

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

**KOMPAKT MÜON SELONOİD CERN DENEYİNDE HADRONİK SONBAŞLIK
KALORİMETRESİNİN MÜON KALİBRASYONU**

Özlem KAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Mithat KAYA

OCAK-2008

KARS

T.C. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Özlem KAYA'nın Doç. Dr. Mithat KAYA'nın danışmanlığında yüksek lisans tezi olarak hazırladığı “Kompakt Müon Selonoid Cern Deneyinde Hadronik Sonbaşlık Kalorimetresinin Müon Kalibrasyonu” adlı bu çalışma, yapılan tez savunması sınavı sonunda jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Yönetmeliği uyarınca değerlendirilerek oy birliği/çokluğu ile kabul edilmiştir.

28/01/2008

	Adı ve Soyadı	imza
Başkan :	Doç. Dr. Mithat KAYA
Üye :	Yrd. Doç. Dr. Engin ATEŞER
Üye :	Yrd. Doç. Dr. Kerem YAMAÇ

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/....../2008 gün ve/ sayılı kararı ile onaylanmıştır.

.....

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmada Kompakt Müon Selonoid Cern deneyinde hadronik sonbaşlık kalorimetresinin müon kalibrasyonu ele alınmıştır. Tezde yapılan müon kalibrasyonu, 2006 yılında Cern H2 alanında yapılan test ışını deneyinden alınan datalar ile yapılmıştır. Müon ışını kullanılarak yapılan kalibrasyon metodu örnekler ile açıklanmıştır. Daha sonra, bulunan kalibrasyon sabitleri Hadronik sonbaşlık dedektöründe pion parçacığına uygulanarak enerji düzeltmesi yapılmıştır.

Tez çalışmamda en büyük emeği geçen, yoğun çalışmalarından bana zaman ayırarak derin bilgilerinden faydalanma fırsatı veren, öğrencisi olmaktan her zaman gurur duyduğum, değerli bilim adamı, Sayın Doç. Dr. Mithat KAYA'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında ve tezin hazırlanması sürecinde yine katkılarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Nural AKCHURIN ve Sayın Dr. Nancy MARINELLI 'ye de teşekkürlerimi sunarım.

Kars-2008

Özlem KAYA

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. BÜYÜK HADRON ÇARPIŞTIRICISI (LARGE HADRON COLLIDER, LHC)	2
2.1 LHC deki CMS Dedektörünün Koordinat Düzeni	3
2.2 LHC' de İhtiyaç Duyulan Detektör Özellikleri	4
2.3 LHC' de Araştırılacak Olan Fizik Konuları	5
2.3.1 Higgs Bozonlarının Araştırılması	5
2.3.2 Süpersimetrik Parçacıkların Araştırılması	6
3. CMS DENEYİNİN DİZAYNI	9
3.1 Süperiletken Mıknatıs (Superconducting Magnet)	10
3.2 Müon Sistem	11
3.3 İç izleyici Sistem	12
3.4 Elektromanyetik Kalorimetreler (ECAL)	13
3.5 Hadron Kalorimetresi (HCAL)	14
3.5.1 Merkezi Hadronik Silindir (Central Hadronic Barrel, HB)	15
3.5.2 Hadronik Dış Kalorimetresi (Hadronic outer Calorimetry, HO)	16
3.5.3 İleri Hadron Kalorimetresi (Forward Hadron Calorimetry, HF)	17
3.5.4 Hadronik Sonbaşlık Kalorimetresi (Hadronic Endcap Calorimetry, HE)	19
3.5.4.1 HE Dizaynı	23
3.5.4.2 Emici Geometrisi	24
3.5.4.3 Sintilatör Tablaları (Scintillator Trays)	24
3.5.4.4 Boylamsal Parçalanma	28
4. TESPİT EDİLECEK PARÇACIKLARIN ELDE EDİLMESİ	29
4.1 Pionların elde edilmesi	29
4.2 Elektronların elde edilmesi	30

4.3 Müonların elde edilmesi	30
5. H2 IŞIN ÇİZGİSİ	32
6. 2006 HCAL TEST IŞINI DENEYİ	35
7. HE MÜON KALİBRASYON METODU	39
8. SONUÇ	48
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	51

ÖZET

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (Large Hadron Collider, LHC) tüneli 27 km uzunluğunda bir daire şeklinde olup, Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi, CERN’de bulunmaktadır. Bu çarpıştırıcı 1 TEV üzerindeki parçacık enerjilerini çalışmak için dizayn edilmiştir ve yeni parçacık fiziği konularına açıklık getireceği düşünülmektedir.

CERN’de LHC üzerinde bulunan dört deneyden birisi olan Kompakt Müon Solenoid (Compact Muon Solenoid, CMS) deneyi özellikle Higgs Parçacığını çalışmak için tasarlanmış olup bunun yanında süpersimetri, ekstra boyutlar, ağır iyon fiziği ve standart model ötesi gibi konularında çalışmayı planlamaktadır.

CMS dedektörü başlıca süperiletken mıknatıs, iç izleyici sistem, elektromanyetik kalorimetre (Electromagnetic Calorimetre, ECAL), hadronik kalorimetre (Hadronic Calorimetre, HCAL) ve müon sistem olmak üzere 5 büyük kısma ayrılmıştır. Hadronik kalorimetrenin bir parçası olan Hadronik Sonbaşlık (Hadronic Endcap, HE) dedektörü 2006 yaz döneminde CERN-H2 deney alanında proton ışını gönderilerek test edilmiştir. Bu tezde test ışınından alınan datalar ile HE dedektörünün müon kalibrasyonu için kullanılan teknik anlatılmaktadır

2008, 51 sayfa

Anahtar Kelimeler: CERN, LHC, CMS, HCAL, HE, kalibrasyon, test ışını.

ABSTRACT

Large Hadron Collider, LHC, a circular underground tunnel of 27 km circumference, is located at European Organization for Nuclear Research Center (CERN). This Collider has been designed to study particle energies above 1 TEV and has been thought to provide clarification for new topics of Particle Physics.

Compact Muon Solenoid (CMS) one of the four experiments which stand on LHC in CERN, has been designed to study particularly Higgs Particle and furthermore it has planned to study the other topics such as supersymmetry, extra dimensions, heavy ion physics and beyond the standart model.

CMS detector is divided into 5 major segments of which are called superconductor magnet, internal viewer system, electromagnetic calorimeter ECAL, Hadronic Calorimetre, HCAL and the Muon system. The Hadronic Endcap detector which is a part of Hadronic Calorimeter has been tested in CERN-H2 experiment area in summer 2006, by the dispatch of proton ray. In this thesis, the method used for muon calibration of HE detector is explained through the data collected from the test beam.

2008, 51 pages

Key Words: CERN, LHC, CMS, HCAL, HE, calibration, test beam.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

rad	Radyan
L	Lüminosity
r	Yarıçap
m	Metre
km	Kilometre
cm	Santimetre
sn	Saniye
ns	Nanosaniye
sa	Saat
GeV/c^2	Gigaelektrovolt / (ışık hızı) ²
TeV	Teraelektrovolt
GeV	Gigaelektrovolt
T	Tesla
Mrad	Milirad
GJ	Gigajoul
kA	Kiloamper
atm	Atmosfer
X_0	Elektromanyetik duşlar için etkileşme uzunluğu
L_{int}	Hadronik duşlar için etkileşme uzunluğu
Z	Z bozonu
W	W bozonu
S	Spin
R	Parite
γ	Lorentz faktörü
k_B	Demet sayısı
N_P	Proton / Demet sayısı
β^*	Etkileşme noktasındaki betaton fonksiyonu
F	Geçiş açısından kaynaklanan indirgenme faktörü

2. Kısaltmalar

CMS	Compact Muon Solenoid
ATLAS	A Torodial LHC ApparatuS
LHC	Large Hadron Collider
HCAL	Hadron Calorimeter
ECAL	Electomagnetic Calorimeter
HE	Hadron Calorimeter Endcap
HB	Hadron Calorimeter Barrel
HO	Hadron Calorimeter Outher Barrel
HF	Hadron Calorimeter Forward
EB	Electomagnetic Calorimeter Barrel
EE	Electomagnetic Calorimeter Endcap
SM	Standard Model
GUT	Grand Unified Theory
IP	Interaction Point
RMS	Root Men Square
SUSY	Supersymmetry
MSSM	Minimal Supersymmetric Model
CMSSW	CMS software
QCD	Quantum Chromodynamics
RHIC	Relativistic Heavy Ion Collider at Brookhaven, USA
LEP	Large Electron Positron Collider at CERN
SPS	Super Proton Synchrotron collider at CERN
SX5	CMS için 5. Noktadaki yerleşke
T22	Target 22
V	Veto sintilatörü
CK	Cherenkov sayıcısı
WC	Wire chamber
DT	Drift Tube
CSC	Cathode Strip Chamber
RPC	Resisitive Plate Chamber
RCT	Reigonal Callorimeter Trigger
WFS	Wavelenght Shifter Fibers
MIP	Minimum Ionization Particle
YN1	Yoke Number 1
ALEPH	Apparatus for LEP PHysics at CERN
DELPHI	DEtector with Lepton, Photon and Hadron Identification
HERA	Electron Proton Collider at DESY
H1	An experiment at DESY HERA collider

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa No
Şekil 2.1.1	CMS Koordinat sistemi[2]	4
Şekil 3.1	CMS dedektörünün katmanları ve katılımcı ülkeler.	9
Şekil 3.1.1	Süper iletken mıknatısın genel görünümü.	14
Şekil 3.5.1	HCAL dedektörlerinin CMS deki yerleri[8].	14
Şekil 3.5.4.1	HB ve HE nin dörtte birlik bölümüne karşılık gelen HCAL kulelerinin r,z düzlemindeki bölümleri ve derinliklere (depth) ayrılmış şekli.	21
Şekil 3.5.4.1.1	HE nin sonbaşlık demir boyunduruk (Yoke) üzerine montesi[10].	23
Şekil 3.5.4.2.1	HE emicilerinin mekaniksel yapısı. Parçacıklar kalorimetreye alttan girerler [10].	24
Şekil 3.5.4.3.1	a) Üstü alüminyum ile kaplanmamış sintilatör tabla kalorimetrelerinin bir takoz (wedge) üzerindeki dizaynının ön görünüşü, b) 0 katmanına ait sintilatör tablasının bir kesiti[10].	26
Şekil 3.5.4.3.2	HE takozlarının 1-36 kadar olan büyüktüglalara (Megatile) ait ϕ numaralandırma şeklinin etkileşme noktasından bir görünüşü. +x yönü LHC merkezini işaret etmektedir[10].	27
Şekil 3.5.4.3.3	Bitişik sintilatör tablalarındaki tuğlalara (Megatile) ve η ya ait numaralandırma şeması[10].	27
Şekil 3.5.4.4.1	HE kalorimetresinin açısız ve uzunluk bölümleri. Noktalı çizgiler etkileşme noktasına doğrudur[10].	28
Şekil 4.2.1	Proton ışınından elektronların elde edilme şeması[11].	30
Şekil 4.3.1	400 GeV proton hızlandırarak pion ve müonların oluşum şemaları.	31
Şekil 5.1	CERN H2 test ışını tanımlayan temel elementler[12].	32
Şekil 6.1	HE kulelerinden bir tanesinin basit olarak gösterilişi. Burada kırmızı bloklar ile gösterilen bölümler örnek seçilmiş kalibre edilecek kulelerdir.	36
Şekil 6.2	HE Hadron kalorimetresi prototip kısmının genel görünüşü. Numaralanmış sıfır-katmanlı kulenin görüntüsü[10].	37
Şekil 7.1	Phi=16 ve Eta=19 için 1. derinlik ve 2. derinlikteki müon enerjileri ve fon değerleri (Konfigürasyon 4 için). Müon enerjileri (üst şekiller), Fonlar (alttaki şekiller).	41
Şekil 7.2	2. Katmandaki her bir eta ve phi için bulunan kalibrasyon sabitleri	43

	(üst iki şekil %2 lik bölüm atılmamış hali alttaki iki şekil ise atılmış (Truncated) hali).	
Şekil 7.3	3.Katmandaki her bir eta ve phi için bulunan kalibrasyon sabitleri (üst iki şekil %2 lik bölüm atılmamış hali alttaki iki şekil ise atılmış (Truncated) hali).	44
Şekil 7.4	4.Katmandaki her bir eta ve phi için bulunan kalibrasyon sabitleri (üst iki şekil %2 lik bölüm atılmamış hali alttaki iki şekil ise atılmış (Truncated) hali).	46
Şekil 7.5	50 GeV/c'lik elektron ışınının 1. derinlik (sol üst) ve 2. derinlikde (sağ üst) bıraktığı enerji miktarları. 1. derinlik ile 2. derinliğin karşılaştırılması (sol alt) ve fondaki ışın (sağ alt).	47
Şekil 7.6	1. derinlik ve 2. derinlikdeki toplam 100 GeV'lik düzeltilmemiş Pion Enerjisi.	48
Şekil 7.7	1. derinlik ve 2. derinlikdeki toplam 100 GeV'lik düzeltilmiş Pion Enerjisi.	49

RESİMLER DİZİNİ

		Sayfa No
Resim 2.1	LHC süper iletken mıknatısının Tünel içerisinden bir görünüşü.	2
Resim 3.5.1.1	Yarım silindirik Hadronik kalorimetresi (HB) (solda), 20 ⁰ 'lik bir bölümünün gösterilmesi (sağda)[8].	15
Resim 3.5.1.2	HB kulelerinin yakından görünüşü[8].	16
Resim 3.5.2.1	HO'nun 2002 test ışını deneyindeki konfigürasyonu[8].	17
Resim 3.5.3.1	HF dedektörü sisteminin genel görünüşü[9].	18
Resim 3.5.3.2	Kuartz fiberlerin yerleştirildiği HF Kuleleri[8].	18
Resim 3.5.4.1	HE dedektör sisteminden kesitler.	20
Resim 5.1	H2 bölgesinde kullanılan Sintilatör dedektör (solda)	33
Resim 5.2	H2'ye yerleştirilen Cherenkov dedektörü (solda) ve iç yapısı	34
Resim 6.3	Hareket eden platform üzerine monte edilmiş	37

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa No
Çizelge 2.1	LHC dedektörlerine uygun makine parametreleri[1].	3
Çizelge 3.1.1	CMS süperiletken solenoidin parametreleri [1].	10
Çizelge 3.5.4.1	HCAL okuma (readout) kulelerinin η , ϕ ve derinliklerdeki büyüklükleri[1].	22
Çizelge 4.1	Hadronik ve Elektromanyetik duşların karakteristik uzunluk ölçüleri[11].	29
Çizelge 7. 1	2. Katman (2 Layer) Konfigürasyonu.	43
Çizelge 7. 2	3. Katman (3 Layer) Konfigürasyonu.	44
Çizelge 7. 3	4. Katman (4 Layer) Konfigürasyonu.	45

1. GİRİŞ

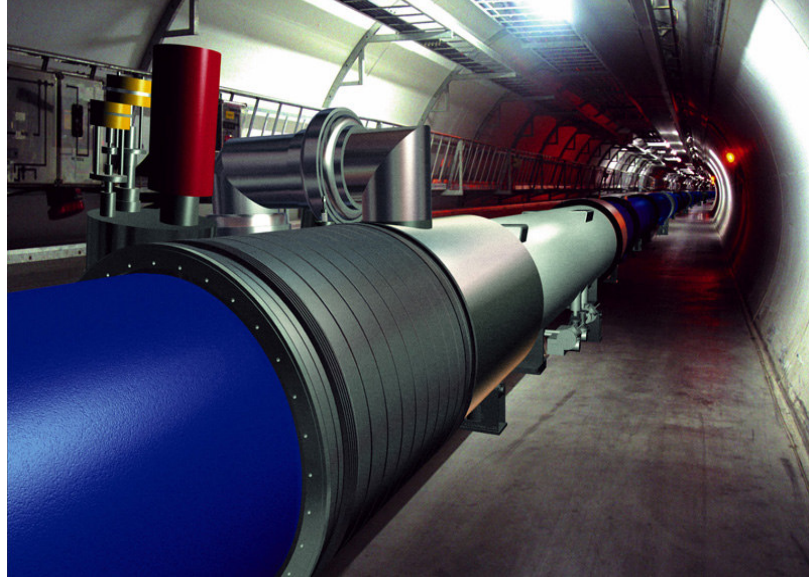
Kompakt Müon Solenoid (Compact Muon Solenoid, CMS) dedektörü, fiziğin bir çok bilinmeyen dalına ışık tutacak parçacıklar olan lepton ve hadronların izlerini ölçmek için dizayn edilmiştir. Bu dizayn içinde Hadron kalorimetresinin (Hadron Callorimeter, HCAL), sonbaşlık (Hadronic endcaps, HE) bölgesi, eta (rapidity) aralığı 1.3 ile 3 olan bölgedeki yüksek enerjili parçacıkları yakalamak için kurulmuştur. Bu bölge önemli parçacıkların %34 ünün izini bulmak için kullanılacak olan bir bölgedir. Büyük Hadron Çarpıştırıcısının (Large Hadron Collider, LHC) yüksek ışıklılığı (Luminosity = 10^{34} cm⁻²s⁻¹) HE'nin çok yüksek oranda parçacık tutmasını gerektirir ve dolayısıyla en yüksek radyasyona (10 yılda 10Mrad) maruz kalacak olan kısımdır.

2006 Temmuz ve Ağustos aylarında CERN de H2 alanında yapılan test ışığında CMS dedektörünün bir parçası olan HE dedektör sisteminin kalibrasyonu için veri alımı yapılmıştır. Bu tezde çalışılan ana konu, HE dedektörünün müon kalibrasyonu için kullanılan teknik ve data ile yapılan örneklerdir.

Tezin ikinci bölümünde, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC, Large Hadron Collider) ve araştırılacak olan fizik konuları üzerinde durulmuştur. Üçüncü bölümünde, CMS deneyinde kullanılan dedektör sistemleri kısaca tanımlanmıştır. Dördüncü bölümde, test ışığında elde edilen parçacıkların elde edilmesi anlatılmaktadır. Beşinci bölümde test ışığında kullanılan ışın çizgisi anlatılmıştır. Altıncı bölümde HE dedektörü tanımlanarak test ışığında kullanılan sistem tanımlanmıştır. Yedinci bölümde, HE için kullanılan kalibrasyon teknikleri ve data analizi verilmiştir. Son bölümde ise HE kalibrasyonu ile ilgili sonuçlar verilmiştir.

2. BÜYÜK HADRON ÇARPIŞTIRICISI (LARGE HADRON COLLIDER, LHC)

LHC, Higgs mekanizmasını varsayan elektrozayıf simetri kırılmasının varolduğunu kabul eder. Ayrıca, Higgs mekanizmasının 1 TeV'den daha fazla bir enerjideki deneysel çalışmaları, Standart Model'in (SM) matematiksel tutarlılığına ışık tutacaktır. Ancak, elektrozayıf simetri kırılmasının yanında süpersimetri, yeni kuvvetler ya da güçlü-elektrozayıf simetri kırılması gibi diğer alternatiflerinde varolduğu düşünülmektedir. Bunun yanında, büyük birleşim teorisinin (GUT) ispatının kolaylaştırılması yönünde büyük umutların ortaya çıkacağı düşünülmektedir. Kısacası Hadron çarpıştırıcısı, yeni enerji alanlarını araştırmak için düşünülmüştür. LHC'nin, ışın enerjisi ve dizayn ışıklılığı TeV enerjisindeki fiziği çalışmak için seçilmiştir. Bu koşullar, çok dikkatli bir dedektör dizaynı gerektirmektedir[1]. Bir kısmı resim 2.1 de gösterilen LHC tüneli 27 km uzunluğunda ve daire şeklinde olup bir kısmı İsviçre bir kısmı ise Fransa tarafından yapılmıştır.



Resim 2.1 LHC süper iletken mıknatısının Tünel içerisinde bir görünüşü.

LHC'nin dizaynında kullanılan gerekli parametreler çizelge 2.1'de listelenmiştir. LHC makinesi 1232 tane dipol mıknatıs içermektedir ve ışıklılığı denklem 2.1 de verilmektedir.

$$L = \frac{\gamma f k_B N_p^2}{4\pi\epsilon_n \beta^*} F \quad (2.1)$$

Burada γ Lorentz faktörü, f çözünürlük frekansı, k_B demet sayısı (bunch), N_p proton/demet sayısı, ϵ_n normalize edilen çarpaz yayma gücü (transverse emittance), β^* etkileşme noktasındaki betatron fonksiyonu ve F geçiş açısından kaynaklanan indirgeme faktörüdür. LHC, her bir proton ışınının sembolik enerjisi 7 TeV ve ışıklılığı (Luminosity) $L = 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ olacak şekilde dizayn edilen bir çarpıştırıcıdır ve saniye başına yaklaşık 1 milyar proton-proton etkileşmesine önderlik eder[1].

