

**T.C.
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**CMS DENEYİNDEKİ HF KALORİMETRESİNDE KULLANILAN FÇT'LERİN
KAZANÇLARINA GÖRE SINIFLANDIRILMASI**

EŞREF TEKİN

FİZİK ANABİLİM DALI

ADYAMAN

2015

T.C.
ADİYAMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CMS DENEYİNDEKİ HF KALORİMETRESİNDE KULLANILAN FÇT'LERİN KAZANÇLARINA GÖRE SINIFLANDIRILMASI

Eşref TEKİN

Yüksek Lisans Tezi

Fizik Anabilim Dalı

Bu tez 28 / 08 /2015 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Bayram TALİ
BAŞKAN (DANIŞMAN)

Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU
ÜYE

Yrd. Doç. Dr. Necmettin NUR
ÜYE

Doç.Dr. Ramazan GÜRBÜZ
Enstitü Müdürü

Bu çalışma Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No:.....

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.

ÖZET

Yüksek Lisans tezi

CMS DENEYİNDEKİ HF KALORİMETRESİNDE KULLANILAN FÇT'LERİN KAZANÇLARINA GÖRE SINIFLANDIRILMASI

Eşref TEKİN

Adıyaman üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Bayram TALİ
Yıl: 2015, Sayfa sayısı: 66
Jüri : Yrd. Doç. Dr. Bayram TALİ
: Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU
: Yrd. Doç. Dr. Necmettin NUR

Compact Muon Solenoid (CMS) deneyi Büyük Hadron Çarpıştırıcı (BHÇ)'daki genel amaçlı iki deneyden biridir. CMS'deki Hadronik Kalorimetre (HKAL)'nin alt dedektörlerinden biri de İleri Hadronik Kalorimetredir (HF). HF'deki Foto Çoğaltıcı Tüp (FÇT)'lerin yapısal kusurları ve hüzme eksenine yakınlıkları veya uzaklıkları dolayısıyla değişik kazanç değerlerine sahiptirler. Bu tezde HF+'daki FÇT'lerin çalışma voltajı metodu yardımıyla gruplandırılarak FÇT'den elde edilen kazanç sinyallerinin tüpün yapısından ve hüzme eksenine uzaklığından bağımsız hale getirilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca çalışma voltajı metodu öncesi ve sonrası kazanç sinyalleri karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: CMS, HF, FÇT, Çalışma Voltajı, Kazanç

ABSTRACT

Master Thesis

PMTs WHICH ARE USED IN HF CALORIMETER OF CMS EXPERIMENT ORDERD BY GAIN

Eşref TEKİN

Adiyaman University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Bayram TALİ

Year: 2015, Pages: 66

Jury : Assist. Prof. Dr. Bayram TALİ

: Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU

: Assist. Prof. Dr. Necmettin NUR

The Compact Muon Solenoid (CMS) experiment is one of the two general purpose experiments at the LHC. One of the subsystem of Hadronic Calorimeter (HCAL) in the CMS is the Hadron Forward Calorimeter (HF). Because of structural defects and far away from beam pipe the HF's PMTs has different gain values. In this thesis it is aimed that make groups of PMTs of HF+ with respect to working voltage method and have a gain signals which are uncommitted from structural defects and far away from beam pipe. Moreover, the gains are compared before and after working voltage method.

Keywords: CMS, HF, FCT, Working Volage, Gain

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması, planlanması ve yazılmasında yardım ve desteklerini esirgemeyen kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. Bayram TALİ'ye teşekkürü borç bilirim.

Tez aşamasında ihtiyaç duyduğumuzda ilgi ve desteğini esirgemeyen, doktora çalışması yoğunluğunda bize zamanını ayıran Yalçın GÜLER'e teşekkür ederim.

Tezimi okuyup önerilerde bulunan sayın Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU ve Yrd. Doç. Dr. Necmettin NUR'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca hep yanımda olup bana maddi ve manevi destek veren eşime ve oğlum Ahmet'e teşekkür ederim

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

YEF	: Yüksek Enerji Fiziği
SM	: Standart Model
CERN	: Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
CMS	: Sıkı Müon Solenoidi
BHÇ	: Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
SLAC	: Stanford Doğrusal Hızlandırıcı Merkezi
EKAL	: Elektromanyetik Kalorimetre
HKAL	: Hadronik Kalorimetre
HB	: Hadronik Fıçı Kalorimetresi
HE	: Hadronik Kapak Kalorimetresi
HO	: Hadronik Dış Yüzey Kalorimetresi
HF	: İleri Kısım Hadronik Kalorimetre
HPD	: Hibrid Foto Diyot
PbWO ₄	: Kurşun-Tungsten Kristali
LED	: Işık Yayan Diyot
QIE	: Yük Okuyucu Kart
DC	: Doğru Akım
T	: Tesla
eV	: Elektron Volt
GeV	: Milyar Elektron Volt
TeV	: Trilyon Elektron Volt
L	: Işıklılık
$\sqrt{s}$	: Kütle Merkezi Enerjisi
γ	: Lorentz Faktörü
f	: Dönme Frekansı
k_B	: Demet Sayısı
N_p	: Demet Başına Proton Sayısı
ε_n	: Normlanmış Yayma Gücü

- β^* : Etkileşim Noktasındaki Betatron Fonksiyonu
F : Geçiş Açısından Kaynaklanan Azaltma Faktörü
 φ : Azimutal Açısı
 η : Psüdorapidite
 θ : Kutupsal Açısı

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Yüksek Enerji Fiziği	1
1.2. Standart Model (SM)	1
1.3. Hızlandırıcılar	3
1.4. Dedektörler	4
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1. Fotoçoğaltıcı Tüpler (FÇT).....	5
2.1.1. Foto katot.....	6
2.1.2. Dinotlar	7
2.1.3. Anot.....	8
2.1.4. Fotoçoğaltıcı tüplerin karakteristik özellikleri.....	8
2.1.4.a. FÇT'nin zaman karakteristiği.....	9
2.1.4.b. FÇT'nin doğrusallığı.....	9
2.1.4.c. FÇT'nin homojenliği.....	9
2.1.4.d. FÇT'nin karanlık akımı.....	10
3. MATERYAL VE METOD.....	11
3.1. Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi (CERN)	11
3.2. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ)	12
3.3. Compact Muon Solenoid (CMS) Deneyi.....	15
3.3.1. CMS koordinat sistemi	16
3.3.2. İzleyici sistemi.....	17
3.3.3. Süper Solenoid Manyeti	18
3.3.4. Müon odacıkları.....	19

3.3.5.	Kalorimetreler	21
3.3.5.a.	Elektromanyetik Kalorimetre (EKAL).....	23
3.3.5.b.	Hadronik Kalorimetre (HKAL).....	24
3.3.5.b.1.	Hadronik Fıçı Kalorimetresi (HB)	26
3.3.5.b.2.	Hadronik Uç Kapak Kalorimetresi (HE).....	28
3.3.5.b.3.	Hadronik Dış Kalorimetresi (HO).....	30
3.3.5.b.4.	İleri Hadron Kalorimetresi (HF)	31
4.	ARAŞTIRMA VE BULGULAR	36
4.1.	Çalışma Voltajı (Ç.V.) Öncesi FÇT Kazançları.....	38
4.2.	Çalışma Voltajının (Ç.V.) Belirlenmesi.....	40
4.3.	Çalışma Voltajı (Ç.V.) Sonrası FÇT Kazançları.....	47
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	50
	KAYNAKLAR	52
	ÖZGEÇMİŞ	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 4.1. HF ⁺ 'nın 1. Çeyrek, 2. Çeyrek, 3. Çeyrek ve 4. Çeyrek için Çalışma Voltajları.	43
---	----

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 0.1. SM'nin öngördüğü temel parçacıklar ve aileleri.....	2
Şekil 0.2. Modern dedektör kompleksinin şematik görüntüsü.....	4
Şekil 2.1. Bir foto-çoğaltıcı tüpün şematik gösterimi.	5
Şekil 2.2. Fotoçoğaltıcı tüpünde elektron çoğalması.	6
Şekil 2.3. Elektron-çoğaltıcı (dinot) tipleri.	8
Şekil 3.1. CERN hızlandırıcı kompleksinin görünümü.	11
Şekil 3.2. Büyük Hadron Çarpıştırıcısının merkezi görünümü.	14
Şekil 3.3. CMS deneyinin genel görünümü.	16
Şekil 3.4. CMS koordinat sistemi.	17
Şekil 3.5. İzleyicideki şerit dedektörlerin görünümü.	18
Şekil 3.6. Süperiletken mıknatıs.	19
Şekil 3.7. CMS deneyinin dört tane müon odacığı.	20
Şekil 3.8. 2015 yılı 13 TeV'de alınan bir veri de görülen müon ve dedektörün topladığı enerji.....	20
Şekil 3.9. Elektromanyetik ve Hadronik duşların oluşumu.	21
Şekil 3.10. CMS'nin EKAL kurşun tungstant (PbWO ₄) kristalleri.....	23
Şekil 3.11. CMS'deki HKAL'ın alt dedektörleri HB, HE, HO ve HF'nin şematik gösterimidir.	24
Şekil 3.12. CMS'deki hadronik kalorimetre.....	26
Şekil 3.13. HB'de özdeş 18 kama gösterilmekte.	27
Şekil 3.14. HB'de kamaların gösterimi.....	27
Şekil 3.15. $\Delta\phi=20^\circ$ açılara bölünmüş HB'nin görünüşü.	28
Şekil 3.16. Hadronik kapak genel görünümü.	29
Şekil 3.17. Uç kapak demir boyunduruğuna yerleştirilen HE	30
Şekil 3.18. HO'nun genel görünümü.	31
Şekil 3.19. HF'nin bir görünüşü.....	32
Şekil 3.20. Kuartz fiberlerinin yerleştirildiği HF kuleleri.....	32
Şekil 3.21. HF'nin uzun ve kısa liflerin ve FÇT'lerin görünümü.....	33
Şekil 4.1. Hüzme demeti eksenine göre HF+'nın ayrıldığı üç katman A hüzme eksenine en yakın, B orta uzaklıkta ve C en uzak katman.	37
Şekil 4.2. İlk çeyrekte yer alan tüm FÇT'lerin 650V'taki kazanç dağılımları.....	38
Şekil 4.3. İkinci çeyrekte yer alan tüm FÇT'lerin 650V'taki kazanç dağılımları.....	39
Şekil 4.4. Üçüncü çeyrekte yer alan tüm FÇT'lerin 650V'taki kazanç dağılımları.....	39
Şekil 4.5. Dördüncü çeyrekte yer alan tüm FÇT 'lerin 650V taki kazanç dağılımları. ..	40
Şekil 4.6. Üç değişik FÇT için uygulanan, düşük, orta ve yüksek voltaj değerlerinden elde edilen kazanç uygulanan uydurulma fonksiyonu.	41
Şekil 4.7. Üretici firmanın önerdiği Ç.V. ile uydurulan fonksiyondan elde edilen veriler yardımıyla hesaplanan Ç.V. lerinin oranlanması.	42

Şekil 4.8. İlk çeyrek için düşük, orta ve yüksek Ç.V. den elde edilen FÇT kazanç dağılımı.	44
Şekil 4.9. İkinci çeyrek için düşük, orta ve yüksek Ç.V. den elde edilen FÇT kazanç dağılımı.	44
Şekil 4.10. Üçüncü çeyrek için düşük, orta ve yüksek Ç.V. den elde edilen FÇT kazanç dağılımı.	45
Şekil 4.11. Dördüncü çeyrek için düşük, orta ve yüksek Ç.V. den elde edilen FÇT kazanç dağılımı.	45
Şekil 4.12. Tüm HFP için düşük, orta ve yüksek Ç.V. den elde edilen FÇT kazançlarının dağılımıdır.	46
Şekil 4.13. İlk çeyrekte yer alan tüm FÇT'lerin Ç.V.'deki kazanç dağılımlarını gösterir.	47
Şekil 4.14. İkinci çeyrekte yer alan tüm FÇT'lerin Ç.V.'deki kazanç dağılımlarını gösterir.	48
Şekil 4.15. Üçüncü çeyrekte yer alan tüm FÇT'lerin Ç.V.'deki kazanç dağılımlarını gösterir.	48
Şekil 4.16. Dördüncü çeyrekte yer alan tüm FÇT'lerin Ç.V.'deki kazanç dağılımlarını gösterir.	49
Şekil 5.1. Herbir çeyreğe uygulanan çalışma voltajı ve her bir kanalın kazanç değerleridir.	50
Şekil 5.2. Tüm HF+ için her bir kanala karşı kazanç dağılım grafiği.	51

1. GİRİŞ

1.1. Yüksek Enerji Fiziği

Yüksek Enerji Fiziği (diğer adıyla Parçacık Fiziği) temel parçacıkları ve parçacıklar arası etkileşimleri inceleyen önemli bir çalışma alanıdır. Temel parçacıkların yapısını anlayabilmek için yüksek enerjiye, yüksek enerjiye ulaştırılan parçacıkların da yapısını gözlemlemek için detektörlere ihtiyaç vardır. Dünya da birçok devlette bulunan parçacık fiziği laboratuvarlarında yüksek enerji fiziği (YEF) deneyleri yapılmaktadır. Yüksek enerjinin niçin gerekli olduğu hakkında birkaç neden vardır. Bu nedenlerden birisi ışığın dalga karakteristiğidir. Bir şeyleri görebilmemiz için üzerine ışık düşürmek gerekir. Bununla birlikte daha küçük bir şeyi görmek içinse ışığın dalga boyunun da daha küçük olması gerekmektedir, bu durumu ışıkla yapmak çok zor olacaktır. Fakat bu zorluğun elektron gibi yüklü parçacıklarla aşılması mümkündür. Elektronlar da dalga özelliğine sahip parçacıklardır, momentumları arttığında dalga boyları azalmaktadır. Böylece incelenen parçacık ne kadar hızlı giderse dalga boyu da o kadar azalır ve daha iyi çözünürlükte görüntü sağlar. Yüksek enerjiye ulaşmanın bir diğer önemli gerekliliği ise yeni parçacıkların oluşumunu sağlamak ve onların davranışının incelemekle ilgilenmemizdir. Bu amaçla geliştirilmiş birçok teori vardır; Standart Model (SM), Süper Simetrik Model ve Sicim Teorisi bunlardan bir kaçı olup, bunların arasından en öne çıkan SM'dir. Bunun sebepleri tezin ileriki sayfalarında tartışılacaktır.

1.2. Standart Model (SM)

SM doğada var olan tüm maddeyi ve dört temel kuvvetten üçünü tanımlamak, evrendeki parçacıkları sınıflandırmak ve bu parçacıkların arasındaki etkileşimleri incelemek amacıyla geliştirilmiş bir modeldir. Bu modelde bütün maddesel evren birbirleriyle elektromanyetik, zayıf ve şiddetli olmak üzere üç temel kuvvet aracılığıyla etkileşen kuark ve leptonlardan meydana gelir. SM'de temel parçacık olarak, altı çeşit kuark ve her birinin anti kuarkı, altı çeşit lepton ve her birinin anti leptonu olmak üzere 24 tane fermiyon vardır. Fermiyonları sınıflandırılması Şekil 1.1'de görüldüğü üzere üç madde ailesinden oluşmakta olup birinci aile en hafif, ikinci aile orta ağırlıkta ve üçüncü aile ise en ağır fermiyonlardan oluşur. Fermiyonların etkileşimini sağlayan ara

parçacıklar (bozonlar) şunlardır; sekiz adet gluon, üç adet zayıf etkileşme parçacıkları ve bir adet fotondur. Bozonlarda Şekil 1.1’ de görülür. Ayrıca SM’de ki kütleli parçacıklara kütle kazandıran Higgs bozonu da vardır.

Maddenin Üç Nesli (Fermiyonlar)				
	I	II	III	
kütle→	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
yük→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0 γ
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
ad→	u yukarı	c tılsım	t üst	foton
Kuarklar	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d aşağı	104 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s acıyıp	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b alt	0 0 1 g gluon
	<2.2 eV 0 $\frac{1}{2}$ ν_e elektron nötrino	<0.17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ müon nötrino	<15.5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau nötrino	91.2 GeV 0 1 Z^0 zayıf kuvvet
	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e elektron	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ müon	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tau	80.4 GeV ± 1 1 $W^\pm$ zayıf kuvvet
Leptonlar				Bozonlar (kuvvetler)

Şekil 1.1. SM'nin öngördüğü temel parçacıklar ve aileleri.
(https://tr.wikipedia.org/wiki/Temel_parçacık)

- Kuarklar ve leptonlar gerçekten temel parçacıklar mıdır?
- Görünen evren sadece ilk ailedeki iki kuark ve bir leptondan oluşuyorsa neden model de üç aile vardır?
- Evren'de gözlenen madde - anti madde tutarsızlığı nereden kaynaklanıyor?
- Model kütle çekim kuvveti (gravitasyon) için neden hiçbir şey söylemiyor?
- Karanlık madde ve karanlık enerjinin kaynağı nedir?
- Higgs parçacığının kütleindeki hiyerarşinin kaynağı nedir?

SM'in cevaplayamadığı sorular, SM'nin ötesinde yenilikçi fikir, düşünce ve teorilerin doğuşuna yol açmıştır. Bu yeni teori ve ileri sürülen fikirlerin kabul görmesi için deneysel olarak da ispatlanması gerekmektedir. Parçacık Fizikinde ortaya atılan

SM, SM Ötesi ve diğer teorilerin deneysel olarak gözlemlenmesi de oldukça önemlidir. Bu gözlemlerin yapılabilmesi için yüksek enerjilere çıkabilen hızlandırıcılara ve ortaya çıkan parçacıkları algılayabilen detektörlerle mümkündür. Bu amaçla dünyada kurulan en önemli merkezlerden biri de Avrupa Nükleer Araştırma Merkezidir (CERN).

1.3. Hızlandırıcılar

Parçacık Fiziğinin amacı maddenin en temel yapı taşlarını araştırmaktır. Bilindiği üzere madde atomik düzeyde elektron(e^-), proton (p^+) ve nötron (n^0) lardan oluşmaktadır. Elektronun kendisi temel bir parçacık iken proton ve nötron temel parçacık olmayıp daha temel parçacıklardan oluşmaktadır.

Maddenin daha da küçük boyutlarında incelemeler yapmak ancak yüksek enerjilere çıkmakla mümkün olmaktadır. Bu durum Heisenberg belirsizlik ilkesine ($\Delta x \Delta p \geq \hbar / 2$) de uygundur. Yüksek enerji fiziğinde daha yüksek enerjilere çıkmak için parçacık hızlandırıcıları kullanılır. Daha yüksek enerjilere çıkmak daha büyük kütleli parçacıkların oluşmasına imkan tanır.

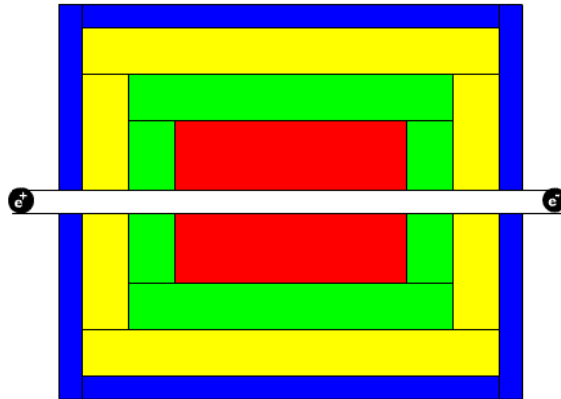
Hızlandırıcıların en temel amaçlarından biri, maddenin temel yapı taşlarını ve aralarındaki etkileşimleri incelemektir. Bunun yanı sıra hızlandırıcılar tıp alanında, sanayi ve teknolojik malzemelerin dayanıklılığının, yapısının test edilmesinde kullanılır. Hızlandırıcılar yüksek teknoloji gerektirir ve bir hızlandırıcıda parçacıkları hızlandırmak için yüksek elektrik ve/veya manyetik alanlarından yararlanır.

Hızlandırıcılar geometrik olarak dairesel ve doğrusal olmak üzere iki kısımda incelenirler. Doğrusal hızlandırıcılarda yüklü parçacıklar, doğrusal yol boyunca uygulanan elektrostatik alanlar ve radyofrekans (RF) alanlarının yardımıyla hızlandırılır. Doğrusal hızlandırıcıya televizyon tüpü örnek verilebilir. Dünyada ki en gelişmiş doğrusal hızlandırıcıya örnek olarak SLAC gösterilebilir ayrıca gelecekte daha gelişmişlerinin planları yapılmaktadır (örneğin ILC). Bu tür hızlandırıcıların çalışma ilkesi basit olmasına rağmen istenilen düzeydeki enerjiye çıkmak için çok uzun hızlandırıcılara ihtiyaç duyulur ve bu da maliyeti yükseltir. Tam da bu sebepten dolayı diğer bir hızlandırıcı olan dairesel hızlandırıcılar yapılmaktadır. Dairesel hızlandırıcılarda yüklü parçacıklar veya iyonlar istenilen enerjiye ulaşınca kadar aynı dairesel yörüngede defalarca tur attırılarak hızlandırılırlar. Bu yüzden günümüzde

genellikle çok yüksek enerjilere çıkmak için dairesel hızlandırıcılar kullanılırlar. Dairesel hızlandırıcılara iyi bir örnek olarak LHC gösterilebilir. Doğrusal ya da dairesel hızlandırıcılarda hızlandırılan parçacıklar sabit hedefe çarptırılabilceği gibi birbirleriyle kafa-kafaya da çarpıştırılabilirler. Çarpışmalardan sonra parçacıklar ışıma yaparak enerjilerinin bir kısmını kaybederler veya yeni parçacıklar üretilir. Çarpışma sonucu kaybedilen enerji ile momentumun ölçümü ve oluşan yeni parçacıkların özelliklerinin belirlenmesi için çarpışma noktasında parçacıkları belirleme teknikleri farklı olan çeşitli dedektörler bulunmaktadır. Günümüzde Dünya’da ki en büyük hızlandırıcı ve dedektör kompleksi CERN’deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı üzerindedir.

1.4. Dedektörler

Dedektörlerin asıl amacı hızlandırılarak çarpıştırılan yüklü parçacıklardan, çarpışma sonucu ortaya çıkan yeni parçacıkların özelliklerini incelemektir. Fizik’te parçacıkların yörünge bilgileri pek önemlidir. Zira eğer bir parçacığın yörüngesi bilinirse o parçacığın hareket denkleminde yola çıkarak, parçacıkla ilgili bilgi elde edilebilir (enerjisi, momentumu, yükü gibi). Değişik parçacıkların momentum ve enerjilerinin ölçülebilmesi için birden fazla dedektörün birlikte çalışması gerekmektedir. Bu nedenle modern dedektörler soğansı bir yapıya sahip olup bir birini sarmaktadır. Şekil 1.2. de modern dedektör kompleksinin şematik bir görüntüsünü görmek mümkündür.



