 5$ psüdorapidite aralığında yer alır ve merkezi kalorimetreden ayrılmıştır. Bu bölgelerde radyasyon oranı çok yüksek olacağından HF'te aktif madde olarak radyasyona en dayanıklı maddelerden biri olan kuvartz fiberler kullanılmıştır. HF'te 1.65 m ve 1.43 m uzunluğunda olmak üzere 5 mm aralıklarla yerleştirilmiş iki çeşit kuvartz fiber kullanılmıştır. Fiberlerden uzun olanları elektromanyetik bölümü (EM) meydana getirirler. Bu bölüm foton ve elektron gibi elektromanyetik etkileşim gösteren parçacıkların enerjisini ölçmeye yarar. Kısa fiberler ise hadronik bölümü (HA) meydana getirirler. Bu bölüm elektromanyetik etkileşen parçacıkları hadronlardan ayırmaya ve hadronların enerjisini ölçmeye yarar. Yerleştirmede uzun ve kısa kuvartz fiberler dengeli bir şekilde yerleştirilmiştir ve demetler haline getirilerek dedektörün arka kısmında

birleştirilir. HF'ten gelen ışık buradaki fiberler ile fotoçoğaltıcı tüplere iletilir. Şekil 4.4'te kullanılan fiberlerin soğurucu içerisindeki düzeni gösterilmiştir. Şekil 4.5'te ise bir kulede bulunan uzun ve kısa kuartz fiberler gösterilmektedir.



Şekil 4.4. HF'te kullanılan fiberlerin soğurucu içerisindeki düzeni.

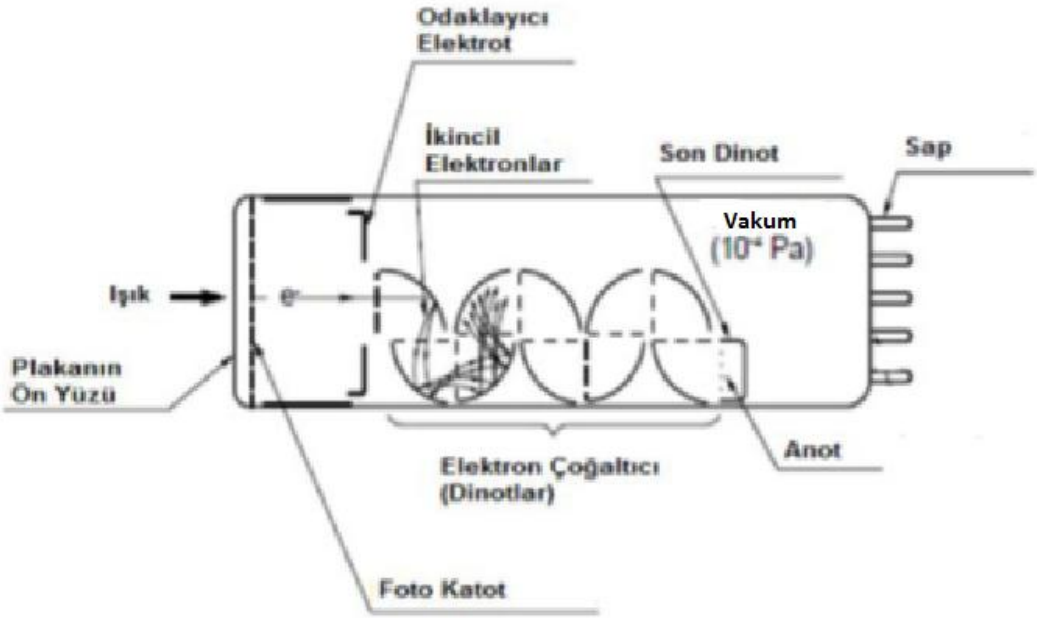


Şekil 4.5. Bir kulede bulunan uzun ve kısa kuartz kablolar.

4.1.1. Fotoçoğaltıcılar

HF, foto dedektör olarak fotoçoğaltıcılar kullanır. Bunlar ışık sinyalini analog sinyale dönüştürebilen cihazlardır. FÇT'ler, son derece yüksek hassasiyet ve ultra hızlı tepki (yanıt) sağlarlar. Ayrıca düşük gürültülü ve daha geniş alanlarda ışığa duyarlılık sağlayan aygıtlardır (Hamamatsu 1998).

Tipik bir FÇT fotokatot, fotokatodu izleyen bir elektron odaklayıcı sistem, elektron çoğaltıcı bölüm (dinotlar) ve anottan oluşmaktadır. Bunların hepsi Şekil 4.6'da gösterildiği gibi cam bir vakum tüp içerisine yerleştirilmiştir (http://physik.uibk.ac.at/hephy/muon/pmtcnste.pdf). FÇT'nin çalışması için bir yüksek voltaj uygulanır. Bir ışık geldiğinde ışığa duyarlı maddeden yapılmış fotokatoda çarpar ve fotokatottan foto elektrik etki ile bir elektron koparılır. Bu fotoelektron elektron odaklayıcı sistemi tarafından elektron çoğaltıcı bölüme yönlendirilir ve hızlandırılır. İlk dinota çarpan elektron ikincil elektronların yayımlanması sağlar ve bu ikincil elektronlar da bir sonraki dinota yönelir ve hızlanmaya devam eder. Bu olay son dinota (anot) kadar devam eder. Böylece anota doğru yönelmiş bir elektron şelalesi oluşur. Oluşan bu elektron şelalesi anotta, analiz edilebilir bir akım vermek için toplanır. Şekil 4.6'da bir FÇT'nin şematik görünümü gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Bir FÇT'nin şematik gösterimi.
(http://physik.uibk.ac.at/hephy/muon/pmtcnste.pdf).

4.2. Foto Çoğaltıcı Tüp LED Verileri Kontrol Çalışması

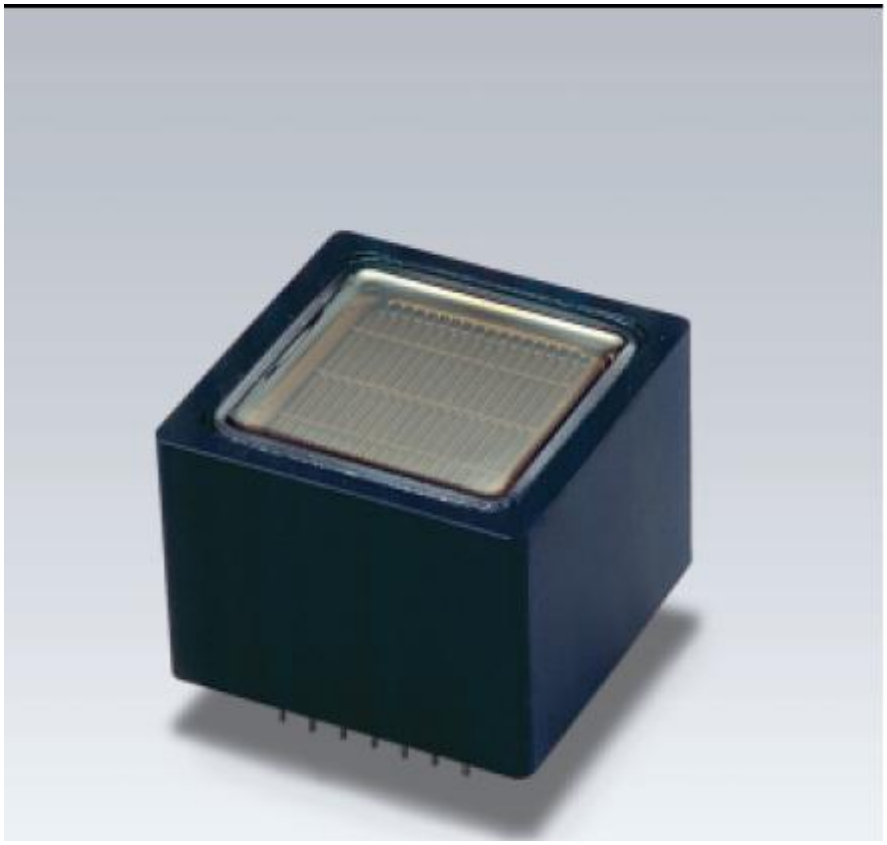
2013 yılında başlayan uzun arada yapılan iyileştirme ve geliştirme çalışmaları esnasında HF'te bulunan tek anotlu FÇT'ler, 4 anotlu FÇT'ler ile değiştirilecektir. Tek anotlu FÇT'lerin 4 anotlu FÇT'ler ile değiştirilmesinin amacı 4 anotlu FÇT'nin tek anotlu FÇT'ye göre daha düşük voltajda çalışabilmesi, daha ince ve geniş yüzeyli olması ve daha yüksek kazançlı olmasıdır. Şekil 4.7'de tek anotlu FÇT yerine yerleştirilmesi uygun görülen 4 anotlu FÇT gösterilmektedir.

Hamamatsu şirketi tarafından üretilen ve HF'e yerleştirilecek olan 4 anotlu FÇT'lerin model numarası R7600U-100-M4'tür. Bu FÇT'ler bir çok özelliğe sahiptir.