Çizelge 2.1 LHC dedektörlerine uygun makine parametreleri[1].

İsmi	Sembolü	p-p	*HI	Birimi
Nükleon başına düşen enerji	E	7	2.76	TeV
7 TeV'deki dipol alan	B	8.33	8.33	T
Dizayn luminosity'si	L	10^{34}	10^{27}	$\text{cm}^{-2} \text{sn}^{-1}$
Demet ayırma (bunch separation)		25	100	Ns
Demet sayısı	k_B	2808	592	
Demet başına düşen parçacık sayısı	N_p	1.15×10^{11}	7.0×10^7	
Çarpışmalar				
**IP'deki β değeri	β^*	0.55	0.5	M
IP'deki RMS ışın yarıçapı	σ^*	16.7	15.9	Mm
Luminosity yarı ömrü	τ_L	15	6	Sa
Çarpışma /geçiş sayısı	n_c	≈ 20	-	

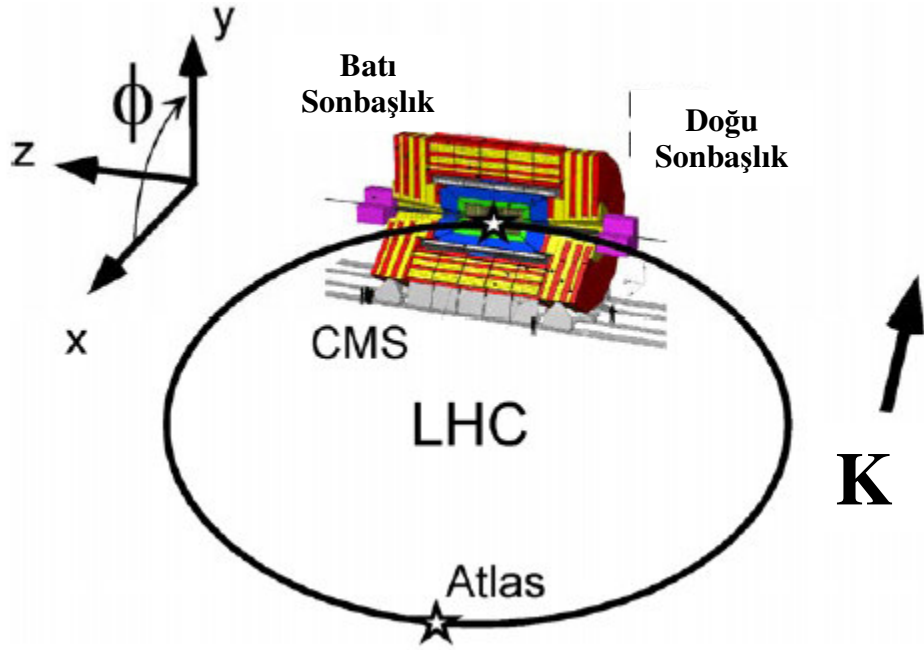
*Heavy Ion (Ağır iyon)

**Interaction Point (Etkileşme noktası)

2.1 LHC deki CMS Dedektörünün Koordinat Düzeni

CMS tarafından benimsenmiş koordinat sistemine göre, deney içerisinde sembolik çarpışma noktası orijin kabul edilmiştir. y-ekseni, LHC'nin merkezine dik yani yukarıya

doğru olduğunu işaret etmektedir, x-ekseni ise LHC'nin merkezinin içine doğru radyal olarak konumlanmaktadır (şekil 2.1.1). Boyece z-ekseni, LHC'nin 5. noktasından (point 5), Jura dağına doğru yani batı sonbaşlık (West Endcap) yönünde olan işın yönünü işaret etmektedir. Azimuthal açı ϕ , x-y düzlemindeki x-ekseninden ölçülmektedir. Kutupsal aı (polar) θ ise, z-ekseninden ölçülmektedir. Pseudorapidity, $\eta = -\ln \tan(\theta/2)$ olarak tanımlanmaktadır. Işının P_T (Transverse momentum) ve E_T (Transverse Energy) olarak ifade edilen momentum ve enerjisi sırayla x ve y bileşenlerinden hesaplanmaktadır. Çapraz (Transverse) düzlemdeki enerji ölçümünün orantısızlığı, E_T^{miss} ile ifade edilir[1].



şekil 2.1.1 CMS Koordinat sistemi[2].

2.2 LHC' de İhtiyaç Duyulan Detektör zellikleri

LHC'nin hedeflerini karşılayan, CMS için gerekli olan bir dedektör şöyle özetlenebilir:

- $|\eta| < 2.5$ bölgesindeki momentum menzil genişliğinin üzerinde iyi bir myon teşhisi ve momentum znrlğ olmalıdır, $100 \text{ GeV}/c^2$ de $\approx \%1$ olan iyi bir çift myon ktle znrlğ ve $p < 1 \text{ TeV}$ de net myon yükü belirlenmelidir.

- En iç izleyicide (tracker), iyi bir yüklü parçacık momentum çözünürlüğü ve izlerin iyi bir verimlilikle yeniden inşası (reconstruction efficiency) olmalıdır.
- $100 \text{ GeV}/c^2$ de $\approx \%1$ olan iyi bir elektromanyetik enerji çözünürlüğü olmalıdır. Ayrıca iki foton ve iki elektron kütle çözünürlüğü olmalıdır.
- $|\eta| < 5$ bölgesinde, iyi bir E_T^{miss} ve iki jet kütle çözünürlüğü olmalıdır. Bu da hermitik geometrili bir hadron kalorimetresi gerektirmektedir[1].

2.3 LHC' de Araştırılacak Olan Fizik Konuları

Parçacık fiziği için açıklanması büyük önem taşıyan fizik konuları şöyle sıralanmıştır:

2.3.1 Higgs Bozonlarının Araştırılması

1990'ların başında CMS ve ATLAS'ın dizayn devresinde, önerilen dizaynın performansını test etmek için, SM Higgs bozonları temel alınmıştır. Higgs bozonları özellikle bu iş için en uygundur. Çünkü Higgs bozonlarının kütlelerinden dolayı uzun menzilli bozunma kanalları vardır[1].

Higgs bozonu kütlelerinin şu anki en düşük limiti $114.4 \text{ GeV}/c^2$ 'dir. Bu limitdeki Higgs bozonlarının dallanma oranını (branching fraction), hadronik bozunmalardan elde ederiz[1].

Orta kütle aralığı bölgesindeki ($114 \text{ GeV}/c^2 < m_H < 2m_Z$) Higgs bozonlarının doğal menzilleri yalnızca bir kaç MeV'dir ve kütle çözünürlüğü ile olası sinyalin menzili gözlemlenir. $114\text{-}130 \text{ GeV}/c^2$ kütle aralığında, iki tane foton, büyük bir olasılıkla belirtilen sinyali ortaya çıkarmak için ana kanallardan birine bozunur. Eğer Higgs bozonunun kütlesi $130 \text{ GeV}/c^2$ 'den daha büyükse iki tane Z bozonuna bozunur[1].

$600 < m_H < 1000 \text{ GeV}/c^2$ bölgesindeki Higgs'ler için tesir kesiti azalır. Böylece, W ya da Z bozunmalarının yol açtığı jetlerde ya da E_T^{miss} , de, çok yüksek dallanma kesirleri kullanılmak zorundadır. W ve Z bozunmasından oluşan jetler ileri itilecektir ve η - ϕ aralığında birbirlerine yaklaşabileceklerdir[1].

Kütleleri $700 \text{ GeV}/c^2$ olan baskın Higgs bozonu oluşum mekanizması, t-kuark düğümünden oluşan gluon-gluon birleşmesidir. WW ve ZZ parçalanma mekanizması, çok yüksek kütleli higgs bozonlarının oluşumu için önem oluşturur. Burada, W'lardan ya da Z'lerden yayımlanan kuarklar, W ve Z kütlelerinin çarpaz momenta (transverse momenta) boyutuna sahiptirler. İleri bölgelerdeki ($2 < |\eta| < 5$) yüksek enerjili jetlerin bulunuşu, Higgs'in ispatlanabildiği kütle bölgesine genişleyen ve sinyalin gürültüye göre oranını içeren reaksiyonları birleştirmek için kullanılabilir. Bu jetler büyük ölçüde itilirler ve onların çarpaz büyüklükleri yüksek enerjili hadron duşlarınıninkine benzemektedir[1].

2.3.2 Süpersimetrik Parçacıkların Araştırılması

Skuark ve gulino gibi süpersimetrik parçacıkların bozunumu, parçacık çağlayanı (cascade) içermektedir. Eğer R paritesi korunuyorsa birincisi, daima en hafif SUSY parçacıkları (LSP: lightest SUSY particle) var demektir. İkincisi ise bu parçacıkların çok zayıf olarak etkileştikleri düşünülmektedir. Böylece bu son durumdaki E_T^{miss} 'in önemine yol açmaktadır[1].

Buradaki R paritesi, parçacık fiziğinde bir kavramdır. Minimal süper standart model (MSSM), baryon ve lepton numaralarını ihlal eden terimleri içermektedir. Bunu düzeltmek için R-Parite diye adlandırılan yeni bir simetriye girilmiştir. Burada baryon (B), lepton (L) numaraları ve spin (S) olmak üzere parçacık için $R = (-1)^{3(B-L)+2S}$ tarafından verilen kuantum sayıları, Standart Modelin bütün parçacıkları için R Paritesine sahipken, onların süper eş parçacıkları negatif R Paritesine sahiptir. Bu simetri, MSSM' in fenomolojisinin büyük bir etkisidir çünkü bu süpersimetrik parçacıkların her zaman çift oluşturduğunu

gerektirmektedir. Buna ek olarak R Paritesinin korunumu çok hafif süper simetrik parçacıkların (LSP) kesinlikle kararlı olduğu anlamına gelmektedir[3].

2.3.3 Yeni Kütleli Vektör Bozonlarının Araştırılması

Yüksek momenta için dedektör gereksinimleri, $Z' \rightarrow e^+ e^-$ ve $\mu^+ \mu^-$ gibi yüksek kütleli bozunmalar göz önünde tutularak belirlenebilir. Z' bozonunun ispatı sinyalin istatistiksel anlamı ile sınırlandırılacaktır[1].

2.3.4 Ekstra Boyutların Araştırılması

Ekstra boyutların varlığı, D-boyutundaki Planck kütlelerinin benzeri olan M_D 'ye yani kuantum gravity'nin karakteristik enerji ölçümüne önderlik edebilir. Deneylerdeki işaretler 3 yönteme ayrılabilirler[1].

- Cis-Planckian, burada $E \ll M_D$, ekstra boyutların içine kaçan gravitonun yayınlanmasını içeren sinyallere önderlik eder.

$$pp \rightarrow \text{jet} + \text{graviton} \rightarrow \text{jet} + E_T^{\text{miss}}$$

- Planckian, burada $E \approx M_D$ modele bağlı işaretlere önderlik eder.
- Trans-Planckian, burada $E \gg M_D$, anormal derecede yüksek kütleli iki jet oluşumuna ve lepton, foton, nötrino, W, Z, jetler gibi temel parçacıkların oluşumunu içeren olağanüstü bozunmalar ile meydana gelen mini siyah cisimlere önderlik eder[1].

2.3.5 Standart Model (SM) Araştırmaları

LHC, QCD, elektrozayıf ve tür (flavour) fiziği çalışmalarına olanak sağlayacaktır. Yapılacak olan detaylı çalışmalar, ileri SM fiziği için bugünkü teorik çalışmalara büyük bir destek verebilir. Örneğin, oluşan jetlerin ölçümleri ve 3-4 TeV'e kadar olan çapraz (transverse) enerjili fotonların ölçümleri, geniş QCD testleri ile mümkün olacaktır. Top kuarklar, Hertz mertebesinde ölçülen oran ile LHC'de üretileceklerdir ve böylece

bozunmalardaki b-jetlerin iyi bir tanımını sağlayabilen top kuarkların spini için ve SM testleri için iyi bir fırsat doğacaktır[1].

2.3.6 Ağır İyon Fiziği Araştırmaları

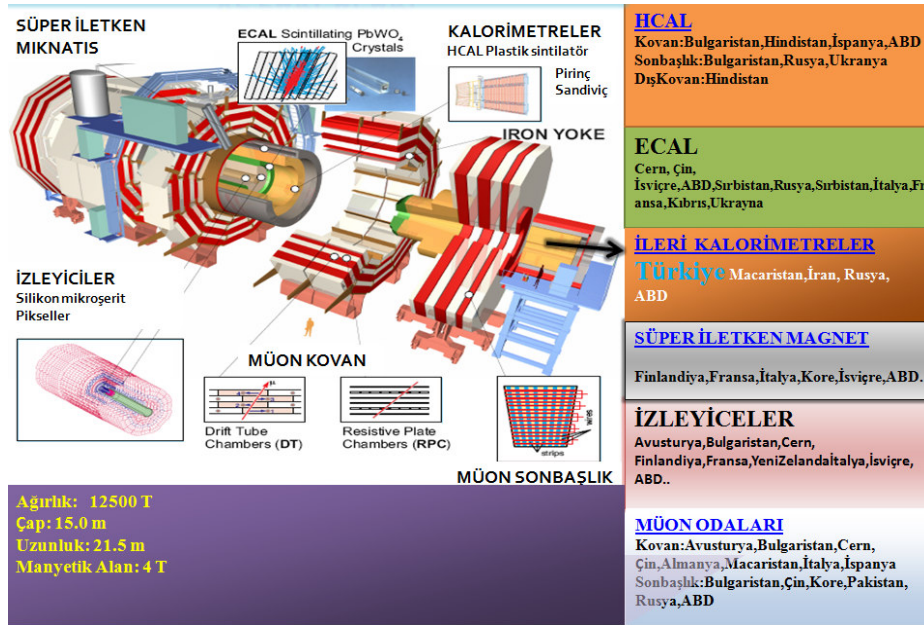
Çok güçlü bir şekilde etkileşen nükleer maddenin işaret ettiği RHIC'den (Relativistic Heavy Ion Collider at Brookhaven, USA) gelen yeni sonuçlar, yüksek enerjideki ağır-iyon çarpışmalarında üretilirler. LHC'deki enerji akımı ölçümleri, sıcak nükleer maddenin sıvıya benzer davranışında test edilecektir. Artan enerji, Z^0 ve Υ ($b\bar{b}$ Mezonu) gibi ulaşılamayan güçlü araştırmaların incelenmesine olanak sağlar. Jetlerin, enerji akımının, quarkonium oluşumunun incelenmesi, yüksek çözünürlüklü kalorimetreleri ve esnek tetikleyicilerin yani sıra bırakılan izin işaretlerini gerektirir[1].

3. CMS DENEYİNİN DİZAYNI

CMS dedektörünün dizaynı ve katmanları, müonların momentumlarını ölçmek için önemlidir. Büyük bükülme gücü, yüklü parçacıkların momentumlarını ölçmeye ihtiyaç duymaktadır[1].

Şekil 3.1’de CMS’in katmanları gösterilmektedir. CMS dedektörü, 21.6 m uzunluğunda, 14.6 m yarıçapındadır. Ayrıca 12500 Ton ağırlığında olup, dedektörün inşasında 32 ülke işbirliği yapmakta ve yaklaşık 2200 fizikçi bu grupta çalışmaktadır. Bu sayı her geçen gün artmaya devam etmektedir.

CMS’in merkezinde, 13 m uzunluğunda, 5.9 m iç yarıçapa sahip 4 Teslalık süperiletken bir selonoid mıknatıs bulunmaktadır. Bu mıknatısın içinde ise iz belirleyiciler, ECAL, HCAL’ın büyük bir bölümü (HB, HE) ve düğüm (vertex) dedektörleri bulunmaktadır. Bu büyük mıknatısın dışında ise İleri Hadron (Hadronic Forward, HF) kaorimetresi, Hadronik Dış (Hadronic Outer, HO) kalorimetresi ve müon odacıkları yer almaktadır[1].



Şekil 3.1 CMS dedektörünün katmanları ve katılımcı ülkeler.

Manyetik halkanın oyuğu, içine kalorimetre ve iç izleyiciler yerleştirecek kadar yeterli büyüklüğe sahiptir. İzleyicinin büyüklüğü, 5.8 m uzunluğunda ve 2.6 m yarıçapında bir silindirdir. CMS’de yüksek iz çeşitliliği (track multiplicities) elde edebilmek için, gerekli hassaslığı sağlayan 10 silikon mikroşerit (microstrip) dedektör katmanı kullanılmıştır. Ek olarak 3 silikon piksel (pixel) dedektör katmanı, yüklü parçacık izlerinin etkileşme parametrelerini ölçmek için, etkileşme bölgesinin yakınlara düşey konumda yerleştirilmişlerdir[1].

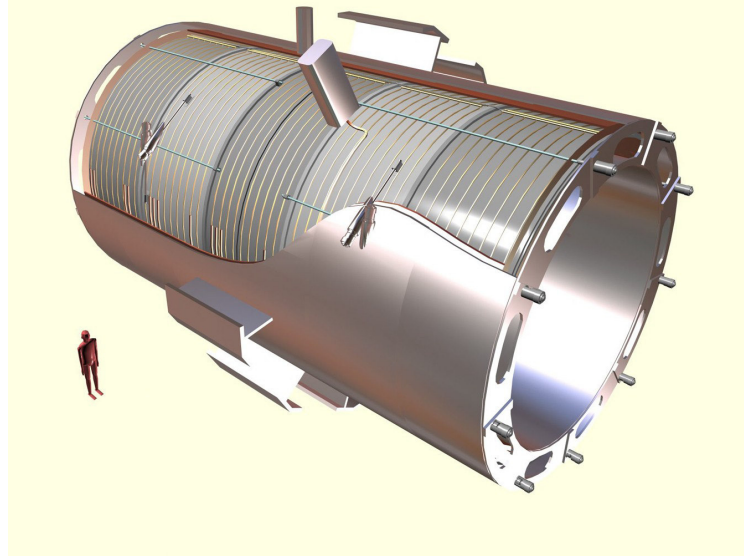
3.1 Süperiletken Mıknatıs (Superconducting Magnet)

Müon sisteminin gereken performansı ve bundan dolayı bükülme gücü, dar durumların (narrow states) müona bozunmasından ve yaklaşık 1 TeV/c momentumdaki müonların net olmayan işaretlerinden dolayı tanımlandı. Bu $p=1$ TeV/c’de momentum çözünürlüğünün yaklaşık $\Delta p/p = \% 10$ olmasını gerektirmektedir[1].

CMS süperiletken selonoidin (Şekil 3.1.1) parametreleri çizelge 3.1.1’de verilmiştir[4]. Selonoidin büyüklüğünden dolayı büyük bir bükülme gücü elde edilebilir ve geniş bir süperiletken alanına rağmen eğilme ilk düğümde (vertex) başlar. Uzunluk/yarıçap oranı, ileri bölgelerde iyi bir momentum çözünürlüğünü elde etmek için gereklidir[1].

Çizelge 3.1.1 CMS süperiletken selonoidin parametreleri[1].

Alan	4 T
İç oyuk	5.9 m
Uzunluk	12.9 m
Sarım sayısı	2168
Akım	19.5 kA
Depolanan enerji	2.7 GJ
Halka basıncı	64 atm



Şekil 3.1.1 Süper iletken mıknatısın genel görünümü.

CMS selonoidin en büyük özelliği yüksek saflıkta kararlı alüminyum iletken ve dolaylı soğutucu (termosifon tarafından) kullanmasıdır. Bu teknik daha önce LEP de ALEPH ve DELPHI için HERA da ise H1 için başarılı bir şekilde büyük selonoid mıknatıs yapımında kullanıldı. Bu yüzden Manyetik alan, amper sarımları, kuvvetler ve depolanan enerji (2.7GJ) gibi bazı parametrelerdeki büyük artış, değişiklikleri gerektirmektedir. Özellikle 4 katmanlı bobinde 64 atm' lik dış basınca direnebilen çok büyük tesir kesitli iletken kullanılmıştır. İletken yaklaşık olarak 20 kA' lik bir akım taşır ve alaşımlı bir yapıya sahiptir. Rutherford tipi kablo, ısı dengeleyicisi olarak rol yapan saf alüminyum ile birlikte preslenir. Bütün iletken maddelerin tesir kesiti, $64 \times 22 \text{ mm}^2$ dir. İletken madde, her birinin uzunluğu 2.65 km olan ve ard arda eklenen 20 tane uzunluktan yapılmıştır. Her bir 5 bobin modülünü yapmak için 4 uzunluk sarılmıştır. Bu modüller, birleştirilip SX5'de bir araya getirilmiştir[1].