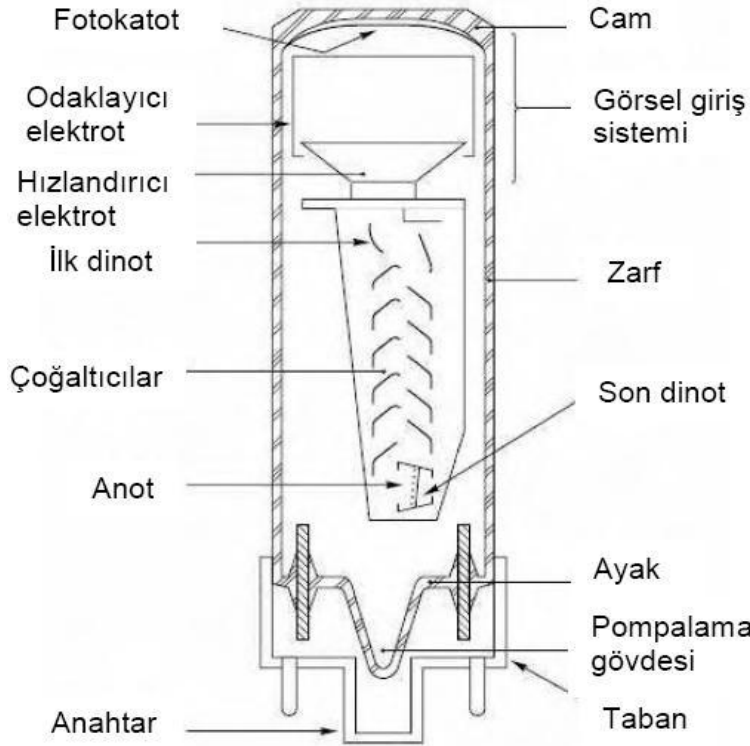
Şekil 1.2. Modern dedektör kompleksinin şematik görüntüsü.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Fotoçoğaltıcı Tüpler (FÇT)

Işık hüzmelerini elektrik akımına dönüştüren aygıtlara fotoçoğaltıcılar denir. Yüksek enerji fiziğinde ve diğer pek çok alanda sıkça başvurulan aygıtlardır. YEF deneylerinde daha çok sintilatör detektörleri ile birlikte kullanılan FÇT'ler oldukça duyarlı aygıtlardır. Şekil 2.1'de tipik bir fotoçoğaltıcının şematik görünümü gösterilmektedir. Bir fotoçoğaltıcı temelde şu ana bölümlerden oluşmaktadır;

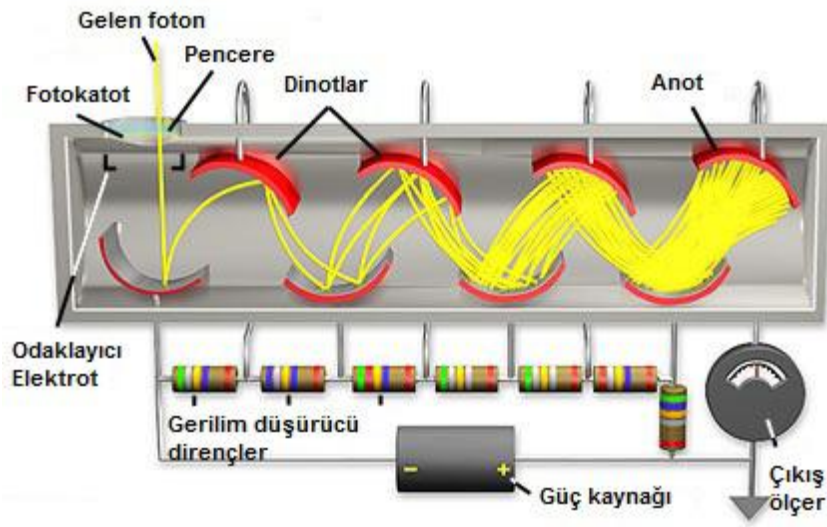
- Bir foto katot,
- Bir elektron toplayıcı sistem,
- Bir elektron çoğaltıcı bölüm,
- Bir anottan meydana gelmektedir.



Şekil 2.1. Bir foto-çoğaltıcı tüpün şematik gösterimi.
(Philips,1994)

Gelen fotonlar fotokatoda çarparak, fotoelektrik etkiyle bir elektron yayımlar (koparırlar). Çalışma sırasında uygulanan yüksek gerilimden ötürü yayımlanan bu

elektron ilk dinota hızlanarak yönelir ve çarpar. İlk dinottaki bu çarpışma sonucunda elektron enerjisinin bir kısmını dinottaki elektronlara aktararak, ikincil elektronların yayımlanması sağlanmış olur. Bu ikincil elektronlar da bir sonraki dinota yönelip hızlanmaya devam eder. İşte bu olay peş peşe devam edip dinotların olduğu sıra boyunca elektron şelalesi oluşur. Bu elektron sürüsü, anotta toplanıp analiz edilir bir akım değerine dönüştürülür. Bir foto-çoğaltıcının foto-yayınım ve ikincil yayınımdan ibaret olan iki tane esas işlevi vardır. Foto katotan kopan bir elektronun anoda giderken çoğalmasının şematik gösterimi Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2. Fotoçoğaltıcı tüpünde elektron çoğalması.
(<http://learn.hamamatsu.com/articles/images/photomultiplier.jpg>).

2.1.1. Foto katot

Gelen bir foton bir FÇT’nin foto katotuna çarparak enerjisini fotoelektrik olay etkisiyle katota aktararak elektronların kopmasına ve akımın oluşumuna neden olmaktadır. Bu akımın verimliliği, yani foto katotun duyarlılığı (hassaslığı) gelen fotonun dalga boyuna göre değişir. Gelen fotonun (ışığın) dalga boyu ile foto katot arasındaki bu durum spektral tepki diye de adlandırılır. Ancak tüm metaller ve her ışık böylesi etki yapmaz. Foto katota çarpan foton, katotta bulunan elektronlarca soğurulur ve bu emilen foton elektronların enerji seviyesini artırır ve onları bir sonraki yörüngeye çıkarır veya koparır. Bununla birlikte elektronun foto katottan kurtularak anota doğru, oluşturulan gerilim sayesinde hareketini sağlar. Bu da, anot ile katot arasında bir devre

oluşturur ve akımın karşı tarafa geçmesini sağlar. İşte bu olaya fotoelektrik olay denir. Havası alınan bir tüpün içine katot ve anot konularak bir fotoelektrik düzeneği oluşturulabilir. Böyle bir düzenekte katot ve anot iki elektrot gibi varsayılabilir.

FÇT’lerde kullanılan katotun yapıldığı yarı iletken tabaka, foto yayılım özelliğine sahiptir. FÇT’lerde kullanılan foto-katotlar iki çeşittir:

1. Yarı-şeffaf katot: Giriş penceresinin içerisine yerleştirilen yarı-şeffaf katodlar genellikle tercih edilip kullanılan çeşittir. Katotun üzerine yerleştirildiği düz veya bombeli yapıdaki camın kapladığı alan 10 mm ile 100 mm çaplı bir yeri kaplayacak büyüklüktedir. Elektronlar gelen ışığa zıt yönde yayımlanır.

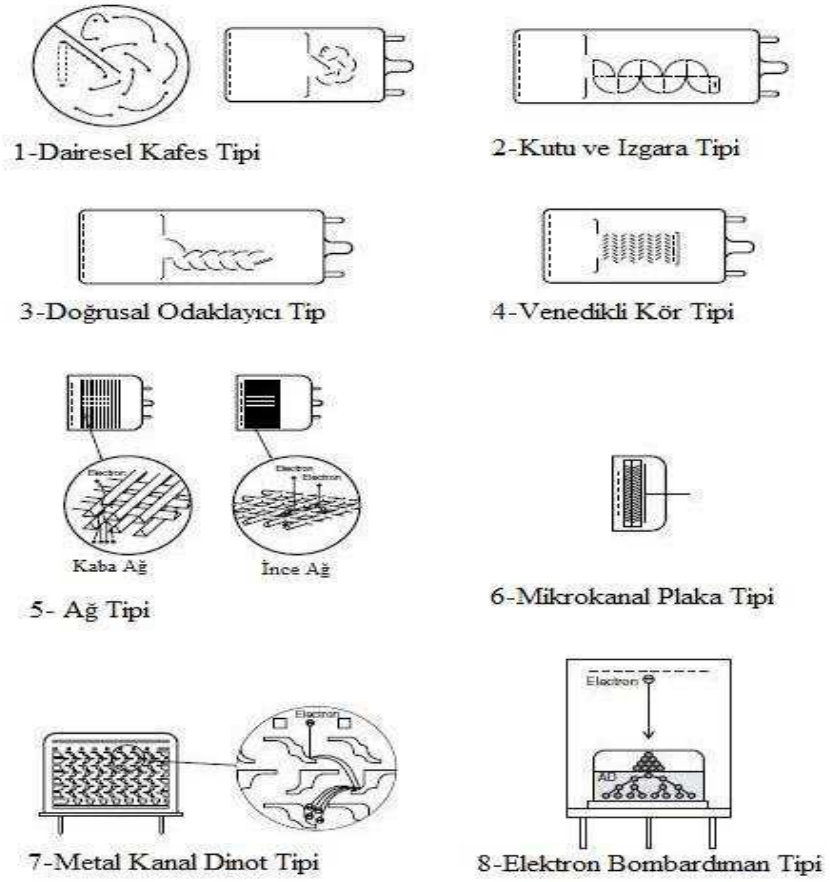
2. Saydam olmayan katot: Foto-çoğaltıcı tüpün içine bir metal, elektrot olarak yerleştirilir ve aydınlatılmış yerlerden elektronlar yayımlanır. Bu alan, toplama elektrotların büyüklüğünden ötürü birkaç cm² ile sınırlıdır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan foto katot materyalleri; AgOCs, SbCs ve trialkali bileşenli SbKCs, SbRbCs, ve SbNa₂KCs’dir.

Günümüzde, kullanılan foto-katotların çoğu yarı iletken materyallerden yapılmaktadır, nedeni ise yarı iletken materyallerin bir fotonu kullanılabılır bir elektrona çevirmek için daha fazla kuantum verimliliğine sahip olmasıdır. Kuantum verimliliği çoğu malzemede, % 0,1 den daha büyük değildir. Fotoelektrik dönüşümü için verimlilik, gelen ışığın frekansına ve materyalin yapısına bağlı olarak değişmektedir.

2.1.2. Dinotlar

Dinotlar bir FÇT’deki katottan kopan elektronları çoğaltarak anota götüren birimdir. Potansiyel dağılımı ve elektrot yapısı maksimum performans sağlayacak şekilde dizayn edilmiştir. Katottan kopan foto-elektronların yörüngeleri göz önünde bulundurularak, foto elektronların sayısı ilk dinottan son dinota kadar artırılır, akımın artması sayesinde elektronların sayısı ortalama 10’dan 10⁸’e kadar da ulaşabilir. Dolayısıyla dinotta çoğaltılan elektronlar anota gönderilir. (Hamamatsu, 2006).

Dinotların şekilleri kullanım alanlarına göre değişiklik gösterebilir. Farklı birçok dinot çeşidi vardır. Kullanılan dinotların sayısı ve yapısına bağlı olarak ikincil elektron toplama verimliliği, kazanç ve zaman tepkisi farklılıklar gösterebilir. En çok kullanılan dinot tipleri Şekil 2.3’te görülebilir.



Şekil 2.3. Elektron-çoğaltıcı (dinot) tipleri.
(Hamamatsu, 2006)

2.1.3. Anot

Çoğunlukla bir çubuk, ızgara veya levha şeklinde üretilen FÇT'nin anotı, çok aşamalı diyottan meydana gelen ikincil elektronların toplandığı ve dış sisteme akım olarak iletildiği bir elektrottur. Anotun tasarımında dikkat edilmesi gereken çok önemli unsurlardan bir tanesi boşluk ve yük etkileşimlerinin engellenmesi ve yüksek bir çıkış akımı sağlamak için anot ile en son diyot arasında yeterli ve gerekli potansiyel farkının oluşturulmasıdır.

2.1.4. Fotoçoğaltıcı tüplerin karakteristik özellikleri

FÇT'lerin bazı önemli karakteristik özellikleri vardır. Bunlardan bir kaç; doğrusallık, zaman karakteristiği, kararlılık, gecikme, homojenlik, , karanlık akım,

pulsun gürültüye oranı şeklinde sıralanabilir. CMS’de verilerin elde edilip işlenmesi sırasında FÇT’nin bu özellikleri önemli rol oynamaktadır.

2.1.4.a. FÇT’nin zaman karakteristiği

FÇT detektörlerinde, tepki zamanı çok hızlıdır. Tepki süresi bir birini takip eden foto elektronlar arasında geçen zaman olduğu gibi foto katottan salınan foto elektronların arttırıldıktan sonra anota ulaşınca kadar geçirilen zaman olarak da bilinmektedir. İşte bu nedenden ötürü hızlı tepki veren bir FÇT’nin iç kısmı küresel bir pencere olarak dizayn edilir ve böylece elektrotlar geçiş süresini kısaltacak biçimde yerleştirilir. Tepki zamanı, hem uygulanan gerilimle hem de kullanılan dinotun cinsiyle ilişkilidir. Elektrik alanın büyüklüğünü veya uygulanan voltajı yükseltmek elektronların geçiş süratini artırır ve dolayısıyla geçiş süresi kısaltmış olur. Genel olarak tepki zamanı uygulanan voltajın kareköküyle ters orantılı bir şekilde değişir.

2.1.4.b. FÇT’nin doğrusallığı

Herhangi bir kalorimetrenin güvenilirliği ve verimi kullanılacak olan FÇT’lerin geniş bir ışık şiddeti aralığında lineer olmasıyla ilişkilidir. FÇT, ölçtüğü ışığın şiddeti ile doğru orantılı olarak sinyal üretir. Şayet FÇT’nin toplam yüke ya da akıma göre çıkışı gelen ışık şiddetinin miktarı ile orantılı ise FÇT doğrusaldır. Doğrusallık, DC (doğru akım) doğrusallığı ve sinyal üretimi doğrusallığı olmak üzere iki şekilde ölçülür. Doğru akım, doğrusallığı sürekli (kararlı) bir ışık kaynağı ile belirlenir. Sinyal üretimi doğrusallığı ise bir sinyalden sonra geri dönüp yeni bir sinyale hazır olma özelliğini gösterir. Kutu, ızgara, ve jaluzi (panjur) tipli FÇT’ler oldukça iyi bir doğrusallığa sahiptir (Akgün, 2003).

2.1.4.c. FÇT’nin homojenliği

Çıkış sinyalinin foto katotun konumuna göre değişmemesi homojenlik olarak adlandırılır. Anot çıkış homojenliği; elektron çoğaltıcı (dinot kısmı) homojenliği ile foto katot homojenliğinin çarpımıdır.

2.1.4.d. FÇT'nin karanlık akımı

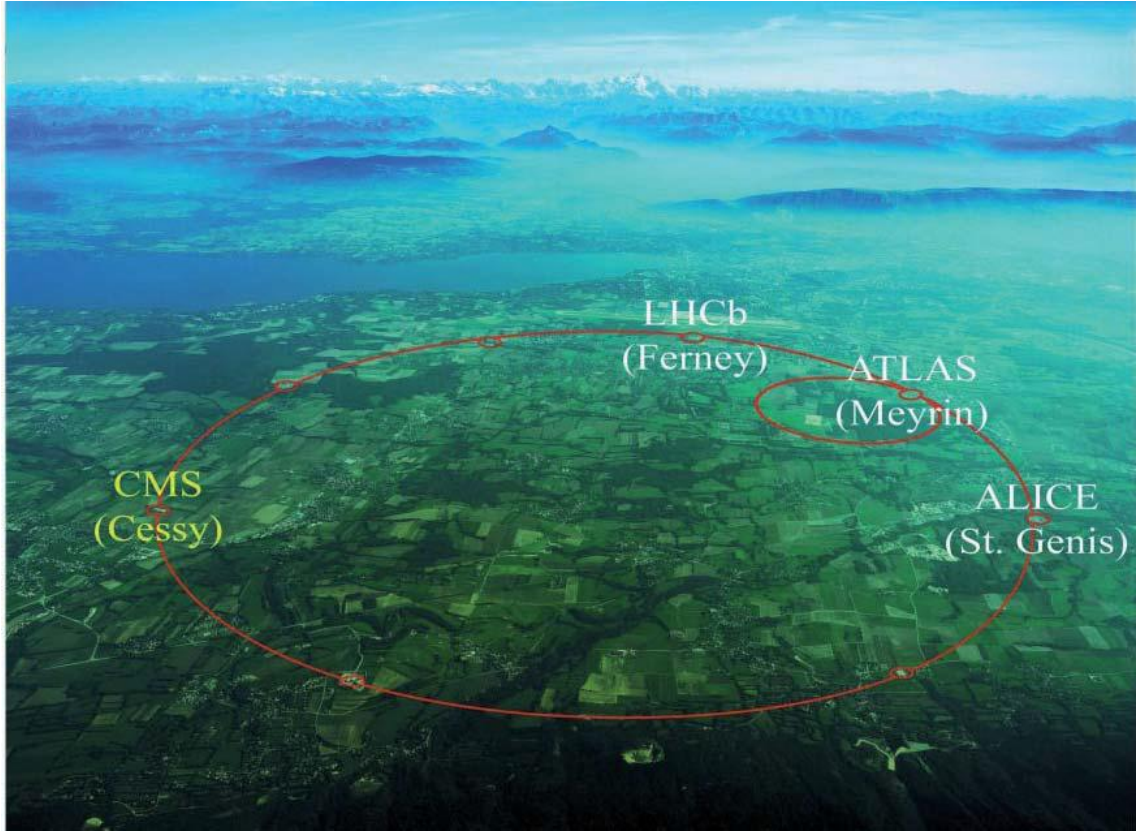
FÇT üzerine her hangi bir ışık düşmeden, tamamen karanlık bir durumda bile akım ölçüldüğünde çok az bir miktar da akımın ölçüldüğü görülmektedir. Buna FÇT'nin “karanlık akımı” denir ve bu akımın elden geldiği kadar küçük olması tercih edilir; zira FÇT'ler ışığın ve akımın çok küçük miktarlarını hesaplamak için kullanılan aygıtlardır. Karanlık akıma sebep olan durumlar aşağıdaki gibi verilebilir.

- dinotlar arasında ve foto katotta oluşan termoiyonik akım,
- sızıntı akımı (ohmik sızıntı),
- iyonizasyon akımı (İyon geri beslemesinden kaynaklanan),
- elektrot desteklerden veya cam zırhtan ötürü meydana gelen ışıldama ile üretilen fotoakım,
- Alan yayınlama akımı,
- Kozmik ışınlar, cam zırhtaki radyoaktif izotoplardan dolayı meydana gelen radyasyon ve çevresel gama ışınlarının sebep olduğu gürültü akımı.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi (CERN)

Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi anlamına gelen CERN, Fransızca ‘Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire’ sözcüklerinin kısaltmasıdır. Bu merkez, İsviçre ve Fransa sınırında yer alan dünyanın en büyük parçacık fiziği laboratuvarıdır. 1954 yılında on iki ülkenin iştiraki ile kurulmuş olan CERN'in günümüzde yirmi bir tam üyesi ve iki tam üyelik adayına ek olarak aralarında Türkiye'nin de olduğu üç tane ortak (asosiye) üyesi vardır.



Şekil 3.1. CERN hızlandırıcı kompleksinin görünümü.

Yerin 100m altında bulunan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ) denilen parçacık hızlandırıcı CERN'in en önemli kısmını oluşturur. Yerleşim yerleri ve tarım arazilerinin altında kilometrelerce uzanan devasa makinalarda atom çekirdekleri ya da proton denilen atom altı parçacıkları birbirleriyle yüksek hızlarda çarpıştırılırlar. Örnek olarak özel görelilik kuramına göre BHÇ'deki protonlar ışık hızının yaklaşık %99.999998'sine kadar hızlandırıldığında kütleleri de yaklaşık 7000 katına (7 TeV)

kadar çıkacaktır. BHÇ hızlandırıcı kompleksine yıllar içinde değişik hızlandırıcılar eklenmektedir; 1956'da kurulan 28 GeV'lik eşzamanlı proton hızlandırıcısından sonra 1976'da da 450 GeV'lik bir başka hızlandırıcı daha kullanıma girmiştir. 1981 yılında ise daha da geliştirilerek çarpışma halkası olarak kullanılabilecek hale getirilen bu cihazdan bugün, dönüşümlü olarak parçacık hızlandırıcısı ve çarpıştırıcısı olarak faydalanılmaktadır. Çarpışmalar ile bazı kısa ömürlü yeni madde biçimleri ve bu arada da parçacık fizikçilerinin ilgilendiği W ve Z parçacıkları ortaya çıkarılmıştır. Aynı zaman da CERN, Avrupa'nın fizik alanında Amerika ve Rusya ile yarışa girmesini sağlamıştır. CERN'de şimdiye kadar elde edilen bilimsel başarılardan bazıları şunlardır:

1973 yılında Gargamel dedektörün'de nötr akımının bulunmasından sonra sırasıyla, 1983'te W ve Z bozonlarının UA1 ve UA2 deneylerinde bulunması, 1995'te PS210 deneyinde ilk anti hidrojen atomlarının üretilmesi, 1999'da NA48 deneyinde CP simetrisinin bulunması, 2012'de ise Higgs bozonu olarak kabul edilen $125 \text{ GeV}/c^2$ kütleyle sahip bir bozonun tespit edilmesi.

3.2. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ)

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ veya diğer adıyla LHC) Dünya'nın en büyük ve en yüksek enerjili parçacık hızlandırıcısıdır. BHÇ yüksek enerji fiziği ile parçacık fiziğinin farklı teorilerinin öngörülerini test etmek için kurulmuştur.

İsviçre- Fransa sınırında yer alan BHÇ, zeminin yaklaşık 100 m altında ve çevresi 27 km'dir. BHÇ'de ağır iyonlar ve protonlar çarpıştırılmaktadır. Yüksek enerjilerdeki protonları hızlandırmak için kullanılan birçok hızlandırıcı vardır. Bunlar; Linac (50 MeV), Booster (1,4 GeV), PS (25 GeV), SPS (450 GeV) ve en son olarak da BHÇ (7 TeV)'dir.

