

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yalçın GÜLER

**CMS HF DEDEKTÖRÜNDE KULLANILAN FİBERLERİN
RADYASYONDAN GÖRDÜĞÜ ZARARI GÖRÜNTÜLEME
SİSTEMİ**

FİZİK ANABİLİM DALI

ADANA, 2011

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CMS HF DEDEKTÖRÜNDE KULLANILAN FİBERLERİN
RADYASYONDAN GÖRDÜĞÜ ZARARI GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİ**

Yalçın GÜLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

Bu tez/...../2011 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 Fizik Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. İlhami YEĞİNGİL
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: FEF2011YL6

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

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CMS HF DEDEKTÖRÜNDE KULLANILAN FİBERLERİN RADYASYONDAN GÖRDÜĞÜ ZARARI GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİ

Yalçın GÜLER

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU

Yıl: 2011 Sayfa:71

Jüri : Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU

Prof. Dr. Aysel KAYIŞ TOPAKSU

Prof. Dr. Sefa ERTÜRK

İleri Hadron kalorimetre CMS (Compact Muon Solenoid) deneyinin alt dedektörlerinden biri olup, etkileşim bölgesinden yaklaşık $\pm 11\text{m}$ uzaklıkta ileri bölgede pseudorapidite $3 < |\eta| < 5$ aralığını kapsayacak ve sadece ışın demeti geçebilecek şekilde iki parça halinde tasarlanmıştır. Dedektör demir soğurucu içine yerleştirilmiş kuvars fiberlerden oluşur. Bu fiberler, Çerenkov ışığını PMT'lere taşıyarak parçacıkların varlanmasını sağlar. Fiberler proton demetlerine yakın olmasından dolayı yüksek oranda radyasyona maruz kalırlar. Bu radyasyon zamanla fiberlerin bozulmasına neden olur. Fiberlerdeki değişimin gözlenmesi için HF dedektörüne yerleştirilmiş özel kanallar bulunur. Bu kanallardan alınan veriler kullanılarak, radyasyon zararını canlı izlemek mümkündür. Bu çalışmada HF'teki radyasyon hasarları CMS'in 2010 yılı boyunca aldığı veriler kullanılarak incelenmiş ve analiz metodunda bir takım yenilikler ve değişiklikler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: HF, CMS, BHÇ, FİBER.

ABSTRACT

MSc THESIS

RADIATION DAMMAGE MONITORING SYSTEM OF THE FIBERS USED IN THE CMS HF DETECTOR

Yalçın GÜLER

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF PHYSICS

Supervisor : Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU

Year: 2011 Sayfa:71

Jury : Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU

Prof. Dr. Aysel KAYIŞ TOPAKSU

Prof. Dr. Sefa ERTÜRK

HF detector is one of the sub-detectors of the CMS. HF which is designed as two hadron forward (HF $\pm$) calorimeters on both sides of the CMS interaction point (IP), at about ± 11 m, covers the very forward angles of CMS, in the pseudorapidity range $(3.0 < |\eta| < 5.0)$, leaving only clearance for the beam pipes. This calorimeter consists of quartz fibers embedded in the iron absorber. Cherenkov light created by the charged particles is transmitted to PMTs by the fibers. Fibers due to the proximity of the proton beams are exposed to high radiation. This radiation causes deterioration of the fibers over the time. Some special channels are placed in the HF detector to observe the change due to radiation in the fibers. It is possible to monitor radiation damage online using the data taken from these channels. In this study, radiation damage of HF is analyzed using the local data which was taken during 2010 run period. A number of innovations and modifications have been proposed for the analysis method.

Key Words: HF, LHC, CMS, FIBER, CERN

TEŞEKKÜR

Yaptığım çalışmalarında desteğini, yardımını ve tavsiyelerini daima yanımda bulduğum değerli hocam Prof. Dr. İsa Dumanoglu'na çok teşekkür ederim.

CERN'de bulunduğum süre boyunca hiçbir yardımı benden esirgemeyen, her söylediğiyle bende farklı bir ufuk açılmasını sağlayan ve öğrendiklerimin çoğunu borçlu olduğum Taylan Yetkin'e teşekkürü bir borç bilirim. Yine CERN'de bulunduğum zaman zarfında çalışmalarında yapıcı tavsiyeler veren ve yol gösteren Jean Pierre Merlo'ya ayrıca yoğun çalışma temposu içinde zaman ayırıp çalışmalarımıza yardımcı olan Pawel De Barbaro ve arkadaşlarına çok teşekkür ederim. Ayrıca Çukurova Yüksek Enerji Fiziği grubuna yaptıkları destek ve katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Her zaman beni destekleyen, yaptığım çalışmaları merakla takip eden babama, anneme ve kardeşlerime, ayrıca yardımları için arkadaşım Sedat Yurt'a ve her zaman yanımda olan Adnan Aslan'a çok teşekkür ederim.

CERN' de bulunmamı ve yaptığım çalışmaları desteklemelerinden dolayı TAEK'e (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) ve Çukurova Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR	XII
1. GİRİŞ	1
2. TEORİK ALTYAPI	3
2.1. Standart Model	3
2.2. Leptonlar, Kuarklar ve Hadronlar	4
2.2.1. Leptonlar	4
2.2.2. Kuarklar	6
2.2.3. Hadronların Genel Özellikleri	7
3. BÜYÜK HADRON ÇARPIŞTIRICISI VE CMS	9
3.1. Çarpıştırma Fiziği	12
3.2. Hadron Çarpıştırıcıları ve BHÇ	13
3.3. CMS Dedektörü	16
3.4. CMS'in Konumu ve Yapısı	18
3.4.1. İzleyici Sistem	18
3.4.1.1. Piksel Dedektör	19
3.4.1.2. Silikon Şerit Dedektör	21
3.4.2. Elektromanyetik Kalorimetre	21
3.4.2.1. Kurşun Tungstat Kristalleri	22
3.4.2.2. Ön duş Dedektörü	23
3.4.2.2.(1). Geometri	23
3.4.3. Hadronik Kalorimetre	25
3.4.3.1. Hadronik Fıçı	25
3.4.3.2. Hadronik Kapak	26

3.4.3.3. Hadronik Dış	26
3.4.4. Mıknatıs	27
3.4.5. Müon Sistemi	28
3.5. Tetikleyiciler.....	30
4. CMS İLERİ KALORİMETRELERİ HF, CASTOR ve ZDC	33
4.1. İleri Bölge Kalorimetre.....	33
4.1.1. Kuvars Fiber Çerenkov Kalorimetre.....	33
4.1.2. İleri Hadron Kalorimetrenin Yapısı	35
4.2. CASTOR	38
4.2.1. Tungsten Kuvars Tabakalar	38
4.3. Sıfır Derece Kalorimetresi	39
5. MATERYAL VE METOD	43
5.1. HF’de Radyasyon Zararını Görüntüleme Sistemi	43
5.1.1. HF’in RADDAM Düzenneği	43
5.1.2. RADDAM Sisteminin Çalışma Prensibi	44
5.1.3. Fiberlerdeki Radyasyon Etkisi	46
5.1.3.1. Fiberlerde Radyasyon Hasarı	46
5.1.3.2. Fiberlerdeki Hasarın İyileşmesi	50
6. ANALİZ YÖNTEMİ VE SONUÇLAR.....	53
6.1. Olay Seçimi	53
6.2. Değerlendirme	55
6.3. Hata Kaynakları	57
6.3.1. Yöntemden Kaynaklanan Hata Payı	57
6.3.2. Sistemden Kaynaklanan Hata Payı	59
6.4. Radyasyon Etkisi	59
6.6. Veri Kalitesi İzleme Histogramları.....	61
7. TARTIŞMA VE SONUÇ	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 2. 1. Standart modelin temel bileşenleri.	5
Çizelge 2. 2. Kuarkların e^- biriminde yükleri ve GeV/c^2 biriminde yaklaşık kütleleri.	7
Çizelge 3. 1. Proton demetleri için tasarlanan BHÇ parametreleri (Bruning ve ark.,2004).	11
Çizelge 5. 1. 455 ve 615 nm’de proton ile ışınlanmış fiberlerin $\alpha(\lambda)$ ve $\beta(\lambda)$ parametreleri.....	49
Çizelge 5. 2. 450 ile 610 nm’de elektron ile ışınlanmış fiberlerin $\alpha(\lambda)$ ve $\beta(\lambda)$ parametreleri.....	49
Çizelge 6. 1. QIE yük dönüşüm tablosu.....	63

Şekil 3.1. BHÇ ve deneylerin konumunun yukarıdan bakışla hayali gösterimi.	9
Şekil 3.2. CERN’deki BHÇ de dahil olmak üzere tüm hızlandırıcıların şematik gösterimi.....	10
Şekil 3.3. Işın demeti taşıyan taşıyıcı dipolün şematik görünüşü.	11
Şekil 3.4. a) CMS’te kullanılan koordinat sistemi, b) Azimutal Açısı, ve dikine momentumun tanımı, c) Pseudorapidity ve kütlenin merkezden saçılma açısı, d) eta-phi uzayı.	15
Şekil 3.5. BHÇ ve üzerinde yer alan dedektörler.....	16
Şekil 3.6. CMS dedektörünün iç yapısı.....	18
Şekil 3.7. İzleyici sistem.	19
Şekil 3.8. Piksel dedektörü.....	20
Şekil 3.9. Silikon şerit izleyicinin uzunlamasına düzeni (mavi katmanları çift ve kırmızı katmanları tek taraflıdır).	21
Şekil 3.10. CMS dedektörünün boyuna kesit görünüşü.	22
Şekil 3.11. Elektronik kalorimetrenin bileşenlerinin yerleri ve görünüşü.	23
Şekil 3.12. Ön duş dedektörü.	24
Şekil 3.13. Hadron kalorimetresinin fiçı kısmı.	26
Şekil 3.14. HB (hadron barrel), HO(hadron outer), HE(Hadron endcap)ve HF(hadron forward) kalorimetrelerinin yerleşimini gösteren CMS dedektörünün boydan görünüşü.	27
Şekil 3.15. CMS dedektöründe kalorimetreleri içinde barındıran süper iletken selenoid.	29
Şekil 3.16. Muon sisteminin dikey görünüşü (Chatrchyan ve ark., 2008).....	30
Şekil 3.17. S1 tetikleme yapısı (Chatrchyan ve ark., 2008).....	32
Şekil 4.1. CMS de etkileşim noktasının (EN) bir tarafındaki ileri bölge: Sırasıyla $3 < \eta < 5$ ve $5 < \eta < 7$ pseudorapidity aralığını kapsayan kuvars kalorimetre HF ve CASTOR ile birlikte çarpışma noktasından 140 m uzaklıkta, yüksek enerjili ileri nötral parçacıkları ölçmeye yarayan sıfır derece kalorimetresi ZDC (fiberler) yer alır.....	34

Şekil 4.2. HF soğurucusundaki kuvars fiberlerin yerleşimi. Uzun ve kısa fiberlerin soğurucudaki boşluklardaki dizilişleri farklı renklerde gösterilmiştir.	36
Şekil 4.3. HF kalorimetresinde kullanılan fiber.	36
Şekil 4.4. Çelik soğurucunun fiberler ile doldurulması ve montajı sırasında HF dilimlerinin görünüşü.	37
Şekil 4.5. Elektromanyetik ve Hadron duşlarından oluşan bileşenlerinin HF üzerindeki etkisi.	37
Şekil 4.6. CASTOR kalorimetresi ve destekleyici.	39
Şekil 4.7. Nötr parçacık soğurucu (TAN).	40
Şekil 4.8. a) ZDC'nin EM ve HAD bölümlerinin yandan görünüşü b) ZDC'nin HAD bölümünü gösteren fotoğrafı.	40
Şekil 5. 1. RADDAM Sistemi. Lazerden gelen ışık 440 nm dalga boyuna kaydırılarak bir dağıtıcı aracılığıyla HF+ için dört dilime dağıtılır.	44
Şekil 5. 2. Lazerden gelen, kuledeki fibere ve PMT'ye giden fiberlerin bir cam tüp içerisinde nasıl yerleştirildiğinin temsili resmi ayrıca birinci ve ikinci yansıyan sinyallerin aralarındaki zaman farkı ve sinyalin şekli.	45
Şekil 5. 3. RADDAM fiberlerin yerleri kırmızı kutular ile gösterilmiştir.	45
Şekil 5. 4. 455 nm ve 615 nm de qq fiberi için $I(D)/I(0)$ 'ın doza karşı grafiği (Cankocak ve ark., 2008).	47
Şekil 5. 5. 455 nm ve 615 nm'de qp fiberi için $I(D)/I(0)$ 'ın doza karşı grafiği grafiği (Cankocak ve ark., 2008).	48
Şekil 5. 6. 1.25 Grad proton ışınlamaya maruz kalmış, qq ve qp fiberler için α ve β parametrelerinin dalga boyuyla değişimi (Cankocak ve ark., 2008).	48
Şekil 5. 7. 100 Mrad elektron ışınlamaya maruz bırakılmış farklı yapılı fiberlerin α ve β parametrelerinin dalga boyuyla değişimi (Dumanoglu ve ark., 2002).	49
Şekil 5. 8. qq ve qp fiberleri için proton ışınlamasından 205 ve 605 saat sonra iyileşme çalışmalarından elde edilen parametrelerin, γ ve η , dalga boyu ile değişimi (Cankocak ve ark., 2008).	50
Şekil 5. 9. Tüm fiberlerin elektron ışınlamasından 24 ve 48 saat sonra iyileşme çalışmalarından elde edilen parametrelerin, γ ve η , dalga boyu ile değişimi (Dumanoglu ve ark., 2002).	51

Şekil 6.1. a) HF (+) için birinci ve ikinci yansıyan sinyalin 3. ve 4. zaman dilimlerinde, b) HF(−) için 4. ve 5. zaman dilimlerinde olduğunu gösteren histogramlar.	53
Şekil 6. 2. a) S1 dağılımı üzerinde b) S2 dağılımı üzerinde birinci olay seçim şartını gösteren histogramlar.	55
Şekil 6.3. a) İkinci olay seçim şartının şematik gösterimi b) Olay seçimine karar vermek için kullanılan histogram.	55
Şekil 6.4. Birinci (a) ve ikinci (b) yansıyan sinyal dağılımları Gauss fonksiyonuna uydurulmuştur.	56
Şekil 6.5. Her bir kanalın birinci (a) ve ikinci (b) sinyallerinin ortalama değerleri...	57
Şekil 6.6. (a) ve (b) birer gün ara ile alınmış veri kullanılarak, bulunan hata oranları.	58
Şekil 6.7. Sadece bir kanal için, birinci sinyalin bir referans verisine göre tüm verilerdeki davranışını gösteren histogram.	60
Şekil 6.8. Sadece bir kanal için, ikinci sinyalin bir referans verisine göre tüm verilerdeki davranışını gösteren histogram.	60
Şekil 6.9. Sadece bir kanalın radyasyondan etkilenme durumunu tüm veriler üzerinden gösteren histogram.	61
Şekil 6.10. DQM için hazırlanmış radyasyon hasarı görüntülemek için kullanılan histogramlar.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

ADC	: Analog - Dijital Çevirici
ALICE	: Büyük İyon Çarpışma Deneyi
ATLAS	: Toroidal BHÇ Aygıtı
APD	: Çığ Foto Diyot
BHÇ	: Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
CERN	: Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
CMS	: Sıkı Müon Solenoidi
CASTOR	: Centauro ve Acayip Cisim Araştırmaları
DQM	: Veri Kalitesini İzleme
ECAL	: Elektromanyetik Kalorimetre
EE	: Elektromanyetik Kapak Kalorimetresi
eV	: Elektron Volt
FE	: Ön uç Elektronik
GeV	: Milyar Elektron Volt
HCAL	: Hadronik Kalorimetre
HB	: Hadronik Fıçı Kalorimetresi
HE	: Hadronik Kapak Kalorimetresi
HO	: Hadronik Dış Yüzey Kalorimetresi
HF	: İleri Kısım Hadronik Kalorimetre
HPD	: Hibrid Foto-Diyot
LEP	: Büyük Elektron Pozitron Çarpıştırıcısı
LHC	: Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
LHC-b	: Büyük Hadron Çarpıştırıcısı Beauty Deneyi
LED	: Işık Yayan Diyot
MB	: Fıçı Bölgesi Müon Dedektörü
ME	: Kapak Bölgesi Müon Dedektörü
MHz	: Milyon Herz
MeV	: Milyon Elektron Volt
PS	: Proton Sinkrotronu

PMT	: Foto Çoğaltıcı Tüp
PbWO ₄	: Kurşun-Tungsten Kristali
RADDAM	: Radiation Damage Monitoring
RBX	: Okuma Ünitesi
SUSY	: Süper-simetri
SM	: Standart Model
SPS	: Süper Proton Sinkrotronu
TeV	: Trilyon Elektron Volt
WLS	: Dalga-Boyü Öteleyici Fiberler
QIE	: Yükl birleřtirici kodlama
ZDC	: Sıfır Derece Kalorimetre
L	: Işıklılık
$\sqrt{s}$	: Kütle-Merkezi Enerjisi
φ	: Azimutal Açı
p	: Momentum
η	: Psüdorapidite
e	: Temel Elektrik Yükl
λ	: Nükleer Etkileşme Uzunluğu
X_0	: Işınım Uzunluğu
σ	: Tesir Kesiti
V	: Eşik Gerilimi

1.GİRİŞ

Parçacık fiziği, maddenin en küçük boyutta en temel seviyede nelerden yapılmış olduğunu ele alır. Maddenin atom altı düzeylerindeki küçük parçalar arasında büyük boşluklardan oluşması dikkat çekici ve merak uyandırıcı bir gerçektir. Hatta daha da dikkat çekici olan, çevremizdeki astronomik boyuttaki her şeyi, bu küçük parçacıkların farklı türlerinin (elektronlar, protonlar, nötronlar, pi mezonları, nötrinolar ve benzeri) bir araya gelerek oluşturuyor olmasıdır. Bu yapının anlaşılması için bilim adamları Standart Model adında bir kuram ortaya atmışlardır. Maddeyi oluşturan ve aralarındaki ilişkiyi açıklayabilen Standart Model (SM) kuramı, yapılan deneyler sonucunda birçok soruya cevap verebilmektedir, fakat onun da eksik kaldığı açıklayamadığı bir takım sorular hala cevap bulamamıştır. Bu nedenle bilim adamları SM ötesi yeni kuramlara yönelmişlerdir. Bu araştırmaları fizikçiler CERN (Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi)'de yürütmektedirler. 1989'da yerin 100 metre altında 27 km'lik tünel içine inşa edilen Büyük Elektron-Pozitron çarpıştırıcısı (LEP) sökülerek yerine, 2001 yılından itibaren Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ) adında, hadronları çarpıştırmak üzere yeniden dizayn edilmiştir.

BHÇ'de p - p ve iyonlar daha önce ulaşamamış kütle merkezi enerjisi ve ışıklılıkta çarpıştırılmaktadır. BHÇ üzerinde dört büyük deney yer alır. CMS deneyi bunlardan birisidir. BHÇ'nin sağlamış olduğu yüksek seviyede ışıklılık kullanılarak yapılan çarpışmalar sonucu zamanla dedektörün alt bölümleri yüksek oranda radyasyon etkisine maruz kalır. Bu radyasyon etkisine maruz kalan bölümlerinden birisi de CMS'in bir alt dedektörü olan HF (ileri hadron) kalorimetresidir. HF ileri bölge jetlerinin ve kayıp dikine enerjinin ölçümünde önemli rol oynamaktadır.

Bu bölümden sonraki ikinci bölümde temel parçacıklar ve etkileşimleri hakkında genel bilgiler, üçüncü bölümde BHÇ ve CMS deneyiyle ilgili bilgiler, dördüncü bölümde CMS'in ileri kalorimetresi olan HF ve çarpışma noktasından 14 m uzaklıkta yer alan CASTOR ve 140 m uzaklıkta bulunan ZDC dedektörleri hakkında detaylı bilgi verilecektir. Beşinci bölümde çevrim içi radyasyon izleme sisteminin temel prensipleri anlatılacaktır. Altıncı bölümde tezin temelini teşkil eden

analiz yöntemleri açıklanacaktır. Son bölümde ise bulunan sonuçlar ve bu sonuçların CMS için önemi tartışılacaktır.

2. TEORİK ALTYAPI

2.1. Standart Model

Parçacık fiziği, maddenin ve bunlar arasındaki etkileşimlerin temel bileşenlerini araştırır. Ancak hangi parçacığın temel parçacık olarak kabul edildiği zamanla fizikçilerin bu konudaki bilgisi arttıkça değişmiştir. Standart model denilen modern teori, parçacık fiziğinin tüm bilinmeyenlerini, iki ayrı tip parçacığın temel etkileşimleri açısından inceleyerek açıklamaya çalışır. Bu parçacık tiplerinin ilki leptonlar ve kuarklardır, bunların spinleri $\frac{1}{2}$ 'dir ve fermiyon olarak adlandırılırlar. İkincisi ise spini 1 olan bozonlardır bunlara ayar bozonu adı verilir, teoride kuvvet taşıyıcı görevindedirler. Standart Model'de bu parçacıkların temel parçacık olduğu varsayılır. Standart model, bu parçacıkların içyapısının veya uyarılmış hallerinin olmadığını varsayarak, temel parçacık olarak değerlendirir.

Leptonların en bilinen örneği elektronlardır, doğanın dört temel kuvvetinden biri olan elektromanyetik etkileşimle atomlara bağlıdır. İyi bilinen bir başka örnek, kararsız çekirdeklerin (beta bozunumu) bozunum ürünlerinde gözlenen, hafif ve yüksüz olan nötrinolardır. Çekirdeğin β bozunumundan sorumlu kuvvete zayıf kuvvet ve bu etkileşime de zayıf etkileşim denir. Leptonlara ek olarak, hadronlar olarak adlandırılan parçacıklar, bir başka sınıf olarak doğada görülmektedir. Benzer örnekler nötron ve protonlardır (birlikte çekirdeği oluştururlar). Standart modelde, bunların temel olduğu kabul edilmez oysaki kuarklar, doğanın üçüncü kuvveti olan güçlü etkileşim tarafından birbirine bağlıdır. Teori, kuarkların doğrudan gözlemlenemeyip sadece bağlı durumlarının gözlenmesini öngörür. Bununla birlikte, onların varlığının kuvvetli kanıtları daha sonra yapılan deneylerde gözlenmiştir. Kuarkları birbirine bağlayan kuvvetli etkileşme çekirdekteki nükleonları da birbirine bağlar ve benzer şekilde diğer hadronlar arasında da etkileşimlere neden olurlar. Aynı elektronları çekirdeğe bağlayan elektromanyetik etkileşimin farklı bir şekli olan Wandersley kuvvetlerinin atomları bir arada tutması gibidir. Kuarklar güçlü, zayıf ve elektromanyetik olarak etkileşirken, leptonlar güçlü etkileşime katılmazlar.

Hem lepton hem kuarklar doğanın dördüncü kuvveti olan kütle çekim kuvveti ile de etkileşirler. Ancak, temel parçacıklar arasındaki kütle çekimsel etkileşim, uygulamada diğer üç kuvvetin yanında ihmal edilir ve parçacıklar dünyasında etkileşimler kütle çekim dışındaki üç kuvvetle açıklanır.

Bu kuvvetler, yukarıda bahsedilen kuvvet taşıyıcıları yada temelde spini 1 olan ayar bozonları ile ilişkilidir. Örneğin elektromanyetik etkileşimi göz önünde bulunduralım. Klasik fizikte, iki yüklü parçacık arasındaki etkileşim, sürekli olarak yayılan ve gözlenen, elektromanyetik dalgalar tarafından iletilir. Bu uzun mesafeler için yeterli bir açıklamadır, fakat kısa mesafelerde etkileşimin kuantum doğası göz önüne alınmalıdır. Kuantum teorisinde etkileşim, spini 1 olan fotonların değişimi ile kesikli olarak iletilir. Bunlar elektromanyetik etkileşimin kuvvet taşıyıcılarıdır, kuvvetin uzun menzilli doğası, fotonun kütesinin sıfır olmasıyla ilgilidir.

Zayıf ve kuvvetli etkileşimler, spini 1 olan parçacıkların değişimiyle ilişkilidir. Zayıf etkileşimde, $W^\pm$ ve Z^0 adı verilen büyük kütleli bozonlar kuvvet taşıyıcıdırlar. Ortaya çıkan kuvvet, kısa menzilli ve birçok uygulamada, bir noktada etkileşim ile yaklaşılır. Güçlü etkileşimler için eşdeğer parçacıklar, gluon adı verilen foton gibi kütesiz parçacıklardır. Bu nedenle, elektromanyetizma ile benzerliğiyle kuarklar arasındaki temel güçlü etkileşim uzun menzillidir. Ancak, göreceğimiz gibi kuarkların bağlı durumları (hadronlar) arasında kalan güçlü etkileşim kısa menzillidir.

Standart modelde, maddenin temelini oluşturan, leptonlar ve kuarklarla birlikte onlar arasında arabulucuk eden kuvvet taşıyıcıları (foton, W ve Z bozonları ve de gluonlar) ana karakterlerdir. Ek olarak, bu parçacıkların tamamı doğrudan gözlemlenemez, kuarkların bağlı durumları yani hadronlar çok önemli roledirler.

2.2. Leptonlar, Kuarklar ve Hadronlar

2.2.1. Leptonlar

Leptonlar standart model parçacıklarının üç ana sınıfından birisidir. Güçlü etkileşimde bulunmazlar ve spinleri $1/2$ olan fermiyonlardır. Elektronun dışında iki

yüklü lepton daha vardır. Bunlar müon ve tau'dır. Bunların elektrondan farkı kütlelerinin elektronun kütlesinden oldukça büyük olmasıdır.

