

**T.C.
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HGCAL'IN DOĞRUSALLIĞININ FARKLI ENERJİ
DEĞERLERİNDEKİ FOTON VE PİYON PARÇACIKLARI İLE
OLUŞTURULAN MONTE KARLO VERİLERİYLE
İNCELENMESİ**

LÜTFİ AKAN

FİZİK ANABİLİM DALI

ADYAMAN, 2022

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HGCAL'IN DOĞRUSALLIĞININ FARKLI ENERJİ DEĞERLERİNDEKİ FOTON VE PİON PARÇACIKLARI İLE OLUŞTURULAN MONTE KARLO VERİLERİYLE İNCELENMESİ

Lütfi AKAN

Adıyaman Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Bayram TALİ
Yıl : 2022, Sayfa sayısı: 80

Jüri : Prof. Dr. Mustafa TOPAKSU
: Doç. Dr. Bayram TALİ
: Doç. Dr. Niyazi YÜKÇÜ

Yüksek Işıklılık-Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (YI-BHÇ) programı kapsamında, Compact Muon Solenoid (CMS) deneyinin uç kapak kalorimetresinin değişik nedenlerden dolayı yenilenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda yüksek tanecikli kalorimetre (HGCAL) geliştirilmektedir. HGCAL, bir örnekleme kalorimetresi olup hem elektromanyetik hem de hadronik kısım içermektedir. HGCAL benzeri görülmemiş enine ve boyuna okuma ve tetikleyici özelliklerine sahiptir. Bu kalorimetrenin diğer özellikleri yanında yazılım olarak da yenilenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, foton ve pion parçacıkları için iki farklı yöntem ile üretilen verilerin yardımı ile kalorimetrenin enerji doğrusallığı ve dedektör verimliliği incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: CMS; HGCAL; Doğrusallık; Verimlilik

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF HGICAL'S LINEARITY WITH PHOTON AND PION PARTICLES IN DIFFERENT ENERGY CREATED BY MONTE CARLO DATA

Lütfi AKAN

Adiyaman University
Graduate Education Institute
Department of Physics

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Bayram TALİ
Year : 2022 , Number of pages: 80
Jury : Prof. Dr. Mustafa TOPAKSU
: Assoc. Prof. Dr. Bayram TALİ
: Assoc. Prof. Dr. Niyazi YÜKÇÜ

As a part of the High Luminance-Large Hadron Collider (HL-LHC) program, the end cap calorimeter of the Compact Muon Solenoid (CMS) experiment needs to be upgraded for various reasons. In this context, High Granularity Calorimeter (HGICAL) is being developed. The HGICAL is a sampling calorimeter and includes both electromagnetic and hadronic parts. HGICAL has unprecedented transverse and longitudinal readout and trigger capabilities. This calorimeter needs to be renewed as software as well as other features. In this context, the energy linearity and detector efficiency of the calorimeter were investigated with the help of data produced by two different methods for photon and pion particles.

Keywords: CMS; HGICAL; Linearity; Efficiency

BEYAN

“HGCAL’ın Doğrusallığının Farklı Enerji Değerlerindeki Foton ve Pion Parçacıkları ile Oluşturulan Monte Karlo Verileriyle İncelenmesi” başlıklı tezimde çalışmaların tamamen akademik kurallara ve etik değerlere sadık kalınarak yürütüldüğünü ve yazımda yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ayrıca alıntılardan bilimsel etiğe uygun atıf yaparak yararlanmış olduğumu beyan ederim.

Lütfi AKAN
imza

TEŞEKKÜR

Bu tezin planlanıp hazırlanmasında, konunun belirlenmesinde, verilerin toplanıp analiz edilmesinde, tezin yazımı sırasında öneri ve düzeltmeleriyle katkı sunan her türlü bilgi, tecrübe ve desteğini esirgemeyip bana maddi ve manevi güç veren, sabrı ve hoşgörüsü ile akademik çalışmalarımın haricinde bana örnek olan, yenilikçi fikirleri ile bana destek veren çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Bayram TALİ'ye çok teşekkür ederim.

Tezimi okuyup olumlu eleştiriler ve düzeltmelerde bulunan Prof. Dr. Mustafa TOPAKSU ve Doç. Dr. Niyazi YÜKÇÜ hocalarıma çok teşekkür ederim.

Ayrıca tez yazımı sırasında katkılarını esirgemeyen sevgili kardeşim Mahmut AKAN'a ve çalışmam boyunca bana manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
BEYAN.....	III
TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	6
2.1. Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi.....	6
2.2. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı.....	7
2.2.1. ATLAS Deneyi	10
2.2.2. ALICE Deneyi.....	11
2.2.3. LHCb Deneyi	12
2.2.4. CMS Deneyi.....	13
2.2.4.1. CMS'in Koordinat Sistemi.....	14
2.2.4.2. İzleyici Sistemi.....	15
2.2.4.3. Süper Selenoid Mıknatıs	17
2.2.4.4. Müon Odacıkları	18
2.2.4.5. Elektromanyetik Kalorimetre	19
2.2.4.6. Hadronik Kalorimetre	20
2.2.4.7. Hadronik Fıçı Kalorimetresi	22
2.2.4.8. Hadronik Uç Kapak Kalorimetresi.....	23
2.2.4.9. Hadronik Dış Kalorimetresi	25
2.2.4.10. İleri Hadron Kalorimetresi	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM	28
3.1. Kalorimetreler	28
3.2. HGCal Tasarımına Genel Bakış	31
3.2.1. HGCal'ın Mekanik Tasarımı	32
3.2.2. Silikon Sensörlerin Tasarımı	35
3.2.3. Sensör Hücreleri	37
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	40
4.1. HGCal Enerji Doğrusallığı	49
4.2. HGCal Dedektör Verimliliği	54
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
5.1. HGCal'ın Enerji Doğrusallığı Sonuçları.....	59
5.2. HGCal Dedektör Verimliliği Sonuçları	60
5.3. Öneriler.....	62
KAYNAKLAR	63
KİŞİSEL BİLGİLER.....	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 HGCAL'ın EE, FH&BH'nin ana parametreleri [35].....	33
Çizelge 3.2 Farklı kalınlıktaki silikon sensörlerin yerleşimi ve özellikleri [35].....	36
Çizelge 3.3 Hücre tiplerinin sayıları ve okuma kanalları [38].....	38



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 SM'nin temel parçacıkları ve aileleri görünmektedir [2]	2
Şekil 1.2 Birden fazla dedektör içeren modern sistemin şematik görüntüsü	4
Şekil 2.1 CERN hızlandırıcı kompleksinin görünümü [11]	9
Şekil 2.2 ATLAS Deneyinin şematik yapısı [12]	10
Şekil 2.3 ALICE Deneyinin şematik yapısı [15]	11
Şekil 2.4 LHCb dedektörünün kesit görüntüsü [16]	12
Şekil 2.5 CMS deneyinin, alt dedektörleri ile şematik genel görünümü [20]	14
Şekil 2.6 CMS deneyinin koordinat sistemi gösterimi	15
Şekil 2.7 İç izleyicideki şerit dedektörlerin şematik görünümü	16
Şekil 2.8 CMS deneyinin süperiletken mıknatısı [23]	17
Şekil 2.9 CMS deneyinin müon odacıkları [24]	18
Şekil 2.10 Bir Müon'un CMS deneyindeki etkileşim simülasyonu [24]	18
Şekil 2.11 CMS'nin EKAL kalorimetresinin şematik görünümü [25]	20
Şekil 2.12 CMS'in HKAL kalorimetresi ile alt kalorimetrelerini gösterimidir [27] ..	21
Şekil 2.13 HB'nin özdeş 18 tane kama gösterimi	22
Şekil 2.14 HB'de $\Delta\phi=20^\circ$ açılara bölünmüş kamaların gösterimi [28]	23
Şekil 2.15 CMS'in Hadronik Kapak genel görüntüsü [29]	24
Şekil 2.16 Uç kapak demir boyunduruğuna yerleştirilen HE [30]	24
Şekil 2.17 HO'nun şematik genel görüntüsü	25
Şekil 2.18 HF'nin şematik bir görünüşü	26
Şekil 2.19 HF kulelerine yerleştirilen kuartz fiberlerinin görseli	27
Şekil 3.1 Elektromanyetik çağlayanın şematik gelişimi	29
Şekil 3.2 Elektromanyetik kısmı da içeren hadronik duşların oluşumu	29
Şekil 3.3 FLUKA simülasyon programı kullanılarak YI-BHÇ'de CMS ENDCAP kısımında r ve z koordinatları boyunca maruz kaldığı doz seviyesinin gösterimi [34]	31
Şekil 3.4 HGCal genel yapısının ve EE, FH, ve BH kısımlarının teknik çizimi [35]	32
Şekil 3.5 Boş yuvalarla alternatif tungsten soğurucu plakaları birleştiren EE karbon- fiber yapısı (sol). Bir kaset yapısının bir yuvaya yerleştirilmesi (sağ) [35]	34
Şekil 3.6 HGCal'in uzunlama yapısındaki kaset tipleri [37]	35
Şekil 3.7 Farklı sensörlerin aktif kalınlıklarına göre konumu. Daha ince sensör, beklenen nötron akısının daha yüksek olduğu kalorimetrenin daha iç kısmına yerleştirilmiştir [37]	36
Şekil 3.8 Bir modülde hücre tiplerinin gösterimi [38]	37
Şekil 3.9 Altıgen plaka ile BDK okuma bağlantılarının yakınlaştırılmış bir görüntüsü [37]	39
Şekil 4.1 MC simülasyonu ile HGCal'da yeniden yapılandırılan parçacıkların görünümü [3]	40
Şekil 4.2 Parçacık çağlayanından dolayı tabakalardaki depolanan enerji aracılığı ile recHit, tabakadaki küme (layer cluster (lc)) ve trackster görünümü [3]	41
Şekil 4.3 Tabakalardaki recHit'ler yardımıyla trackster'in yapılandırılması [3]	42

Şekil 4.4 Foton, Elektron, Pion ve Kaon parçacıklarının CloseByParticleGunProducer yöntemi ile z-eksenindeki konumlarının dağılımı	43
Şekil 4.5 Foton, Elektron, Pion ve Kaon parçacıklarının Pythia8PtGun metodu ile z-eksenindeki konumlarının dağılımı.....	44
Şekil 4.6 CloseByParticleGunProducer ile Pythia8PtGun metotları ile üretilmiş 100 GeV enerjili fotonun enerji dağılımı	45
Şekil 4.7 CloseByParticleGunProducer ile Pythia8PtGun metotlarının verilerini aynı koşullarda analiz etmek üzere HGAL üç bölgeye ayrılışını göstermektedir...	45
Şekil 4.8 100 GeV enerjili fotonların hem CloseByParticleGunProducer hem de Pythia8PtGun metotları ile üç bölgede (a) birinci bölge, (b) ikinci bölge ve (c) üçüncü bölge ve (d) her hangi bir kısıtlama olmadan kaybettiği enerjileri göstermektedir.....	46
Şekil 4.9 Enerjisi 100 GeV pionların hem CloseByParticleGunProducer hem de Pythia8PtGun metotları ile üç bölgede (a) birinci bölge, (b) ikinci bölge ve (c) üçüncü bölge ve (d) her hangi bir kısıtlama olmadan kaybettiği enerjileri göstermektedir.....	47
Şekil 4.10 fotona ait 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 450, 500, 550 GeV enerji değerlerindeki Trackstermerge_Regressed_Energies dağılımları	48
Şekil 4.11 Piona ait 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 450, 500, 550 GeV enerji değerlerindeki Trackstermerge_Regressed_Energies dağılımları	49
Şekil 4.12 Foton için 2D_LC verilerine göre HGAL'ın doğrusallığı, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir	50
Şekil 4.13 Foton için Trackstermerge_Regressed_Energies verilerine göre HGAL'ın doğrusallığı, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir	51
Şekil 4.14 Foton için Trackstermerge_Raw_Energies verilerine göre HGAL'ın doğrusallığı, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir	51
Şekil 4.15 Pion için 2D_LC verilerine göre HGAL'ın doğrusallığı, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir	52
Şekil 4.16 Pion için Trackstermerge_Regressed_Energies verilerine göre HGAL'ın doğrusallığı, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir	53
Şekil 4.17 Pion için Trackstermerge_Raw_Energies verilerine göre HGAL'ın doğrusallığı, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir	53
Şekil 4.18 Foton için 2D_LC verilerine göre HGAL'ın detektör verimliliği, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir	55
Şekil 4.19 Foton için Trackstermerge_Regressed_Energies verilerine göre HGAL'ın detektör verimliliği, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir	55

Şekil 4.20 Foton için Trackstermerge_Raw_Energies verilerine göre HGCal'ın detektör verimliliği, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir	56
Şekil 4.21 Pion için 2D_LC verilerine göre HGCal'ın detektör verimliliği, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir	57
Şekil 4.22 Pion için Trackstermerge_Regressed_Energies verilerine göre HGCal'ın detektör verimliliği, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir	57
Şekil 4.23 Pion için Trackstermerge_Raw_Energies verilerine göre HGCal'ın detektör verimliliği, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir	58



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

eV	: Elektron Volt
fb	: Femto Barn
GeV	: Milyar Elektron Volt
MeV	: Mega Elektron Volt
TeV	: Tera Elektron Volt

Kısaltmalar

ADC	: Analog-Dijital Dönüştürücü
ALICE	: Büyük İyon Çarpıştırıcısı Deneyi
ASIC	: Uygulamaya Özel Tümleşik Devre
ATLAS	: Simit Biçimli Büyük Hadron Çarpıştırıcısı Düzenegi
BDK	: Baskılı Devre Kartı
BH	: Arka HadronikBHÇ : Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
CE-E	: Elektromanyetik Kalorimetre
CE-H	: Hadronik Kalorimetre
CERN	: Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
CMS	: Sıkı Müon Sarmalı
CSC	: Kapak Bölgesinde Katot Şerit Odaları
DT	: Fıçı Bölgesinde Sürükleme Tüpleri
EKAL	: Elektromanyetik Kalorimetre
ENDCAP	: Uç Kapak
FH	: Ön Hadronik
HB	: Hadronik Fıçı
HKAL	: Hadronik Kalorimetre
HE	: Hadronik Kapak
HF	: İleri Hadronik Kalorimetre
HFD	: Hibrit Foto Diyet
HGCAL	: Çok Tanecikli Kalorimetre
HGCROC	: HGCAL İçin Tasarlanmış BDK Okuması
HCAL-HE	: Hadronik Kalorimetrenin Kapak Kısmı
HL	: Yüksek Işıklılık
HL-LHC	: Yüksek Parlaklıkta Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
HO	: Hadronik Dış Kalorimetre
ILC	: International Linear Collider
IP	: Etkileşme Odası
LC	: Tabakadaki Enerji Grupları
LHC	: Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
LHCb	: Büyük Hadron Güzellik Çarpıştırıcısı
MC	: Monte Carlo
HL-LHC	: Yüksek Parlaklıkta Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

HO	: Hadronik Dış Kalorimetre
ILC	: International Linear Collider
IP	: Etkileşme Odası
LC	: Tabakadaki Enerji Grupları
LHC	: Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
LHCb	: Büyük Hadron Güzellik Çarpıştırıcısı
MC	: Monte Carlo
MIP	: Minimum İyonize Parçacık
RF	: Radyofrekans
RPC	: Hem Fıçı Hem Kapak Bölgesinde Dirençli Paralel Levhalı Odalar
SM	: Standart Model
YEF	: Yüksek Enerji Fiziği
YI-BHÇ	: Yüksek Işıklıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı



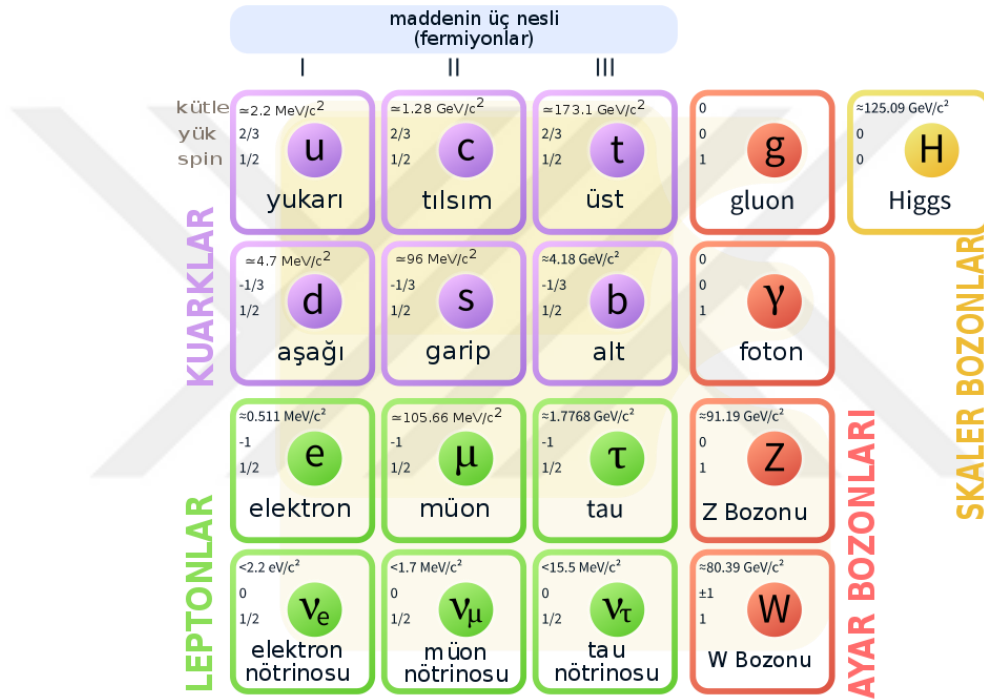
1. GİRİŞ

Fizikte önemli bir çalışma alanı olan Yüksek Enerji Fiziği (YEF) temel parçacıkları ve bu parçacıkların arasındaki etkileşmelerini incelemektedir. Temel parçacıkların yapısını inceleyebilmek amacı ile yüksek enerjiye, dolayısıyla da hızlandırıcı ve detektörlere ihtiyaç duyulur. Dünyada birçok parçacık fiziği laboratuvarında YEF deneyleri yapılmaktadır. Atom altı dünyayı incelemek amacıyla yüksek enerjiler gerekliliği hakkında birkaç neden vardır. Bu nedenlerden birisi ve en önemli olanı ışığın dalga karakteristiğidir, istenilenleri görebilmek için üzerine ışık düşürmek gerekmektedir. Bunlar ile beraber daha küçük bir şeyleri görebilmek için ise daha küçük dalga boyuna sahip ışığın kullanılması gerekir, bu durumu ışık ile yapmak çok zor olacak. Bu zorluğun yüklü parçacıklar ile aşılması mümkün olacaktır. Örneğin, elektronlar dalga özelliğine sahip yüklü parçacıklar olup, dalga boyları ile momentumları arasında ters orantı vardır, yani momentum artarken dalga boyu küçülmektedir. Böylece incelenen parçacık yüksek hızlarda ilerlediğinde dalga boyu da aynı oranda küçülür ve yüksek çözünürlükte görüntü sağlanır. Yüksek enerjiye ulaşmanın önemli başka bir gereksinimi ise yeni parçacıkların oluşumunu sağlamak ve davranışlarını incelemekle ilgilenmektir. Temel parçacıkları ve ara parçacıkları anlayabilmek için geliştirilmiş birden fazla teori vardır; bunlar, Standart Model (SM), Süper Simetrik Model ve Sicim Teorisi gibidir. SM, eksiklikleri olmasına rağmen, bunların arasından öne çıkan modeldir.

SM, Şekil 1.1’de görüldüğü üzere temel parçacık olarak 24 tane fermiyon (altı değişik kuark ve her biri için zıt kuarkı, altı değişik lepton ve her biri için zıt leptonu) ve bu fermiyonların etkileşimine aracılık eden güçlü, zayıf ve elektromanyetik olmak üzere üç temel kuvvet taşıyıcı içermektedir. Fermiyonlar, üç aileye ayrılırlar Şekil 1.1’de görüldüğü gibidir. Bu üç aileden ilk aile en hafifi, ikinci aile orta ağırlıkta ve üçüncü ise en ağır olan fermiyon ailesini meydana getirir. Fermiyonların etkileşimini sağlayan temel ara parçacıklara bozon adı verilir ve şunlardır; sekiz tane gluon, üç tane zayıf etkileşme parçacıkları ve bir tane de fotondur. Bozonlar da Şekil 1.1’de göründükleri gibidir. Ayrıca SM’de ki parçacıklara kütle kazandıran mekanizmasının temel parçacığı olan Higgs bozonu da şekilde bulunmaktadır [1].

Kütle-çekim kuvveti, SM'e dahil edilmemiştir. Bu modelde güçlü, zayıf ve elektromanyetik olmak üzere üç temel kuvvet tanımlanır. SM, öngördüğü parçacıkları deneysel olarak kanıtlanmasından dolayı öne çıkmış bir modeldir. Önerilerinin kanıtlanmasına rağmen hala cevap bulamadığı pek çok soru da vardır. Bu sorulardan bazıları aşağıdaki gibidir:

Temel parçacıkların standart modeli



Şekil 1.1 SM'nin temel parçacıkları ve aileleri görünmektedir [2]

- Temel parçacıklar gerçekten kuarklar ve leptonlar mıdır?
- Çevremizde algılayabildiklerimiz, ilk ailenin iki kuarkı ile bir leptondan oluştuğuna göre, neden modelde üç aile bulunmaktadır?
- Evren'de gözlenen maddenin antimaddeden fazlalığının tutarsızlığı nereden kaynaklanıyor?
- Bu modelin gravitasyon için bir önerisi yoktur, neden hiçbir şey söyleyemiyor?
- Karanlık enerji ile karanlık maddenin kaynağı nedir?
- Kütlelerinde hiyerarşine dair bir önerisi yoktur?

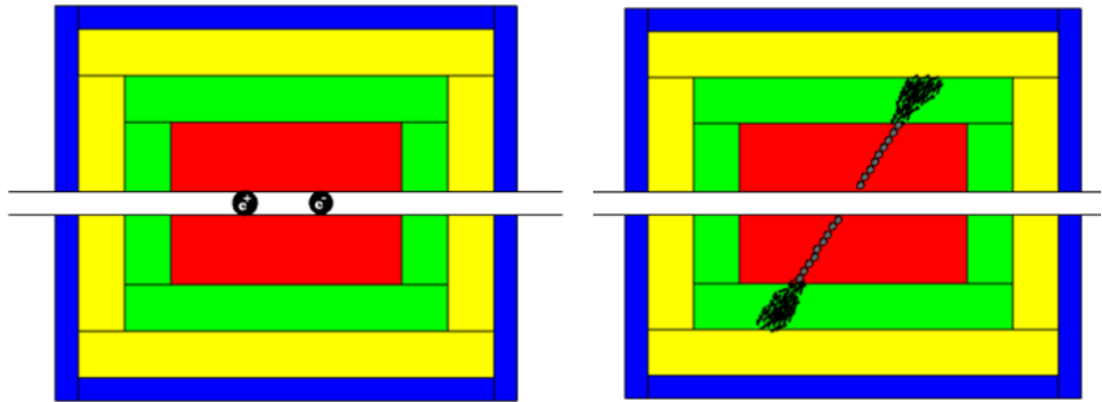
SM'in cevap veremediği bu sorular, SM'nin ötesin yeni ve yenilikçi fikir, öneri, düşünce ve teorilerin oluşmasına yol açmaktadır. Yeni teori ve düşüncelerin kabul edilebilmesi, onların deneysel olarak kanıtlanmasıyla mümkün olacaktır. Yeni deneysel sonuçlarının üretilip, yeni fikirlerin sınanması için yüksek enerjilere çıkabilen hızlandırıcılara ve detektörlerle ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gaye ile dünyada kurulan pek çok araştırma laboratuvarı bulunmaktadır. Bunların arasında en öne çıkan merkez ise Avrupa Nükleer Araştırma Merkezidir (CERN) dir.

Maddenin derinliklerinde araştırmalar yapmak, yüksek enerjilere ulaşmakla mümkündür. Bu ise Heisenberg Belirsizlik yasasına ($\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar / 2$)'da uygundur. YEF'de, parçacıkları yüksek enerjilere çıkarmak amacıyla parçacık hızlandırıcıları kullanılmaktadır. Yüksek enerjilere çıkan parçacıklar, hem maddenin daha derinliklerine inebilir (yani küçüklere ulaşılabilir) hem de çarpıştıklarında daha büyük kütleli parçacıkların oluşmasına olanak sağlamaktadır.