Yüklü parçacık hızlandırıcılarının gelişimi, parçacıkların izlediği yörüngeye göre lineer ve dairesel hızlandırıcılar olarak iki şekilde gelişim göstermiştir. Bu hızlandırıcılarda yüklü parçacıklara enerji aktarmak için elektrik alanları uygulanmaktadır. Bu ise, lineer yada dairesel yörüngeler boyunca yapılabilir. Lineer hızlandırıcılar ne kadar uzunsa, parçacığın sahip olabileceği enerji miktarı da o kadar fazladır. Dairesel hızlandırıcılarda ise parçacıklar, hızlandırıcı yapıyı periyodik olarak dolar ve her defasında enerjisini artırarak kapalı yörüngeler izler. Lineer hızlandırıcılarda parçacıklar hızlandırıcı yapıyı bir kez geçmektedir. Lineer

hızlandırıcıların tersine, TeV skalasına çıkabilmek için dairesel hızlandırıcılar daha etkilidir. Bu yüzden BHÇ gibi dairesel hızlandırıcılarda parçacıklar aynı yörüngede dönerler ve belli noktalarda uygulanan elektrik alanlarıyla hızlandırılırlar. Parçacıkları dairesel yörünge üzerinde tutmak ve hüzmeyi odaklamak için de manyetik alanlar kullanılır. Parçacıkların varacağı enerji, uygulanan manyetik alanla ve yörüngenin yarıçapı ile orantılı olarak artar.

BHÇ’de, dairesel halka boyunca parçacıkların enerjisini arttırmak için hızlandırıcının büyük bir bölümü süperiletken mıknatıslarla çevrelenmiştir. BHÇ’nin proton-proton çarpışmaları için $L=10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ışıklılık ve $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$ ’lik kütle merkezi enerjisi, kurşun-kurşun çarpışmaları için $\sqrt{s} = 5.5 \text{ TeV}$ ’lik kütle merkezi enerjisi ve $L=10^{27} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ışıklılığa ulaşması hedeflenmiştir (CERN/AC/95-05,1995, P. Lefevre). Işıklılık aşağıdaki formülle ifade edilir.

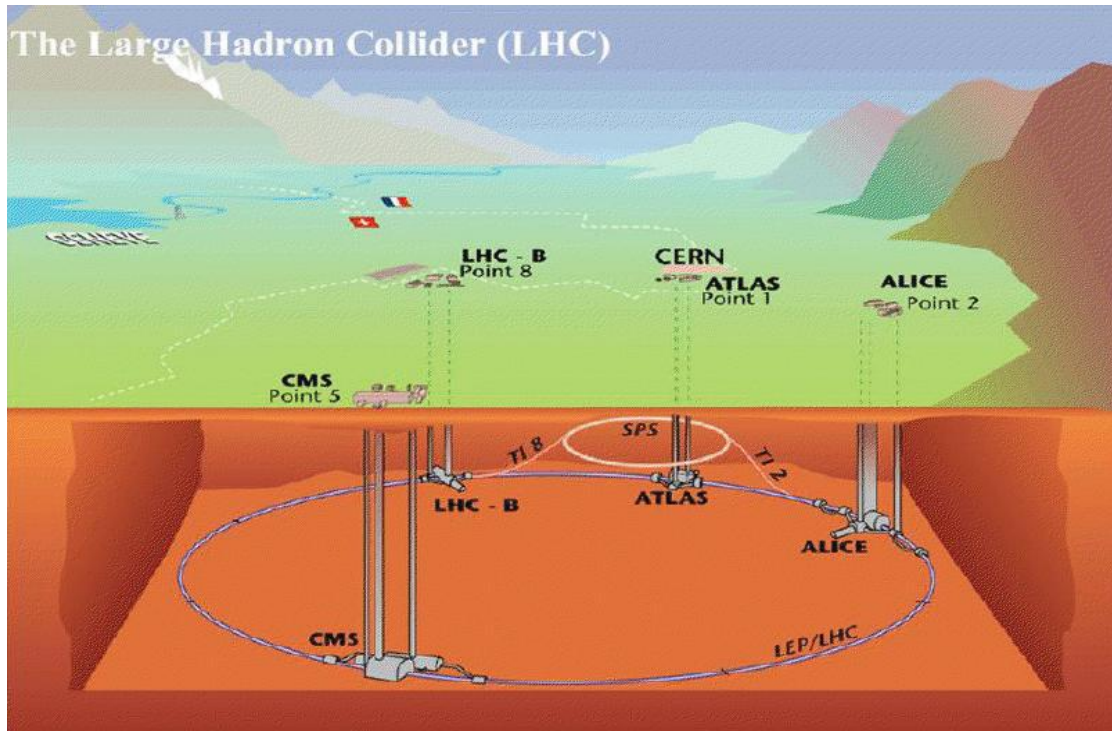
$$L = \frac{\gamma f k_B N_p^2}{4\pi \epsilon_n \beta^*} F \quad (3.1)$$

Yukarıdaki formülde: γ Lorentz faktörü, f dönme frekansı, k_B demet sayısı, N_p demet başına proton sayısı, ϵ_n normlanmış yayma gücü, β^* etkileşim noktasındaki betatron fonksiyonu ve F geçiş açısından kaynaklanan azaltma faktörüdür (TDR, 2006).

Parçacık demetleri aynı boru içinde yüksek vakumda tutularak zıt yönlerde hareket etmektedir. Demetler, süperiletken elektromıknatıslar kullanılarak elde edilen çok güçlü bir manyetik alan sayesinde hızlandırıcı halkasında tutulmaktadır. Ancak bu olay çok düşük sıcaklıklarda gerçekleşebilmektedir. Bu yüzden, BHÇ’nin mıknatıslarının 1,9 K’de, yani yaklaşık oda sıcaklığının 300 °C altında çalışması gerekir. Sebebini kısaca açıklarsak; BHÇ’de yüksek enerjili parçacıkları dairesel yörüngede tutabilmek için çok güçlü magnetler kullanılmalıdır. Çünkü BHÇ elektromagnetlerinin düşük maliyetle en yüksek alanı oluşturabilmeleri istenir. Bunun için elektromagnetlerin süper iletken olmaları gerekmektedir. Bu sebeple, mıknatıslar ve diğer materyal sisteminin soğutulması için sıvı helyum dağıtım sistemi kullanılmaktadır. Birçok materyal, sıvı helyum sıcaklığında süper iletken hale gelmektedir. Süper iletkenlik sadece sıcaklığa bağlı değildir. Süperiletkenliği etkileyen başka faktörler de vardır. Eğer akım çok fazla artarsa (yani eşik değerinin üzerine

çıkarsa) materyalin süper iletkenliği azalacaktır. Kritik akım seviyesi de uygulanacak manyetik alan kadar sıcaklığa bağlıdır. Gerekli yüksek akımı oluşturmak ve bu gibi durumlardan kaçınmak için BHÇ magnetleri, sıvı helyum banyosu ile helyumun sıvı halde bulunduğu 1,9 K°'e kadar soğutulur ve bu değer buranın evrende ki en soğuk bölge unvanını almasını sağlar.

BHÇ bu yönü ile dünyada en büyük ölçekli süper iletken teknolojinin kullanıldığı yerdir. Her bir bölümde 154 tane olmak üzere toplamda 1232 tane süper iletken dipol mıknatıs bulunmaktadır. Proton demetleri ışık hızına yakın bir hızda çarpıştırılmakta ve bu çarpışmalar deney bölgesine ışın demetleri halinde yollanmaktadır. Toplamda 2808 demet bulunmakta ve bu demetlerin her birinde $1,15 \times 10^{11}$ proton yer alır.



Şekil 3.2. Büyük Hadron Çarpıştırıcısının merkezi görünümü.

BHÇ hızlandırıcı halkasında ikisi genel amaçlı (CMS ve ATLAS) ikisi daha özel amaçlı (ALICE ve LHCb) olmak üzere dört ana çarpışma noktasında dört adet büyük deney bulunmaktadır. Genel amaçlı deneylerden biri olan CMS deneyinden daha ayrıntılı olarak bahsedilecektir.

3.3. Compact Muon Solenoid (CMS) Deneyi

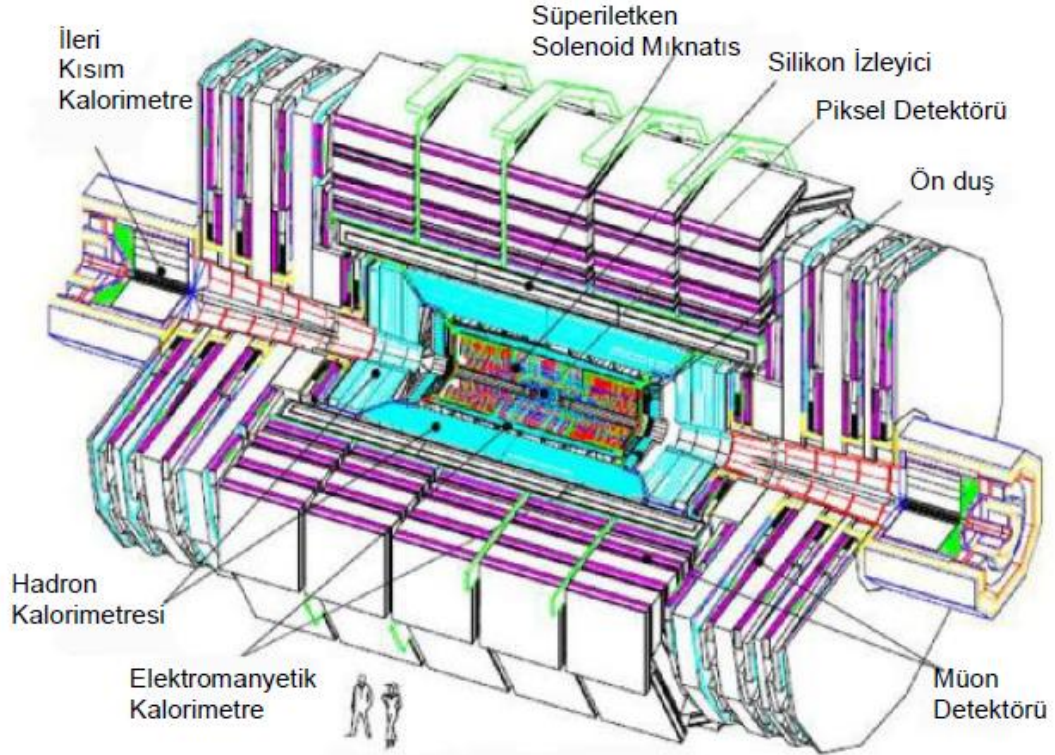
CMS, ismini yüksek enerjili müonların momentumlarını ölçmek için seçilen selenoid manyetik yapıdan almaktadır. CMS deneyinin temel amaçlarını şöyle sıralamak mümkündür: keşfedilen Higgs bozonunun, özelliklerini incelemek ve aynı zamanda süper simetrik parçacıkları bulabilmektir, ayrıca ağır iyon fiziği ve karanlık madde gibi konuları araştırmayı hedeflemektedir, b kuarkı içeren parçacıkların yakından araştırılması ve bu sayede evrendeki madde ile anti madde arasındaki simetri kırılmasını aydınlayabilecek ve ağır iyon çarpışmalarında da maddenin yeni bir formu olan ve büyük patlama'dan hemen sonra var olduğu düşünülen kuark-gluon plazmasının incelenmesine imkan sağlayacaktır. Bu ise bize evrenin oluşum süreci hakkında oldukça faydalı ve yeni bilgiler sunacaktır.

CMS, proton-proton ve ağır iyon çarpışmalarının verilerini elde etmek için dizayn edilmiş dört deneyden bir tanesidir. Bu deneyin tasarımında öncelik olarak müonların momentumlarının ölçümü vardır. BHC'deki CMS, 21 m uzunluğa ve 15 m yüksekliğe sahip olup 14000 ton ağırlığındadır. BHC hızlandırıcı kompleksinin en ağır dedektörüdür. 4 T'lık manyetik alan üretebilen bir mıknatısa sahiptir (CMS TDR, 2006).

CMS'nin burada belirtilen konuları araştırabilmesi için elektron, foton, hadron ve müonları çok yüksek hassasiyette ölçebilecek özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bunun için de CMS dedektörü farklı tipteki alt dedektörlerden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla iz dedektörü, elektromanyetik ve hadronik kalorimetre, kalorimetrelerin hemen dışında bulunan ve momentum ölçümü yapabilmek için yeteri büyüklükte manyetik alan sağlayan süper iletken selenoid ve bunların hepsini sarmalayan müon odacıdır. Bu alt dedektörler soğansız bir yapıda bir araya getirilmişlerdir. CMS dedektörünün temel dizayn amaçlarını kısaca şöyle sıralayabiliriz (CMS, 1994)

- Çok iyi müon saptama ve momentum ölçümü,
- SM ve MSSM Higgs parçacık araştırmaları için gerekli olan yüksek çözünürlüğe sahip elektromanyetik kalorimetre,
- Güçlü bir izleme (iz tayin etme) sistemi,
- 4π radyanlık kapsama alanına sahip bir hadronik kalorimetre olarak sıralanabilir.

Dedektörde momentum, konum ve enerji ölçümü yapılacağı için dedektör üzerinde tanımlı bir koordinat sistemine ihtiyaç duyulmaktadır

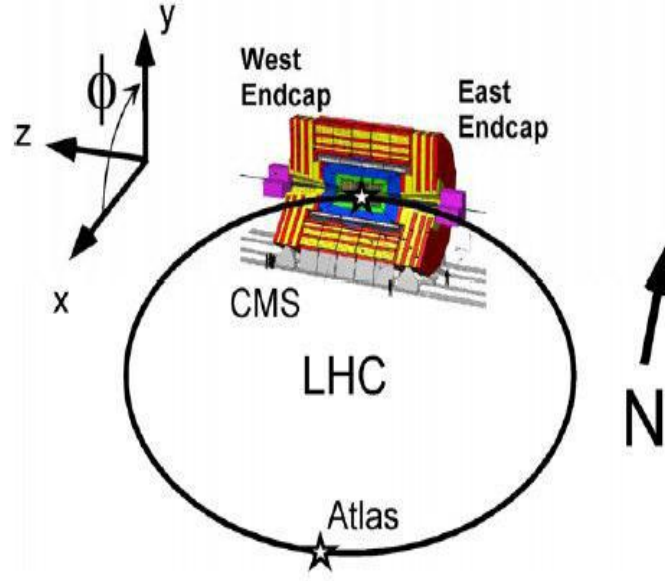


Şekil 3.3. CMS deneyinin genel görünümü.

3.3.1. CMS koordinat sistemi

CMS'nin koordinat sisteminde, orjin olarak çarpışma noktası kabul edilmiştir. y - eksenini ise düşey olarak yukarı yönü ve x - eksenini de yarıçap doğrultusunda radyal olarak BHC halkasının merkezini göstermektedir.(işaret etmektedir). Dolayısıyla , z - eksenini hüzmeye doğrultusunu göstermektedir. Azimutal açı ϕ , x - y düzlemindeki x - ekseninden ve kutupsal açı θ , z -ekseninden ölçülmektedir. CMS kutup açısı yerine psüdorapidite (η) kullanılmaktadır ve η denklem 3.2 deki gibi hesaplanır (CMS TDR, 2006).

$$\eta = -\ln \left(\tan \frac{\theta}{2} \right) \quad (3.2)$$

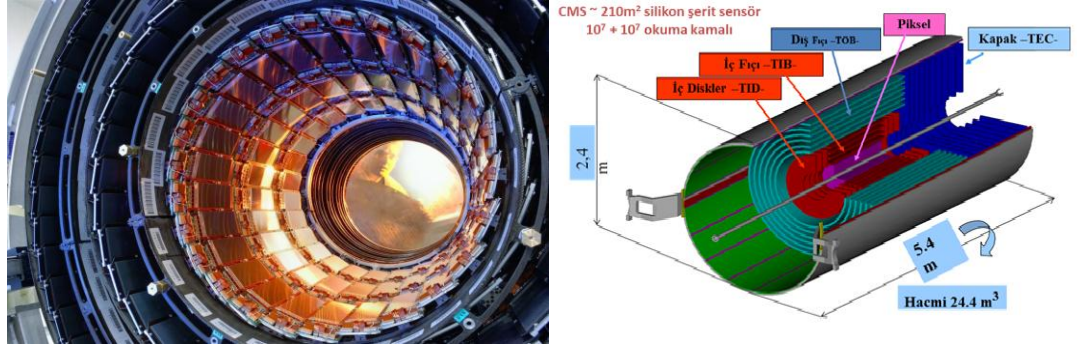


Şekil 3.4. CMS koordinat sistemi.

3.3.2. İzleyici sistemi

İsminden de anlaşılacağı gibi iç izleyici sistem CMS'nin en iç kısmında bulunur. Bu sistemin temel amacı etkileşmenin gerçekleştiği noktada birbirleri ile kafa kafaya çarpıştıktan sonra zıt yönlerde doğru hareket eden yüklü parçacıkların bıraktıkları izleri çok hassas ve doğru bir şekilde ölçmek, parçacıkların etkileşme köşelerini saptamak ve parçacıkların momentumlarını ölçmektir. Her bir yörüngenin yarıçapı parçacığın momentumunu, bükülme yönü de parçacığın elektriksel yükünün işaretini belirler. Başka bir amacı da elektronlar ile fotonları birbirinden ayırmaktır; zira bunlar elektromanyetik kalorimetrede benzer sinyaller üretir.

Etkileşim noktasını çevreleyen bu sistemin uzunluğu 5.8 m ve çapı da 2.5 m olup $|\eta| < 2.5$ psüdorapidite aralığını kapsamaktadır. Bu sistem etkileşim noktasına en yakın katman olduğu için çok şiddetli radyasyona maruz kalmakta ve buna dayanabilmesi için de tasarımı tamamen silikon teknolojisiyle oluşturulmuştur. İzleme sistemi piksel ve silikon şerit iz dedektörleri olmak üzere iki farklı dedektörden meydana gelmektedir. Piksel dedektör 1440 ve silikon şerit de 15148 modülden meydana gelmektedir. Piksel dedektörler 4.4 cm, 7 cm ve 10.2 cm olmak üzere üç farklı silindirik tabakadan oluşurken, silikon şerit dedektörler dışa doğru 1.1 m kadar genişleyen on katmanlı bir silindirden oluşmaktadır (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004). Şekil 3.5 de izleyici şerit dedektörler gösterilmiştir.



Şekil 3.5. İzleyicideki şerit dedektörlerin görünümü.

İz sürücünün yan taraflarında ki alt katmanda 65 milyon piksel ile birlikte bunun üstünde de 10 milyon mikro şeritten oluşan sonlandırma kapakları (end cap) bulunmaktadır. Piksel ve mikro şeritlere çarpan parçacıklar, silikon atomlarındaki (sinyal arttırıcı role sahip) elektronları uyarmaktadırlar. Bütün iz sürücü tabakalardaki bilgi ile de parçacık yörüngelerinin resimleri oluşturulabilir. Bunun yanın da iz takip edici olarak gaz dedektörleri de kullanılabilir. Fakat parçacık yoğunluğun fazla olduğu deneylerde pek tercih edilmezler. Çünkü bir gaz dedektöründe bir elektron-iyon çifti meydana getirmek için iyonlaşma potansiyeli 30 eV iken, silikonda bir elektron-deşik çifti oluşturmak için gerekli iyonizasyon potansiyeli ise sadece 3,6 eV'dur. Bu da bize silikon dedektörlerini daha avantajlı kılan nedenlerdendir.

3.3.3. Süper Selenoid Mıknatıs

Süper iletken mıknatıs yüklü parçacıkların ve müonların yörüngelerinin bükülmesini sağlamak, parçacıkların momentumlarını ölçmek ve yükleri hakkında bilgi sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Dedektördeki yüklü parçacıkların ve müonların momentumlarının ölçülmesi, yörüngelerinin bükülmesine bağlıdır. CMS'de 4 Tesla gibi çok yüksek manyetik alan sağlayan bir selenoid kullanılmaktadır (CMS Detector Posters, Magnet Field, 2000).

Bugüne kadar ki üretilmiş en geniş süper iletken mıknatısın uzunluğu 12.5 metre ve çapı da 6.3 metredir. Şekil 3.6'da mıknatıs gösterilmiştir. Bobin, her biri 2.5 m uzunluğundaki 5 modülden oluşmuştur ve toplam ağırlığı 220 tondur. İzleyici sistem, EKAL ve HKAL mıknatısın içinde bulunmaktadır. (Focardi, 2011).



Şekil 3.6. Süperiletken mıknatıs.
(<http://cms.web.cern.ch/news/superconductingmagnet>).

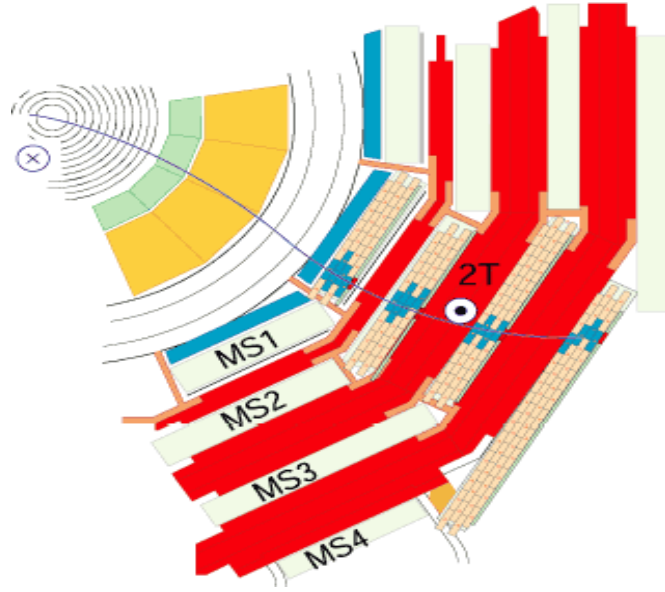
3.3.4. Müon odacıkları

Müon sisteminin amacı, iç izleyici ile birlikte müonları algılamak ve müonların momentumunu duyarlı bir biçimde ölçmektir. Müon izlerini saptamak için dizayn edilen bu odacıklar dedektörlerin en dış kısmında bulunur. Çarpışma neticesinde meydana gelen yüklü müonlar, kalorimetrelerden sonra dedektörün en dış katmanına yerleştirilen müon dedektörlerinde algılanırlar. Zaten bu noktaya ancak müon ve nötrinolar erişebilirler. Müonlar, kütle bakımından elektronlardan yaklaşık 200 kat ağır olduğundan atomlarla elektriksel bir etkileşmeye girmezler. Herhangi bir elektriksel etkileşime girmediklerinden ötürü müonlar elektromanyetik duş yapmaz. 5 GeV dolayındaki enerjiye sahip olan müonlar; bakır ve çelik gibi metallerin her bir milimetresinde yaklaşık 1 MeV enerji kaybına uğradıklarından çok fazla enerji kaybetmeden kalorimetreleri geçebilir.