Bu özellikler ;

- $2x2$ çoklu anot, anot ebadı $9\ x\ 9\text{mm}^2$,
- 30 mm^2 süper bialkali fotokatot,
- Yüksek katot duyarlılığı,
- 10 aşamalı metal kanal dinot,
- Borosilikat cam pencere,
- 400 nm dalga boyunda maksimum kuantum verimliliği (QE) %34'tür. (Hamamatsu-Ocak 2010)

.



Şekil 4.7. 4 anotlu FÇT (Hamamatsu-2010-http://www.hamamatsu.com/resources/pdf/etd/R7600U-M4_TPMH1318E02.pdf).

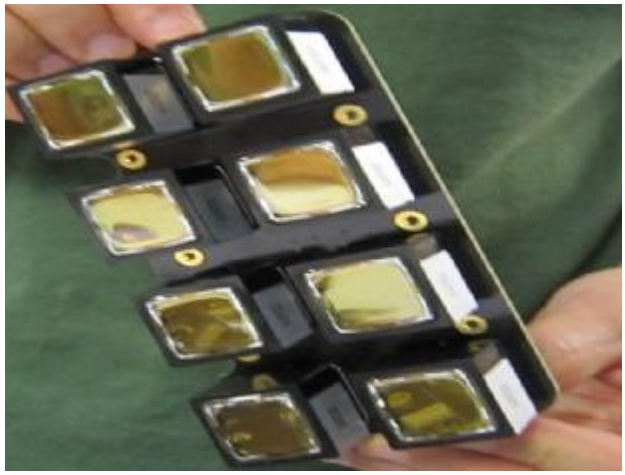
HF dedektörüne yerleşmesi planlanan, FERMİLAB'da test edilen 4 anotlu FÇT ve bunlara ait TabanTahtaları(TT)'nın dedektör içerisine yerleştirilmeden önce gürültü, sinyal, kazanç gibi değerlerinin tekrar test edilmesi gerekmektedir. Bu testleri gerçekleştirmek amacıyla CERN'ün Prevessin bölgesindeki 904 nolu binasında bir test düzeneği kurulmuştur. Bu test düzeneği ile KaranlıkKutu(KK) içerisine yerleştirilen FÇT ve TT'ler tekrar kontrol edilmektedir.

Test düzeneği KK01 ve KK02 olarak adlandırılan HF'nin iç düzeneğine uygun iki kutudan oluşmaktadır. Şekil 4.8.'de bu iki KK gösterilmektedir.

Şekil 4.8 KK01 ve KK02.

Her bir KK içerisinde üç adet TT (TTA, TTB, TTC) ve üç adet adaptör (AdaptörA, AdaptörB, AdaptörC) bulunmaktadır. Her bir TT'ye kazançlarına göre FÇT yerleştirilir. Yüksek kazançlı 8 FÇT TTA'ya, orta kazançlı 8 FÇT TTB'ye ve düşük kazançlı 8 FÇT ise TTC'ye monte edilmektedir. Şekil 4.9 KK içinde bulunan TT'leri, Şekil 4.10 ise TT'lere yerleştirilen FÇT'leri göstermektedir.

Şekil 4.9. KK içinde bulunan TT'ler.



Şekil 4.10. TT'lere yerleştirilen FÇT'ler.

FÇT'ler, FERMİLAB'dan gelen listelere göre (Çizelge 4.1'de örnek teşkil edilmek amacıyla TT 7, 8, 10'a ait FÇT'lerin dizilim sırası gösterilmiştir.) TT'lere, TT'ler de KK'lar içerisine monte edilir ve monte edilen her bir TT üzerine bir adaptör yerleştirilir. Adaptörler üzerine ise referans ve sinyal kabloları, her bir FÇT'ye 1 referans 1 sinyal kablosu gelecek şekilde monte edilir. Böylelikle bir KK'da 24 referans ve 24 sinyal kablosu bulunur. Son olarak yüksek voltaj kabloları TT'ye bağlanarak KK'nın iç düzeneği hazır hale getirilir. Şekil 4.11 TT'lere monte edilen yüksek voltaj kablolarını göstermekte iken Şekil 4.12 TT üzerine sabitlenmiş adaptör ile referans ve sinyal kablolarını göstermektedir.

Çizelge 4.1. TT 7, 8, 10'a ait FÇT'lerin dizilimi.

KARANLIK KUTU(KK)01

TABANTAHTASI(TT) 7

A	PMT_2	PMT_4	PMT_6	PMT_8
	JA0604	JA0082	JA0575	JA0565
	18	24	13	19
	PMT_1	PMT_3	PMT_5	PMT_7
	JA1194	JA1167	JA0108	JA1107
	16	22	14	20

TABANTAHTASI(TT) 8

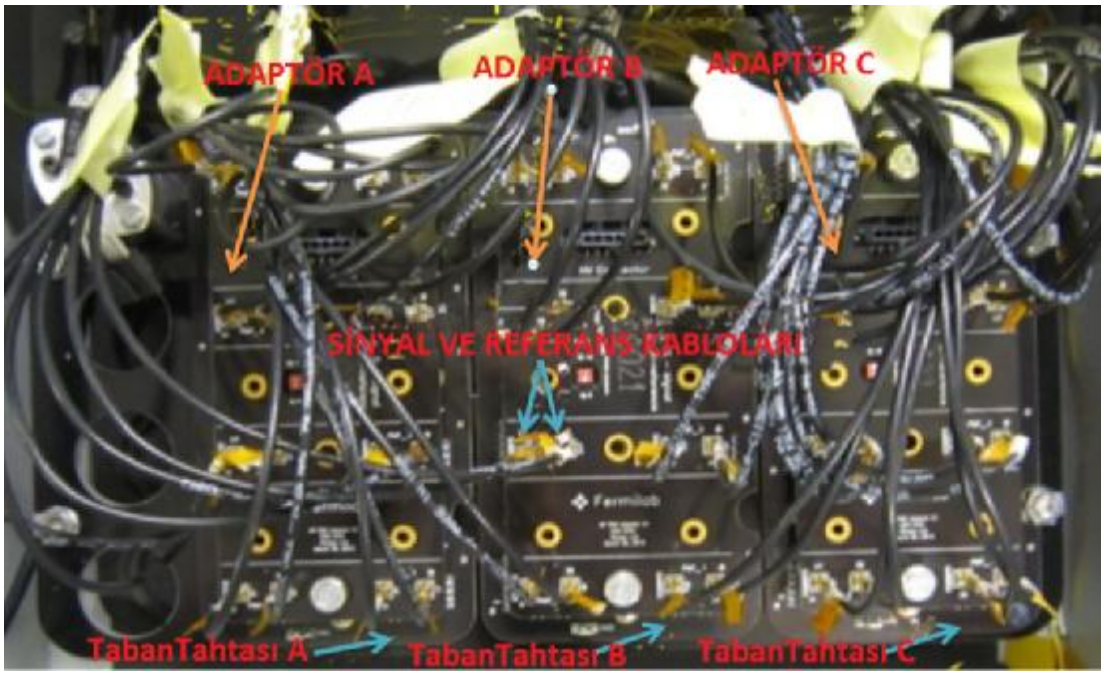
B	PMT_2	PMT_4	PMT_6	PMT_8
	JA0542	JA1293	JA0368	JA0821
	17	23	15	21
	PMT_1	PMT_3	PMT_5	PMT_7
	JA0626	JA0559	JA0321	JA0481
	6	12	1	7

TABANTAHTASI(TT) 10

C	PMT_2	PMT_4	PMT_6	PMT_8
	JA0338	JA0380	JA0461	JA0624
	4	10	2	8
	PMT_1	PMT_3	PMT_5	PMT_7
	JA0227	JA0343	JA0388	JA0537
	5	11	3	9

	1 sinyal 2 referans	4 sinyal 5 referans	7 sinyal 8 referans
#8	PMT-4B	PMT_3A	PMT_4A
	JA1293 - 23	JA1167 - 22	JA0082 - 24
#7	PMT_8B	PMT_7A	PMT_8A
	JA0821 - 21	JA1107 - 20	JA0565 - 19
#6	PMT_2B	PMT_1A	PMT_2A
	JA0542 - 17	JA1194 - 16	JA0604 - 18
#5	PMT_6B	PMT_5A	PMT_6A
	JA0368 -15	JA0108 - 14	JA0575 - 13
#4	PMT_3C	PMT_4C	PMT_3B
	JA0343 - 11	JA0380 - 10	JA0559 - 12
#3	PMT_7C	PMT_8C	PMT_7B
	JA0537 - 9	JA0624 - 8	JA0481- 7
#2	PMT_1C	PMT_2C	PMT_1B
	JA0227 - 5	JA0228 - 4	JA0626 - 6
#1	PMT_5C	PMT_6C	PMT_5B
	JA0388 - 3	JA0461 - 2	JA0321 - 1

Şekil 4.11. TT'lere monte edilen yüksek voltaj kabloları



Şekil 4.12. TT üzerine sabitlenmiş adaptör ile referans ve sinyal kabloları

İç düzeneği hazır hale gelen KK içindeki FÇT'lerden alınan anolog sinyaller QIE kartlara (yük toplayıcı) taşınır. QIE karta, gelen analog sinyalleri dijital sinyale çevirir ve bu sinyaller daha sonra ön uç elektroniklerdeki veri akış alımından

sorumlu olan hadronik tetikleme bölgesinde (HTR) toplanır. Daha sonra bu bilgiler CMSHCAL11 isimli bilgi depo alanında saklanır.