Çizelge 2. 1. Standart modelin temel bileşenleri.

Spin $\frac{1}{2}$ fermiyonlar ve anti fermiyonlar :	e^- ν_e	μ^- ν_μ	τ^- ν_τ
Leptonlar:			
Kuarklar	u d	c s	t b
Spin 1 olan ayar bozonları:			
Elektromanyetik bozon:		γ	
Zayıf bozonlar:		$W^\pm$ ve Z^0	
Güçlü bozonlar:		g	
Spini 0 olan Higgs bozonu:		H^0	

Bilinen altı tane lepton vardır ve çiftler halinde yazılarak nesilleri oluştururlar. Bu nesiller elektron müon ve tau ailesi olarak bilinirler (Eşitlik 2.2). Hepsinin yükü $Q = -e$ 'dir. Bu leptonlarla ilişkili olan üç nötr lepton vardır, bunlara nötrino adı verilir ve sırasıyla elektron nötrino, müon nötrino son olarak da tau nötrinosu olarak adlandırılırlar. Nötrinoların kütlesi çok küçük olup sıfıra yakındır. Leptonlara ek olarak, altı tane de karşıt parçacığı vardır. Bunlara da antilepton denir (Eşitlik 2.3).

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau^- \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

$$\begin{pmatrix} e^+ \\ \bar{\nu}_e \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \mu^+ \\ \bar{\nu}_\mu \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \tau^+ \\ \bar{\nu}_\tau \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

Yüklü leptonlar hem elektromanyetik hem de zayıf kuvvetler ile etkileşir, fakat nötr leptonlar ise sadece zayıf etkileşirler.

Güçlü Etkileşen Parçacıklar

Kuarklar ve onların bağlı durumları olan hadronların güçlü etkileşim yaptığını biliyoruz. Bunlar aynı zamanda zayıf ve elektromanyetik etkileşimde de bulunurlar, fakat bu etkileşimler güçlü etkileşimin yanında ihmal edilebilirler.

Güçlü etkileşimler, önce proton ve nötronlar arasındaki birkaç MeV'luk etkileşimleri inceleyen nükleer fizikte çalışılmıştır. Ancak, 1947 yılında kozmik ışınlarda daha önce gözlenmemiş yeni hadron tipleri keşfedildi. Bu yeni parçacıkları yaratmak için Einstein'nin kütle enerji ilişkisine uygun olarak ($E=mc^2$) yüksek enerjilere ihtiyaç vardı. Giderek daha yüksek enerjili yoğun ışın demetlerinin hızlandırıcı laboratuvarlarında elde edilmesiyle birlikte daha çok çeşit hadronlar keşfedilmiş ve bunların özellikleri araştırılmıştır.

2.2.2. Kuarklar

Başlangıçta sadece üç kuark önerilmesine rağmen, bugün altı tane kuarkın olduğu bilinmektedir. Leptonlar gibi, altı çeşit ya da çeşniden oluşan kuarklar da, çiftler halinde ya da nesiller şeklinde ifade edilir.

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

Her nesil, yükleri $+2/3e$ olan (u, c, t) ve yükleri $-1/3e$ olan (d, s, b) kuarklarından oluşur. Bu kuarklara, yukarı (up), aşağı (down), tılsımlı (charmed), tuhaf (strange), üst (top), alt (bottom) adları verilmiştir. Anti kuarklar da bunlara uygun olarak ifade edilirler:

$$\begin{pmatrix} \bar{d} \\ \bar{u} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \bar{s} \\ \bar{c} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \bar{b} \\ \bar{t} \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

İlgili anti kuark yükleri $+1/3$ ($\bar{d}, \bar{s}, \bar{b}$) ve $-2/3$ ($\bar{u}, \bar{c}, \bar{t}$) olarak verilir. Bu altı kuark çeşnisinin (d, u, s, c, b, t) varlığına ilişkin deneysel kanıtlar vardır. Yaklaşık kuark kütleleri Çizelge 2.2’de verilmiştir. d, u, s, c ve b kuarklarının kütleleri, kuark bağlanma modeli ile kuarkların hadron bağlı durumlarında gözlenen kütlelerinden hesaplanmaktadır. Üst kuark gözlemlenebilir hadron durumları oluşturmak için kararsız davranır, onun kütlesi bozunum ürünlerinden anlaşılmaktadır. Serbest kuarkların kütlesini ölçmek için birçok deney yapılmasına rağmen hiçbirinin kütlesi ölçülememiştir, çünkü serbest kuarklar şu ana kadar hiç gözlenememiştir.

Çizelge 2. 2. Kuarkların e^- biriminde yükleri ve GeV/c^2 biriminde yaklaşık kütleleri.

İsim	Sembol	Yük	Kütle
Aşağı	d	$-1/3$	$m_d \approx 0.35$
Yukarı	u	$2/3$	$m_u \approx m_d$
Garip	s	$-1/3$	$m_g \approx 0.5$
Tılsım	c	$2/3$	$m_t \approx 1.5$
Üst	b	$-1/3$	$m_{\bar{u}} \approx 4.5$
Alt	t	$2/3$	$m_d \approx 180$

Serbest kuarklar olsaydı kesirli yüklerinden dolayı Milikan benzeri deneylerle çabucak ayırt edilebilirdi. Bunun bir sonucu en hafif kuark, elektrik yükü herhangi bir bozunmada korunmak zorunda olacağından, kararlı olmalıdır. Maddede kararlı kuarklar olursa bunlar kesirli yüklerinden dolayı kütle spektroskopu gibi tekniklerle belirlenebilir. Bugüne kadar yapılan gözlemlerde bu tip egzotik atomlar gözlenmemiştir.

2.2.3. Hadronların Genel Özellikleri

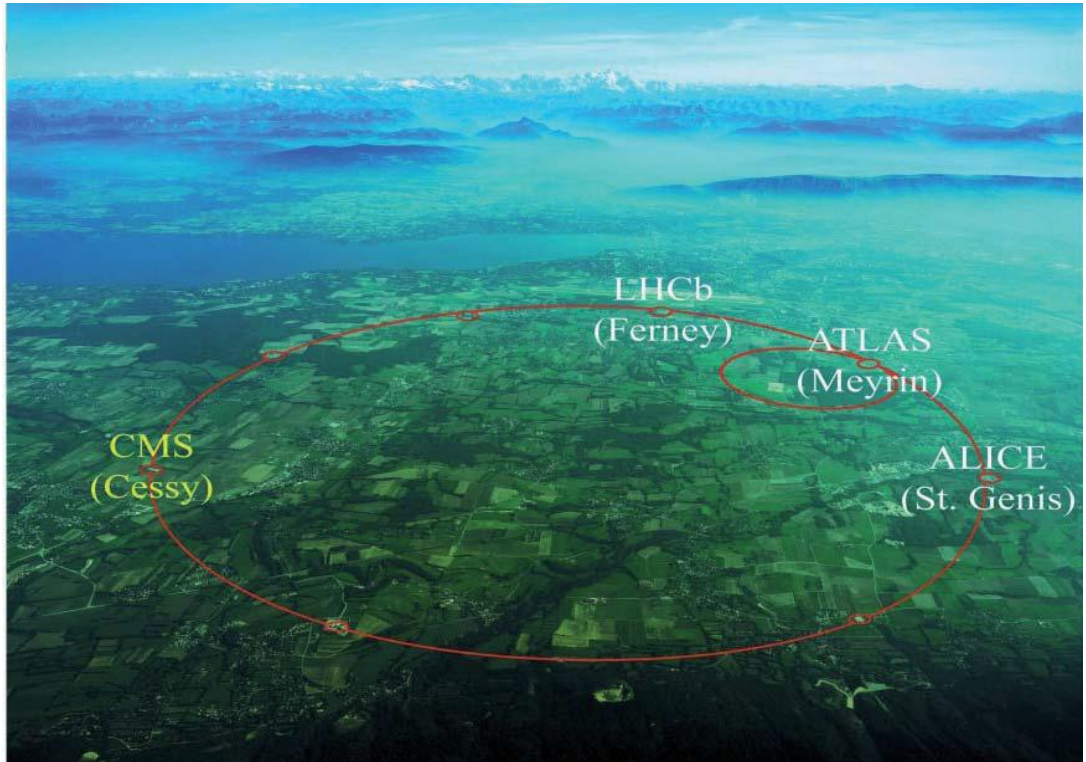
Kuarklar, oluşturdukları parçacıkların yükü tamsayı olacak biçimde bir araya geldiğinden kuarkların her türlü kombinasyonu mümkün değildir. Hadronlar ya üç kuarkın bir araya gelmesiyle (bunlara baryon denir) ya da bir kuark ve bir anti

kuarkın bir araya gelmesiyle (bunlara da mezon denir) oluşturulurlar. Baryonlara örnek olarak proton ve nötron mezonlara örnek olarak da pion ve kaonlar verilebilir.

İzole kuarkların bulunmamasına rağmen, elektrik yükleri tam sayı olan iki yüzden fazla kuarkın bağlı durumları keşfedilmiştir. Bu kuarkların renk olarak adlandırılan yeni bir serbestlik derecesi ile yakından ilişkilidir (Martin ve Shaw, 1997).

3. BÜYÜK HADRON ÇARPIŞTIRICISI VE CMS

CERN (Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi), Fransa ile İsviçre sınırında Cenevre'ye yakın olarak yerleştirilmiş dünyanın en büyük parçacık fiziği laboratuvarıdır (Şekil 3.1). CERN, BHÇ de dahil olmak üzere çok sayıda parçacık hızlandırıcısına ve çarpışma deneylerine ev sahipliği yapar.

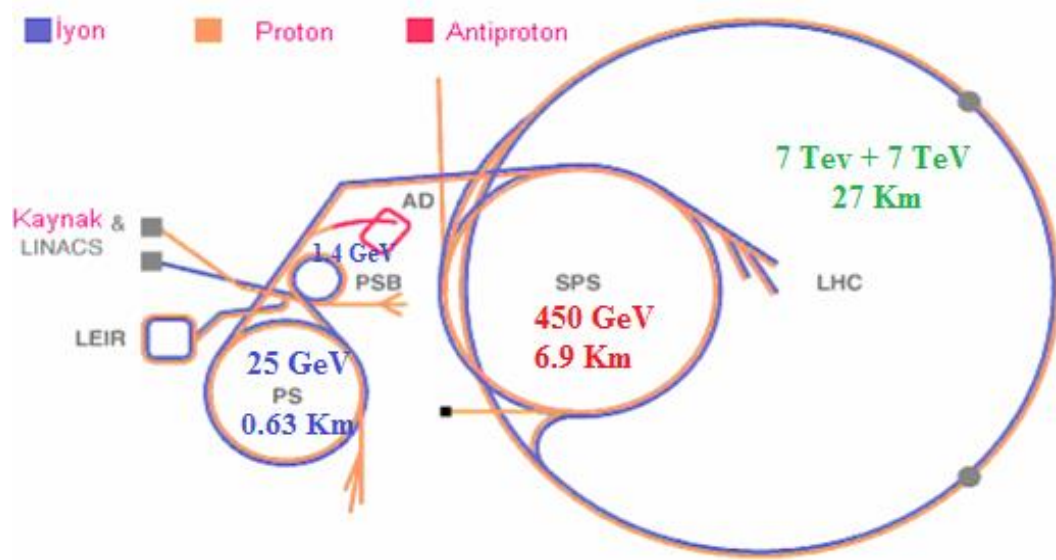


Şekil 3.1. BHÇ ve deneylerin konumunun yukarıdan bakışla hayali gösterimi.

3. BHÇ

BHÇ (Büyük Hadron Çarpıştırıcısı), Cenevre civarında ve büyü bir kısmı da Fransa'da olmak üzere yerin yaklaşık 100m altında daha önceden var olan çevresi yaklaşık 27 km'lik LEP tüneli üzerine inşa edilmiştir. BHÇ, enerjisi 7 TeV (2,76 TeV) olan iki proton (ağır iyon) demetlerini kafa kafaya $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($10^{27} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ışıklıkta çarpıştıracak şekilde tasarlanmıştır. Fakat bu yıl itibarıyla BHÇ protonlar 3,5 TeV demet enerjisi ve $5,73 \text{ fb}^{-1}$ ışıklıkta çarpışmaktadır.

Gelecek yıl dizayn parametreleriyle çalışması beklenmektedir. BHÇ’de dört büyük deney yer alır. Bunlardan ATLAS (Aad ve ark., 2008). ve CMS (Adolphi ve ark., 2008) çok amaçlı kullanılacak dedektörlerdir ve TeV enerji bölgesini kapsayacak fizik araştırmaları için tasarlanmıştır. ALICE (Aamodt ve ark., 2008) özellikle ağır iyon fiziği çalışmak için tasarlanmıştır. LHCb (Alves ve ark., 2008) deneyi, kuark karışımının ölçümü ve b kuark sektöründeki simetri kırınımı (CP) üzerine odaklanmıştır.



Şekil 3.2. CERN’deki BHÇ de dahil olmak üzere tüm hızlandırıcıların şematik gösterimi.

Çarpıştırma için protonlar hidrojenin iyonize edilmesiyle elde edilir ve demetler haline getirilir ve LINAC (Doğrusal Hızlandırıcı)’da hızlandırılarak enerjileri 50 MeV’e çıkarılır. Sonra bir itici ile enerjileri 1.4 GeV’e ardından PS (Proton Sinkrotron)’a 25 GeV ve SPS (Süper Proton Sinkrotron)’de ise 450 GeV’e kadar çıkarılır. Son olarak da protonlar BHÇ halkasına enjekte edilerek enerjileri 7 TeV’e ulaştırılır (CMS TDR, 2006). (Şekil 3.2). Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi ön hızlandırıcılar, mıknatıslar vb. gibi sınırlayıcı nedenler dikkate alındığında BHÇ’de proton demetleri için bir optimizasyon yapılması gerekir. BHÇ’de ışınları dairesel yörüngede tutmak için çift kutuplu mıknatıslar kullanılır. Farklı doğrultuda hareket eden iki proton demetini tutmak için farklı kutuplu mıknatıslara ihtiyaç duyulur.

Çizelge 3. 1. Proton demetleri için tasarlanan BHÇ parametreleri (Bruning ve ark.,2004).

Parametre	Birimler	Enjeksiyon	Çarpışma
Enerji	[GeV]	450	7000
Işıklılık	$\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$		2.5×10^{34}
Öbek sayısı n_B			2808
Öbek aralığı	[ns]		24.95
Öbek başına parçacık sayısı N_B	[p/öbek]		1.7×10^{11}
Işın akımı	[A]		0.86
Toplam enerji yayılması (4σ)	10^{-3}	1.9	0.45

İki proton demetini taşıyan bu yüzden taşıyıcı-dipol olarak adlandırılan yapı karmaşık tasarıma sahiptir. Süper akışkan helyum, mıknatısları $T = 1.9K$ 'de soğuk tutmak üzere tasarlanmıştır (Şekil 3.3). Süper iletken mıknatıslar 8.4T gibi yüksek bir manyetik alan sağlamak için kullanılır.



Şekil 3.3. Işın demeti taşıyan taşıyıcı dipolün şematik görünüşü.

3.1. Çarpıştırma Fiziği

Dairesel çarpıştırıcılarda, E enerjili iki ışının karşı karşıya çarpıştırılmasından dolayı kütle merkezi enerjisi $\sqrt{s} = 2E$ 'dir. Daha önce de bahsedildiği gibi kütle merkezi enerjisinin yanı sıra ışıklılık, bir çarpıştırıcının karakteristik parametresidir. Her bir öbekte parçacık sayısı N_B ve toplam öbek sayısı n_B olmak üzere ışıklılık L , Eşitlik 3.1'deki gibi hesaplanır.

$$L = \frac{n_B N_B^2}{4\pi\sigma_x\sigma_y} \cdot f \quad (3.1)$$

Burada σ_x ve σ_y demetin gaussian genişliğidir ve f ise frekansını gösterir. Olay oranı ve ışıklılık ilişkisi Eşitlik (3.2) de gösterilmiştir.

$$N_{Olay} = L \cdot \sigma. \quad (3.2)$$

Proton temel parçacık değildir ve partonlardan oluşurlar. BHÇ de yüksek enerjilerde çarpışan protonlar yıkılır ve kütle merkezi enerjisi, $\hat{s}$ bileşenlerine dağıtılır.

$$\hat{s} = x_a \cdot x_b \cdot s. \quad (3.5)$$

$x_{a,b}$ partonların enerji kesirleridir $x_a = \frac{2E_a}{\sqrt{s}}$ olarak tanımlanır.

Belirli bir $pp \rightarrow X$ sürecinin toplam tesir kesiti aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\sigma = \sum_{ij} \int \hat{\sigma}_{ij}(\hat{s}) d\hat{s} \int_0^1 dx_1 \int_0^1 dx_2 f_i(Q^2, x_1) f_j(Q^2, x_2) \delta(\hat{s} - x_1 x_2 s). \quad (3.6)$$

Burada $f(Q^2, x)$ parton dağılım fonksiyonudur ve Q enerji ölçeğinde x enerji kesrini taşıyan partonun etkileşim olasılığını verir.

3.2. Hadron Çarpıştırıcıları ve BHÇ

BHÇ'nin birinci amacı Higgs mekanizmasının neden olduğu varsayılan elektrozayıf simetri kırınımının doğasını açıklamaktır. Higgs mekanizmasının deneysel çalışmaları, 1 TeV üzerindeki enerjilerde Standart Model'in matematiksel tutarlılığını belirlemek için de önemlidir. Standart Model'in çeşitli alternatifleri yeni simetriler, yeni kuvvetler veya maddeyi oluşturan yeni bileşenler öngörür. Bununla birlikte bizi birleşik kurama götürecek yeni keşifler yapılacağı konusundaki ümitleri de yüksektir. Bu keşifler süper simetri ya da ekstra boyutlar olabilir. Ekstra boyutlar TeV mertebesinde gravitinin değiştirilmesini gerektirir. Benzer sebeplerden dolayı TeV enerji aralığını incelemek için pek çok ikna edici neden vardır (Chatrchyan ve ark., 2008).

BHÇ önceki hızlandırıcılardan 30 kat daha yüksek enerjili ağır iyon demetleri sağlayacaktır. BHÇ sıcaklığın, yoğunluğun ve parton momentum kesrinin (*low-x*) aşırı derecede büyük olduğu durumlarda QCD maddesinin araştırılmasını genişletmemize izin verecektir.

Hadron çarpıştırıcıları, yeni enerji bölgelerinin keşfi konusunda oldukça uygundur, eğer proton enerjisi ve ışıklılık yeterince yüksek olursa bileşenlerin kütle merkezi enerjisinin 1 TeV olduğu bölge keşfedilebilir. BHÇ'nin demet enerjisi ve ışıklılık dizaynı TeV enerji aralığındaki fizik çalışmalarını yapabilecek şekilde seçilmiştir. BHÇ önceki hadron çarpıştırıcılarıyla kıyaslandığında enerjide 7 kat, toplam ışıklılıkta 100 kat artış ile çok geniş bir skalada fizik araştırmaları yapılmasına olanak sağlar. Bu sıra dışı koşullar dedektör dizaynının çok dikkatli yapılmasını da gerektirir.

Toplam p - p tesir kesitinin $\sqrt{s}=14$ TeV de yaklaşık 100 mb olması beklenir. Işıklılık genel amaçlı dedektörlerde yaklaşık olarak saniyede 10^9 esnek olmayan olay olacak şekilde dizayn edilmiştir. Bu, aşılması zor deneysel zorlukların başında gelir.

Tetikleyici sistemi olay sayısını bugünkü teknolojik depolama hızı olan saniyede 100 olaya düşürür ve bu olaylar daha sonra analiz edilmek üzere saklanır. Demetlerin 25 nano saniyede kesişmesinden dolayı tetikleme sistemi ve okuma birimlerinin buna göre dizaynı büyük önem taşır.

BHÇ dizayn ışıklılığında çalışırken ilgilenilen olay üzerine yaklaşık 20 esnek olmayan çarpışma binecektir. Bu etkileşim bölgesinde her 25 ns de yaklaşık 1000 yüklü parçacık ortaya çıkacağı anlamına gelir. Bir etkileşimin ürünleri aynı demet geçişindeki diğer etkileşimlerle karışabilir. Bu problem, dedektörün zaman tepkisinin ve dedektörün elektronik sinyalinin 25 ns den daha uzun olduğu durumlarda açık bir şekilde ortaya çıkar. Bu yığılma etkisi, iyi zaman çözünürlüğüyle birlikte yüksek tanecikli dedektörler kullanılarak doluluğun düşük tutulmasıyla azaltılabilir. Bu da çok sayıda dedektör kanallarının olmasını gerektirir. Dedektörün milyonlarca elektronik kanalından gelen verinin çok iyi senkronize olmasını gerektirir.

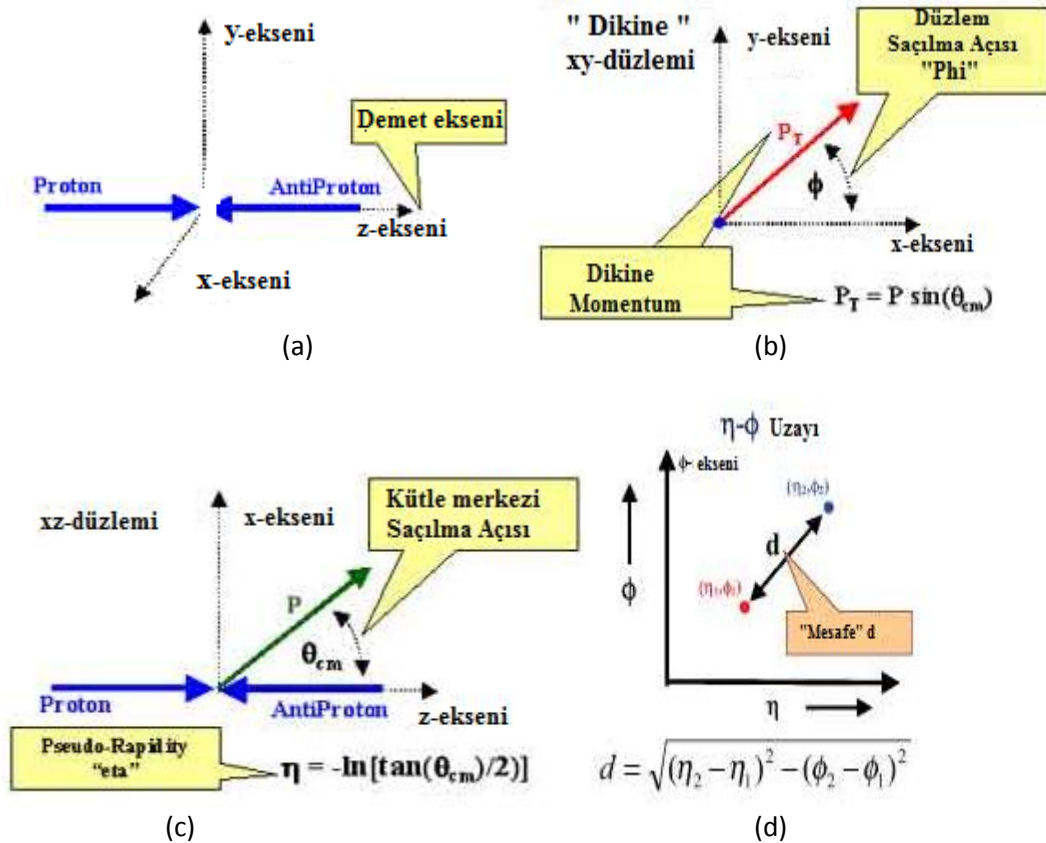
Etkileşme bölgesinden gelen parçacıkların akısının çok fazla olması yüksek seviyede radyasyona neden olur. Bu nedenle dedektörlerin ve elektronik sistemlerin radyasyona karşı dayanıklı olması gerekir.

BHÇ fizik programının amaçlarını karşılamak için CMS'in dedektör gereksinimleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Çok geniş bir momentum ve açı aralığında iyi müon tanımlama ve momentum çözünürlüğü, iyi bir çift müon kütle çözünürlüğü (yaklaşık 100 GeV de %1) ve $p < 1$ TeV olan müonların yükünün hatasız belirlenmesi.
- İyi bir yüklü parçacık momentum çözünürlüğü ve iç izleyicide yeniden yapılandırma. Etkili bir tetikleme ve çevrimdışı τ ve b jetlerinin belirlenmesi. Bunun için piksel dedektörlerinin etkileşim bölgesine yakın olması gerekir.
- İyi bir elektromanyetik enerji çözünürlüğü, iyi bir ikili foton ve ikili elektron kütle çözünürlüğü (100 GeV de yaklaşık %1 oranında), geniş bir geometrik kapsam, π^0 'ın dışlanması ve yüksek ışıklılıkta etkili foton ve lepton yalıtımı.
- İyi bir kayıp dik enerji ve çift jet kütle çözünürlüğü, bunun için çok geniş geometrik kapsama ve dedektörlerin yanal olarak bölümlendirilmesi gerekir.

CMS'in en temel ayırt edici özelliği; yüksek manyetik alanlı bir selenoid mıknatısa, tamamıyla silikon tabanlı iç izleyici sistemine ve homojen şekilde bulunan silikon kristal tabanlı elektromanyetik kalorimetreye sahip olmasıdır.