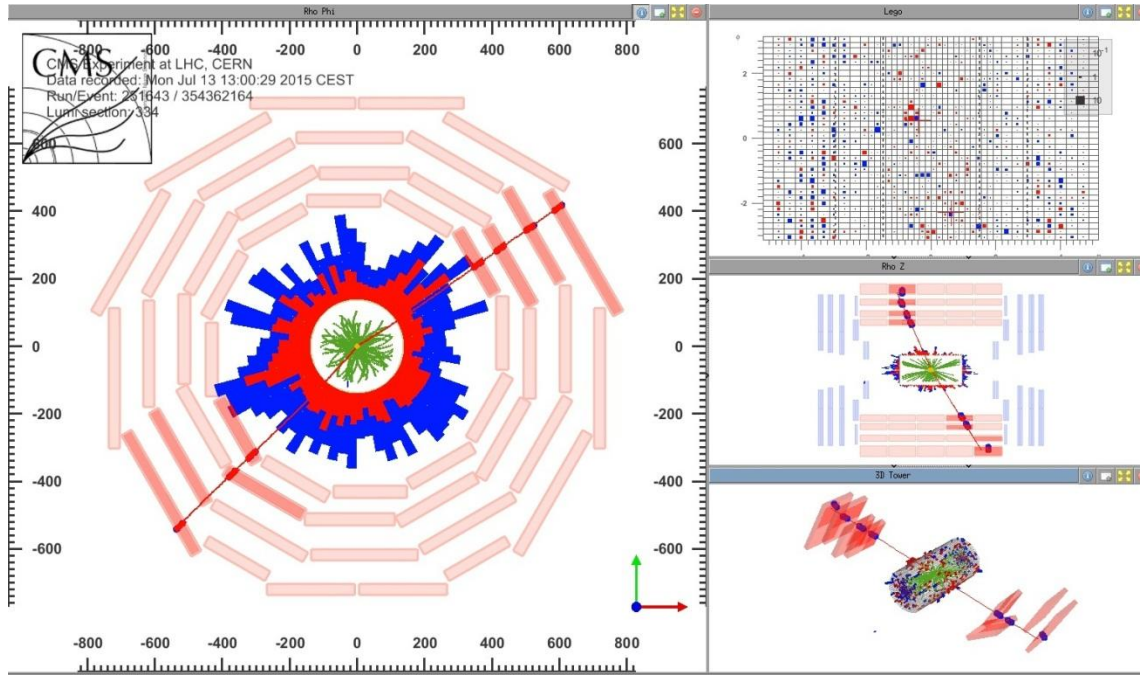
Müon sistemi müonları algılamak ve ölçmek için çeşitli tiplerde tasarlanmış sistemler kullanılmaktadır bunlar şunlardır:

- fiçı bölgesinde sürüklenme tüpleri (DT),
- kapak bölgesinde katot şerit odaları (CSC)
- hem fiçı hem kapak bölgesinde dirençli paralel levhalı odalar (RPC).

Şekil 3.7 CMS'nin Müon sistemi istasyonlarını göstermektedir.



Şekil 3.7. CMS deneyinin dört tane müon odacığı.
(<http://cms.web.cern.ch/news/muon-detectors>)



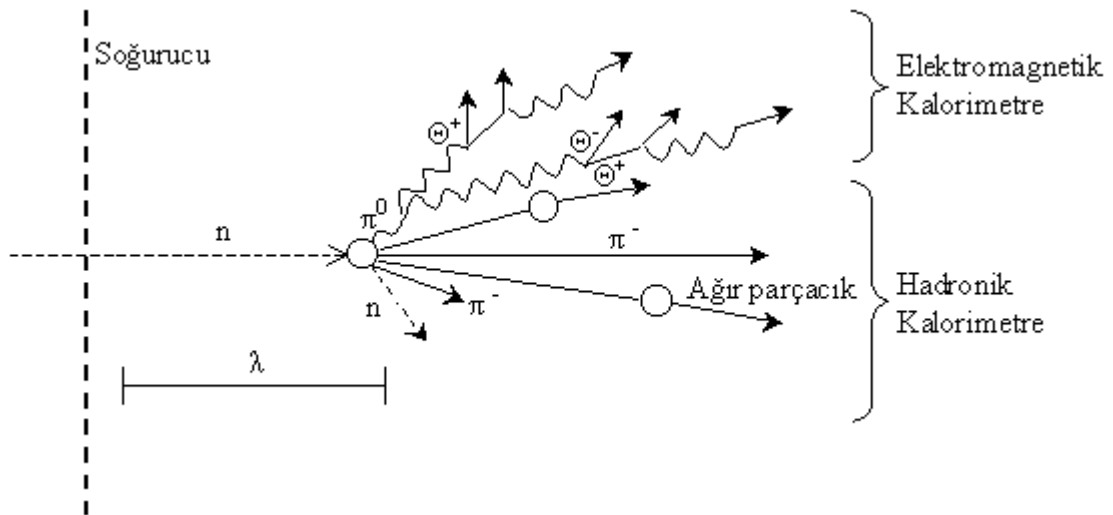
Şekil 3.8. 2015 yılı 13 TeV’de alınan bir veri de görülen müon ve dedektörün topladığı enerji.

Ayrıca Şekil 3.8’de 2015 yılında bir veride görülen müonlar ve toplanan enerji verilmiştir. Müon sisteminde toplam 1400 tane müon odacığı vardır. Bunlardan 610 tanesi tetikleme sistemini oluşturan dirençli plaka odacığında (RPC) , 540 tanesi parçacıkların konumlarını belirleyip tetiklemeyi sağlayan katot şerit odacığında (CSC)

ve geriye kalan 250 tanesi de sürüklenme tüpünde (DT) bulunmaktadır. (<http://cms.web.cern.ch/news/muon-detectors>)

3.3.5. Kalorimetreler

Kalorimetre adından da anlaşılacağı gibi enerji ölçer demektir; fakat parçacık fiziğinde kalorimetre daha kapsamlı bir anlama sahiptir. Bu deneylerde, kalorimetreler yalnızca parçacıkların enerjilerini ölçmez, aynı zamanda onların ne olduğuna dair birçok özelliği belirlemeye yarayan araçtır. Kalorimetrenin içine giren parçacıklar dedektör içerisindeki madde sayesinde durdurulmaya çalışılırken çarpışmalar ile duşlar oluşur (Şekil.3.9). Bu nedenle bazen kalorimetreler “duş sayacı (shower counter)” olarak da isimlendirilir. Kalorimetrelerde ortak özellik; parçacıkların enerjilerinin emilmesidir, yani absorbe edilmeleridir. Enerjinin soğurulması, parçacıkların ya diğer parçacıklarla etkileşirken ya da emici materyallere enerji transferi şeklinde olur. Etkileşen parçacıklar, enerjilerinin tamamını düşük enerjilerden oluşan parçacık duşlarına aktarırlar dolayısıyla ikincil parçacıklar oluşur. Kalorimetrelerin iç kısımlarında sinyal almak için aktif bir ortam veya enerji soğurulması ölçümleri için madde blokları kullanılır. Parçacıklar enerjilerinin çok düşük bir bölümünü Çerenkov ışımaları veya sintilasyon şeklinde kaybederler. Bu ışıma sinyalleri, gelen parçacığın enerjisi ile doğru orantılıdır.



Şekil 3.9. Elektromanyetik ve Hadronik duşların oluşumu.

Kalorimetreler; elektronlar, fotonlar ve hadronlar gibi parçacıkların enerjilerinin ölçülmesinde kullanılır. Kalorimetreler soğurulan parçacığın madde ile yaptığı etkileşme türüne göre elektromanyetik ve hadronik kalorimetre olmak üzere iki kısma ayrılır.

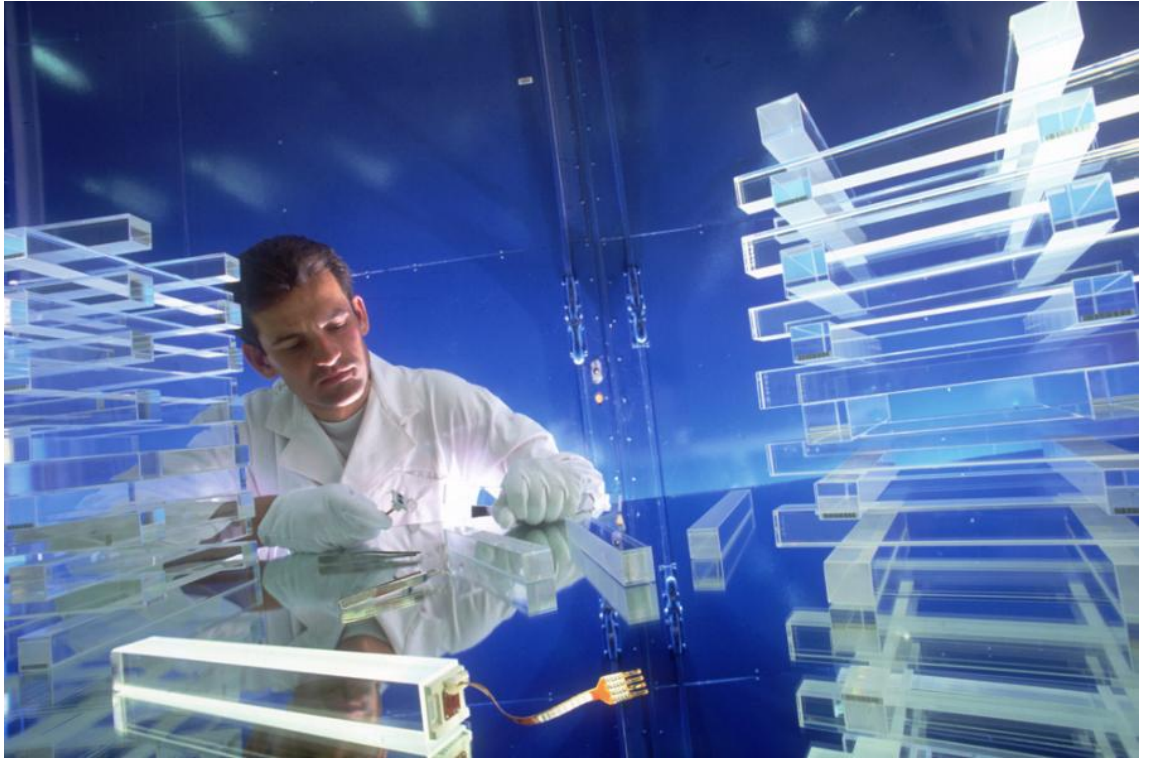
Elektromanyetik kalorimetrelerde elektron, pozitron, ya da fotonun enerjisi ölçülmektedir. Hadronik kalorimetrelerde ise hadronların enerjileri ölçülmektedir. Bir kalorimetrenin en belirleyici özelliği elektromanyetik ve hadronik duşlar arasındaki farklılığı belirleyebilmesidir. Kalorimetre içinde duşun kısa olması elektromanyetik duşu, hadronik duştan ayıran çok önemli bir özelliktir. Ayrıca kalorimetreler jetlerin enerjilerini de ölçebilirler.

Kalorimetreler müon ve nötrinolar gibi madde içinde soğurulamayan parçacıkları da belirler. Müonlar madde içinde duş oluşturmazlar ancak parçacık tamamen yalıtılmış ise, parçacığın yükü kalorimetrede belirlenebilen bir iyonizasyon sinyali ile tespit edilir. Elektronik aletlerin olanak sunduğu ölçüde eğer parçacık diğer parçacıklardan ayırt edilebiliyorsa kalorimetre içinde bir iz oluşturur. Bu iz ya kalorimetre içinde iz ölçümünü sağlayan izleyiciler aracılığı ile ya da kalorimetrelerden sonra gelen müon odaları tarafından belirlenir. Öbür taraftan nötrinolar bir kalorimetre içinde sinyal yani iz bırakmazlar. Varlıklarını da enerji korunumu veya momentum korunumundan anlayabiliriz. Her bir kalorimetre hücresi boyunca etkileşme noktasından hücreye doğru gözlenen enerji dikkate alınarak, ölçülen tüm momentumların vektörel toplamı bulunabilir. Böyle bir ölçümün yapılabilmesi için kalorimetre mümkün olabildiğince enerji sızdırmamalıdır yani kapalı bir (hermetik) yapıya sahip olmalıdır.

CMS deney sistemindeki kalorimetre elektromanyetik ve hadronik kalorimetreler olarak iki kısımdan oluşur. Hadronik ve Elektromanyetik kalorimetreler belirli bir koordinasyonla çalışır. En iç kısımda elektromanyetik kalorimetre kullanılmıştır. Bu sayede fotonlar ve elektron ile hadronların incelenmesinde herhangi bir karışıklık meydana gelmeyecektir. Eğer hadronik kalorimetre en içte bulunsaydı; foton ve elektronlar bu kalorimetrenin içinde soğurulur ve dolayısıyla elektromanyetik kalorimetreye ulaşamazdı (Catanesi, M.G., (1987), Nucl. Instr. And Methods).

3.3.5.a. Elektromanyetik Kalorimetre (EKAL)

CMS deneyindeki ilk kalorimetre olup, çarpışma neticesinde meydana çıkan elektron ve fotonların enerjisini ve yönünü ölçmeye yarar. Elektronlar ve fotonlar elektromanyetik etkileşme (Coulomb etkileşmesi, İyonlaşma, Bremsstrahlung, Fotoelektrik etki, Compton Saçılması, Çift oluşumu) yaptıkları için enerjilerini kaybederler. İşte kaybolan bu enerji elektromanyetik kalorimetrede ölçülür. Higgs Bozonu ve yeni fizik araştırmaları için elektromanyetik etkileşme yapan parçacıkların, özellikle de elektron ve fotonların, enerji ölçümleri için büyük önem taşıyan EKAL'ın amaçlarından biri Higgs bozonunun iki fotona bozunumunu algılamaktır.



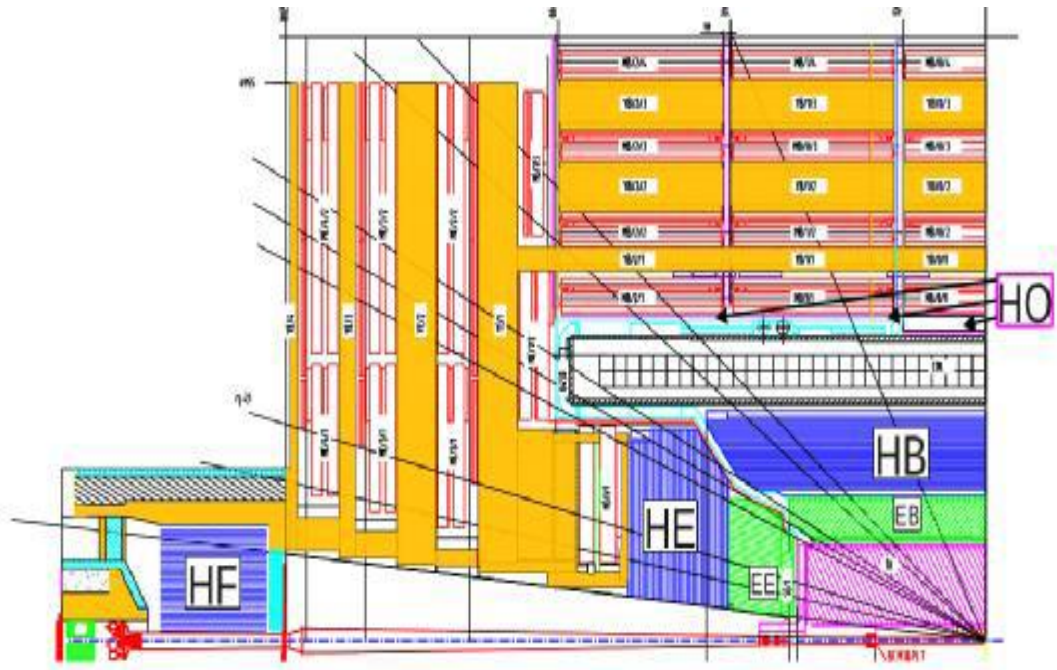
Şekil 3.10. CMS'nin EKAL kurşun tungstant (PbWO_4) kristalleri.

EKAL yüksek yoğunluklu, hızlı, radyasyona dayanıklı ve iyi çözünürlüklü homojen kristal bir kalorimetredir. EKAL'da yüksek yoğunluklu ($8,28 \text{ g/cm}^3$), kısa radyasyon uzunluğuna (0,89 cm) ve küçük Moliere yarıçapına (2,2 cm) sahip kurşun tungstant (PbWO_4) kristalleri kullanılmaktadır (TDR, 2008). Kalorimetreler enerjiyi dışarıya sızdırmayacak bir yapıya sahip olduklarından bu detektörler vasıtasıyla kayıp

dik enerji ölçümleri de yapılabilecektir. ECAL mükemmel bir çift-foton çözünürlüğü verecek biçimde tasarlanmıştır. Detektörde $H \rightarrow ZZ^*$ ve $H \rightarrow WW$ tepkimelerinden gelen W ve Z bozunumlarından ortaya çıkan elektron ve pozitronlar da ölçülecektir. Şekil 3.10'da Kurşun tungstant kristalleri gösterilmiştir.

3.3.5.b. Hadronik Kalorimetre (HKAL)

CMS deneyinde, hadronik kalorimetre (HKAL) manyetik bobinin iç kısmında yer alan en dış tarafta ki detektördür. Hadronik kalorimetre kayıp dik enerjinin ve jetlerin ölçülmesi için dizayn edilmiştir. Bu ölçümler süpersimetrik parçacıkların ve Higgs bozonunun keşfedilmesinde oldukça ehemmiyetli bir role sahiptir. İyi bir kayıp enerji çözünürlüğü elde etmek için kalorimetrenin $|\eta| < 5$ bölgesini kapsaması gerekmektedir. HKAL iki bölüme ayrılmıştır: merkezi kalorimetre ve ileri kalorimetre HF (TDR, 1997 CERN/LHCC 97-31). Merkezi kalorimetre rapitidesi $|\eta| < 3$ olan bölgededir. İleri kalorimetre ise $3 < |\eta| < 5$ rapitide aralığındaki bölgededir. Merkezi kalorimetre selonoidin içerisinde yer alan kapaklı, silindirik bir geometriye sahip örnekleme kalorimetresidir.



Şekil 3.11. CMS'deki HKAL'ın alt detektörleri HB, HE, HO ve HF'nin şematik gösterimidir.
(CERN-LHCC-2012-015/CMS-TDR-010)

CMS deneyindeki HKAL'in alt dedektörleri şunlardır;

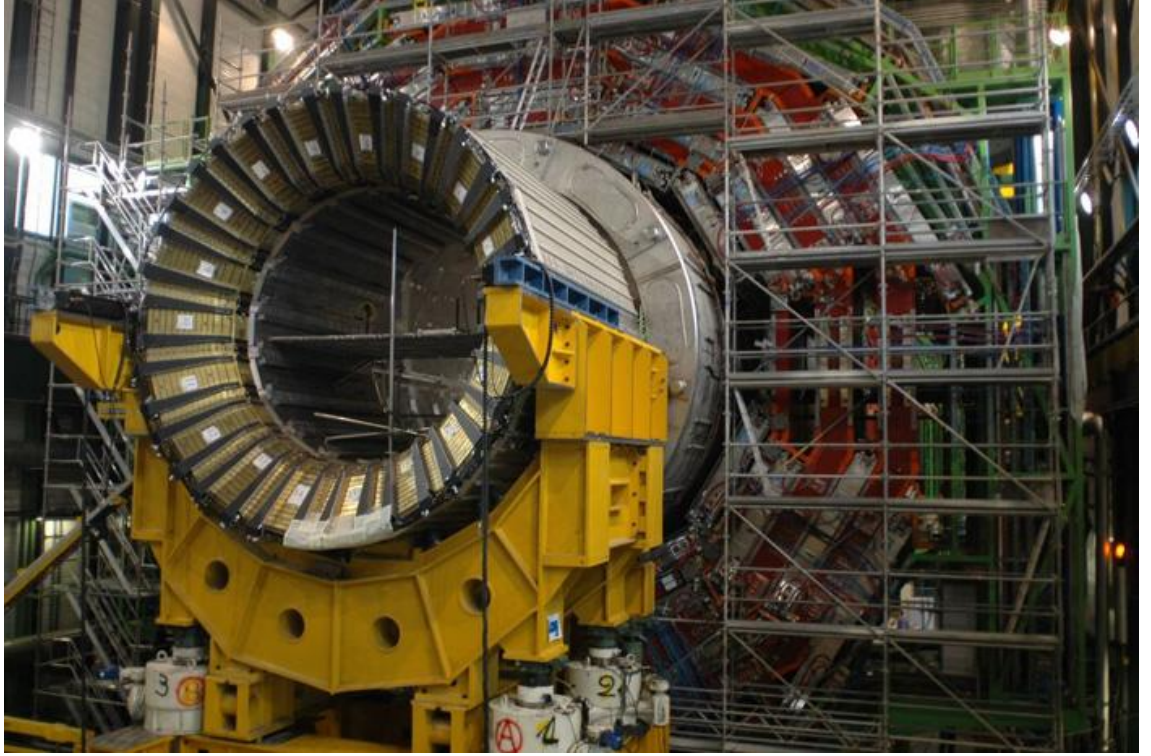
- Hadronik Fıçı (HB),
- Hadronik Kapak (HE),
- Hadronik Dış Kalorimetre (HO),
- İleri Hadronik Kalorimetre (HF).

HKAL'in yapımı ve monte sırasında ki görünümü ve HKAL dedektöründeki HB, HE, HO ve HF kalorimetrelerinin konumları Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de verilmiştir.

Soğurucu malzeme olarak çelik ve prinç, aktif eleman olarak da plastik sintilatörler kullanılmaktadır. Etkileşme sonucu ileri yönde çıkan parçacıkları algılaması beklenen ileri kalorimetre ise etkileşme noktasından ± 11 m uzaklıktadır. Bu kalorimetre, CMS dedektörünün en yüksek radyasyona maruz kalan alt dedektörüdür. Dolayısıyla radyasyona dayanıklılığı yüksek olan malzemelerden yapılmıştır. Bu sebeble aktif eleman olarak plastik kaplı kuvarz lifler kullanılmaktadır. İleri kalorimetre demir soğurucular içerisine yerleştirilmiş kuvarz liflerden meydana gelmektedir.

Hadronik kalorimetreler dizayn edilirken şu özellikler dikkate alınır;

1. iyi bir dikine taneciklik,
2. orta derecede enerji çözünürlüğü,
3. yüksek sızdırmazlık,
4. hadron düşünü kapsayacak uzunluk,



Şekil 3.12. CMS'deki hadronik kalorimetre.
(<http://www.fnal.gov/pub/today/images/images06/CMS6.jpg>).