3.2 Müon Sistem

Merkezi olarak üretilen müonlar, iç izleyicilerin içinde, halkadan (coil) sonra ve dönüş akısı (return flux) içinde olmak üzere üç kere ölçülürler. Sadece müon sistemi kullanılarak ölçülen müonların momentumları, müonun merkezi gibi alınan etkileşme noktasındaki

4 T'lık halkadaki müon eğilme açısı ile belirlenir. Düşük momentumlu müonlar için en iyi momentum çözünürlüğü silikon izleyicilerde elde edilen çözünürlük ile verilir[1].

Müonları ölçmek ve tanımlamak için üç çeşit gazlı dedektör kullanılmıştır[5]. Nötronların neden olduğu gürültünün (background) küçük olduğu silindir (barrel) bölgesinde ($\eta < 1.2$), müon oranı düşüktür ve odacıklarda (chambers) artan (residual) manyetik alan düşük olduğundan burada sürüklenme tüpü (drift tube, DT) odacıkları kullanılmıştır. Nötronların gürültü oranının yanında müon oranının da yüksek olduğu 2 sonbaşıklık (endcap) bölgesinde manyetik alanda yüksektir bu yüzden buraya $\eta < 2.4$ bölgesini kapsayan katot şerit odacıkları (cathode strip chambers, CSC) yerleştirilmiştir. Buna ek olarak, hem silindir (barrel) hem de sonbaşıklık (endcap) bölgesinde özdirençli plaka odacıkları (resistive plate chamber, RPC) kullanılmıştır[1].

DT'ler veya CSC'ler ve RPC'ler birinci seviye tetikleyici sisteminde (First level trigger system) bağımsız ve tamamlayıcı bilgi elde etmek için kullanılacaktır. Bütün sistem doğru, sağlam ve hassas bir tetikleyici görevi görmektedir[1].

3.3 İç izleyici Sistem

Çeşitli yarıçaplarda ve yüksek ışıklılıkta (luminosity) yüklü parçacık akısı göz önünde tutularak, 3 bölge tasvir edilebilir:

- Parçacık akısının çok yüksek olduğu, piksel dedektörlerinin yer aldığı, etkileşme düğümüne (vertex) yakın olan bölge,
- Parçacık akısının yeterince düşük olduğu silikon mikroşerit dedektörlerinin kullanıldığı, $20 < r < 55$ cm arasında kalan bölge,
- Parçacık akısının çok aza düştüğü büyük pitch silikon mikroşerit(microstrip) dedektörlerinin kullanıldığı, iç izleyicilerinin en dışında kalan bölge ($r > 55$ cm),

İç izleyici sistemi 66 milyon piksel ve 9.6 milyon silikon şeritten oluşmuştur. Bunlar etkileşme düğümüne (vertex) yakın olan silindir bölgesinde 3 katmanlı hibrit piksel

dedektörleri, silindirin bir bölümünde silikon mikroşerit dedektörleri, ileri bölgede her bir 2 sonbaşlık 2 piksel ve 9 mikroşerit katmanlarına sahiptir. CMS izleyicisinin uzunluğu yaklaşık 540 cm ve dış yarıçapı ise 110 cm ye kadar uzanmaktadır[6].

3.4 Elektromanyetik Kalorimetreler (ECAL)

Elektromanyetik kalorimetrenin (ECAL) bir parçası, 61200 tane kurşun tungstat ($PbWO_4$) ile merkezi silindir (barrel) kısmına, diğer iki parçası ise 7324 tane kristal ile 2 sonbaşlık (endcap) kısmına monte edilmiştir[1].

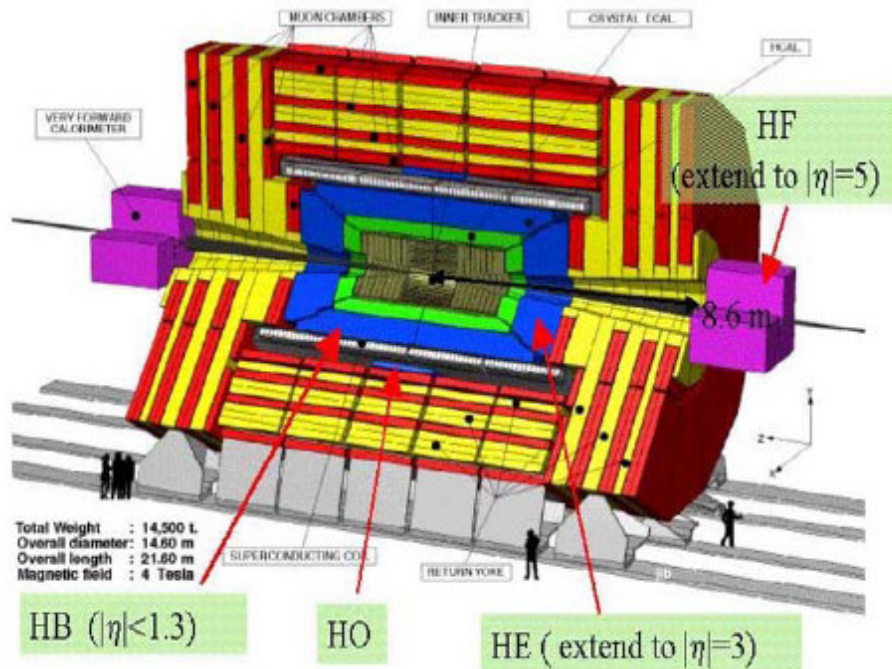
ECAL'da kullanmak için kurşun tungstat sintilatör kristalinin seçilmesinin nedeni, kısa radyasyon ($X_o = 0.89$ cm) ve moliere uzunluğuna (2.2 cm) sahip olması, hızlı olması (ışığın % 80'nini 25 ns içerisinde yayımlar) ve bunun yanında 10 Mrad'a kadar oluşan radyasyona dayanıklı olmasıdır[1].

Silindirik kısmı (Elektromagnetic Barrel, EB), 129 cm'lik iç yarıçapa sahiptir ve pseudorapidity'si $0 < |\eta| < 1.479$ 'a karşılık gelen bölgeyi kapsar. Sonbaşlık kısmı (Elektromagnetic Endcap, EE) ise, düğüm noktasından 314 cm uzaklıkta yer alır. Bu da, pseudorapidity'si $1.479 < |\eta| < 3.0$ 'a karşılık gelen bölgeyi kapsamaktadır[1].

Elektromanyetik kalorimetre elektron ve fotonların yerlerini ve enerjilerini ölçme amaçlı olarak dizayn edilmiştir. Kurşun tungstatın yoğunluğundan (8.3 g/cm^3) dolayı, kristal ile etkileşen elektron ve fotonlar ikincil parçacık duşlarını oluştururlar. Her bir duş çok fazla elektron ve foton içerir. Ancak bunlar kalorimetrede hareket ettikleri zaman enerjileri giderek azalır ve kalorimetre tarafından emilirler. İkincil elektronlar tarafından oluşturulan sintilasyon ışığını ölçerek kalorimetreye ilk defa çarpan birincil elektron ve fotonların yerlerini ve enerjilerini ölçmek mümkündür[7].

3.5 Hadron Kalorimetresi (Hadronic Calorimeter, HCAL)

Hadron kalorimetresi ECAL sistemin çevresini sarmaktadır. HCAL'ın en önemli özelliği, enerji çözünürlüğünde gaussian olmayan kuyrukları azaltmak ve E_T^{miss} ölçümlerini sağlamaktır. Yani, Hadron kalorimetresi kayıp çapraz (transverse) enerjinin ve jetlerin ölçülmesi için tasarlanmıştır. Hadron Kalorimetresi Şekil 3.5.1 de gösterildiği gibi, Hadronik silindir (hadronic barrel, HB), Hadronik Dış (Hadronic outer, HO), Hadronik sonbaşlık (Hadronic endcap, HE) ve ileri hadron (Hadron Forward, HF) olmak üzere 4 tane alt hadronik kalorimetre türüne sahiptir. Merkezi silindir (central barrel) ve sonbaşlık (endcap), ECAL dedektörünü tam olarak sararlar ve 13 m uzunluğunda 4T'lık bir solenoidin yüksek manyetik alanı içine tamamen gömülürler. HCAL, dış hadron (HO) dedektörleri olarak adlandırılan sintilatör katmanları ile tamamlanır ve HCAL'ın bu kısmı manyetik halkanın dışında yer alır. Emici materyalleri piriçten yapılmıştır. Çünkü kısa etkileşme uzunluğuna sahiptir, tamiri kolay ve manyetik değildir[1].

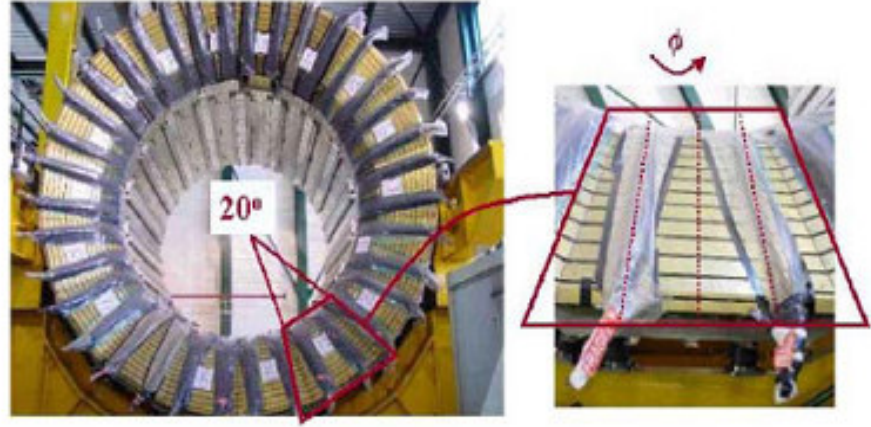


Şekil 3.5.1 HCAL dedektörlerinin CMS deki yerleri[8].

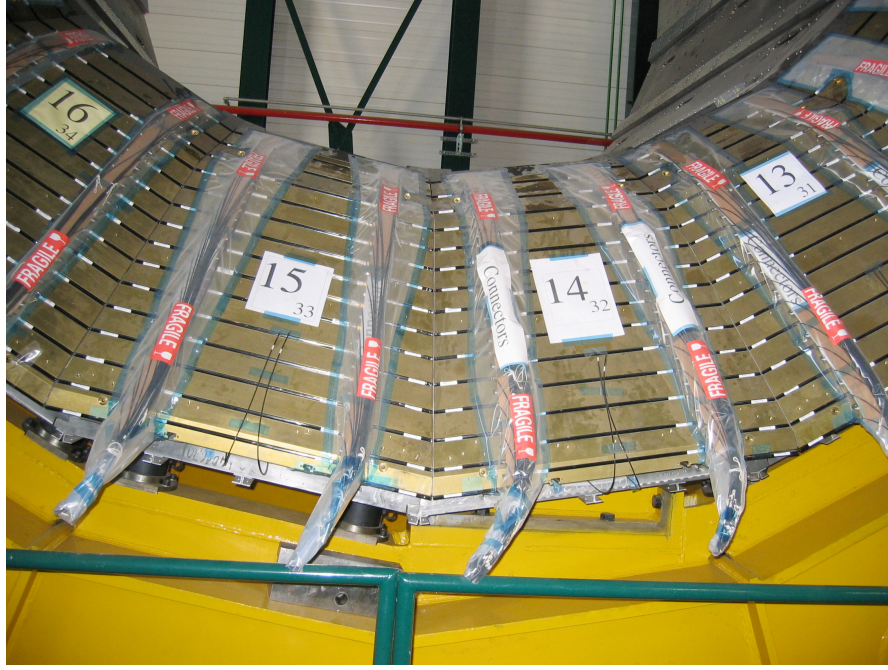
3.5.1 Merkezi Hadronik Silindir (Central Hadronic Barrel, HB)

HCAL'in bir parçası olan merkezi hadronik silindir (HB), pseudorapidity'si $-1.4 < \eta < 1.4$ olan bölgeyi içeren toplam 32 kuleden oluşmuştur[1]. HB iki tane yarım-silindirik kısma ayrılmıştır. Bu yarım kısımların her biri, 18 tane 20° lik özdeş kulelerden meydana gelmektedir[8]. Kuleler ışın eksenine paraleldir ve her birinin kalınlığı 5 cm' lik pirinç karışımı olan 15 tane emici levhadan oluşmaktadır. En içteki ve en dıştaki emici levhalar yapısal dayanıklılığını sağlamak için paslanmaz çelikten yapılmıştır. Paslanmaz çelik ve pirinç emici levhalar arasında 17 tane plastik sintilatör yerleştirilmiştir. İlk katman ECAL'ın arkasında yer almaktadır. Bu katman, HCAL ve ECAL arasındaki materyalden kaynaklanan düşük enerjili duş parçacıklarını aktifleştirir[1].

HB'nin tek bir pion için enerji çözünürlüğü yaklaşık olarak $\% 120/\sqrt{E}$, minimum çözünürlüğü $5.8 \lambda_1$ 'dir. Yarım silindirin bir tanesi Resim 3.5.1.1'de verilmektedir. Bir takoz (wedge) 18 tane η kulesine (Resim 3.5.1.2) ve 4 tane 5° lik azimuthal açılara bölünmüştür. 17 tane bakır katmanından (ilk ve sonuncusu çelik) ve sintilatörlerden oluşmaktadır[8].



Resim 3.5.1.1 Yarım silindirik Hadronik Kalorimetresi (HB) (solda), 20° 'lik bir bölümünün gösterilmesi (sağda)[8].



Resim 3.5.1.2 HB kulelerinin yakından görünüşü[8].

3.5.2 Hadronik Dış Kalorimetresi (Hadronic outer Calorimetry, HO)

Hadronik dış dedektörü (HO), 10 mm kalınlığındaki sintilatörlerden oluşmaktadır. Süper iletken mıknatıs halkasının dışında yer alır. Pseudorapidity'si $-1.26 < \eta < 1.26$ olan bölgeyi kapsamaktadır. HO hadron kalorimetresinin etki kalınlığını 10 etki uzunluğu kadar artırır, bundan dolayı enerji çözünürlüğü fonksiyonundaki kuyukları azaltır. HO aynı zamanda kalorimetrenin E_T^{miss} çözünürlüğünü de artırır.

HO fiziksel olarak müon silindir sistemi içerisine yerleştirilmiştir ve η 'ya göre -2, -1, 0, 1, 2 olmak üzere 5 kısma bölünmüştür ve bunlar "halka (ring)" diye adlandırılmaktadırlar[1].

ECAL ve HB için $\eta = 0$ 'da izleyicilerin içerdiği toplam etkileşme uzunluğu sayısı 8' dir. 300 GeV' lik bir pionun enerjisinin yaklaşık olarak % 5' i HB 'nin dışına sızmaktadır. Buradaki düş bütünlüğünü sağlayabilmek için HO kısmı CMS dedektörüne

birleştirilmiştir. HO, ilk müon katmanının her köşesi üzerinde halka (Ring) 0' da yani merkezi müon halkasında iki sintilatör katmanı içermektedir. Kalorimetre sisteminin toplam derinliği, doğrusallığın ve enerji çözünürlüğünün düzeltilmesi ile yaklaşık olarak $11.8 \lambda_I$ ' ya kadar uzanır. Resim 3.5.2.1'de 2002 HCAL test ışını deneylerinde çalışılan HO'nun bir bölümü gösterilmektedir[8].

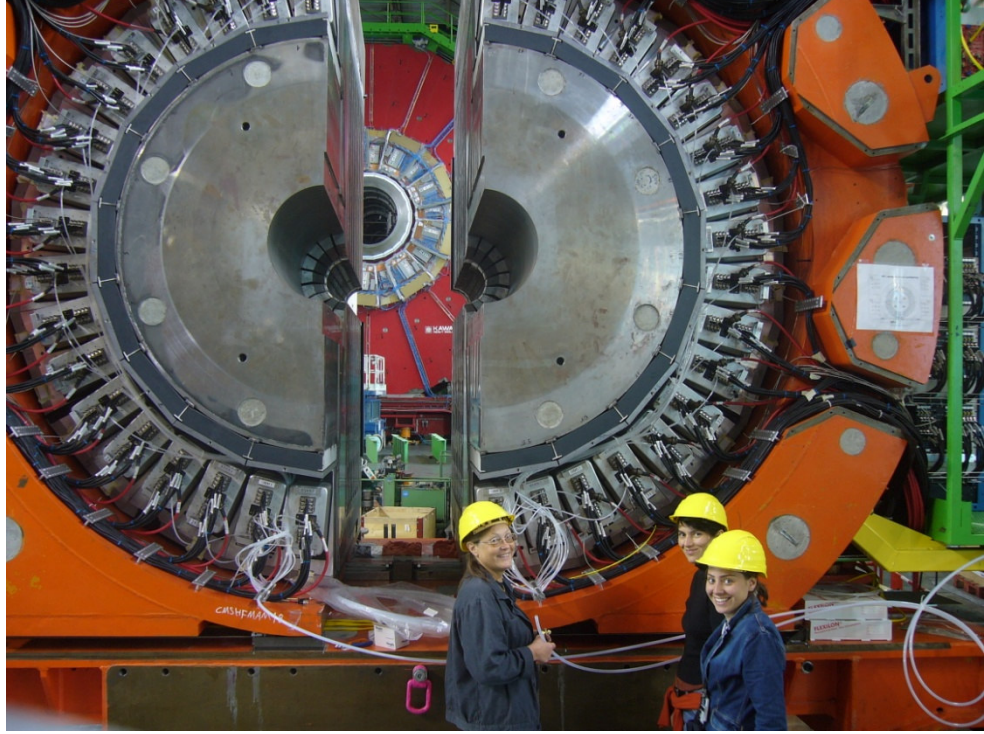


Resim 3.5.2.1 HO'nun 2002 test ışını deneyindeki konfigürasyonu[8].

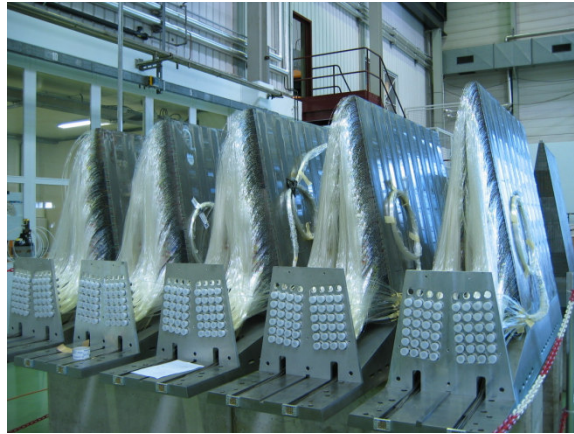
3.5.3 İleri Hadron Kalorimetresi (Forward Hadron Calorimetry, HF)

İleri Hadron kalorimetresi, Pseudorapidity'si $3.0 < \eta < 5.0$ olan bölgeyi kapsamaktadır ve derinliği yaklaşık olarak $9 \lambda_I$ ' dir. Etkileşme noktasından 8.6 m uzaklıkta yer almaktadır. Resim 3.5.3.1 de gösterilen HF kalorimetreleri çelik emicilerden ve cherenkov radyasyonun meydana getirdiği çok güçlü radyasyonu tutabilecek kuartz fiberlerden yapılmışlardır. HF, 13 tane η kulesine ve 10° 'lik azimuthal kısımlara bölünmektedir. HF, Higgs araştırmalarında QCD gürültüsünü (background) azaltmak için ileri jetlerin belirlendiği çok önemli bir dedektördür. İleri jetlerin çoğunun çok enerjitik olmasına rağmen HF iyi bir enerji çözünürlüğü sağlamaktadır[8]. HF'in dizaynı çok dar ve kısa hadronik duşlar için tasarlanmıştır. Emicilerinin derinliği (depth), 1.65 m'dir. Cherenkov ışığından oluşan sinyal, kuartz fiberlerde yayımlanır. Kuartz fiberlerin çapı 0.6 mm'dir ve ışın çizgisine paraleldirler. 1.43 m hadronik kısım ve 1.65 m elektromanyetik kısım olmak üzere iki farklı fiber uzunluğu vardır. Bunlar 5 mm aralıklarla sıralı bir şekilde yerleştirilmişlerdir. Resim 3.5.3.2 den de görüldüğü gibi bu fiberler, dedektörün arka

tarafından demetler halinde getirilir ve sinyal buradaki fiberler ile fotoçoğaltıcılara (Photomultiplier tube, PM) iletilip buradan ayrı ayrı çıktı alınır (readout). 2 HF modülünde toplam 1800 kanal ve 900 tane kule bulunmaktadır[1].