4 anotlu FÇT'lerin Tek foto elektron(SPE) çözünürlüğü, Elektronik Gürültü(pedestal), LED(Işık Yayan Diyot) sinyali ve kazanç özelliklerini test etmek için yukarıda anlatılan düzenekle birçok veriler alınmıştır. Bu veriler;

Tek foto-elektron (Single photo-electron) verileri

- SPE Run - 600V
- SPE Run - 650V
- SPE Run - 700V
- SPE Run - 750V

LED verileri -farklı yüksek voltajda

- LED Run (200 Şiddet) - 550V
- LED Run (200 Şiddet) - 600V
- LED Run (200 Şiddet) - 650V
- LED Run (200 Şiddet) - 700

Farklı yüksek voltaj değerlerinde LED tarama

- LED Tarama (150,200,255 Şiddet) - 550V
- LED Tarama (150,200,255 Şiddet) - 600V
- LED Tarama (150,200,255 Şiddet) - 650V
- LED Tarama (150,200,255 Şiddet) - 700V

FÇT LED analizi için LED Run_ verileri kullanılmaktadır. LED Run_ verisi 48 FÇT'den aynı anda alınan bir veridir ve içerisinde 48 FÇT'nin verileri ayrı ayrı saklanmaktadır. Burada her FÇT için veriler, ışık şiddeti (intensity) ve yüksek voltaj (HV- High Voltaj) değiştirilerek farklı konfigürasyonlar da alınabilmektedir. Bu analiz iki kısımdan meydana gelmektedir.

Birinci kısımda, test sisteminde alınan LED Run_000627.root verisi incelenmektedir. Bu veri LED Run (200 Şiddet) - 650V konfigürasyonunda alınmıştır.

İkinci kısım da ise, test sisteminde LED verileri -farklı yüksek voltajlarda,

- LED Run (200 Şiddet) - 550V
- LED Run (200 Şiddet) - 600V
- LED Run (200 Şiddet) - 650V
- LED Run (200 Şiddet) - 700V

şeklinde farklı konfigürasyonlarda alınan tüm verilerin ortalama LED enerji değerlerinin, fC cinsinden değerleri incelenmektedir.

Benzer şekilde, test sisteminde farklı yüksek voltaj değerlerinde LED tarama

- LED Tarama (150,200,255 Şiddet) - 600V olarak farklı konfigürasyonlarda alınan tüm verilerin ortalama LED enerji değerlerinin, fC cinsinden değerleri incelenmektedir.

Burada alınan veriler FÇT'lerin farklı ışık şiddeti ve yüksek voltajlardaki verileridir. Bu veriler incelenerek, HF'te hangi FÇT'nin etkileşme noktasına daha yakın hangi FÇT'nin etkileşme noktasına daha uzak bölgelere yerleştirilmesi gerektiği tespit edildi. Çizelge 4.2'de 200 ışık şiddetinde alınan LEDRun_ verileri gösterilmektedir. Çizelge 4.3'te ise 600V'ta alınan LEDRun_ verileri gösterilmiştir. Çizelge 4.4'te KK01 ve KK02'de bulunan TT, FÇT ve kanal numaraları gösterilmiştir.

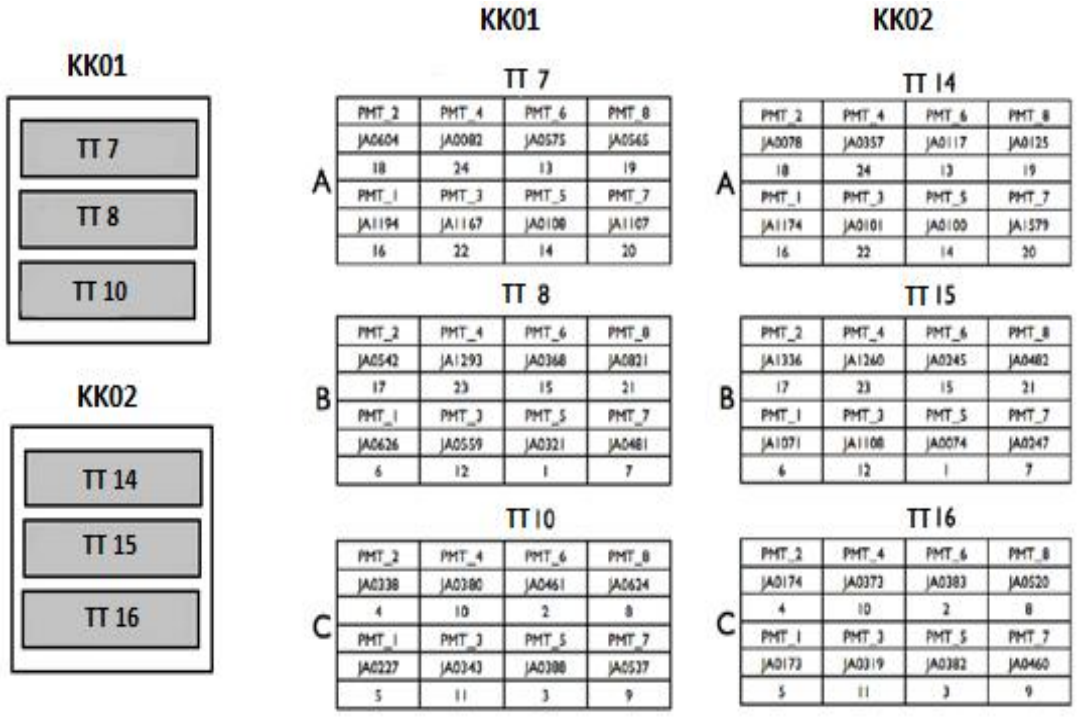
Çizelge 4.2. 200 ışık şiddetin'de alınan LED Run_ verileri.

Run_000590.root	Run_000809.root	Run_000738.root	Run_000689.root
Run_000591.root	Run_000828.root	Run_000739.root	Run_000690.root
Run_000592.root	Run_000829.root	Run_000776.root	Run_000691.root
Run_000622.root	Run_000830.root	Run_000777.root	Run_000720.root
Run_000623.root	Run_000869.root	Run_000778.root	Run_000721.root
Run_000624.root	Run_000870.root	Run_000810.root	Run_000722.root
Run_000643.root	Run_000871.root	Run_000811.root	Run_000752.root
Run_000644.root	Run_000599.root	Run_000812.root	Run_000753.root
Run_000645.root	Run_000600.root	Run_000837.root	Run_000754.root
Run_000683.root	Run_000601.root	Run_000838.root	Run_000785.root
Run_000684.root	Run_000625.root	Run_000839.root	Run_000786.root
Run_000685.root	Run_000626.root	Run_000872.root	Run_000787.root
Run_000704.root	Run_000627.root	Run_000875.root	Run_000813.root
Run_000705.root	Run_000652.root	Run_000876.root	Run_000814.root
Run_000706.root	Run_000653.root	Run_000584.root	Run_000815.root
Run_000749.root	Run_000654.root	Run_000585.root	Run_000846.root
Run_000750.root	Run_000686.root	Run_000586.root	Run_000847.root
Run_000751.root	Run_000687.root	Run_000628.root	Run_000848.root
Run_000767.root	Run_000688.root	Run_000629.root	Run_000877.root
Run_000768.root	Run_000717.root	Run_000630.root	Run_000878.root
Run_000769.root	Run_000718.root	Run_000661.root	Run_000879.root
Run_000807.root	Run_000719.root	Run_000662.root	
Run_000808.root	Run_000737.root	Run_000663.root	

Çizelge 4.3. 600V'ta alınan LED Run_ verileri.

Run_000587.root	Run_000590.root	Run_000749.root	Run_000593.root
Run_000588.root	Run_000591.root	Run_000750.root	Run_000594.root
Run_000589.root	Run_000592.root	Run_000751.root	Run_000595.root
Run_000640.root	Run_000622.root	Run_000767.root	Run_000646.root
Run_000641.root	Run_000623.root	Run_000768.root	Run_000647.root
Run_000642.root	Run_000624.root	Run_000769.root	Run_000648.root
Run_000701.root	Run_000643.root	Run_000807.root	Run_000707.root
Run_000702.root	Run_000644.root	Run_000808.root	Run_000708.root
Run_000703.root	Run_000645.root	Run_000809.root	Run_000709.root
Run_000764.root	Run_000683.root	Run_000828.root	Run_000770.root
Run_000765.root	Run_000684.root	Run_000829.root	Run_000771.root
Run_000766.root	Run_000685.root	Run_000830.root	Run_000772.root
Run_000825.root	Run_000704.root	Run_000869.root	Run_000831.root
Run_000826.root	Run_000705.root	Run_000870.root	Run_000832.root
Run_000827.root	Run_000706.root	Run_000871.root	Run_000833.root

Çizelge 4.4. KK01 ve KK02 de bulunan TT, FÇT ve kanal numaraları



FÇT LED analizinin birinci kısmında, test sisteminde 200 ışık şiddetinde ve 650V'ta alınan LED Run_000627.root verisinin değerleri incelenmektedir. Alınan her veri Çizelge 4.4'te gösterildiği gibi TT, FÇT ve kanal numarası sırasıyla TT –PMT_ (kanal numarası) olacak şekilde ifade edilmiştir.