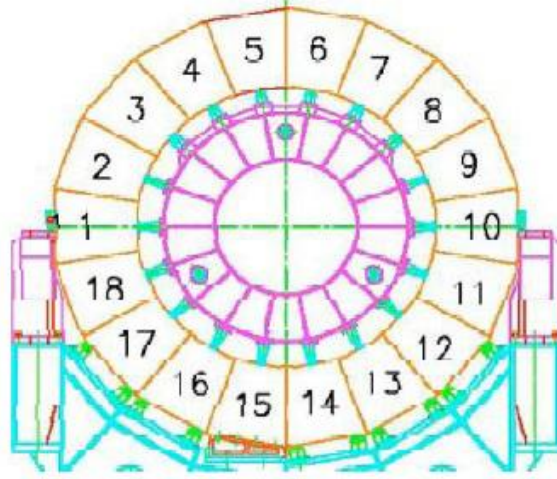
Hadronik kalorimetreler tasarlanırken hadronik jetlerin enerjilerini ve yönlerini ölçme gibi hususlar dikkate alınmıştır. Bu ölçümlerin neticesinde aşağıda ki konular hakkında araştırmalar yapmak mümkün olacaktır.

- Yüksek kütleli Higgs araştırmaları için gerekli olan ileri yönde jet ölçümleri,
- Süper simetrik parçacıkların üretiminin araştırılması için dedektörden kaçan en hafif süper simetrik parçacıkların taşıdığı enerji ve jet ve/veya leptonların ölçülmesi.
- Ayrıca HKAL ile yapılacak ölçümler kompozitlik ve teknikolor modellerinin araştırılması için de oldukça önemlidir.

3.3.5.b.1. Hadronik Fıçı Kalorimetresi (HB)

Bir örnekleme kalorimetresi olan HB, $-1.3 < \eta < 1.3$ püsidorapidite aralığını kapsamaktadır. HB+ ve HB− olmak üzere iki tane yarım fıçıdan meydana gelmiştir

(CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004). Her ikisinde 18 kama vardır. Bu kamaların gösterimi Şekil 3.13'te ve Şekil 3.14'de gösterilmiştir.

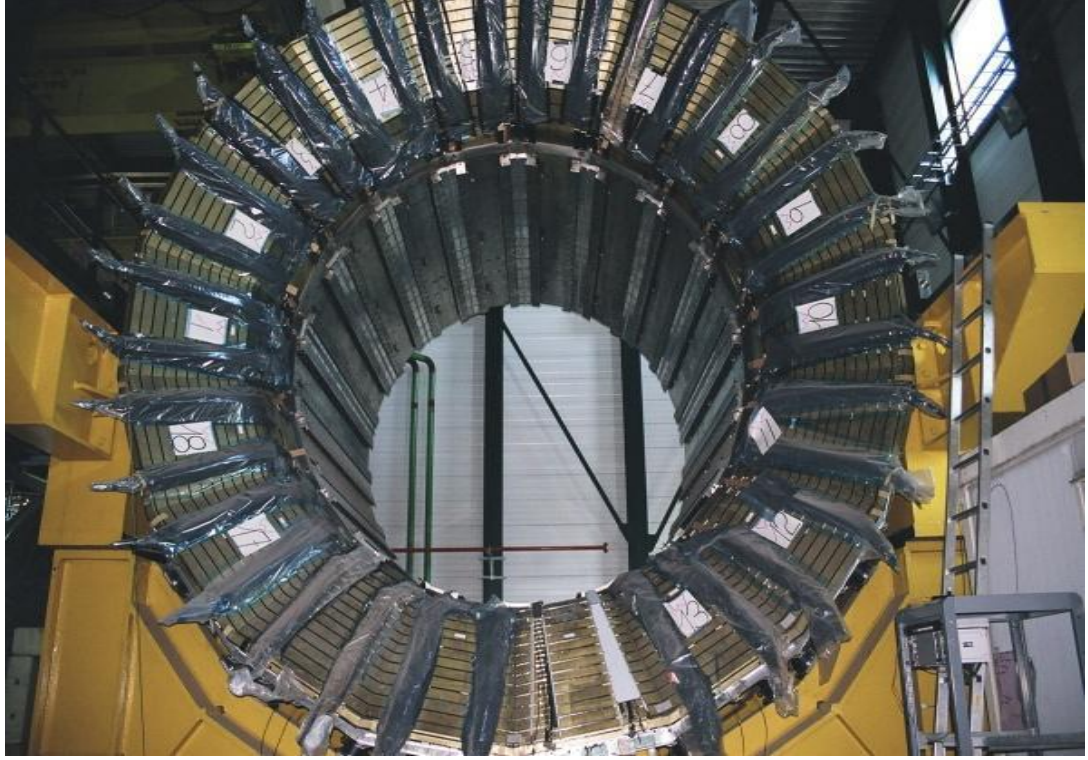


Şekil 3.13. HB'de özdeş 18 kama gösterilmekte.

Her bir kama $\phi = 20^\circ$ 'lik açılara ayrılmıştır. Şekil 3.15'de HB'nin $\Delta\phi=20^\circ$ açılara bölünmüş görünümü verilmiştir. $\Delta\phi=5^\circ$ 'lik 16 kuleye (η aralığına) bölünmüş olup 4 sektörden oluşmaktadır. Dedektörü daha sağlam bir yapıya getirmek için en iç ve en dış katmanında çelik kullanılmıştır.



Şekil 3.14. HB'de kamaların gösterimi.
(http://cdsweb.cern.ch/record/1431485/files/hcal-2000-010_02.jpg).



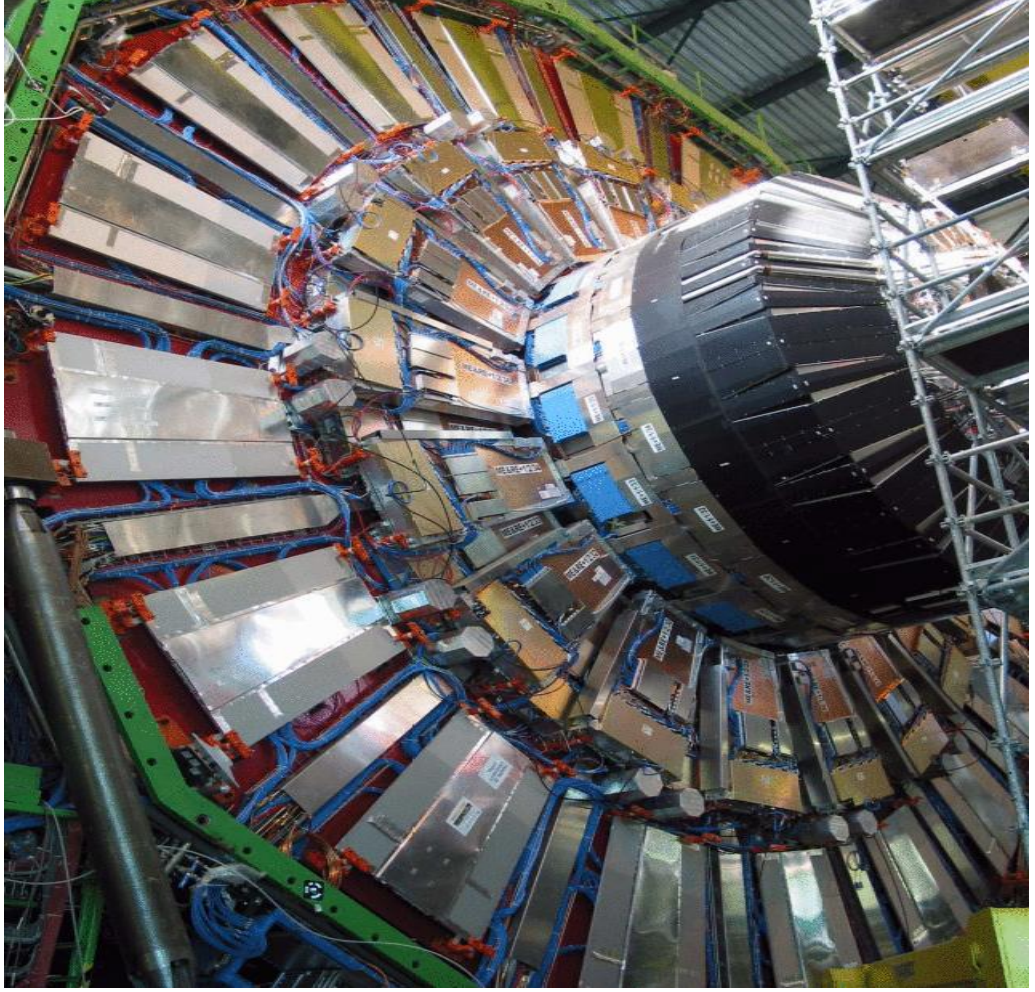
Şekil 3.15. $\Delta\phi=20^\circ$ açılara bölünmüş HB'nin görünüşü.

Soğurucu malzeme olarak da prinç kullanılmıştır. Ön tabakada soğurucu olarak kullanılan 40 mm kalınlığında çelik, hemen onun arkasında 50.5 mm kalınlığında 8 tane pirinç, 6 tane 56.5 mm kalınlığında pirinç ve en arka da ise 75 mm kalınlığında çelik tabakalar mevcuttur (Breskin A ve Voss R., 2009). Ayrıca paslanmaz çelik levha ile pirinç levhalar arasında 17 tane aktif plastik sintilatör döşeme bulunmaktadır. Sintilatörler 16 η sektörüne ayrılmıştır. İlk aktif plaka EKAL'in sona erdiği yerde olup diğer sintilatör tabakalarının iki katı kalınlığa sahiptir. Hibrit fotodiyotların işlevi ışığın varlanmasıdır.

3.3.5.b.2. Hadronik Uç Kapak Kalorimetresi (HE)

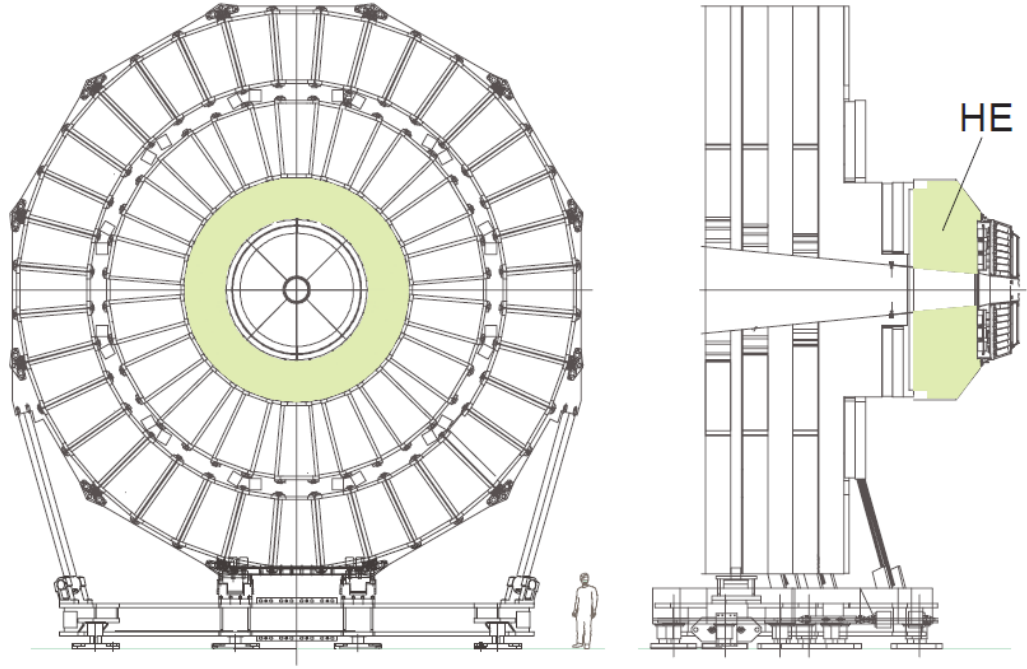
Son durum parçacıklarının yaklaşık %34'ünün olduğu bir bölge olan $1.3 < |\eta| < 3.0$ rapidite aralığında bulunan HE, yüksek manyetik alan içinde bulunan HB'in her iki tarafında ki uçlarını kapatmaktadır. HB gibi bir örnekleme kalorimetresi olan HE, 4 T'lık solenoid mıknatısın uç kısmında bulunduğundan kalorimetrenin soğurucu kısmı

manyetik alandan etkilenmeyen bir malzemedendir. HB'nin genel görünümü Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.16. Hadronik kapak genel görünümü.
(<http://cds.cern.ch/record/1431487>)

Maksimum soğurucu uzunluğu, iyi mekanik özelliği ve uygun maliyetinden dolayı soğurucu olarak C26000 pirinç kartuş (%70 Cu ve %30 Zn) kullanılmıştır. Şekil 3.17'de gösterildiği gibi uç kapaklar müon uç kapak boyunduruğuna takılmıştır (CMS HCAL Collaboration, 2008, CMS Note 2008/010).

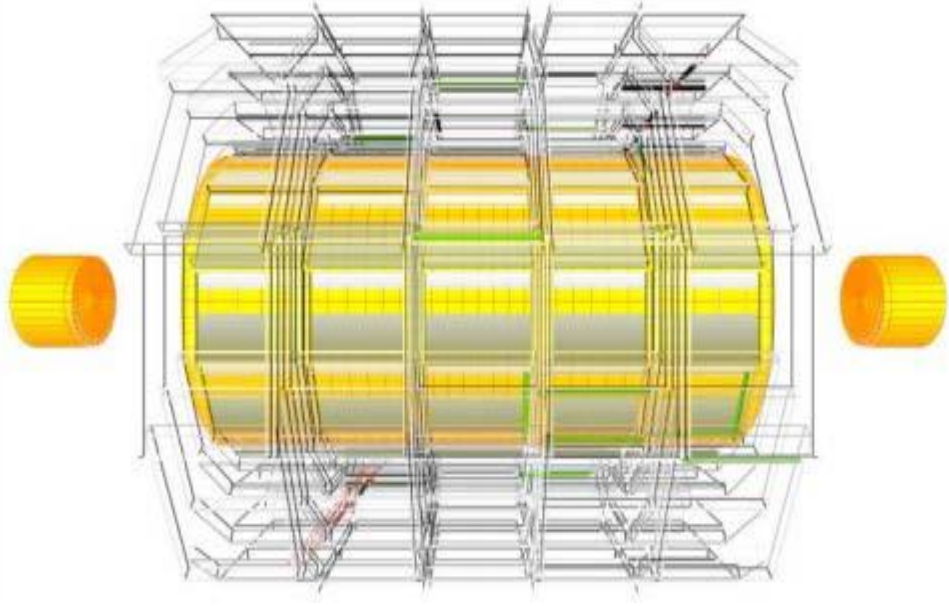


Şekil 3.17. Uç kapak demir boyunduruğuna yerleştirilen HE (CMS HCALCollaboration, 2008, CMS Note 2008/010).

HE'in soğurucu malzemesi pirinçtir. HB ile HE arasında geçiş bölgesi ya da çatlak olarak bilinen bir boşluk bulunmaktadır. HE'de soğurucu yapı tasarlanırken, HB ile HE arasındaki bu çatlakın en aza indirgenmesine özen gösterilmiştir. Soğurucudaki bu tasarım sayesinde çatlak yönündeki jetlerin enerjilerini ölçmek kolaylaşmıştır. Ancak bu çözünürlük pileup, manyetik alan ve parton parçalanması gibi etkiler ile sınırlandırılmaktadır. HE'deki pirinç plakalar 79 mm kalınlığındaki 9 mm aralıklarla sintilatör döşemelerin arasına yerleştirilmiştir (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

3.3.5.b.3. Hadronik Dış Kalorimetresi (HO)

$-1.26 < |\eta| < 1.26$ rapidite aralığını kapsayan HO'nun yeri mıknatısın dışıdır. HO sintilatör tabakaları müon odacıkları ve süper iletken selenoid arasındadır. HO'nun amacı yeni başlangıç duşlarını tanımlamak ve HB'nin dışındaki depolanmış duş enerjisini ölçmektir. Şekil 3.18'de HO'nun genel görünümü verilmiştir.



Şekil 3.18. HO'nun genel görünümü.

HO'da foto dedektör olarak Hibrid Foto Diyot (HFD)'lar kullanılmıştır. Bunlar HO, müon silindir sistemi içerisine yerleştirilmiştir. HO, $-2, -1, 0, 1, 2$ olmak üzere 5 kısma ayrılmıştır ve bunlar “halka (ring)” diye adlandırılmaktadırlar. Bu halkaların numaralandırma artışı merkezi z-ekseni ile olmaktadır ve bu beş halkanın merkezi z-eksenlerindeki konumu sırasıyla -5.342 m, -2.686 m, 0 , $+2.686$ m, $+5.342$ m'dir.

3.3.5.b.4. İleri Hadron Kalorimetresi (HF)

CMS dedektöründe yer alan hadronik kalorimetreye ait bir alt dedektör olan İleri Hadronik kalorimetre (HF), pseudorapidity aralığı $3 < \eta < 5$ olan bölgeyi kaplamaktadır. HF kalorimetresi Çarpışma noktasının her iki tarafına simetrik olarak yerleştirilen iki ayrı modül olan HF+ ve HF-’den oluşmaktadır. Bu modüller etkileşme noktası (IP)’ndan yaklaşık 11.1 m uzağa yerleştirilmiştir. Şekil 3.19’da gösterilen kalorimetre iç yarıçapı 12.5 cm, dış yarıçapı 130 cm olan 165 cm uzunluğundaki çelik silindirik bir yapıdan oluşmuştur. Bu yapı azimutal olarak 20° ’lik açılarla toplam 36 çelik modüler kamadan oluşmuştur. Her bir kuledeki lifler ışık kılavuzlarına gönderilecek şekilde buket haline getirilmiştir. Bu buketler fototüpe ışık kılavuzları aracılığıyla bağlanırlar. Kamalar Şekil 3.20’de verilmiştir. HF’in her bir sektöründe 18 kama, her kamada ise 24 kule bulunmaktadır. Kamaların modüllere yerleştirilirken görüntüleri. En yüksek kule

azimutal olarak 20° diğer tüm kuleler 10° 'lık açı yapacak biçimde dilimlere ayrılmıştır (CMS note - 2010/003).



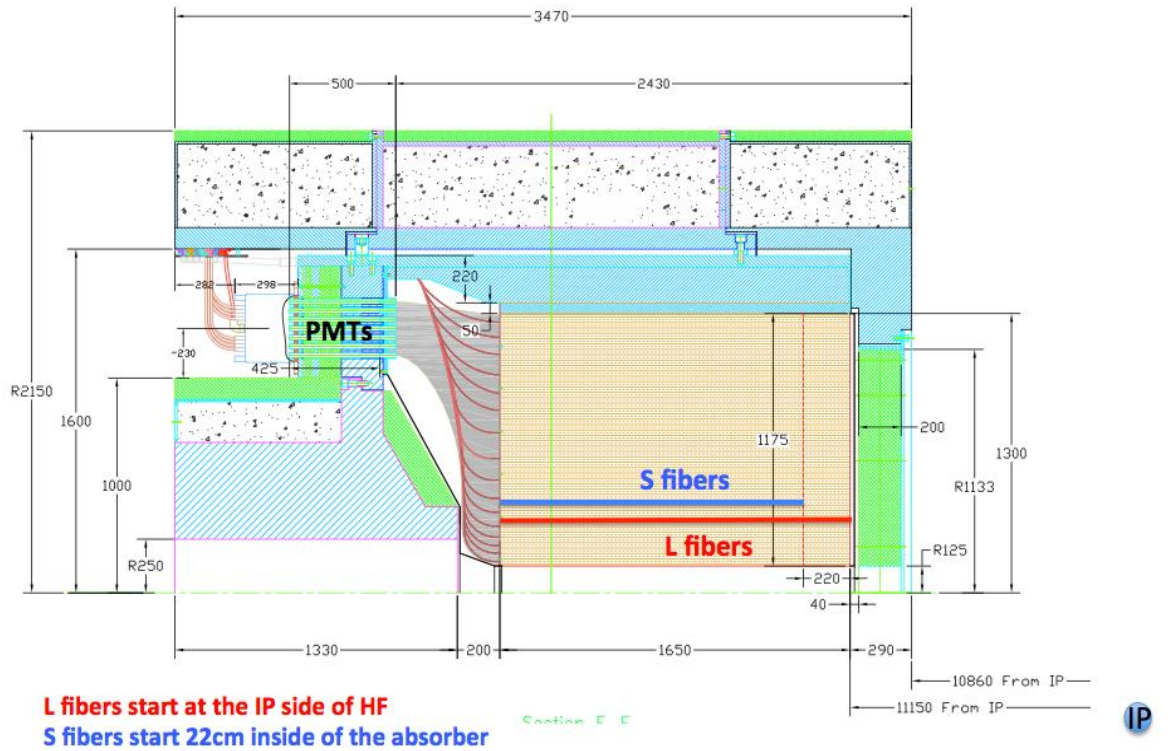
Şekil 3.19. HF'nin bir görünüşü.



Şekil 3.20. Kuartz fiberlerinin yerleştirildiği HF kuleleri.

Bu kalorimetre bir demir soğurucu ve bu soğurucu içerisine yerleştirmiş kuvartz liflerden meydana gelmektedir. İleri bölgedeki jetlerin varlanması, kayıp dik enerjinin belirlenmesi ve ışıklılık ölçümü HF'nin önemli amaçlarındandır. Bu dedektör de sadece p-p etkileşimleri değil, ayrıca Pb-Pb çarpışmalarında üretilen parçacıklarda belirlenecektir. 5 GeV ve üzerindeki enerjiye sahip olan hadronlar madde ile etkileşime girdiklerinde esnek çarpışmaların dışında da etkileşmeye uğrarlar. Çarpışma ile beraber ikincil hadronlar; pionlar, K mezonları, nötronlar ve protonlar oluşturur. Böylece hadronik duş meydana gelir.

Kalorimetrede kullanılan lifler iki farklı uzunluğa sahiptir. Uzun (1.65 m) ve kısa (1.43 m) kuvars fiberler sırasıyla 5 mm aralıklarla yerleştirilmiştir. Yerleştirilen lif sayısı yaklaşık 50000 adettir. Bu da yaklaşık 1000 km kadardır. Bu kuvars fiberler detektörün arkasında paketlenmiştir (CMS TDR, 2006). Bunlardan uzun olanı kalorimetrenin elektromanyetik (EM) bölümünü oluşturur. Bu bölüm elektromanyetik etkileşim gösteren parçacıkların (foton ve elektron gibi) enerjilerini ölçmeye yarar. Liflerden kısa olanı ise hadronik (HA) bölümü meydana getirir ve dedektörün önyüzünden 22 cm içeride olacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu bölüm elektromanyetik bölüm ile birlikte elektromanyetik etkileşen parçacıkları hadronlardan ayırmaya ve hadronların enerjisini ölçmeye yarar. Bu iki farklı uzunluktaki lifler değişik fototüplere bağlanmıştır. HF'nin uzun ve kısa fiber lifleri ile FÇT'lerin görünümü şekil 3.21'de gösterilmiştir. Fiberler 0.175x0.175 boyutlarındaki bir demet içinde gruplandırılarak ışık kılavuzları aracılığı ile R7600 Hamamatsu tipi FÇT'lere bağlanmıştır. Okuma ünitelerinin (RBXs) içindeki FÇT'ler 24'lük gruplar oluşturacak biçimde birleştirilmiştir. Bu şekilde kulelerin her birinde toplamda 48 adet puls kanalı bulunmaktadır. Kulelerden gelen pulslar PMT'ler aracılığı ile okunur.