YEF'de kullanılan hızlandırıcıların birkaç nedeni vardır, bunlardan biri ve en temeli, maddenin temel yapıları nelerdir ve bu yapıların arasındaki etkileşimleri incelemektir. Hızlandırıcılar, YEF dışında aynı zamanda sağlık (tıp) alanında, teknolojik ve sanayi malzemelerin dayanıklılığının ve yapısını test edilmesinde de kullanılır. Yüksek teknoloji gerektiren hızlandırıcılar büyük oranda yüksek elektrik ve/veya manyetik alanları kullanırlar. Hızlandırıcılar, iki şekilde inşa edilirler; dairesel ve doğrusal olmak üzere. Doğrusal hızlandırıcılar, adından da anlaşıldığı üzere bir doğru şeklinde olup, yüklü parçacıklara çizgisel yol boyunca etki ettirilen elektrostatik alanlar ve radyo frekans (RF) yardımıyla hızlandırılırlar. Dairesel hızlandırıcılar ise dairesel şekilde olup, yüklü parçacıklar veya iyonların enerjilerini artırmak için aynı dairesel yol boyunca defalarca turlayarak hızlanması sağlanır. Günümüzde, parçacıkları yüksek enerji seviyesine çıkarmak için çoğunlukla dairesel hızlandırıcılar kullanılırlar. Çünkü dairesel hızlandırıcılar bu işi için daha uygundur. Dairesel hızlandırıcılara örnek vermek gerekirse Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ) gösterilebilir. Hızlandırılan parçacıklar, doğrusal ya da dairesel hızlandırıcılarda olsunlar, sabit bir hedefe çarpıtılabileceği gibi birbirleri ile de kafa-kafaya çarpıştırılabilirler. Çarpışmalardan sonra, çarpışma noktası civarında yeni parçacıklar üretilabileceği gibi parçacıklar aynı zamanda ışıma yaparak da enerjilerinin bir

bölümünü kaybederler. Çarpışma sonucunda, oluşan yeni parçacıkların özelliklerini ve kaybedilen enerjiyi ile momentumun ölçmekle mümkün olmaktadır. Enerji ve momentum ölçümlerini ise çarpışma noktasını saran değişik tekniklere sahip çeşitli dedektörler kullanılarak bulunur. Günümüzde, CERN'deki BHÇ üzerindedir bulunan hızlandırıcı ve dedektör kompleksi dünyadaki en gelişmiş olanlarıdır.

Hızlandırılarak çarpıştırılan yüklü parçacıklar, çarpışma sonucu parçalanarak ortaya saçılırlar. Dedektörlerin başlıca görevi ortaya çıkarak saçılan bu yeni parçacıkların özelliklerini incelemektir. Parçacıkların, enerji, momentum, yük gibi bilgileri yanında yörünge bilgileri de fazlasıyla önemlidir. Parçacık yörüngesinin bilinmesi o parçacığın hareket denkleminin yazılmasını sağlayacak ve dolayısıyla da buradan yola çıkarak, parçacıkla ilgili daha fazla bilgiye ulaşılmaktadır. Günümüzde, değişik parçacıkların yörüngelerinin ölçmek üzere birden fazla dedektörün sisteminin birlikte çalışması gerekmektedir. Çünkü bir dedektör tipi bütün bu özellikleri ölçmede başarısız olmaktadır. Bu nedenle dolayı, modern dedektörler soğan kabukları gibi birbirlerini sarmaktadır. Şekil 1.2'de modern bir dedektör kompleksinin şematik görüntüsü görülmektedir. CMS deneyi günümüzde kullanılan modern dedektörlere iyi bir örnektir.



Şekil 1.2 Birden fazla dedektör içeren modern sistemin şematik görüntüsü

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (Large Hadron Collider (BHÇ)) güncellenerek Yüksek Işıklılık (High Luminosity (YI)) ile çalıştırılacaktır. Böyle bir durumda, BHÇ'nin ışıklılığı, var olan durumundaki bütüncül ışıklığından yaklaşık otuz kat daha

fazla olacaktır. Bu durum detektörlerin radyasyon dayanıklılıklarını önemli ölçüde değiştirecektir, özellikle illeri bölge kalorimetrelerini ciddi şekilde etkilenecektir [3]. YI-BHÇ'nin güncellenmesi kapsamında CMS Deneyinin yan kısımlardaki (Endcap Calorimeter) hem elektromanyetik (EKAL) ve hem de hadronik (HKAL)'ler de güncellenerek yerlerine High Granularity Calorimeter (HGCAL) adında farklı ve yeni bir kalorimetre yapılarak yerleştirilecektir.

Bu tez kapsamında HGCAL kalorimetresinin, Monte Carlo (MC) verileri ile hem foton hem de pion parçacıkları yardımı ile enerji doğrusallığı ve dedektör verimliliğinin sonuçları sunulacaktır. Enerji doğrusallığı ve dedektör verimliliğini her bir parçacık için *CloseByParticleGunProducer* ve *Pythia8PtGun* gibi iki parçacık üretici sonuçları da karşılaştırılmıştır [3]. Bununla birlikte yazılım güncellemesiyle de geliştirilen bazı algoritmaların sonuçları karşılaştırılacaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Evrenin, ne zaman ve hangi koşullar altında oluştuğu insanlık tarihinde merak uyandıran önemli konulardan biri olmuştur. Atomun keşfinden bu yana merak daha da çoğalarak en küçüğü arama yoluna girilmiştir. Bu durum ancak atom altı parçacıkların incelenmesi ile mümkün olacaktır. Etrafımızdaki tüm maddeler, maddenin yapı taşı olan temel parçacıklardan meydana gelmiştir. Bu parçacıkların özellikleri ve birbiriyle etkileşme biçimleri Standart Model (SM) tarafından açıklanmaktadır. SM'ye göre, temel etkileşimler ve temel parçacıklar Şekil 1.1'de verilmiştir. SM'in cevap veremediği sorular da vardır. Bu sorulara cevap verebilmek için yüksek enerji fiziğinde yapılan teorik ve deneysel çalışmalar devam etmektedir. Evrenin gizemini çözmek için deneysel gözlemler gerekmektedir. Bu amaçla dizayn edilen dünyanın en büyük hızlandırıcı laboratuvarı İsviçre-Fransa sınırında kurulan Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi (CERN)'dir.

2.1. Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi

Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi manasına gelen CERN, Fransızca 'Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire' sözcüklerinin ilk harflerin bir araya getirilerek oluşan bir kısaltmadır. CERN, İsviçre ve Fransa sınırında bulunan ve dünyanın pek çok açıdan en gelişmiş parçacık hızlandırıcı laboratuvarına sahiptir. Bu merkez, 1954 yılında on iki ülkenin katılımıyla kurulmuş olup günümüzde yirmi üç tam üyesi, üç tam üyelik adayı, ek olarak aralarında Türkiye'nin de olduğu yedi tane ortak (asosiye) üye ve altı tane gözlemci üye ülkesi bulunmaktadır [4].

Yerin yaklaşık 100 m altında bulunan BHÇ hızlandırıcısı CERN laboratuvarının en önemli kısmını oluşturmaktadır. BHÇ, yerleşim yerleri ve tarım yapılan arazilerinin derinliklerinden kilometrelerce uzanan büyük makinalarda atom altı parçacıklar, atom çekirdekleri ya da protonlar birbirleriyle yüksek enerjilerde çarpıştırılmaktadır. Örnek olarak BHÇ'de hızlandırılan protonlar, özel görelilik kuramına göre ışık hızının yaklaşık %99.999998'sine kadar hızlandırılmaktadırlar. Bu da protonların kütlelerinin yaklaşık yedi bin katına (7 TeV) kadar çıkacaktır [5]. BHÇ

hızlandırıcı halkasına yıllar içinde farklı hızlandırıcılar eklenmiştir, belki başlıları şöyledir; 1956'da 28 GeV enerjili eşzamanlı proton hızlandırıcısı, 1976'da 450 GeV'lik bir başka hızlandırıcı daha kullanıma eklenmiştir. 1981 yılında ise daha da geliştirilen çarpışma halkası cihazı bugün, dönüşümlü olarak parçacık çarpıştırıcısı ve hızlandırıcısı olarak kullanılmaktadır. Çarpışmalar sonucu bazı kısa ömürlü yeni madde türleri ve bu arada da fizikçilerin gözlemlediği W ve Z ara parçacıkları keşif edilmiştir. Bunların yanı sıra CERN sayesinde Avrupa'nın fizik alanında tekrar Amerika ve Rusya ile rekabete girmesini olanak tanımıştır. CERN'de bugüne kadar elde edilen bilimsel başarılarından bir kısmı şunlardır [4]:

Gargamel dedektörün'de 1973 yılında nötr akım bulunmuştur. Ardından sırasıyla, W ve Z bozonları 1983'te UA1 ve UA2 deneylerinde bulunmuş [6], ilk anti hidrojen atomları 1995'te PS210 deneyinde üretilmiş, 1999'da NA48 deneyinde CP simetrisinin keşfi, 2012'de ise Higgs bozonu olarak kabul edilen $125 \text{ GeV}/c^2$ kütleye sahip bir bozonun bulunmasıdır [7].

2.2. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ ya da İngilizce adıyla LHC) Dünya üzerinde bulunan en büyük ve en yüksek enerjiye sahip dairesel parçacık hızlandırıcısıdır. BHÇ, pek çok farklı teorilerinin öngörülerini test etmek amacı ile inşa edilmiştir.

Fransa-İsviçre sınır hattında yer alan BHÇ, zeminden yaklaşık olarak 100 m derinde olup, çevresi yaklaşık olarak 27 km olan dairesel bir hızlandırıcıdır. BHÇ'de ağır iyonlar ve protonlar kafa kafaya çarpıştırılmaktadır. Protonları hızlandırıp yüksek enerjilere çıkarmak için kullanılan birçok hızlandırıcı tipi bulunmaktadır. Bunlar; Şekil 2.1'de görüldüğü üzere, Linac (50 MeV), Booster (1,4 GeV), PS (25 GeV), SPS (450 GeV) ve en son olarak da BHÇ (7 TeV)'dir [8].

Günümüzde, yüklü parçacıkların hızlandırılma işlemi, parçacıkların izlediği yörüngeye bağlı olarak lineer (doğrusal) ve dairesel hızlandırıcılar şeklinde gelişim göstermektedir. Bu hızlandırıcılarda yüklü parçacıkları hızlandırmak amacı ile elektrik alanı ve manyetik alanı uygulanmaktadır. Bu uygulama, lineer veya dairesel

yörüngeler boyunca yapılmaktadır. Lineer hızlandırıcıların uzun olması, parçacığın sahip olacağı enerji miktarı da artıracaktır. Dairesel hızlandırıcılarda ise yüklü parçacıklar, hızlandırıcı yapıyı defalarca turlayarak dolanır ve dolanma sayısı artıkça enerjisi artmaktadır. Bu dolanmaları kapalı bir yörünge izlediği için de bunlara dairesele denir. Doğrusal hızlandırıcılarda, dairesele aksine, parçacıklar hızlandırıcı yapıyı bir kez geçerek enerjisini belirli oranda artırmaktadır. Lineer hızlandırıcıların aksine, TeV enerji seviyesine ulaşabilmek için dairesele hızlandırıcılar daha kullanışlı olmaktadır. Bu sebepten dolayı BHÇ, dairesele hızlandırıcı, parçacıkları aynı yörüngede turlayarak hızlandırarak enerjilerini artırmaktadır. Parçacıkları dairesele yörüngede tutmak ve hüzmele odaklamak için ise manyetik alan kullanılmaktadır. Parçacıkların enerjisi, uygulanan manyetik alanın büyüklüğü ve yörüngenin çapı ile orantılı olarak değişmektedir.

BHÇ halkasında parçacıkların enerjisini arttırmak amacı, halka boyunca hızlandırıcının büyük bir bölümü süper-iletken mıknatıslarla donatılmıştır. BHÇ'nin proton-proton çarpışmaları için $L=10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışıklılık ve $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$ 'lik kütle merkezi enerjisi, kurşun-kurşun çarpışmaları için $\sqrt{s} = 5.5 \text{ TeV}$ 'lik kütle merkezi enerjisi ve $L=10^{27} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışıklılığa ulaşması hedeflenmiştir [9]. Işıklılık bir hızlandırıcıda önemli bir özellik olup aşağıdaki formülle ifade edilir.

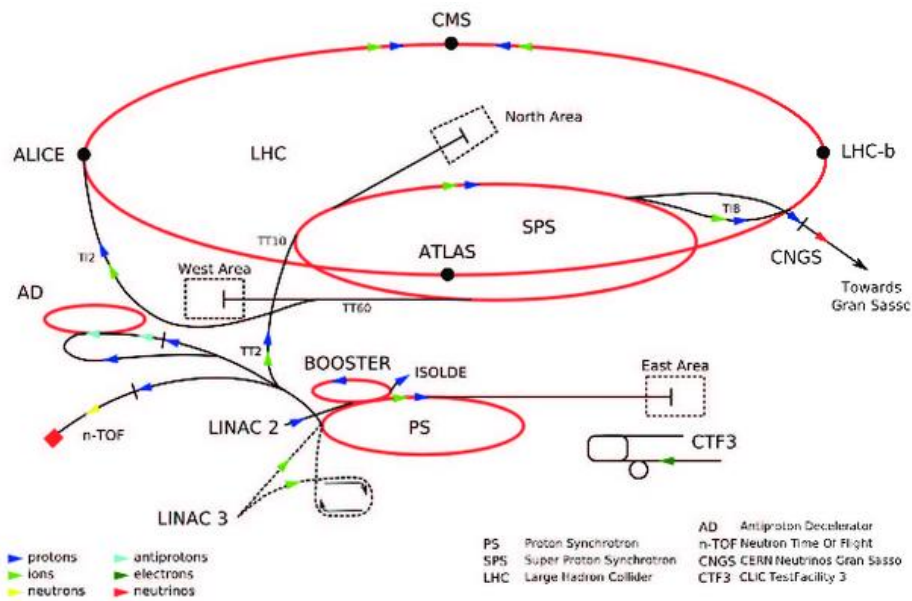
$$L = \frac{\gamma f k_B N_p^2}{4\pi \epsilon_n \beta^*} F \quad (2.1)$$

Yukarı da ki formülde: γ Lorentz faktörü, f dönme frekansı, k_B demet sayısı, N_p demet başına proton sayısı, ϵ_n normlanmış yayma gücü, β^* etkileşim noktasındaki betatron fonksiyonu ve F geçiş açısından kaynaklanan azaltma faktörüdür [10].

Hızlandırıcıda parçacık demetleri, ters yönlerde hareket edecek şekilde süperiletken elektromıknatıslar kullanılarak oluşturulan çok güçlü manyetik alan sayesinde hızlandırıcı halkasında tutulur. Bu durum ancak sıcaklığın çok düşük olduğu durumda gerçekleşmektedir. Bu sebeple, BHÇ'de bulunan mıknatısların 1,9 K°'de, diğer bir anlatımla yaklaşık oda sıcaklığının 300°C altında çalışması gerekmektedir. Çünkü BHÇ elektromagnetlerinin düşük maliyetli ve en yüksek manyetik alanı

oluşturabilmesi istenir. Bu sonuca ulaşmak için elektromagnetlerin süper iletken olmaları gerekir. Bu sebepten dolayı, sisteminin soğutulması için sıvı helyum kullanılarak sistemin soğutulması sağlanmaktadır. Materyallerin büyük bir kısmı sıvı helyum sıcaklığında süper iletken hale gelir. Süper iletkenlik yalnızca sıcaklığa bağlı olmayıp, aynı zamanda süperiletkenliği değiştiren başka nedenler de mevcuttur. Eğer akım çok fazla yükselir ise (yani eşik değerinin üzerine çıkarsa) malzemenin süperiletkenliği de düşmektedir. Manyetik alan üretiminde, kritik akım seviyesi uygulaması kadar sıcaklık da önemlidir. Gereken yüksek akımı oluşturmak ve yanı sıra sıcaklığı kontrol altında tutmak için BHÇ magnetleri, sıvı helyumda tutulurlar böylece helyumun sıvı halde bulunduğu 1,9 K°'e kadar soğutulmuş olur. Bu değer ile de BHÇ dünyadaki en soğuk bölge unvanını almaktadır [4].

Günümüzde, BHÇ en büyük çapta süper iletken teknolojinin kullanıldığı yer olup bu özelliğinden dolayı dünyada bir ilk olmuştur. Her bölümde 154 adet olmak üzere toplamda 1232 adet süper iletken dipol mıknatıs yer almaktadır. Işık hızına yakın hızlara çıkarılan proton demetleri çarpıştırılmakta ve bu çarpışmalar sonucu deney bölgesine parçalanarak dağılmaktadırlar. Halka üzerinde, her birinde $1,15 \times 10^{11}$ protonun olduğu toplam 2808 demet aynı anda bulunmaktadır [4].

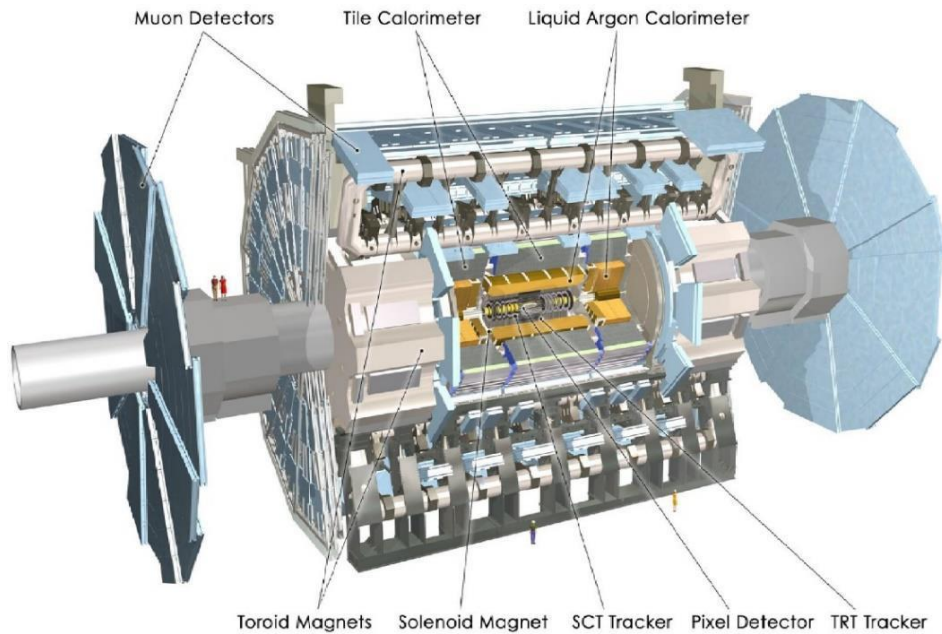


Şekil 2.1 CERN hızlandırıcı kompleksinin görünümü [11]

BHÇ hızlandırıcı halkasında, CMS ve ATLAS gibi ikisi genel amaçlı ve ALICE ve LHCb gibi daha özel amaçlar için tasarlanan dört temel çarpışma noktasında bulunan dört tane büyük deney bulunur. Bu deney sistemleri genel olarak tanıtılacak olup, CMS deneyinden daha ayrıntılı olarak bahsedilecektir.

2.2.1. ATLAS Deneyi

A Toroidal LHC ApparatuS (ATLAS) deneyi, BHÇ halkası üzerinde bulunan genel amaçlı deneylerden birisi olup başta Higgs bozonu ve özelliklerini olmak üzere, süpersimetrik parçacıkları, karanlık maddeyi oluşturan parçacıklar ve diğer konuların araştırılmasını sağlamaktadır. Araştırma konuları itibari ile CMS deneyi ile benzerlikler göstermektedir. ATLAS'ın sonuçları, aynı zamanda diğer deney sonuçlarını doğrulamak amaçlı olarak da kullanılmaktadır. ATLAS deneyinin şematik görünümü Şekil 2.2'de olup ATLAS'ta kullanılan mıknatıs sistemi CMS'nin mıknatıs sisteminde farklıdır. BHÇ'den gelen parçacık demeti dedektörün tam merkezinde çarpıştırılırlar. Çarpışma noktasının etrafında katmanlar halinde 6 farklı dedektör bileşeni bulunur [12].

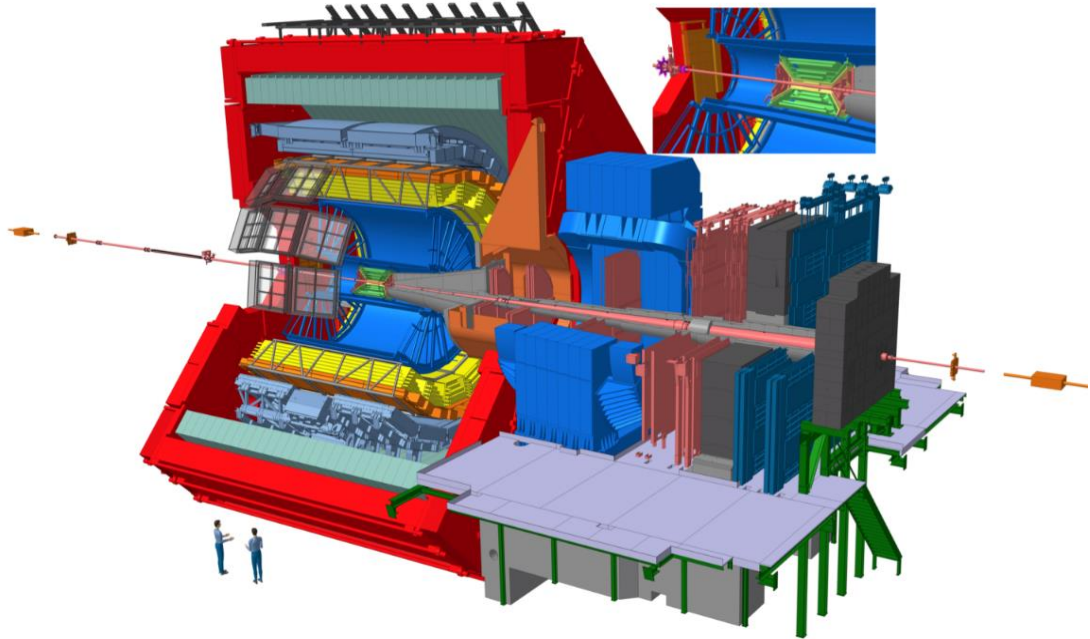


Şekil 2.2 ATLAS Deneyinin şematik yapısı [12]

Parçacık çarpışma sonrası ortaya çıkıp saçılan parçacıkların yol, momentum ve enerji bilgileri alınır. Veri toplama ve hesaplama sistemleri daha sonra kaydedilen sonuçları incelemek için veriler ilgili birimlere aktarılır. ATLAS 25 m yüksekliğinde 46 m uzunluğunda 25 m genişliğinde 7000 ton ağırlığına sahip devasa bir dedektördür. Yeryüzünden yaklaşık 100 m derinde konumlandırılmıştır. ATLAS deneyinde yaklaşık 38 ülkeden ortalama 3000 bilim insanı çalışmalarını sürdürmektedir [13].

2.2.2. ALICE Deneyi

A Large Ion Collider Experiment (ALICE) bir ağır iyon dedektörü olup, kuark-gluon plazmasının oluşturduğu aşırı enerji yoğunluklarında kuvvetli etkileşime giren maddeyi incelemek amacıyla tasarlanmış gelişmiş dedektörlerden oluşan bir deneydir. Ağır iyon çarpışmaları yüksek sıcaklığa sahip ortamlar oluşturmaktadır. Bu, sıcaklıktaki ortamda kuark-gluon arasındaki bağların kopabileceği teorisi incelenmektedir. Kuark-gluon plazması big-bang'dan hemen sonra oluşan ortamın adıdır. ALICE deneyinde bu ortamın varlığı simüle edilmektedir [14].