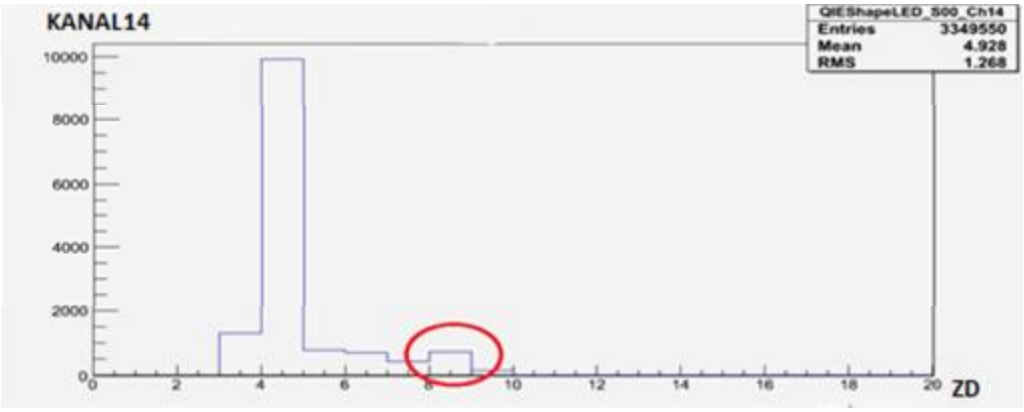
Şekil 4.13. (a), (b) ve (c)'de sırasıyla KK01'deki TT7 –PMT_5 (14), TT8 –PMT_3 (12), TT10 –PMT_2 (04)'ün sinyal değerlerinin, zaman dilimlerine karşı değerleri gösterilmektedir.

Şekil 4.14'te ise (a), (b) ve (c)'de sırasıyla KK02 de ki TT14 –PMT_5 (14), TT15 –PMT_3 (12), TT16 –PMT_2 (04)'ün sinyal değerlerinin, zaman dilimlerine karşı değerleri gösterilmektedir.

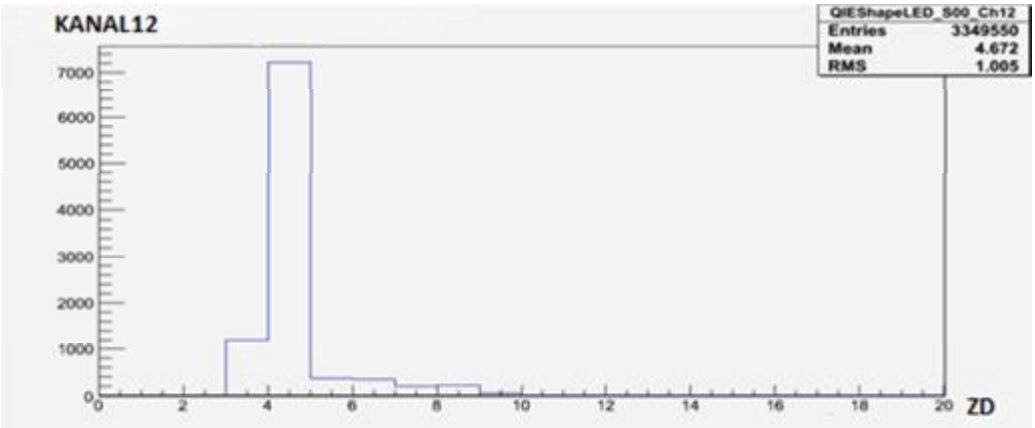
Bu testte kullanılan veri edinim sistemi 10 tane 25ns'lik Zaman Dilimin(ZD)'den oluşmaktadır. Sistem LED sinyali 4. Zaman dilimine denk gelecek şekilde ayarlanmıştır. Bu nedenle maksimum sinyalin bu zaman diliminde olması beklenir.

Histogramlarda X-ekseni FÇT'den alınan verinin ZD değerini, Y-ekseni ise olay sayısını gösterir. Her bir FÇT için bu histogramlar incelenmektedir. Bir FÇT'den tam verim alınabilmesi için ortalama 4 ZD civarında bir tepe görülmesi beklenmektedir. 4 ZD seçilmesinin özel bir nedeni yoktur. Histogramda beklenen tepe değeri dışında bir tepe daha oluşursa bu o FÇT'nin yüksek verimli olduğu anlamına gelir. Yüksek verimli olan FÇT'lerde etkileşim noktasından uzak bölgelere monte edilir.

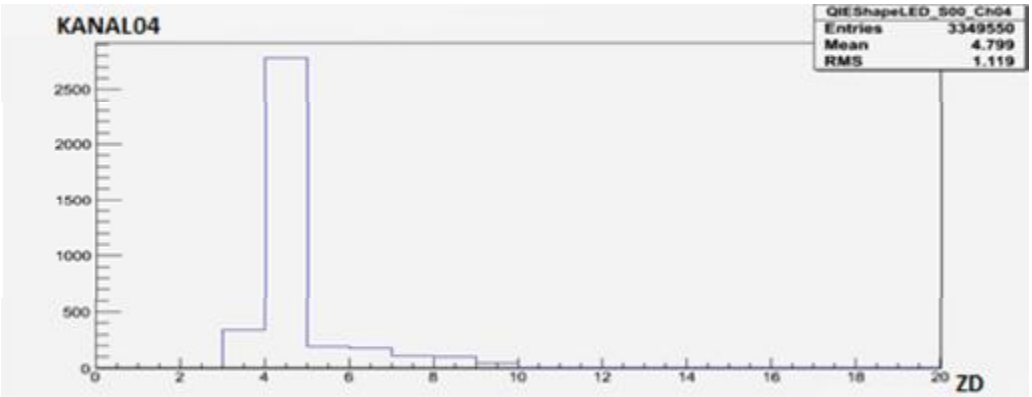
Şekil 4.13. (b) ve (c)'de görüldüğü üzere FÇT'lerin ortalama değerleri 4 ZD civarında tek bir tepe oluştururken (a)'da ikinci bir tepe bulunmaktadır. Yine Şekil 4.14. (b) ve (c)'de FÇT'lerin ortalama değerleri 4 ZD civarında tek bir tepe oluştururken (a)'da ikinci bir tepe bulunmaktadır. İkinci bir tepeye sahip olan Şekil 4.13. (a) ve Şekil 4.14. (a)'da ki FÇT'ler yüksek verimli olmalarından dolayı etkileşim noktasından uzak bölgelere monte edilecektir.



(a) TT7 –PMT_5 (14).



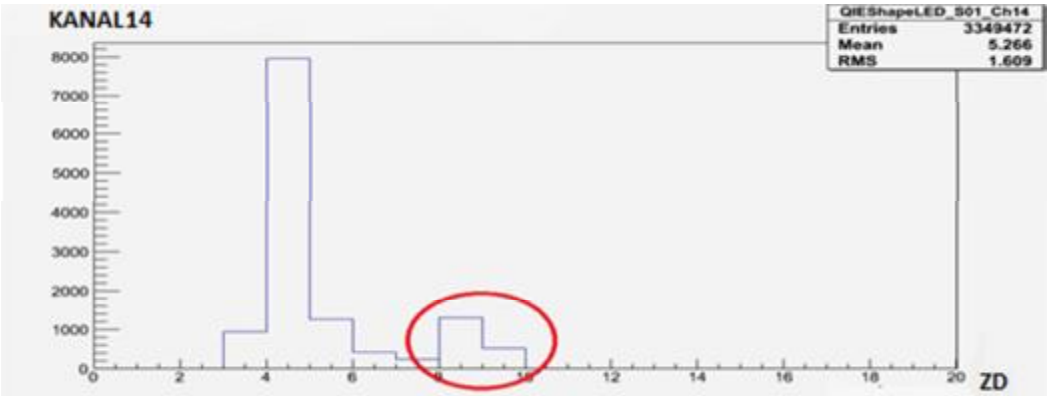
(b) TT8 –PMT_3 (12).