Şekil 3.21. HF'nin uzun ve kısa liflerin ve FÇT'lerin görünümü.

HF kalorimetresi Çerenkov ışımasına dayalı olarak çalışmaktadır. Detektöre çarpan parçacıklar demir soğurucu ile kuvvetli veya elektromanyetik etkileşerek ikincil parçacıklar oluştururlar. Oluşan bu yeni parçacıklar da enerjilerinin yettiği miktarda tekrar etkileşerek yeni parçacıklar oluştururlar. Bu olay oluşan yeni parçacıkların enerjisinin, yeni parçacık oluşmasına yetmeyeceği duruma gelene kadar devam eder. Bu şekilde birçok parçacık oluşmasına düş denir. Parçacıkların etkileşme tipi oluşan düşun biçimini belirler. Eğer parçacıklar elektromanyetik etkileşme geçirmiş ise elektromanyetik düş, hadronik etkileşme geçirmiş ise hadronik düş meydana gelir. Genel olarak her hadronik düşa ait bir elektromanyetik bileşen bulunur. Hadronların oluşturduğu düşlarla elektromanyetik düşlar arasında çalışma mekanizması bakımından benzerlik vardır. Hadronik düşlar elektromanyetik düşlara göre yan taraflara doğru daha fazla yayılır. Bunun nedeni gelen hadronun enerjisinin yarısının ikincil hadrona harcanmasıdır. Hadronik ve elektromanyetik düşlar birbirinden kalorimetre içerisinde bıraktıkları enerjilerin miktarına bakılarak ayrılabilir. Hadronik düşlar daha büyük etkileşme menziline sahiptirler. Çünkü daha fazla enerji ile çarpışma gerçekleştirirler. Fazla enerji fazla ürün oluşturur. Fazla ürün ise, daha uzun düş oluşması demektir.

Etkileşme menzili, incelenecek olan maddenin bir mol'lük kütlesinin Avagadro sayısı ile soğurma tesir kesitinin çarpımına bölümüdür. Yani maddenin kütlesi arttıkça etkileşim menzili de artar. Hadronik düş, elektromanyetik düşa nazaran daha uzundur. Bu sebeble Hadronik kalorimetrelere, elektromanyetik kalorimetrelere oranla daha uzun olmalıdır. Etkileşmelerin oluşması esnasında parçacıkların birçoğu kuvarz liflerin içerisinde geçerler. Parçacıkların hızları, ışığın lif içerisindeki hızından daha büyük ($\beta > 1/n$) olduğu zaman Çerenkov ışıması yaparlar. Meydana gelen bu ışımının açısı; $\cos\theta = 1/n\beta$ (CMS DN, 2009, Study of CMS HF Candidate PMTs wit Cerenkov Light in Elektron Showers, CMS NOTE, 2009/012)

Bu bölgelerde radyasyon oranı çok yüksek olacağından detektörlerde kullanılacak malzemeler radyasyona dayanıklı olmalıdır. Bunun için HF'de aktif eleman olarak radyasyona en dayanıklı maddelerden biri olan kuvarzdan yapılmış fiberler kullanılmaktadır. Kalorimetre sinyalinin yüksek seviyede radyasyona dayanıklı kuvarz-lifler içerisinde üretilen Çerenkov ışığı oluşturur. HF için liflerin radyasyona dayanıklı olması çok önemlidir. Çünkü doz arttıkça liflerin iletimlerinde meydana gelecek olan

değişiklikler ölçümler için önemlidir. Bundan dolayı lifler çeşitli testlerden geçirilmiştir. Örneğin lifler 500 MeV enerjili elektron demetine tutulmuş ve ışık iletimlerinin artan elektron sayısı ile nasıl değiştiği incelenmiştir. Çeşitli firmaların ürettiği 9 değişik lif test edilmiştir.

Yapılan çalışmalarda ışık iletimindeki zayıflamanın, foto tüplerin kuantum yeterliliklerinin maksimum olduğu bölgelerde, diğer bölgelere kıyasla daha az olduğu görülmüştür. Aynı çalışmada 100 Mrad'lık doz için 450nm dalga boyu civarında zayıflama (1.52 ± 0.15) dB/m olarak ölçülmüştür (İ.Dumanoglu et.al, 2002). Ayrıca özel bir modül inşa edilerek radyasyonun dedektör üzerindeki etkilerini gözlemlemek için bu modül 500 MeV'lik elektronlara tutulmuştur. Bu radyasyona tutma işleminde dedektörde toplam 700 Mrad'lık doz biriktirilmiştir. Çözünürlüğünün nasıl değiştiğini incelemek üzere modül radyasyona uğratılmadan önce ve sonra 80 GeV'lik elektronlar ile test edilmiştir. Radyasyon öncesi çözünürlük 9% iken radyasyon sonrası bu değer 15%'e gerilemiştir (N. Akchurin et. al., 2002).

İleri kalorimetrenin içinde bulunduğu şartları özetleyecek olursak aşağıdaki sonuçlara ulaşırız. Çok yüksek düzeylerde radyasyona maruz kalmak kalorimetrenin ömrünü azaltabilir ve hasarlara yol açabilmektedir. Bu yüzden radyasyona dayanıklı kuvartz lifler seçilerek önlem alınmaya çalışılmıştır. Her 25 ns'de bir demet geçişi olacağından HF detektörünün yeni demet geçişine hazır olabilmesi için çok hızlı sinyal toplama özelliğine sahip olması gerekmektedir. Yüksek enerjilerde (TeV skalası) kullanılacak ileri kalorimetreler nötronlara duyarsız olmalıdır. Dedektörde biriken radyasyon detektörün soğurucu bölümünü radyoaktif hale getirebilir. Burada üretilen radyoaktif ürünler yanlış sinyal okumaya sebep olabilir. Bu yüzden radyoaktif ürünlere karşı duyarsız olmalıdır.

4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

HF detektörü CMS deneyinin ileri bölgesinde sağ (HF+) ve sol (HF-) olmak üzere iki tarafında da yer alır. 2012 yılından önce HF detektörü Çerenkov Işığını okumak için Hamamatsu'nun R7525 tipi FÇT'lerini kullanıyordu, ancak bu tip FÇT'lerin çok sağlıklı çalışmadığı tespit edildi. Dolayısıyla yapılan testlerde R7525 tipi FÇT'den daha iyi çalıştığı tespit edilen Hamamatsumulti-anode R7600 tipi ile değiştirilmesine karar verildi. Bu çalışmamızda HF+ deki Hamamatsumulti-anode R7600 tipi FÇT'lerin sonuçlarının analizlerini vereceğiz. HF+ da toplam 36 okuma ünitesi vardır, okuma üniteleri dokuzar gruplar halinde dört bölümde toplanmıştır her bir bölümüne bir çeyrek (Quadrant) denir, dolayısıyla HF+ dört çeyrekten oluşmaktadır ve Şekil 4.1'de görülmektedir. Her bir okuma ünitesinde 24 FÇT olmak üzere HF+'da toplam 864 tane FÇT yer almaktadır.

HF kalorimetresinin kuvarz fiberlerinin topladığı Çerenkov ışınlarını sinyale dönüştüren kısımlar FÇT'lerdir. HF kalorimetresi CMS'de bulunduğu konumu itibariyle demet eksenine oldukça yakındır. Bu yakınlık dolayısıyla kalorimetre sadece çarpışma noktasından gelen sinyalleri değil aynı zamanda hüzmeye demetinin de ürettiği yüksek enerjili sinyalleri algılayabilir. Hüzmeye demetinden gelen sinyaller demet ekseninden uzaklaştıkça azalmaktadır, bu amaçla detektörü demet eksenine dik yönde üç katmana ayırıp (Şekil 4.1) her bir katmana farklı kazançlara sahip FÇT'ler yerleştirilmesi amaçlanmaktadır. En iç katmanda (Şekil 4.1'deki A katmanı) en düşük kazançlı FÇT'ler, B katmanına orta kazançlı FÇT'ler ve C katmanına ise en yüksek kazançlı FÇT'ler yerleştirilmesi hedeflenmektedir. Kazanç parametresini belirleme işlemi FÇT'lere uygulanan voltaj ayarıyla tamamlanır, her bir FÇT grubuna farklı voltajlar uygulanarak sağlanacaktır. Uygulanan bu voltajlara Çalışma Voltajı denir. Böylece kazancı düşük olan FÇT'lere yüksek voltaj ve kazancı yüksek olanlara da düşük voltaj uygulayarak, detektörün şeklinden ve FÇT'nin yapısından bağımsız olarak sinyaller yeniden yapılandırılarak bütün FÇT'ler arasında denge(düzen) sağlanacaktır.

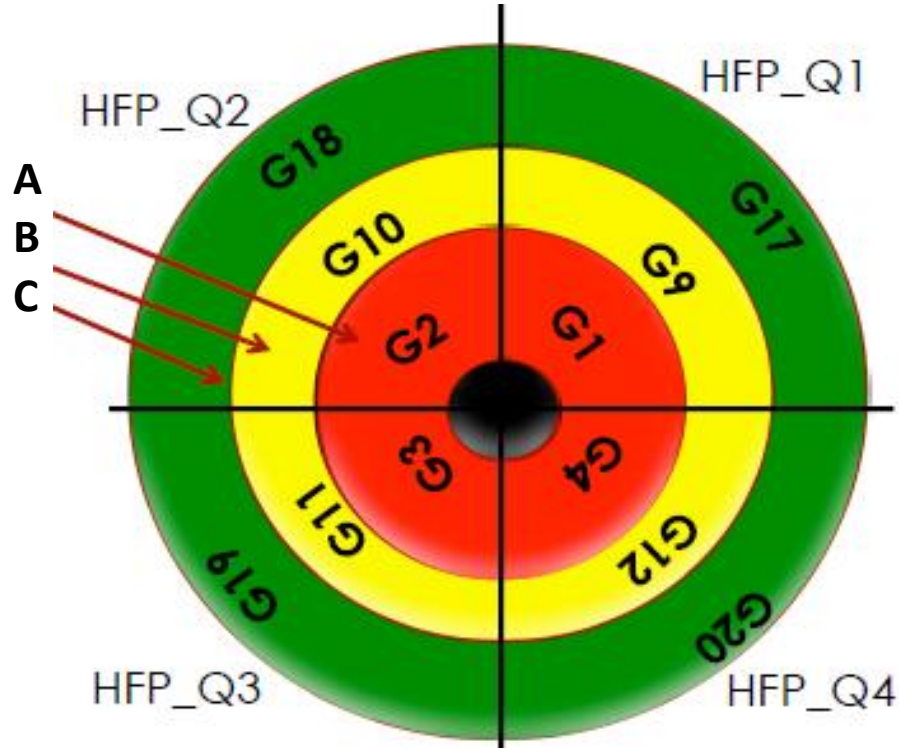
Bir FÇT'nün kazancını hesaplamadan önce foto-katottan kopan foto-elektronların sayısını bilmek gerekir, onun nasıl elde edildiğini şöyle anlatmak mümkündür; FÇT için elde edilen sinyalin en yüksek noktasının değerinin (mean) karesi ile sinyalin orta noktasının genişliği (RMS) değerinin karesinin oranının gürültü

faktörü (Excess Noise Factor (ENF = 1.15±0.05)) ile çarpımı foto elektron sayısını vermektedir. Denklem 4.1’de foto elektron sayısının formülünü görmek mümkündür.

$$N_{pe} = \frac{Mean^2 \cdot ENF}{RMS^2} \quad 4.1$$

FÇT kazanç (gain) değerinin hesaplanması ise Denklem 4.2’de görüldüğü üzere mean değerinin 2.6 (düzeltme faktörü) ile çarpımının yukarıda elde edilen N_{pe} ile (elektronun yükü (e)) çarpımına oranıdır.

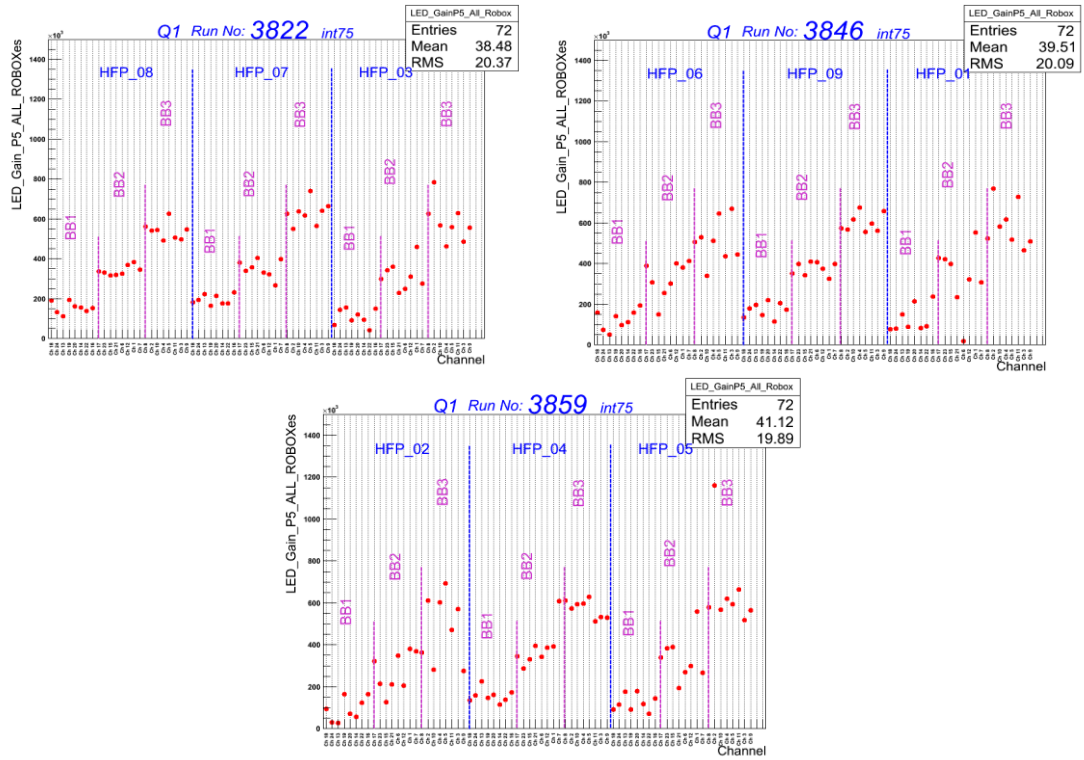
$$Gain = \frac{Mean \cdot 2,6}{N_{pe} \cdot e} \quad 4.2$$



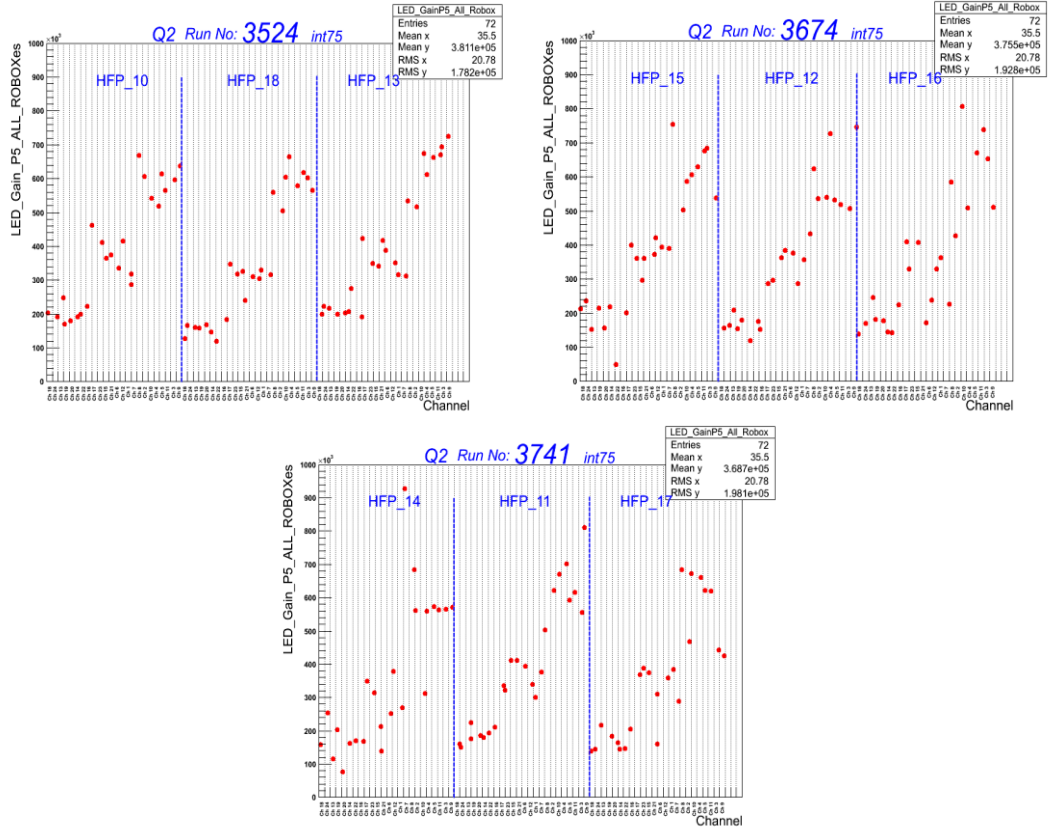
Şekil 4.1. Hüzme demeti eksenine göre HF+’nın ayrıldığı üç katman A hüzme eksenine en yakın, B orta uzaklıkta ve C en uzak katman.

4.1. Çalışma Voltajı (Ç.V.) Öncesi FÇT Kazançları

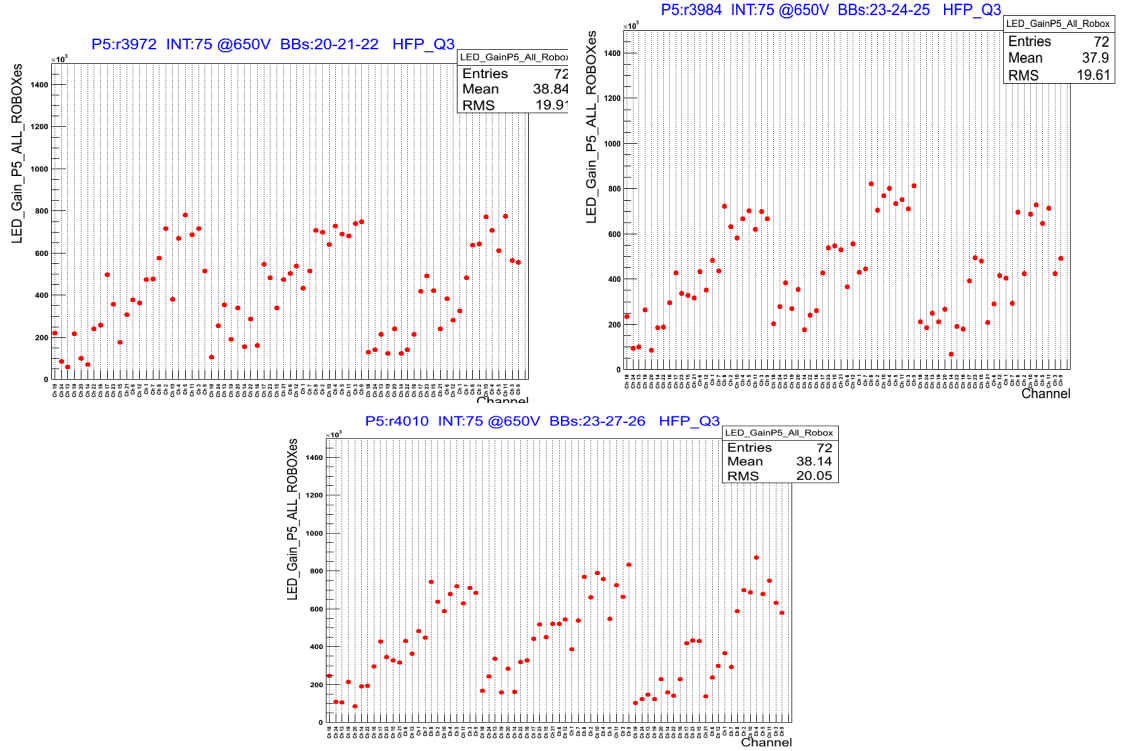
FÇT'ler HF+ detektörüne yerleştirilmeden önce SX5 test alanında çeşitli testlere tabi tutulmuştur. Bu testlerden biri de FÇT'lerin LED ışığına karşı olan tepkisi ve kazanç parametrelerinin ölçülmesi şeklindedir. HF+ için hazırlanmış tüm çeyreklere ait üç farklı okuma ünitesinin her bir kanalına karşılık gelen kazanç değerlerini Şekil 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5'te görmek mümkündür. Bu şekillerde görülen kazanç parametrelerine her hangi bir çalışma voltajı prensibi uygulanmamıştır.



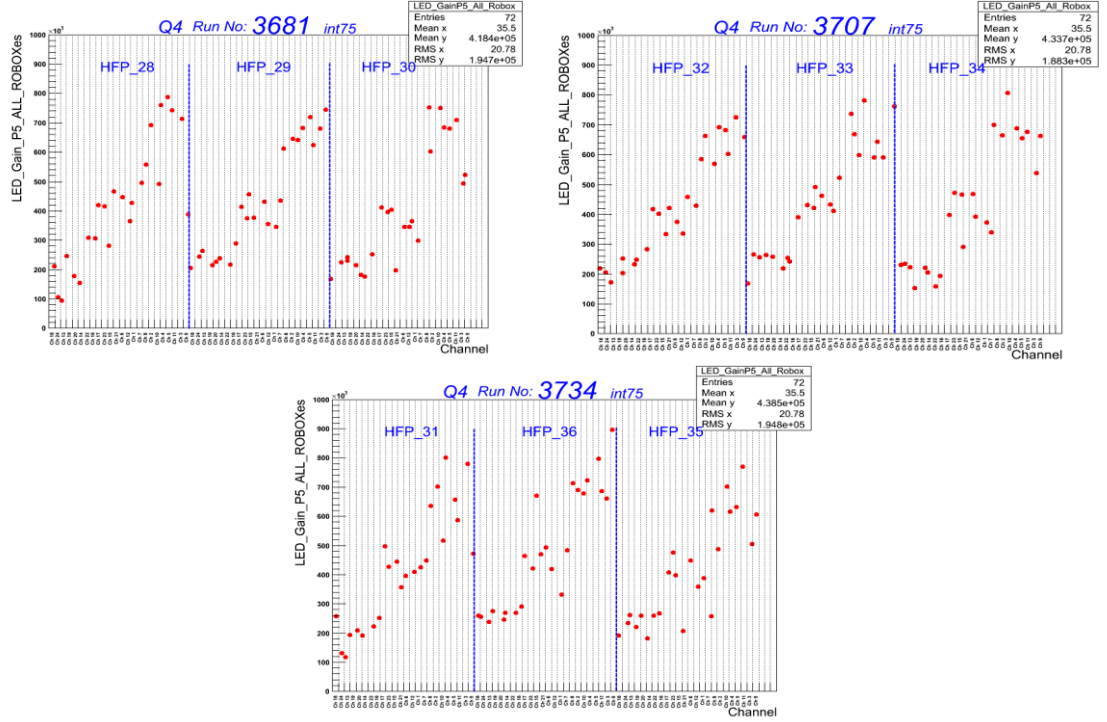
Şekil 4.2. İlk çeyrekte yer alan tüm FÇT'lerin 650V'taki kazanç dağılımları.