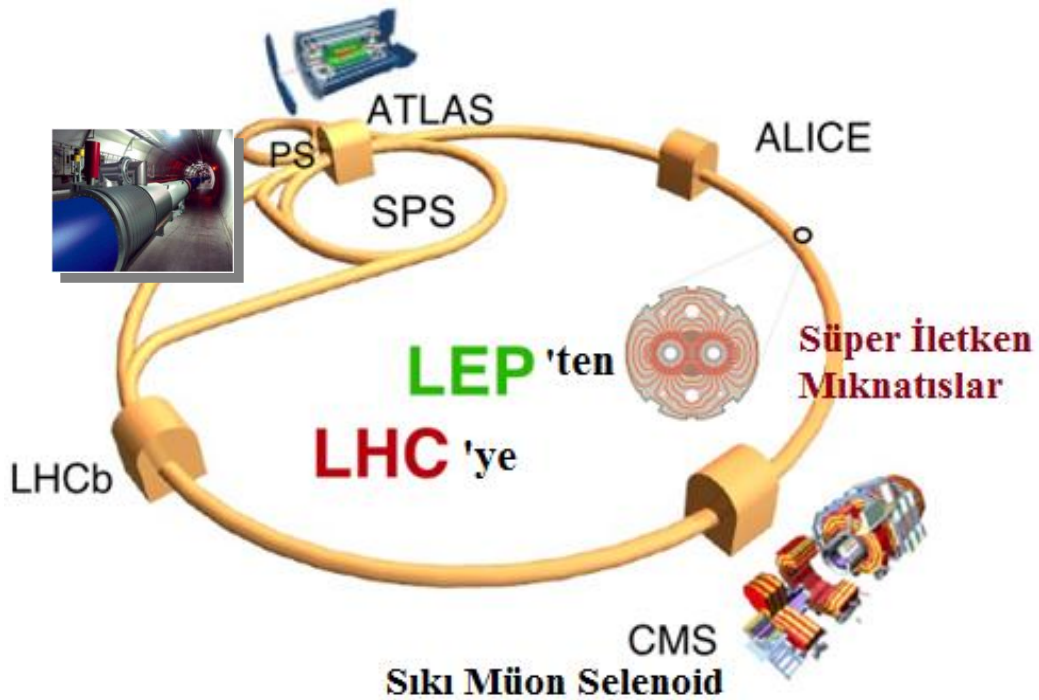
CMS tarafından kabul edilen koordinat sisteminin orijini, deney içerisindeki nominal çarpışma noktasının merkezidir. y eksen dikey olarak yukarıyı gösterir, x eksen BHC'nin merkezine doğru radyal olarak içe dönüktür. Böylece z eksen demet doğrultusunu gösterir (Şekil 3.4 a). Azimutal açı Φ , x - y düzlemindeki x ekseninden ölçülür (Şekil 3.4 b). θ polar açısı, z ekseninden ölçülür. Psüdorapidity $\eta = -\ln[\tan(\theta/2)]$ olarak tanımlanır (Şekil 3.4 c). Böylece demet doğrultusuna momentum ve dik enerji sırasıyla P_T ve E_T olarak x ve y bileşenlerinden hesaplanır. Ölçülen enerji ile teorik enerji farkı E_T^{miss} olarak tanımlanan dikine düzlemdeki kayıp enerjidir. *Eta-Phi* uzayında bir d mesafesi, (Şekil 3.4 d)'deki gibi hesaplanır.



Şekil 3.4. a) CMS'te kullanılan koordinat sistemi, b) Azimutal Açı, ve dikine momentumun tanımı, c) Psüdorapidity ve kütle merkezi saçılma açısı, d) eta-phi uzayı.

3.3. CMS Dedektörü

CMS (Compact Muon Solenoid), CERN’de Büyük Hadron Çarpıştırıcısında (BHÇ) çok amaçlı fizik araştırmaları yapmak üzere tasarlanan bir dedektördür (Şekil 3.5). Dedektörün tasarımını ve yerleşimini belirlemedeki en önemli etken müon momentumunu ölçebilmek için gerekli olan manyetik alandır. Yüksek enerjili yüklü parçacıkların momentumunu hassas bir şekilde ölçmek için bu parçacıkların yörüngeleri bükebilecek büyük bir manyetik alana gereksinim vardır. Süper iletken teknolojisini mıknatıslara böyle büyük bir manyetik alan yaratma imkanı sağlar. CMS’in iç yapısının ayrıntılı bir planı Şekil 3.6’da gösterilmiştir. CMS’in merkezinde 13m uzunluğunda 6m iç yarıçapı olan 4T’lık bir manyetik alan sağlayarak büyük bir bükme kuvveti sağlayan süper iletken selenoid mıknatıs yer alır. Dedektörü ayakta tutacak şekilde yerleştirilen demir soğurucu kendisini takip eden 4 müon odasıyla entegre olmuş şekilde bulunur. Herbir müon istasyonu fıçı bölgesindeki çok katmanlı alüminyum toplama tüplerinden (DT), kapak bölgesindeki katot şerit odalarından (CSC) ve dirençli plaka odalarından (RPC) oluşur.

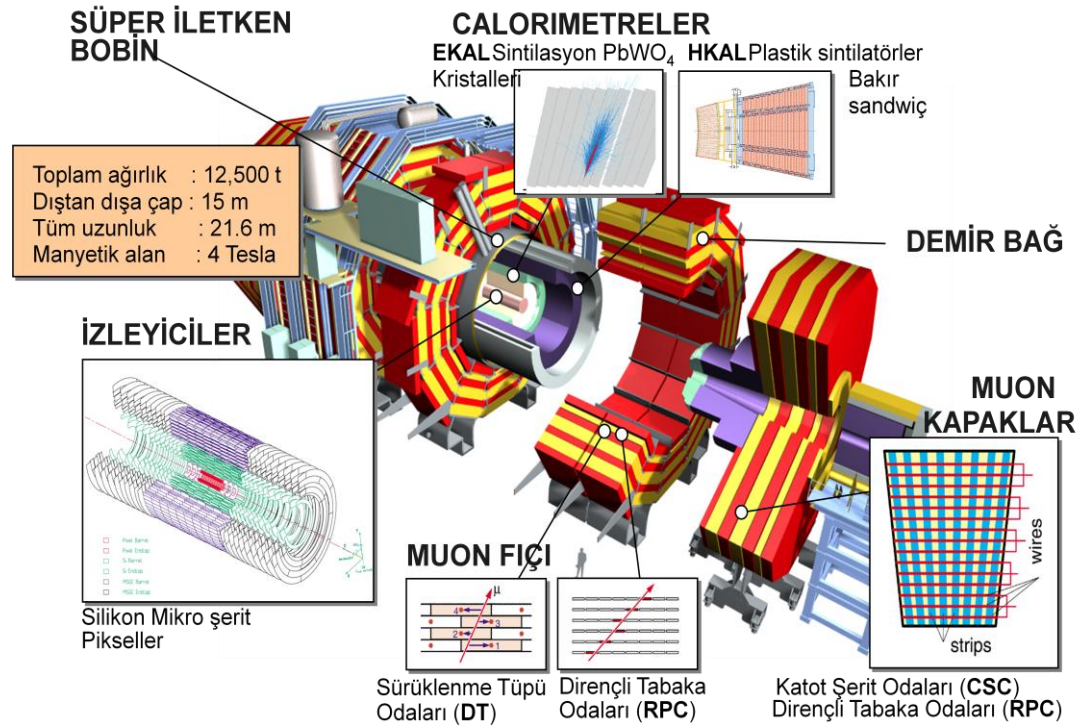


Şekil 3.5. BHÇ ve üzerinde yer alan dedektörler.

Manyetik bobinin çapı, içerisine kalorimetrenin ve iç izleyici sisteminin yerleşmesi için yeterince geniştir. İzleyicinin boyutları 5.8m uzunluğunda ve 2.6m yarıçapındadır. Çok sayıdaki izlerle baş edebilmek için CMS 10 katmanlı mikro şerit dedektörlerden yararlanır, bu şekilde istenilen taneciklik ve hassasiyet de sağlanır. Buna ek olarak yüklü parçacıkların izlerinin, vuruş mesafesinin ve aynı zamanda ikincil köşelerin pozisyonunun ölçümünü geliştirmek için etkileşim bölgesine yakın 3 katmanlı silikon piksel dedektörler yerleştirilmiştir. $|\eta| < 3.0$ pseudorapidity aralığını kapsayan elektromanyetik kalorimetrede (EKAL), kurşun tungstate (PbWO_4) kristalleri kullanılmıştır. Sintilasyon ışığı fıçı bölgedeki silikon çığ fotodiyotları (APDs) ve kapak bölgesindeki vakum foto-diyotlar (VPTs) tarafından algılanır. EKAL'ın kapak kısmının ön yüzünde π^0 parçacıklarını fotondan ayırmak için ön duşlayıcı sistem kurulmuştur.

$|\eta| < 3$ 'e kadar kapsayan EKAL, pirinç sintilatör örnekleme kalorimetresi olan HKAL tarafından çevrilmiştir. Sintilatörler içine yerleştirilmiş dalga boyu kaydırıcı fiberler sintilatörde üretilen ışığın dalga boyunu foto-dedektörün veriminin yüksek olduğu dalga boyuna çevirir ve şeffaf fiberler tarafından foto dedektöre yönlendirilirler. Bu ışık, yüksek manyetik alanda çalışabilme özelliği olan ve yüksek kazanç sağlayabilen hibrit fotodedektörler tarafından (hibrit fotodiyot, HPD) algılanır. HKAL kalorimetresi, yaklaşık 11 hadronik etkileşim uzunluğundaki hadronik duşları örnekleme sağlayan fıçı bölgesindeki (HO) Hadronik dış kalorimetre ile tamamlanmaktadır. Pseudorapditinin 5.0 aralığına kadar kapsanması demir/kuvars fiber kalorimetre tarafından sağlanmaktadır. Kuvars fiberlerde yayınlanan Çerenkov ışığı foto-çoğaltıcılar tarafından algılanır. İleri kalorimetreler olaydaki dik enerjinin ölçümü için tüm geometrik yapının neredeyse tam olarak kapsamasını sağlamıştır. Daha ileri bölgeler de ilave özel kalorimetreler CASTOR ve ZDC tarafından kapsanmıştır.

CMS dedektörü 21.6 m uzunluğunda ve 14.6 m yarıçapındadır. Dedektörün toplam ağırlığı 12500 tondur. HKAL'ın kalınlığı etkileşim uzunluğu η 'ya bağlı olarak 7-11 λ_I (10-15 λ_I HO ile birlikte) aralığında değişirken, EKAL'ın kalınlığı radyasyon uzunluğu olarak 25 X_0 dan daha büyüktür (Chatrchyan ve ark., 2008).



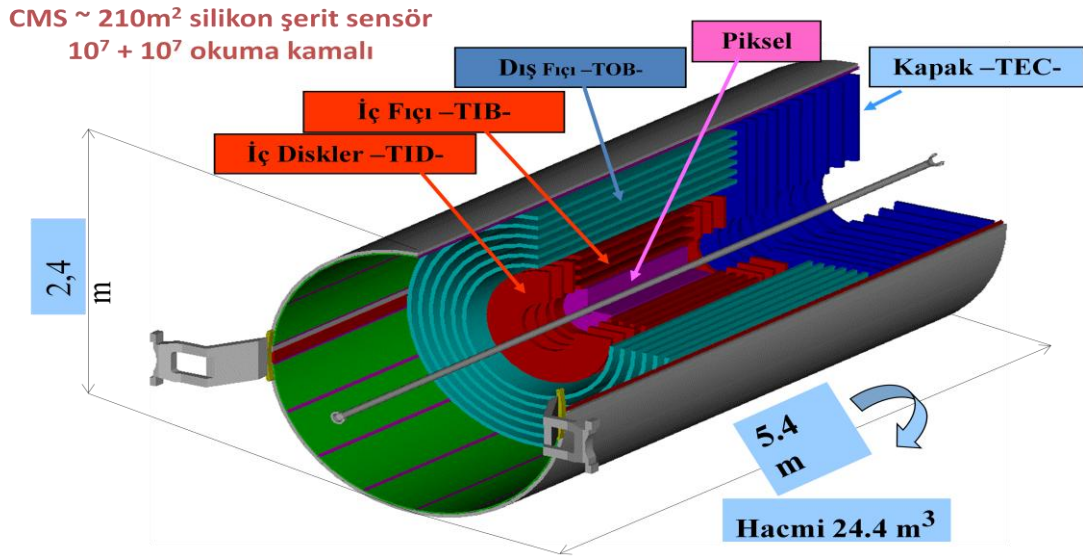
Şekil 3.6. CMS dedektörünün iç yapısı

3.4. CMS'in Konumu ve Yapısı

3.4.1. İzleyici Sistem

CMS'nin iç izleme sistemi BHÇ çarpışmalarından çıkan yüklü parçacıkların yörüngelerini hassas ve etkin bir şekilde ölçmenin yanı sıra ikincil köşelerin yeniden yapılandırılmasını sağlamak üzere tasarlanmıştır. İzleme sistemi etkileşim noktası etrafında 5,8 m uzunluğunda ve 2,5 m yarıçapındadır. CMS bobin mıknatısı tüm hacim üzerinde 4T'lık manyetik alanın eşit şekilde dağılmasını sağlar. BHÇ'de tasarlanan ışıklılık ($10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) ile p - p etkileşimlerinde her demet kesişimi için izleyici sistemini geçen, yaklaşık 1000 parçacık olacak ve bunlardan 20 den fazlası birbirini üzerine binecektir. Bu nedenle yüksek çözünürlüklü ve duyarlılığı hızlı dedektör teknolojisi gerekir. Öyle ki tespit edilen yörüngelerin o anda çarpışan demete ait olduğuna emin olunmalıdır. Aynı zamanda bu yoğun parçacık akısı izleme sistemine ciddi radyasyon hasarı da verecektir.

İzleme sisteminin tasarımıındaki en önemli zorluk ise, tahmin edilen 10 yıllık ömrü boyunca bu zor ortamda çalışabilen dedektör bileşenlerini geliştirebilmektir. Tanecikli yapı, hız ve radyasyon dayanıklılığı gibi gereksinimler izleyici tasarımının tamamen silikon dedektör teknolojisine dayalı olmasını gerektirmiştir. CMS izleyici fiçı bölgesinde 1.1m çapındadır ve içten dışa doğru olmak üzere 4.4 cm ve 10.2 cm yarıçapları arasında 3 katmanlı piksel dedektörden ve 10 katmanlı silikon şerit izleyici dedektörden oluşur. Her bir sistem fiçının iki tarafında bulunan 2 piksel ve 3 artı 6 şerit dedektörü içeren kapak diskleriyle tamamlanır. CMS izleyici sistemi, yaklaşık 210 m² olan aktif silikon alanı ile bu güne kadar yapılmış en büyük izleyici sistemidir (CMS kollob, 2000-016). 1440 piksel ve 15148 şerit dedektör modüllerinden oluşmaktadır.



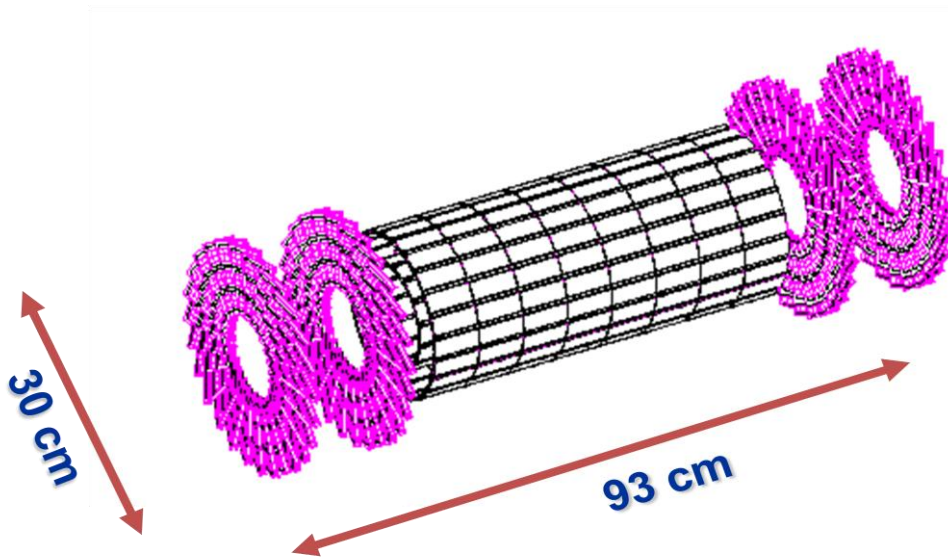
Şekil 3.7. İzleyici sistem.

3.4.1.1. Piksel Dedektör

Piksel dedektörü izleme sisteminin etkileşim bölgesine en yakın olan parçasıdır. Bu sistem, izlerin daha hassas olarak ve ikincil etkileşme köşelerinin iyi belirlenebilmesi için önemli olan küçük vuruş parametrelerinin çözünürlüğünün belirlenmesinden sorumludur. 100×150 µm² hücre boyutu ile hem $r-\phi$ hem de z yönünde benzer iz çözünürlüğü elde etmeyi sağlar.

Bu sayede 3 boyutlu köşe yapılandırılması mümkündür. Bu özellik düşük iz çokluğunda ikincil köşelerin yeniden yapılandırılması için önemli olacaktır. Piksel dedektörü analog sinyal yüksekliği okuma özellikli sıfır baskılama şemasına sahiptir. Bu özellik, yük paylaşımından dolayı pozisyonun çözünürlüğü artırarak, hem sinyal ve gürültüyü ayırmaya hem de çok ize sahip izleri üst üste binmeden kaynaklanan geniş iz kümelerinden ayırmaya yardımcı olur.

Piksel dedektörü, merkez izleyicinin kabul ettiği aralıkla örtüşen $-2.5 < |\eta| < 2.5$ pseudorapidite aralığını kapsar. Piksel detektör tau ve b bozunumlarındaki ikincil köşelerin yeniden yapılandırılması, dış iz yapılandırılması ve yüksek seviye tetikleme için çekirdek izler sağlar.



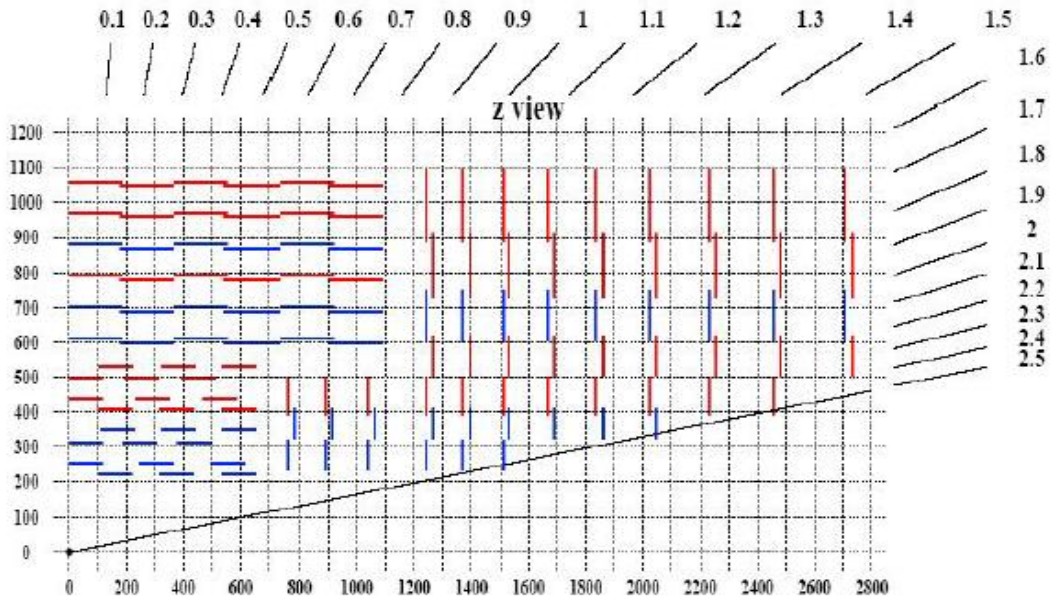
Şekil 3.8. Piksel dedektörü.

Dedektör, üç katmanlı fiçi (BPix) ile iki tane disk kapaktan (FPix) oluşur. BPix katmanları 53 cm uzunluğunda olup ortalama yarıçapları sırasıyla 4.4, 7.3 ve 10.2 olacak şekilde yerleştirilmiştir. FPix diskler yaklaşık 6 ile 15 cm çapına uzanır ve $z = \pm 34.5\text{cm}$ ve $z = \pm 46.5\text{cm}$ olmak üzere her iki tarafta yer alır. BPix $0,78\text{ m}^2$ ve FPix $0,28\text{ m}^2$ alanlarını kapsayan sırasıyla 48 milyon ve 18 milyon piksel içerir. Üç katmanlı fiçi ve her iki taraftaki ileri bölge piksel diskleri tüm eta aralığında 3 izleme noktası içerecek şekilde ayarlanmıştır (Chatrchyan ve ark., 2008).

3.4.1.2. Silikon Şerit Dedektör

Silikon şerit dedektörü, mikro şerit silikon teknolojisine dayalı, CMS'in merkezi izleyicisinin orta radyal bölgesinde yer alan bir ayardır (Şekil 3.9).

Dedektörün iç kısmı fiçi bölgesinde dört katmana ve ileri bölgede üç diske sahipken dış kısmında altı fiçi katman ve dokuz ileri diske sahiptir. Piksel dedektörü şerit dedektörü ile birlikte yüksek ışıklılıkta ($\sqrt{s}=14$ TeV) 1 GeV/c üstündeki dikine enerjili tüm parçacıkların izlerinin desenini görmek, yeniden yapılandırılmasını sağlamak ve momentumlarını ölçmek için kullanılmaktadır.

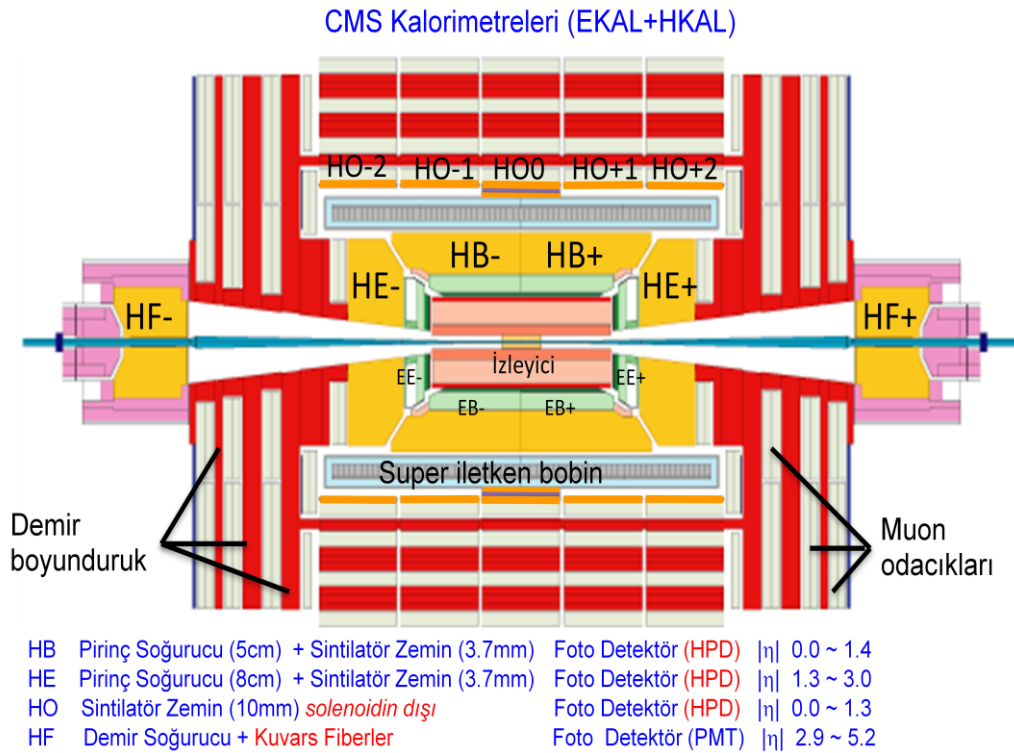


Şekil 3.9. Silikon şerit izleyicinin uzunlamasına düzeni (mavi katmanları çift ve kırmızı katmanları tek taraflıdır).

3.4.2. Elektromanyetik Kalorimetre

CMS'in elektromanyetik kalorimetresi (EKAL) fiçi bölgesinde 61200 kurşun tungstat (PbWO_4) kristal monte edilerek ve her iki kapak kısmında da 7324 kristal kullanılarak oluşturulmuş hermetik homojen bir kalorimetredir. Kapak kristallerinin önüne bir ön duşlayıcı dedektör yerleştirilmiştir. Fiçi bölgesinde, fotodedektör olarak çığ fotodiyotlar (APD) ve kapak bölgesinde vakum fototriotlar kullanılmıştır.

BHÇ'nin ortamında olması gereken karakteristik özellikler yüksek yoğunluklu kristallerin kullanımı ile sağlanır. Bunlar yüksek duyarlılık, radyasyona dayanıklılık ve hızlı cevaplama süresi gibi özelliklerdir. Tasarımındaki önemli kriterlerinden biri, varsayılan Higgs bozonunun iki fotona bozulma sürecini tespit yeteneğinin olabilmesidir. Bu yetenek homojen bir kristal kalorimetre tarafından sağlanan iyi enerji çözünürlüğü ile sağlanır (Chatrchyan ve ark., 2008).