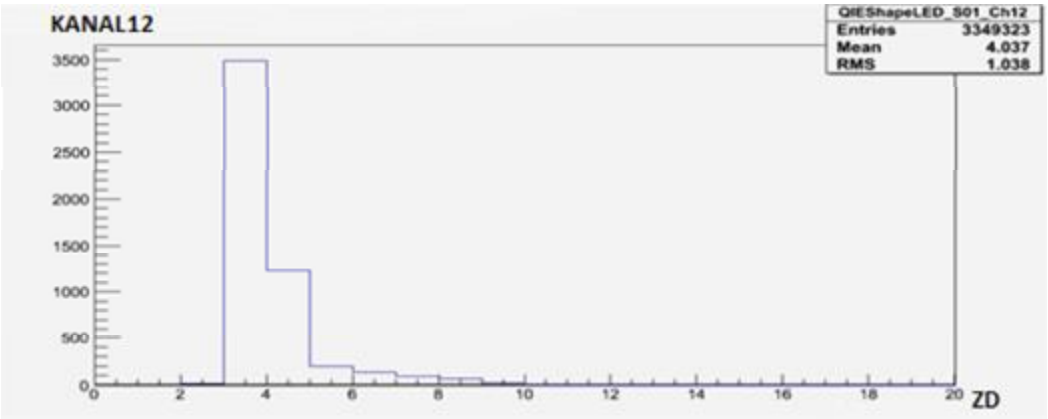
(c) TT10 –PMT_2 (04).

Şekil 4.13. (a), (b) ve (c)'de sırasıyla KK01 deki TT7 –PMT_5 (14), TT8 –PMT_3 (12), TT10 –PMT_2 (04)'ün sinyal değerlerinin, zaman dilimlerine karşı değerleri gösterilmektedir.

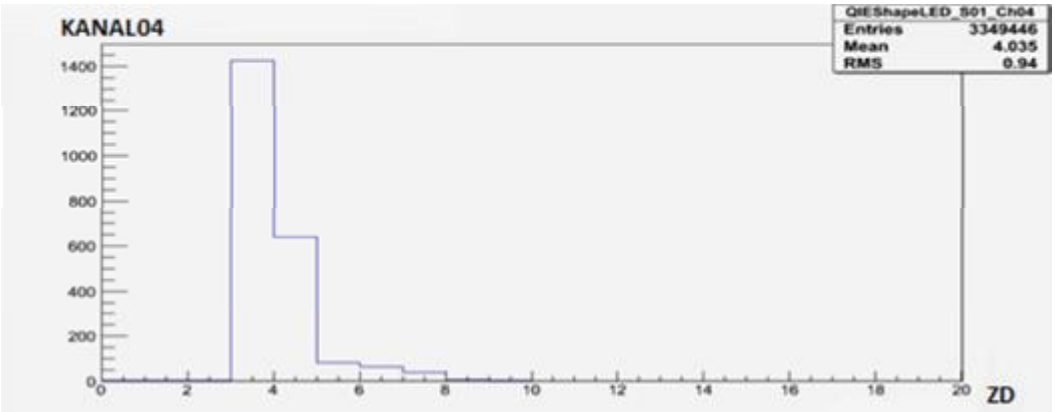
.



(a) TT14 –PMT_5(14).



(b) TT15 –PMT_3(12).



(c) TT16 –PMT_2 (04).

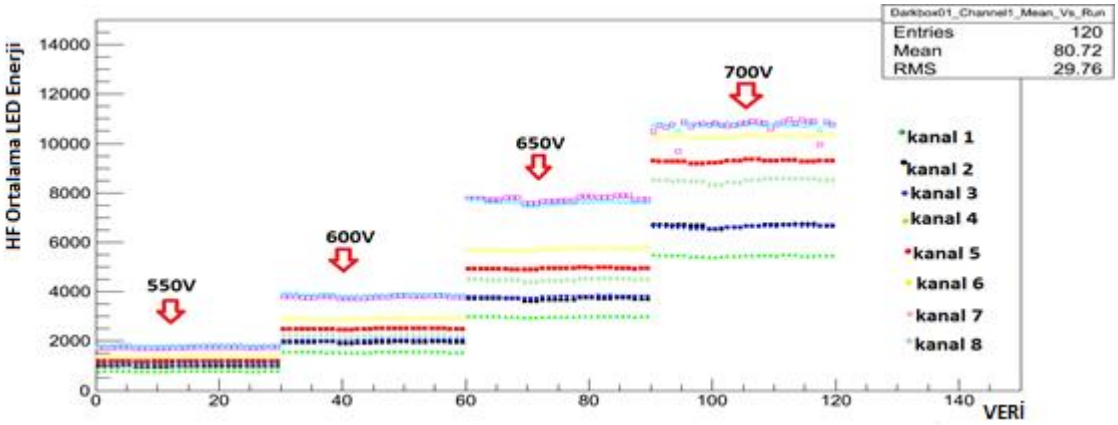
Şekil 4.14 (a), (b) ve (c)'de sırasıyla KK02 de ki TT14 –PMT_5 (14), TT15 –PMT_3 (12), TT16 –PMT_2 (04)'ün sinyal değerlerinin, zaman dilimlerine karşı değerleri gösterilmektedir.

FÇT LED analizinin ikinci kısmında, test sisteminde alınan 200 ışık şiddetindeki tüm verilerin, değişen yüksek voltajdaki (550V, 600V, 650V, 700V)

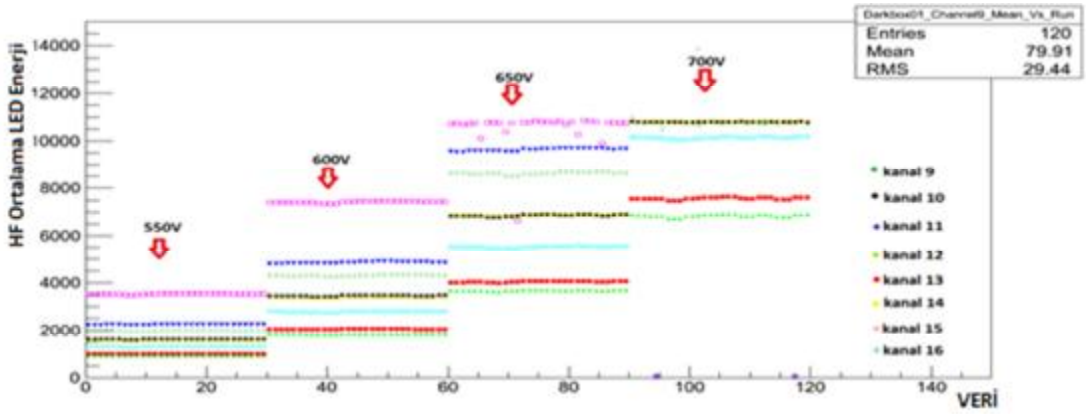
ortalama LED enerji değerinin, fC cinsinden değerleri incelenmiştir. Bu histogramların incelenmesinin nedeni tüm FÇT'lerin değişen yüksek voltajdaki tüm fC değerlerinin aynı anda görülebilmesidir. Histogramlarda her bir kanal bir FÇT'ye karşılık gelmektedir. Histogramlarda ilk 8 kanal için sabit ışık şiddeti altında, 4 farklı yüksek voltaj değeri için 120 veri alınmıştır. Histogramlar incelendiğinde ilk 8 kanal için sabit ışık şiddeti altında, sabit yüksek voltaj değeri için 30 veri alınmıştır. Bu 30 verinin ortalama LED enerji değeri yaklaşık aynı olmalıdır. Aksine çok farklı değerler okunuyor ya da hiçbir değer okunmuyorsa bu FÇT'lerde sorun vardır.

Şekil 4.15 (a), (b) ve (c) sırasıyla KK01'deki TT7, TT8 ve TT10'da bulunan kanalların ortalama LED enerji değerinin, 120 veriye karşı değerleri gösterilmektedir.

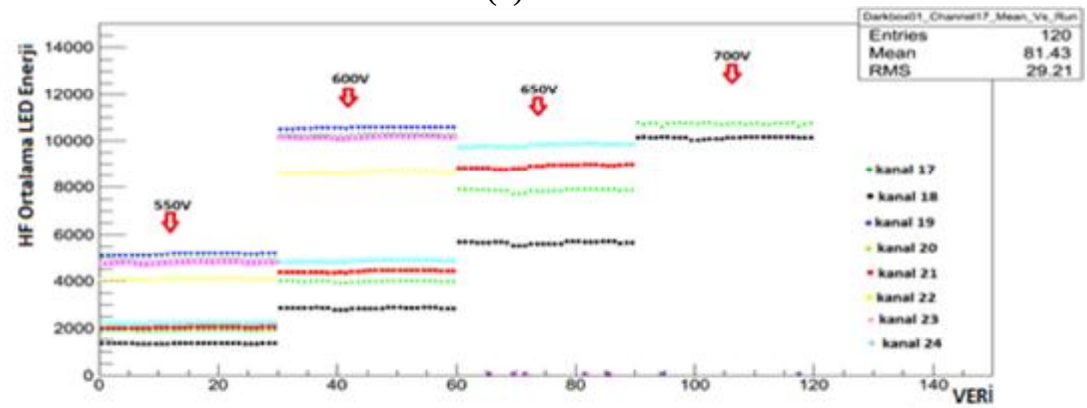
Şekil 4.16 (a), (b) ve (c) sırasıyla KK02'deki TT14, TT15 ve TT16'da bulunan kanalların ortalama LED enerji değerinin, 120 veriye karşı değerleri gösterilmektedir.