Şekil 4.3. İkinci çeyrekte yer alan tüm FÇT’lerin 650V’teki kazanç dağılımları.



Şekil 4.4. Üçüncü çeyrekte yer alan tüm FÇT’lerin 650V’teki kazanç dağılımları.

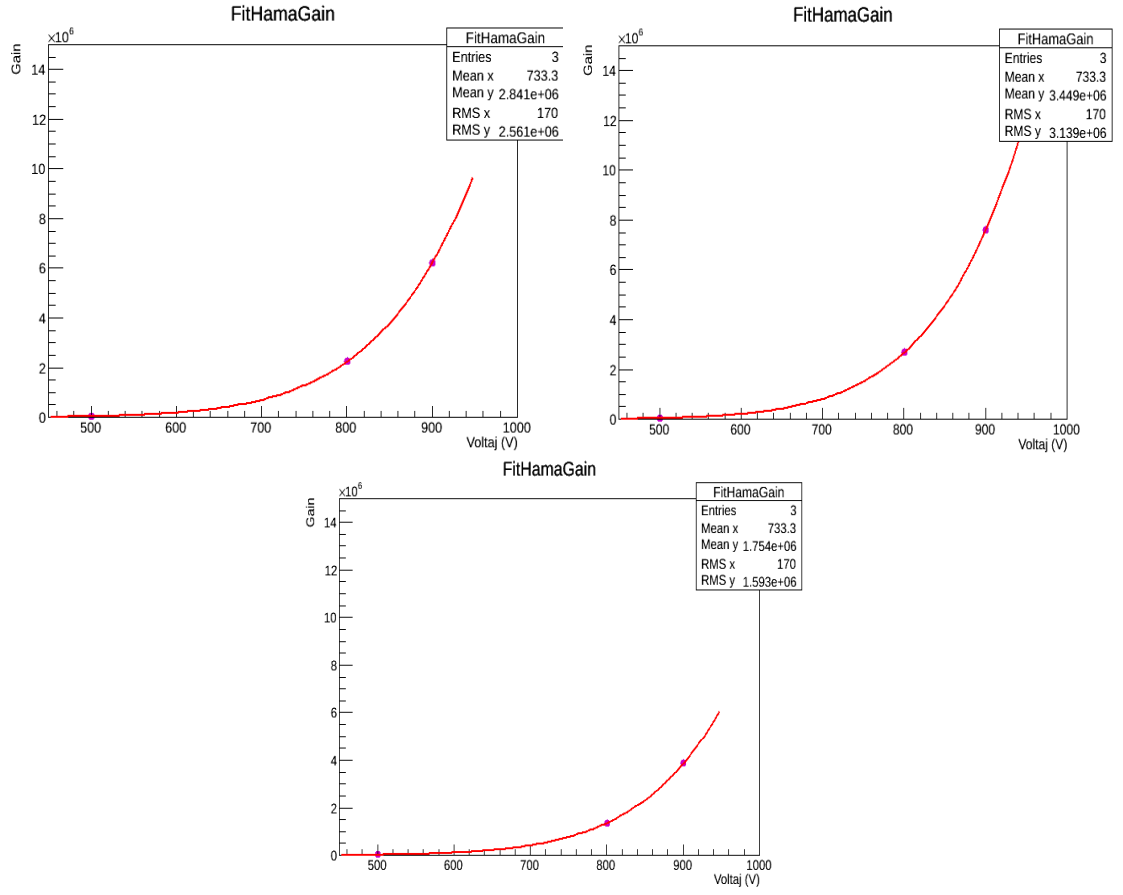


Şekil 4.5. Dördüncü çeyrekte yer alan tüm FÇT ‘lerin 650V taki kazanç dağılımları.

4.2. Çalışma Voltajının (Ç.V.) Belirlenmesi

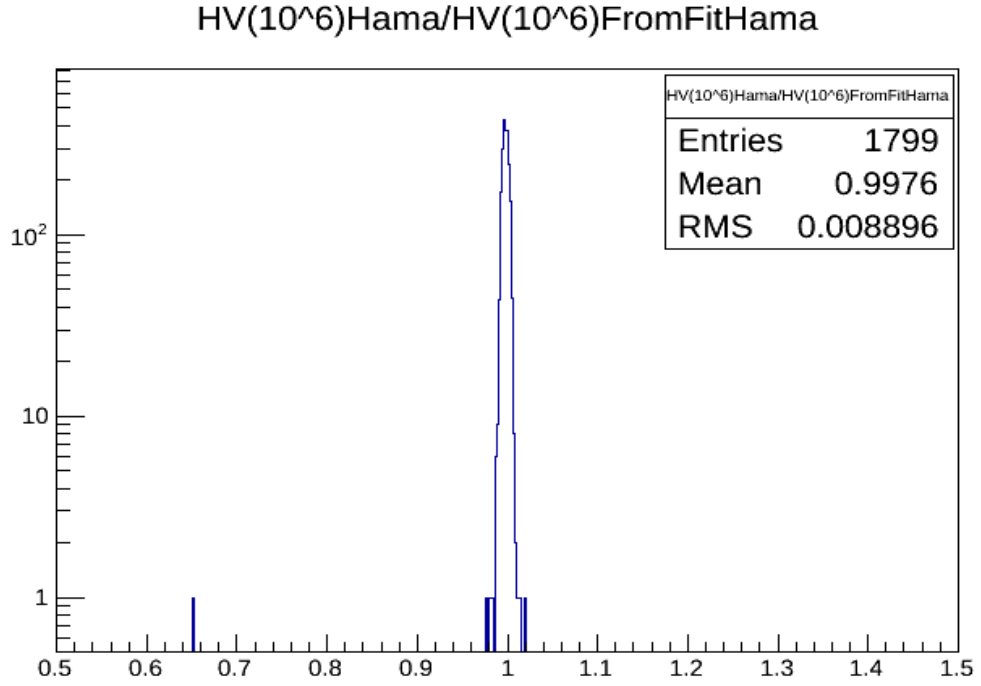
FÇT üretici firması (Hamamatsu), test amacıyla 3 farklı voltajda veriler almıştır. Bu veriler yardımıyla; 500, 800 ve 900 Volt değerlerine karşı kazanç değerleri verilmektedir. Çalışma voltajı belirlenirken elde edilen kazanç parametreleri kullanılarak Şekil 4.6’da 3 farklı FÇT için voltaj kazanç grafiği görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere üstel bir fonksiyon uydurulmuştur (fit). Uydurulan bu fonksiyon parametrelerinden de iki değer alınarak her bir FÇT’nin uygun çalışma voltajı belirlenir. Çalışma voltajı hesabı ise Denklem 4.3’teki gibi tanımlanmaktadır, burada n FÇT’nin dinod sayısı olup bir sabitken, A fitin sabit değeridir, k ise uydurulan fonksiyonun mean değerine karşılık gelir. Toplam 864 FÇT için bu işlem tekrarlanarak her bir FÇT için bir çalışma voltajı belirlenir.

$$\text{Çalışma Voltajı} = \left(\frac{\text{Gain}}{A} \right)^{\frac{1}{k.n}} \quad 4.3$$



Şekil 4.6. Üç değişik FÇT için uygulanan, düşük, orta ve yüksek voltaj değerlerinden elde edilen kazançta uygulanan uydurulma fonksiyonu.

Denklem 4.3 ile elde edilen Çalışma Voltajı ile üretici firmanın tavsiye ettiği Çalışma Voltajların birbirine oranlandığında Şekil 4.7’deki dağılımı ortaya çıkmaktadır. Dağılım genel olarak 1 civarında olduğu görülmektedir. Bu sonuca bakarak şunu söyleyebiliriz, Çalışma Voltajı için kullandığımız yöntemin iyi çalıştığını ve doğru Ç.V. belirlenmiş olduğunu göstermektedir.



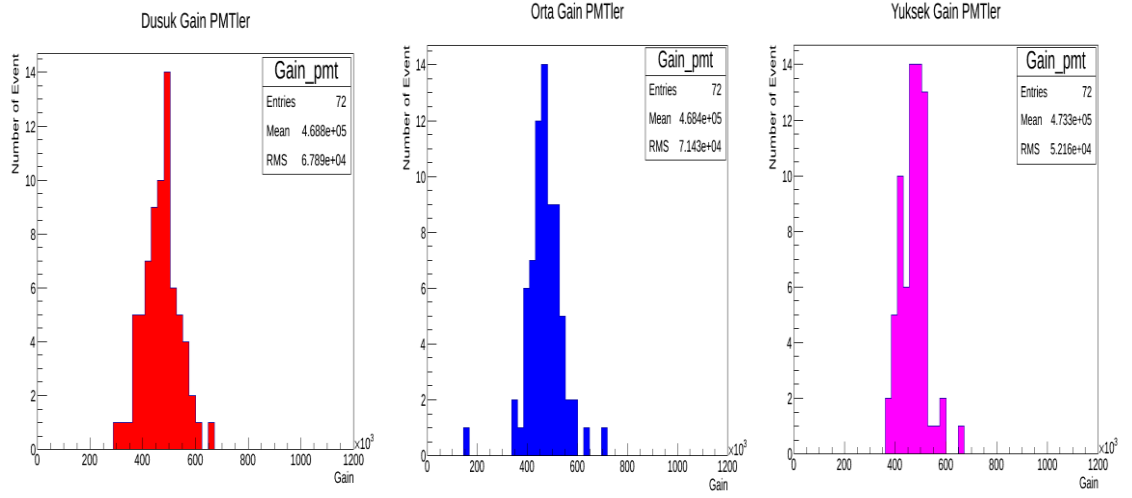
Şekil 4.7. Üretici firmanın önerdiği Ç.V. ile uydurulan fonksiyondan elde edilen veriler yardımıyla hesaplanan Ç.V. lerinin oranlanması.

Böylece kazançlarına göre yaklaşık olarak benzer davranışlı FÇT'ler belirlenmiş olur. Her bir FÇT Şekil 4.1'deki duruma göre kazanç sıralaması yapılarak detektöre yerleştirilir ve bulunduğu yere göre değişik voltaj değeri uygulanır. Farklı çeyreklere uygulanan çalışma voltajları ve onlara ait kanal bilgilerinin bulunduğu tablo Çizelge 4.1'de verilmiştir, bu voltajların değişiklik göstermesi kanalın bulunduğu yer ve FÇT'nin kazancından dolayıdır.

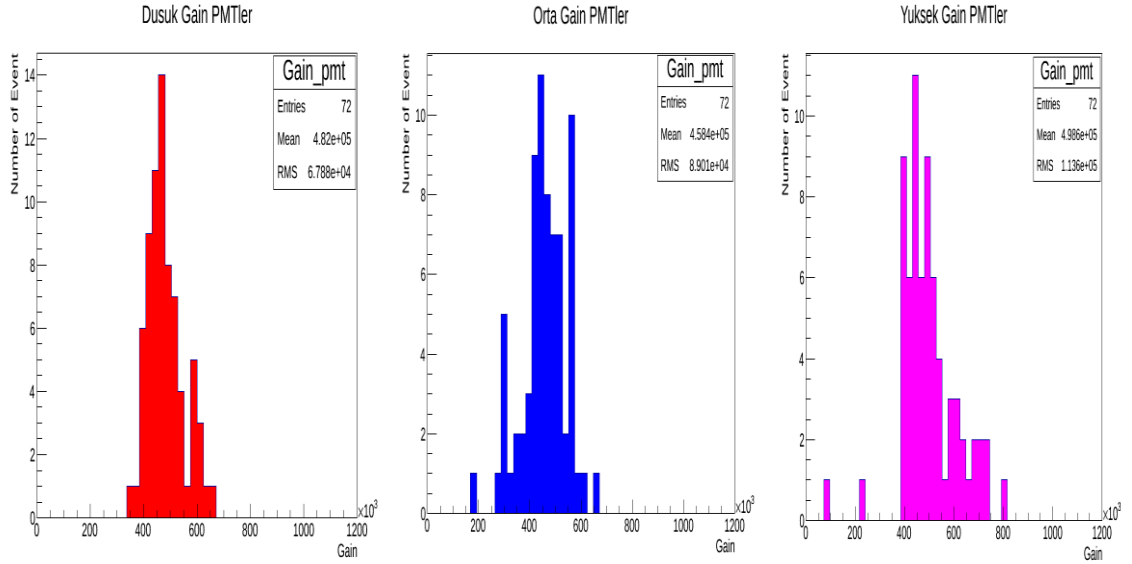
Çizelge 4.1'deki değişik çeyreklere uygulanacak üç değişik çalışma voltajının belirlendikten sonra, her bir kanala belirlenen çalışma voltajı uygulandığında her bir çeyrekten elde edilen dağılımlar Şekil 4.8 - 4.9 - 4.10 - 4.11 görülmektedir. Şekillerden de görüleceği üzere üç değişik voltaj değerindeki kazanç dağılımları iyi görülmekte olup bu da belirlenen çalışma voltajının sağlıklı belirlendiğinin göstergesidir. Ayrıca tüm HF+ kanallarının çalışma voltajlarından elde edilen kazanç dağılımı ise Şekil 4.12'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. HF+'nın 1. Çeyrek, 2. Çeyrek, 3. Çeyrek ve 4. Çeyrek için Çalışma Voltajları.

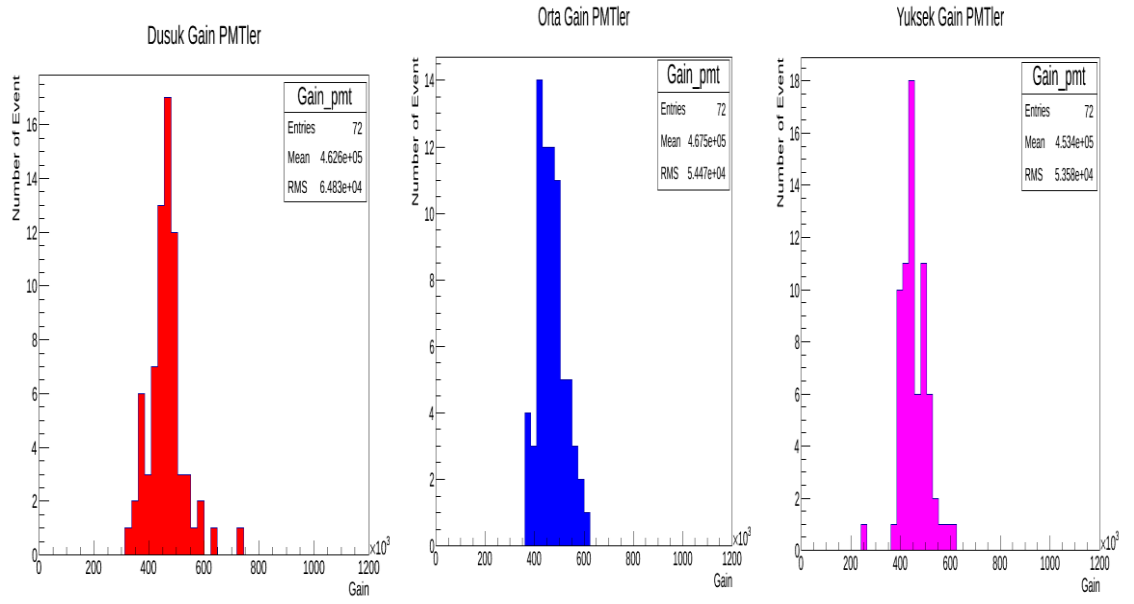
Çalışma Voltajı için Yüksek Gerilim (HV)				
Kanallar	1. Çeyrek	2. Çeyrek	3. Çeyrek	4. Çeyrek
3	633	629	625	622
2	633	629	625	622
5	633	629	625	622
4	633	629	625	622
1	665	662	657	653
6	665	662	657	653
15	665	662	657	653
17	665	662	657	653
14	722	708	698	691
16	722	708	698	691
18	722	708	698	691
19	722	708	698	691
9	633	629	625	622
11	633	629	625	622
8	633	629	625	622
10	633	629	625	622
7	665	662	657	653
12	665	662	657	653
21	665	662	657	653
23	665	662	657	653
20	722	708	698	691
22	722	708	698	691
24	722	708	698	691
13	722	708	698	691



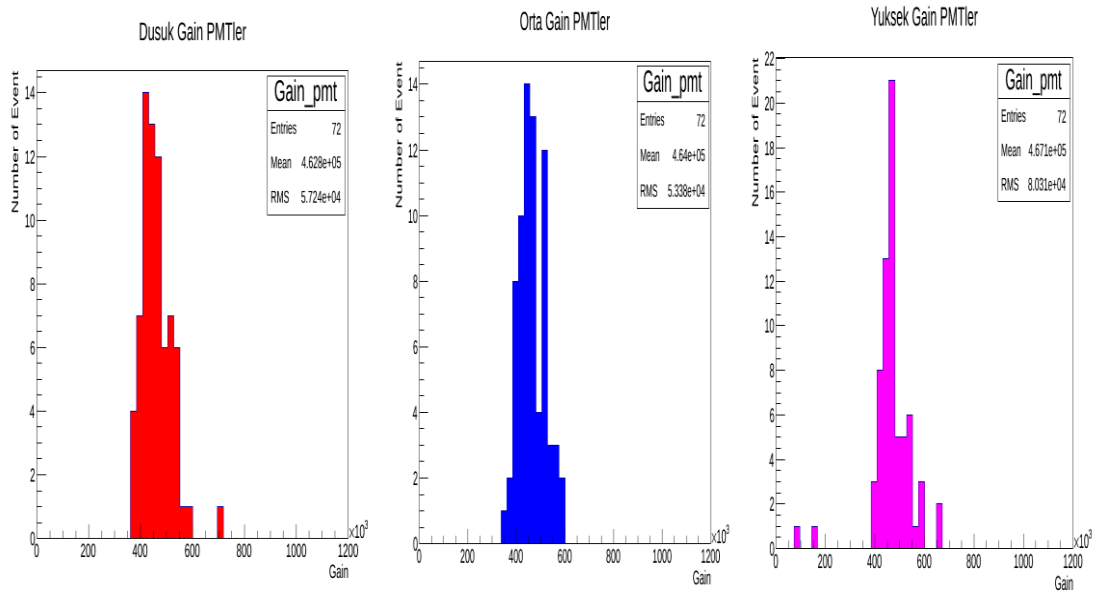
Şekil 4.8. İlk çeyrek için düşük, orta ve yüksek Ç.V. den elde edilen FÇT kazanç dağılımı.



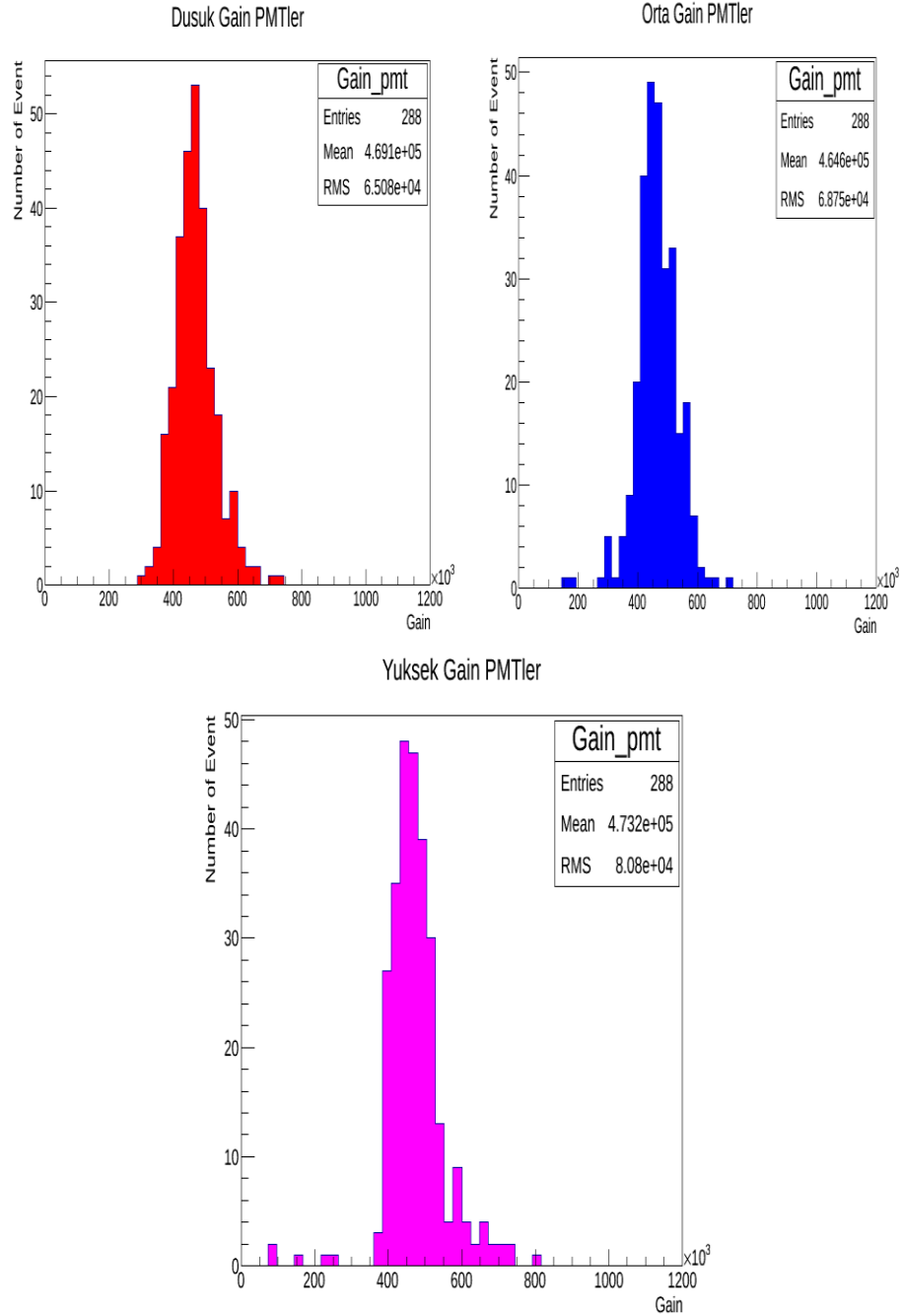
Şekil 4.9. İkinci çeyrek için düşük, orta ve yüksek Ç.V. den elde edilen FÇT kazanç dağılımı.