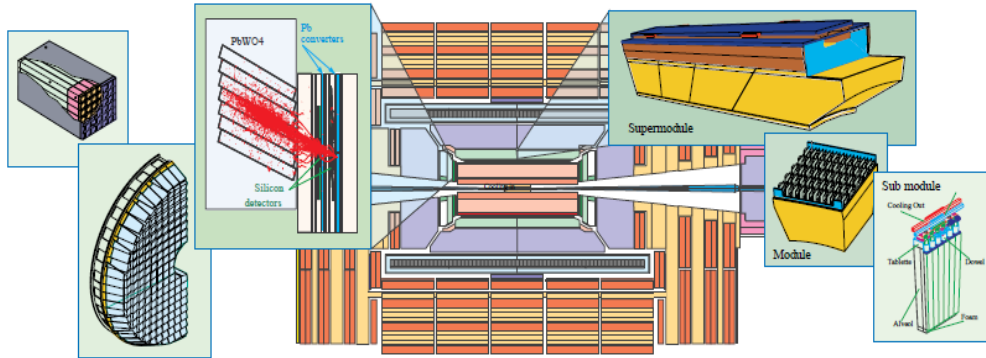
Şekil 3.10. CMS dedektörünün boyuna kesit görünüşü.

3.4.2.1. Kurşun Tungstat Kristalleri

PbWO_4 kristallerinin karakteristikleri (Eidelman ve ark., 2004) BHÇ'de çalışma için uygun bir seçimdir. Yüksek yoğunluklu (8.28 g/cm^3), kısa radyasyon uzunluğu (0.89 cm) ve küçük Molière yarıçapı¹ (2.2 cm) sayesinde iyi çözünürlüklü sıkı bir kalorimetre ortaya çıkmıştır.

¹ Bir elektromanyetik duşun dikey genişliği Molière yarıçapı ile verilir ve kritik enerjideki bir elektronun dikey yöndeki sapmasını ifade eder[Fabjan ve Gianotti, 2003].

PbWO_4 'un sintilasyon özellikleri ve diğer niteliklerinin kademeli olarak geliştirmiş olması, optik olarak net, hızlı ve radyasyona dayanıklı kristallerin seri üretimini sağlamıştır. Bu kristallerin sintilasyon bozunum zamanı BHÇ'deki demet geçiş büyüklüğü ile aynı mertebededir: ışığın yaklaşık %80'i 25 ns'de yayınlanır. Işık çıkışı nispeten düşüktür ve sıcaklık 18°C de $-2.1\% \text{C}^{-1}$ şeklinde değişir.



Şekil 3.11. Elektronik kalorimetrenin bileşenlerinin yerleri ve görünüşü.

18°C de yaklaşık MeV başına 4.5 foto-elektron APD ve VPD de toplanır. Kristaller geniş bir maksimum ile 420-430 nm dalga boyu aralığında , mavi ve yeşil sintilasyon ışığı yayarlar (Chatrchyan ve ark., 2008).

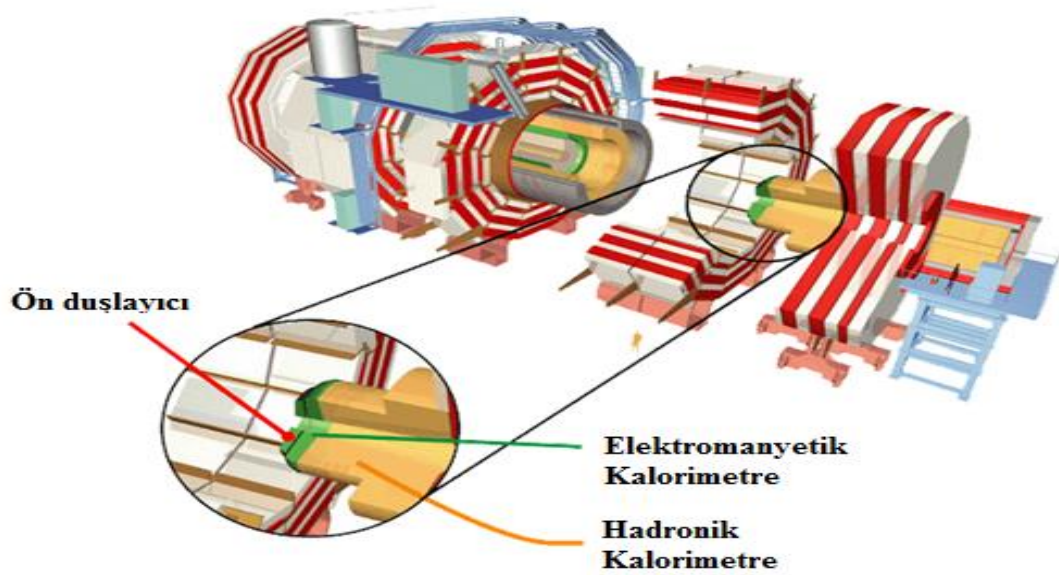
3.4.2.2. Ön duş Dedektörü

CMS ön duş dedektörünün temel amacı, referans bölgesi $1.653 < |\eta| < 2.6$ aralığı içinde olan kapaklarda nötr pionları belirlemektir. Ayrıca minimum iyonizeli parçacıklara karşı elektronların belirlenmesine yardımcı olur ve yüksek taneciklilik elektron ve fotonların yerlerinin belirlenmesini geliştirir (Chatrchyan ve ark., 2008).

3.4.2.2.(1). Geometri

İki tabakalı bir örnekleme kalorimetresidir: kurşun radyatör gelen foton ve elektronlardan elektromanyetik duşu başlatır. Silikon şerit duyaçları ise herbir radyatörde depo edilen enerji ve enine duş kesitini ölçerler.

Öndüş dedektörünün toplam kalınlığı 20 cm dir. Ön düş dedektörünün $\eta = 1.653$ 'de malzeme kalınlığı birinci duyaç yüzeyine ulaşmadan önce $2X_0$, takip eden ikinci yüzeye ulaşmadan önce ise $1X_0$ 'dır.



Şekil 3.12. Ön düş dedektörü.

Böylece tek fotonların yaklaşık %95'i ikinci duyaç düzleminden önce düşer. İki düzlemdeki şeritlerin yönelimleri diktir. Tüm kurşunun silikon duyaç tarafından kaplanması göz önünde bulundurulması gereken önemli bir dizayn parametresidir, buna düşün yayılması, birinci köşe yayılması etkileri de dahil edilmelidir. Birinci seviye tetiklemesinin en uygun performansı için kurşunun dış kenarının profili, arkasında yer alan EKAL kristallerinin şeklini takip etmelidir. İç yarıçap için kurşunun gerçek profili daha az kritik olduğundan dairesel bir şekil verilmiştir.

$63 \times 63 \text{ mm}^2$ boyutundaki her bir silikon sensör, $61 \times 61 \text{ mm}^2$ 'lik aktif alana sahip olup 32 şeride bölünmüştür. Silikonun nominal kalınlığı $320 \text{ }\mu\text{m}$ dir. Minimum iyonize bir parçacık bu kalınlıkta 3.6 fC yük depolayabilecektir. Sensörler hassas bir şekilde seramik desteğe yapıştırılmıştır, ayrıca seramik ön karar verici elektroniği de destekler, bunlar da duyaçların aktif kısımlarının şeritlere paralel yönde 2 mm örtüşmesini sağlayan alüminyum levhaya yapıştırılmıştır.

Gürültü performansını artırmak amacıyla seramik, ikisi arasında bulunan cam fiber yalıtımlı iki parça halinde inşa edilmiştir. Sensör kombinasyonu, ön karar verici ve destekler bir mikro modül olarak bilinir (Chatrchyan ve ark., 2008).

3.4.3. Hadronik Kalorimetre

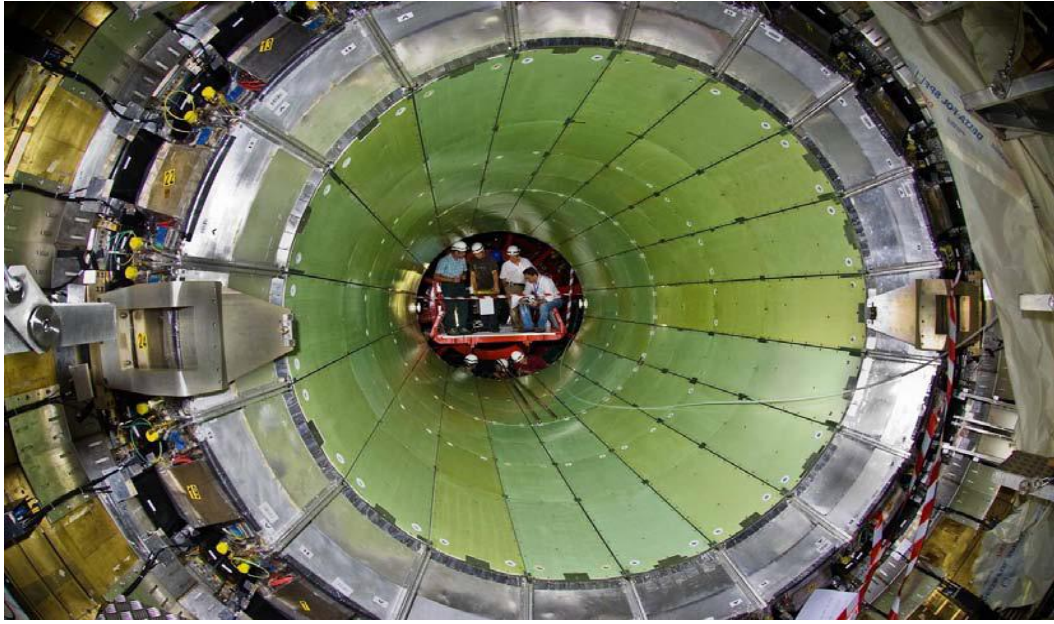
Hadron jetlerinin ve nötrinoların ölçümü veya egzotik parçacıkların kayıp enine enerjilerinin ölçülmesi için hadron kalorimetresi bilhassa önemlidir. Şekil 3.13’de HKAL’in fiçı bölgesi gösterilmektedir. Şekil 3.14’de gösterilen kesikli çizgiler sabit η değerleridir. Etkileşim noktasından bakıldığında hadronik fiçı ve hadronik kapak, müon izleme sistemi ve elektromanyetik kalorimetre arkasında yer alır. Hadronik fiçı kalorimetresi radyal olarak, elektromanyetik kalorimetrenin dışı ($R=1.77m$) ile magnetik bobinin içi arasında (2.95 m) kısıtlanmıştır. Bu, hadronik duşu soğurabilmek için konulacak malzemenin toplam miktarını kısıtlar. Bu nedenle, fiçı kalorimetresini tamamlayan selonoidin dışında bir dış hadron kalorimetre bir başka deyişle dış yakalayıcı (HO) kalorimetre yer almaktadır. Etkileşim noktasından 11.2m mesafede yer alan ileri hadron kalorimetresi, Çerenkov prensibine dayanır ve $3 < |\eta| < 5.2$ pseudorapidite aralığını kapsar. Sonraki bölümde ileri kalorimetrelere ayrıca değinilecektir (Chatrchyan ve ark., 2008).

3.4.3.1. Hadronik Fiçı

Hadronik fiçı (HB) kalorimetre, dokuz metre uzunluğunda, bir metre kalınlığında dış çapı altı metre olan $|\eta|=1.4$ pseudorapidite aralığını kapsayan bir örnekleme kalorimetredir. Hadronik fiçı, silindir olarak iki parça şeklinde tasarlanmıştır. %70’i bakır %30’u çinko olan 15 pirinç soğurucu plakadan inşa edilmiş olup 18 özdeş kamanın 20° ’lik açısı ile birleştirilmesi sonucunda meydana gelmiştir. Hadronik fiçıdaki toplam kule sayısı 2304’dir.

3.4.3.2. Hadronik Kapak

Hadronik kapak (HE) kalorimetre, $1.3 < |\eta| < 3.0$ pseudorapidite ile önemli bir aralığı kapsar. HE de HB gibi prinç sintilatörlerden oluşmuştur. HE ve HB kalorimetrelerinin segment boyutları aynıdır, $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.087 \times 0.87$ fakat $|\eta|=3.0$ olduğu durumlar hariç. Bu durumda segment boyutları iki katına çıkar.



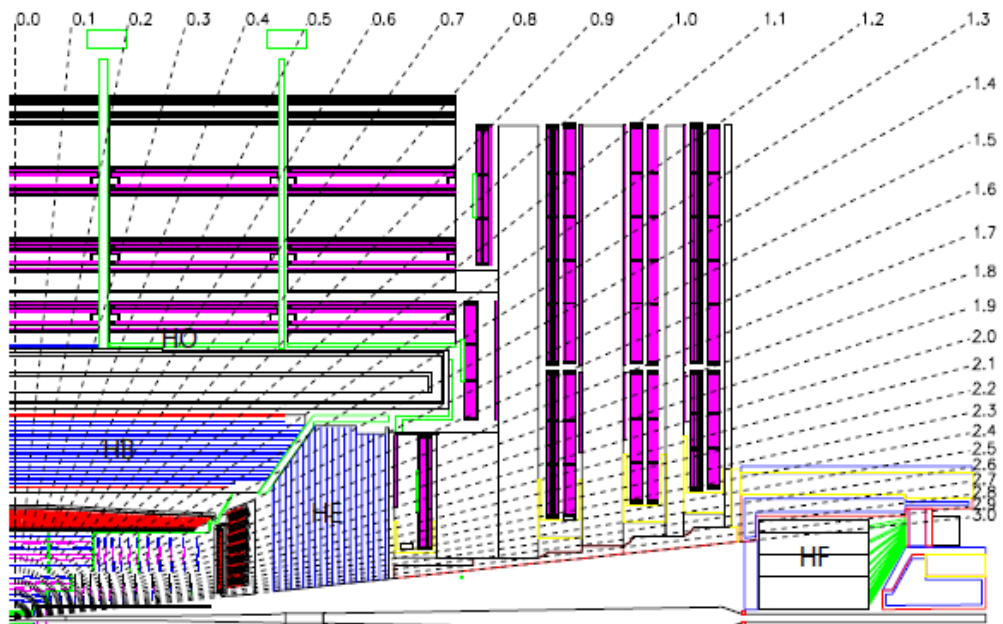
Şekil 3.13. Hadron kalorimetresinin fiçi kısmı.

Kulelerin toplam sayısı yine 2304'tür. HE katı açının yaklaşık %13'ünü görür ve BHÇ'nin yüksek ışıklılığı nedeniyle radyasyona maruz kalır. Dolayısıyla radyasyona son derece dayanıklı olmalıdır özellikle yüksek η değerlerinde. Ayrıca hadronik duşları başlatacak yapı malzemesine sahip olmalıdır ve 4T manyetik alan içinde olacağından manyetik özellik de taşımamalıdır.

3.4.3.3. Hadronik Dış

Hadronik dış (HO) kalorimetre, 10mm kalınlığında sintilatörlerden oluşur ve $|\eta| < 1.26$ pseudorapidite aralığını kapsar. Hadronik dış kalorimetrenin temel amacı hadron duşları için ekstra çevreleme bölgesi sağlar.

Çünkü elektromanyetik ve hadronik fiçı bölgelerinde oluşan süreçlerin hepsi kendi bölgelerinde sonlanmayabilir. Selonoidin vakum tankı, z eksenı boyunca 2.54m genişliğinde beş halka halinde bulunur. HO bu halkaların her birinde ilk katman olarak yer alır. Müon dedektörünün fiçı bölgesinin ön kısmına yerleştirilmiş birkaç tabakadan oluşur. Hadronik dış kalorimetrenin en önemli katkısı, kayıp dik enerjinin ölçülmesi ve süpersimetrik parçacıkların araştırılması için enerji sızıntısını azaltmak şeklinde olacaktır.



Şekil 3.14. HB (hadron barrel), HO(hadron outer), HE(Hadron endcap)ve HF(hadron forward) kalorimetrelerinin yerleşimini gösteren CMS dedektörünün boydan görünüşü.

3.4.4. Mıknatıs

Hadron çarpıştırıcılarında, birçok son durumda müonlar vardır ve bu nedenle on kez daha büyük olan fon olaylarının arasından ilginç olanları seçmek oldukça önemlidir. Oluşturulan çok güçlü manyetik alan ilginç olayları tetikleme olanağı sağlar. Müonların ve diğer yüklü parçacıkların yörüngelerinin bükülmesi, onların momentumunun ölçümü ve yüklerinin belirlenmesini sağlar. Mıknatıs sisteminin tasarımı dedektör tasarımını da belirler.

CMS deneyi, bobin içinde güçlü bir alan ile sıkı bir tasarım elde etmek için manyetik alanın selenoid tipi kullanımını seçmiştir (Bayatian ve ark., 1997c). İzleme sistemi, elektromanyetik kalorimetre ve hadronik kalorimetre (HO hariç) bobin içinde yer alır. Süper iletken mıknatıs tarafından oluşturulan 4 T manyetik alan dikey düzlemde parçacık yörüngelerini bükerek ve böylece müon odaları ve merkezi izleme sisteminin koordinasyonu ile dik momentum ölçümünün hassas olması sağlanır.

Güçlü alana sahip olmanın bir dezavantajı vardır: yüklü parçacıklar düşük momentumları ile fiçı bölgesindeki kalorimetreye varamazlar veya diğer parçacıklardan ayrılabilirler ve jet yeniden yapılandırılması algoritmalarında kalorimetre hücrelerine çarpan bu parçacıklar koni dışı olurlar. Yüklü parçacığın yörüngesinin eğriliği ile manyetik kuvvet arasındaki ilişki şöyle verilir.

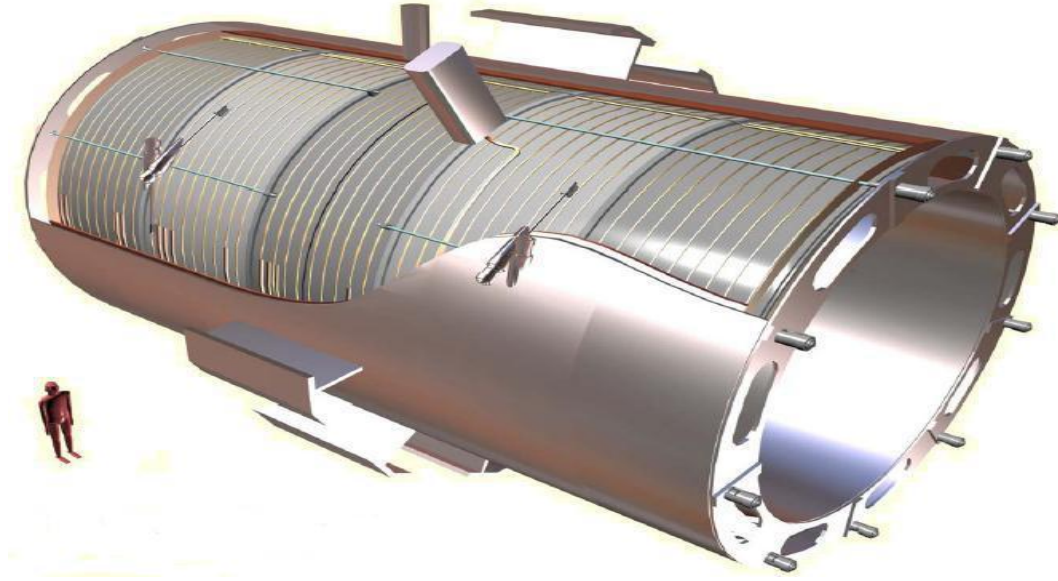
$$P_T = 0.3 \times B \times R \quad (3.7)$$

Burada P_T parçacığın GeV/c cinsinden dik momentumu, B manyetik alan (Tesla), R de metre cinsinden parçacığın eğrilik yarıçapıdır. Eğer parçacığın dik momentumu 0.9 GeV/c'den daha az ise kalorimetrelere ulaşamaz.

CMS süperiletken selenoid 12.5 m uzunluğunda, 6 m çapındadır. Selenoidin uzunluk/yarıçap oranı ve yüksek manyetik alanı müonları $\eta = 2.4$ 'e kadar etkili bir şekilde belirlemeye izin verir. 1.5 m kalınlığındaki demir boyunduruk manyetik alanı 1.8T olarak geri döndürür. Döndürücü boyunduruk, fiçı ve kapak olmak üzere ikiye bölünmüştür. Fiçı boyunduruk 13.2 m uzunluğunda 12 yüzü silindirik yapı olarak tasarlanmıştır.

3.4.5. Müon Sistemi

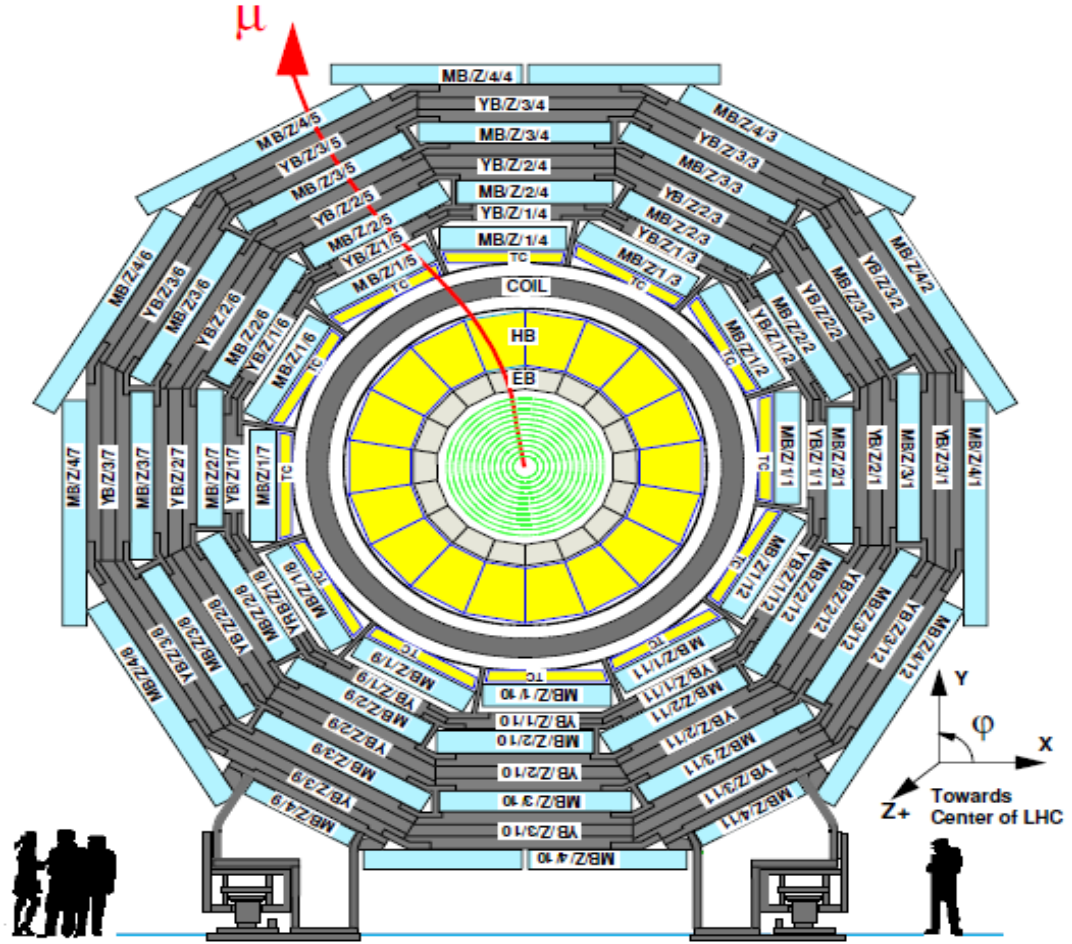
Müonlar, BHÇ'de pp çarpışmalarının son durumlarının birçoğunda görülür. Hatta yeni fizik bile kendini SM parçacıkları ile göstereceğinden, müonlar keşif çalışmalarında çok önemli rol oynar. Bu nedenle, müonların yeniden yapılandırılması, momentumlarının hassas bir şekilde ölçümü ve tetikleme için kullanımı CMS deneyi için çok önemlidir (Bayatian ve ark., 1997d).



Şekil 3.15. CMS dedektöründe kalorimetreleri içinde barındıran süper iletken selenoid.

Müonlar ağır ($\approx 105.65\text{MeV}$) ve uzun ömürlü ($\approx 10^{-6}$ s) parçacıklardır. Sonuç olarak müonlar dedektörde çok net sinyaller verirler ve CMS dedektörü bu net sinyalleri yeniden yapılandıracak müon dedektörüne sahip olmak için tasarlanmıştır. Müon dedektörleri için gereksinimler şöyledir: a) Müonların belirlenmesi, b) 7 TeV'e kadar yükün doğru belirlenmesi, c) tek başına dik momentum çözünürlüğü (10 GeV de 8-15% $\delta p/p$, 1 TeV de 20-40% $\delta p/p$), d) genel momentum çözünürlüğü (10 GeV de 1.0-1.5% $\delta p/p$, 1 TeV de 6-17% $\delta p/p$), e) demet geçişi için hassas zaman ölçümleri, f) $\eta=2.1$ kadar tek veya ikili müon olayları için birinci seviye tetiklemesi (izleyici kullanımı $|\eta|$ kapsamı ile sınırlıdır).

Müon dedektörü, kalorimetreleri ve bobini kapsayacak şekilde yerleştirilmiştir. Müon odalarının dört katmanı, fiçı bölgesinde $|\eta|=1.2$ 'ye kadar ve kapak bölgesinde de $0.9 < |\eta| < 2.4$ aralığına kadar kapsar ve demir dönüş boyunduruğu plakaları ile iç içe geçmiştir. Şekil 3.16 de gösterildiği gibi kapaktaki diskler ışın demetine dik iken, fiçı bölgesindeki müon kanalları ışın çizgisi etrafında eş merkezli olarak yerleştirilir. CMS, müon belirleme ve ölçme için üç farklı dedektör kullanır:



Şekil 3.16. Müon sisteminin dikey görünüşü (Chatrchyan ve ark., 2008).