(a) TT7



(b) TT8

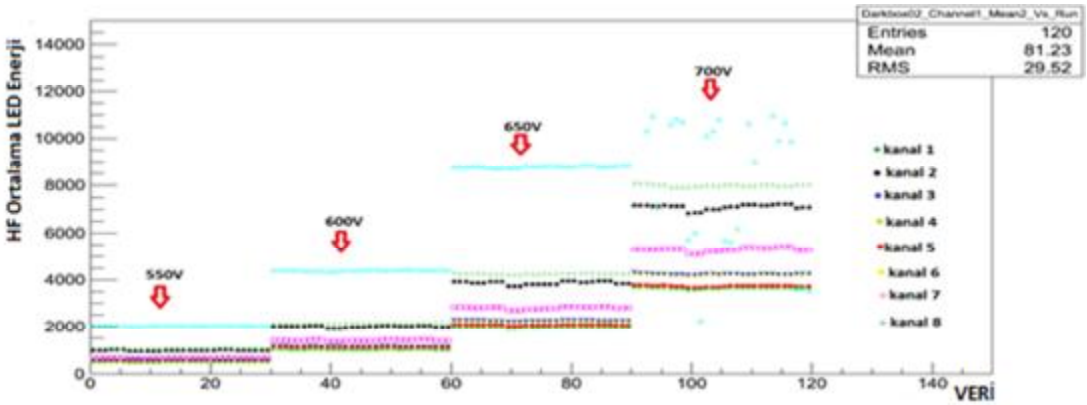


(c) TT10

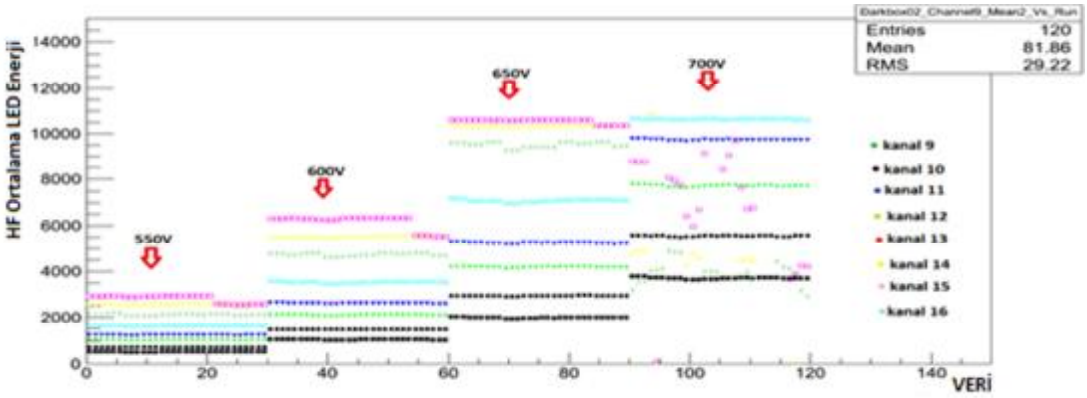
Şekil 4.15. (a), (b) ve (c) sırasıyla KK01'deki TT7, TT8 ve TT10'da bulunan kanalların ortalama LED enerji değerinin, 120 veriye karşı değerleri gösterilmektedir.

Şekil 4.15 (a)'da kanal7 (TT8-PMT_7)'den, 700V ve Şekil 4.15.(b)'de kanal15 (TT8-PMT_6)'ten 650V'ta alınan verilerden bazıları, ortalama LED enerji değerinden daha düşük değer göstermektedir. Ayrıca Şekil 4.15 (b)'de kanal15 (TT8-

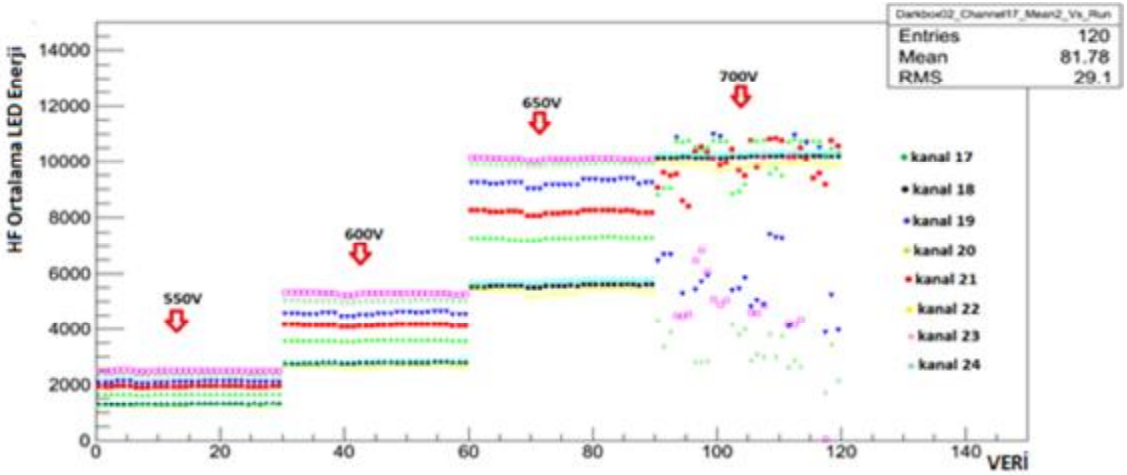
PMT_6) ve kanal11(TT10-PMT_3)'den 700V'ta alınan veriler, Şekil4.15.(c)'de kanal19 (TT7-PMT_8), kanal20 (TT7-PMT_7), kanal22 (TT7-PMT_3) ve kanal23 (TT8-PMT_4)'den 650V'ta alınan veriler ve kanal19 (TT7-PMT_8), kanal20 (TT7-PMT_7), kanal21 (TT8-PMT_8), kanal22 (TT7-PMT_3), kanal23 (TT8-PMT_4) ve kanal24 (TT7-PMT_4)'ten 700V'ta alınan veriler ortalama LED enerji değerinin sıfıra yakın olduğunu göstermektedir. Bu FÇT'lere uygulanan ışık şiddeti ve yüksek voltajda görülen sinyal değeri çok düşüktür. Bu FÇT'ler yüksek kazançlıdırlar, bu nedenle HF'te etkileşim noktasından uzak bölgelere monte edilmelidir.



(a) TT14



(b) TT15



(c) TT16

Şekil 4.16. (a), (b) ve (c) sırasıyla KK02'deki TT14, TT15 ve TT16'da bulunan kanalların ortalama LED enerji değerinin,120 veriye karşı değerleri gösterilmektedir.

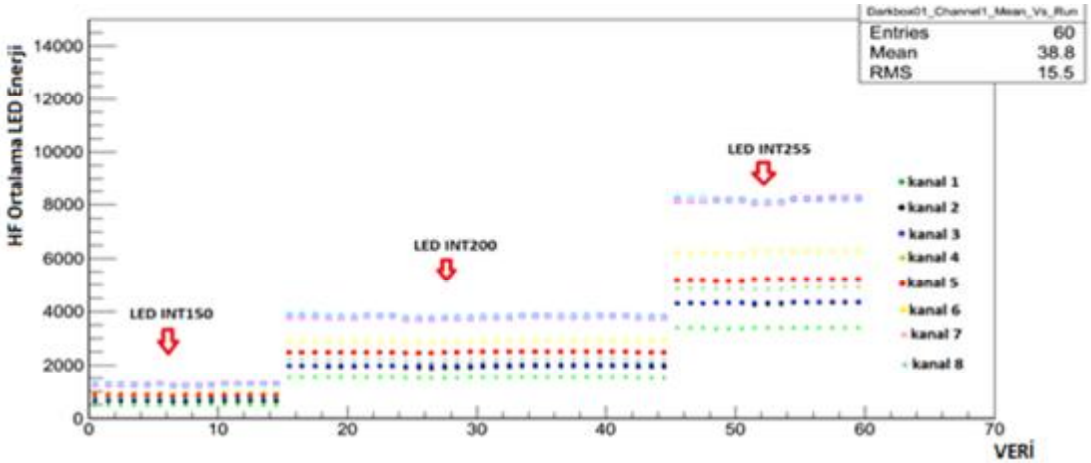
Şekil4.16 (a)'da kanal8 (TT16-PMT_8)'den 700V'ta alınan veriler, Şekil4.16.(b)'da kanal15 (TT15-PMT_6)'ten 600V'ta alınan veriler, kanal15 (TT15-

PMT_6) ve kanal12 (TT15-PMT_3)'den 650V'ta alınan veriler, kanal12 (TT15-PMT_3) ve kanal14 (TT14-PMT_5) ve kanal15 (TT15-PMT_6)'ten 700V'ta alınan veriler, Şekil4.16 (c)'de kanal17 (TT15-PMT_2), kanal19 (TT14-PMT_8), kanal20 (TT14-PMT_7), kanal21 (TT15-PMT_8) ve kanal23 (TT15-PMT_4)'ten 700V'ta alınan verilerden bazıları, ortalama LED enerji değerinden daha düşük değer göstermektedir. Bu FÇT'lere uygulanan ışık şiddeti ve yüksek voltajda görülen sinyal değeri çok düşüktür. Bu FÇT'ler yüksek kazançlıdırlar, bu nedenle HF'te etkileşim noktasından uzak bölgelere monte edilmelidir.