Şekil 4.10. Üçüncü çeyrek için düşük, orta ve yüksek Ç.V. den elde edilen FÇT kazanç dağılımı.



Şekil 4.11. Dördüncü çeyrek için düşük, orta ve yüksek Ç.V. den elde edilen FÇT kazanç dağılımı.

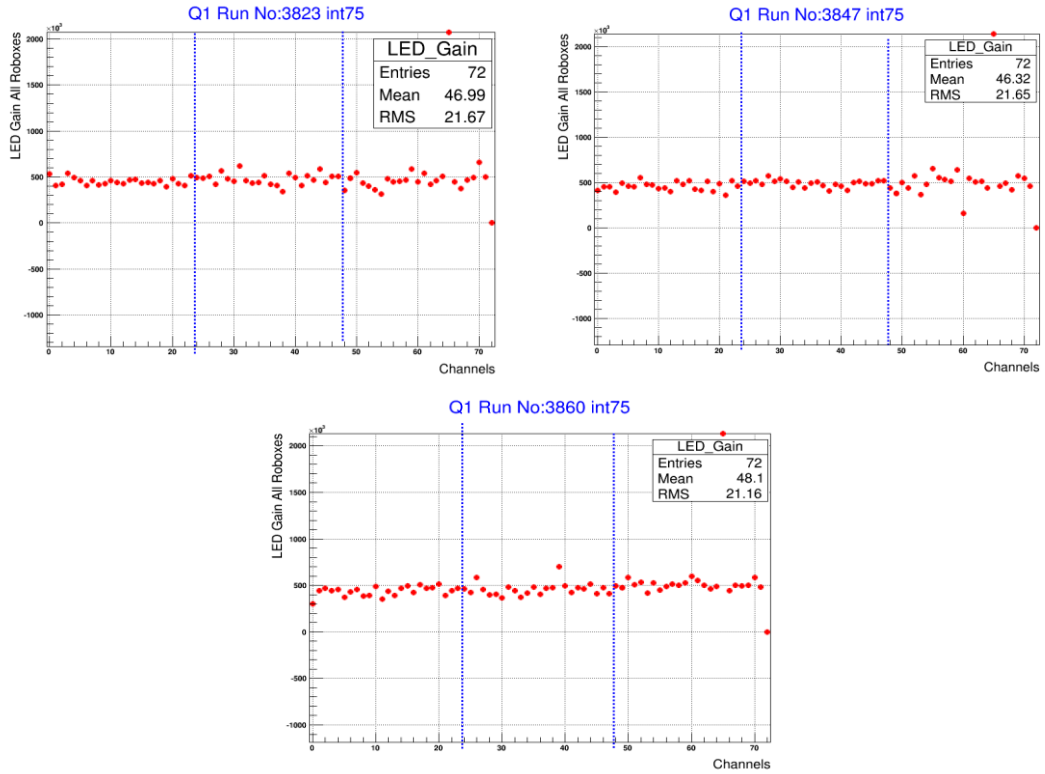


Şekil 4.12. Tüm HFP için düşük, orta ve yüksek Ç.V. den elde edilen FÇT kazançlarının dağılımıdır.

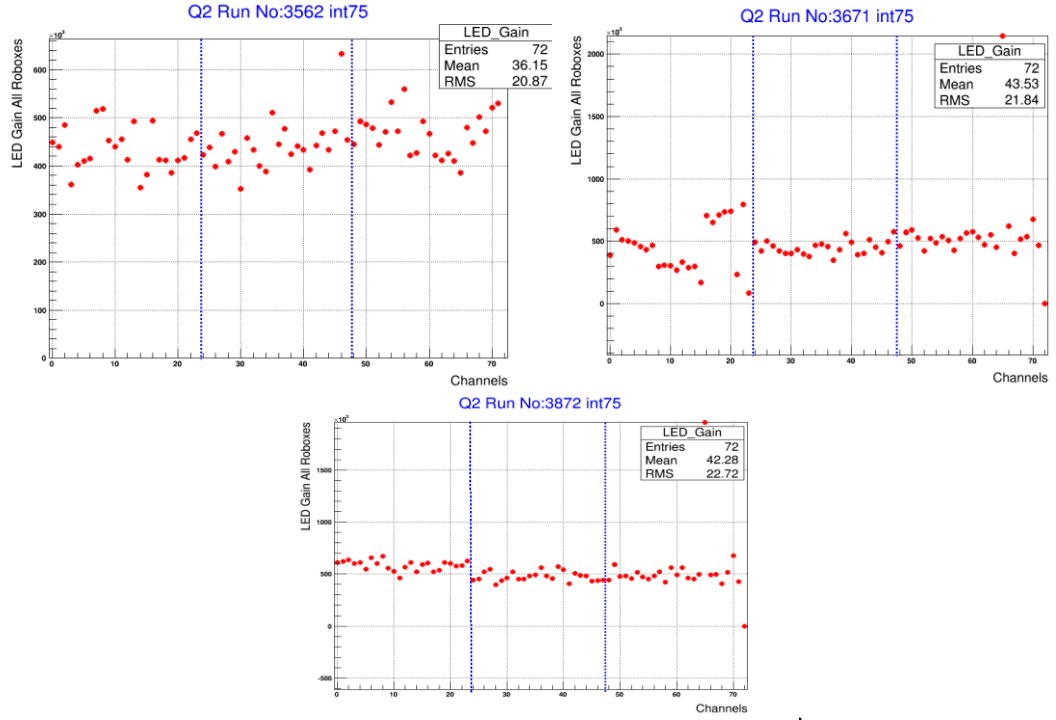
İster çeyrek-çeyrek ister tüm HF+ kanallarının Ç.V. leri belirlendikten sonra elde edilen kazançlarına baktığımızda görülen önemli husus şudur; üç farklı çalışma voltajı uygulanmasına rağmen FÇT'lerin kazançları kabul edilebilir değerler arasında kalarak genel itibariyle bir birine çok yakındır, bu da gruplandırılan FÇT'lerin ve uygulanan voltajların başarılı olduğu anlamına gelmektedir.

4.3 Çalışma Voltajı (Ç.V.) Sonrası FÇT Kazançları

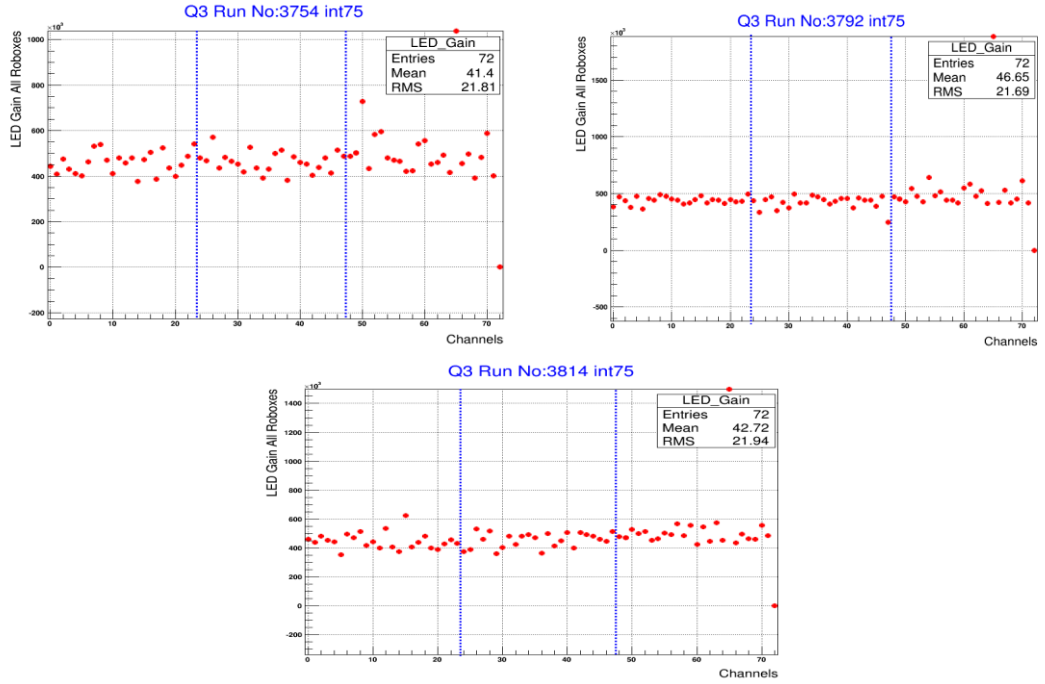
Daha önce de bahsedildiği gibi SX5 test alanında HF+ için hazırlanmış tüm FÇT'ler çalışma voltajı belirleme işleminden sonra çalışma voltajı uygulanarak tekrar veri alımı işlemine tabi tutulmuşlardır. HF+ için hazırlanmış tüm çeyreklere ait üç farklı okuma ünitesinin her bir kanalına karşılık gelen kazanç değerlerini Şekil 4.13 - 4.14 - 4.15 - 4.16'da görmek mümkündür. Bu dağılımlardan da görüleceği gibi tüm kanalların kazançları kabul edilebilir ölçüde birbirine yaklaşmıştır. Bazı kanalların genel davranışın dışında görülmesi bilinen sorunlardandır. Bu sorunların en önemlisini test alanında kullanılan yük okuyucu kartların (QIE) yeni FÇT'lere uygun olmayışdır. Diğer sorunlar ise kablolama ve test düzeneğinden kaynaklıdır. Dikkat edilirse tüm dağılımlarda aynı kanallar genel davranışın dışında sonuç vermiştir. Bu da kanalların sorunlu olduğunu gösterir.



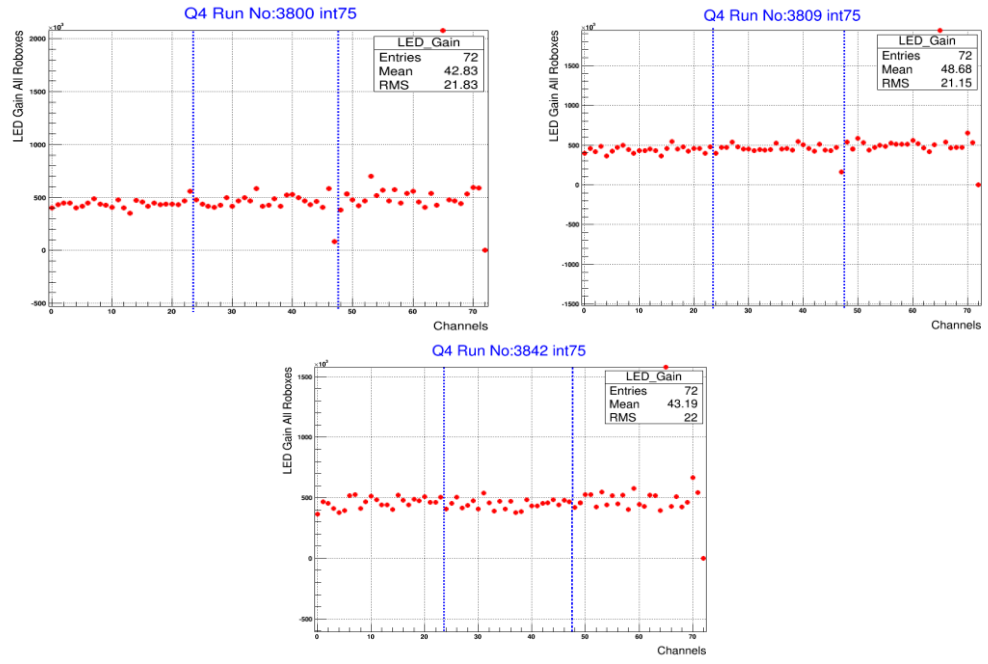
Şekil 4.13. İlk çeyrekte yer alan tüm FÇT'lerin Ç.V.'deki kazanç dağılımlarını gösterir.



Şekil 4.14. İkinci çeyrekte yer alan tüm FÇT'lerin Ç.V.'deki kazanç dağılımlarını gösterir.



Şekil 4.15. Üçüncü çeyrekte yer alan tüm FÇT'lerin Ç.V.'deki kazanç dağılımlarını gösterir.

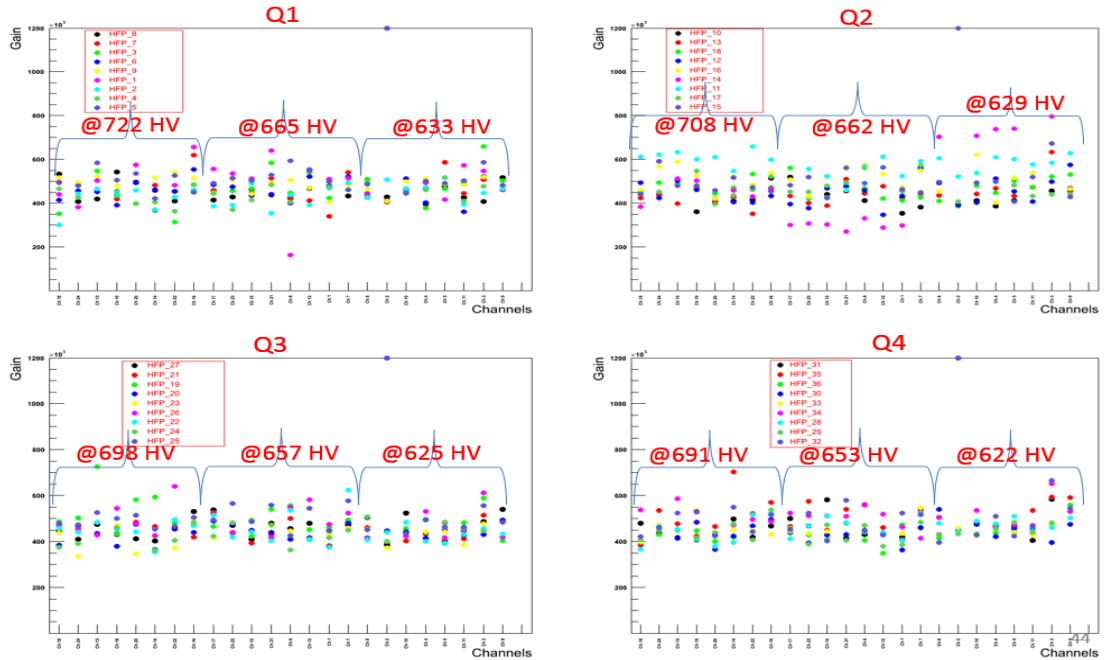


Şekil 4.16. Dördüncü çeyrekte yer alan tüm FÇT'lerin Ç.V.'deki kazanç dağılımlarını gösterir.

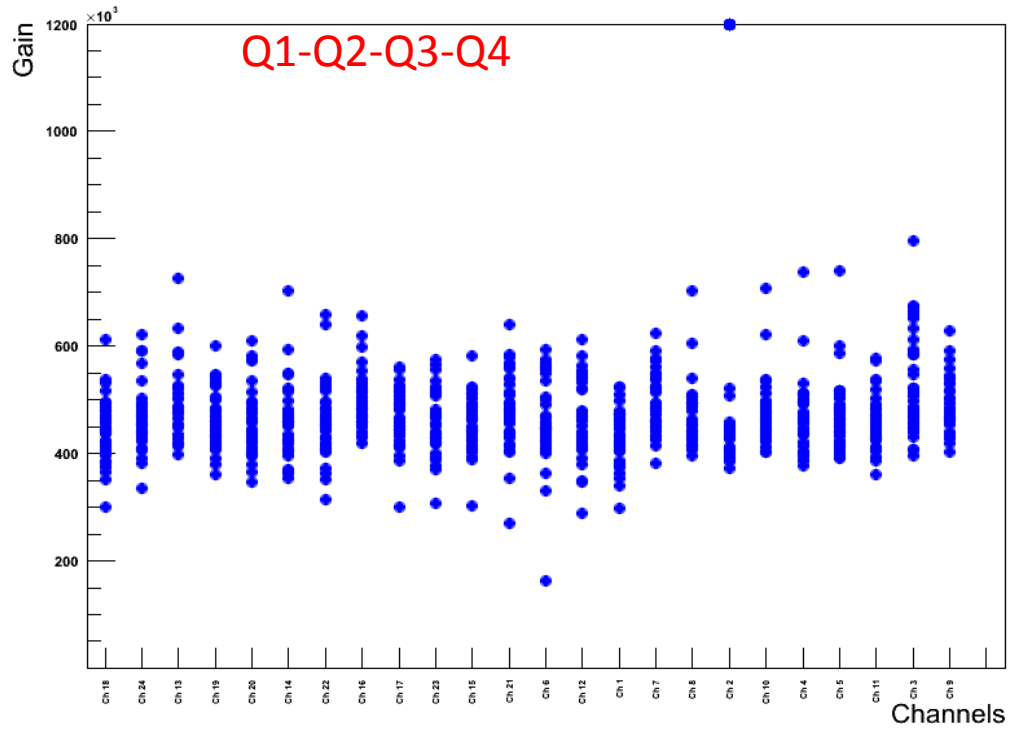
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Büyük hadron çarpıştırıcısı 2015 yılı itibariyle 13 TeV kütle merkezi enerjisinde veri almaya başlamıştır. Hızlandırıcı ve tüm dedektörler bu enerjideki verileri daha iyi toplayabilmek ve toplanan verileri daha hızlı analiz etmek için ayrıca dedektör materyallerini hem de kullanılacak yazılımların güncellenmesi için BHÇ'ye iki yıl boyunca ara verildi.

Bu tezde CMS deneyinde 2013-2014 yılları arasında yapılan yenileme ve iyileştirme çalışmaları kapsamında HF+'da kullanılan yeni (Hamamatsumulti-anode R7600) FÇT'lerin HF+ için LED verileri kullanılarak çalışma voltajının belirlenmesi çalışması sunulmuştur. Bu yenileme işlemi 904 nolu test alanında FÇT'lerin farklı voltajlarda kazançlarının belirlenmesiyle başlayıp SX5 adı verilen test alanında devam etmiştir. Dedektöre yerleştirilmeden önceki son kontroller burada gerçekleşmiş olup burada alınan veriler ile dedektördeki çalışma voltajı belirlenmiş ve kazanç testleri yapılarak beklentiler doğrultusunda sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir. Şekil 5.1'de her bir çeyreğe ait okuma ünitelerinin tamamının kanala karşı kazançları görmek mümkündür. Burada her bir renk bir okuma ünitesine aittir. Şekil 5.2'de ise HF+'daki tüm FÇT'lerin kanala karşı kazanç dağılımını gösterir.



Şekil 5.1. Herbir çeyreğe uygulanan çalışma voltajı ve her bir kanalın kazanç değerleridir.



Şekil 5.2. Tüm HF+ için her bir kanala karşı kazanç dağılım grafiği.

KAYNAKLAR

- Akchurin, N. et al., Beam Test Results From a Fine-Sampling Quartz Fiber Calorimeter for Electron, Photon and Hadron Detection, Nucl. Ins. And Meth. A399(1997) 202-226.
- Akgun, U., 2003. CMS HF Calorimeter PMTs and Ξ_c^+ Lifetime Measurement, Iowa University, USA.
- Akgun, U. et al. 2003, “CMS HF Calorimeter PMTs and Ξ_c^+ Lifetime Measurement, Iowa University”, USA (Ph.D. thesis).
- Bresskin A. ve VOSS R., The CERN Large Hadron Collider: Accelerator and Experiments. Volume 2, 2009.
- Catanesi, M.G., (1987), Nucl. Instr. And Methods.
- CMS Collaboration 2006, “Detector Performance and Software”, CMS Physics Technical Design Report, Volume 1.
- CMS Collaboration, 2008. “The CMS Experiment at the CERN LHC”, The CERN Large Hadron Collider: Accelerator and Experiments.
- CMS Collaboration “Detector Performance and Software”, CMS Physics Technical Design Report, Volume 1, (2006).
- CMS Collaboration 2008. “The CMS Experiment of the CERN LHC”
- CMS Collaboration., 2008. The CMS experiment at the CERN LHC. submitted to J. INST.
- CMS Detector Posters, 2000. CMS Document 4227 - v1, <https://cmsdocdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/ShowDocument?docid=4227>
- CMS HCAL Collaboration, 2008. “Design, Performance, and Calibration of CMS Hadron Endcap Calorimeters”, CMS Note, CMS NOTE 2008/010
- CMS NOTE, 2010/003, “Study of Various Photomultiplier Tubes with Muon Beams and Cerenkov Light Produced in Electron Showers”
- CMS TDR, 2006, “Volume I”, CERN/LHCC 2006-001
- Dumanoglu, I., et.al., (2002) “Radiation Hardness Studies of High OH- Content Quartz Fibres Irradiated with 500 MeV Electrons”, Nucl. Inst. And Meth A 490, 444-455
- Focardi, E., 2011. “Status of the CMS detector”, Conference Report, CMS CR-2011/214, TIPP 2011

Hamamatsu 2006. “Photomultiplier Tubes Basic and Applications, Third Edition”.

Lefevre, P., CERN/AC/95-05,1995.

Phlips Photonics, 1994. Photomultiplier Tubes, Principles and Applications, France

PublicDocDB/RetrieveFile?docid=4227&version=1&filename=MagnetField.pdf,(2013).

http://iopscience.iop.org/1748-0221/3/08/S08004/pdf/1748-0221_3_08_S08004.pdf,(2013).

http://cds.cern.ch/record/1395445/files/CR2011_214.pdf, (2012).

https://cds.cern.ch/record/1103003/files/NOTE2008_010.pdf, (2012).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Eşref TEKİN

Doğum Yeri : Adıyaman

Doğum Tarihi : 01/07/1982

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Adıyaman Lisesi (1995-1998)

Lisans : İstanbul Üniversitesi (1999-2003)

Yüksek Lisans (Tezsiz) : Sakarya Üniversitesi (2005-2006)

Yüksek Lisans (Tezli) : Adıyaman Üniversitesi (2012-Halen)

Çalıştığı Kurum / Kurumlar ve Yıl

- Işıkfen Dershanesi (2004-2005)
- Çapa Anadolu Öğretmen Lisesi (2005)
- Muş Devlet Hastanesi (2008)
- Sason lisesi (2008-2010)
- Adıyaman Rekabet Kurumu Lisesi (2010-2014)
- Adıyaman İmam Hatip Lisesi (2014-Halen)