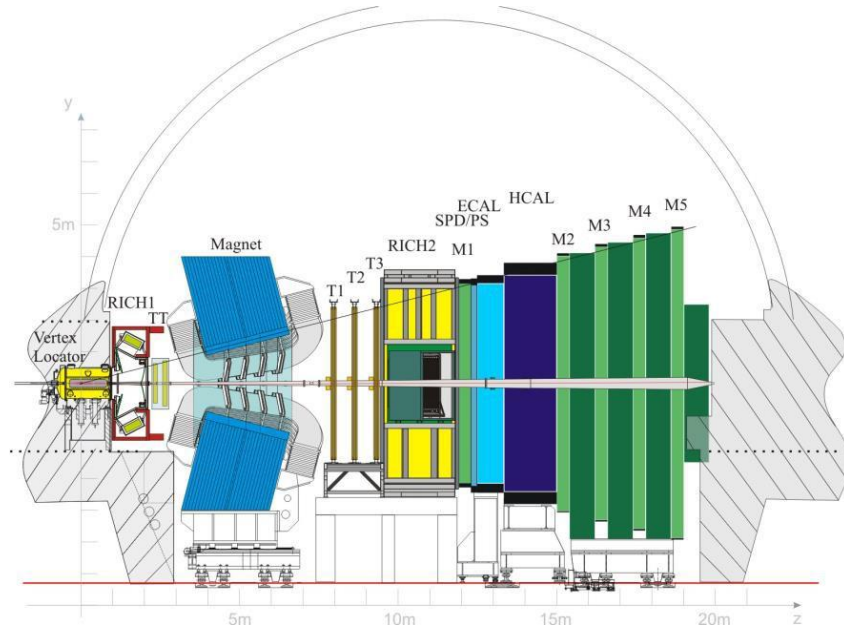


Şekil 2.3 ALICE Deneyinin şematik yapısı [15]

BHÇ’da çarpıştırılan ağır iyonların sonuçlarının çalışıldığı ana deney ALICE’dir. Bu deneyde kurşun iyonları çarpıştırılarak big-bang’dan hemen sonraki koşullar oluşturulmaya çalışılmaktadır. ALICE kuark-gluon plazmasını incelemek için 16 m yüksekliğinde, 26 m uzunluğunda, 16 m genişliğinde ve yaklaşık 10.000 tonluk ağırlığı ile devasa bir dev dektördür (Şekil 2.3). Konum olarak Fransa’daki St.Genis-pouilly köyü civarında yüzeyden 56 m derinlikte yer almaktadır. 30 ülkeden yaklaşık 1000’den fazla bilim insanın çalışma alanıdır [14].

2.2.3. LHCb Deneyi

Large Hadron Collider beauty (LHCb) Deneyi, b kuark “güzellik kuark” olarak adlandırılan parçacığı incelemek ve madde ile anti maddeyi incelemek amaçlanarak tasarlanmıştır. Bu dedektör çarpışma noktasından tek bir yönde hareket eden parçacıkları tespit etmek maksadıyla bir grup alt dedektör kullanır. İlk algılayıcı dedektör çarpışma noktasına yakın olarak bağlıdır. Diğer dedektörler grubu ise yaklaşık 20 m aralıklarla bağlanır [16].



Şekil 2.4 LHCb dedektörünün kesit görüntüsü [16]

LHCb Deneyi, Şekil 2.4'ten de görüldüğü üzere, 10 m yüksekliğinde, 21 m uzunluğunda ve 13 m genişliğinde olup 5600 ton ağırlığındadır. İleri spektrometre ile düzlemsel detektörden oluşmuştur. Konum olarak ise Fransa'nın Ferny-voltaire köyü civarında yüzeyden ortalama 100 m derinlikte konuşlandırılmıştır. 66 üniversite ve kurumdan yaklaşık 700 bilim insanının çalışma alanıdır [17].

2.2.4. CMS Deneyi

Compact Muon Solenoid (CMS) Deneyi, adını yüksek enerjili müonların momentumlarını ölçmek amacıyla kullanılan selenoid-manyetik yapıdan alır. CMS deneyi, genel amaçlı bir deney olup çarpışmalarda çıkabilecek bütün fizik konularını incelemek olmakla birlikte, temel hedefleri arasında şunlar sayılabilir, 100-1000 GeV'lik kütle aralığındaki Higgs bozonunu keşfedebilmek (2012 yılında yapıldı) ve özelliklerini incelemek, yanı sıra süper simetrik parçacıkları, ekstra boyutları, karanlık maddeyi araştırmaktır. Ayrıca CMS, b fiziği, ağır iyon fiziği gibi konular da yoğun araştırma konuları arasındadır. CMS Deneyi, Büyük Patlama'dan kısa bir süre sonra olduğu düşünülen kuark-gluon plazmasının incelenmesi için olanak sağlayacaktır. Kuark-gluon plazması incelenmesini, ağır iyon çarpışmalarında yararlanarak yapacak aynı zamanda maddenin yeni formlarını da araştırarak. Bu durum evrenin oluşumuna ışık tutacaktır. Aynı zamanda, b kuarkı içeren parçacıkları yakından araştırılması ve bu sayede evrendeki madde ile anti madde arasındaki simetri kırılması olayını aydınlatılabilmek için araştırmalara da olanak sağlayacaktır [18].

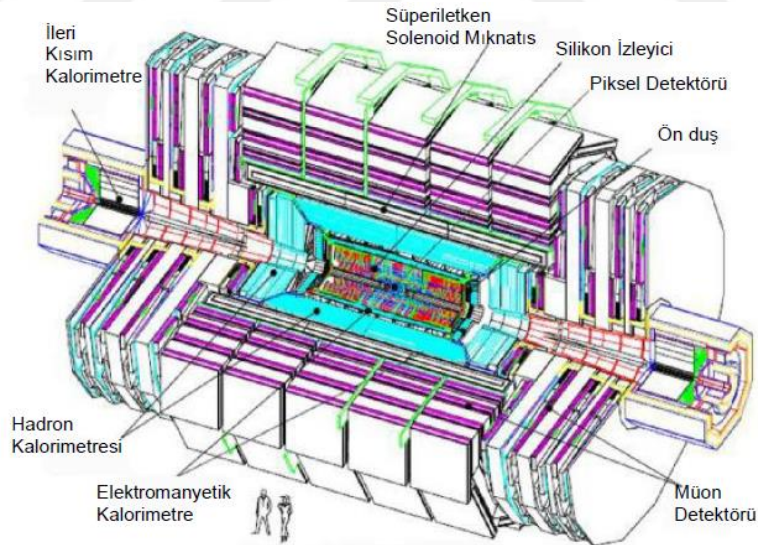
CMS Deneyi, ağır iyon ve proton-proton çarpışmalarının verilerini toplamak ve analiz etmek amacı ile tasarlanmış dört deneyden biridir. Bu deneyin tasarım amacı öncelikli olarak müonların momentumlarını yüksek doğrulukla ölçümektir. BHÇ'de ki CMS, 21 m uzunluğunda ve 15 m yüksekliğine sahip olup 14000 ton ağırlığına sahiptir. BHÇ hızlandırıcı kompleksindeki en fazla ağırlığa sahip olan deneydir. 4 T'lık gibi yüksek manyetik alan üretebilen bir mıknatısı vardır (Şekil 2.5) [10].

CMS'nin yukarıda belirtilen konuları incelenebilmesi için temel parçacıkları, elektron, foton, müon ve hadronları çok yüksek hassasiyetle ölçebilme özeliğine sahip olması gerekmektedir. Bu nedenden dolayı da CMS deneyi farklı tipteki alt

dedektörlerden meydana gelmektedir. Bu alt dedektörler, sırasıyla iç izleyici dedektörü, elektromanyetik ve hadronik kalorimetreler, süper iletken mıknatıs ve bunların tamamını sarmalayan müon odacıkları şeklindedir. Bu alt dedektörler soğansı yapıda olup her biri kendine özgü duyarlılığa sahiptir ve bir araya getirilerek karmaşık verilerin elde edilmesine olanak sağlamaktadır. CMS Deneyinin temel dizayn hedeflerini kısaca şöyle sıralayabiliriz [19]

- I) Müonları çok iyi saptayabilmeli ve momentum iyi bir şekilde ölçebilmeli,
- II) Değişik teorilerin, SM ve MSSM, öngördüğü parçacık araştırmalarında gereken yüksek çözünürlüğe sahip elektromanyetik kalorimetre,
- III) İyi bir izleme (iz belirleme) sisteminin bulunması,
- IV) Çarpışma noktasını tamamen saran bir hadronik kalorimetre sistemine aship olması [19].

CMS Deneyinde momentum, konum ve enerji ölçümü yapabilmek amacıyla dedektör üzerinde tanımlı koordinat sistemi gerekmektedir.



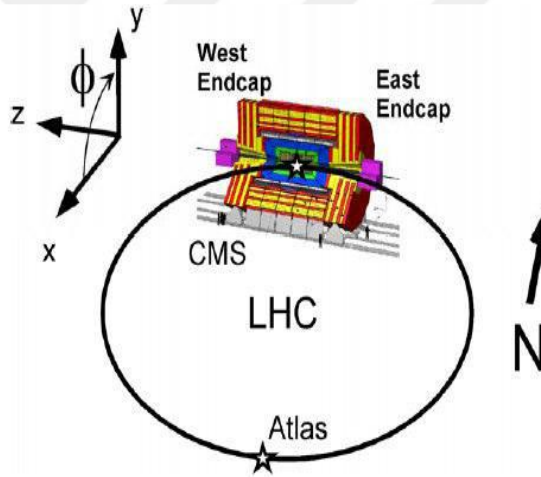
Şekil 2.5 CMS deneyinin, alt dedektörleri ile şematik genel görünümü [20]

2.2.4.1. CMS'in Koordinat Sistemi

CMS Deneyinin koordinat sistemi Şekil 2.6'da görüldüğü üzere olup, orijin olarak deney içerisinde ki çarpışma noktası (IP) kabul edilmektedir. Pozitif y-ekseni

düşey doğrultu yönüdür, pozitif x -ekseni ise yarıçap doğrultusunda olup hızlandırıcı halkasının merkezini göstermektedir. Bu durumda, pozitif z -ekseni ise hüzmeye doğrultusunu göstermektedir. Dik koordinat sistemi yerine, bazen kutupsal koordinat sisteminin kullanımı da kolaylık sağlamaktadır. Dolayısıyla kutupsal koordinatlar için de tanımlama yapılmaktadır azimutal açı ϕ , x - y yüzeyindeki x -ekseninden ve kutupsal açı θ ise z -ekseninden ölçülmektedir. CMS kutup açısı yerine çoğu zaman psüdorapidite (η) olarak adlandırılan η kullanılmaktadır ve denklem 2.2'deki gibi verilmektedir [10].

$$\eta = -\ln \left(\tan \frac{\theta}{2} \right) \quad (2.2)$$



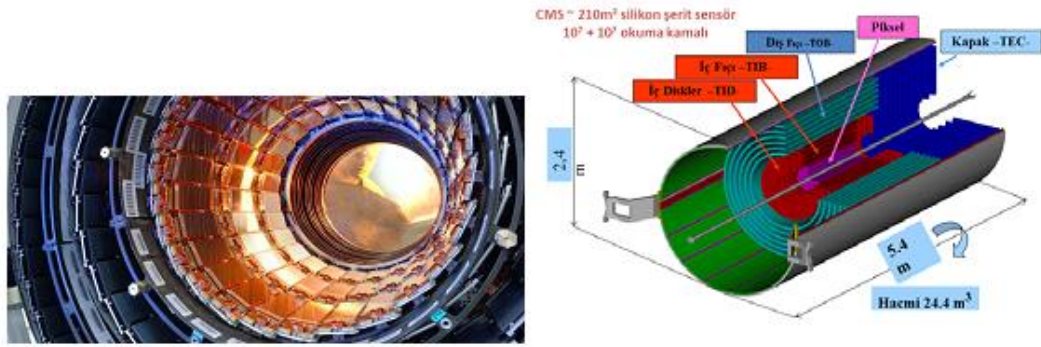
Şekil 2.6 CMS deneyinin koordinat sistemi gösterimi

2.2.4.2. İzleyici Sistemi

Adından da anlaşılacağı üzere iç-izleyici sistem CMS Deneyinin en iç kısmında bulunmaktadır. Bu sistemin asıl görevi, zıt yönlerde doğru hareket eden yüklü parçacıkların etkileşmenin gerçekleştiği noktada kafa kafaya çarpıştıktan sonra dağılmaları sonucu ortaya çıkan izlerini çok hassas ve doğru bir şekilde ölçerler. Diğer bir önemi ise etkileşen parçacıkların etkileşme köşelerini saptamak ve parçacıkların momentumlarını yüksek hassasiyete ölçmektir. Tek tek her bir

yörüngenin yarıçapı parçacığın momentumunu belirlemektedir, bükülme yönü ise parçacığın sahip olduğu elektriksel yükünün işaretini göstermektedir. İzleyicinin diğer bir amacı ise yüklü parçacıklar ile yüklü olmayan parçacıkları birbirinden ayırmaktır; örneğin elektronlarla ve fotonları. Çünkü bu iki parçacıkta elektromanyetik kalorimetrede benzer izler bırakırlar.

Etkileşim noktasını dört bir yandan çevreleyen izleyici sistemin uzunluğu 5.8 m ve çapı 2.5 m olup $|\eta| < 2.5$ psüдорapidite aralığındadır. CMS deney sisteminde, izleyici sistemi etkileşim noktasına en yakın katman olması dolayısıyla çok yüksek radyasyona maruz kalmaktadır. Bu yüksek radyasyona dayanabilmesi için ise tasarımı tamamen silikon teknolojisiyle faydalanılarak yapılmıştır. İzleme sistemi ise piksel ve silikon şerit iz dedektörleri olarak iki farklı dedektörden oluşmaktadır. Piksel dedektör 1440 ve silikon şerit de 15148 modülden oluşmaktadır. Piksel dedektörler 4.4 cm, 7 cm ve 10.2 cm olmak üzere üç farklı silindirik tabakadan oluşurken, silikon şerit dedektörler de dışa doğru 1.1 m kadar genişleyen on katmanlı bir silindirden oluşmaktadır [20]. Şekil 2.7’de izleyici şerit dedektörler gösterilmiştir.



Şekil 2.7 İç izleyicideki şerit dedektörlerin şematik görünümü

İz sürücünün yan taraflarında yer alan alt katmanda 65 milyon piksel bulunmaktadır, bunun üst kısmında 10 milyon mikro şeritten oluşan sonlandırma kapakları (end cap) bulunur. Piksel ve mikro şeritlere çarpıp etkileşen parçacıklar, silikon atomlarındaki (sinyal artırıcı görev üstlenir) elektronların uyarılmasını sağlamaktadır. Bütün iz sürücü tabakalardaki bilgiler tek tek alınarak parçacık yörüngelerinin resimleri oluşturulmaktadır. Bunun yanı sıra iz takip edici olarak kimi durumlarda gaz dedektörlerinin de kullanıldığı da görülmektedir. Fakat gaz

dedektörleri parçacık yoğunluğun fazla olan deneylerde fazla tercih edilmezler. Bunun nedeni ise gaz dedektöründe bir elektron-iyon çifti meydana getirmek için gerekli iyonlaşma potansiyeli 30 eV iken, silikon dedektörde bir elektron-deşik çifti oluşturmak için gerekli iyonizasyon potansiyeli yalnızca 3,6 eV olmasıdır. Bu durum ise silikon dedektörlerini daha avantajlı kılarken onu tercih etme nedenlerdendir [20].

2.2.4.3. Süper Selenoid Mıknatıs

CMS'nin güçlü süper iletken mıknatısı yüklü parçacıkların yörüngelerinin bükülmesini sağlayarak iki önemli ölçüme yardımcı olmaktadır; parçacıkların momentumlarını ölçmek ve parçacıkların yükleri hakkında bilgi edinmemizi sağlamaktır. Özellikle, müonların momentumlarının ölçümünde çok önemli katkılar üstlenmektedir. Yani dedektördeki yüklü parçacıkların ve müonların yörüngelerinin bükülmesinden yararlanarak onların momentumlarını ölçmeye olanak sağlayacaktır. CMS'de 4 T gibi oldukça yüksek bir manyetik alan sağlayan mıknatıs sistemi kullanılmaktadır [21].

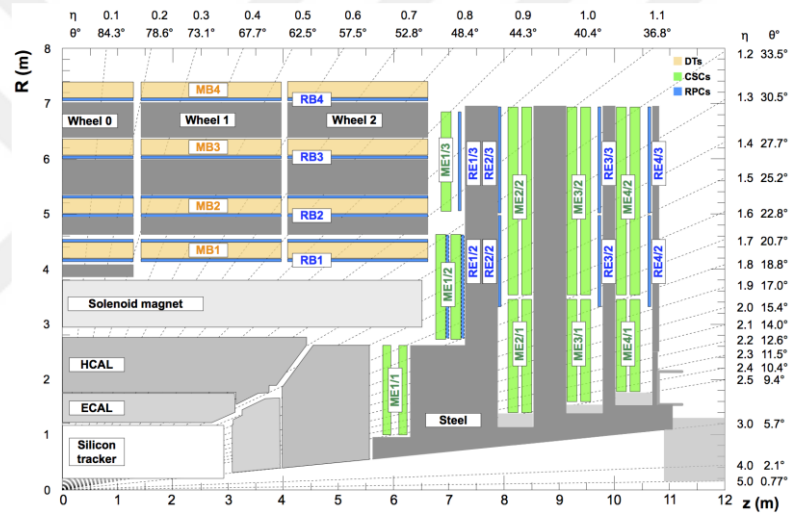
Bugüne kadar üretilmiş en geniş süper iletken mıknatıslardan biri olma özeliği göstermekte olup, uzunluğu 12.5 metre ve çapı da 6.3 metredir. Şekil 2.8'de CMS'de kullanılan mıknatıs gösterilmektedir. Bobin, her biri 2.5 m uzunluğundaki 5 modülden oluşmuştur ve toplam ağırlığı 220 tondur. İzleyici sistem, elektromanyetik kalorimetre ve hadronik kalorimetre mıknatıs silindrinde bulunmaktadır [22].



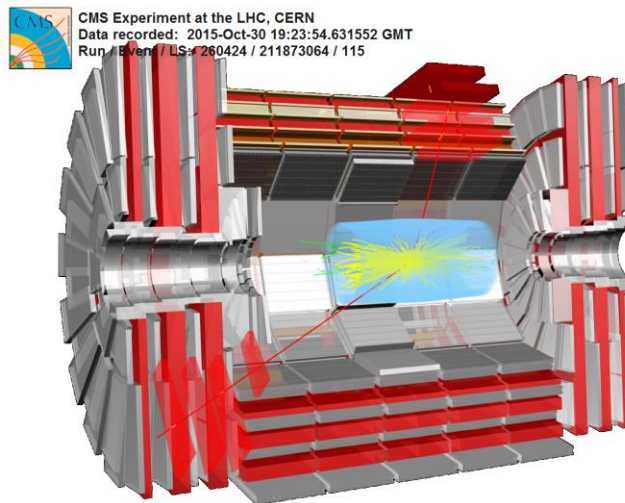
Şekil 2.8 CMS deneyinin süperiletken mıknatısı [23]

2.2.4.4. Müon Odacıkları

Müonlar, kütleleri dışında elektronlarla aynı özellikler taşımaktadır, kütlesi elektronlardan yaklaşık 200 kat daha fazla olan müonlar atomlarla büyük oranda elektromanyetik etkileşmeye girmezler. Elektromanyetik etkileşime girmemelerinden dolayı müonlar elektromanyetik duş oluşturmazlar. 5 GeV düzeyindeki enerjiye sahip müonlar; yaklaşık bir milimetre bakır ve çelik gibi metallerde yaklaşık 1 MeV'lik enerji kaybederler. Dolayısıyla çok fazla enerji kaybetmeden kalorimetreleri geçebilirler. Şekil 2.9 CMS'nin Müon sistemi odacıkları göstermektedir.



Şekil 2.9 CMS deneyinin müon odacıkları [24]



Şekil 2.10 Bir Müon'un CMS deneyindeki etkileşim simülasyonu [24]

CMS, müon sistemi müonları algılamak ve onların momentumlarını ölçmek amacı ile çeşitli tiplerde tasarlanmıştır. Bu sistemler sırası ile şunlardır:

- I. kapak bölgesindeki katot şerit odaları (CSC)
- II. fiçı bölgesindeki sürüklenme tüpleri (DT),
- III. hem fiçı hem kapak bölgesindeki dirençli paralel levhalı odalarıdır (RPC).

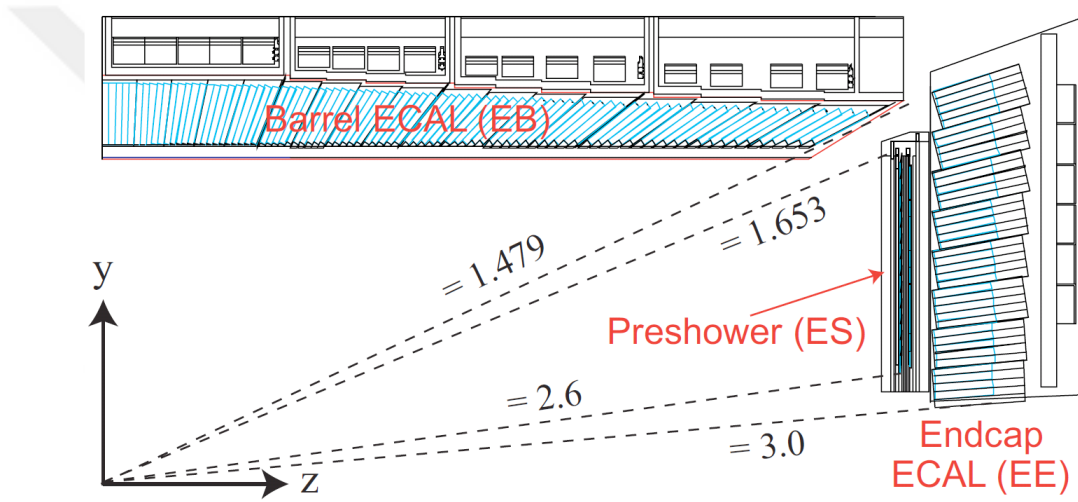
Müon sisteminin asıl amacı, iç izleyicide ölçülen izler ile beraber müonları algılamak ve müonların momentumlarını hassas biçimde ölçmektir. Müon izlerini algılamak amacı ile dizayn edilen bu odacıklar CMS deneyinin en dış kısmında bulunmaktadır. Şekil 2.10'den de görüleceği üzere, çarpışma sonucu oluşan yüklü müonlar, kalorimetrelerden daha sonra dedektörün en dış katmanına konumlandırılan müon dedektörlerinde tespit edilirler. CMS'nin bu bölgesine ancak müon ve nötrinolar ulaşabilirler [24].

2.2.4.5. Elektromanyetik Kalorimetre

Elektromanyetik Kalorimetre (EKAL), CMS deneyinde birinci kalorimetre olup, çarpışma sonucu oluşan elektromanyetik etkileşen (elektron ile fotonların gibi) parçacıkların enerjisi ile yönünü ölçmek için kullanılır. Elektronlar (pozitronlar) ve fotonlar elektromanyetik etkileşme (Bremsstrahlung, Çift oluşum, Coulomb etkileşimi, İyonlaşma, Fotoelektrik etki, Compton Saçılması) yaptıklarından dolayı enerjilerini kaybederler. Yüksek enerjili elektromanyetik etkileşen parçacıklar EKAL'da gösterildiği üzere Şekil 2.11'de etkileşmektedir. EKAL ile etkileşen parçacıklar enerjilerini kaydederler, kaybolan enerji elektromanyetik kalorimetrede ölçümü sağlanır. Higgs Bozonu ile SM ötesi fizik araştırmalarında kullanılmak için elektromanyetik etkileşen parçacıkların özellikle de elektron ile fotonların, enerji ölçümleri büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda EKAL'ın sonuçları fizik araştırmalarında büyük yer almaktadır. Ayrıca, Higgs bozonunun iki fotona bozunumu da burada saptamaktır.