Resim 3.5.3.1 HF dedektörü sisteminin genel görünüşü[9].



Resim 3.5.3.2 Kuartz fiberlerin yerleştirildiği HF Kuleleri[8].

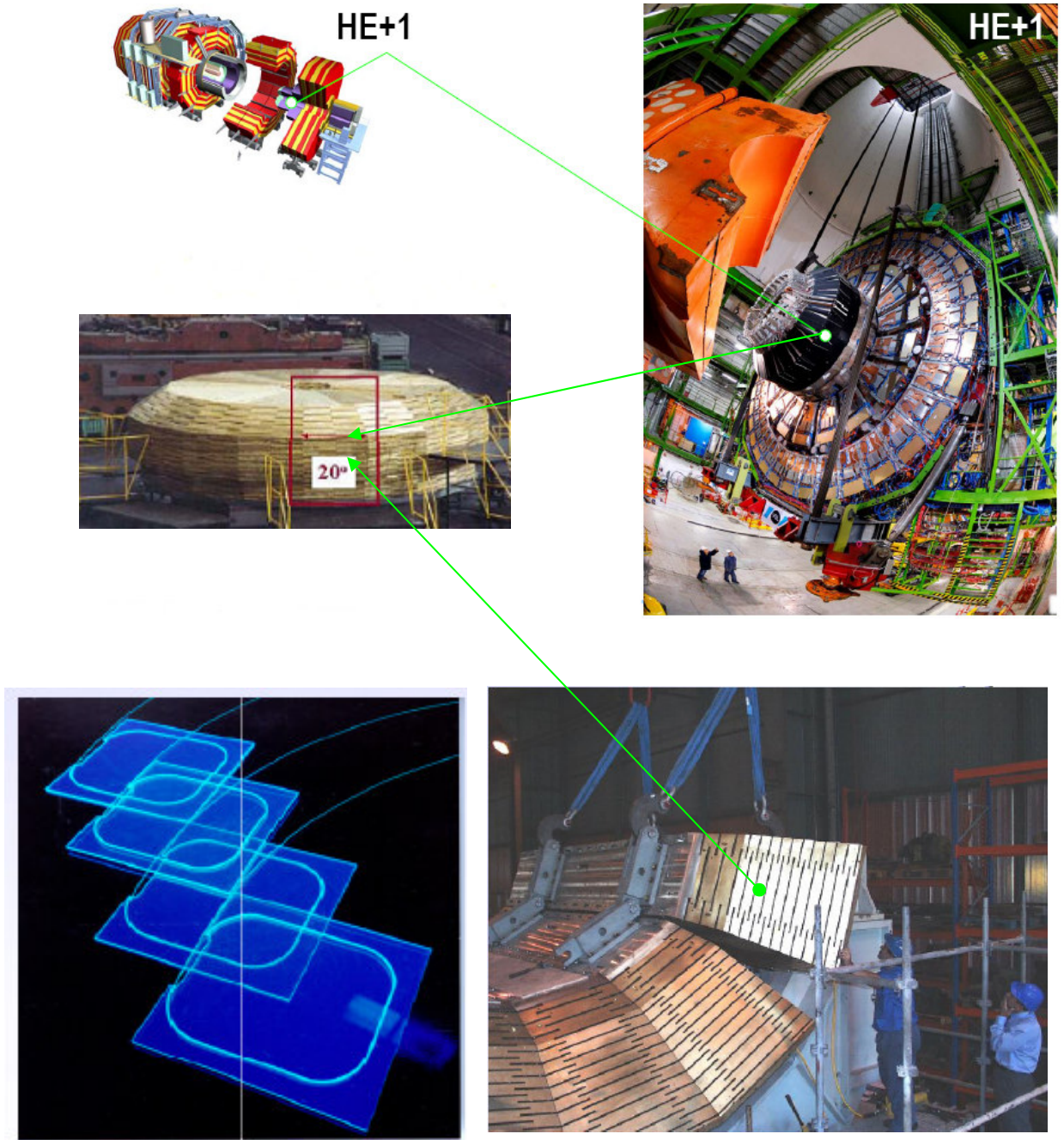
3.5.4 Hadronik Sonbaşlık Kalorimetresi (Hadronic Endcap Calorimetry, HE)

Hadronik sonbaşlık kalorimetresi (HE), 20° lik 18 tane modülden oluşmaktadır (Resim 3.5.4.1). Her bir modül 19 tane pirinç ve sintilatör katmanından oluşmaktadır[8]. Sintilatörlerin kalınlığı 3.7 mm iken levhaların kalınlığı 78 mm dir[1]. Pseudorapidity'si $1.3 < |\eta| < 3.0$ olan bölgeyi kapsar ve minimum derinliği $10\lambda_1$ kadardır[8].

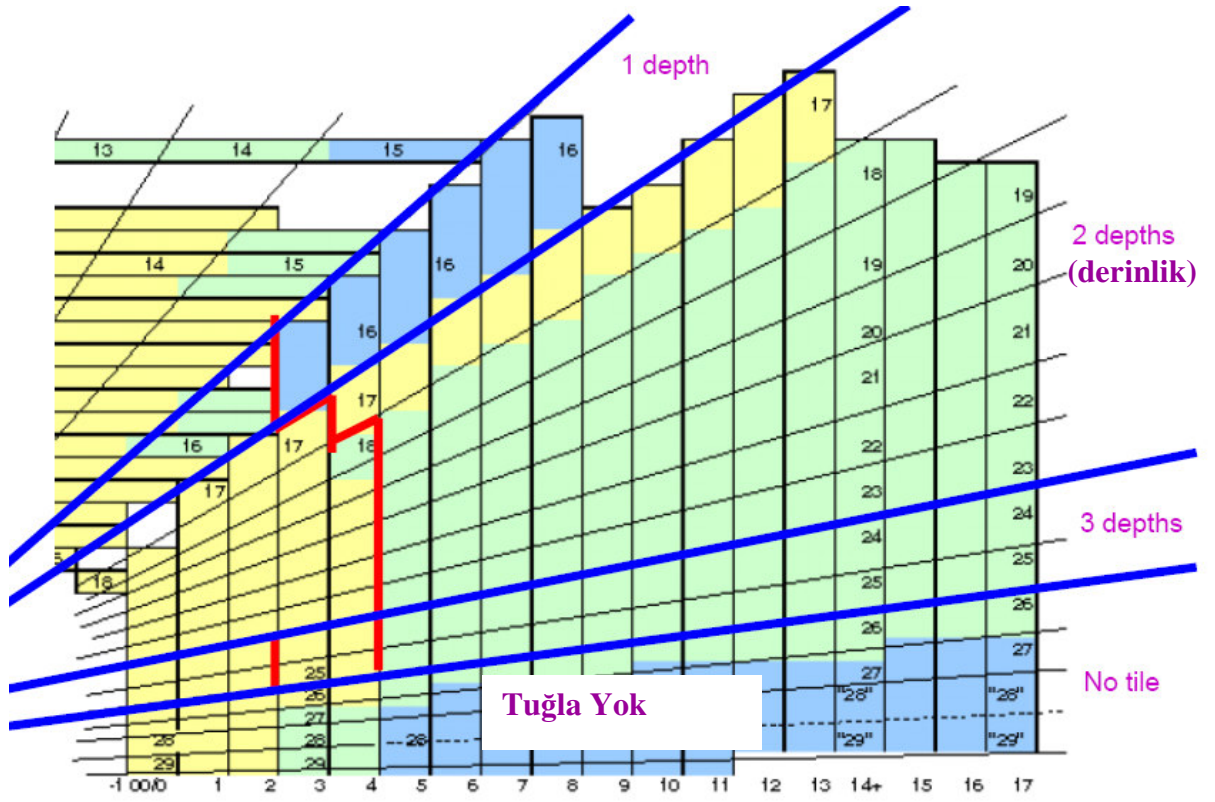
HE'nin enine kesiti HB ile aynıdır ve hadronik duş çözünürlüğünü belirler. HE, merkezi silindir kalorimetresi ile incelerken kenetlenir ve Şekil 3.5.4.1 ile gösterilen 16. kule ile üst üste gelir[1].

Çizelge 3.5.4.1'den de görüldüğü gibi HCAL'ın her bir hadronik sonbaşlık parçası, $\varphi = 5^\circ$ lik kısımlara bölünmüş 14 η kulesinden oluşmaktadır. En dıştaki 5 kule için $\varphi = 5^\circ$ 'ye ve $\eta = 0.087$ 'ye bölünmüştür. En içteki 8 kulede ise $\varphi = 10^\circ$ 'ye bölünmüştür ve $\eta = 0.09$ 'dan 0.35'e kadar çeşitlilik göstermektedir. HE kulelerinin toplam sayısı 2304'dür[1].

1. seviye kalorimetre tetikleyicilerinde standart bir bölünme yapmak için, enerjiler, yapay olarak eşit parçalar ile bölünen 10^0 lik φ -takozlarında ölçülür ve ayrı olarak tetikleyicilere gönderilir. Çizelge 3.5.4.1'de gösterildiği gibi $\Delta\eta \times \Delta\varphi$ kule büyüklüğü, $1.3 < |\eta| < 1.74$ bölgesinde HB büyüklüğüne uyar. $|\eta| > 1.74$ için, η büyüklüğü artar. HE'deki dilimlerin derinlik (depth) miktarı, kule 18 ile başlayan EM kısmını içerir ve ilk kule ECAL'ı kapsayan η 'nın ötesindedir. Başlangıçta HE dilimlerinin ilk derinliği, ECAL sonbaşlık sinyallerinin yer aldığı bölgesel kalorimetre tetikleyicilerini (regional calorimeter trigger, RCT) beslemektedir. Arka kısmı ise, RCT için hadronik enerji girdilerini (input) şekillendirmektedir. Kule 28'in arka kısmının büyüklüğü, olağandışı büyüklüktedir ve $\Delta\eta = 0.35$ 'dir. Bu kulenin ön iki kısmı tanecikliği (granularity) daha iyi sağlamak için η ve dışarı okumalara (readout) ayrılmaktadır. Halbuki, ön kısımlar tetikleyici dış okumalarında (readout) birleştirilmektedirler[1].



Resim 3.5.4.1 HE dedektör sisteminden kesitler. Yukarıki resimlerde HE dedektörünün CMS deneyindeki yerleşkesi görülmektedir. Altta soldaki resimde HE de kullanılan sintilatör tuğlalar (tiles) görülmektedir. Alt solda ise HE takozları görülmektedir.



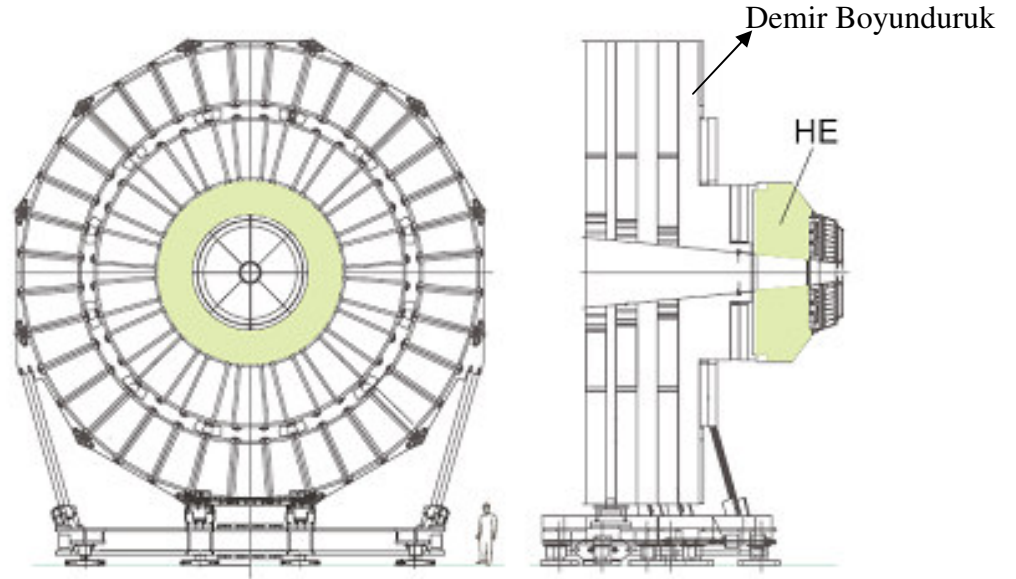
Şekil 3.5.4.1 HB ve HE nin dörte birlik bölümüne karşılık gelen HCAL kulelerinin r,z düzlemindeki bölümleri ve derinliklere (depth) ayrılmış şekli.

Çizelge 3.5.4.1 HCAL readout kulelerinin η , ϕ ve derinliklerdeki büyüklükleri[1].

Kule İndeksi	η menzili		Dedektor	Büyükük		Derinlik Bölümleri
	Düşük	Yüksek		η	ϕ	
1	0.000	0.087	HB, HO	0.087	5°	HB = 1, HO = 1
2	0.087	0.174	HB, HO	0.087	5°	HB = 1, HO = 1
3	0.174	0.261	HB, HO	0.087	5°	HB = 1, HO = 1
4	0.261	0.348	HB, HO	0.087	5°	HB = 1, HO = 1
5	0.348	0.435	HB, HO	0.087	5°	HB = 1, HO = 1
6	0.435	0.522	HB, HO	0.087	5°	HB = 1, HO = 1
7	0.522	0.609	HB, HO	0.087	5°	HB = 1, HO = 1
8	0.609	0.696	HB, HO	0.087	5°	HB = 1, HO = 1
9	0.696	0.783	HB, HO	0.087	5°	HB = 1, HO = 1
10	0.783	0.870	HB, HO	0.087	5°	HB = 1, HO = 1
11	0.879	0.957	HB, HO	0.087	5°	HB = 1, HO = 1
12	0.957	1.044	HB, HO	0.087	5°	HB = 1, HO = 1
13	1.044	1.131	HB, HO	0.087	5°	HB = 1, HO = 1
14	1.131	1.218	HB, HO	0.087	5°	HB = 1, HO = 1
15	1.218	1.305	HB, HO	0.087	5°	HB = 2, HO = 1
16	1.305	1.392	HB, HE	0.087	5°	HB = 2, HE = 1
17	1.392	1.479	HE	0.087	5°	HE = 1
18	1.479	1.566	HE	0.087	5°	HE = 2
19	1.566	1.653	HE	0.087	5°	HE = 2
20	1.653	1.740	HE	0.087	5°	HE = 2
21	1.740	1.830	HE	0.090	10°	HE = 2
22	1.830	1.930	HE	0.100	10°	HE = 2
23	1.930	2.043	HE	0.113	10°	HE = 2
24	2.043	2.172	HE	0.129	10°	HE = 2
25	2.172	2.322	HE	0.150	10°	HE = 2
26	2.322	2.500	HE	0.178	10°	HE = 2
27	2.500	2.650	HE	0.150	10°	HE = 3
28	2.650	3.000	HE	0.350	10°	HE = 3
29	2.853	2.964	HF	0.111	10°	HF = 2
30	2.964	3.139	HF	0.175	10°	HF = 2
31	3.139	3.314	HF	0.175	10°	HF = 2
32	3.314	3.489	HF	0.175	10°	HF = 2
33	3.489	3.664	HF	0.175	10°	HF = 2
34	3.664	3.839	HF	0.175	10°	HF = 2
35	3.839	4.013	HF	0.174	10°	HF = 2
....

3.5.4.1 HE Dizaynı

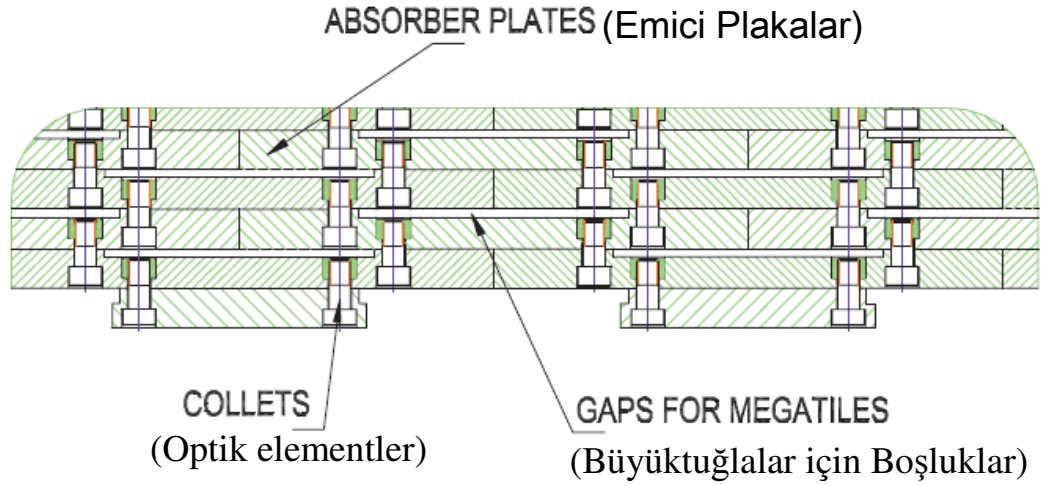
HE kalorimetresi 4T'lık selonoid mıknatısın sonuna eklenmiştir. Maksimum emilim uzunluğuna sahip manyetik olmayan bir materyalden yapılmıştır ve %70'i bakır, %30'u çinko karışımı olan pirinç kullanılmıştır. HE kalorimetresi Şekil 3.5.4.1.1'de gösterildiği gibi müon sonbaşlık boyunduruğuna (muon endcap yoke) eklenmiştir ve yalnızca kalorimetrenin küçük bir parçası manyetik demire sabitlenmiştir. Çünkü, HE kalorimetresi ve müon emicileri arasındaki boşluğun çoğunluğu, müon katot şerit odacıkları (muon kathode strip chamber) ile tutturulmuştur. 10 tonluk elektromanyetik kalorimetre ile 2 tonluk öndüş (preshower) dedektörü sonbaşlık hadron kalorimetresinin ön yüzüne eklenir. Bu, yaklaşık 300 ton civarında büyük bir ağırlığa neden olur. Ara yüzey kinematiği ise, HE kalorimetresinin arka kenarı ve ara yüzey borusu arasında hareketli bir ekleme sahiptir. HE kalorimetresinin arka kenarında demir disk (YN1) ve dirsek arasındaki bağlantıyı yapan bir menteşe vardır. 4T'lık manyetik alan ekseninde bükülmemesi için, ara yüzey sisteminde kullanılan materyal manyetik yapıda değildir[10].



Şekil 3.5.4.1.1 HE nin sonbaşlık demir boyunduruk (Yoke) üzerine montesi[10].

3.5.4.2 Emici Geometrisi

Emiciler, HE ve HB arasındaki çatlakları azaltmak için dizayn edilmişlerdir. Emicilerin dizaynı, ölü bölgenin olmadığı yardımcı yapıyı sağlar. HE emicilerinin mekaniksel yapısı Şekil 3.5.4.2.1’de gösterilmektedir. 9 mm aralıklarla sintilatörlere yerleştirilmiş, 79 mm kalınlığında pirinç plakalar bulunmaktadır. Elektromanyetik kristalleri içeren kalorimetrenin toplam uzunluğu, yaklaşık 10 etkileşme uzunluğu (λ) civarındadır[10].



Şekil 3.5.4.2.1 : HE emicilerinin mekaniksel yapısı. Parçacıklar kalorimetreye alttan girerler[10].

HE'nin dış katmanları, fotoçoğaltıcıları inşa etmek için çıkartılır. Materyalin azalmasını telafi etmek için ekstra bir katman, 16. kuleye yerleştirilir. En dıştaki katmanlar 10 cm kalınlığındaki paslanmaz çelik plakaya sabitlenir. Optik elementler geçitlerin içine eklenir ve sonra emici plakalar birleştirilir (Şekil 3.5.4.2.1). Her bir durumdaki eklenmeye imkan sağlamak için optik elementler çok sert bir yapıya sahip olmak zorundadırlar[10].