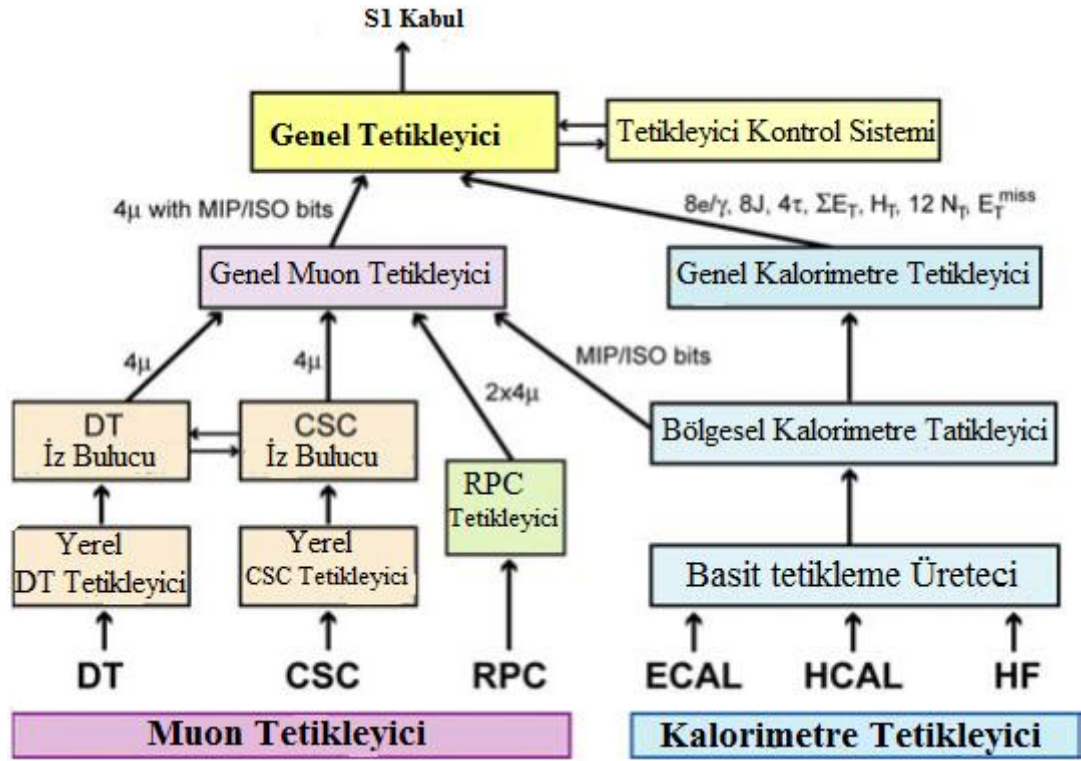
Merkezi fiş bölgesindeki sürüklenme tüpleri (DT), kapak bölgesindeki katot şerit odacıkları (CSC) ve hem fiş hem de kapaktaki paralel plakalı direnç odacıkları (RPC). DT ve CSC dedektörleri, müonların konumunun hassas ölçümünü ve dolayısıyla da momentumlarını elde etmek için kullanılır, RPC dedektörleri ise tepki hızlarının çok yüksek olmasından dolayı, birinci seviye tetikleticilere bilgi sağlamak amacıyla kullanılır.

3.5. Tetikleyiciler

BHÇ, çarpışma oranları çok yüksek olan proton ve ağır-iyon demetleri sağlar. Protonlar için demetin kesişme frekansı 40 MHz olup bu da iki demetin kesişmesi arasında geçen sürenin 25ns olması demektir.

Işıklılığa bağlı olarak, her proton demetinin her bir kesişmesinde çok sayıda çarpışma oluşur (nominal tasarım ışıklılığı $10^{-34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de, yaklaşık 20 eş zamanlı *pp* çarpışması). Ortaya çıkan yüksek sayıda olayla ilişkili olarak büyük miktarda verinin depolanması ve işlenmesi imkansız olduğundan, bu verinin ciddi oranda azaltılması zorunludur. Bu görev, fizik olaylarının seçim sürecinin başlangıcı olan tetikleme sistemi tarafından yapılır. Bu oran, birinci seviye tetikleme (S1) ve yüksek seviye tetikleme (YST) adı verilen iki adımda azaltılır (CMS kollob., 2002). Birinci seviye tetikleme, büyük oranda programlanabilir özel tasarlanmış elektronikten oluşurken YST binlerce işlemci tarafından filtre edilerek uygulanan bir yazılım sistemidir. S1 ve YST tetikleme sistemleri olay oranlarını 10^6 faktörü kadar azaltacak şekilde tasarlanmıştır. Ön karar verici elektroniğindeki ardışık hafızalar yüksek çözünürlükte veriyi tutarken, S1 tetikleyici, kalorimetrelerden ve müon sisteminden gelen, kabaca bölümlenmiş verileri kullanır. YST'nin tamamlanan veriye erişim hakkı vardır ve bu nedenle eğer gerekirse özel ilginç olaylar için yapılan analizlerdeki yazılımlara benzer şekilde karmaşık hesaplamalar yapılabilir. YST algoritmaları zamanla ve deneyimle gelişeceğinden burada açıklanmamıştır, daha fazla bilgi için (Adam ve ark., 2005) referansına başvurulabilir.

Seviye 1 Tetikleyici (S1T) BHÇ'de, 40MHz frekansta ışın geçişinden elde edilen dedektör verilerini alır ve bu oranı 100kHz'e düşürür. Bu oran düşük ışıklılık için 50 kHz'e kadar düşürülebilecektir (Bayatian ve ark., 2000a). S1 seçimlerinde sadece band genişliğinin üçte birlik kısmı kullanılırken diğer üçte ikisi güvenlik hattı olarak kullanılır. S1 tetikleme sisteminin genel görünümü Şekil 3.17 verilmiştir. Bu seviyedeki tetikleyici seçimi, müon sistemi ve kalorimetrelerden gelen bilgiler ile yeniden yapılandırılan tetikleyici adaylar kullanılarak yapılır ve de olay oranını düşük (yüksek) ışıklılıklarda 50 (100) kHz'e düşürmek için eşik kısıtlayıcıları kullanılır.



Şekil 3.17. S1 tetikleme yapısı (Chatrchyan ve ark., 2008).

Yüksek Seviye Tetikleyicisi: Yüksek Seviye Tetikleyicisi (YST)'nin seçimi büyük ticari bilgisayarda çalıştırılan programlara göre yapılır. YST, hızlı algoritmalar ile S1 çıkış oranını 100Hz'e indirir. S1'den gelen tetikleyici adayları (jetler, leptonlar, kayıp dikine enerji gibi) birkaç seviye kullanılarak (Seviye-2, Seviye-2.5, Seviye-3) tekrar tanımlanabilirler ve sonunda bu ham nesneler fizik kanallarının kimliğini tespit etmek için kullanılır. Tetikleyici seviyenin tipi ve sayısı YST seviyesinde esneklik ve BHC'nin çalışma şartlarına göre uygun bir şekilde yeniden ayarlanabilir. Mevcut dizaynda Seviye-2 tetikleyicisi nesneleri daha iyi yapılandırmak için S1 eşik değerlerini daha hassas olarak yapılandırılmış nesnelere uygulayarak olay oranını 10 faktör kadar azaltır. YST tetikleyicisi (Seviye-2.5) piksel dedektörlerinden gelen bazı ham bilgileri de kullanabilir. Seviye-3'te olayın tam yeniden yapılandırılması izleyiciden gelen tüm bilgiler kullanılarak yapılır. Sonuç olarak fizik kanallarının kimliğini tespit etmek için çevrim-içi analizler yapılabilir (Yetkin, 2006).

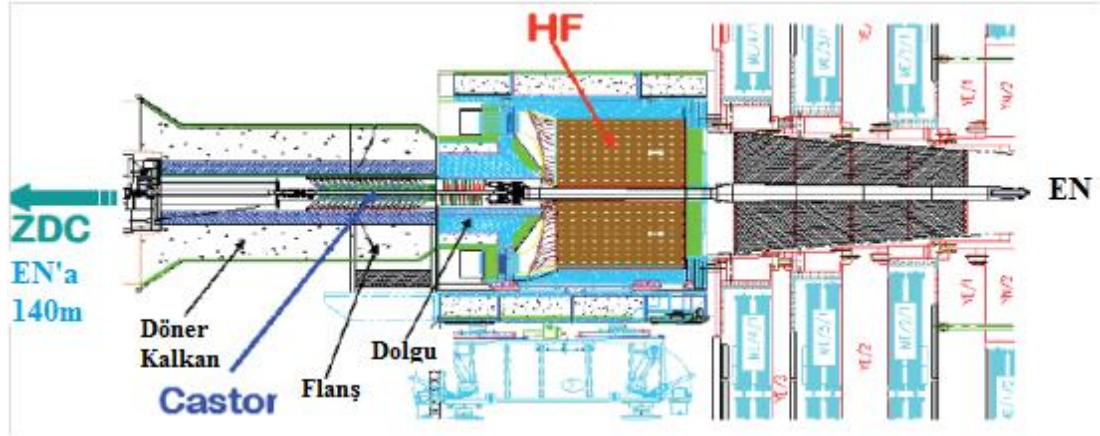
4. CMS İLERİ KALORİMETRELERİ HF, CASTOR ve ZDC

4.1. İleri Bölge Kalorimetre

Büyük hadron çarpıştırıcısı (BHÇ), daha önce erişilmemiş olan kütle merkezi enerjisine ($\sqrt{s}=14$ TeV) ve ışıklılığa ($L = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ulaşacaktır. Bu kapsamda BHÇ ile parçacık fiziği araştırma ve keşifleri için büyük ölçüde yeni fırsatlar açılacaktır, fakat aynı zamanda çarpışmalardan dolayı da dedektörlerde aşırı radyasyon oluşacaktır. Bu nedenle BHÇ’de kullanılan dedektörler, performanslarından ödün vermeden, yüksek radyasyon seviyesine dayanıklı olmalıdır. CMS dedektörü, diğer önemli konular arasında, yeni fiziğin olası anahtar sinyalleri olan, kayıp enerji ve ileri bölge jetlerini ölçmek için hemen hemen sızdırmaz kalorimetreye sahip olmalıdır(Kauer ve ark., 2001). CMS etkileşim noktasının (IP) her iki tarafına yaklaşık $\pm 11\text{m}$ uzaklığa yerleştirilen ileri kalorimetreler ($\text{HF}\pm$), ile kapsama bölgesine $3.0 < |\eta| < 5.0$ aralığını da dahil eder (Şekil 4.1). HF, bu bölgedeki yüksek radyasyon seviyesi nedeniyle radyasyona dayanıklı parçalardan inşa edilmiştir: çelik soğurucular içine yerleştirilmiş, çok yüksek dozlarda (Grad mertebesinde) bozulmadan kalabilen boyuna kuvars fiberlerden oluşur. Her biri yaklaşık 250 ton ağırlığında olan HF modüllerinde yaklaşık 1000 km kuvars fiber kullanılmıştır. Bu cihazlar, birkaç TeV enerjili hadronik jetleri ölçebilirler. HF, kuvars fiberlerdeki duş parçacıklarının yaydığı Çerenkov ışığının aynı fiberler ile kalorimetre modülünün alt tarafında bulunan foto-çoğaltıcı tüplere (PMT) iletilip ölçülmesi prensibiyle çalışır. Bu dedektörler, kuvars fiber kalorimetrelerinin büyük ölçekli uygulamaları için referans haline gelmiştir.

4.1.1. Kuvars Fiber Çerenkov Kalorimetre

Çerenkov radyasyonu, elektromanyetik enerjinin ölçülmesi için, örneğin kurşun-cam kalorimetrelerde kullanılır (Heusch, 1984). Kuvars fiberler, çok yüksek radyasyon dayanıklılığı, mükemmel optik kaliteleri ve yeni tipleri sayesinde



Şekil 4.1. CMS de etkileşim noktasının (EN) bir tarafındaki ileri bölge: Sırasıyla $3 < |\eta| < 5$ ve $5 < |\eta| < 7$ pseudorapditiyi aralığını kapsayan kuvars kalorimetre HF ve CASTOR ile birlikte çarpışma noktasından 140 m uzaklıkta, yüksek enerjili ileri nötral parçacıkları ölçmeye yarayan sıfır derece kalorimetresi ZDC yer alır.

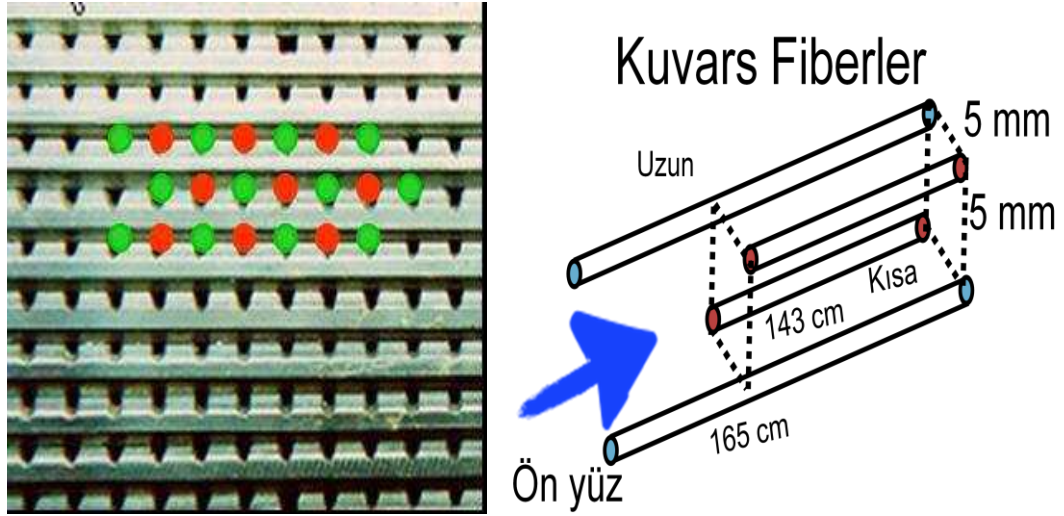
şimdi de hadronik kalorimetreler için giderek daha cazip hale gelmiştir. Çerenkov kalorimetrelerinin önemli özellikleri şöyle özetlenebilir:

- ❖ Çerenkov ışığı, duş parçacıklarının yörüngeleri ile güçlü bir şekilde ilişkilidir ve bu nedenle yön bilgisi de verebilirler.
- ❖ Çerenkov radyasyon yayımı neredeyse anlıktır, bu nedenle hızlı tepki verirler, bu sayede olay oranlarının çok yüksek olduğu uygulamalar için kullanışlıdır.
- ❖ Çerenkov radyasyonu, hızı belli bir eşiğin üstünde olan yüklü parçacıklar tarafından üretilir: bu dedektörler aslında düşük enerjili parçacıklara ve nötronlara karşı duyarsızdır ve tercihen elektromanyetik duşlarda yüksek oranda üretilen elektron ve pozitronlara karşı duyarlıdır ve de $E \geq 190 \text{ keV}$ 'e kadar olan enerjilere kadar Çerenkov ışığı yayınlanır.
- ❖ Hadronik duşların oldukça büyük bir kısmı soğurucuda, γ ışınlarına (π^0 bozunumu yoluyla) nihai ürün olarakta $e^\pm$ haline dönüşür. Çerenkov kalorimetrelerde, hadronik duşlar aslında EM bileşenlerinden dolayı görülür. Bu nedenle duşun yansal bileşeni gerçek hadron duşlarından (iyonizasyon veya sintilasyon kalorimetrelerinde görülen) daha dardır ve duş merkezde yoğunlaşır bu da jetlerin yalıtılmasını kolaylaştırır.

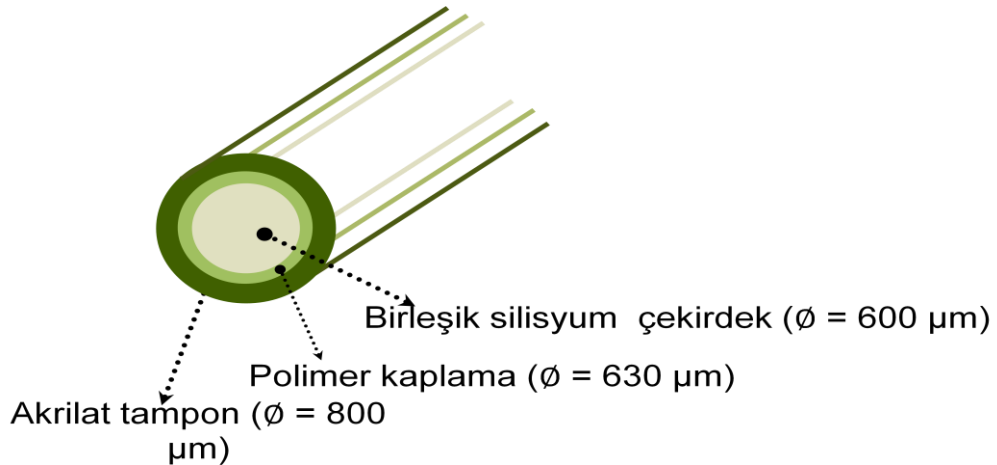
- ❖ Kuvars fiberler birkaç Grad radyasyon seviyelerinde bile görünür bölgedeki ışık için saydamlığını korur (Akgun ve Onel, 2006).

4.1.2. İleri Hadron Kalorimetrenin Yapısı

İleri bölge kalorimetre (HF), dış yarıçapı 130cm, iç yarı çapı 12.5 cm (ışık demeti borusunu yerleştirmek için) ve uzunluğu 1.65 cm ($\approx 10 \lambda_I$) olan çelik silindirik yapılıdır. Her bir HF modülünün soğurucu ağırlığı 108 ton olup açısız olarak 20 derece olarak bölünmüş çelik dilimlerin iki yarım silindir şeklinde birleştirilmesiyle oluşur. HF kalorimetreleri, etkileşim noktasının her iki tarafında 18'er olmak üzere otuz-altı dilimden meydana gelir. Her soğurucu dilimde yatay ve dikey olarak 5 mm olan boylamasına boşluklara yerleştirilen kuvars fiberler vardır. Fiberler, 600 μ m çaplı birleşik silisyum çekirdek ile 630 μ m sert polimer kaplama ve 800 μ m olan koruyucu akrilat kılıftan oluşur (Şekil 4.3). Fiberlerin yarısı soğurucunun tam derinliğinde yer alırken diğer yarısı ise dedektörün ön yüzünden 22 cm derinlikte başlar. Bu farklı fiberler ayrı ayrı okunur. Bu düzenleme, uzun ve kısa fiberlerde sinyal oluşturan hadron, duşlarından ilk 22 cm'lik kısımda enerjilerinin büyük kısmını depolayan elektron, pozitron ve fotonlar tarafından üretilen elektromanyetik duşun ayırt edilmesini, mümkün hale getirir. Uzun fiberler (L) toplam enerjiyi ve kısa fiberler (S) ise çeliğin yüzeyinden 22 cm'den sonra depolanan enerjiyi ölçmek için kullanılır. Bu uzun ve kısa fiberler soğurucu içindeki 5mm'lik kanallara değişmeli olarak yerleştirilir (Şekil 4.2). İlk 22 cm'deki hacimde (fiber/toplam) yoğunluk oranı %0.57 olup bu derinliğin ötesinde iki kat daha büyüktür. Soğurucunun arkasına (Şekil4.4) kadar uzanan fiberler ($\eta-\phi$) uzayında 0.175×0.175 ($\Delta\eta \times \Delta\phi$) aralığında demetler halinde gruplandırılarak HF'in kulelerini oluştururlar. Bu demetlerden gelen ışık içi hava dolu olan ışık kılavuzlarıyla PMT'lere taşınır. PMT'ler okuma kutularının içine yerleştirilmiştir. Her dilim de 2 tane okuma kutusu vardır(RBX), her bir kutuda da 8 aşamalı, bialkali foto katotlu ve bora silikat camlı PMT'ler yer alır. HF'in bulunduğu yerde CMS mıknatısının alanı, HF PMT'leri üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahiptir.



Şekil 4.2. HF soğurucusundaki kuvars fiberlerin yerleşimi. Uzun ve kısa fiberlerin soğurucudaki boşluklardaki dizilişleri farklı renklerde gösterilmiştir.



Şekil 4.3. HF kalorimetresinde kullanılan fiber.

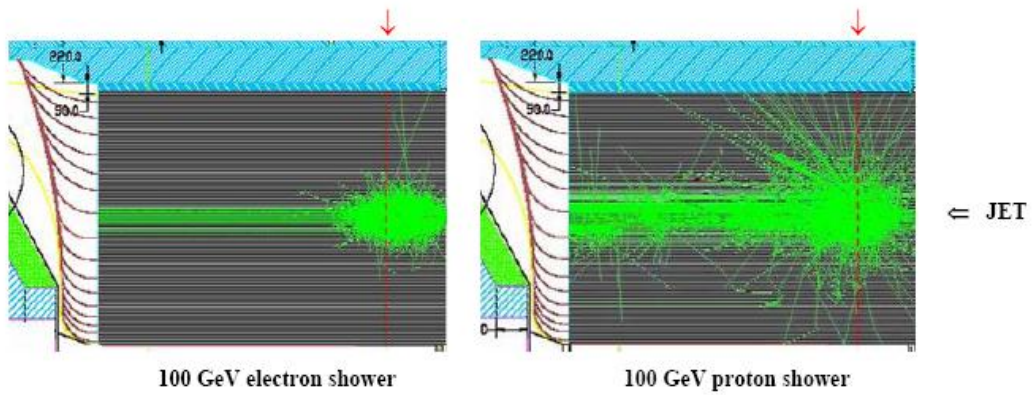
Her HF modülü 10^0 açılı yapacak şekilde 36 kısma ayrılmıştır. Her iki tarafta, her biri fiziksel bir kanala karşılık gelen ve iki farklı uzunlukta fiberler tarafından örneklenen, 432 kule bulunur. Uzun ve kısa fiberler farklı PMT'ler tarafından okunur. Uzun fiberler hem foton/elektron ve hadronların her ikisine, kısa fiberler ise EM duşun çoğunu kaçırdığı için daha çok hadronlara duyarlıdır (Şekil 4.5).

Ön taraftaki (EM) bölümde örnekleme oranı, arka taraftaki (HAD) bölüme göre daha düşüktür, HF'in elektron/foton ve hadronlara tepkisinin kısmi dengesini sağlamak için, kalorimetrenin bu uzunlamasına bölümleri kullanılır.

PMT'den gelen sinyaller, özel bir çip kullanılarak her bir demet kesişiminde sayısal veriye dönüştürülür ve bu sinyaller her biri 24 farklı HF kulesine hizmet veren 36 adet tetikleme ve okuma ünitesine kaydedilmek üzere gönderilir.



Şekil 4.4. Çelik soğurucunun fiberler ile doldurulması ve montajı sırasında HF dilimlerinin görünüşü.



Şekil 4.5. Elektromanyetik ve Hadron duşlarından oluşan bileşenlerinin HF üzerindeki etkisi.

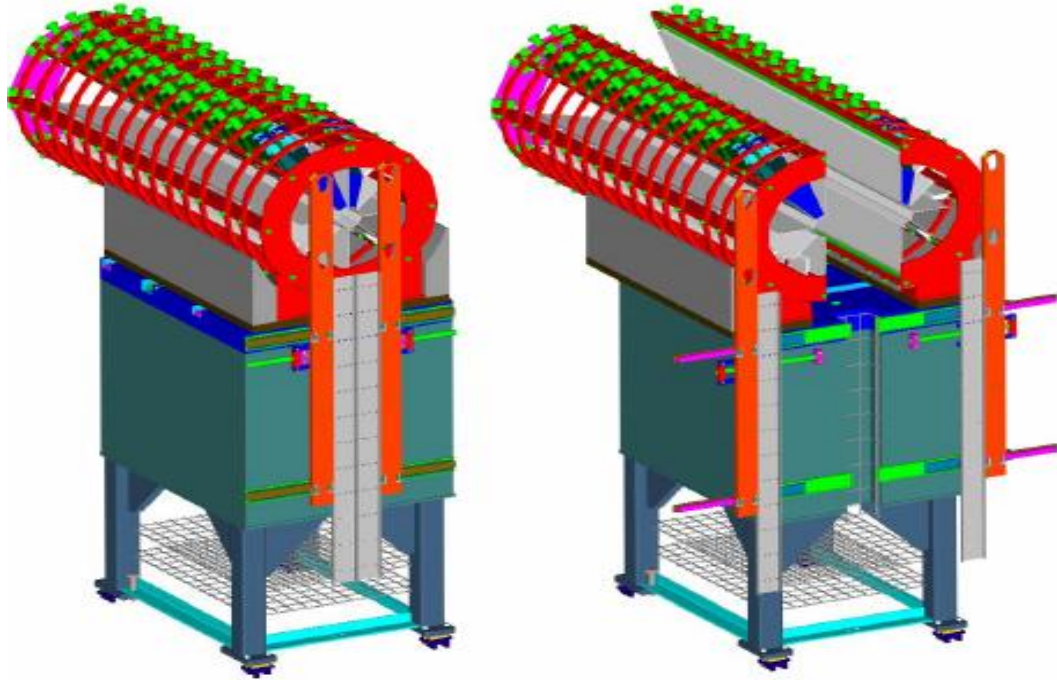
4.2. CASTOR

CASTOR (Centauro And Strange Object Research) dedektörü bir kuvars-tungsten örnekleme kalorimetresidir. BHC deki proton-proton ve ağır iyon çarpışmalarında çok ileri bölge için tasarlanmıştır (Panagiotou ve ark., 2008). Dedektör, çekirdek fiziği araştırmalarını tamamlamak (D'Enterria ve ark., 2007) için baryonsuz orta rapidite bölgesi için ve de p - p çarpışmalarında kırınımlayıcı ve düşük- x fiziği araştırmaları yapmak üzere geliştirilmiştir (Albrow ve ark., 2006). $5.2 < |\eta| < 6.6$ pseudorapidity aralığını kapsayan CASTOR çarpışma noktasından 14.38 m uzaklıkta yerleştirilmiştir. Şekil 4.6'da CASTOR'un CMS deki konumunu görebilirsiniz. Kalorimetre ışın demetinin geçtiği boruyu çevreleyecek şekilde iki parçanın birleştirilmesiyle tamamlanır. Kalorimetre ve okuma birimleri, dedektöre çarpan parçacıkların dedektörü geçerken oluşturduğu şelaleleri gözleyebilecek şekilde tasarlanmıştır. CASTOR'da tipik olarak ölçülebilecek toplam ve elektromanyetik enerjiler simülasyonlara göre sırasıyla 180TeV ve 50 TeV'dir ve bu enerjiler %1 den daha iyi bir çözünürlük ile ölçülebilir.