EKAL kalorimetresi bir kristal kalorimetresi olup yüksek yoğunluklu, hızlı, yüksek radyasyona dayanıklıdır. Aynı zamanda iyi bir çözünürlüklü homojen bir

kalorimetredir. EKAL, $8,28 \text{ g/cm}^3$ gibi yüksek yoğunluklu, $0,89 \text{ cm}$ gibi kısa radyasyon uzunluğuna ve $2,2 \text{ cm}$ gibi küçük Moliere yarıçapına sahip kurşun tungstant (PbWO_4) kristalleri kullanılmaktadır [19]. Kalorimetreler kayıp dik enerjinin ölçümünde büyük roller üstlenirler. Çünkü mevcut enerjiyi dışarıya kaçırmayacak yapıya sahiptirler. EKAL, çok iyi çift-foton çözünürlüğü verecek şekilde tasarlanmıştır. Bu durum detektörde hem $H \rightarrow ZZ^*$ hem de $H \rightarrow WW$ tepkimelerinden meydana gelen W ve Z bozunumlarından ortaya çıkan elektron ve pozitronlar da ölçülebilmektedir.



Şekil 2.11 CMS'nin EKAL kalorimetresinin şematik görünümü [25]

2.2.4.6. Hadronik Kalorimetre

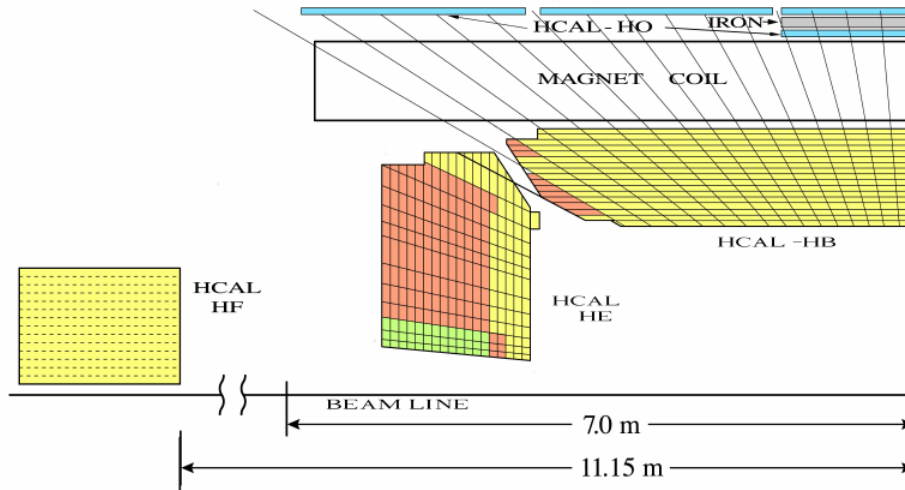
CMS deneyinin en dış kısımdaki kalorimetre hadronik kalorimetre (HKAL) olup, manyetik bobinin iç kısmında yer almaktadır. HKAL, jetlerin ölçülmesi ve kayıp dik enerjinin ölçülmesi için tasarlanan önemli bir detektördür. Bu ölçüm sonuçları süpersimetrik parçacıkların, karanlık madde ve Higgs bozonunun keşfedilmesinde önemli rollere oynayacaktır. Kayıp enerji çözünürlüğünü iyi bir şekilde elde edebilmek maksadıyla kalorimetrenin $|\eta| < 5$ bölgesini kapsaması gerekir. HKAL iki bölüme ayrılmaktadır: merkezi kalorimetre ile ileri hadronik kalorimetre HF [26] olarak toplamak gruplandırılır. Merkezi kalorimetre rapitide değeri $|\eta| < 3$ olan bölge içerisinde bulunmaktadır. Hadronik ileri bölge kalorimetresinin rapitide değeri ise $3 <$

$|\eta| < 5$ aralığındadır. Örnekleme kalorimetresi olan merkezi bölge kalorimetresi ise selonoidin iç kısmında bulunan kapaklı, silindirik şekle sahiptir.

CMS deneyindeki HKAL'in alt dedektörleri şunlardır;

- I. İleri Hadronik Kalorimetre (HF).
- II. Hadronik Dış Kalorimetre (HO),
- III. Hadronik Fıçı (HB),
- IV. Hadronik Kapak (HE),

HKAL'in alt dedektörleri HB, HE, HO ve HF ile şematik konumları Şekil 2.12'de verilmiştir.



Şekil 2.12 CMS'in HKAL kalorimetresi ile alt kalorimetrelerini gösterimidir [27]

Soğurucu ekipman için çelik ile prinç, aktif eleman için de plastik sintilatörler kullanılmıştır. Parçacıkların etkileşimi sonucunda ileri yönde meydana gelen parçacıkları saptaması beklenen ileri kalorimetre ise Şekil 2.12'den de görüleceği üzere IP'ndan yaklaşık 11 m uzağında yer almaktadır. HF, CMS deneyinin en fazla radyasyonun bulunduğu bölgede yer almaktadır. Bundan dolayı radyasyona dayanıklı malzemelerden üretilmiştir. Bu nedenle aktif malzeme olarak plastik kaplı kuvarz lifler kullanılmıştır. İleri kalorimetre (HF), demir soğurucunun içerisine konulmuş kuvarz liflerden yapılmıştır.

Hadronik kalorimetrelerin yapımı sırasında şu özellikler dikkate alınmıştır;

- I. çok yüksek sızdırmazlık,

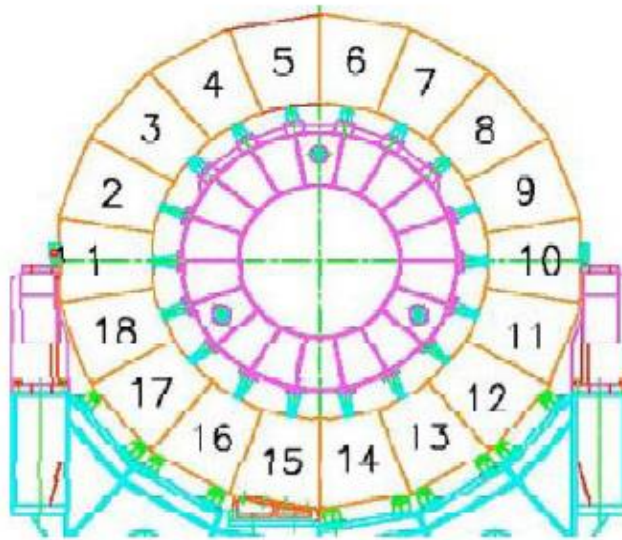
- II. iyi bir dikine taneciklik,
- III. hadron çağlayanını kapsayacak uzunluk,
- IV. orta düzeyde enerji çözünürlüğü,

Hadronik kalorimetreler tasarımı yapılırken hadronik jetlerin enerjisini ve yönünü ölçmek için tasarlanmıştır. Bu ölçümlerin sonucunda aşağıda yer alan konular hakkında bilgi sağlamak mümkün olacaktır:

- ❖ Yüksek kütleyle sahip Higgs araştırmaları için kullanılmak üzere ileri yönde jet ölçümleri,
- ❖ Süper simetrik parçacıkların oluşumu için dedektörden çıkan en hafif süper simetrik parçacıkların taşıdığı jet ve/veya leptonların ölçümü.
- ❖ Ek olarak hadronik kalorimetre ile yapılmakta olan ölçümler kompozitlik ve technicolor modellerinin incelenmesi için de kullanılacaktır.

2.2.4.7. Hadronik Fıçı Kalorimetresi

Örneklemeye kalorimetresi olarak Hadronik Fıçı Kalorimetresi (HB), $-1.3 < \eta < 1.3$ püsidorapidite aralığını içermektedir. HB+ ve HB- olmak üzere iki tane yarım fıçıdan oluşturulmuştur [19]. Her iki fıçıda toplam 18 kama vardır. Kamaların şematik görünümü Şekil 2.13’de ve Şekil 2.14’de görünmektedir.



Şekil 2.13 HB'nin özdeş 18 tane kama gösterimi

Şekil 2.14’de HB’nin 20° açılara dilimlendirilmiş görüntüsü verilmektedir. 16 kuleye ayrılmış $\Delta\phi = 5^\circ$ ’lik (η aralığına) dört sektörden oluşmuştur. Dedektörü daha dayanıklı bir yapıda inşa etmek amacı ile en iç - en dış katmanlarında çelik malzeme kullanılmıştır.



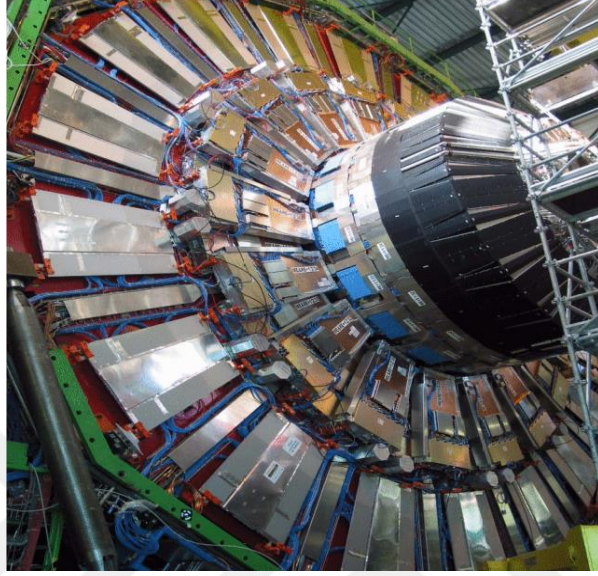
Şekil 2.14 HB’de $\Delta\phi=20^\circ$ açılara bölünmüş kamaların gösterimi [28]

Soğurucu materyal olarak prinç kullanılmaktadır. En Ön tabaka içinde soğurucu materyal olarak 40 mm kalınlığında çelik, hemen ardında 50.5 mm kalınlığa sahip 8 adet pirinç, 6 adet 56.5 mm kalınlığında pirinç ve en sonda ise 75 mm kalınlığında çelik tabakalar bulunmaktadır. Ayrıca paslanmaz çelik levha ile pirinç levhalar arasında 17 adet aktif plastik sintilatör ile donatılmıştır. Sintilatörler 16 η sektörüne ayrıştırmıştır. İlk aktif plaka EKAL’in son bulunduğu yerde olup öteki sintilatör tabakalarının iki katı kalınlığına sahiptir.

2.2.4.8. Hadronik Uç Kapak Kalorimetresi

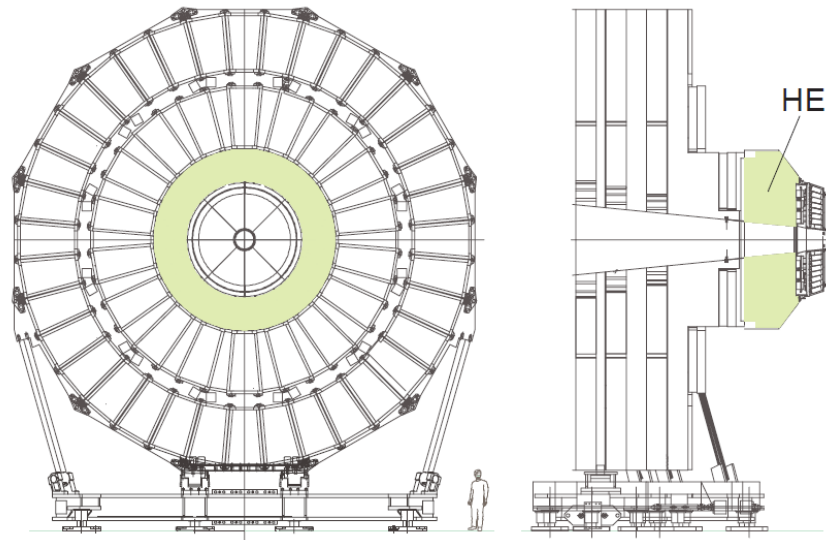
Son durum olarak parçacıkların ortalama %34’ünün bulunduğu bölge $1.3 < |\eta| < 3.0$ rapidite aralığında olan Hadronik Uç Kapak Kalorimetresi (HE), yüksek manyetik alan içerisinde mevcut olan HB’in yan taraflarındaki uçlarını kapatır. HE de HB’ye benzer olarak bir örnekleme kalorimetresidir. 4 Tesla’lık mıknatısın uçuşunda

yer aldığından kalorimetrenin soğurucu kısmı manyetik alanından en az etkilenecek materyalden üretilmiştir. HB'nin genel görüntüsü Şekil 2.15'de verilmiştir.



Şekil 2.15 CMS'in Hadronik Kapak genel görüntüsü [29]

Soğurucunun uzunluğu en fazla olan ve mekanik özelliği de en iyi olan aynı zamanda en düşük fiyatından dolayı soğurucu olarak C26000 pirinç kartuş (%70 Cu ve %30 Zn) kullanılmaktadır. Şekil 2.16'de görüldüğü üzere müon uç kapaklarının boyunduruğuna takılmış halidir [30].



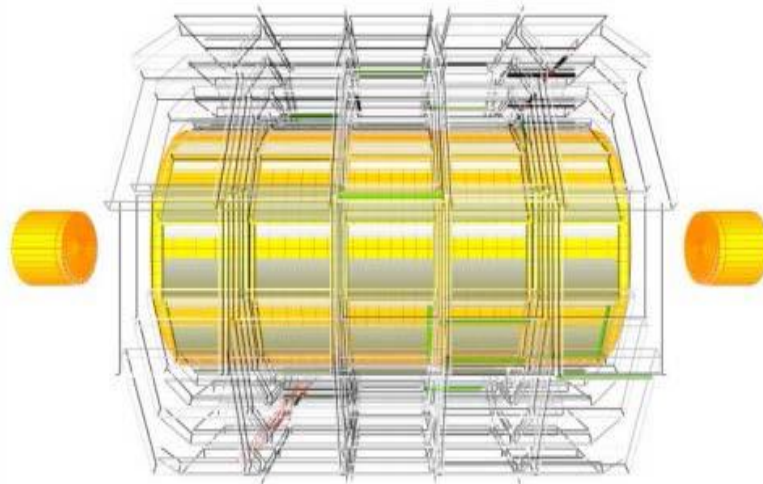
Şekil 2.16 Uç kapak demir boyunduruğuna yerleştirilen HE [30]

HE'in de soğurucu materyal olarak pirinç kullanılmıştır. HB ile HE arasında geçiş bölgesi veya çatlak olarak da bilinen bir boşluk yer almaktadır. HE'de soğurucu yapı planlanırken, HB ile HE arasında bulunan bu çatlağın minimum olmasına özen gösterilmektedir. Soğurucuda bulunan mevcut tasarımın sayesinde çatlak yönündeki jet enerjilerini ölçmek daha da kolaylaşmaktadır. Fakat bu çözünürlük pileup, manyetik alan ve proton parçalanması benzeri etkiler ile sınırlandırılır. HE'deki mevcut pirinç plakalar 79 mm kalınlığında ve 9 mm aralıklarla sintilatör döşemelerinin arasına konumlandırılmıştır [20].

Bu kalorimetre de yapılacak bazı güncellemeler bu tezin konusudur.

2.2.4.9. Hadronik Dış Kalorimetresi

$-1.26 < |\eta| < 1.26$ rapidite aralığında bulunan Hadronik Dış Kalorimetresi (HO)'nun konumu mıknatısın dış kısmın ile süper iletken selenoid mıknatıs arasında yer alır. HO'nun yapılış maksadı duşları tanımlamak ve HB kalorimetrenin dışında depolanmış olan duşların enerjisini ölçmektir. Şekil 2.17'de HO'nun genel görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.17 HO'nun şematik genel görüntüsü

Dış kalorimetrede foto dedektör olarak kullanmak için Hibrid Foto Diyot (HFD)'lar kullanılmaktadır. Bu sistem dış kalorimetrenin, müon silindir sistemi

içerisine yerleşmiştir. Dış kalorimetre, -2,-1,0,1,2 olmak üzere beş “halka (ring)”den meydana gelmiştir. Bu halkaların artışı merkezi z-eksenine göre olmaktadır ve bu beş halkanın merkezi z-eksenlerindeki konumu sırasıyla -5.342 m, -2.686 m, 0, +2.686 m, +5.342 m’dir.

2.2.4.10. İleri Hadron Kalorimetresi

CMS dedektöründe bulunan hadronik kalorimetreye dahil olan ve bir alt dedektörü olan İleri Hadronik Kalorimetre (HF), pseudorapidity aralığında $3 < \eta < 5$ bulunan bölgeyi kapsar. İleri kalorimetre, çarpışma noktasına göre simetrik olarak CMS’in her iki tarafına yerleştirilmiştir. Sonuç olarak HF+ ve HF-’den meydana gelmektedir. Bu iki modül etkileşme noktası (IP)’ndan ortalama 11.1 m uzağa konumlandırılmıştır. Şekil 2.18’de gösterilmiş olan kalorimetre 12.5 cm iç yarıçap, 130 cm dış yarıçapı bulunan ayrıca 165 cm uzunluğunda silindirik çelik yapıdır. Bu sistem azimutal olarak 20°’lik açılarla yerleştirilmiş toplamda 36 çelik modül kamadan meydana gelir. Her kuledeki lif(ler) yapılar ışık kılavuzlarına gönderilmek için buket haline getirilir. Buketler, fototüpe ışık kılavuzları yardımıyla bağlanmaktadır. Kamalar Şekil 2.19’da gösterilmiştir. Hadronik kalorimetrenin her bir sektöründe 18 kama, her kamada da 24 tane kule bulunur. Kamaları modüllere yerleştirirken görüntüleri en üst kule azimutal olarak 20° diğerleri ise 10°’lik açı yapacak şekilde dilimlere ayrılır [31].



Şekil 2.18 HF’nin şematik bir görünüşü



Şekil 2.19 HF kulelerine yerleştirilen kuartz fiberlerinin görseli

Bu kalorimetre soğurucu olarak demir ve soğurucu içerisine yerleştirmiş kuartz liflerden oluşturulmuştur. İleri bölgede meydana gelen jet ölçümleri, kayıp dik enerji ölçümü HF'nin önemli görevlerindendir. HF'de yalnızca proton-proton etkileşimleri dışında, ayrıyeten kurşun-kurşun çekirdek etkileşimlerinde meydana gelen parçacıkları da belirlemektedir. 5 GeV ve üzerindeki enerji değerinde olan hadronlar madde ile etkileştiklerinde esnek çarpışmaların yanı sıra etkileşmeye maruz kalırlar. Çarpışma ile birlikte ikincil hadronlar; pionlar, K mezonları, nötronlar ve protonlar meydana gelir. Böylece hadronik duş oluşur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

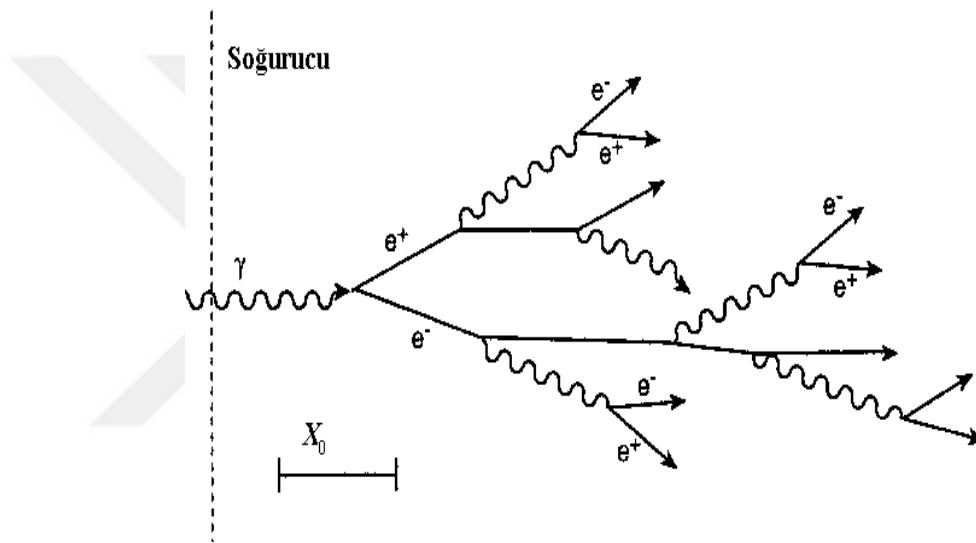
3.1. Kalorimetreler

Kalorimetre temelde enerji ölçer anlamına gelmektedir. Parçacık fiziğinde kalorimetre daha kapsamlı bir anlam taşımaktadır. Gelen parçacığın enerjinin soğurulması, kalorimetrelerin iç bölgesinde gelen sinyali tespit etmek için aktif bir ortam ya da enerji soğurulması ölçümleri için gerekli madde blokları kullanılmaktadır. Gelen parçacıklar enerjilerinin az bir kısmını Çerenkov ışımaları ya da sintilasyon şeklinde kaybeder. Buradaki ışıma sinyalleri, gelen parçacıkların enerjisi ile doğru orantılıdır. YEF deneylerinde, kalorimetreler sadece parçacıkların enerjisini değil aynı zamanda gelen parçacıkların ne olduğuna dair birçok özelliği de belirlemekte kullanılan araçlardır. Kalorimetren içine giren yüklü parçacıklar dedektör içindeki madde blokları sayesinde durdurulmaya çalışılırken duşlar meydana gelir. Elektromanyetik etkileşen parçacıkların oluşturduğu duşlar hadronik etkileşen parçacıkların duşlardan farklı süreçler izlemektedir.

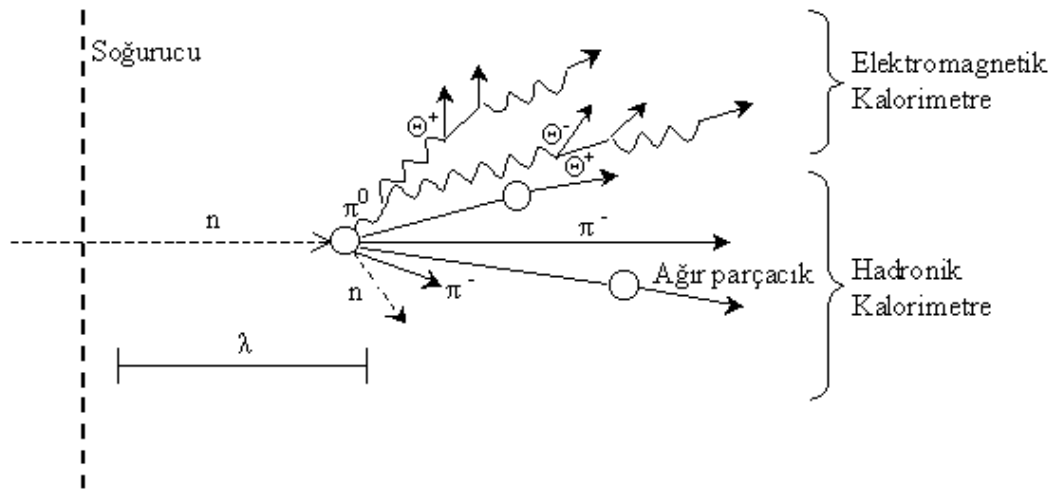
Yüksek enerjili elektronlar (veya pozitronlar) veya fotonlar, madde üzerine gönderildiklerinde iki süreçle, bremmstrahlung (frenleme) veya çift oluşum yöntemleri ile enerjilerini kaybederek çağılayan biçiminde ikincil elektronlar ve fotonlar oluştururlar. Şekil 3.1'den de görüldüğü üzere, çağılayanın gelişimi arttıkça ikincil parçacıkların sayısı artarken her bir parçacığın sahip olacağı enerji azalmaktadır. Çağılayanın büyümesi parçacık enerjisi, kritik enerji değerinin altına düşene kadar devam edecektir. Bundan sonra enerji kaybı yeni parçacıkların yaratılması şeklinde değil, iyonlaştırma ve/veya uyarma yollarıyla gerçekleşir. Yüksek enerjili elektron ve fotonlar, madde içinde $1X_0$ mesafesinde yeni kuşak parçacıkların oluşum için gerekli uzunluk olup X_0 uzunluğuna radyasyon uzunluğu denmektedir.