3.5.4.3 Sintilatör Tablaları (Scintillator Trays)

Sintilasyon ışığı, dalga boyu değiştiren fiberler (wavelength shifter fibers, WFS) tarafından toplanırlar. Bu metod, diğer kalorimetre türleri ile karşılaştırıldıklarında bazı avantajlara sahiptir. Bu avantajlar ölü bölgenin minimuma düşürülmesini içermektedir. Çünkü

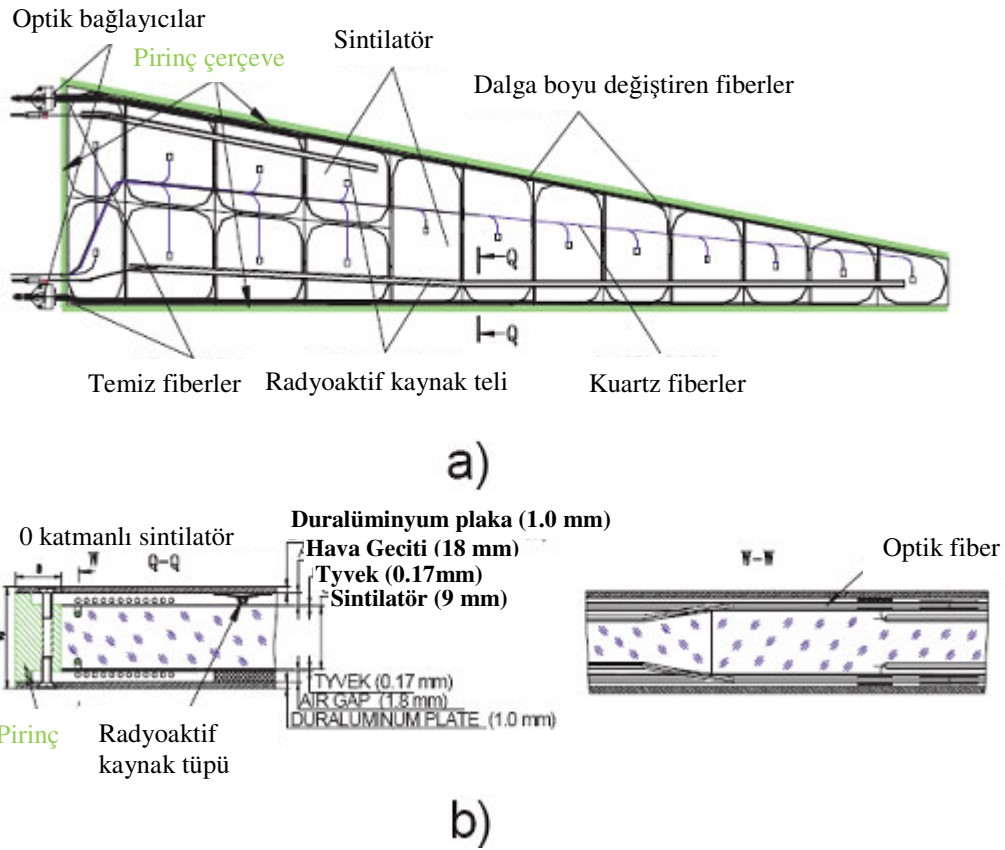
emiciler destek yapısı olmayan katı parçalar gibi yapılabilirler ve ışığı fotoçoğaltıcıların bulunduğu yerlere gönderirler. 0 katmanı için, ikizkenar şekilli sintilatörler, 9 mm kalınlığında Bicon BC408 ya da 4 mm kalınlığındaki SCSN81'dir ve dalga boyu değiştiren fiberlerin yerleştirildikleri oyuklarda yer almaktadırlar[10].

Fiberlerin sonu elmas kesiciler (diamond fly cutter) ile şekillendirilir ve ışığın toplanmasını arttırmak için alüminyum ile kaplanmıştır. Diğer ucu ise optik bağlayıcılarda sona eren temiz fiberlere eklenir. Yapışkan fiberli bağlayıcılar da elmas kesiciler ile şekillendirilir. Sintilatörler dar kısımları boyunca boyanır ve tablaları şekillendirmek için bir çerçeveye konur. Her iki HE kalorimetresi için toplam tuğla sayısı, 20916 ve tabla sayısı 1368'dir. Sintilatör tablalarının bir takoz (wedge) üzerine yerleştirilmiş şekli Şekil 3.5.4.3.1.(a)'da gösterilmiştir[10].

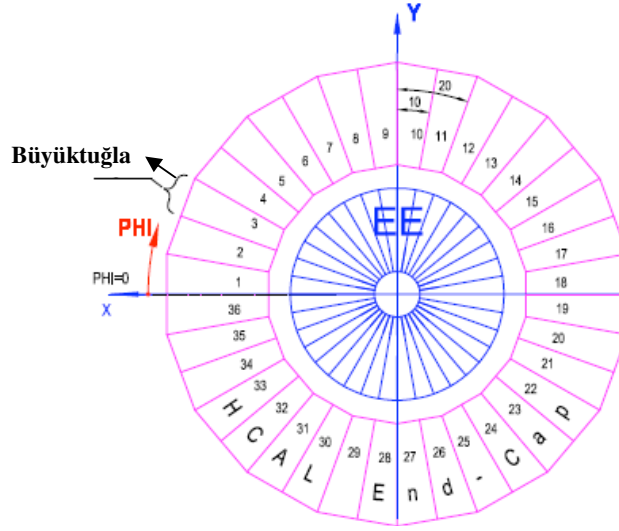
Sintilatörler Tyvek adı verilen özel bir kağıt ile örtülmüştür ve duralüminyum tabakaları arasına sıkıştırılmışlardır. Bu sıkıştırılan küme, optik bağlayıcılar ile son bulan fiberler için boşluklar içermektedir. Duralüminyum arasındaki geçitler, pirinç ara levhası tarafından sabitlenir. Şekil 3.5.4.3.1.(b)'de 0 katmanına ait sintilatör tablasının bir kesiti gösterilmiştir[10].

Tabla dizaynı çok dayanıklı ve güvenilirdir. Tablalar, emicilerin içine yerleştirilmeleri açısından önemli olduklarından sert bir yapıya sahiptirler. Sintilatörleri uyarmak için, UV nitrojen lazerleri kullanılmıştır. Işık, bağlayıcılar için kuartz fiberler tarafından beslenir ve dışarı saçılır. Bu fiberler alüminyum yansıtıcılar ile sonlanır ve bütün kuyuklara ışık buradan dağıtılır. Sintilatörlerde UV flash tarafından üretilen ışık sinyali, yüklü parçacıklar tarafından indüklenen sinyal ile benzerdir. Bu, sintilatörlerden elektroniğe iletilen optik girişlerin performansını kontrol etmek içindir. Çarpışma esnasında radyasyon hasarından kaynaklanan saydamlığın bozulma olasılığı için önemli bir teknik sağlar. Ayrıca paslanmaz çelik bir tüpe hareket eden radyasyon kaynağı, sabit hedef ışını ile elde edilen kalibrasyon sabiti için kullanılır [10].

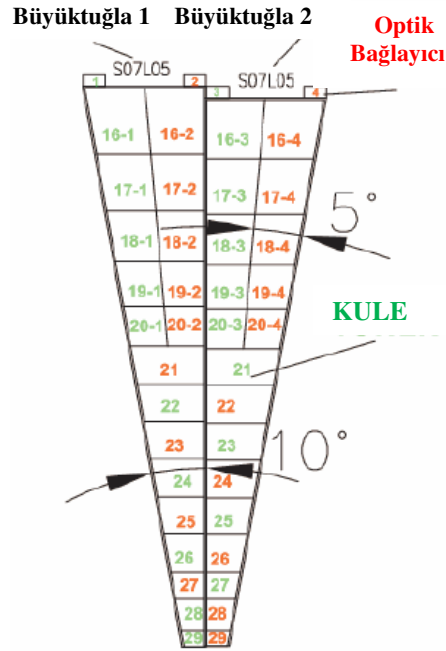
Büyükтуğlalar (Megatile) emicilerin içerisindeki aralıklara yerleştirilirler ve vida ile sabitlenirler. Kalorimetrenin arkasındaki elektronikler ve fotoçoğaltıcı kutuları çentiklerde yer alırlar. Optik kablolar, sinyalleri, sintilatör tablalarından fotoçoğaltıcılara transfer ederler. Çok Pikseli Hibrit fotodiyotları (Multipixel hibrid photodiodes) manyetik alandaki düşük hassasiyetlerinden dolayı ve büyük hareket bölgelerinden dolayı fotoçoğaltıcı olarak kullanılırlar[10]. HE takozlarının 1-36 kadar olan büyükтуğlalara ait ϕ numaralandırma şeklinin etkileşme noktasından bir görünüşü Şekil 3.5.4.3.2’de, bitişik sintilatör tablalarındaki tuğlalara ve η ya ait numaralandırma şeması ise Şekil 3.5.4.3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5.4.3.1, a) Üstü alüminyum ile kaplanmamış sintilatör tabla kalorimetrelerinin bir takoz (wedge) üzerindeki dizaynının ön görünüşü, **b)** 0 katmanına ait sintilatör tablasının bir kesiti[10].



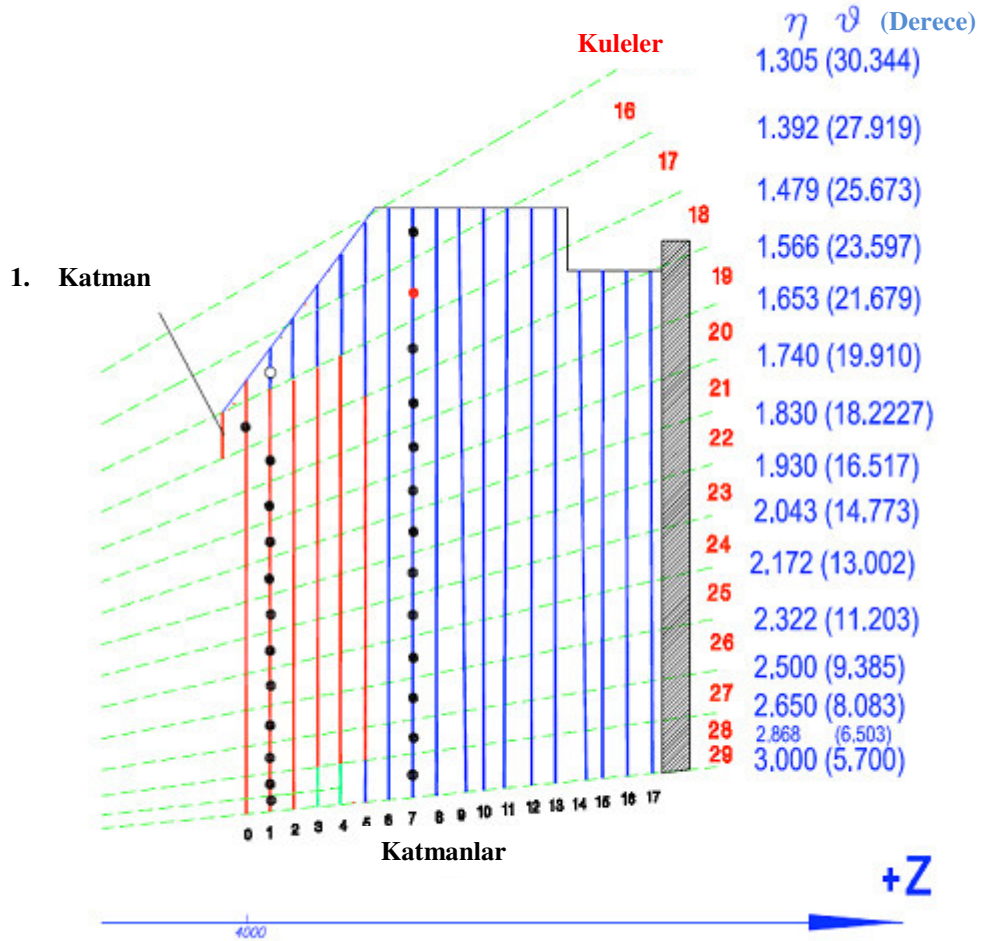
Şekil 3.5.4.3.2 HE takozlarının 1-36 kadar olan büyüktüğülara ait ϕ numaralandırma şeklinin etkileşme noktasından bir görünüşü. +x yönü LHC merkezini işaret etmektedir[10].



Şekil 3.5.4.3.3 Bitişik sintilatör tablalarındaki tuğlalara (Megatile) ve η ya ait numaralandırma şeması[10].

3.5.4.4 Boylamsal Parçalanma

HE'nin boylamsal parçası, kalibrasyon sabitini doğrulamak için radyasyon ortamına maruz bırakılır. Bu sabitler enerji çözünürlüğü için kullanılır. Işın çizgisine yakın olan kule (kule 28), enine bölünmeye sahiptir (28 + koruma çemberi "29") ve derinlemesine olarak 3'e bölünmüştür. Bunlar ayrı şekillerde dışardan okunurlar (readout). Diğer kuleler (EB kalorimetresi ile üst üste gelen 16. ve 17. kuleler), iki yatay okumaya (readout) sahiptir. Bunlar EE kalorimetresi olmadığı zaman kullanılırlar (Şekil 3.5.4.4.1)[10].



Şekil 3.5.4.4.1 HE kalorimetresinin açısal ve uzunluk bölümleri. Noktalı çizgiler etkileşme noktasına doğrudur[10].

4. TESPİT EDİLECEK PARÇACIKLARIN ELDE EDİLMESİ

Hadronik duşlar: p, n, K, π , Λ ,... olarak bilinir ve karakteristik uzunluk ölçüsü etkileşme uzunluğu olarak gösterilen L_{int} 'dir (Interaction Length). Elektromanyetik duşlar: γ , e^- , e^+ olarak bilinir ve karakteristik uzunluk ölçüsü X_0 'dır[11]. Çizelge 4.1`de farklı materyallerden geçen hadronik ve elektromanyetik duşların karakteristik uzunluk ölçüleri verilmektedir[11].

Çizelge 4.1 Hadronik ve Elektromanyetik duşların karakteristik uzunluk ölçüleri[11].

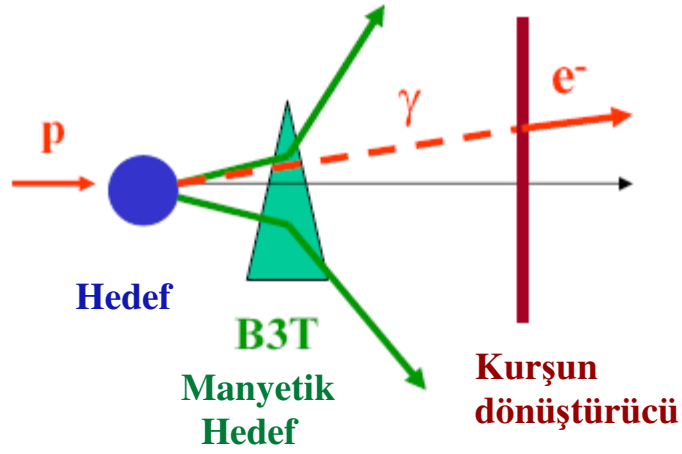
Materyal	X_0	L_{int}	X_0 / L_{int}
Berilyum	35.3 cm	40.7 cm	0.87
Bakir	1.50 cm	15.0 cm	0.10
Kursun	0.56 cm	17.1 cm	0.03

4.1 Pionların elde edilmesi

Pionlar, protonun bir hedefe çarpıtılması sonucu meydana gelen hadronik etkileşmelerden elde edilirler. $L_{int}=1$ civarında olmalıdır. Kullanılan hedefin materyaline göre oluşan pionların enerjileri değişir. Örneğin ikinci dereceden ışın, 4 mm kalınlığındaki kurşun bir hedefe ($\approx 1 X_0$, $\approx 0 L_{int}$) çarpıtılırsa hemen hemen pionların çoğu -120 GeV/c' de savrulurlar ve böylece çok düşük enerjili saf elektronlar oluşmaktadır. Aynı ışın 40 cm'lik Berilyum (Be) hedefe ($\approx 1 X_0$, $\approx 1 L_{int}$) çarpıtıldığında ise burada karışık ışın yani pion ve elektronların her ikisi de oluşmaktadır. 40 cm'lik bakır hedef kullanıldığında ($\approx 30 X_0$, $\approx 3 L_{int}$) ise; elektronlar emilir pionlar etkileşme yapmak için ve düşük enerjili pionları oluşturmak için yeteri kadar zamana sahiptirler ve buradan hadronlar oluşmaktadır[11].

4.2 Elektronların elde edilmesi

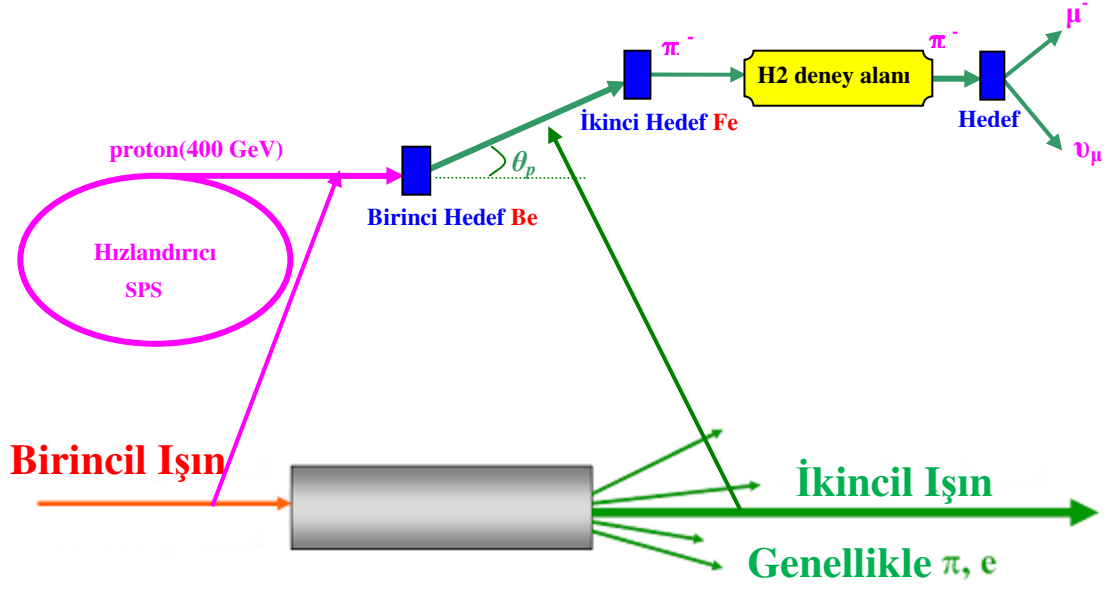
Elektronlar, elektromanyetik süreçte oluşur. $X_0=1$ civarında olmalıdır. Şekil 4.2.1 de görüldüğü gibi proton hedefe çarptığında yüklü ve nötr parçacıklar oluşur. Güçlü bir manyetik alandan (manyetik hedef) dolayı yüklü parçacıkların hepsi saptırılır veya engellenir. Geride kalan yüksüz fotonlar dönüştürücü kurşun levhaya çarparak elektron-positron çiftini oluştururlar. Daha sonra ya elektronlar ya da pozitronlar ışın çizgisi tarafından taşınabilirler. [11]



Şekil 4.2.1 Proton ışınından elektronların elde edilme şeması[11].

4.3 Müonların elde edilmesi

Müonlar, pion bozunmasından oluşurlar ve onlar minimum kayıp enerji ile materyalin içinden metrelerce geçebilirler. Fakat pionlar müonlara bozunmadan önce bir hedefe daha çarptırılırlar. Bu hedef X_0 / L_{int} oranı büyük olan bir materyalden olmalıdır. Bu yüzden müonlar için berilyum hedef kullanılır (Şekil 4.3.1)[11].