Kuvars kalorimetrelerin ana avantajı radyasyona dayanıklılığı, hızlı tepki vermesi ve dedektör boyutunun, BHC'de çok ileri bölgelerde karşılaşılan deneysel koşullara uygun olmasıdır (Mavromanolakis, physics/0412123v1). Kuvars kalorimetrelerde hadronik ve elektromanyetik duşun tipik görünür dik boyutu, sırasıyla 5-10 cm ve yaklaşık 10 mm (%95 sinyal içerir) yani standart sintilasyon kalorimetrelerine oranla 3 ila 4 kez daha dardır.

4.2.1. Tungsten Kuvars Tabakalar

CASTOR dedektörü, HF konseptine benzer Çerenkov tabanlı bir kalorimetredir. Tungsten (W) tabaka katmanları soğurucu, birleşik silisyum kuvars (Q) tabakalar ise aktif madde olarak yer alır. Soğurucu tabakanın yoğunluğu 18,5 g/cm³tür.



Şekil 4.6. CASTOR kalorimetresi ve destekleyici.

Elektromanyetik (EM) kısım için W tabakalarının kalınlığı 5 mm ve Q tabakalarının kalınlığı ise 2 mm'dir. Hadronik (HAD) kısım için W ve Q tabakalarının kalınlıkları sırasıyla 10 mm ve 4 mm'dir. W/Q plakalar, kuvarslardaki Çerenkov ışığını maksimum olarak yakalamak için çarpan parçacıkların yönüne göre 45° eğimlidir.

4.3. Sıfır Derece Kalorimetresi

İki tane sıfır derece kalorimetresi (ZDC) nötr parçacıklar için $|\eta| \geq 8.3$ pseudorapidity aralığını kapsayacak şekilde yerleştirilmiştir. Özellikle ağır iyon ve pp kırınımlayıcı fizik çalışmalarını yapmak üzere tasarlanmıştır. Her ZDC, elektromanyetik (EM) ve hadronik (HAD) kısımlar olmak üzere iki bağımsız bölümden oluşur. İki özdeş ZDC, CMS etkileşim bölgesinin her iki tarafından 140 m uzaklıkta bulunan ve 1 m uzunluğunda, 96 mm genişliğinde, 607 mm yüksekliğinde olan nötr parçacık soğurucu TAN içine yerleştirilmiştir (Şekil 4.7). TAN, mıknatıs ve dedektörleri pp çarpışmalarında ortaya çıkan kalıntılara ve hüzmeye kayıplarına karşı korumak amacıyla tasarlanmıştır.

Şekil 4.8 (a)'da ön tarafta EM kısım ve arka tarafta HAD kısım görülmektedir. Şekil 4.8 (b)'de HAD kısmın bir fotoğrafı yer almaktadır. Birleştirilmiş sistemin toplam derinliği yaklaşık 7.5 hadronik etkileşim uzunluğundadır (λ_I). Bu yapıda her bölümün ön ve arka tarafında 9 mm bakır levha yer alır. Ayrıca BHÇ gerçek zamanlı ışıklılık monitörü, ZDC'nin kalorimetrik kısımları arasındaki 120 mm'lik boşluğa monte edilmiştir. HAD kısım 24 kat olarak 15.5 mm kalınlığında tungsten plakalar ve 0.7 mm çaplı kuvars fiberlerden ($6.5\lambda_I$) oluşur. Tungsten plakalar Çerenkov ışığını fiberlerde maksimum yakalamak için 45° eğimli olacak şekildedir. EM bölüm 33 katmanlı 2 mm kalınlığında tungsten plakalardan ve 0.7 mm çaplı kuvars fiberlerden yapılmıştır ($19X_0$). Tungsten plakalar dikey yönelimlidir (Chatrchyan ve ark., 2008).

5. MATERYAL VE METOD

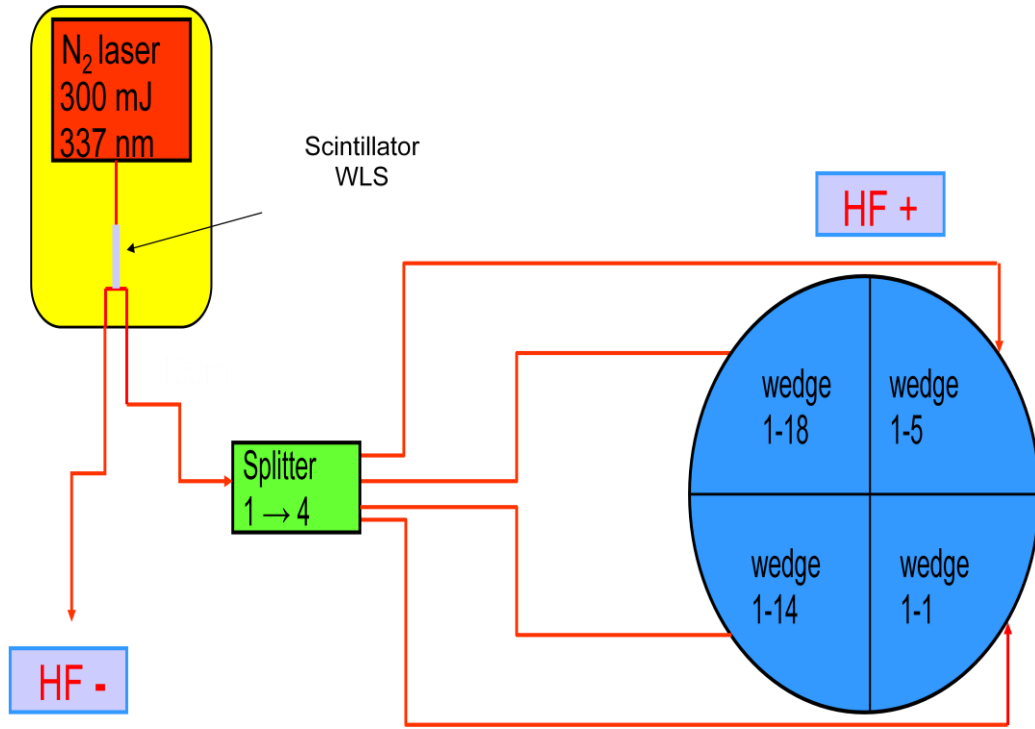
5.1. HF’de Radyasyon Zararını Görüntüleme Sistemi

HF’de Radyasyon Zararını Görüntüleme Sistemi (RADDAM) dedektörün radyasyondan göreceği hasarı çevrim içi izlemek üzere tasarlanmıştır. Dedektörün farklı bölümleri farklı radyasyona maruz kalacağından dolayı dedektörün farklı kulelerine toplam 56 tane RADDAM fiberi yerleştirilmiştir. Sistemin çalışma prensibi dedektörün giriş kısmından yansıyan ışık atımının dedektörün bitiminden yansıyan ışık atımıyla karşılaştırılmasına dayanır.

Bu bölümde RADDAM sistemi tanıtılacak ve radyasyonun fiber üzerindeki etkileri anlatılacaktır.

5.1.1. HF’in RADDAM Düzenegi

Radyasyonun fiberler üzerindeki etkisini incelemek için kullanılan sistem Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Sistemde ışık kaynağı olarak 337nm dalga boyunda ışık atımları üreten bir nitrojen lazer kullanılır. Lazer ışığının dalga boyu fiberde en çok soğurulan dalga boyu bölgesine denk düştüğü için geri besleme konektörüne yerleştirilmiş 2 cm uzunluğundaki sintilasyon fiberi sayesinde mavi bölgeye (440nm) doğru kaydırılır. Bu ışık her bir HF için 4 kama dağıtılır (Şekil-5.1). Her bir kama içerisinde değişik bölgeleri kapsayacak şekilde yedi kuleye bu örnekleme fiberleri yerleştirilmiştir. Her bir fiber kendisinin yerleştirildiği kuleye ait PMT tarafından okunur. Radyasyondan kaynaklanan hasarı çevrim içi belirlemek için toplam 56 örnekleme fiberi kullanılır. (CMSNOTE2006-044) .



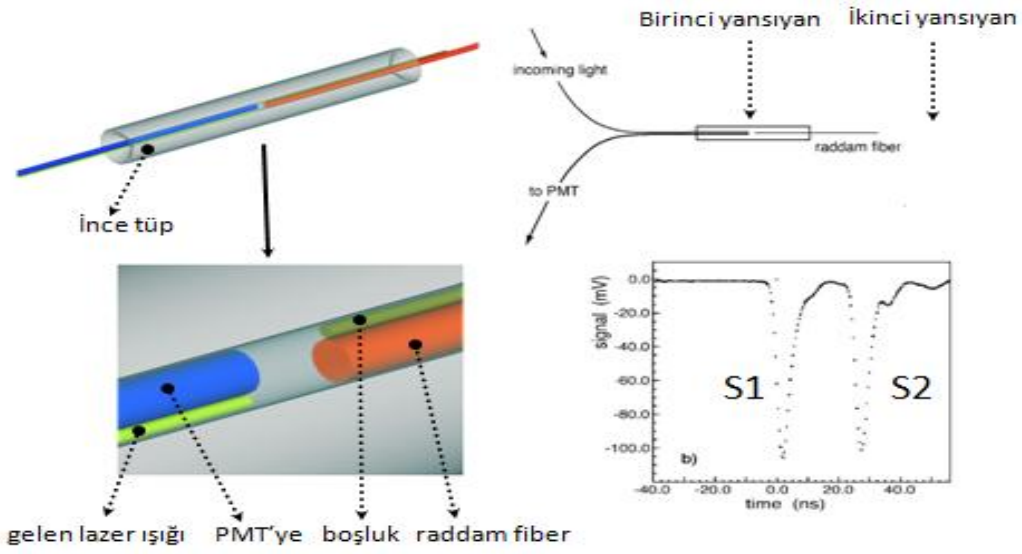
Şekil 5. 1. RADDAM Sistemi. Lazerden gelen ışık 440 nm dalga boyuna kaydırılarak bir dağıtıcı aracılığıyla HF+ için dört dilime dağıtılır.

5.1.2. RADDAM Sisteminin Çalışma Prensibi

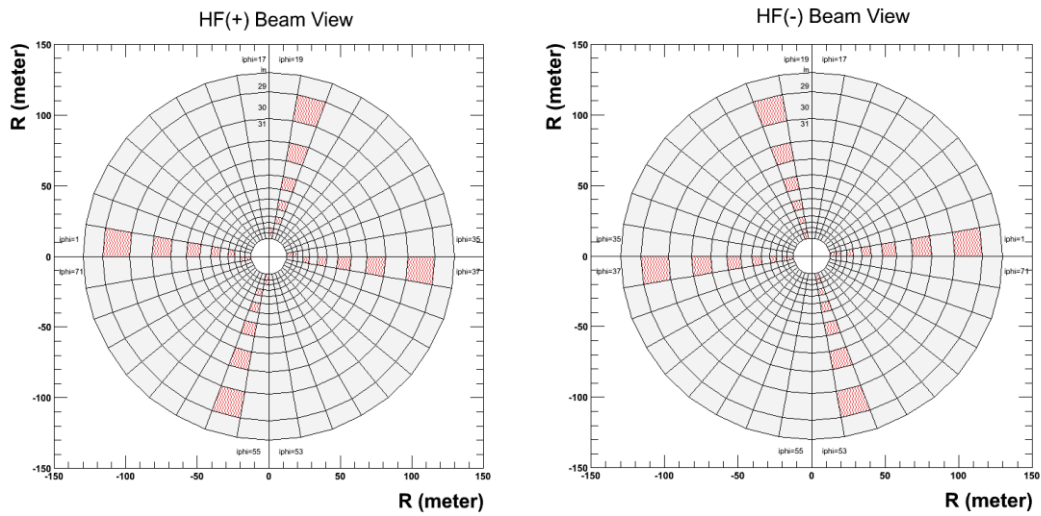
Lazerden gelen fiber ile kule içerisine yerleştiren fiberin birleşim bölgesinde Şekil 5.2’de gösterildiği gibi bir miktar hava boşluğu bırakılmıştır. Bu sayede lazerden gönderilen bir ışık atımı kuledeki fiberin ön yüzünden yansımaya uğrar. Kule içerisindeki fibere iletilen ışık bu fiber üzerinde ilerler ve fiberin sonunda tekrar hava ile karşılaştığında buradan da bir yansıma yapar. Birinci yansımanın olduğu bölge dedektör dışında olduğundan bu yansımanın radyasyondan pek etkilenmesi beklenmez. Fakat ikinci yansıma kuledeki fiberin içinde iletildiğinden bu yansımanın genliğinin radyasyondan dolayı azalması beklenir. Dolayısıyla bu iki yansımanın oranı bize fiberlerin radyasyondan ne kadar etkilendiğini gösterir. Yansıyan iki sinyal bir başka fiber aracılığıyla ölçülmek üzere PMT’ye iletilir. İkinci sinyal kule içerisindeki fiberi iki kez kat ettiği için foto-çoğaltıcı tüp tarafından 25 ns sonra algılanır. CMS’in okuma sistemi 25 ns’lik ardışık 10 zaman dilimine dayanır. Bu nedenle bu iki sinyal birbirine komşu iki zaman diliminde yer alır (Şekil 5.2).

Dedektörün uzun yıllar çalışması sonucunda radyasyon etkisine maruz kalacak olan fiber optik kablolar zamanla kararacak ve daha az ışığı geri yansıtabilecektir.

Işığın zamanla azalması dedektörün zaman içindeki radyasyondan etkilenmesini gösterecektir. RADDAM fiberlerinin HF içerisinde hangi kulelere yerleştirildiği Şekil 5.3’de gösterilmektedir.



Şekil 5. 2. Lazerden gelen, kuledeki fibere ve PMT'ye giden fiberlerin bir cam tüp içerisinde nasıl yerleştirildiğinin temsili resmi ayrıca birinci ve ikinci yansıyan sinyallerin aralarındaki zaman farkı ve sinyalin şekli.



Şekil 5. 3. RADDAM fiberlerin yerleri kırmızı kutular ile gösterilmiştir.

5.1.3. Fiberlerdeki Radyasyon Etkisi

5.1.3.1. Fiberlerde Radyasyon Hasarı

Fiberlerin radyasyondan gördüğü zararın boyutlarını anlamak ve hangi tip fiberin daha dayanıklı olduğunu test etmek için yapılan ilk deney CERN'deki LEP hızlandırıcısının lineer enjektöründen alınan 500 MeV'lik elektronlarla yapılmıştır. Bu çalışmada yüksek oranda OH^- içeren dokuz farklı tipdeki fiberler elektronlarla ışınlanmış ve fiberlerin nasıl koyulaştığı araştırılmıştır (Dumanoglu ve ark., 2002). Bu deneyde ışık iletiminin nasıl değiştiği 350-800nm dalga boyu aralığında ölçülmüştür. 100 Mrad radyasyon soğurulması sonucunda 450nm dalga boyundaki ışık azalması 1.52 ± 0.15 dB/m 'dir. Daha sonra benzeri bir çalışma CERN PS'de radyasyon test alanı olarak kullanılan bir yerde 24 GeV'lik protonlarla yapılmıştır. Bu çalışmada da yüksek OH^- içeren iki tip kuvars fiberin proton ışınlamı altında koyulaşması araştırılmıştır. Test edilen fiberlerin çekirdek çapı 0.6 mm'dir, bunlardan biri sert plastik kaplama (qp) fiber ve diğeri de kuvars kaplama (qq) fiberdir. Bu fiberler yaklaşık üç hafta boyunca 1.25 Grad'lık radyasyona maruz bırakılmıştır. Fiberlerin 380 nm aşağısında ve 580-650 nm aralığında ışık geçirmez hale geldiği görülmüştür. Işınımın altına kararma ve ışınlama sonrası hasarın iyileşmesi, dozun ve zamanın bir fonksiyonu olarak incelenmiştir ve elektron ile yapılan testlere benzer sonuçlar gözlenmiştir. 100 Mrad'da 455 nm'deki qp fiber için belirgin azalma 1.44 ± 0.22 ve qq fiber için 2.20 ± 0.15 dB/m'dir. Maksimum hasar iyileşmesi ise 455 nm dalga boyu yakınlarındadır (Cankocak ve ark. NIM A. 585(2008) 20-27).

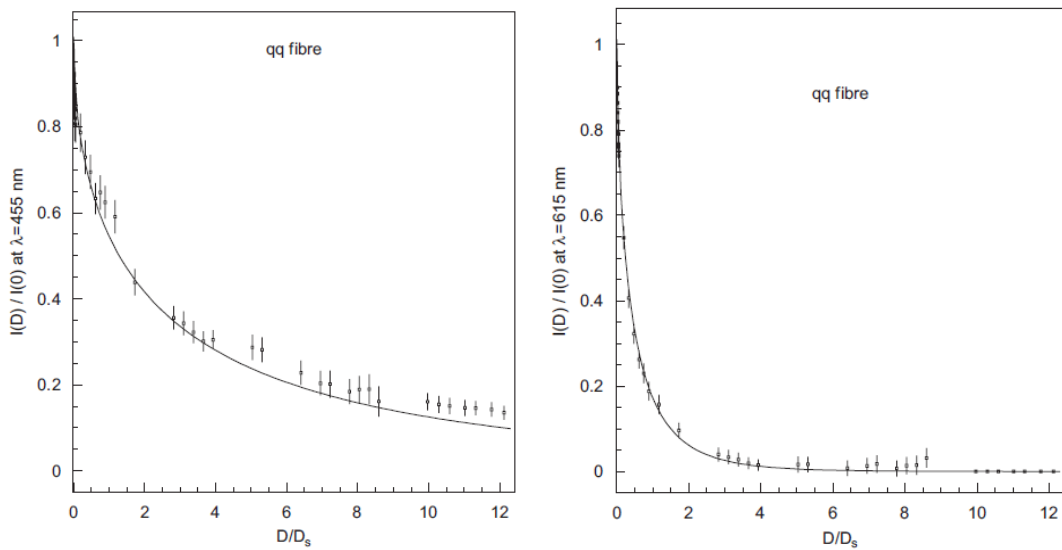
$I(\lambda, D)/I(\lambda, 0)$ oranı dozun azalan bir fonksiyonu olarak hesaplanır, qq ve qp fiberleri için 455 nm ve 615 nm deki tipik davranışı şekil 5.4 - 5.5'de gösterilmiştir. Fiberlerdeki ışık zayıflaması $A(\lambda, D)$, Eşitlik 5.1'deki gibi parametrize edilmiştir (Dumanoglu ve ark., 2002 , Griscom, ve ark., 1993).

$$A(\lambda, D) = \alpha(\lambda) \left[\frac{D}{D_s} \right]^{\beta(\lambda)} \quad (5.1)$$

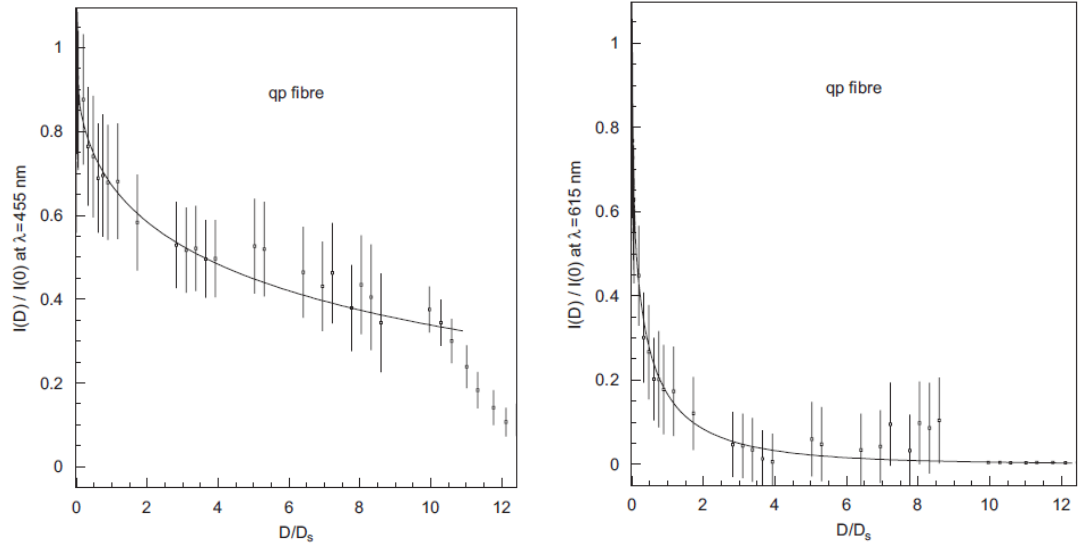
α ve β parametreleri qq ve qp fiberleri için dalga boyu ve dozun bir fonksiyonu olarak belirlenir.

$$I(\lambda, D) / I(\lambda, 0) = \exp[-(L / 4.343)\alpha(\lambda)(D / D_s)^{\beta(\lambda)}] \quad (5.2)$$

Eşitlik (5.2)'de $D_s = 100$ Mrad olarak seçilmiş birim dozdur, L metre cinsinden uzunluk ve α dB/m cinsinden 100 Mrad'daki ışık azalmasını ifade eder. 500 MeV elektronlar kullanılarak yapılan testlerde 9 fiber ışınlanmıştır. Bu fiberlerin optik geçirgenlikleri 450 nm ile 700 nm aralığında çalışılmıştır. Bulunan sonuçlar şekil 5.7 de gösterilmiştir ve bulunan α ve β parametreleri Çizelge 5.2 de verilmiştir. 24 GeV'lık protonlar kullanılarak bulunan sonuçlar ise Şekil-5.6 ve Çizelge 5.1'de gösterilmiştir. Proton testinde istatistik hatalar kullanılan ışık kaynağının şiddetinin düşük ve demetin kararlı olmamasından dolayı elektron ışınlaması sonuçlarından daha büyüktür.

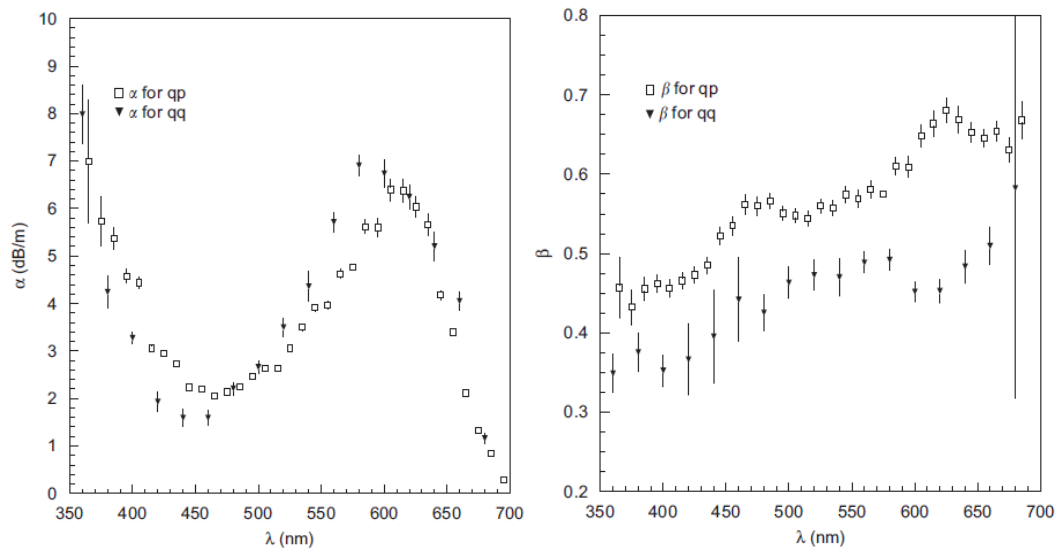


Şekil 5. 4. 455 nm ve 615 nm de qq fiberi için $I(D)/I(0)$ 'ın doza karşı grafiği (Cankocak ve ark., 2008).



Şekil 5. 5. 455 nm ve 615 nm’de qp fiberi için $I(D)/I(0)$ ’ın doza karşı grafiği grafiği (Cankocak ve ark., 2008).