Yüksek enerjili hadronlar (π^+ , π^- , $n...$), madde üzerine gönderildiklerinde çoğalacak ve yeni nesil hadronların üretimine neden olacaktır. Bu durum hadronik çağılayan olarak isimlendirilir ve yüksek enerjili hadronlar enerjilerinin bu yöntemle kaybederler. Hadronik çağılayan gelişimi elektromanyetik çağılayana benzer olup daha karmaşıktır. Bu çağılayan tipinden sorumlu olan etkileşme kuvvetli etkileşme olup aynı

zamanda elektromanyetik kısım da içermektedir. Çünkü hadronik çağlayanındaki π^0 'lar foton gibi davranarak elektromanyetik kısım da içermektedir. Bir hadronik çağlayanın gelişimi Şekil 3.2'de görülmektedir. Madde bloğu üzerine gönderilen hadronlar bloğa girerek. Yeni nesil parçacıkların çoğalması, gelen parçacıkların enerjisi eşik enerji değerine düşüncüye kadar devam edecektir. Şekil 3.2'de görülen λ nükleer etkileşim uzunluğu olarak adlandırılıp, bir hadronik çağlayanın boyuna gelişimini betimlemek için önemli bir ölçektir. Yani yeni bir neslin ortaya çıkması için gerekli uzaklık (nesil uzaklığı).



Şekil 3.1 Elektromanyetik çağlayanın şematik gelişimi



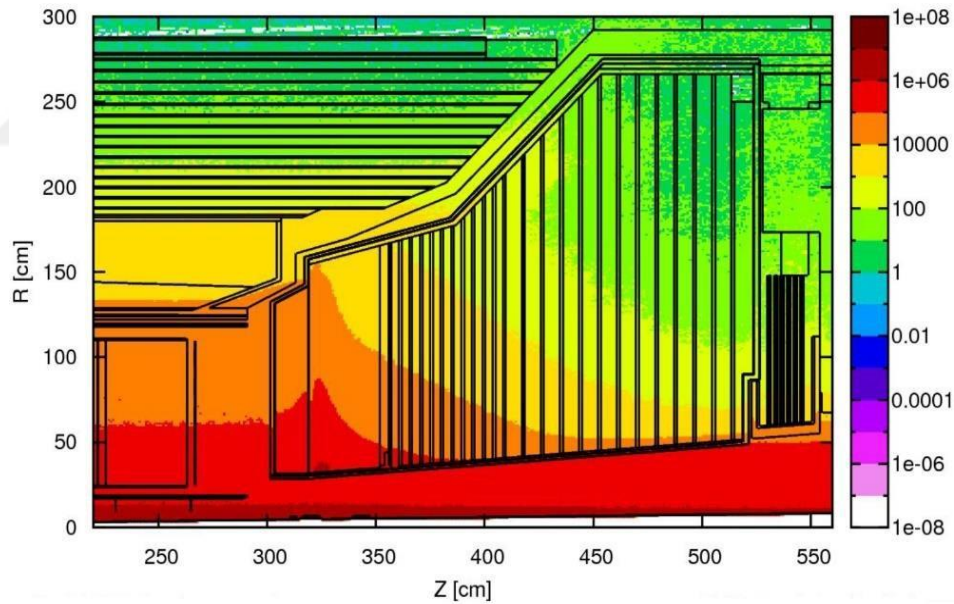
Şekil 3.2 Elektromanyetik kısmı da içeren hadronik düşlerin oluşumu

Kalorimetreler; yukarıdaki yöntemlerle yüksek enerjili elektronlar ile fotonlar ve hadronlar parçacıkların enerji değerlerinin ölçümünde kullanılmaktadır. Kalorimetreler etkileşme tipine göre elektromanyetik ve hadronik kalorimetre olmak üzere iki kısımda ele alınır. Verimli kalorimetrenin en belirgin özelliği elektromanyetik ve hadronik duşlar arasındaki meydana gelen farkı ortaya koyabilmesidir. Kalorimetre içerisinde meydana gelen çağlayanların kısa olması elektromanyetik çağlayanı, hadronik çağlayandan farklı kılan en önemli özelliğidir. Fakat kalorimetreler jetlerin enerjisini ölçmede de kullanılan önemli araçlardır.

Kalorimetreler aynı zamanda müon ve nötrinolar gibi madde içerisinde soğurulmayan parçacıkları da belirler. Müonlar madde içerisinde duş oluşturmazlar fakat parçacık yalıtılmış ise, bu parçacığın yükü kalorimetrede belirlenen bir iyonizasyon sinyali ile belirlenir. Elektronik cihazların kabiliyetleri doğrultusunda bir parçacığı diğer parçacıklardan ayırt edebilirse kalorimetrede iz oluşturur. Oluşan iz ya kalorimetre içerisinde iz ölçümünü sağlayan izleyici sistemler vasıtasıyla ya da kalorimetrelerden daha sonra gelen müon odaları tarafından belirlenmektedir. Diğer yandan nötrinolar bir kalorimetre içerisinde iz bırakmazlar. Varlıkları da enerji korunumundan anlaşılabilmektedir. Bu şekilde bir ölçümün yapılabilmesi için kalorimetre en üst düzeyde enerji sızdırmamalıdır şöyleki kapalı bir (hermetik) yapıya sahip olmalıdır [32].

Günümüzde CMS Deneyinde kullanılan kalorimetreleri, BHÇ'de 10 yıllık veri alımı boyunca maksimum 300 fb^{-1} için gerekli şartları karşılamak üzere tasarlanmıştı. Ancak yüksek ışıklılık döneminde 3000 fb^{-1} 'lik ışıklılık gereksinimini karşılamak için kalorimetrenin aktif malzeme (sintilatörler) ve elektroniğinin yeniden yapılandırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek ışıklılık döneminde özellikle radyasyon dozuna bağlı olarak dedektörlerin performansındaki azalmanın ele alınıp incelenmesi gerekmektedir. Bu durum için CMS Deney işbirliği, Faz-II'nin fizik performansını korumak için birçok bileşenini yenilemeyi hedeflemektedir. Bu bileşenlerden bir kısmı da kalorimetrelerdir. Yüksek Işıklılık – Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (YI-BHÇ) yenileme çalışmalarının önemli parçalarından biri de hali hazırda kullanılan HKAL-HE kalorimetresinin (Bölüm 2.2.4.8'de ayrıntılı olarak anlatılmıştır) yerine HGAL kalorimetresinin kullanılacak olmasıdır. HGAL'ın

teknik tasarımına başlamış ve BHÇ'nin üçüncü kapanması sırasında (2024-2025 yılları arasında) yer değiştirilmesi planlanmıştır. Bu yeni tasarımla, yüksek radyasyon ortamına rağmen, tüm kullanım ömrü boyunca fizik nesnelerinin (parçacıkların) yeniden yapılandırılmasında ve tanımlanmasında mükemmel kalite hedeflenmektedir. Planlanan Faz-II fizik programı, fotonlar ve elektronların tanımlanması, yeniden yapılandırılması, jetlerin ve kayıp enine momentumun ölçümleri için kritik öneme sahiptir [33]. Şekil 3.3, 3000 fb⁻¹'lik radyasyon dozuna maruz kalan ENDCAP kalorimetresinin yüksek ve düşük radyasyon alan kısımlarının FLUKA simülasyonunu göstermektedir. Dağılımın sağ kısmında doz seviyesi belirlemek için renklendirilmiştir. Dedektörün tanecikli yapısı, parçacıkların kalorimetre içindeki sinyallerinin izlenmesine ve ayrıştırılmasına izin vererek yüksek performans fırsatı sunacaktır.

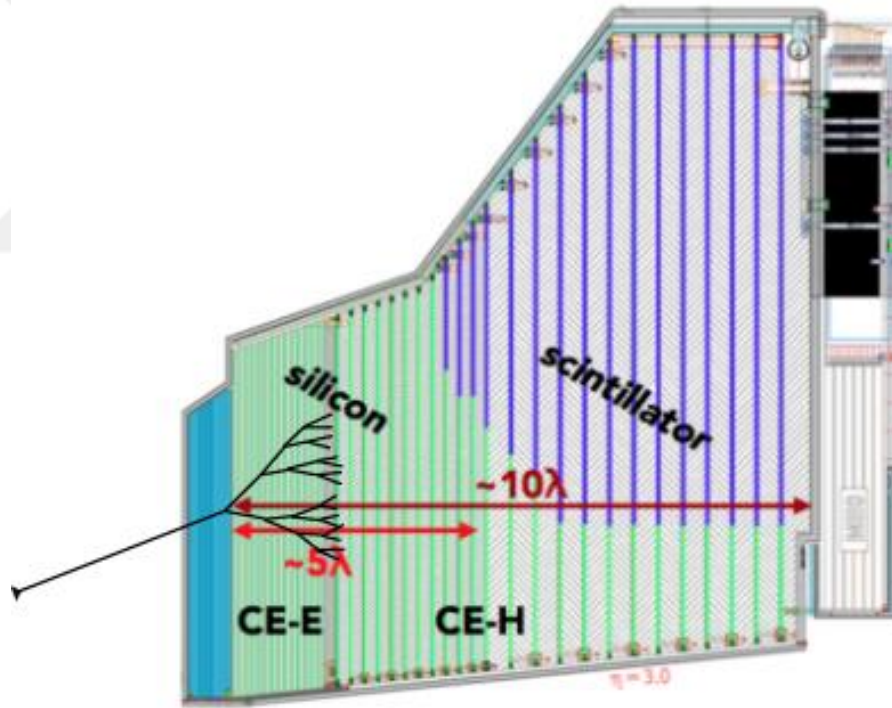


Şekil 3.3 FLUKA simülasyon programı kullanılarak YI-BHÇ'de CMS ENDCAP kısmında r ve z koordinatları boyunca maruz kaldığı doz seviyesinin gösterimi [34]

3.2. HGCAL Tasarımına Genel Bakış

HGCAL'in genel olarak Şekil 3.4'de gösterildiği gibi tasarlanmaktadır. Etkileşim noktasına göre ön tarafında 28 katmanlı altıgen modüllü bir örnekleme

elektromanyetik (EE) kalorimetresi bulunmaktadır. Bu kısım yaklaşık 25 radyasyon uzunluğunu (X_0) veya 1,3 etkileşim uzunluğu (λ) olan bir derinliğe sahiptir. EE’de aktif malzeme olarak silikon kullanılması hedeflenmektedir. Etkileşim noktasına göre EE’nin hemen arkasında 12 katmanlı ve $3,5 \lambda$ derinliğinde, pasif malzemesi paslanmaz çelik olan ön hadron kalorimetresi (FH) takip eder. Hemen FH’yi takip eden bölgede derinliği 5λ olan ve 2 katmanlı arka hadron kalorimetresi (BH) takip etmektedir. Böylece HGICAL yaklaşık boyuna yönde toplam 10λ derinliğine sahip olmaktadır. FH ve BH’nin yüksek radyasyon bölgelerinde aktif malzeme olarak silikonu içerecek şekilde dizayn edilmiştir. Bununla birlikte, FH ve BH’nin düşük radyasyonlu bölgelerinde ise aktif malzeme olarak plastik sintilatör kullanılacaktır [35].



Şekil 3.4 HGICAL genel yapısının ve EE, FH, ve BH kısımlarının teknik çizimi [35]

3.2.1. HGICAL’ın Mekanik Tasarımı

EE için önerilen tasarımda, ilk 10 katman $0.65 X_0$ kalınlıklı soğurucu, daha sonraki 10 tabaka $0.88 X_0$ kalınlıklı soğurucu ve geriye kalan 8 katman ise $1,26 X_0$

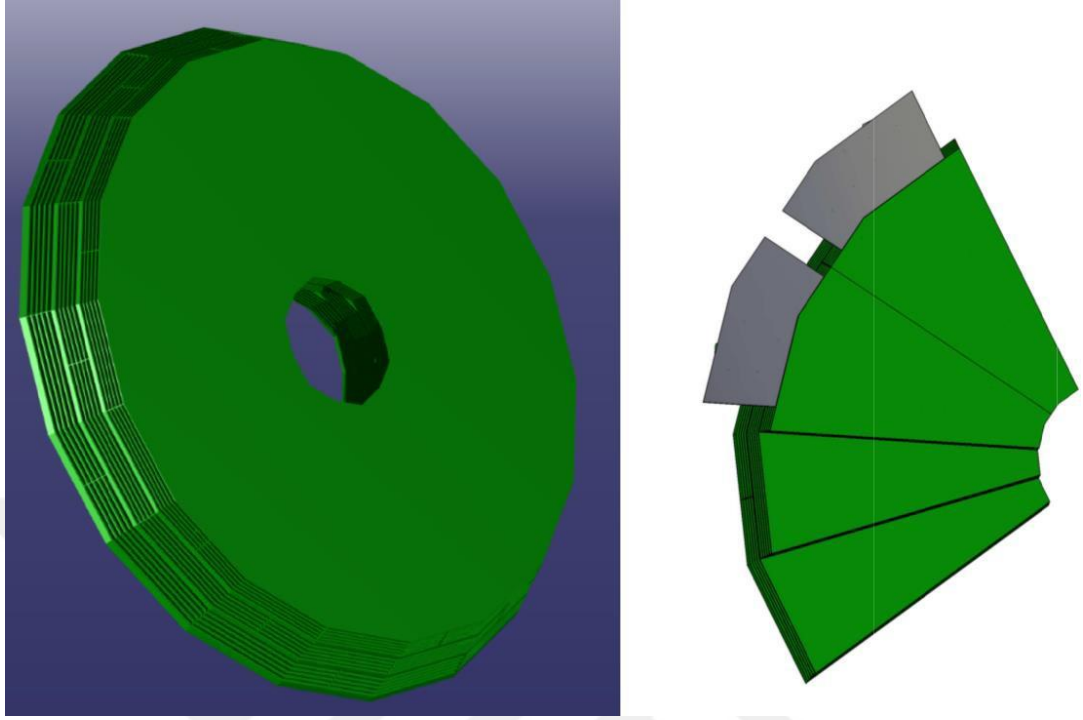
kalınlıklı soğurucu şeklinde silikon bir düzlemi takip etmektedir. FH ve BH’de ise, her birinde 12 katman olmak üzere toplam kalınlık yaklaşık 60 cm’dir. EE, FH ve BH’deki her örnekleme katmanını birbirlerinden bağımsız olarak okunur. Çizelge 3.1, bu katmanların ana parametrelerini göstermektedir [35].

EE’nin genel mekanik tasarımı, ILC (International Linear Collider) TDR’nin 4. baskısında açıklanan, ancak değiştirilmiş bir radyal geometriye sahip olan EE-ILD (International Linear Design) prototipine dayanmaktadır. EE, 30°’lik tungsten soğurucu plakaları ve “kaset”lerin yerleştirildiği boş yarıkları ardışık dizildiği bir karbon-fiber yapıdan oluşmaktadır. Her kaset, iki aktif düzlemden ve bunların soğurucu bölgesinin her iki yanındaki ön uç elektroniklerinden oluşur. Soğurucu malzeme, hem mekanik yapı hem de destek ve soğutma sağlar. Bu yapı Şekil 3.5’de gösterilmektedir. Kasetler, soğutma kanalları içeren 6 mm kalınlığındaki bakır bir plakanın her iki tarafında bulunur. Altıgen silikon sensör plaka çiftleri Baskılı Devre Kartı (BDK)’na monte edilir. Sensörlerin diğer yüzeyleri radyasyon uzunluğu açısından uygun kalınlığa sahip tungsten-bakır kompozit taban plakasına yapıştırılmıştır. Taban plakası ve silikon levha arasındaki ince bir kapton tabakası, sensörün arka düzleminde yüksek voltaj izolasyonu sağlar [35] [36].

Çizelge 3.1 HGCAL’ın EE, FH&BH’nin ana parametreleri [35]

	EE	FH & BH	Toplam
Silikon Alanı (m ²)	380	209	589
Kanallar	4,3 M	1,8 M	6,1 M
Dedektör Modülleri	13900	7600	21500
Ağırlık (ton)	16,2	36,5	52,7
Si Düzlemlerin Sayısı	28	24	52

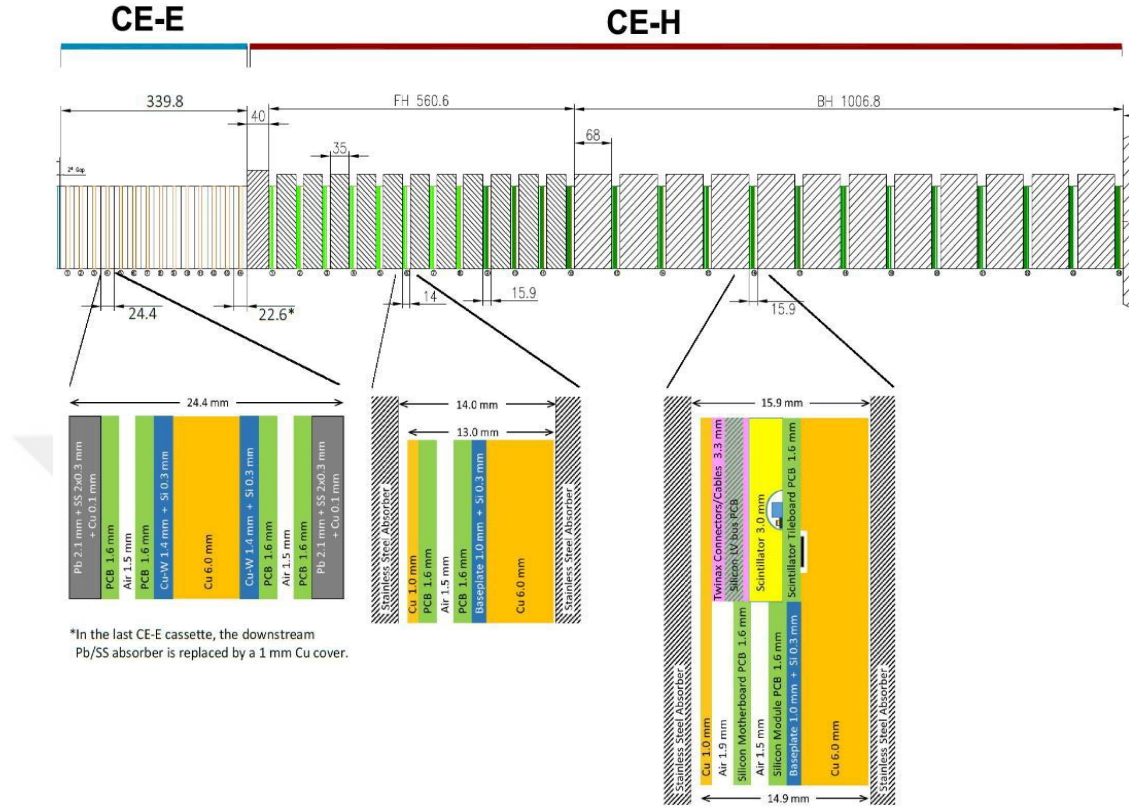
FH ve BH’nin genel mekanik yapısı da, EE’ye benzer olan ancak tek bir sensör düzlemi taşıyan kasetler ile pirinç levhalar arasındaki yuvalara yerleştirilen sürmeli bir yapıdan oluşmaktadır. Bu kasetlerde, sensör plakası ve Cu soğutma plakası arasındaki bölgenin bir soğurucu olarak işlev görmesi gerekli değildir.



Şekil 3.5 Boş yuvalarla alternatif tungsten soğurucu plakaları birleştiren EE karbon-fiber yapısı (sol). Bir kaset yapısının bir yuvaya yerleştirilmesi (sağ) [35]

Uçucu etkisi olan CO₂ soğutma kullanılacaktır. CO₂, sıvı fazından -56°C ila $+31^{\circ}\text{C}$ arasında buharlaşır ve pratik bir uygulama aralığı -45°C ila $+25^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Soğutma sıvısı, bakır levhalara gömülmüş paslanmaz çelik borulardan geçer. Ön uç ASIC (Application Specific Integrated Circuit) tarafından dağıtılan toplam gücün, kanal başına 10.5 mW olduğu tahmin edilmektedir. Bu da her iki uç kapak için toplam 65 kW'dır. Toplam dağıtılan 100 kW güç, kontrol ve okuma bağlantılarını iletmek için gereken güçtür. 3000 fb⁻¹'den sonra her iki uç kapağı için sensörler boyunca kaçak akım tarafından harcanan gücü hesaba katarak, ayrıca soğuk hacim içindeki sistem tarafından dağıtılan 125 kW güç sağlamak için 25 kW güç daha ilave edilmelidir [35].

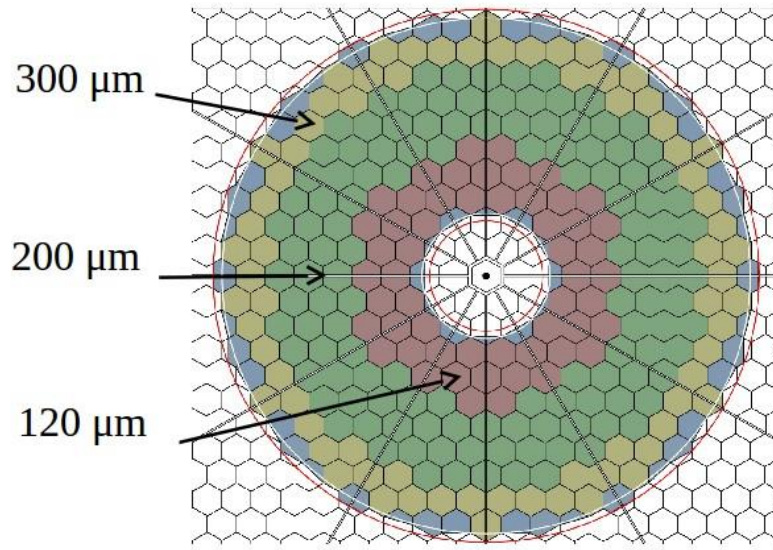
Yapılacak HGICAL tasarımının kaset yapılarına detaylı bakacak olursak 3 farklı tip kaset yapılacaktır. Elektromanyetik kısım (CE-E) 1 tip, hadronik kısım (CE-H) ise 2 tip kaset yapısı içerecektir. Şekil 3.6'da bu 3 tip kaset yapıları gösterilmektedir.



Şekil 3.6 HGAL'in uzunlama yapısındaki kaset tipleri [37]

3.2.2. Silikon Sensörlerin Tasarımı

HGAL için silikon sensörler basit, geniş alanlı, tek taraflı okuma hücrelerinden oluşmaktadır. Şekil 3.7'da gösterildiği gibi sensörler bulundukları yerde beklenen nötron akısı ile belirlenen 300 μm , 200 μm ve 120 μm aktifkalınlıklara sahip olacaktır. Hücre boyutları, hücre kapasitansını yaklaşık 60 pF ile sınırlayacak şekilde ayarlanır. Çizelge 3.2, farklı aktif kalınlıkların kullanıldığı EE ve FH bölgelerini, 3000 fb^{-1} 'den sonra beklenen maksimum nötron akısını, hücre boyutlarını ve bir MIP için beklenen S/N (sinyal/gürültü) oranını vermektedir. Bölgeler hüزمة ekseninden ölçülen yarıçap (R) ile belirlenir



Şekil 3.7 Farklı sensörlerin aktif kalınlıklarına göre konumu. Daha ince sensör, beklenen nötron akısının daha yüksek olduğu kalorimetrenin daha iç kısmına yerleştirilmiştir [37]

CMS izleyici tarafından seçilen sensör tipi, yüksek radyasyon dayanıklılığı için n-on-p tipi sensörlerdir. Sensörler ve hücreler, plaka yüzeyini en iyi şekilde kullanmak için altıgen şekillerinde üretilmiştir. Sensörler 6" veya 8" boyutlarında üretilecek ve tam boyutlu altıgen sensör ilk durumda yaklaşık 137 cm²'lik bir alanı kaplayacaktır.