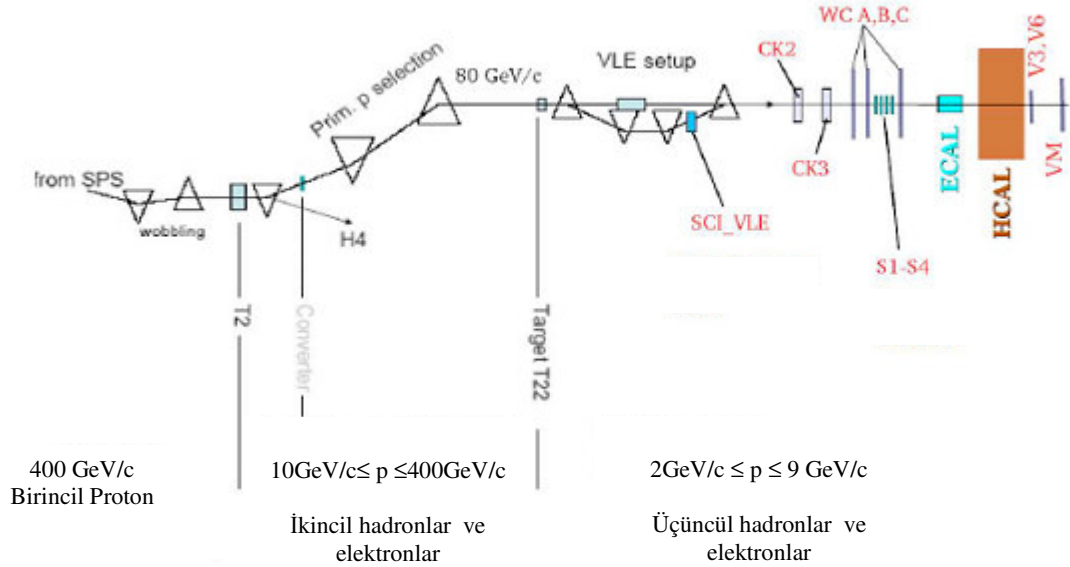


Şekil 4.3.1 400 GeV proton hızlandırarak pion ve müonların oluşum şemaları.

Şekil 4.3.1 de görüldüğü gibi Süper proton hızlandırıcısından (Süper Proton Synchrotron, SPS) hızlandırılan proton ilk önce berilyumdan yapılmış olan birinci hedefe çarptırılır. Burada çoklu saçılma meydana gelir fakat belirli bir üretim açısı θ_p (production θ) ile saçılan parçacıklar seçilip demirden (Fe) yapılmış ikinci bir hedefe çarptırılır. İkinci hedeften çıkan parçacıklardan π^- parçacığını seçebilmek için buradan H2'ye kadar mıknatıs kullanılır ve böylece pozitif yüklü diğer parçacıklar elenmiş olurlar. Burada π^- parçacıkları guruplar halinde toplanırlar. π^- parçacığı burada diğer bir hedefe daha çarptırıldıkları zaman geldiği açıdan daha büyük bir açı ile μ^- parçacığına bozunurlar ve μ^- saçılması gerçekleşir. π^- daha geniş açılarda saçılırken, μ^- daha dar açılarda saçılırlar ve her ikisinde odaklanmış halde deney istasyonuna yani H2' ye getirilirler.

5. H2 IŞIN ÇİZGİSİ

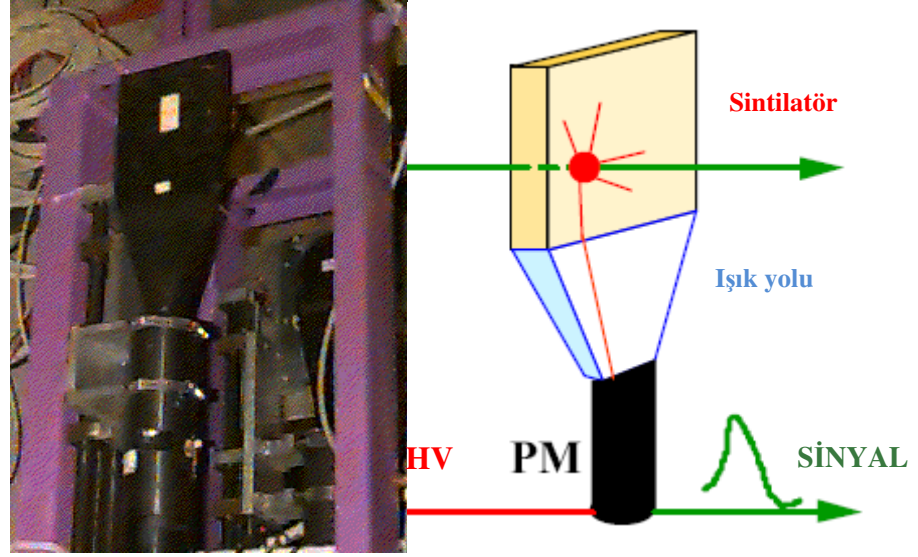
2006 HCAL test ışını çalışmaları, CERN'in kuzey bölgesinde yer alan H2 deney alanında yapıldı. Kullanılan ışın çizgisi Şekil 5.1 de gösterilmiştir. Momentumu $10 \leq p \leq 300$ GeV/c arasında olan parçacıklar için H2'nin normal mıknatıs (magnet) biçimi kullanıldı. 400 GeV/c' lik momentuma sahip olan SPS'den gelen birinci proton ışını birinci hedefe yani T2'e çarpar. Birinci hedeften gelen parçacıklar momentumu $10 \leq p \leq 400$ GeV/c arasında olan bölgede ikincil hadron ya da elektron ışını oluştururlar. Momentumu $p < 10$ GeV/c olan parçacıkları oluşturmak için hedef T22 ve ışın durdurucu ışın çizgisine yerleştirilir. Ek olarak T22' de üretilen parçacıklardan momentumu $2 \leq p \leq 9$ GeV/c arasında olan parçacıkları çok iyi tanımlayabilmek için, çok düşük enerji yolu (very low energy, VLE) boyunca ışın odaklayıcısı ve bağlama elementleri yerleştirildi[12].



Şekil 5.1 CERN H2 test ışını tanımlayan temel elementler[12].

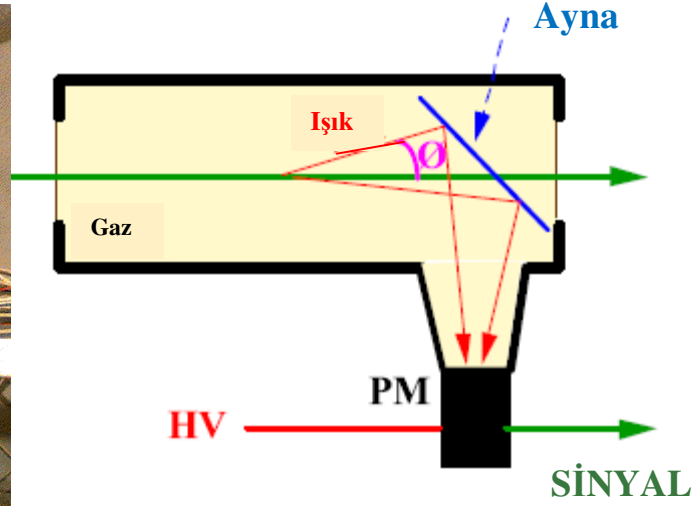
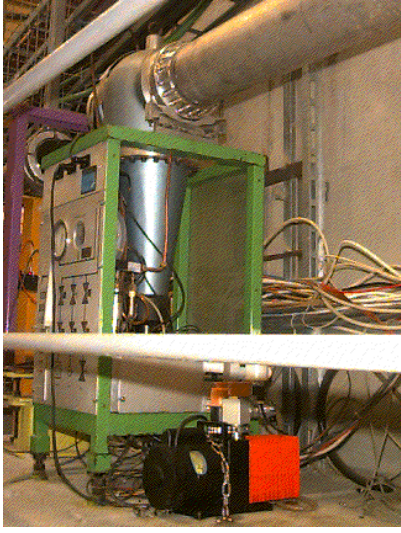
H2 ışın çizgisine yerleştirilen sintilasyon sayıcıları (Resim 5.1) tetiklemeyi sağlamak için ve parçacıkları belirlemek için kullanıldı. Tetikleyici sinyaller, farklı büyüklüklerdeki 4 sintilatör kullanılarak oluşturuldu. Bu sintilatörlerin büyüklükleri sırası ile $14 \times 14 \times 1 \text{ cm}^3$ (S1), $4 \times 4 \times 1 \text{ cm}^3$ (S2), $2 \times 2 \times 1 \text{ cm}^3$ (S3) ve $14 \times 14 \times 1 \text{ cm}^3$ (S4)' dür. Dataların çoğu,

S1, S2 ve S4 sintilatörlerinin iş birliği ile tanımlanan $4 \times 4 \text{ cm}^2$ lik ışın çizgisi ile alınır. Bunlara ek olarak dedektörün içinden geçen fakat dedektör tarafından gözlenemeyen müonları belirlemek için V3, V6 ve VM sintilatörleri kalorimetrenin arkasına yerleştirilmiştir[12].



Resim 5.1 H2 bölgesinde kullanılan Sintilatör dedektör (solda) ve sinyal elde etme tekniği (sağda).

Parçacığın kimliğini tanımlamak için ise Resim 5.2 de bir örneği gösterilen CK2 ve CK3 Cherenkov sayıcıları kullanıldı. CK2 sayıcısındaki gaz basıncı elektronları tanımlamak için belirlendi. Böylece, $p < 20 \text{ GeV}$ lik momentuma sahip pionlar, CK2'de cherenkov ışığı oluşturmazlar. CK3 sayıcısındaki gaz basıncı, $p > 3.5 \text{ GeV}$ lik pion, $p > 2.65 \text{ GeV}$ lik müon, $p > 12.4 \text{ GeV}$ lik kaon ve $p > 23.5 \text{ GeV}$ lik proton sinyallerini vermesi için belirlenmiştir[12].



Resim 5.2 H2'ye yerleştirilen Cherenkov dedektörü (solda) ve iç yapısı.

Kalorimetrelerden önce, ışın çizgisi boyunca birbirlerini etkileyen parçacıklar, yerleştirilen 3 tel odacığındaki (wire chambers, WC) çoklu çarpışmalar (multiple hits) tarafından belirlenir. Her birinin etki bölgesi 10 x 10 cm' dir. Bu yerleştirilen bütün tel odacıkları, yüklü parçacıkların dikey ve yatay koordinatlarını ölçmek için 2 dikey düzlemli (x ve y) tele sahiptir. Bu odacıkların hepsi, ışın çizgisi boyunca etkileşen parçacıklardan oluşan duşları seçmek için gelişmiş elektroniğe sahiptir. Çok düşük enerjide data alımı durumunda ışının çok düşük enerji yolunu takip ettiğinden emin olmak için ışın çizgisine, ek bir sintilatör (Scintillation Very Low Energy, SCI_VLE) dahil edilmiştir. Bu T22 ikincil hedefinden hemen sonra yerleştirilen ışın engelinden ortaya çıkan müonları elemek için kullanıldı[12].

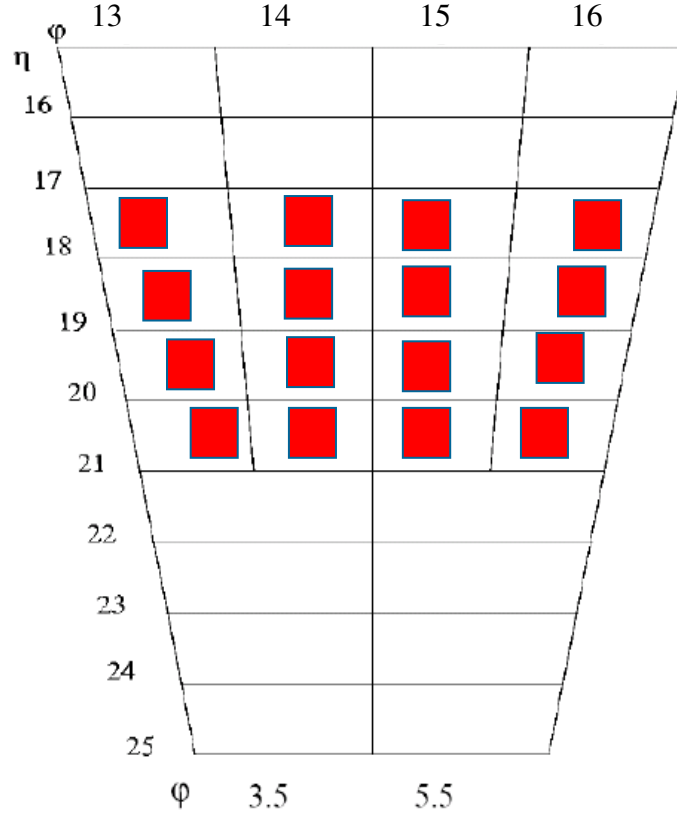
6. 2006 HCAL TEST İŞİNİ DENEYİ

2006 HCAL test ışını deneyi, CMS hadronik kalorimetresinin performansını görmek için yapıldı. CMS'in amacına ulaşabilmesi için kalorimetrelerin farklı parçacıklara vereceği cevabı ölçmek ve anlamak çok önemlidir. Bu nedenle 2006 Temmuz-Ağustos ayları boyunca CERN test ışını alanı olan H2 da pion, elektron ve müon ışınları kullanılarak, Hadron kalorimetrelerinin parçaları olan HE, HB, HO ve ECAL dedektörleri test edildi. Yapılan testlerin bir bölümünde de Hadron kalorimetresinin bir parçası olan HE örnek dedektörünün kalibrasyonu yapılmıştır. Bu kalibrasyon yöntemi aşağıda detaylı olarak işlenecektir.

Bu test ışınında süper proton hızlandırıcısından (Süper Proton Synchrotron, SPS) gelen 400 GeV de proton ışını kullanılmıştır, proton ışını farklı hedeflere çarptırılarak farklı enerjilerde pion (20, 50, 100, 150 GeV), elektron (20, 30, 50, 100, 150 GeV) ve müon (150 GeV) ışınları elde edilmiştir.

HE kalibrasyonu için 150 GeV negatif müon ışını kullanılmıştır. HE'nin Fiziksel η 'sı (eta) 15,16,17,18,19,20,21 ve ϕ 'ı (phi) 13,14,15,16 olarak belirlenmiştir. Biz bu test de 4 tane ϕ (13,14,15,16 veya 3,4,5,6) ve 4 tane η (18,19,20,21) ya karşılık gelen katmanlar için (Bknz Şekil 6.1) sintilatörlerin kalibrasyonuna baktık. Bunun nedeni ise bu dedektöre gönderilen ışınlar tam dedektörün merkezi olan $\eta=19$ $\phi=14.5$ 'e odaklanmış olması ve ilk olarak bu noktanın etrafındaki katmanların kalibrasyonuna ihtiyaç duyulmasıdır.

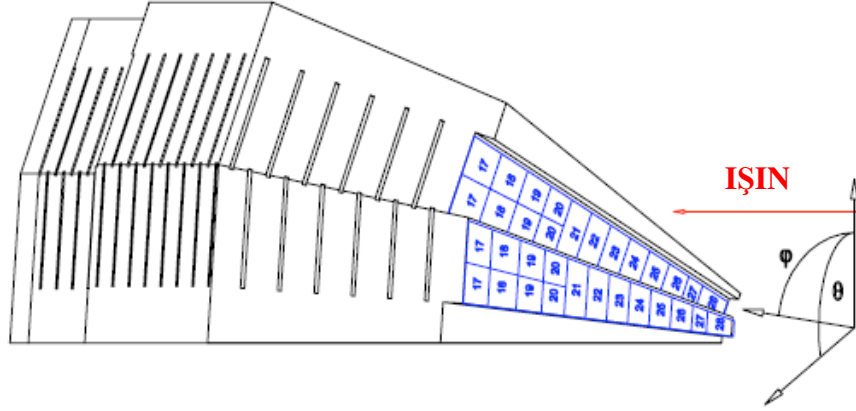
Aşağıda Şekil 6.1 de HE nin bir kulesinin η ve ϕ 'lere ayrılmış şekli basitçe gösterilmiştir. Müon kalibrasyonunu Şekil 6.1 de gösterilen kırmızı bloklar ile işaretlenen bölgeler için yapılmıştır.



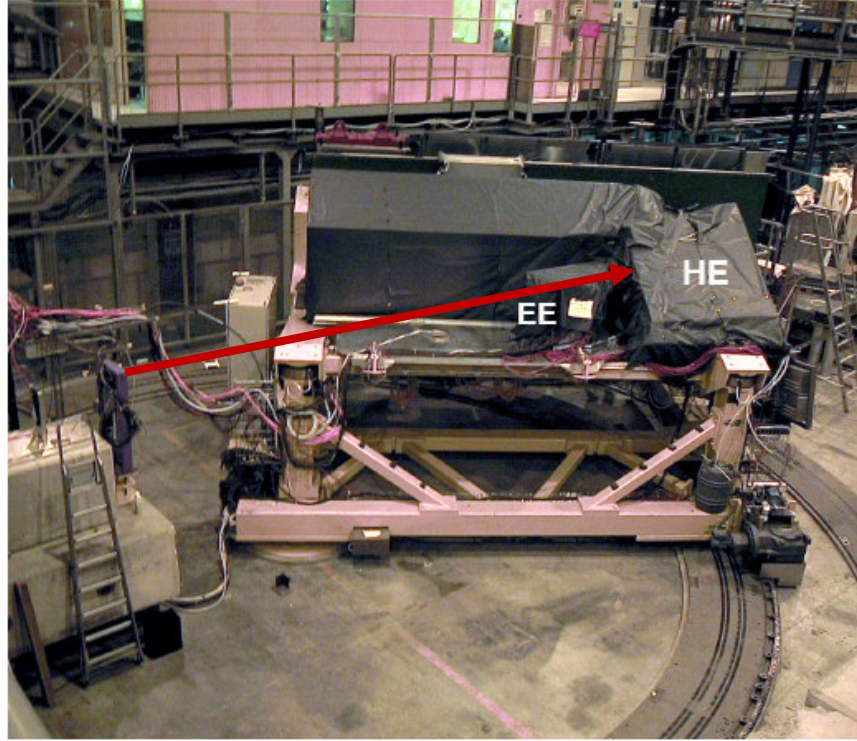
Şekil 6.1 HE kulelerinden bir tanesinin basit olarak gösterilişi. Burada kırmızı bloklar ile gösterilen bölümler örnek seçilmiş kalibre edilecek kulelerdir.

HE kalorimetreleri yukarıdaki Şekil 3.5.4.2 de gösterildiği gibi 3 derinliğe (depth) ayrılmıştır. Dedektöre gelen pionlar genelde 2. derinlikde görülmektedir elektronlar (Şekil 7.2) ise 1. derinlikde görülmektedir. Bunun nedeni ise hadronlar dedektöre girdikten yaklaşık 20 cm sonraki uzaklıkta bozunma yaparak enerjilerini bırakırlar elektronlar ise ilk 20 cm de bozularak enerjilerini bırakırlar. Müonlar için ise durum farklıdır, müonlar minimum iyonlaşan parçacıklar (minimum ionization particles, MIP) olduklarından dolayı minimum iyonlaşma enerjilerini dedektörlerde bırakacaklardır ve bütün derinliklerde eşit enerji bırakmaları beklenmektedir. Bundan dolayı bu dedektörleri müon ışını ile kalibre etmek en doğru metottür.

CERN-H2 deney alanındaki test ışını üzerine yerleştirilen HE'nin boylamsal bir kısmı ile çalışılmıştır (Şekil 6.2). HE'nin bu parçası Resim 6.3 de gösterildiği gibi dönen bir platform üzerine yerleştirilmiştir[10].



Şekil 6.2 HE Hadron kalorimetresi prototip kısmının genel görünüşü. Numaralanmış sıfır-katmanlı kulenin görüntüsü[10].



Resim 6.3 Hareket eden platform üzerine monte edilmiş HE prototipi ve EE test ışın modülü.

Platform, η ve ϕ olmak üzere iki yönde hareket etmektedir. Platformun bu iki boyutlu hareketi, ışının istenilen η ve ϕ bölgesi üzerine gönderilmesine olanak sağlar. Platformun konumu elektronik olarak ölçülüp data içerisine kaydedilmiştir.

Işın çizgisi önüne, 1 cm inceliğinde dört sintilatör sayacı yerleştirilmiştir. Bu sintilatörler tetiklemeyi sağlamaktadır. Ayrıca çarpışan parçacıkların her olaydaki konumlarını gözlemleyebilmek için ışın çizgisi önüne iki tel odacığı (wire chamber) dedektörü yerleştirilmiştir[10].