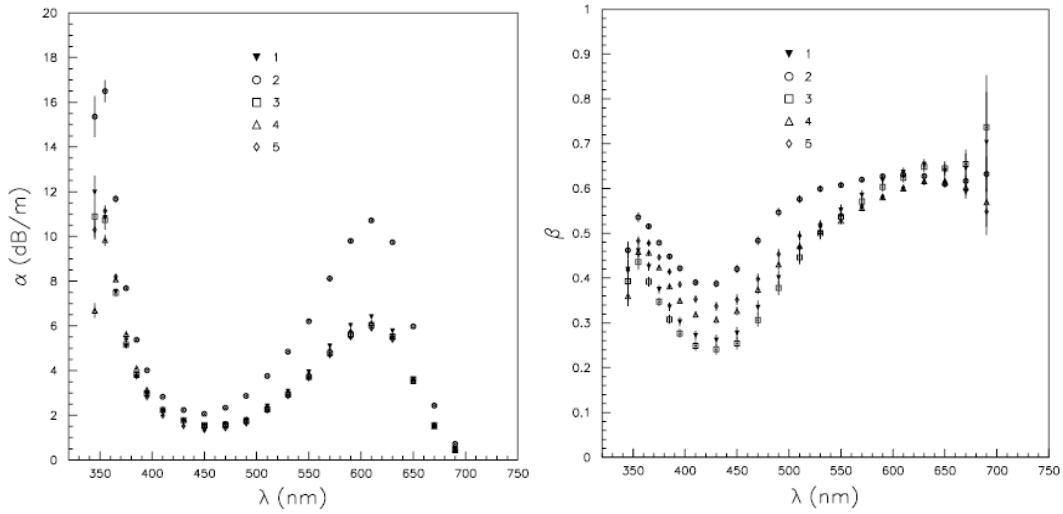
Proton ile ışınlanmış qq ve qp fiberleri için bulunan α ve β değerleri, elektron ile ışınlanmış çekirdek çapı 0.3-0.4mm olan fiber için bulunan sonuçlarla oldukça benzerdir. 1.25 Grad’a kadar 450 nm civarında qq fiberin ışık azalmasının qp fiberden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. 50 Mrad’a kadar qq ve qp fiberleri için ışık azalması elektron verileriyle alınan sonuçlara benzerdir.



Şekil 5. 6. 1.25 Grad proton ışınlamına maruz bırakılmış, qq ve qp fiberler için α ve β parametrelerinin dalga boyuyla değişimi (Cankocak ve ark., 2008).

Çizelge 5. 1. 455 ve 615 nm’de proton ile ışınlanmış fiberlerin $\alpha(\lambda)$ ve $\beta(\lambda)$ parametreleri.

Fiber	$\alpha(455-460 \text{ nm})$	$\beta(455-460 \text{ nm})$	$\alpha(615-620 \text{ nm})$	$\beta(615-620)$
qq (0.6) p	2.20 ± 0.06	0.53 ± 0.013	6.37 ± 0.15	0.66 ± 0.01
qp (0.6) p	1.44 ± 0.16	0.44 ± 0.05	6.51 ± 0.26	0.45 ± 0.02
qp (0.3) e ⁻	1.54 ± 0.02	0.33 ± 0.001	6.13 ± 0.06	0.60 ± 0.01



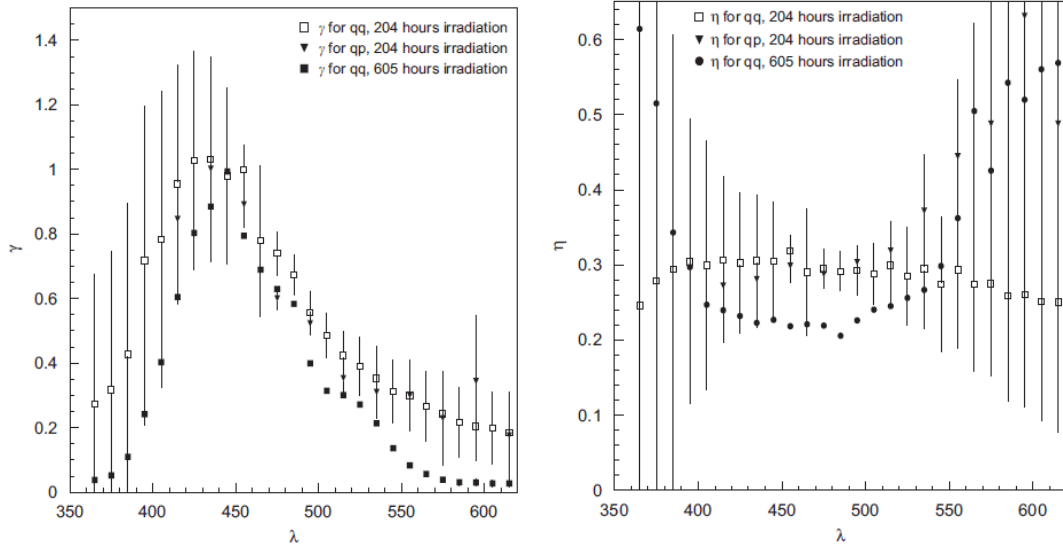
Şekil 5. 7. 100 Mrad elektron ışınlımına maruz bırakılmış farklı yapıları fiberlerin α ve β parametrelerinin dalga boyuyla değişimi (Dumanoglu ve ark., 2002).

Çizelge 5. 2. 450 ile 610 nm’de elektron ile ışınlanmış fiberlerin $\alpha(\lambda)$ ve $\beta(\lambda)$ parametreleri.

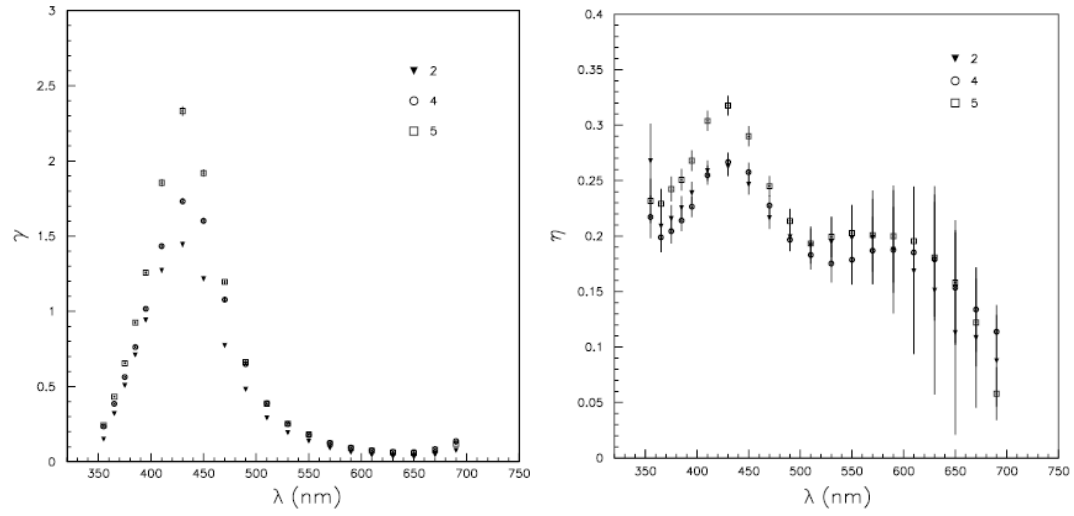
Fiber no.	$\alpha_{450} \text{ dB/m}$	$\beta(450)$	$\alpha_{610} \text{ dB/m}$	$\beta(610)$
1	1.55 ± 0.04	0.28 ± 0.01	6.41 ± 0.11	0.64 ± 0.01
2	2.06 ± 0.03	0.42 ± 0.01	10.72 ± 0.10	0.63 ± 0.01
3	1.56 ± 0.03	0.25 ± 0.01	6.03 ± 0.10	0.62 ± 0.01
4	1.54 ± 0.02	0.33 ± 0.01	6.13 ± 0.06	0.60 ± 0.01
5	1.34 ± 0.03	0.35 ± 0.01	5.88 ± 0.06	0.60 ± 0.01
6	1.66 ± 0.04	0.29 ± 0.02	7.46 ± 0.13	0.63 ± 0.01
7	2.15 ± 0.04	0.45 ± 0.01	11.05 ± 0.12	0.64 ± 0.01
8	1.63 ± 0.04	0.23 ± 0.01	5.45 ± 0.10	0.58 ± 0.01
9	1.33 ± 0.04	0.39 ± 0.02	5.23 ± 0.08	0.64 ± 0.01

5.1.3.2. Fiberlerdeki Hasarın İyileşmesi

Radyasyon zararının doz ile birlikte arttığını, ışık soğurulmasının 380nm'nin altında, 600nm civarında yükseldiğini, 450nm civarında oldukça düşük ve 750nm den yukarısı ihmal edilebilir olduğu şekillerden ve tablolardaki değerlerden anlaşılabilir. Işınımın durduğu zaman iyileşme en fazla 450 nm civarında görülmüştür. 380 nm'nin aşağısında ve 600 nm'nin yukarısında hasar iyileşmesi yoktur (Şekil 5.8-5.9). Şekil 5.6'daki proton ve Şekil 5.7'deki elektron deneylerinin sonuçlarından görüleceği gibi fiberlerin görünür bölgede en az zarar gördüğü yer 450 nm civarındadır. Şanslıyız ki birçok PMT'nin en verimli çalışma bölgesi de bu bölgeye denk düşmektedir.



Şekil 5. 8. qq ve qp fiberleri için proton ışınlamasından 205 ve 605 saat sonra iyileşme çalışmalarından elde edilen parametrelerin, γ ve η , dalga boyu ile değişimi (Cankocak ve ark., 2008).



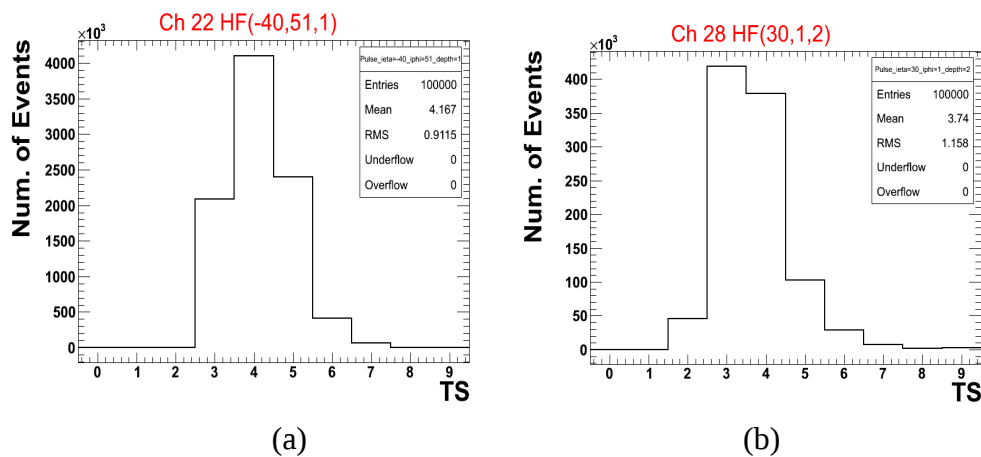
Şekil 5. 9. Tüm fiberlerin elektron ışınlamasından 24 ve 48 saat sonra iyileşme çalışmalarından elde edilen parametrelerin, γ ve η , dalga boyu ile değişimi (Dumanoglu ve ark., 2002).

6. ANALİZ YÖNTEMİ VE SONUÇLAR

Bir önceki bölümde de belirtildiği gibi sistem ard arda gelen, iki sinyalin oranlarının karşılaştırılması temeline dayanır. Bu bölümde 2010 yılında alınan lokal verilerin analizleri sırasında kullanılan metot hakkında bilgi verilecektir. İlk olarak, alınan veride fiberlerden yansıyan ışıktan elde edilen sinyallerin, hangi zaman dilimlerinde bulunduğu anlaşılması gerekir. Şekil 6.1'deki histogram, sadece iki kanal için, birinci ve ikinci yansıyan sinyallerin hangi zaman dilimlerine yayılmış olduklarını göstermektedir.

6.1. Olay Seçimi

Şekil 6.1 b'den görüleceği gibi HF(+) için birinci ve ikinci yansıyan sinyallerin çoğunlukla 3 ve 4. zaman diliminde (ZD) ve HF(-) içinse çoğunlukla 4. ve 5. ZD'de olduğu(Şekil 6.1 a) görülmektedir. Şekilden görülebileceği gibi sinyallerin zaman içerisinde kaymaya uğramalarından dolayı sinyaller bu iki ZD'nin komşuluklarındaki ZD'ler ile paylaşılmaktadır. Oranın doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için sinyallerin iki zaman diliminde olduğu olayların seçilmesi gerekir.



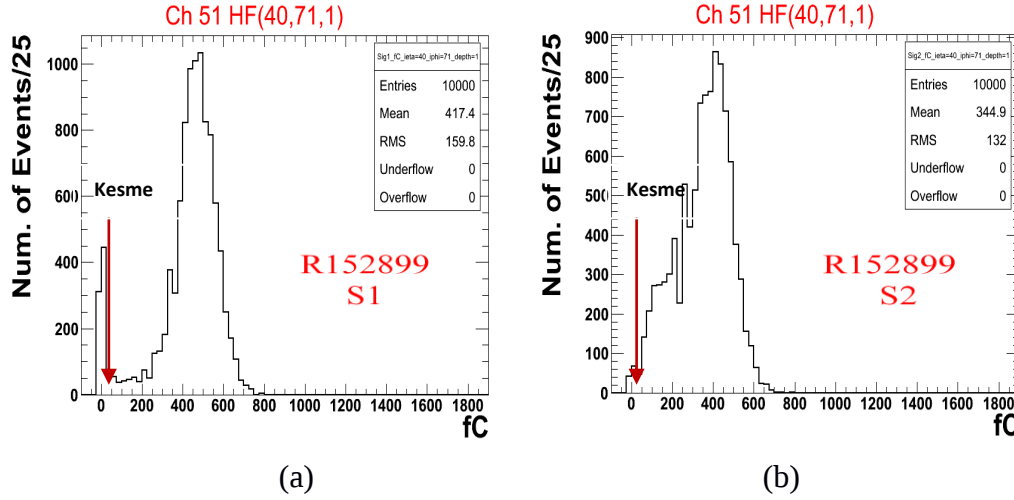
Şekil 6.1. a) HF (+) için birinci ve ikinci yansıyan sinyalin 3. ve 4. zaman dilimlerinde, b) HF(-) için 4. ve 5. zaman dilimlerinde olduğunu gösteren histogramlar.

Bu çalışmada sinyallerin iki zaman diliminde yer aldığı olayları belirlemek için iki seçim koşulu konmuştur. Birinci koşul ilk sinyal (S1) ve ikinci sinyalin (S2) taşıdığı yükün $5fC$ 'tan büyük olmasıdır. Bu koşul sinyalin dedektörden kaynaklanan gürültü değerlerinin üstünde olmasını sağlamak ve lazerden kaynaklanabilecek bir takım sorunların (örneğin sinyalin dalgalanması veya sinyallerin zamana göre kayması gibi) dışlanması için gereklidir. Şekil 6.2 a ve b'de sırasıyla S1 ve S2 dağılımları görülmektedir. Bu dağılımda x eksenini sinyalin taşıdığı yükü, y eksenini ise olay sayısını göstermektedir. Bu dağılımdan $5fC$ 'tan aşağısının gürültü olduğu görülmektedir. Bu dağılım göz önünde bulundurularak birinci olay seçim şartı şöyle uygulanır:

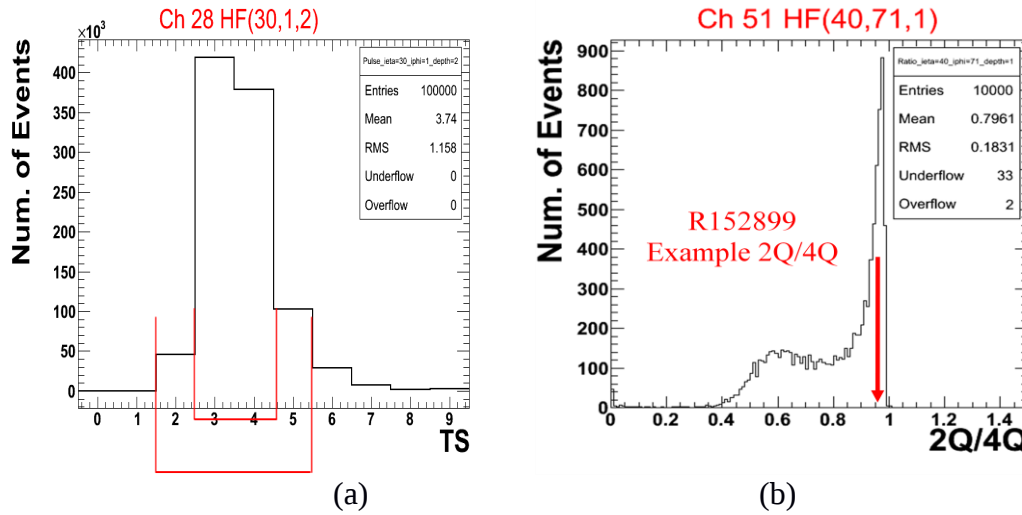
$$TS[J] > 5fC \text{ ve } TS[J + 1] > 5fC \quad (6.1)$$

Gürültüler elimine edildikten sonra şimdi de sinyalin iki zaman diliminde olduğu olayları seçmek gerekir. Bunun için de sinyallerin içerildiği dört zaman dilimindeki yüklerin %95'nin iki zaman diliminde içerilmesi istenir. Bunun için HF(+) için 3. ve 4. zaman dilimindeki yük miktarının 2., 3., 4. ve 5. zaman dilimindeki yük miktarı oranına bakılır. Bunu $2Q/4Q$ olarak gösterelim Şekil 6.3 a. Dolayısıyla $2Q/4Q > 0.95$ şartı aranır. İkinci seçim şartı tüm olaylar üzerinden $2Q/4Q$ oranı Şekil 6.3 b'de gösterilmektedir. Bu seçim şartı sinyallerin iki zaman diliminde olmadığı olayları elimine eder. Bu iki seçim şartından sonra toplam verinin %20-30 kalmıştır.

$$\frac{TS[J]+TS[J+1]}{TS[J-1]+TS[J]+TS[J+1]+TS[J+2]} > 0.95 \quad (6.2)$$



Şekil 6. 2. a) S1 dağılımı üzerinde b) S2 dağılımı üzerinde birinci olay seçim şartını gösteren histogramlar.

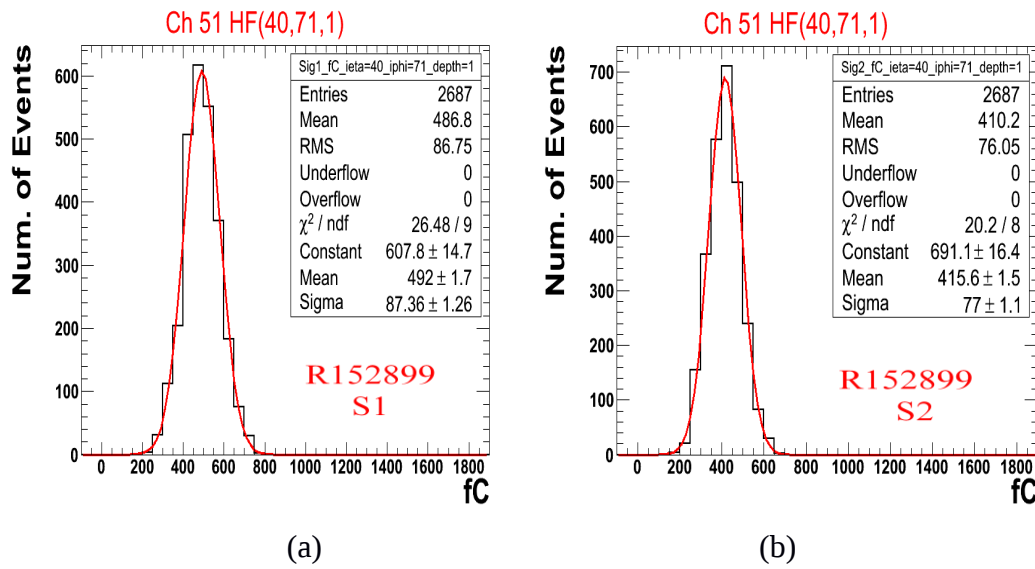


Şekil 6.3. a) İkinci olay seçim şartının şematik gösterimi b) Olay seçimine karar vermek için kullanılan histogram.

6.2. Değerlendirme

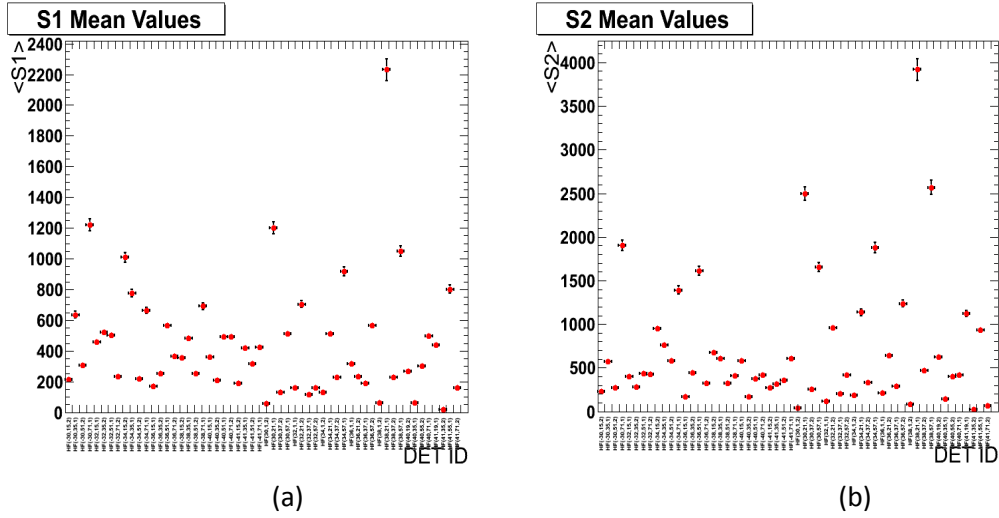
Radyasyon hasarını gözlemlemek üzere tasarlanmış 56 kanaldan alınan veriye yukarıda açıklanan olay seçim şartları uygulandıktan sonra, birkaç sorunlu kanal dışındaki kanalların sinyallerinin dağılımı Şekil 6.4 a,b'de bir örnek olarak gösterilen 51. kanalın dağılımına benzerdir. Her bir kanal için birinci yansıyan ve ikinci yansıyan sinyallerin yük değerlerinin ortalamasının sabit olmadığı görülebilir

(Şekil 6.5 a,b). Bu bilinen bir davranıştır çünkü her kanal aynı hassasiyette olmayabilir. Önemli olan sinyal yüksekliğinin yeterli seviyede olmasıdır. Her kanalın sinyal büyüklüğü farklı davranışta olmasından dolayı her bir kanal için histogram boyutunun, sinyalin büyüklüğü ile değişebilecek şekilde yeniden ayarlanması gerekir. Sabit histogram aralığı belirlemek bazı kanallarda istatistiksel hatanın artmasına neden olacağı için her kanaldan gelen veriye uygun histogram aralığı seçilmesi gerekir. Histogramlar oluşturulurken dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta histogram aralığını aritmetik ortalamayı değiştirmeyecek şekilde seçmektir. Bunun için Çizelge 6.1’de verilen QIE² dönüşüm tablosundan yararlanılarak histogramın aritmetik ortalamasına uygun değerler kullanılmıştır.



Şekil 6.4. Birinci (a) ve ikinci (b) yansıyan sinyal dağılımları Gauss fonksiyonuna uydurulmuştur.

² QIE (Charge Integration Encode), Q (yük), I (Birleştirme) ve E (Kodlama) şeklinde kullanılan bir kısaltmadır. HPD ya da foto çoğaltıcıdan gelen analog sinyal, 25ns’lik zaman dilimlerinde birbiri ardına çalışan 4 kapasitörden oluşan QIE tarafından dijital sinyale çevrilir. Gelen entegre yük, lineer olmayan bir ölçekte 7 bitlik sayıya dönüştürülür. Üç QIE kanalının dijital çıkışları birlikte toplanarak 32 bit’lik bir veriye dönüştürülür. Bu veri 40 MHz hızında Gigabit Optik Link (GOL) yoluyla aktarılan, sayım bölümüne iletilir. (Baumbaugh ve ark., 1998)



Şekil 6.5. Her bir kanalın birinci (a) ve ikinci (b) sinyallerinin ortalama değerleri

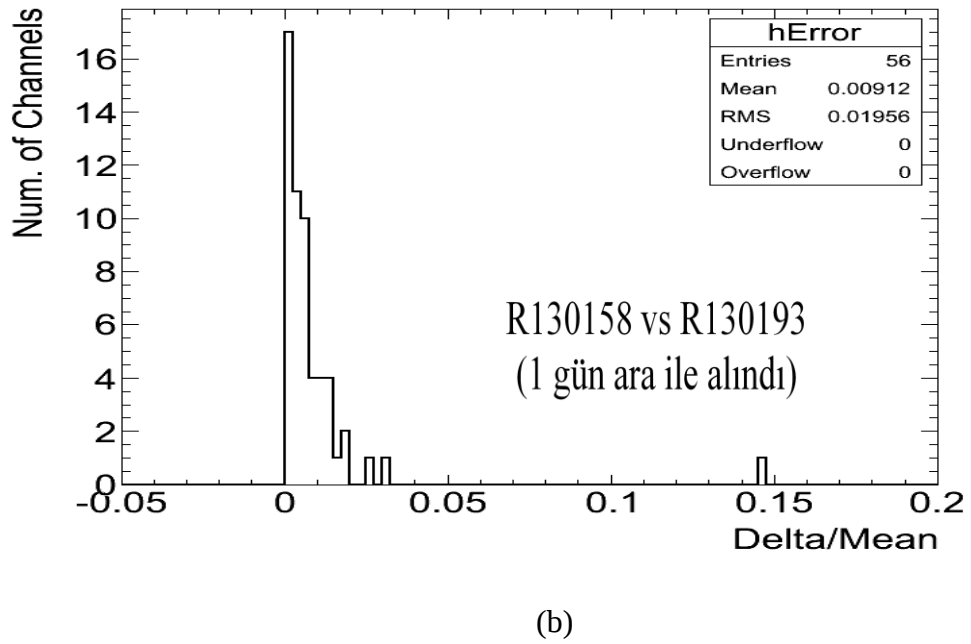
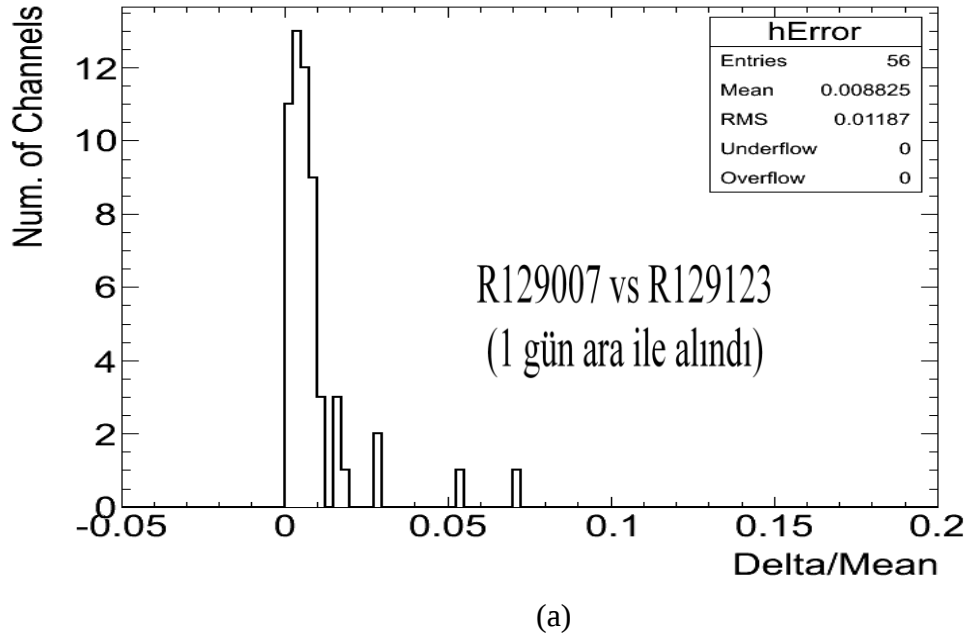
6.3. Hata Kaynakları

Bu çalışmada hataya neden olacak kaynakları, yöntemden ve sistemden kaynaklanan hatalar olarak ikiye ayırabiliriz.