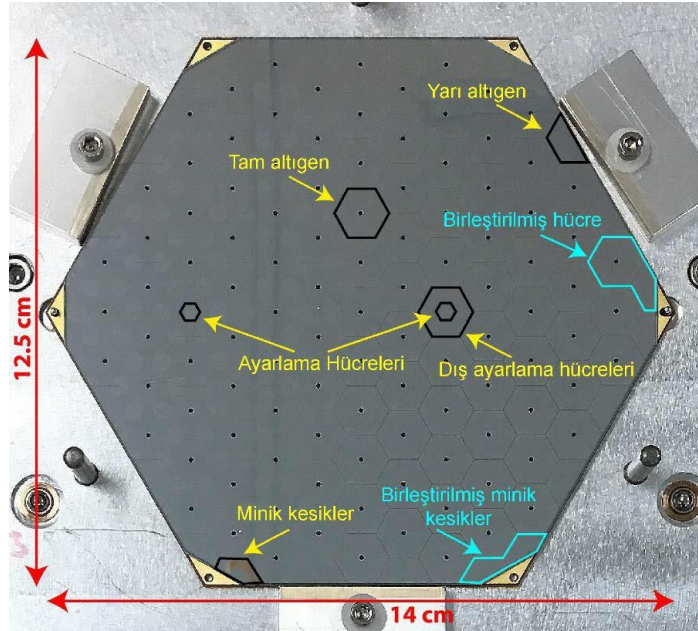
Çizelge 3.2 Farklı kalınlıktaki silikon sensörlerin yerleşimi ve özellikleri [35]

Kalınlık (µm)	300	200	120
Maksimum doz (Mrad)	3	20	100
Maksimum n akısı (cm ⁻²)	6×10^{14}	2.5×10^{15}	1×10^{16}
EE bölgesi	$R > 120$ cm	$120 > R > 75$ cm	$R < 75$ cm
FH & BH bölgesi	$R > 100$ cm	$100 > R > 60$ cm	$R < 60$ cm
Si plaka alanı (m ²)	290	203	96
Hücre boyutu (cm ²)	1,05	1,05	0,53
Hücre kapasitansı (pF)	40	60	60
MİP için S/N	13,7	7,0	3,5
3000 fb ⁻¹ den sonra S/N	6,5	2,7	1,7

3.2.3. Sensör Hücreleri

Sensördeki hücrelerin çoğunluğu $1,1 \text{ cm}^2$ 'lik alana sahip altıgen şekillerden oluşmaktadır. İki parçaya ayrılmış iki altıgen hücre vardır. Bunlar, tam altıgen hücrenin yaklaşık 1/9'luk kısmı kadar bir “iç kalibrasyon hücresi” ve bunu çevreleyen “dış kalibrasyon hücresi”dir. Daha küçük alanlar daha küçük bir kapasitansla sağlanmaktadır. Sensörlerin kenarlarına “yarı-altıgen hücre” ve köşelerine “birleştirilmiş hücreler” denilmektedir. Şekil 3.8’de bir BDK düzlemi üzerindeki silikon algılayıcıdaki çeşitli hücre tiplerinin gösterimi verilmiştir. Her sensörde 134 bireysel hücre vardır.

Bu, ön-uç ASIC çiftlerinde mevcut olan elektronik kanal sayısını (128) aştığından, sensör çevresindeki bazı hücre çiftleri, “birleştirilmiş minik kesikler” ve “birleştirilmiş hücreler” oluşturmak için BDK’ye elektriksel olarak bağlanmıştır. Bu da toplam 127 okuma kanalı ile sonuçlanmıştır. Bağlanmamış olan bu 1 adet kanal ise iletişim bağlantısı için kullanılacaktır. Her bir hücre tipinin ve okuma kanallarının sayıları Çizelge 3.3’de özetlenmiştir.



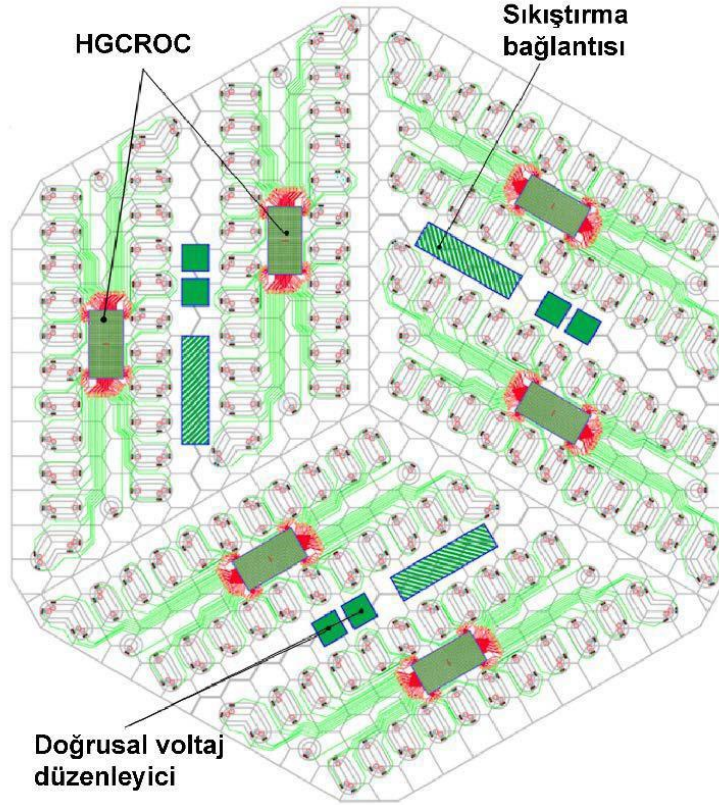
Şekil 3.8 Bir modülde hücre tiplerinin gösterimi [38]

Altıgen plaka, altı köşesinde de minik kesikleri olan yapılardır. Minik kesikler, taban plakasındaki konumlandırma ve birleştirme deliklerine erişim sağlar. Minik kesikler ayrıca altıgen plakalara kablo bağlantıları için Kapton-Au'nın bir kısmına erişebilme imkânı sağlar. Bu sayede sensörün arka düzlemine ön gerilim uygulanır. Altıgen plaka HGCROC (HGCAL için BDK okuması) ön uç okuma ASIC'lerini içerecektir. Sensör altlıklarından gelen sinyaller dâhili ADC (Analog-Dijital Dönüştürücü) için HGCROC'a yönlendirilir. 432 kanallı sensör için altıgen plaka modül düzeni ve döner halkaların yakınlaştırılmış bir görüntüsü, Şekil 3.9'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 Hücre tiplerinin sayıları ve okuma kanalları [38]

	Sensör hücreleri	Okuma kanalları
Tam altıgen	106	103
Yarı altıgen	12	12
Minik kesikler	12	0
İç ayarlama hücreleri	2	2
Dış ayarlama hücreleri	2	2
Birleştirilmiş minik kesikler	0	4
Birleştirilmiş hücreler	0	4
Toplam	134	127

Taban plakası, kapton, silikon sensörü ve altıgen plaka, tek bir fiziksel ünite oluşturmak üzere epoksi ile birleştirilir. Altıgen plaka üzerindeki bir Au yapıştırma altlığı ve her bir sensör altlığı; arka düzlem ön gerilimi sağlayan Au- Kapton katmanını ve sensör koruyucu halkalar arasında çoklu tel bağlantı kümeleri yapılır. Tel kümeleri şeffaf ve ısımaya karşı korumalı silikon elastomer ile kaplanıp korunur. Modüllere monte edilmeden önce, tüm sensörler hücre başına kaçak akımlarına ve farklı ön mıknatıslama voltajları altındaki dirençlerine göre yerleştirilmiştir.

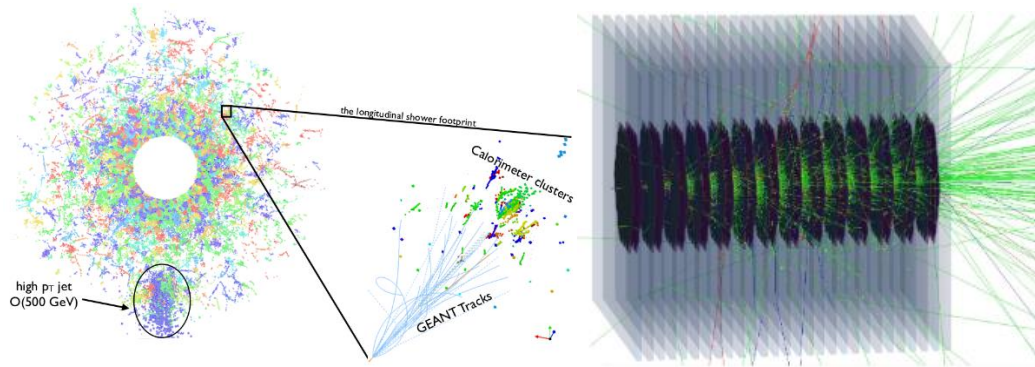


Şekil 3.9 Altıgen plaka ile BDK okuma bağlantılarının yakınlaştırılmış bir görüntüsü [37]

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı güncellenerek Yüksek Işıklılık ile çalıştırılacak. Böyle bir durumda, BHÇ'nin ışıklılığı mevcut durumundaki bütüncül ışıklılığından yaklaşık otuz katı veya daha fazla olacaktır. YI-BHÇ proton-proton çarpışmalarında, özellikle yığılma (pileup)'dan dolayı mevcut durumdan yedi kat daha fazla radyasyonun oluşturacaktır. Bu gibi durumlar detektörlerin radyasyon dayanıklılıklarını önemli ölçüde değiştirecektir, özellikle illeri bölge kalorimetrelerini ciddi şekilde etkileyeceklerdir [3].

YI-BHÇ'nin güncellenmesi kapsamında CMS Deneyinin yan kısımlardaki (Endcap Calorimeter) hem elektromanyetik (EKAL) ve hem de hadronik (HKAL)'ler de güncellenerek yerlerine High Granularity Calorimeter (HGCAL) farklı ve yeni bir kalorimetre yapılarak yerleştirilecektir. Bu kalorimetrenin özellikleri yukarıdaki Bölüm 3.2.1 ile Bölüm 3.2.3 arasında anlatılmıştır. HGCAL'ın bir yandan da MC simülasyonu yapılarak davranışları daha iyi anlaşılma çalışmaları devam etmektedir. YI-BHÇ, koşullarında HGCAL bölgesindeki parçacık yoğunluğu Şekil 4.1'de görülmektedir. Bu verilerin toplanıp analizi önemlidir, çünkü yeni dizayna göre yazılımının da güncellenmesi gerekmektedir [3].



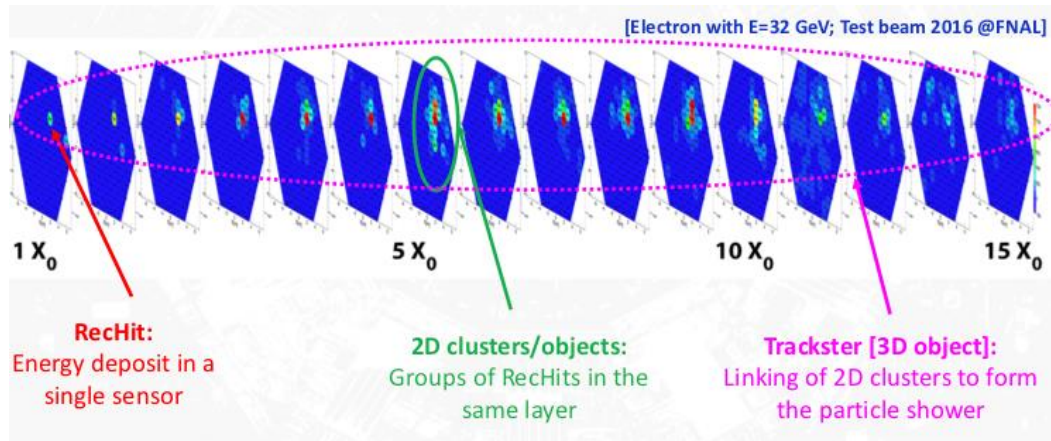
Şekil 4.1 MC simülasyonu ile HGCAL'da yeniden yapılandırılan parçacıkların görünümü [3]

HGCAL kalorimetresi, verilerin analizinde çeşitli kolaylıkları sağlayacaktır; olayların yeniden yapılandırılmasını kolaylaştıracak, böylece duşların ince yapısı ölçülebilir olacak ve yığılma (pileup) reddi kolaylaşacak ve böylece parçacıkları

tanımlama ve ayırmayı iyileştirecektir. Ayrıca, mükemmel enerji çözünürlüğü elde edilecektir. Ek olarak, okuma elektronığının yüksek hassasiyetli zamanlama yetenekleri yardımıyla olay yeniden yapılandırılmasına yeni boyut katacaktır; bu sayede pileup olaylarının reddi kolaylaşacak, bu tür özellikleri HGCal'ın son derece güçlü bir araç haline gelmesini sağlayacaktır [3].

Simülasyonu yapılmış proton-proton çarpışmasında, mevcut HGCal rekonstrüksiyonu (yeniden yapılandırma), başına yüzlerce “Tracksters” üretildiği görülmektedir. “Tracksters”, tek bir yeniden yapılandırılmış fizik nesnesine ait olan topolojik olarak bağlı katman kümelerini temsil etmektedirler [3].

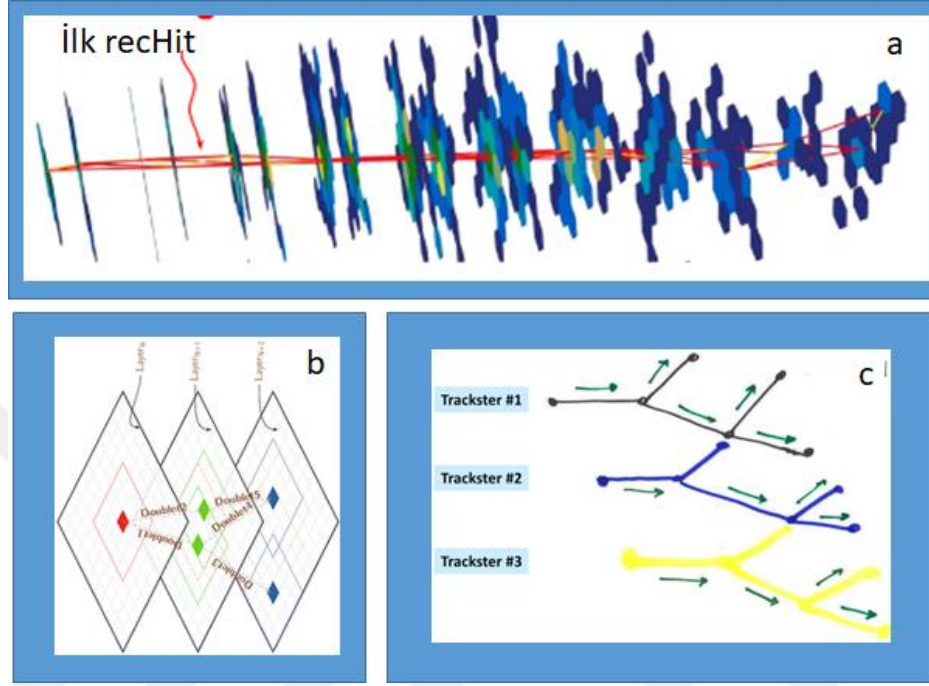
Bir “Tracksters” Şekil 4.2'deki gibi olup; parçacık HGCal'ın içinden geçince her bir tabakadaki etkileşimleri yardımı ile recHit'ler oluşacak. Tracksters, ilk recHit'in olduğu tabaka ile başlar son recHit'in olduğu tabaka ile biter. Şekil 4.2'den de görüleceği üzere bir tabakada birden fazla recHit'te olabilir bunlara da iki boyutlu (2D) recHit denir, özel olarak bir tabakadaki küme (layer cluster (lc)) olarak adlandırılır. Böylece, trackster parçacık çağlayanındaki lc'ları birbirine bağlayan (3D) bir nesne olarak tanımlanmaktadır [3].



Şekil 4.2 Parçacık çağlayanından dolayı tabakalardaki depolanan enerji aracılığı ile recHit, tabakadaki küme (layer cluster (lc)) ve trackster görünümü [3]

Bir “Tracksters” oluşumuna daha yakından bakalım; Şekil 4.3'deki gibi, bir tabakada oluşan recHit bilgisi ile trackster başlar, ardından gelen tabakadaki recHit'ler

ile iç ve dış açılara bakarak en uygun bağlantı bulunarak devam eder. Bu işlem son recHit'in olduğu tabakaya kadar devam eder ve böylece trackster oluşturulur.



Şekil 4.3 Tabakalardaki recHit'ler yardımıyla trackster'in yapılandırılması [3]

Bu tezde kullanılan veriler MC verileri olup üretim için CMS çerçeve programlarından CMSSW_12_0_0_pre2 versiyonu kullanılmıştır. HGAL'in MC veri üretimi; *CloseByParticleGunProducer* ve *Pythia8PtGun* olmak üzere iki farklı parçacık üretici kullanılarak yapılmıştır. Genel olarak, foton, elektron, pion ve Kaon-Uzun parçacıkları detektöre gönderilerek, detektörden toplanan verilerin toplanması şeklinde üretimler yapılmıştır. Ancak dedektörün doğrusallığı ve verimi için foton ve pion verileri kullanılmıştır.

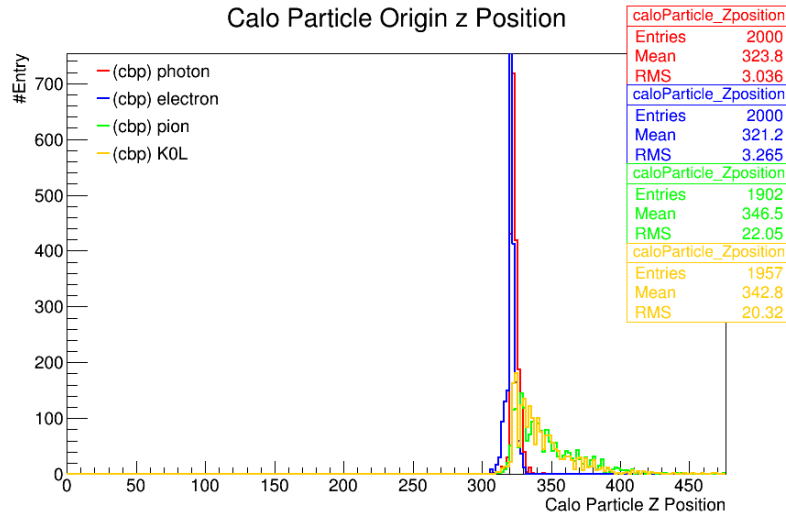
CloseByParticleGunProducer ve *Pythia8PtGun* üreticilerin en belirgin farkları, z-eksenine göre HGAL'a farklı noktalardan parçacık fırlatma özelliklerine sahip olmalarıdır. *Pythia8PtGun* üreticiden gelen parçacıklar etkileşim noktasından (IP), *CloseByParticleGunProducer* üreticiden gelen parçacıklar HGAL'a daha yakın bir noktadan fırlatılmaktadır.

Bu analiz için PileUp olmayan (noPU) veri üretimi ve analizi yapılmaktadır. Bu veriler, şu koşullarda üretilmiştir:

- Foton ve Pion parçacıkları kullanılmıştır,
- z-ekseni değerlerini sabit tutmak,
- $\eta = 2.0 \pm 0.1$ değerinde olmak,
- $\phi = -3.14$ ile 3.14 yani ϕ değerinde olmak,
- 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 450, 500, 550 GeV gibi değişik enerji değerinde olmak,
- Bu koşullarda 2000 olaylı veri üretimleri yapılmıştır.

Yukarıdaki koşullar altında HGCAL detektörü için veriler üretilmiştir. Elde edilen veriler yardımıyla dedektörün doğrusallığı ve verimliliği test edilmiştir. Sonuçlar ileriki bölümlerde paylaşılacaktır.

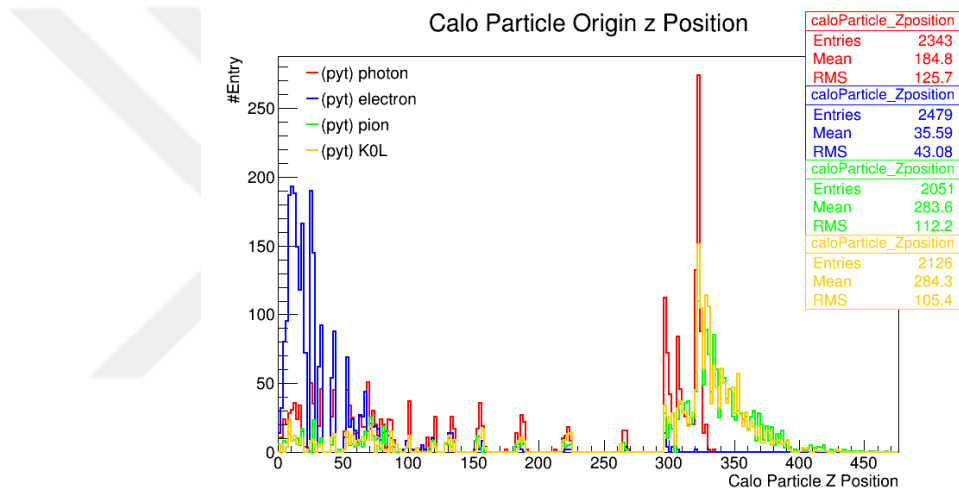
Veriler analiz edilecek hale gelene kadar, dört aşamadan geçmektedir. Bu aşamalar sırasıyla; SIM, HLT, GEN-SIM ve RECO şeklinde olup bu süreçlerin sonunda MC verileri, CMS deney proton-proton çarpışma verileri ile aynı formata gelerek analiz edilecek hal alınmaktadır.



Şekil 4.4 Foton, Elektron, Pion ve Kaon parçacıklarının CloseByParticleGunProducer yöntemi ile z-eksenindeki konumlarının dağılımı

Foton, elektron, pion ve kaon gibi parçacıkların CMS'in z-eksenine bağlı olarak bulundukları konumları CloseByParticleGunProducer (CBP) üretici ile elde

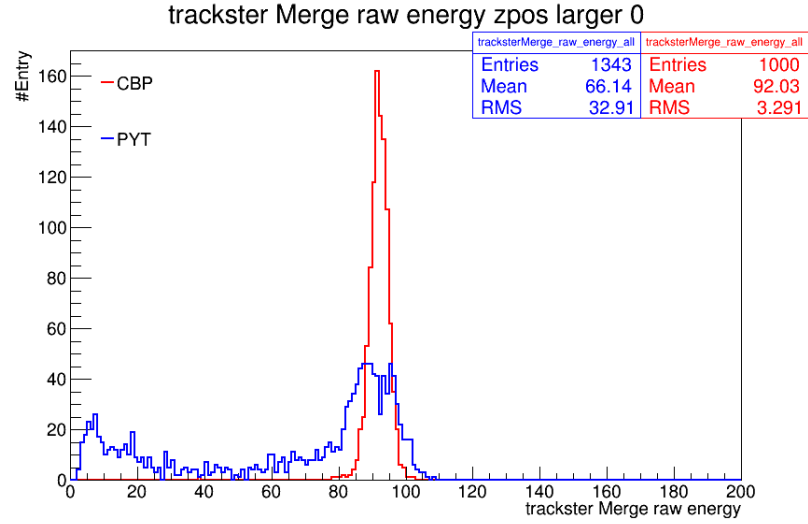
edilen sonuçları Şekil 4.4 ve Pythia8PtGun üretici ile elde edilen değerleri Şekil 4.5'teki gibidir. Dağılımında da görüldüğü üzere foton, elektron, pion ve kaon parçacıklarının CloseByParticleGunProducer için z-eksenindeki konumu aynı parçacıkların Pythia8PtGun için z-eksenindeki konum dağılımı farklılık göstermektedir. Böylece iki üretim metodunun parçacıkların çıkış konumları farklı olduğu anlaşılmaktadır. CloseByParticleGunProducer üretici parçacıkları hemen HGCal'ın önünde fırlatırken Pythia8PtGun üretici parçacıkları etkileşim noktasından (IP) fırlatmaktadır. Bu dağılımlarda her bir parçacık farklı bir renkle gösterilmektedir.