Müon gözlemleri esnasında kuleden saçılan ışık, modeli FEU 85 olan tek bir fotoçoğaltıcı tarafından toplanmıştır. HE'nin 0 katmanından gelen ışık modeli FEU 85 olan ayrı bir fotoçoğaltıcı tarafından beslenmiştir. Pion gözlemleri boyunca 4. Kuleden (19 ve 20) gelen ışık RCA 8579 tipi bir fotoçoğaltıcı ile toplanmıştır. 21. kuleden gelen ışık da, sızan çapraz duşları belirlemek için ayrı bir FEU 85 fotoçoğaltıcısında besletilmiştir. Işın, sızan minimum çapraz pion duşlarından emin olmak için 19. ve 20. kuleler arasındaki merkezde konumlandırılmıştır[10].

7. HE MÜON KALIBRASYON METODU

2006 Test ışını deneyinde HE dedektörünün kalibrasyonu için bir kısım data alınmıştır. Test ışını deney alanında hareket edebilir test platformu üzerine yerleştirilen HE dedektörünün bir dilimi üzerine farklı enerjilerde elektron, pion ve müon gibi parçacıkları içeren çeşitli ışınlar gönderildi. Bu deneyde HE dedektör kalibrasyonu çalışması için 150 GeV de negatif müon (μ^-) ışını kullanıldı.

Dedektöre gönderilen müon ışını η ve ϕ açılara bağlı olarak dedektörde bıraktığı enerji değerleri ölçüldü. Burada $\eta = -\ln \tan(\theta/2)$ Pseudorapidity olarak tanımlanır θ ise ışının geliş yönüne bağlı olan kutupsal açıdır[1]. Bu açı ile ilgili matematiksel detaylar aşağıda gösterilmiştir:

$$\eta = -\ln \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (7.1)$$

$$\tan \frac{\theta}{2} = e^{-\eta}, \quad \frac{\sin \frac{\theta}{2}}{\cos \frac{\theta}{2}} = e^{-\eta}, \quad \frac{\sin \frac{\theta}{2}}{\cos \frac{\theta}{2}} + \frac{\cos \frac{\theta}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}} = e^{-\eta} + e^{\eta}, \quad \frac{\sin^2 \frac{\theta}{2} + \cos^2 \frac{\theta}{2}}{\sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2}} = e^{-\eta} + e^{\eta} \quad (7.2)$$

burada $2 \sin \theta \cos \theta = \sin 2\theta$ eşitliği kullanılarak denklem 7.2

$$\frac{1}{\frac{\sin \theta}{2}} = e^{-\eta} + e^{\eta} \quad (7.3)$$

şeklini alır.

$$\frac{1}{\sin \theta} = \frac{1}{2}(e^{-\eta} + e^{\eta}) = \cosh \eta \Rightarrow \sin \theta = \frac{1}{\cosh \eta} \quad (7.4)$$

Bu denklemden müon ışının geldiği her bir η açısı için θ açısı hesaplanıyor ve $\cos \theta$ değerleri elde ediliyor burada $\cos \theta$ hesaplamamızın nedeni gelen ışının yatay bileşenini almak istememizden dolayıdır. Ancak η uzaysal koordinatı $\eta = (\eta' - 0.5) \times 0.08726$ denkleminde hesaplanır. Buradaki η' müon ışınının HE daire dilimine geldiği açı, 0.08726 sabit sayısı ise her bir 5° 'lik kuyruğun radyal ifadesidir. $\text{Rad } 5^\circ = 0.08726'$ dir.

Bu çalışmada deneyden elde edilen datanın tamamı ele alındı. 4. derinlikteki (4 depth), 3. derinlikteki (3 depth) ve 2. derinlikteki (2 depth) her bir η - ϕ kulelerine gönderilen 150 GeV'lik müon ışını data olarak kaydedildi.

Alınan datalar bilgisayarda CMSSW programı kullanılarak işlenmiştir ve ROOT programı kullanılarak müonların her bir η - ϕ kulesinde bıraktığı Minimum iyonlaşma (Minimum Ionisation Particle, MIP) enerjilerinin ortalama değerleri (Mean) alındı ve bu enerjiler her bir katman (Layer) için $\cos\theta$ ile çarpılarak normalize edildi. Bu kule hangi derinliğe karşılık geliyorsa o derinlikteki katman sayısına bölündü. Bu test de her katmanı daha iyi anlayabilmek için 2, 3 ve 4 lü konfigürasyonlar kullanıldı.

Eğer gelen müon ışını 4. katmanlık bir bölgeye gelmişse müon enerjisinin bir kısmını 2.derinlikte ve bir kısmını da 1. derinlikte bırakacaktır. 2. derinlik için tabaka sayısı 13, 1. derinlik için tabaka sayısı 5'dir. Eğer 3 katmanlık bir bölgeye denk gelmiş ise 2. derinlik için tabaka sayısı 14, 1. derinlik için tabaka sayısı 4'dür. Eğer 2 katmanlık bir bölgeye denk gelmiş ise, 2. derinlik için tabaka sayısı 15, 1. derinlik için tabaka sayısı 3 olarak alınır. Örneğin 4 katman konfigürasyonunda her katman için enerji şu şekilde hesaplanmıştır.

Örnek:(Bknz Çizelge 7.3) $\eta=18$ $\phi=13$ için

$$\eta = (\eta' - 0.5) \times 0.08726 = (18 - 0.5) \times 0.08726 = 1.52705$$

$$\sin \theta = \frac{1}{\cosh \eta} = \frac{1}{\cosh(1.52705)} = 0.414787 \Rightarrow \theta = \sin^{-1}(0.414787) = 24.505$$

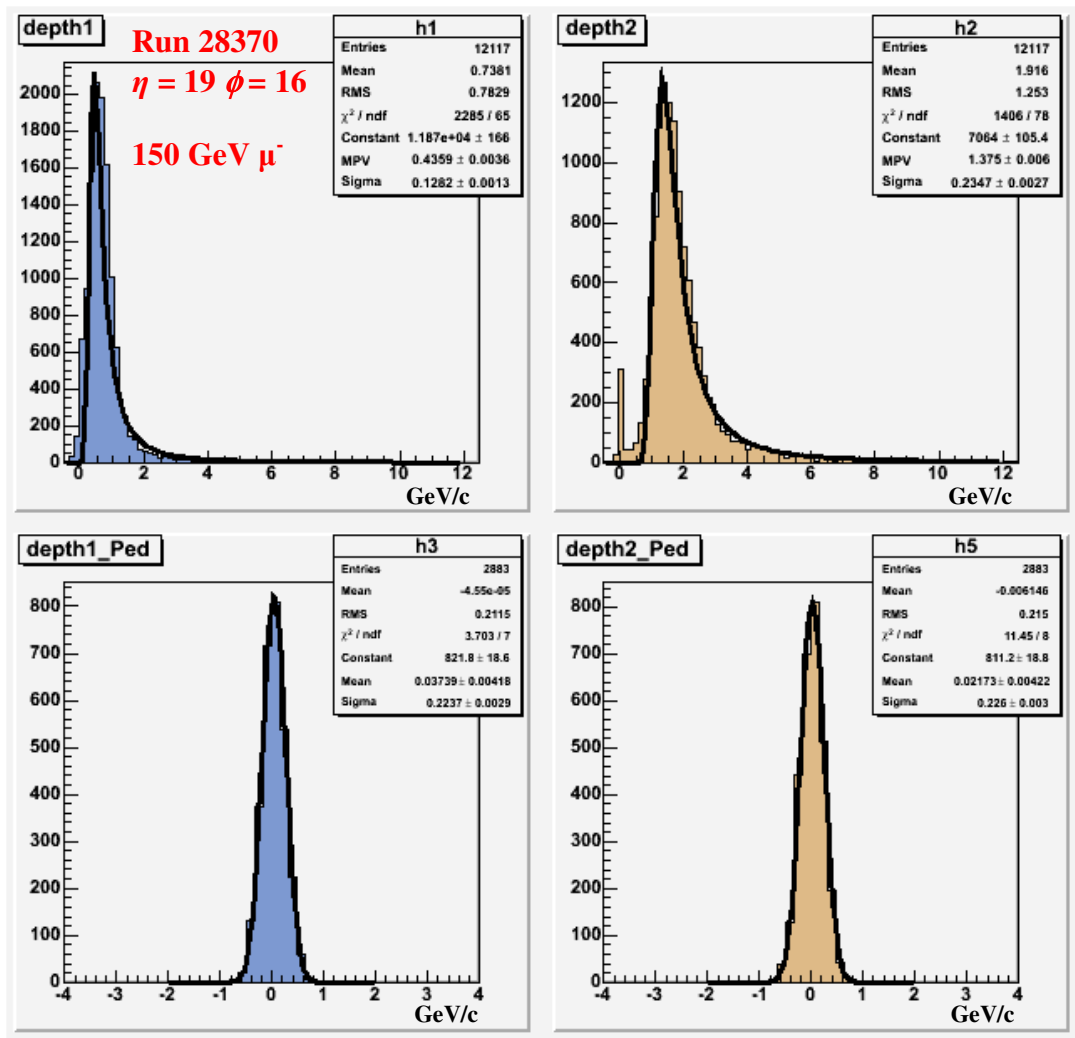
$$\cos \theta = \cos(24.505) = 0.909$$

$$E_1 = \cos \theta \times \frac{\langle \mu_1 \rangle}{5} = 0.909 \times \frac{0.8683}{5} \cong 0.158 \text{ (Derinlik 1 için)}$$

$$E_2 = \cos \theta \times \frac{\langle \mu_2 \rangle}{13} = 0.909 \times \frac{2.257}{13} \cong 0.158 \text{ (Derinlik 2 için)}$$

Burada E_1 ve E_2 derinlik 1 ve 2 deki normalize edilmiş ve tabakalara (derinlik_1=5, derinlik_2=13) bölünmüş enerji değerlerdir, μ_1 ve μ_2 1. ve 2. derinlikteki normalize

edilmeden önceki ortalama (Mean) enerji değerleridir ve $\cos\theta$ ise gelen ışının yatayla yaptığı açıdır. Çizelge 7.1, 7.2 ve 7.3 de görüldüğü gibi 2, 3 ve 4 katmanlı konfigürasyonlar için normalize edilmiş enerji değerleri her derinlikte bulunan tabaka sayısına bölünerek herbir tabakadaki enerji değerleri bulunmuştur. Buradan elde edilen E_1 ve E_2 değerlerinin oranı yani E_2/E_1 değeri bize ilk düzeltme çarpanını verir. Bu düzeltme çarpanını kullanarak müon ışınının her bir derinlikte bıraktığı enerji değerleri eşit hale getirilir. Bunun ile ilgili 4 katmanlı konfigürasyon dan elde edilen 1. derinlik ve 2. derinlik için toplam müon enerjileri ve fonları (pedestal) Şekil 7.1’de gösterilmiştir.



Şekil 7.1 Phi=16 ve Eta=19 için 1. derinlik ve 2. derinlikteki müon enerjileri ve fon değerleri (Konfigürasyon 4 için). Müon enerjileri (üst şekiller), Fonlar (alttaki şekiller).

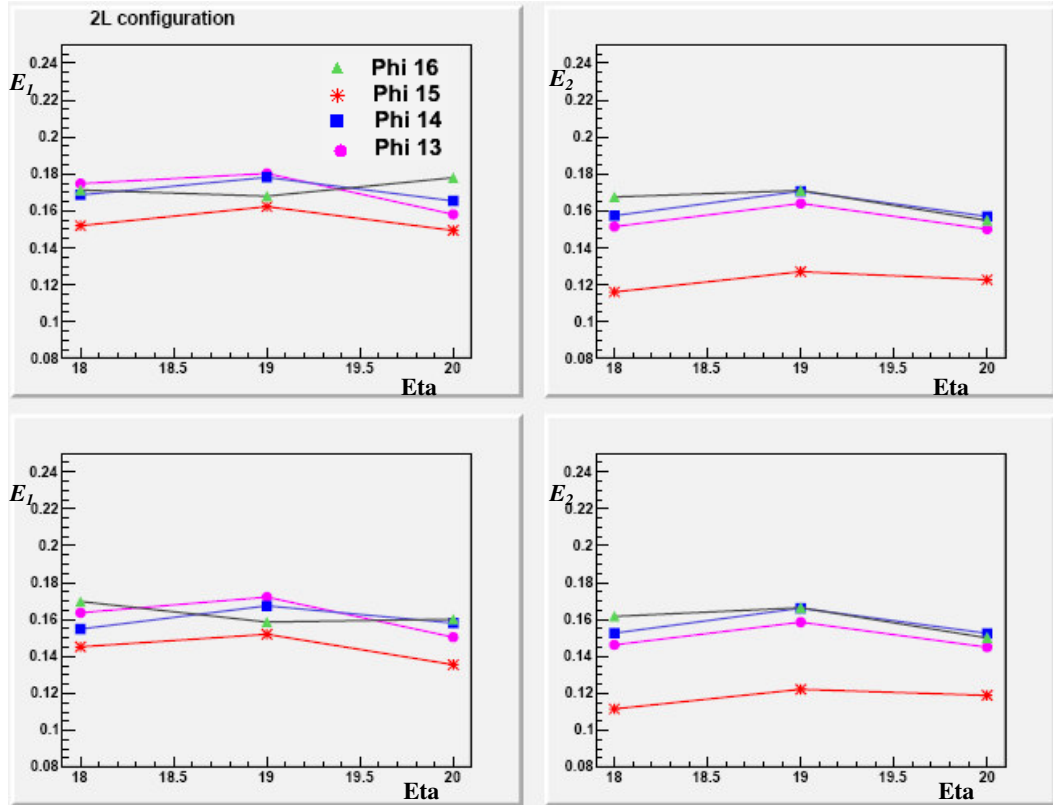
Kalibrasyon sabitlerini (veya düzeltme çarpanlarını) bulurken diğer bir yöntem olarak da müon enerjilerinin %2 lik kısmı atılarak hesaplamalar yapıldı. Bunun nedeni ise bu %2 lik kısmının yüksek enerjili yani kuyruk kısmına denk gelmesidir. Bu kuyruk kısmının müon ışınına değil fon (background) radyasyonuna ait olduğu düşünülmektedir.

Bulunan ilk düzeltme çarpanı her tabaka için ayrı ayrı hesaplanarak ilk düzeltme yapılmıştır. Şekil 7.2, 7.3 ve 7.4 ve Çizelge 7.1, 7.2 ve 7.3 de müon enerjilerinin %2 lik kısım atılmadan ve atıldıktan sonraki değerler 2, 3 ve 4 lü katmalar için gösterilerek η ve ϕ için bulunan ilk kalibrasyon sabitleri gösterilmiştir. Kalibrasyon yapmak için ise biz müon enerjilerinin %2 lik kısmının atılmış şeklini kullandık.

Bu sabitler $\eta=19$, $\Phi=15$ 3x3 kulesine gönderilen 50 GeV elektron ışınına uygulanarak ikinci bir kalibrasyon sabiti çıkartılmıştır. Şekil 7.5 de sol üst köşede görülen şekil 50 GeV deki elektronun 1. derinlikde bıraktığı enerji görülmektedir sağ üstteki ise 50 GeV lik elektronun 2. derinlikde bıraktığı enerji görülüyor burada görüldüğü gibi elektron bütün enerjisini 1. derinlikde bırakmıştır 2. derinlikdeki enerji ise yok denecek kadar azdır. İkinci düzeltme çarpanını bulmak için ise dedektöre gönderilen 50 GeV lik elektron enerjisinin dedektörde bıraktığı 41.48 GeV lik elektronun enerjisine bölerek $50/41.48=1.2$ gibi ikinci bir düzeltme çarpanı elde edilmiştir. Düzeltilmiş en genel enerji ise müonlardan elde edilen birinci düzeltme çarpanı ile elektrondan elde edilen ikinci düzeltme çarpanı kullanılarak elde edilmiştir.

Çizelge 7. 1 2. Katman (2 Layer) Konfigürasyonu.

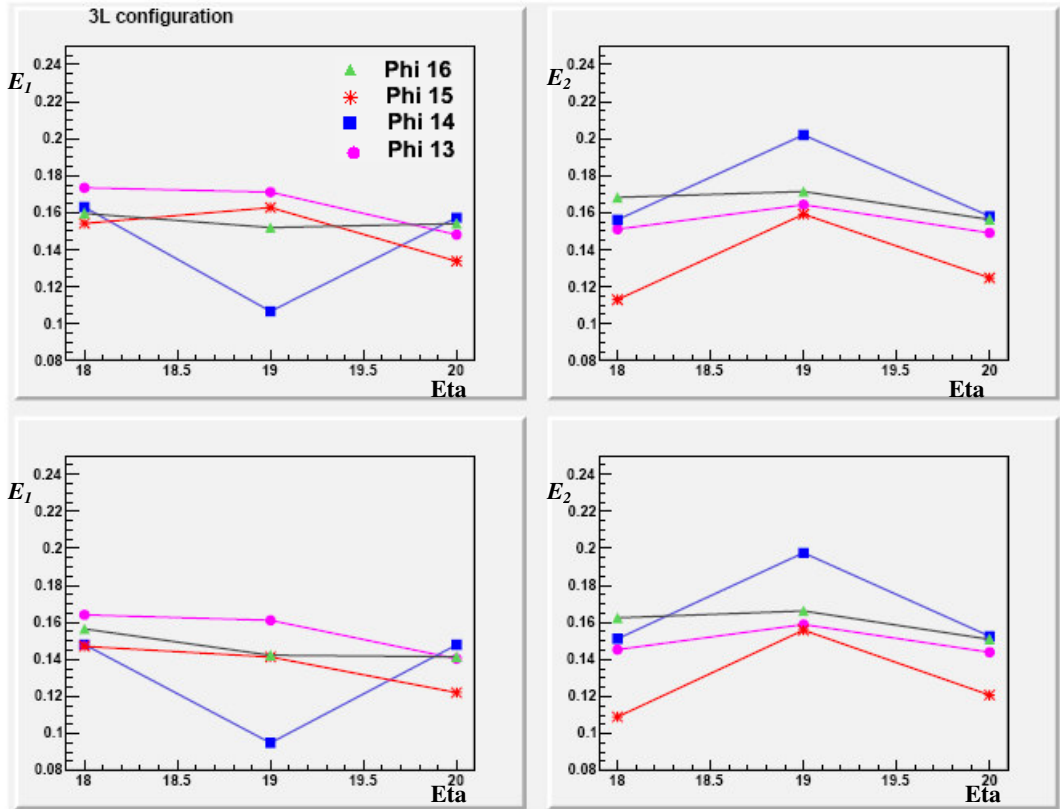
2L		%2 lik bölümün kesilmemiş Enerji değerleri					%2 lik bölümün kesilmiş Enerji değerleri				
η	ϕ	E_1	E_2	E_2/E_1	μ_1	μ_2	E_1	E_2	E_2/E_1	μ_1	μ_2
18	16	0.174781	0.151501	0.866805	0.576253	2.49749	0.163729	0.146325	0.893699	0.539815	2.41216
18	15	0.168646	0.15745	0.933608	0.556027	2.59556	0.154923	0.15267	0.985453	0.510782	2.51676
18	14	0.151979	0.116074	0.763751	0.501076	1.91348	0.145261	0.111634	0.768506	0.478925	1.84029
18	13	0.171302	0.167543	0.978054	0.564783	2.76194	0.169801	0.161735	0.952494	0.559834	2.66619
19	16	0.180272	0.164014	0.909814	0.585428	2.66315	0.172189	0.158624	0.921221	0.55918	2.57564
19	15	0.178132	0.170685	0.958191	0.57848	2.77147	0.167458	0.166206	0.992521	0.543817	2.69875
19	14	0.162299	0.127074	0.782962	0.527063	2.06335	0.152065	0.122239	0.80386	0.493828	1.98484
19	13	0.167981	0.171062	1.01834	0.545514	2.77759	0.158672	0.16643	1.04889	0.515284	2.70238
20	16	0.158126	0.150097	0.949226	0.507027	2.40642	0.150471	0.14506	0.964044	0.482481	2.32567
20	15	0.165385	0.157006	0.949338	0.530303	2.51718	0.158125	0.152572	0.964878	0.507025	2.44609
20	14	0.149403	0.122698	0.82126	0.479057	1.96715	0.135593	0.118957	0.877308	0.434777	1.90717
20	13	0.178003	0.154852	0.869938	0.570763	2.48264	0.160223	0.150107	0.936864	0.513753	2.40658



Şekil 7. 2 2. Katmandaki her bir eta ve phi için bulunan kalibrasyon sabitleri (üst iki şekil %2 lik bölüm atılmamış hali alttaki iki şekil ise atılmış (Truncated) hali).