6.3.1. Yöntemden Kaynaklanan Hata Payı

Yöntemdeki hatayı anlayabilmek için farklı zamanlarda alınan verilerin karşılaştırılması gerekir. Böylece veri değişse bile yöntemin kararlı olup olmadığı belirlenmiş olur. Bulunan sonuçların minimum oranda birbirine yakın olması istenilen durumdur. Farklı zamanlarda alınan iki veri seti yukarıda anlatılan metodla ayrı ayrı analiz edilmiş ve her bir kanaldan alınan sonuçlar, diğer verideki aynı kanala ait sonuç ile Eşitlik 6.3 kullanılarak oranlanmıştır. Elde edilen bu değerler ile Şekil 6.6' daki histogramlar oluşturulmuştur. Bu histogramın ortalama değeri bize yöntemin hata payını verir bu da yaklaşık %1 olarak bulunmuştur.

$$\frac{\Delta}{mean} = \frac{|R(t)_a - R(t)_b|}{0.5 \times (R(t)_a + R(t)_b)} \quad (6.3)$$



Şekil 6.6. (a) ve (b) birer gün ara ile alınmış veri kullanılarak, bulunan hata oranları.

6.3.2. Sistemden Kaynaklanan Hata Payı

QIE içinde alınan verinin doğru parçalara ayrılmamasından dolayı oluşan hata payı %2 dir (Freeman,2010). Verinin QIE'ler arasındaki paylaşımından oluşan hata payı %2.5 dir (<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/viewauth/CMS/ChargeInjector>).

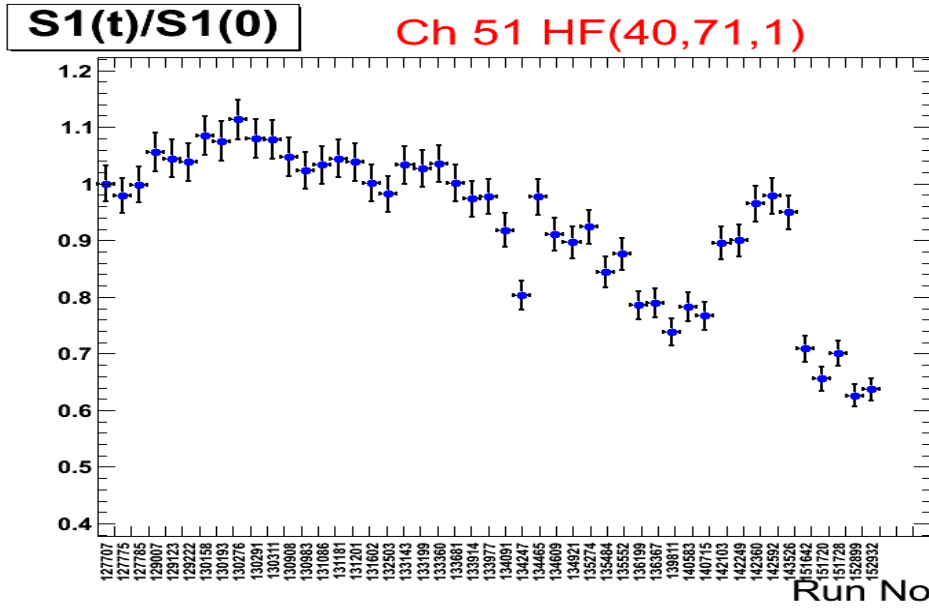
Farklı kaynaklardan gelen bu hataların karelerinin toplamının karekökünü alarak birleştirebiliriz; bu da hata payımızın %3.35 olduğunu gösterir.

6.4. Radyasyon Etkisi

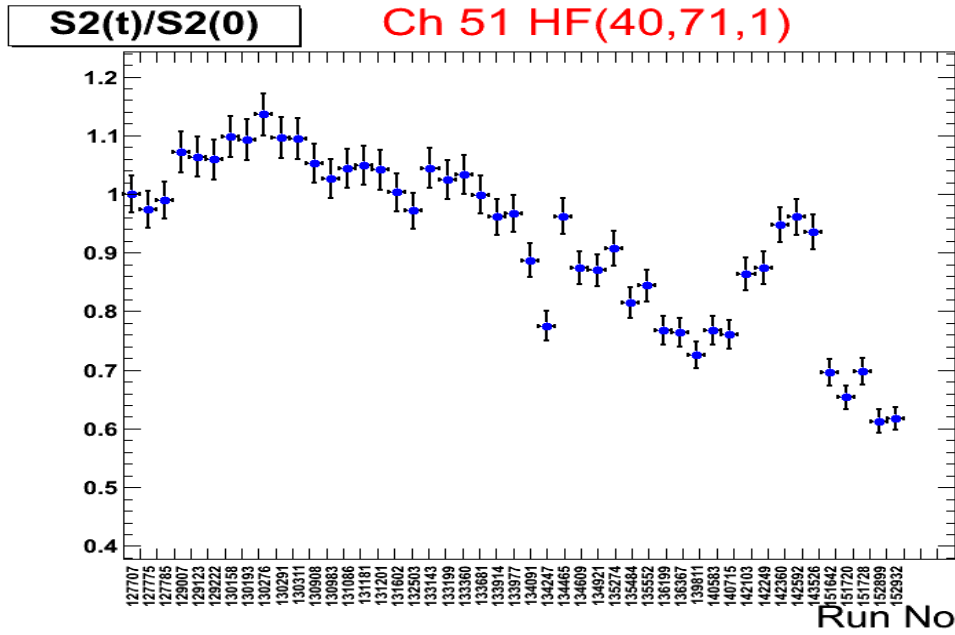
Bu bölümde şu ana kadar, sistemden alınan veriyi, analiz yapmaya hazır hale getirmek için uygulanan olay seçimi ve farklı davranış gösteren kanallardaki hataların belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar anlatıldı. Şekil 6.7 de görülen histogram bir kanala ait birinci sinyale uydurulan gaus fonksiyonunun ortalama değerlerinin bir başlangıç (referans) verisine göre tüm alınan verilerle karşılaştırılmasını gösterir. Şekil 6.8'de ise benzer şekilde ikinci sinyal gösterilmektedir.

Radyasyondan kaynaklanan hasarı belirlemek içinse Eşitlik 6.4 ile verilen oranın hesaplanıp zamanın fonksiyonu olarak çizdirilmesi gerekir. Bu yöntemle elde edilen grafik Şekil 6.9'da gösterilmiştir. Bu sonuç bir kanal içindir. Diğer bütün kanallar için benzeri grafikler çizdirilmiştir.

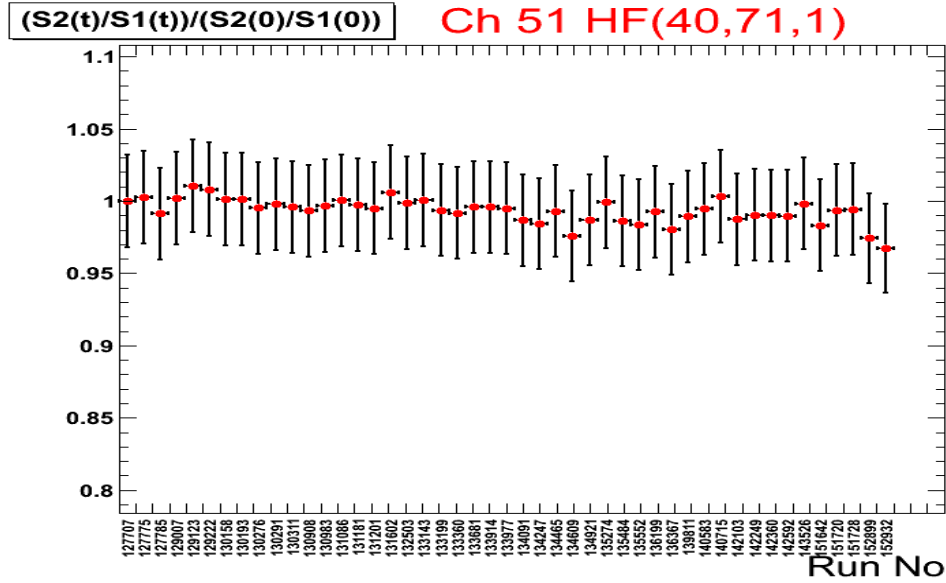
$$R_t/R_0 = (S_2(t)/S_1(t))/(S_2(0)/S_1(0)) \quad (6.4)$$



Şekil 6.7. Sadece bir kanal için, birinci sinyalin bir referans verisine göre tüm verilerdeki davranışını gösteren histogram.



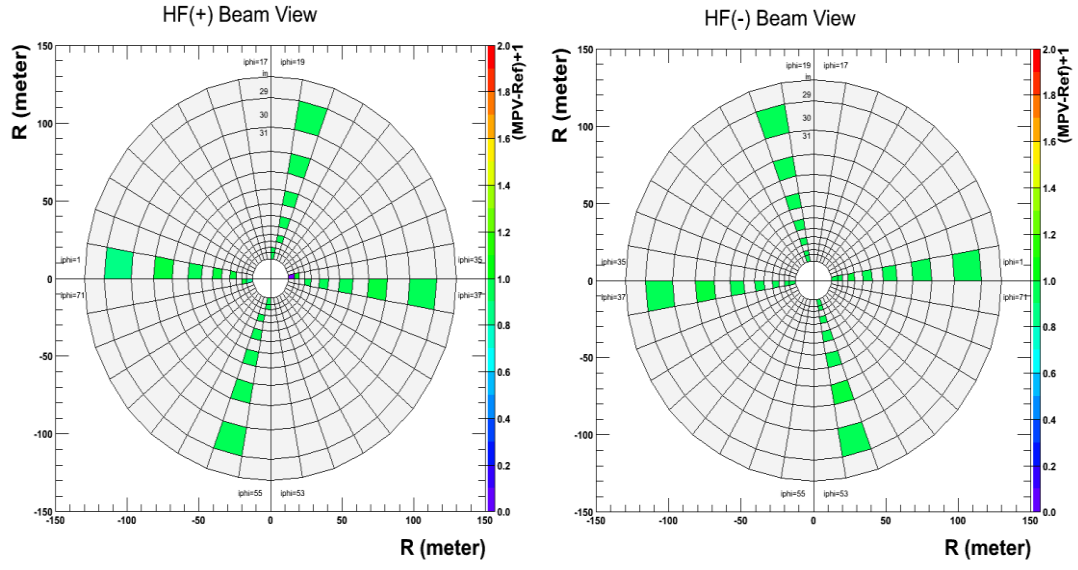
Şekil 6.8. Sadece bir kanal için, ikinci sinyalin bir referans verisine göre tüm verilerdeki davranışını gösteren histogram.



Şekil 6.9. Sadece bir kanalın radyasyondan etkilenme durumunu tüm veriler üzerinden gösteren histogram.

6.6. Veri Kalitesi İzleme Histogramları

Veri kalitesini izleme (DQM) sistemi, dedektörden alınan verilerin hatalı olup olmadığının sürekli kontrol edilmesi için oluşturulmuş bir sistemdir. Verinin, analiz edilmeden önce daha önceden belirlenmiş kriterlere uygun olup olmadığı kontrol edilir. DQM sistemi aynı zamanda dedektörün alt birimlerini kontrol etmek ve alınan lokal verilerin analizini hızlı olarak yapabilmek için oluşturulur. Alınan veri tipi her alt birim için farklıdır (Led, Lazer, Pedestal gibi). Bu alt birimlerden gelen veriler farklı metodlar kullanılarak örnek histogramlar oluşturulmuştur. Her gelen yeni veri için bu metodla analiz otomatik yapılır. RADDAM için hazırlanan DQM histogramları, her yerel RADDAM verisi için kendisini otomatik olarak, metodu takip ederek, günceller. HF'in pozitif ve negatif kısmındaki her bir RADDAM kanalını gösteren bu histogramlar bize radyasyon hasarını görüntülemeyi görsel olarak sunar (Şekil 6.10). Alınan veri ile güncellenen histogramlarda yeşil görünen kutuların zamanla renkleri değişecek ve bu renk değişimi sistemin radyasyondan ne kadar etkilendiğini gösterecektir.



Şekil 6.10. DQM için hazırlanmış radyasyon hasarı görüntülemek için kullanılan histogramlar.

Çizelge 6. 1. QIE yük dönüşüm tablosu

No			
Aralık	Giriş Yüğü	FADC	Kazanç (q/Lsb)
0	-1 fC --- 14 fC	0---14	1 fC/bin
0	14 fC --- 28 fC	15---21	2 fC/bin
0	28 fC --- 40 fC	22---25	3 fC/bin
0	40 fC --- 52 fC	26---28	4 fC/bin
0	52 fC --- 67 fC	29---31	5 fC/bin
1	57 fC --- 132 fC	0---14	5 fC/bin
1	132 fC --- 202 fC	15---21	10 fC/bin
1	202 fC --- 262 fC	22---25	15 fC/bin
1	262 fC --- 322 fC	26---28	20 fC/bin
1	322 fC --- 397 fC	29---31	25 fC/bin
2	347 fC --- 722 fC	0---14	25 fC/bin
2	722 fC --- 1072 fC	15---21	50 fC/bin
2	1072 fC --- 1372 fC	22---25	75 fC/bin
2	1372 fC --- 1672 fC	26---28	100 fC/bin
2	1672 fC --- 2047 fC	29---31	125 fC/bin
3	1797 fC --- 3672 fC	0---14	125 fC/bin
3	3672 fC --- 5422 fC	15---21	250 fC/bin
3	5422 fC --- 6922 fC	22---25	375 fC/bin
3	6922 fC --- 8422 fC	26---28	500 fC/bin
3	8422 fC --- 10297 fC	29---31	625 fC/bin
Kalibrasyon Modu			
Zorunlu 0	-2.333 fC ---- 10 fC	0---31	1/3 fC/Bin

7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Dünyanın en büyük parçaçık hızlandırıcısı olan büyük hadron çarpıştırıcısı fizikte yeni ufuklar açacaktır. Kütle merkezi enerjisi ve çok yüksek ışıklılık ile yeni fizik keşifleri sağlayacak olan CMS, BHÇ üzerindeki dört büyük deneyden biridir. CMS'in güçlü mıknatıs ve müon algılama verimliliği, kütle merkezi enerjisi 14 TeV olan proton çarpışmalarını pek çok yönden inceleme konusunda yetenekli olmasını sağlar. Dedektörün çalışması ile birlikte birkaç yıl sonra BHÇ'nin ışıklılığı $10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 'e ulaşacaktır. CMS dedektöründen alınan veriler analiz edilerek Standart Modelin ortaya koyduğu pek çok soruyu cevaplayacak yada yeni teoriler çıkmasını sağlayacaktır. BHÇ deneylerinin sadece Standart Model'in açıklaması değil aynı zamanda karanlık madde, simetri kırınımı ve evrenin oluşumu hakkında pek çok soruya da açıklık getirmesi beklenmektedir.

Dedektörün tüm alt parçalarının sağlıklı bir şekilde veri alması, yapılacak analizlerin doğru olmasını sağlayacaktır. Bu nedenle dedektörün sürekli kontrol altında olmasını sağlayan sistemlerle korunması gerekir. Her alt dedektörün doğru çalışıp çalışmadığını kontrol eden sistemler mevcuttur.

Yapılan bu çalışmada, CMS dedektörün ileri bölgesinde bulunan HF kalorimetresinin aktif materyali olan kuvars fiberlerin radyasyondan gördüğü hasarı, özel kanallardan alınan veriler ile analiz edilerek görüntüleme sisteminin oluşturulması ve geliştirilmesi yer almaktadır.

Yapılan analiz bir önceki bölümde detaylı olarak verilmiştir. HF dedektörünün 8 dilimine ve 7 kulesine yerleştirilmiş 56 tane kanaldan alınan lazer sinyallerinin analizi sonucunda kanalların sadece bir tanesinde alınan sinyalin analiz etmek için yeterli olmadığı ve iki tane kanalda ise diğer kanallara göre farklı davranışlar olduğu görülmüştür.

2010 yılı boyunca sistemden alınan 47 veri seti üzerinden hem metodun geliştirilmesi hem de dedektördeki radyasyon hasarını gözleme çalışması yapılmıştır. 2010 yılı sonuçları itibari ile dedektörde gözlemlenebilir seviyede radyasyon hasarı görülmemiştir.

KAYNAKLAR

- AAD, G. ve ark., 2008, ATLAS., Journal of Instrumentation S08003.
- AAMODT, K. ve ark., 2008, ALICE., Journal of Instrumentation **0803**, S08002.
- ALVES, A. A. ve ark., 2008, LHCb., Journal of Instrumentation **3**, S08005.
- ADOLPHİ, R. ve ark., 2008, CMS. Journal of Instrumentation **0803**, S08004.
- ADAM, W. ve ark., 2005, CMS COLLABORATION group, The CMS high level trigger. Eur. Phys. J.C 46- 605.
- AKGUN, U. ve ONEL, Y., 2006, Radiation-Hard Quartz Cerenkov Calorimeters. AIP Conference Proceedings of XII International Conference on Calorimetry in High Energy Physics, p 282.
- AKCHURİN, N. ve ark., 2002, Study of low mass Higgs using pp _ qqH at CMS. FERMILAB FN-0714/FN-0723, CMS NOTE 2002/016.
- ALBROW ve ark., 2007, Prospects for diffractive and forward physics at the LHC. CMS-NOTE--002,CERN-LHCC-2006-039,
<http://cdsweb.cern.ch/record/1005180>.
- BAYATİAN, G. ve ark., 2000a, CMS Tridas Project Technical Design Report Volume1: The Trigger Systems, Technical Report 2002-38, CERN/ LHCC.
, 2000b, CMS Tridas Project Technical Design Report Volume 2: The Data Acquisition System, Technical Report 2000-26. CERN/LHCC.
, 1997a, CMS Electromagnetic Calorimeter Project Technical Design Report, Technical Report 97-33, CERN/LHCC.
, 1997b, CMS Hadronic Calorimeter Project Technical Design Report, Technical Report 97-31, CERN/LHCC.
, 1997c, CMS Magnet Technical Design Report, Technical Report 97-10, CERN/LHCC.
, 1997d, CMS Muons Technical Design Report, Technical Report 97-32, CERN/LHCC.
- A. Baumbaugh, M. Binkley, X. Y. Chen, J. E. Elias, S. Hansen, S. Los, R. Tschirhart, T. Zimmerman, R. J. Yarema Fermi National Accelerator Laboratory* P.O. Box 500, Batavia, IL 60510

- BRUNING, E. Ve ark., 2004, LHC design report. Vol. I: The LHC main ring", CDS.
<http://cdsweb.cern.ch/record/782076>. CERN-2004-003-V-1.
- CANKOÇAK, K. ve ark., 2007, Radiation-hardness measurements of high OH⁻ content quartz fibres irradiated with 24 GeV protons up to 1.25 Grad., CMS note /03 submitted to NIM A. 585(2008) 20-27
- CHATRCHYAN, S. Ve ark., 2008, "The CMS experiment at the CERN LHC".
 Journal of Instrumentation **3** S08004
- CMS collaboration, The CMS tracker system project: technical design report.
 CERN-LHCC-98-006, <http://cdsweb.cern.ch/record/368412>.
- CMS collaboration, The CMS tracker: addendum to the technical design report,
 CERN-LHCC-2000-016, <http://cdsweb.cern.ch/record/490194>.
- CMS, the Compact Muon Solenoid. Muon technical design report,
 CERN-LHCC-97-32.
- CMS collaboration, The TriDAS project, technical design report. Volume 1: The
 level-1 trigger, CERN-LHCC-2000-038,
<http://cdsweb.cern.ch/record/706847>.
- CMS collaboration, The TriDAS project, technical design report. Volume 2: Data
 acquisition and high-level trigger technical design report, CERN-LHCC-
 2002-026, <http://cdsweb.cern.ch/record/578006>.
- DUMANOGLU, I. ve ark., Radiation-hardness studies of high OH content
 quartz fibres irradiated with 500 MeV electrons. NIM A 490 (2002) 444-455
- D'ENTERRIA, D. Ve ark., 2007, CMS physics technical design report: addendum
 on high density QCD with heavy ions. J. Phys. G 34 (2007) 2307, CERN-
 LHCC-2007-009, <http://cdsweb.cern.ch/record/1019832>.
- EIDELMAN, S. ve ark., 2004, Phys. Lett. B 592, 1.
- FREEMAN, J., 2010, INNOVATIONS FOR THE CMS HCAL. Fermilab, MS 205,
 Batavia, IL 60510-500, USA <http://lss.fnal.gov/archive/2010/pub/fermilab-pub-10-210-ppd.pdf>
- GAVRILOV, V. ve ark., 1994, Study of quartz fiber radiation hardness. CMS TN-
 94-324 (1994).

- GRIFFITHS, David., 2004, Introduction to Elementary Particles. ISBN 0-471-60386-4
- GRİSCOM, D.L. ve ark., 1993, Phys. Rev. Lett. 71 (1993) 1019.
- HAGOPIAN, V., 1999, Radiation damage of quartz fibers. CMS CR 1999/002
- HEUSCH, C. A., Use of Cherenkov Techniques for Total Absorption Measurements CERN - EP/84 - 96 (1984). Seminar on Cherenkov Detectors and their Applications in Science and Technology in honor of P.A. Cherenkov for his 80th birthday. <http://doc.cern.ch/yellowrep/2004/2004-003-v3.pdf>
- KAUER, N. ve ark., 2001, $H \rightarrow WW$ as the discovery mode for a light Higgs boson. Phys. Lett. B503, 113 (2001).
- MARTIN, B. and SHAW, G., 1997, "Particle Physics", Jhon Wiley and Sons, Second Edition.
- MERLO, J. P. ve CANKOCAK, K., 2006, Radiation Hardness Studies of high OH-Content Quartz Fibers Irradiated with 24 GeV Protons," Proceedings of 9th ICATTP Conference, World Scientific (2006) 838, CMS CR- 2006/005, (2006).
- MAVROMANOLAKIS, G., Quartz fiber calorimetry and calorimeters, physics/0412123v1.
- PANAGIOTOU, A. ve ark., 2008, CASTOR engineering design report, CMS Note in preparation (2008).
- WANG, X.N. ve GYULASSY, 1991, M., HIJING: a Monte Carlo model for multiple jet production in pp, pA and AA collisions, Phys. Rev. D 44 (1991) 3501
- WANG, X.N., 1997, A pQCD-based approach to parton production and equilibration in high-energy nuclear collisions, Phys. Rept. 280 (1997) 287.
- YAZGAN, E. ve ark., 2008, Search for a standard model Higgs boson in CMS via vector boson fusion in the $H \rightarrow WW \rightarrow l \nu l \nu$ channel, Eur.Phys.J.C53:329-347,2008.
- YETKİN, T., 2006. Search For Susy in Missing Transverse Energy Plus Multijet Topologies at $\sqrt{s} = 14$ TeV and Geant4 Simulation of the CMS Hadronic Forward Calorimeter in the 2004 Test

ÖZGEÇMİŞ

Osmaniye Kadirli’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini burada tamamladı. 2001 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Antakya Meslek Yüksekokulunda Bilgisayar Programcılığı ön lisans programından mezun oldu. 2003 yılında Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü kazandı. 2007 yılında mezun olup aynı yıl Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında Tezli Yüksek Lisans programına başladı. 2010 yılı Mayıs-Aralık döneminde ve 2011 yılı Nisan-Temmuz dönemleri arasında CERN ‘de bulunup deneysel çalışmalarını yürüttü. Şuan Tezli Yüksek Lisans Eğitiminin son aşamasındadır.