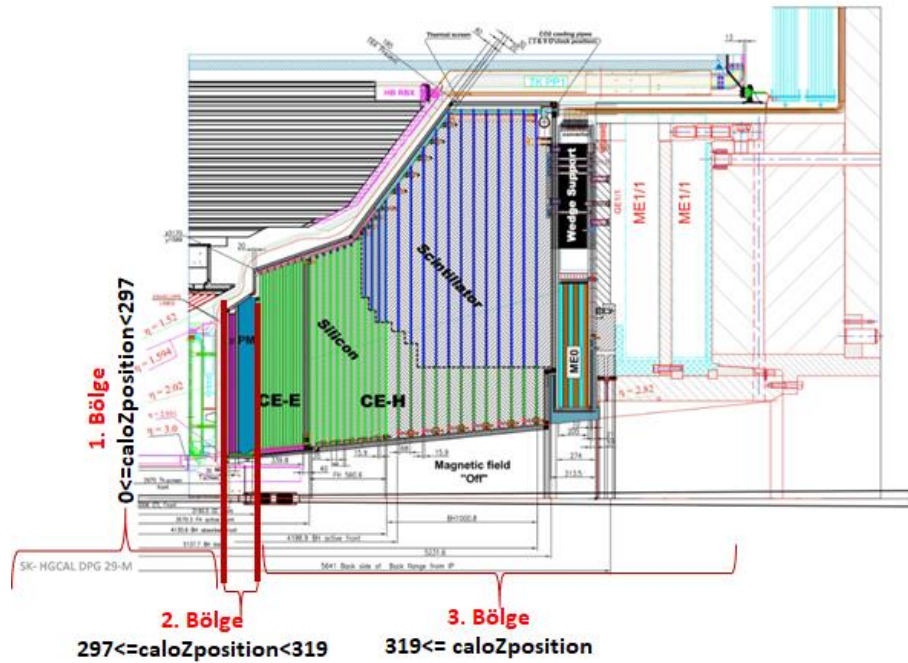
Şekil 4.5 Foton, Elektron, Pion ve Kaon parçacıklarının Pythia8PtGun metodu ile z-eksenindeki konumlarının dağılımı

CloseByParticleGunProducer ve Pythia8PtGun metodları ile üretilmiş 100 GeV enerjili fotonun enerji dağılımı Şekil 4.6'da görüldüğü gibidir. Bu dağılımdan da görüleceği üzere CloseByParticleGunProducer metodu sonuçlarına göre enerji dağılımının değeri 92.03 GeV iken Pythia8PtGun metodu sonuçlarına göre enerji dağılımı değeri 66.14 GeV'dir. Bu dağılımdan da anlaşıldığı üzere Pythia8PtGun metodundan gelen parçacıklar HGCal'a ulaşmadan önce değişik alt dedektörlerde enerjilerinin bir kısmının kaybetmektedir. Bu durumda bu iki üretim metodunun enerji değerlerinin sonuçlarını karşılaştırmak sağlıklı olmayacaktır. Analizin daha sağlıklı ve sonuçların karşılaştırıl olması ancak her iki metodun da aynı koşullara sahip olması ile mümkün olacaktır. Bu bağlamda kalorimetre parçacıkları üzerinde Şekil 4.7'deki gibi

z-ekseni (caloZposition) bilgisine bağlı olarak üç bölge kısıtlama koşulu konulmuştur. Bu kısıtlamalar, birinci bölge $0 \leq z < 297$, ikinci bölge $297 \leq z < 319$ ve üçüncü bölge $319 \leq z$ olarak belirlenmiş olup HGCAL üçüncü bölgede yer almaktadır.

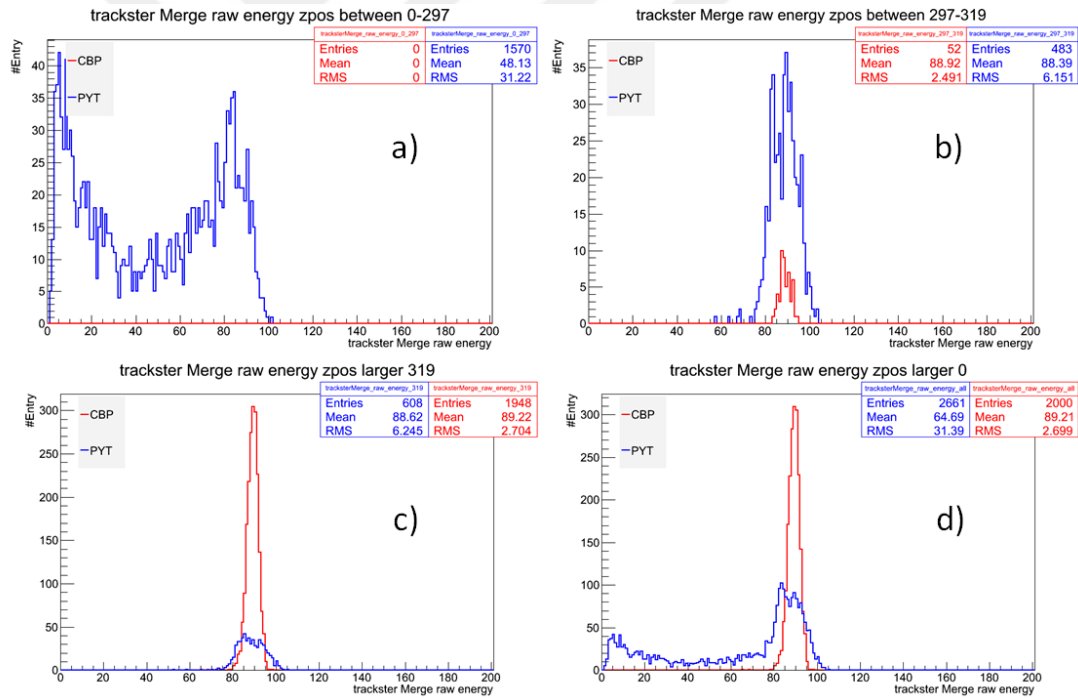


Şekil 4.6 CloseByParticleGunProducer ile Pythia8PtGun metotları ile üretilmiş 100 GeV enerjili fotonun enerji dağılımı



Şekil 4.7 CloseByParticleGunProducer ile Pythia8PtGun metotlarının verilerini aynı koşullarda analiz etmek üzere HGCAL üç bölgeye ayrılışını göstermektedir

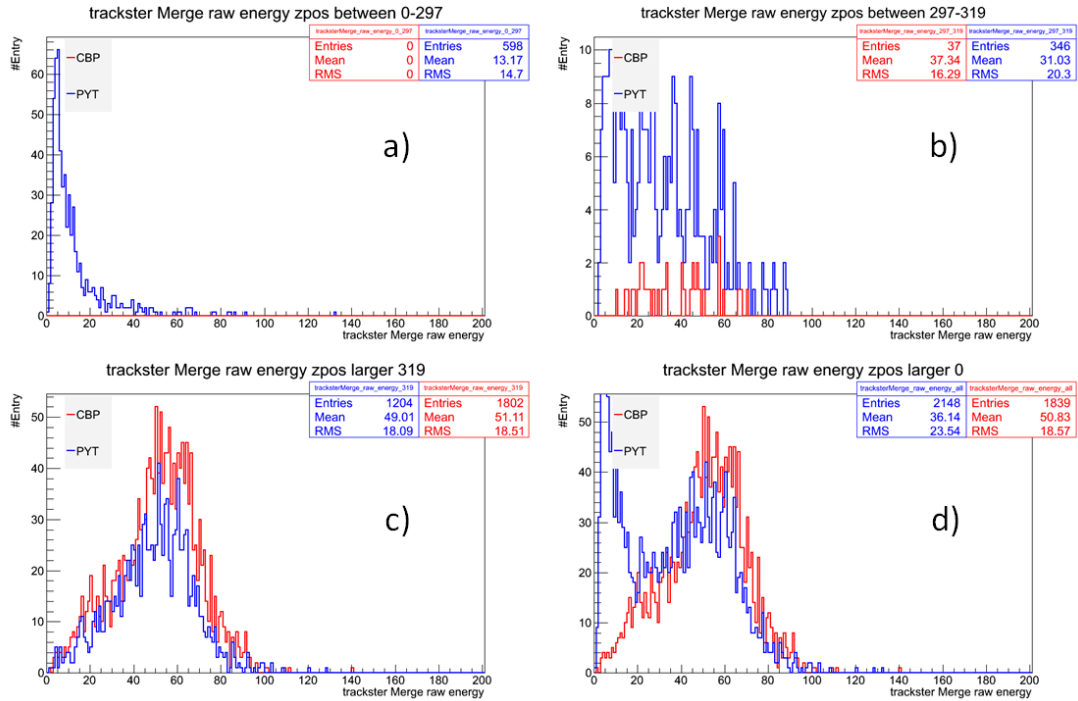
Üç bölge z-ekseni kısıtlamasından sonra her bir bölgedeki 100 GeV enerjili tek fotonun enerji dağılımı hem CloseByParticleGunProducer ile hem de Pythia8PtGun dağılımları Şekil 4.8’de görülmektedir. Bu grafiklerdeki mavi dağılım Pythia8PtGun’ın sonuçlarını ve kırmızı dağılım ise CloseByParticleGunProducer sonuçlarını göstermektedir. Şekil 4.8’deki (a) dağılımı birinci bölgeye aittir. Dikkat edilirse bu bölgede CloseByParticleGunProducer metoduna ait dağılım görünmemektedir. Şekil 4.8 (d) dağılımı ise tüm bölgelerin verisini içermektedir. Buradan da görüleceği üzere Pythia8PtGun metodundan gelen parçacıklar etkileşim noktasından itibaren her bölgede enerji kaybederken CloseByParticleGunProducer metodu birinci bölgede hiç enerji kaybetmezken ikinci bölgede az enerji kaybediyor ve enerjisinin büyük bir kısmın HGAL bölgesi olan üçüncü bölgede kaybetmektedir.



Şekil 4.8 100 GeV enerjili fotonların hem CloseByParticleGunProducer hem de Pythia8PtGun metotları ile üç bölgede (a) birinci bölge, (b) ikinci bölge ve (c) üçüncü bölge ve (d) herhangi bir kısıtlama olmadan kaybettiği enerjileri göstermektedir

Fotonun enerji dağılımına benzer tek pion’lu 100 GeV enerjili ve eta 2.0 durumuna sahip parçacığın hem CloseByParticleGunProducer ile hem de Pythia8PtGun dağılımları Şekil 4.9’de görülmektedir. Bu grafiklerdeki mavi dağılım

Pythia8PtGun'ın sonuçlarını ve kırmızı dağılım ise CloseByParticleGunProducer sonuçlarını göstermektedir. Şekil 4.9'deki (a) dağılımı birinci bölgeye ait olup dikkat edilirse bu bölgede CloseByParticleGunProducer metoduna ait dağılım görünmemektedir. Şekil 4.9 (d) dağılımı ise tüm bölgelerin verisini içermektedir. Buradan da görüleceği üzere Pythia8PtGun metodundan gelen parçacıklar etkileşim noktasından itibaren her bölgede enerji kaybederken CloseByParticleGunProducer metodu birinci bölgede hiç enerji kaybetmezken ikinci bölgede az enerji kaybediyor ve enerjisinin büyük bir kısmın HGCAL bölgesi olan üçüncü bölgede kaybetmektedir.

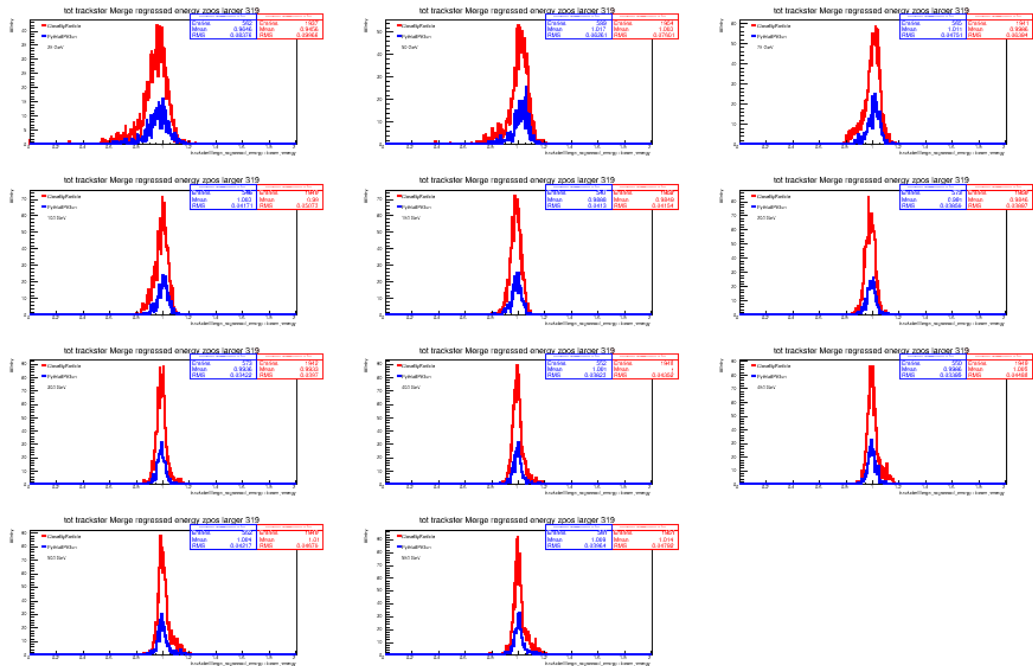


Şekil 4.9 Enerjisi 100 GeV pionların hem CloseByParticleGunProducer hem de Pythia8PtGun metotları ile üç bölgede (a) birinci bölge, (b) ikinci bölge ve (c) üçüncü bölge ve (d) her hangi bir kısıtlama olmadan kaybettiği enerjileri göstermektedir

Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 dağılımlarından da görüleceği üzere CloseByParticleGunProducer ile Pythia8PtGun metotlarının enerji davranışları her bölgede aynı değildir. Bunun sebebi bu metotların fırlattıkları parçacıkların etkileşim noktasına göre farklı konumlarda olmasından kaynaklanmaktadır. Bu metotların konumlarını anca üçüncü bölgede aynı konuma gelmektedir. Bundan dolayı da üçüncü bölge kısıtlaması üzerinden elde ettiğimiz enerji değerleri üzerinden analizler

yapılmaktadır. İlk adım olarak detektörden okunan enerji değerlerini gelen parçacığın enerjisine oranlanmaktadır (parçacıkların enerjisine göre normlamak). Böylece gelen parçacığın enerjisindeki dalgalanmaların etkisini de en az seviyeye indirilmektedir.

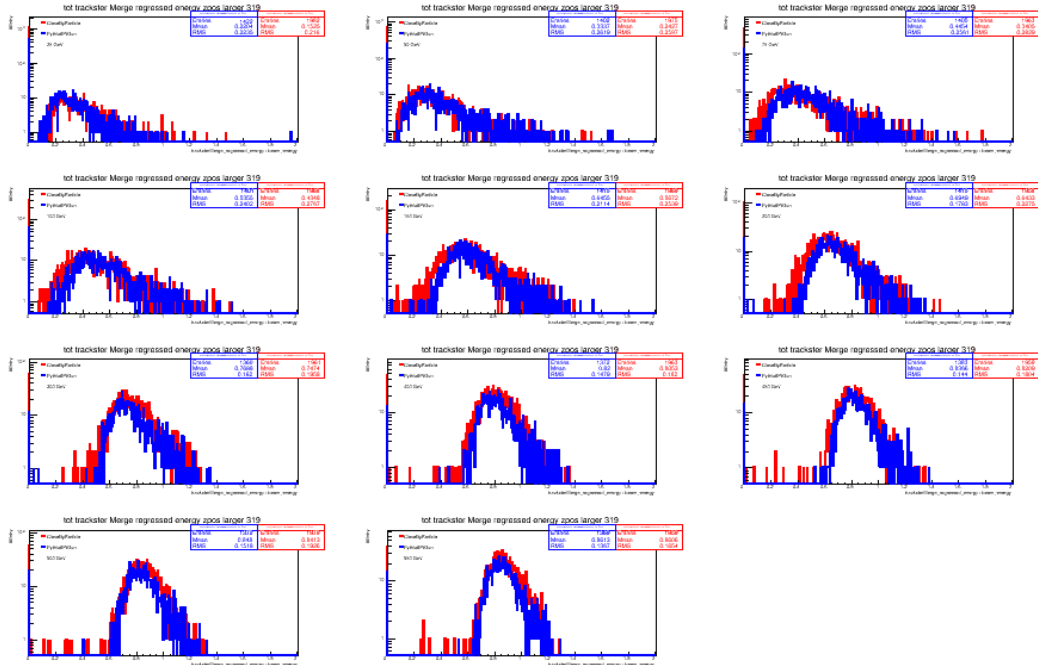
Tüm kısıtlamalar uygulandıktan sonra Şekil 4.10'da diğer koşulları sabit (z-eksen noktası, eta, phi ve olay sayısı) tutulmak kaydı ile 10-550 GeV enerjilerde olmak üzere 12 değişik enerji değerinde (10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 450, 500, 550 GeV) foton dağılımları görülmektedir. Bu dağılımların mean değerleri alınarak enerji dağılımları ve dedetör verimliliği incelenmiştir. Şekil 4.10'da dağılım örnek olması açısından sadece Trackstermerge_Regressed_Energies (dedektörden okunan değer gelen parçacığın enerjisi ile oranlanarak normalize edilmiştir) verileri ile elde edilmiştir. Benzer olarak 2D_LC dağılımı, Trackstermerge_Raw_Energies, dağılımları da elde edilerek ilgili koşulların da mean değerleri alınarak enerji dağılımları ve dedetör verimliliği incelenmiştir.



Şekil 4.10 fotona ait 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 450, 500, 550 GeV enerji değerlerindeki Trackstermerge_Regressed_Energies dağılımları

Fotondaki kısıtlamaların aynısı pion için uygulandığında Şekil 4.11'deki diğer koşulları sabit (z-eksen noktası, eta, phi ve olay sayısı) tutulmak kaydı ile 10-550 GeV

enerjilerde olmak üzere 12 değişik enerji değerinde (10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 450, 500, 550 GeV) pion dağılımları görülmektedir. Bu dağılımların mean değerleri alınarak enerji dağılımları ve dedetör verimliliği incelenmiştir. Şekil 4.11’de dağılım örnek olması açısından sadece Trackstermerge_Regressed_Energies (dedektörden okunan değer gelen parçacığın enerjisi ile oranlanarak normalize edilmiştir) verileri ile elde edilmiştir. Benzer olarak 2D_LC dağılımı, Trackstermerge_Raw_Energies, dağılımları da elde edilerek ilgili koşulların da mean değerleri alınarak enerji dağılımları ve dedetör verimliliği için kullanılmıştır.

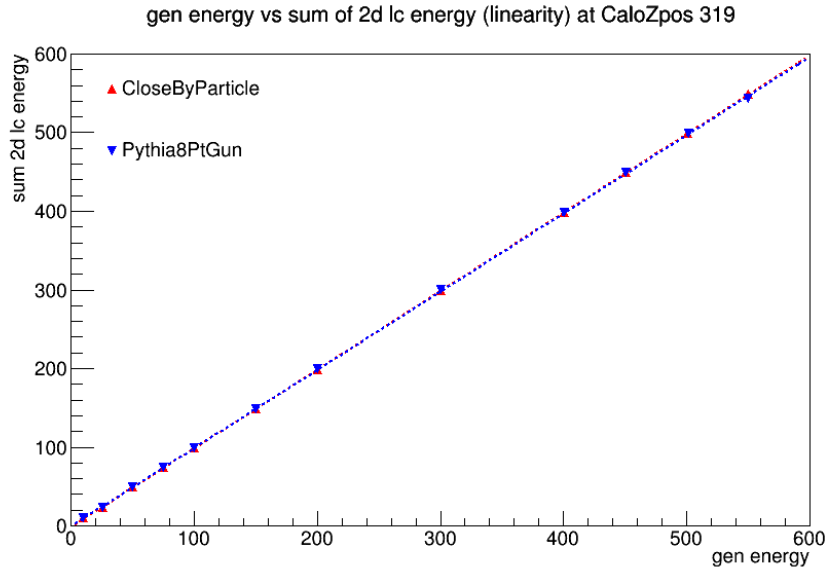


Şekil 4.11 Piona ait 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 450, 500, 550 GeV enerji değerlerindeki Trackstermerge_Regressed_Energies dağılımları

4.1. HGCal Enerji Doğrusallığı

Bir önceki bölümde (Bölüm 4’in girişinde) MC verilerinin hangi koşullarda üretildikleri anlatıldı. Parçacıkların üretildiği ve detektöre gönderildiği CloseByParticleGunProducer ile Pythia8PtGun metodlarının verilerin davranış biçimleri incelendi ve karşılaştırıldı. Bu iki metodun sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için ne tür koşulların sağlanması gerektiği ve analiz edilecek hale getirildiği ayrıntıları

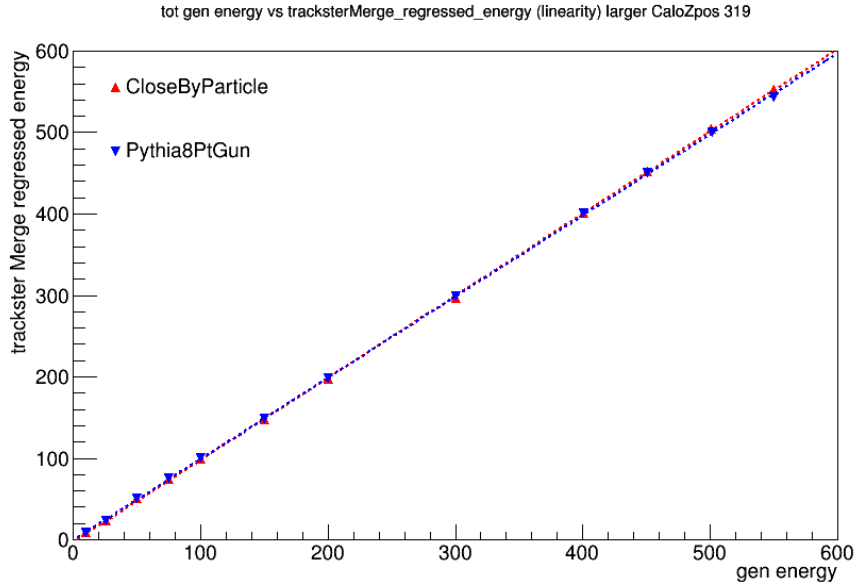
anlatılmıştır. Bu bölümde ise değişik enerjilerdeki (10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 450, 500, 550 GeV) foton ve pion parçacıkları için 2D_LC, Trackstermerge_Regressed_Energies ve Trackstermerge_Raw_Energies algoritmaları ile HGCal'in enerji doğrusallığı sonuçları paylaşılacaktır.



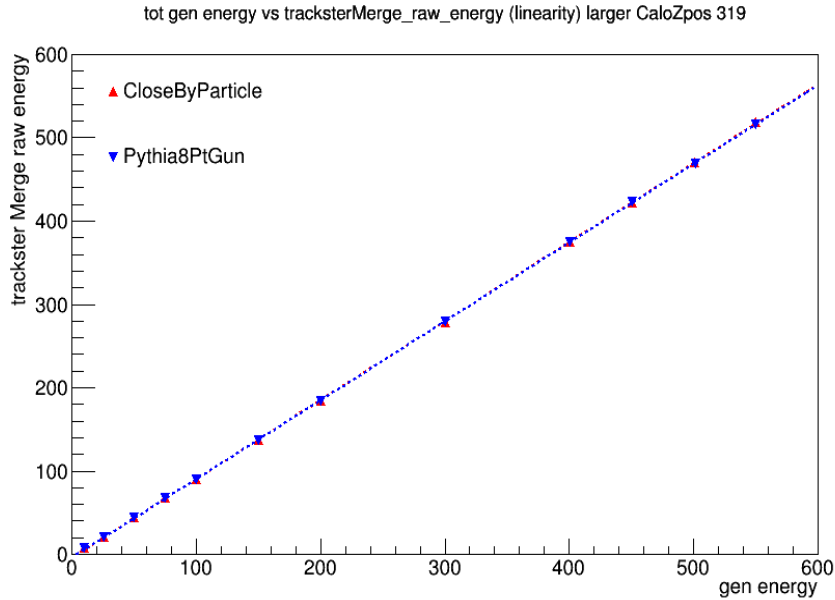
Şekil 4.12 Foton için 2D_LC verilerine göre HGCal'in doğrusallığı, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir

Enerji doğrusallığı çok genel olarak şu şekilde tanımlanmaktadır. HGCal'a gelen parçacıklar özellikle yüksek enerjili olanları çağlayanlar oluşturarak enerjilerini detektöre bırakırlar. Detektöre bırakılan bu enerji, aktif materyaller aracılığıyla toplanarak okunmaktadır. Dolayısıyla HGCal'ın üzerine gelen parçacıkların enerjisinin dedektör sistemi tarafından ne oranda okunduğunun bir göstergesidir. Bu değer pek çok açıdan önemlidir. Foton için 2D_LC algoritması ile HGCal'dan okunan enerji değerlerinin gelen parçacığın enerjisine karşı her iki metot için dağılımları Şekil 4.12'de gösterildiği gibidir. Bu dağılımda üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir. Benze olarak yine foton verileri ile Trackstermerge_Regressed_Energies algoritmasının HGCal'dan okunan enerji değerlerinin gelen parçacığın enerjisine karşı her iki metot için dağılımları Şekil 4.13'de gösterilmekte olup,

dağılımda üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir.