Çizelge 7. 2 3. Katman (3 Layer) Konfigürasyonu.

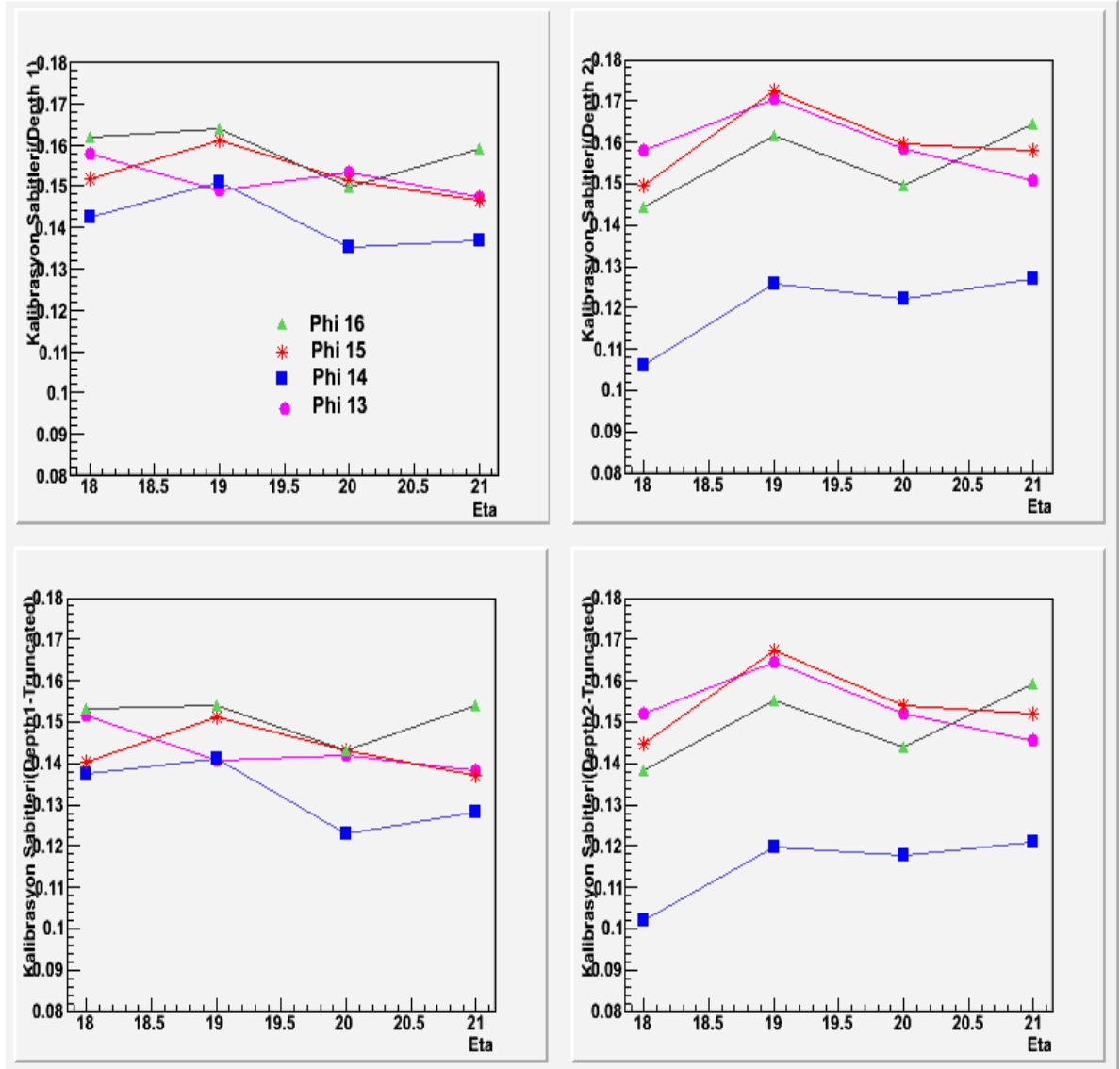
3L		%2 lik bölümün kesilmemiş Enerji değerleri					%2 lik bölümün kesilmiş Enerji değerleri				
η	ϕ	E_1	E_2	E_2/E_1	μ_1	μ_2	E_1	E_2	E_2/E_1	μ_1	μ_2
18	16	0.17344	0.15107	0.871019	0.762443	2.32436	0.164129	0.145365	0.885673	0.721511	2.23658
18	15	0.162953	0.156181	0.958443	0.716342	2.40301	0.148086	0.151174	1.02085	0.650986	2.32596
18	14	0.154181	0.113013	0.732989	0.67778	1.73882	0.147111	0.109017	0.741052	0.6467	1.67733
18	13	0.159586	0.168255	1.05432	0.701539	2.58878	0.156528	0.162515	1.03825	0.688098	2.50045
19	16	0.171085	0.16428	0.960225	0.740794	2.48965	0.161165	0.158927	0.98611	0.69784	2.40851
19	15	0.106696	0.201957	1.89283	0.46199	3.06064	0.094954	0.197628	2.0813	0.411148	2.99502
19	14	0.162748	0.159159	0.977952	0.704692	2.41204	0.141353	0.15587	1.1027	0.612054	2.3622
19	13	0.151958	0.171419	1.12807	0.657974	2.59784	0.142316	0.166229	1.16803	0.616223	2.51918
20	16	0.148113	0.149057	1.00637	0.63323	2.23043	0.140441	0.143924	1.0248	0.600427	2.15361
20	15	0.157297	0.158099	1.0051	0.672492	2.36573	0.147923	0.152575	1.03145	0.632416	2.28307
20	14	0.133781	0.124791	0.932801	0.571954	1.86732	0.122125	0.989116	0.120796	0.522121	1.80753
20	13	0.15406	0.156303	1.01456	0.658655	2.33885	0.141481	0.150909	1.06664	0.604874	2.25814



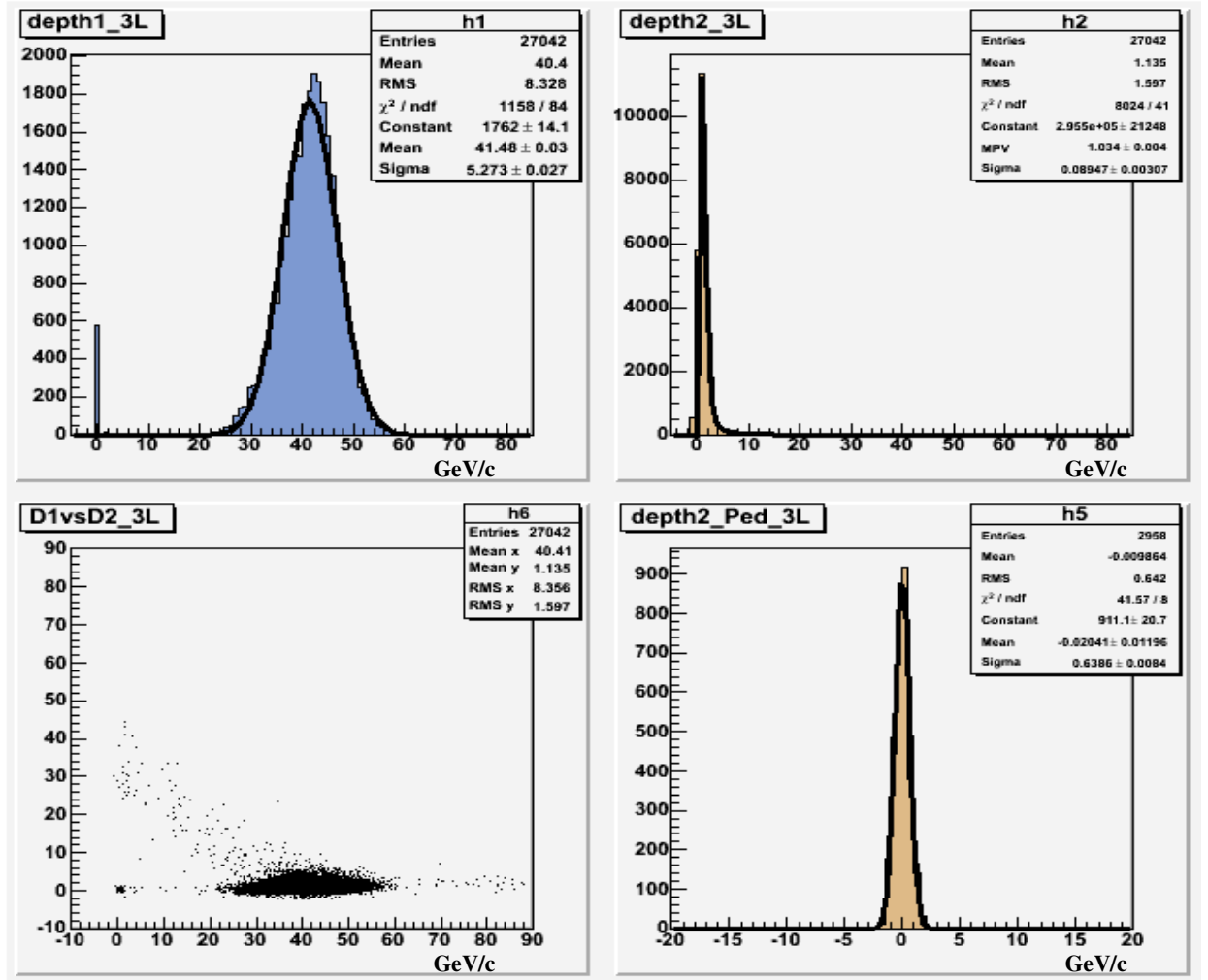
Şekil 7.3 3. Katmandaki her bir eta ve phi için bulunan kalibrasyon sabitleri (üst iki şekil %2 lik bölüm atılmamış hali alttaki iki şekil ise atılmış (Truncated) hali).

Çizelge 7.3 4. Katman (4 Layer) Konfigürasyonu.

4L		%2 lik bölümün kesilmemiş Enerji değerleri					%2 lik bölümün kesilmiş Enerji değerleri				
η	ϕ	E_1	E_2	E_2/E_1	μ_1	μ_2	E_1	E_2	E_2/E_1	μ_1	μ_2
18	13	0.158026	0.15798	0.999711	0.868352	2.25706	0.151468	0.151814	1.00229	0.832315	2.16897
18	14	0.1426	0.106084	0.743926	0.783589	1.51562	0.137516	0.101944	0.741326	0.755651	1.45648
18	15	0.151898	0.14942	0.983688	0.834677	2.13476	0.14037	0.144581	1.03000	0.771334	2.06563
18	16	0.161723	0.144148	0.891323	0.888669	2.05944	0.15315	0.13826	0.902776	0.841556	1.97532
19	13	0.148889	0.170517	1.14526	0.805856	2.39958	0.140755	0.164448	1.16833	0.761832	2.31418
19	14	0.150977	0.125671	0.832383	0.817159	1.76849	0.140933	0.119907	0.85081	0.762795	1.68738
19	15	0.161196	0.172593	1.0707	0.872468	2.42879	0.151041	0.167113	1.10641	0.817504	2.35168
19	16	0.163796	0.161827	0.987976	0.886542	2.27729	0.153821	0.155153	1.00866	0.83255	2.18338
20	13	0.153517	0.158493	1.03242	0.820415	2.20222	0.141994	0.152173	1.07168	0.758837	2.11441
20	14	0.135098	0.122169	0.904294	0.721984	1.6975	0.123135	0.117836	0.956962	0.658053	1.6373
20	15	0.151248	0.159712	1.05596	0.80829	2.21915	0.142917	0.154042	1.07785	0.763767	2.14038
20	16	0.149661	0.149513	0.999015	0.799806	2.07745	0.143302	0.144033	1.00511	0.765823	2.00131
21	13	0.147363	0.150626	1.02214	0.779174	2.07071	0.138265	0.145678	1.05361	0.73107	2.00269
21	14	0.136663	0.127075	0.929836	0.7226	1.74694	0.128018	0.120987	0.945081	0.676885	1.66325
21	15	0.146583	0.157942	1.07749	0.775048	2.17128	0.136961	0.152071	1.11032	0.724173	2.09057
21	16	0.158871	0.164657	1.03642	0.84002	2.26359	0.153855	0.159083	1.03398	0.8135	2.18697



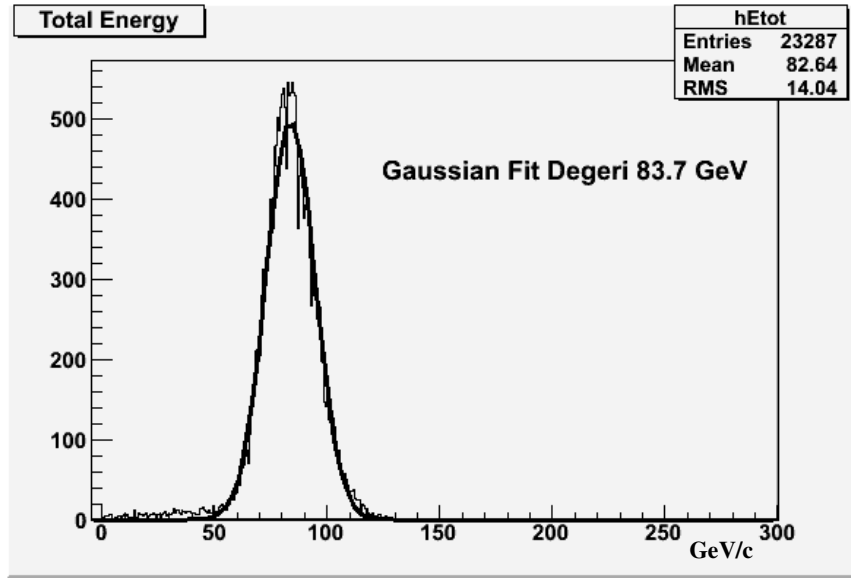
Şekil 7.4 4. Katmandaki her bir eta ve phi için bulunan kalibrasyon sabitleri (üst iki şekil %2 lik bölüm atılmamış hali alttaki iki şekil ise atılmış (Truncated) hali).



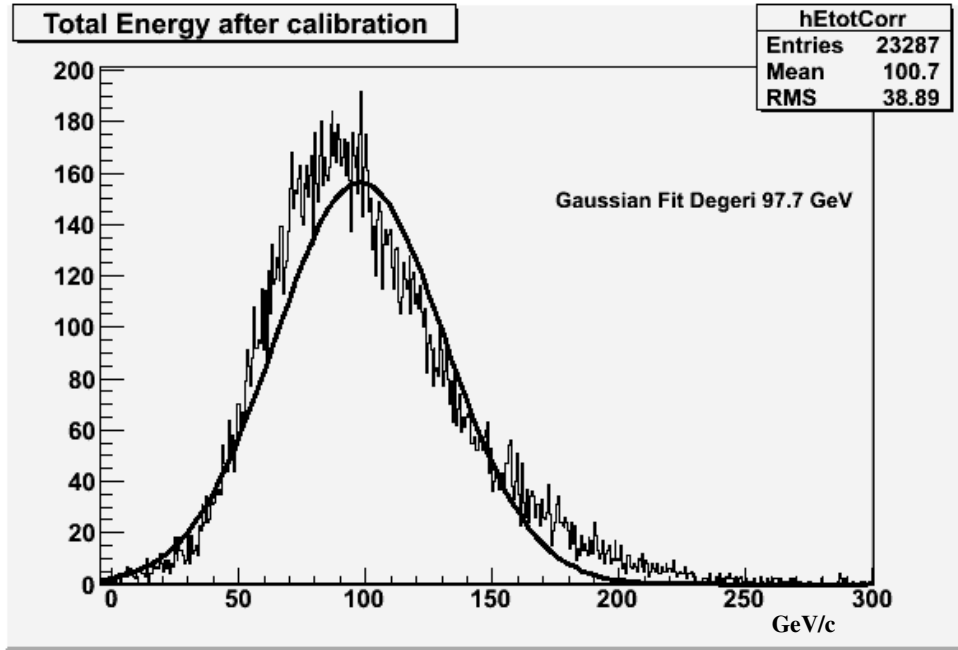
Şekil 7.5 50 GeV/c'lik elektron ışınının 1. derinlik (sol üst) ve 2. derinlikde (sağ üst) bıraktığı enerji miktarları. 1. derinlik ile 2. derinliğin karşılaştırılması (sol alt) ve fondaki ışın (sağ alt).

8. SONUÇ

Dedektöre gelen ışınların bir kısmı dedektör içinde kaybolmaktadır. Bu dedektörün yapısından veya diğer etkilerden olabilir, bunu anlamak ve düzeltmek açısından dedektör kalibrasyonu büyük önem taşımaktadır. Örneğin bu çalışmada bulunan düzeltme çarpanları 100 GeV de dedektöre gönderilen pion ışını üzerinde kullanılarak test edilmiştir. Şekil 7.6 da 100 GeV deki pion enerjisinin düzeltmeden önce ve Şekil 7.7 de düzeltmeden sonraki enerji değerleri görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi düzeltmeden önceki 100 GeV lik pion'ın enerjisi 83.7 GeV olarak dedektörden okunmuşken düzeltmeler sonucunda bu değer 97.7 GeV'ye kadar düzeltilmiştir. CMS deneyindeki bu dedektörler ile ilgili tam kalibrasyon çalışmaları devam etmektedir. Işın kalibrasyonu yanında ileriki zamanlarda kaynak kalibrasyonunda yapılacaktır.



Şekil 7.6 1. derinlik ve 2. derinlikdeki toplam 100 GeV'lik düzeltilmemiş pion enerjisi.



Şekil 7.7 1. derinlik ve 2.derinlikdeki toplam 100 GeV'lik düzeltilmiş pion enerjisi.

KAYNAKLAR

- [1] CMS Collaboration “Detector Performance and Software”, **CMS Physics Technical Design Report, Volume 1**, (2006).
- [2] R. Breedon *et al.* “CSC Strip, Wire, and Chamber Orientation”, **CMS Internal Note 2000/004 version 2.1**, (2005).
- [3] http://www.physto.se/~lipniack/neut/lic/lic_html/node26.html (02.01.2008).
- [4] CMS Collaboration, “The Magnet Project Technical Design Report,” **CMS TDR 1**, CERN/LHCC 97-010 (1997).
- [5] CMS Collaboration, “The Müon Project Technical Design Report,” **CMS TDR 3**, CERN/LHCC 97-32(1997).
- [6] L.Borello, A.Messineo, E. Focardi, and A. Macchiolo, “Sensor design for the CMS silicon strip tracker”, **CMS Note 2003-020**(2002).
- [7] http://hepwww.rl.ac.uk/OpenDays97/CMS_ecal.htm (29.01.2008).
- [8] CMS Collaboration, “CMS: Hadronic calorimetry, jets, and *E/T* performance”, **Eur Phys J C 34**, s01, s99–s108 (2004).
- [9] <http://fef.kafkas.edu.tr/cms> (29.01.2008).
- [10] G. Baiatian et al, “Design, Performance, and Calibration of CMS Hadron-Endcap Calorimeter Wedges”, **CMS Note in preparation** (2006).
- [11] <http://ab-div-atb-ea.web.cern.ch/ab-div-atbea/documentation/Lectures/Training2Operators.pdf> (15.01.2008).
- [12] CMS HCAL Collaboration, “Energy Response and Longitudinal Shower Profiles Measured in CMS HCAL and Comparison With Geant4” (http://jrohlf.home.cern.ch/jrohlf/tb04_LE_v5.pdf)(2008).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özlem KAYA

Doğum Yeri : Bafra

Doğum Tarihi : 27-12-1980

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bafra Lisesi

Lisans : Kafkas Üniversitesi

Yüksek Lisans: Kafkas Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Kafkas Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, 2005-

Yayımları (SCI ve diğer)

1. CMS physics: Technical design report.

By CMS Collaboration (G.L. Bayatian, O.Kaya et al.). CERN-LHCC-2006-001,
CMS-TDR-008-1, 2006. 521pp

2. CMS technical design report, volume II: Physics performance.

By CMS Collaboration (G.L. Bayatian, O.Kaya *et al.*). CERN-LHCC-2006-021,
CMS-TDR-008-2, 2007. 585pp.

Published in **J.Phys.G34:995-1579, 2007.**

Diğer konular (Katıldığı yaz okulları)

1. ICFA summer school, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2005
2. Parçacık Hızlandırıcı ve Dedektör Yaz okulu, Bodrum, 2006