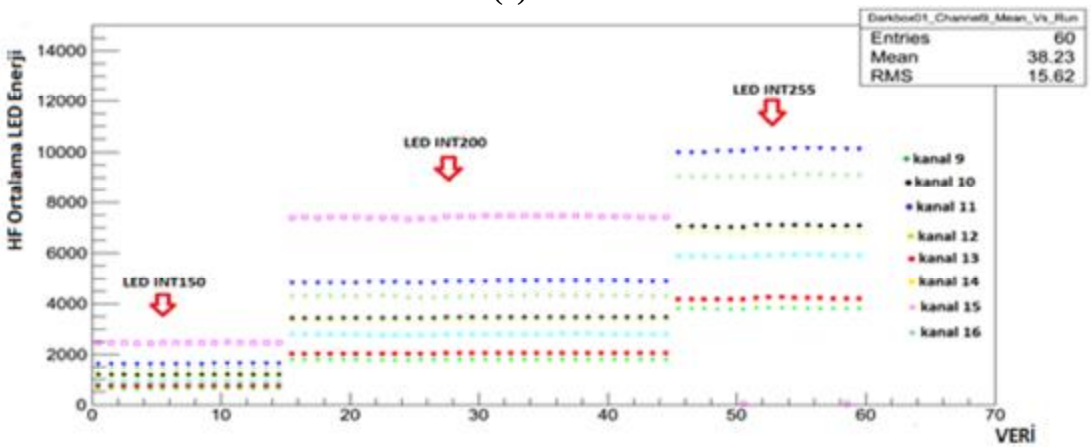
FÇT LED analizinin bu kısmında ise, test sisteminde alınan sabit 600V'taki tüm verilerin, değişen ışık şiddetindeki(150, 200, 255) ortalama LED enerji değerinin, fC cinsinde değerleri incelenmiştir. Histogramlarda her bir kanal bir FÇT'ye karşılık gelmektedir. Histogramlarda ilk 8 kanal için sabit yüksek voltajda (600V), değişen ışık şiddetinin her değeri için 60 veri alınmıştır. Histogramlar incelendiğinde ilk 8 kanal için sabit yüksek voltajda, sabit ışık şiddeti altındaki verilerin ortalama LED enerji değerleri yaklaşık aynı olmalıdır. Aksine çok farklı değerler okunuyor ya da hiçbir değer okunmuyorsa bu FÇT'lerde sorun vardır.

Şekil 4.17 (a), (b) ve (c) sırasıyla KK01'deki TT7, TT8 ve TT10'da bulunan kanalların ortalama LED enerji değerinin, 60 veriye karşı değerleri gösterilmektedir.

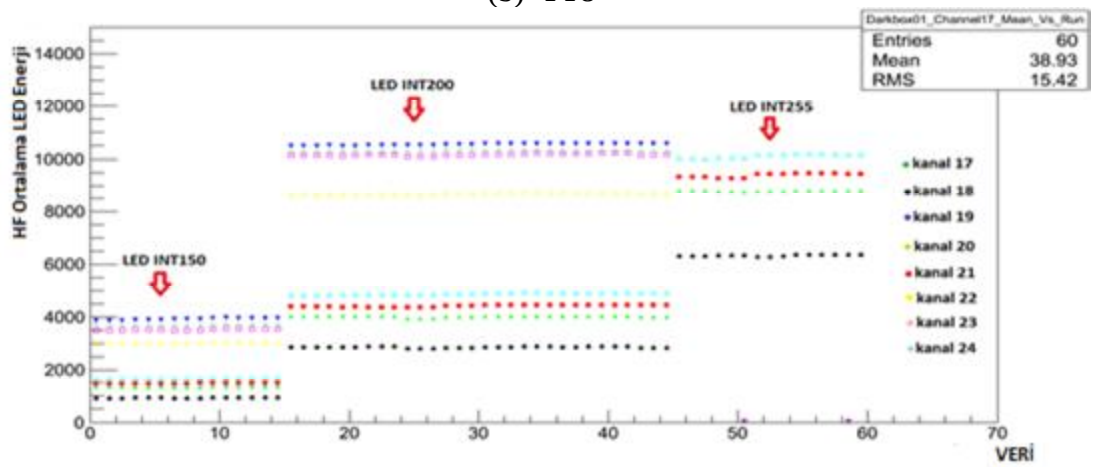
Şekil 4.18 (a), (b) ve (c) sırasıyla KK02'deki TT14, TT15 ve TT16'da bulunan kanalların ortalama LED enerji değerinin, 60 veriye karşı değerleri gösterilmektedir.



(a) TT7



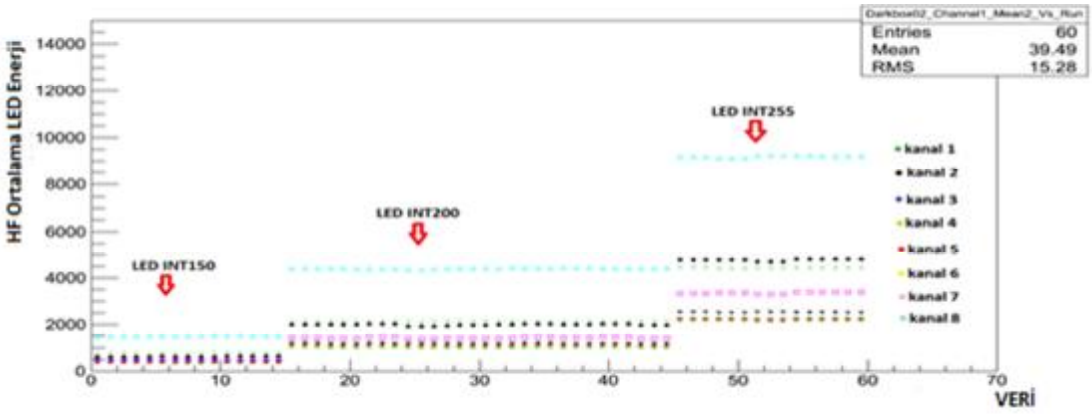
(b) TT8



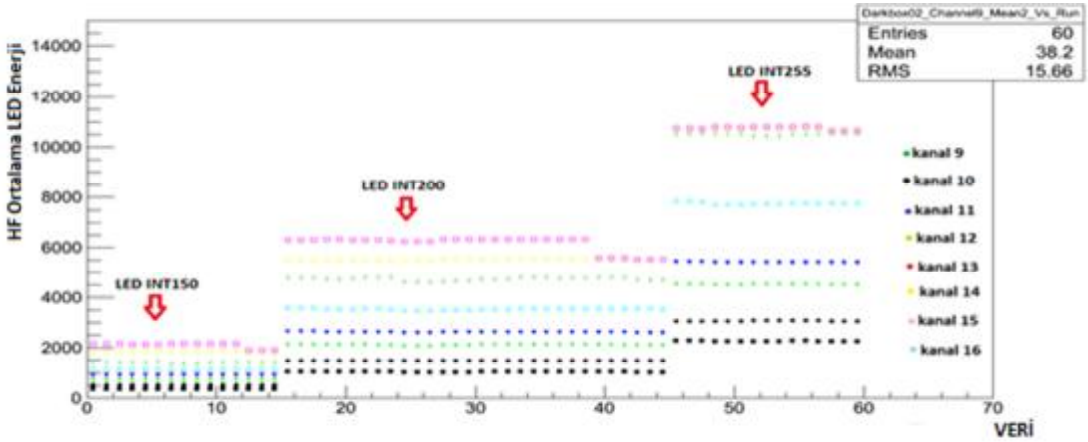
(c) TT10

Şekil 4.17. (a), (b) ve (c) sırasıyla KK01'deki TT7, TT8 ve TT10'da bulunan kanalların ortalama LED enerji değerinin 60 veriye karşı değerleri gösterilmektedir.

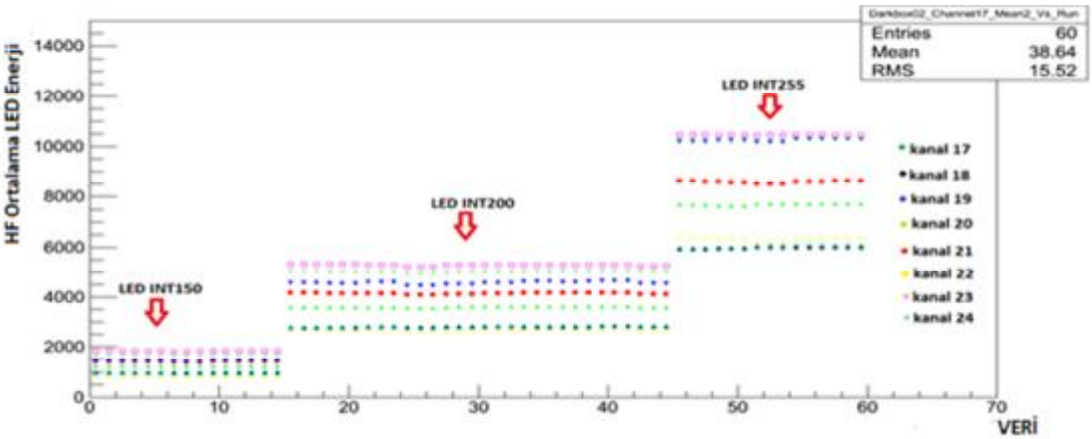
Şekil 4.17 (b)'de kanal15 (TT8-PMT_6)'ten ve Şekil 4.17.(c)'de kanal19 (TT7-PMT_8), kanal20 (TT7-PMT_7), kanal22 (TT7-PMT_3) ve kanal23 (TT8-PMT_4)'ten 255 ışık şiddetinde alınan veriler, ortalama LED enerji değerinin sıfıra yakın olduğunu göstermektedir. Bu FÇT'lere uygulanan ışık şiddeti ve yüksek voltajda görülen sinyal değeri çok düşüktür. Bu FÇT'ler yüksek kazançlıdırlar, bu nedenle HF'te etkileşim noktasından uzak bölgelere monte edilmelidir.



(a) TT14



(b) TT15



(c)TT16

Şekil 4.18. (a), (b) ve (c) sırasıyla KK02'deki TT14, TT15 ve TT16'da bulunan kanalların ortalama LED enerji değerinin, 60 veriye karşı değerleri gösterilmektedir.

Şekil 4.18 (b)'da kanal15 (TT15-PMT_6)'ten 200 ışık şiddetinde alınan veriler, ortalama LED enerji değerinden daha düşük değer göstermektedir. Bu FÇT'lere uygulanan ışık şiddeti ve yüksek voltajda görülen sinyal değeri çok düşüktür. Bu FÇT'ler yüksek kazançlıdırlar, bu nedenle HF'te etkileşim noktasından uzak bölgelere monte edilmelidir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

CMS deneyinde kullanılan HKAL'in alt dedektörlerinden biri olan İleri Hadron (HF) kalorimetresinde tek anotlu FÇT'ler bulunur ve bu FÇT'ler ışığı ölçülebilir elektrik akımına dönüştüren yüksek hassasiyette ve ultra hızlı tepki sağlayan çok yönlü cihazlardır. 2013 yılında başlayan uzun arada yapılacak olan iyileştirme ve geliştirme çalışmaları esnasında, HF kalorimetresinde kullanılan tek anotlu FÇT'ler daha yüksek kazanç sağlayan 4 anotlu FÇT'lerle değiştirilecektir. CERN'e gönderilmeden önce FERMİLAB'ta kontrol edilmiş ve HF'e yerleştirilecek olan bu 4 anotlu FÇT'lerin, taşınma sırasında oluşabilecek sorunlara karşı (kırılma, çizik, vb) ikinci kontrolleri yapılmaktadır. Bu sebeple CERN-Prevessin'de bulunan HO904 nolu binada HF'in elektroniğine benzer bir test düzeneğinde bu 4 anotlu FÇT'ler tekrar test edilmiştir. Bu analizde bu testte alınan lokal veriler kullanılarak FÇT'lerin LED verileri incelenmiştir.

2013 Ağustos-Ocak ayları arasında bu test düzeneğinde 2000 FÇT ve 350 civarı TT test edilmiştir. Bu FÇT'lerden alınan veriler sonucunda ise, bazı FÇT'lerden hiçbir veri alınamazken (cam kırık veya çizik, ayaklar kırık) bazı FÇT'lerden beklenenin dışında veriler gözlenmiştir. Yapılan çalışmalarda maksimum verim alınabilmesi için 4. ZD civarı bir tepe görülmesi beklenmekte olup büyük bir çoğunlukla bu değer gözlenmektedir. Bazı FÇT'lerin verilerinde 4. ZD dışında ikinci bir tepe daha gözlenmekte olup bu durum ise, o FÇT'nin yüksek kazançlı olduğu anlamına gelmektedir. Yüksek kazançlı olan FÇT'ler de etkileşim noktasından daha uzak bölgelere monte edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

AKGUN, 2003. CMS HF Calorimeter PMTs and Ξ^{+}_{c} Lifetime Measurement. University of Iowa, USA (PH.D,Thesis)

CMS Collaboration "Detector Performance and Software", CMS Physics Technical Design Report, Volume 1, (2006).

CMS Collaboration, 2008, "The CMS Experiment at the CERN LHC"

CMS HCAL Collaboration, 2008, "Design, Performance and Calibration of CMS Hadron Endcap Calorimeters", CMS Note, CMS NOTE 2008/010

CMS HCAL Collaboration, 2006, "Design, Performance and Calibration of CMS Hadron-Barrel Calorimeter Wedges", CMS Note, CMS NOTE 2006/138

CMS HCAL Collaboration, 2006, "Design, Performance and Calibration of CMS Forward Calorimeter Wedges", CMS Note, CMS NOTE 2006/044

CMS HCAL Collaboration, 2008, "Design, Performance and Calibration of CMS Hadron-Outer Calorimeter", CMS Note, CMS NOTE 2008/020

CMS Collaboration, 2013 "observation of a new boson at a mass of 125 GeV withthe CMS experiment at the LHC" CMS-HIG-12-028; CERN-PH-EP-2012- 220

CMS PHYSİCS ANALYSİS SUMMARY, 2011, Cms Pas Egm-10-006,

MASETTI, G., 2005. Search for the MSSM Neutral Higgs Bosons with the CMS Experiment at LHC, Bologna, Italy

MOORTGAT, F., 2004.Discovey Potential of MSSM higgs Bosons Using supersymmetric Decay Modes with the CMS Detector, Antwerpen

S.WOUTERS 2009-2010. Commissioning the CMS-detector at CERN: monitoring the RPC performance

HEERING A., ve diğerleri 2007,"Performance of silicon photomultipliers with the CMS HCAL front end electronics" Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A 576 (2007) 341-349

https://cms-docdb.cern.ch

https://cmsdocdb.cern.ch/cgibin/PublicDocDB/RetrieveFile?docid=6116&version=6&filename=CMShiggs2012_TR.docx

http://jinst.sissa.it/LHC/CMS/ ch03.pdf

http://jinst.sissa.it/LHC/CMS/ch04.pdf

http://jinst.sissa.it/LHC/CMS/ch05.pdf

https://cds.cern.ch /record /1355706/files/LHCC-P-004.pdf

http://physik.uibk.ac.at/hephy/muon/pmtcnste.pdf

http://wwweth.cern.ch/~disserto/IPPaboutUs/ParticlePhysics_eng.html

http://wwweth.cern.ch/~disserto/IPPaboutUs/ParticlePhysics_eng.html

https://espace.cern.ch/CRSS/default.aspx

http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machineoutreach/images/complex/Cern-complex.gif

http://cds.cern.ch/record/40525

http://lav01.sinp.msu.ru/cmsview3.gif

http://wwwiexp.desy.de/users/srivastava/RESEARCH%20INTERST.htm

http://lecb.physics.lsa.umich.edu/wl/umich/phys/um-cern-reu/2004/20040805-umwlap002-08-wagner/realaudio/sld003.htm

http://www.phy.olemiss.edu/HEP/cms/pixel/

http://cds.cern.ch/record/1203203

http://cms.web.cern.ch/news/electromagnetic-calorimeter

http://cds.cern.ch/record/974402

http://jinst.sissa.it/LHC/CMS/ ch07. pdf

http://www.chepreo.org/cms.htm

http:// jinst.sissa.it/LHC/CMS/ch05.pdf

http://cds.cern.ch/record/42594

http://cds.cern.ch/record/1431487

http://jinst.sissa.it/LHC/CMS/ch05.pdf

http://cds.cern.ch/record/998566

http://indico.cern.ch/event/179541/material/slides/1?contribId=0

http://cds. cern.ch/record/946271

http://physik.uibk.ac.at/hephy/muon/pmtcnste.pdf

ÖZGEÇMİŞ

29 Ekim 1987 yılında TARSUS/MERSİN'de doğdu. Lise öğrenimini TARSUS Lisesinde tamamladı, 2005 yılında da Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümüne girdi. 2005 yılında Çukurova Üniversitesi Yabancı Diller Yüksekokulu İngilizce eğitimi aldı. 2006 yılında Çukurova Üniversitesi Fizik bölümüne başladı. 2007 yılında Çukurova Üniversitesi Çift Anadal Programı Matematik bölümüne girdi. 2010 yılında Fizik ve Matematik bölümlerinden mezun olarak, 2011 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında tezsiz yüksek lisans (formasyon) eğitimi aldı. 2011 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında tezli yüksek lisans programına başladı. Bir yıllık ders aşamasından sonra 2012 yılında CERN'e gitti. Buradaki deneysel çalışmalara katılarak 2012 yılında geri döndü.