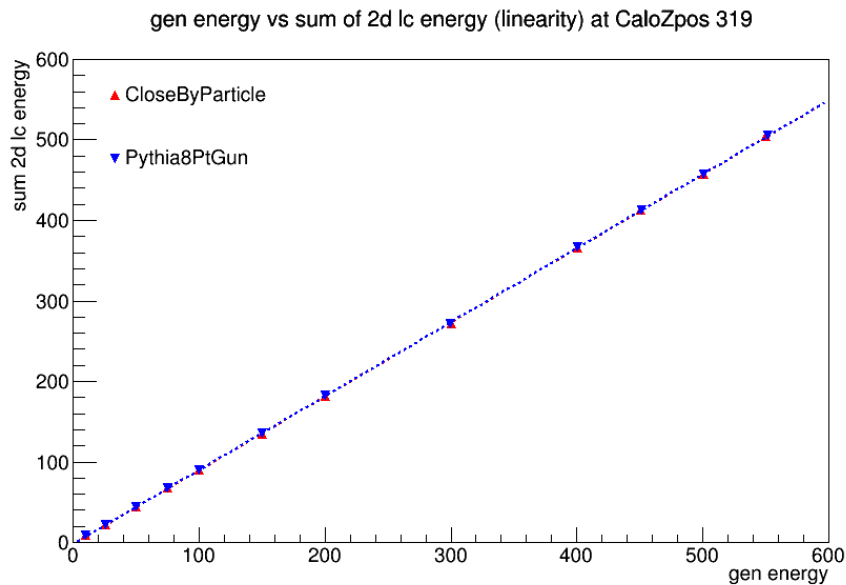
Şekil 4.13 Foton için Trackstermerge_Regressed_Energies verilerine göre HGCal'ın doğrusallığı, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir



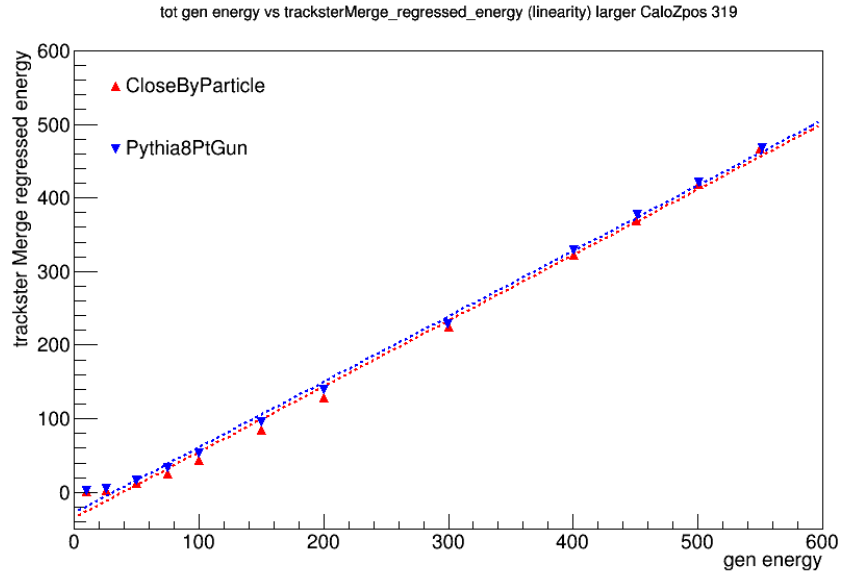
Şekil 4.14 Foton için Trackstermerge_Raw_Energies verilerine göre HGCal'ın doğrusallığı, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir

Foton verileri ile Trackstermerge_Raw_Energies algoritması kullanılarak da HGCal'da okunan enerji değerlerinin gelen parçacığın enerjisine karşı her iki metot için dağılımları Şekil 4.14'de gösterilmekte olup, dağılımda üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir.

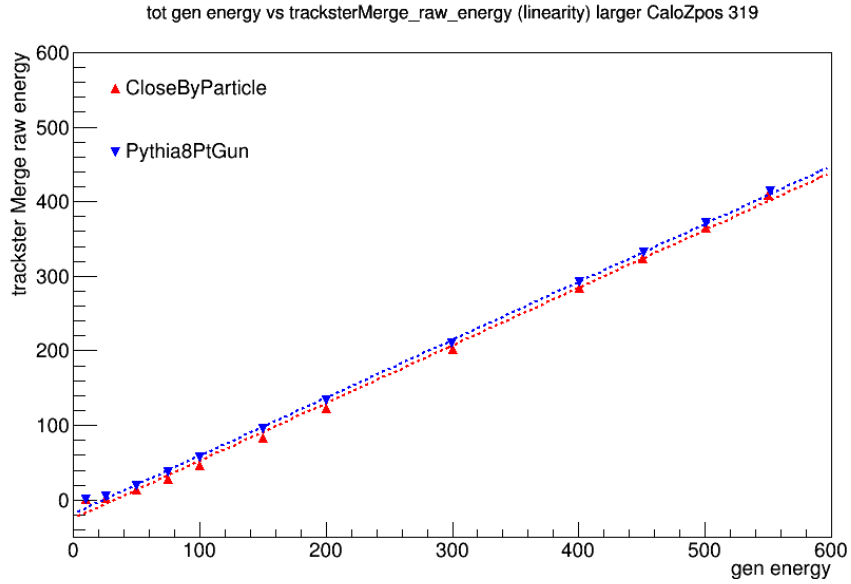
Enerji doğrusallığı, sadece foton ile değil hadronik etkileşen parçacıklardan olan pionlar için de araştırılmıştır. Tıpkı fotonlar gibi pionlar için de değişik algoritmalar kullanılmıştır. Pion için 2D_LC algoritması ile HGCal'dan okunan enerji değerlerinin gelen parçacığın enerjisine karşı her iki metot için dağılımları Şekil 4.15'de gösterildiği gibidir. Bu dağılımda üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir. Benze olarak yine pion verileri ile Trackstermerge_Regressed_Energies algoritmasının HGCal'dan okunan enerji değerlerinin gelen parçacığın enerjisine karşı her iki metot için dağılımları Şekil 4.16'da gösterilmekte olup, dağılımda üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 4.15 Pion için 2D_LC verilerine göre HGCal'ın doğrusallığı, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir



Şekil 4.16 Pion için Trackstermerge_Regressed_Energies verilerine göre HGCal'ın doğrusallığı, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir



Şekil 4.17 Pion için Trackstermerge_Raw_Energies verilerine göre HGCal'ın doğrusallığı, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir

Pion verileri ile Trackstermerge_Raw_Energies algoritması kullanılarak da HGAL'da okunan enerji değerlerinin gelen parçacığın enerjisine karşı her iki metot için dağılımları Şekil 4.17'de gösterilmekte olup, dağılımda üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir.

Foton sonuçlarına bakıldığında her iki yöntemde de sonuçlar birbiriyle uyumlu ve enerji doğrusallığı iyi bir şekilde görünürken, pion için iki yöntem de kabul edilebilir oranda birbirine yakın fakat enerji doğrusallığı düşük olduğu görülmektedir.

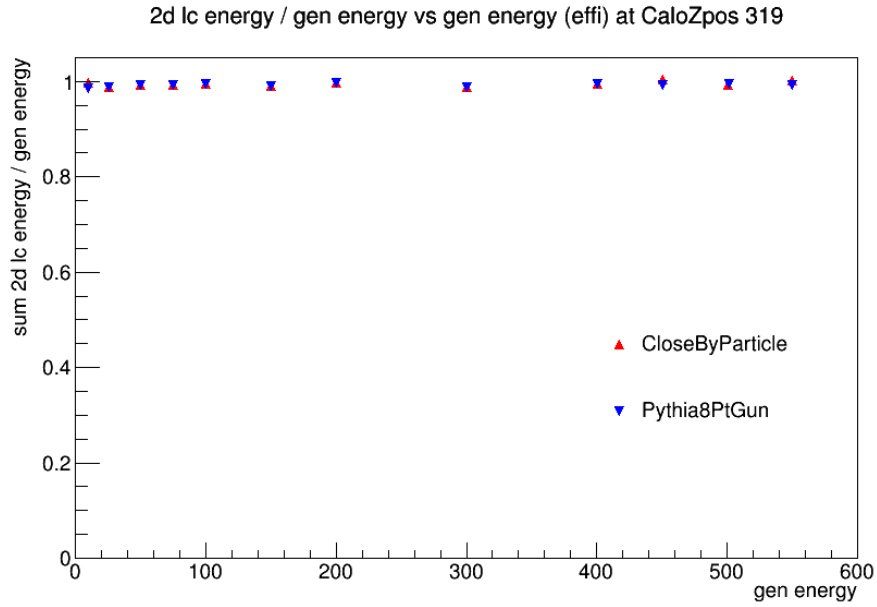
4.2. HGAL Dedektör Verimliliği

Detektör verimliliği analizleri, Bölüm 4'ün girişinde anlatılan koşullara sahip CloseByParticleGunProducer ile Pythia8PtGun metotlarının verileri kullanılarak yapılmıştır. Bu bölümde ise değişik enerjilerdeki (10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 450, 500, 550 GeV) foton ve pion parçacıkları için 2D_LC, Trackstermerge_Regressed_Energies ve Trackstermerge_Raw_Energies algoritmaları ile HGAL'ın enerji verimlilikleri sonuçları anlatılacaktır.

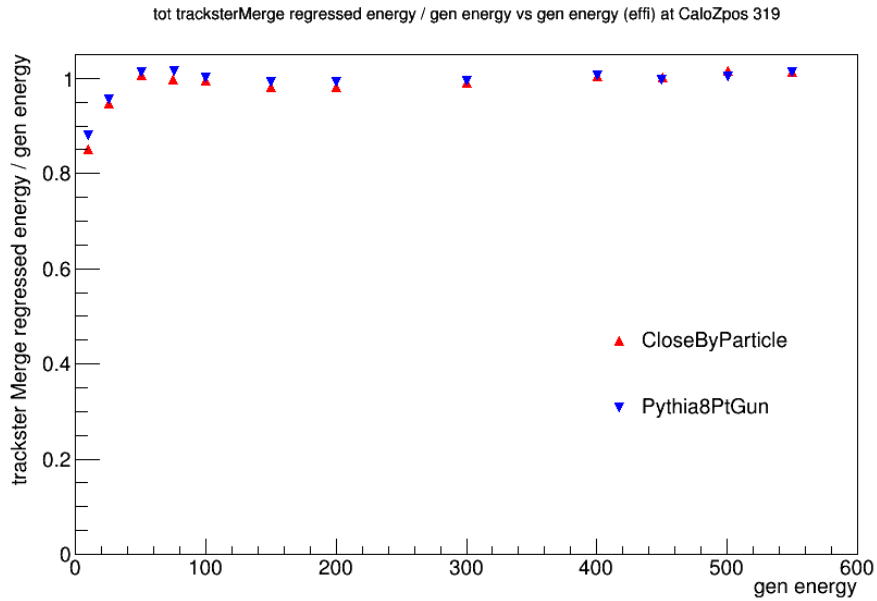
Elimizdeki data yardımıyla enerji verimliliği, genel olarak şu şekilde tanımlanmaktadır. HGAL'a gelen parçacıklar enerjilerini detektöre bırakırlar. Dedektörde okunan toplam enerjinin parçacığın başlangıç enerjisine oranının hızma enerjisine oranı detektör verimliliğini göstermektedir. Foton için 2D_LC algoritması ile HGAL'ın detektör verimliliği her iki metot için dağılımları Şekil 4.18'de gösterildiği gibidir. Bu dağılımda üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir.

Benze olarak yine foton verileri ile Trackstermerge_Regressed_Energies algoritmasının HGAL'ın detektör verimliliği her iki metot için dağılımları Şekil 4.19'da gösterildiği gibidir. Bu dağılımda üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir. Yine foton verileri ile Trackstermerge_Raw_Energies algoritması kullanılarak HGAL'ın detektör verimliliği her iki metot için dağılımları Şekil 4.20'de gösterildiği gibidir. Bu dağılımda üçgen (kırmızı)

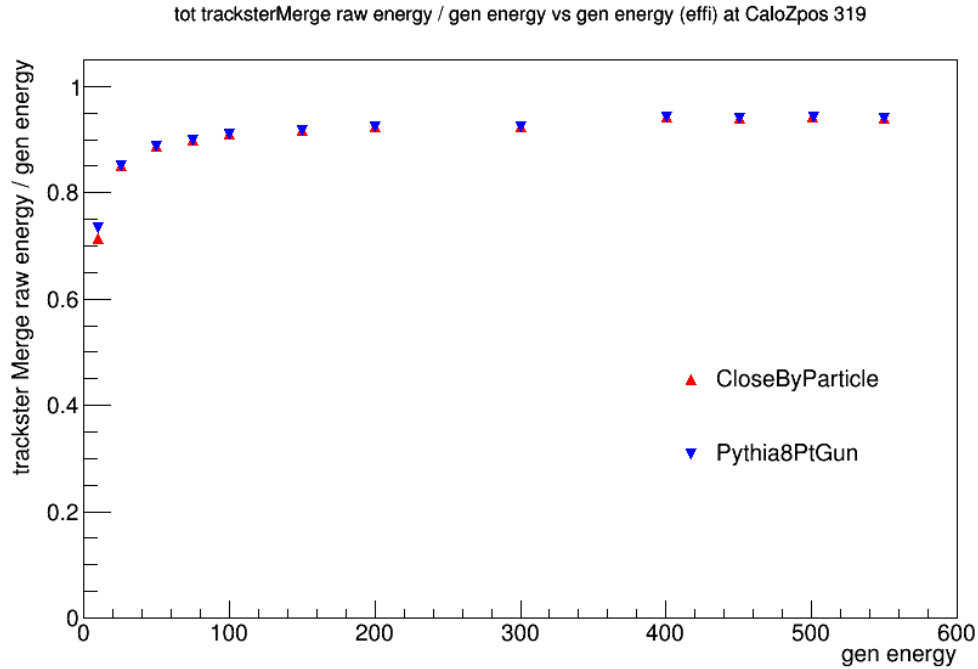
CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 4.18 Foton için 2D_LC verilerine göre HGCAL'ın detektör verimliliği, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir

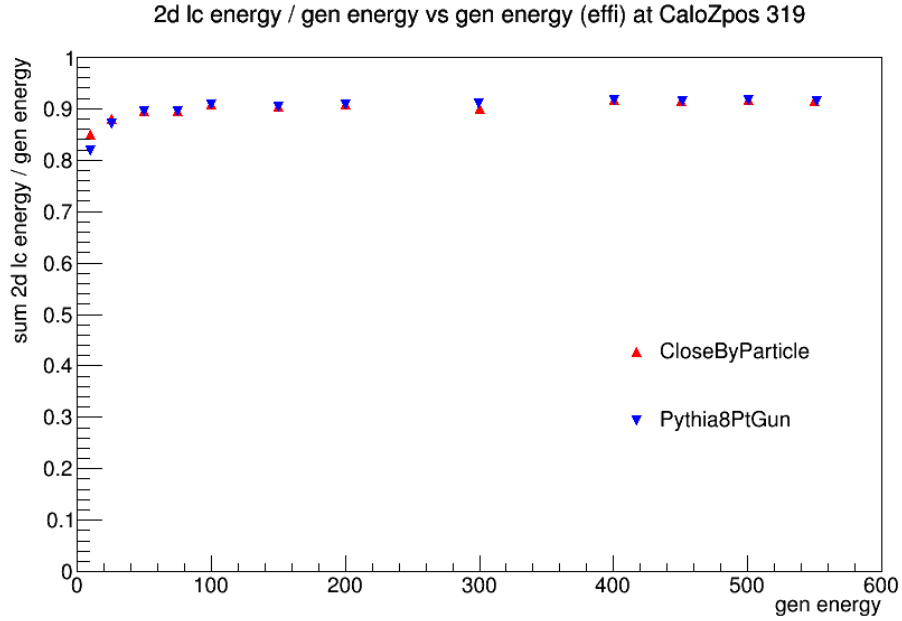


Şekil 4.19 Foton için Trackstermerge_Regressed_Energies verilerine göre HGCAL'ın detektör verimliliği, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir

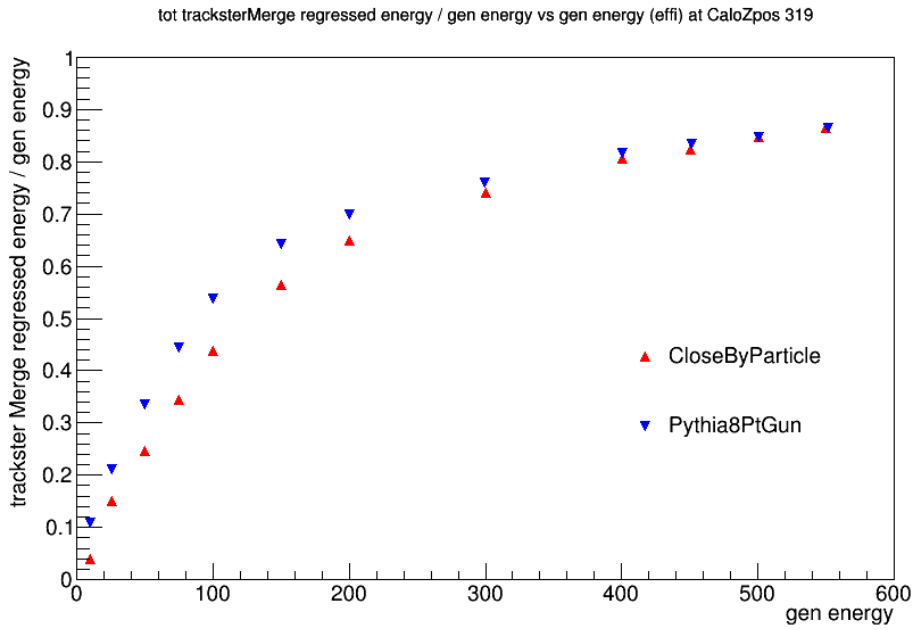


Şekil 4.20 Foton için Trackstermerge_Raw_Energies verilerine göre HGICAL'ın detektör verimliliği, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir

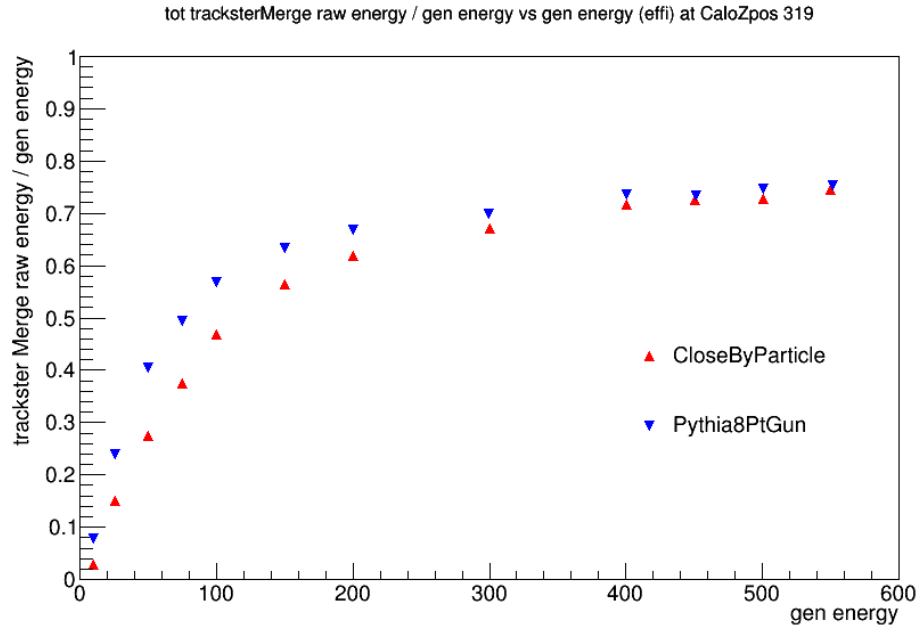
HGICAL'ın detektör verimliliği sadece elektromanyetik etkileşen fotonlarla değil aynı zamanda hadronik etkileşen parçacıklardan olan pionlar için de araştırılmıştır. Tıpkı fotonlar gibi pionlar için de değişik algoritmalar kullanılmıştır. Pion için 2D_LC algoritması ile HGICAL'ın detektör verimliliği her iki metot için dağılımları Şekil 4.21'de gösterildiği gibidir. Bu dağılımda üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir. Benze olarak yine pion verileri ile Trackstermerge_Regressed_Energies algoritmasının HGICAL'ın detektör verimliliği her iki metot için dağılımları Şekil 4.22'de gösterilmekte olup, dağılımda üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 4.21 Pion için 2D_LC verilerine göre HGICAL'ın detektör verimliliği, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir



Şekil 4.22 Pion için Trackstermerge_Regressed_Energies verilerine göre HGICAL'ın detektör verimliliği, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir



Şekil 4.23 Pion için Trackstermerge_Raw_Energies verilerine göre HGCal'ın detektör verimliliği, üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir

Pion verileri ile Trackstermerge_Raw_Energies algoritması kullanılarak da HGCal'ın detektör verimliliği her iki metot için dağılımları Şekil 4.23'de gösterilmekte olup, dağılımda üçgen (kırmızı) CloseByParticleGunProducer sonuçlarını ters-üçgen (mavi) Pythia8PtGun sonuçlarını göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

HGCAL'ın enerji yapılandırılmasının doğrusallığı ve dedektör verimliliği nesnelerin paket yazılım içindeki görselinin hazırlanması ve geliştirilmesi gibi tüm çalışmalar MC verileriyle test edilmiştir. Enerji yapılandırılmasında görülen sorunun araştırılması için MC uzmanlarının tavsiye ettiği veri örnekleriyle de analiz çalışmaları yapılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmalı analiz çalışmaları dedektör hakkında faydalı bilgiler edinmemizi sağlamıştır. Bu bilgiler doğrultusunda fizik analizlerinde kullanılacak olan tetikleme çalışmasına altyapı oluşturması planlanmıştır.

Bu çalışmanın sonuçlarını iki grupta toplayabiliriz. HGCAL'ın enerji doğrusallığı ve HGCAL'ın dedektör verimliliği. Bu sonular, hem foton hem de pionlarla için iki ayrı parçacık tabancası kullanılarak elde edilmiştir.

5.1. HGCAL'ın Enerji Doğrusallığı Sonuçları

Foton için enerji doğrusallığı Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de görülmekte olup bunlar sırasıyla 2D_LC algoritmasına, Trackstermerge_Regressed_Energies algoritmasına ve Trackstermerge_Raw_Energies algoritmasına aittir. Foton için enerji doğrusallığı sonuçlarımız şöyledir;

- 1) 2D_LC algoritması ile elde edilen foton doğrusallık sonuçları her iki parçacık tabancası sonuçları birbirine uyumlu oldukları ve iyi bir doğrusallığa sahip olduğu görülmektedir.
- 2) Trackstermerge_Regressed_Energies algoritması ile elde edilen foton doğrusallık sonuçları her iki parçacık tabancası birbirine uyumlu sonuçlar verdikleri ve iyi bir doğrusallığa sahip olduğu görülmektedir.
- 3) Trackstermerge_Raw_Energies algoritması ile elde edilen foton doğrusallık sonuçları her iki parçacık tabancası ile elde edilen sonuçlar birbirine uyumlu oldukları görülmesine rağmen, 2D_LC ve Trackstermerge_Regressed_Energies sonuçları ile kıyaslandığında bir miktar daha düşük bir doğrusallığa sahip olduğu görülmektedir.

Pion için enerji doğrusallığı Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de görülmekte olup bunlar sırasıyla 2D_LC algoritmasına, Trackstermerge_Regressed_Energies algoritmasına ve Trackstermerge_Raw_Energies algoritmasına aittir. Foton için enerji doğrusallığı sonuçlarımız şöyledir;

- 1) 2D_LC algoritması ile elde edilen pion doğrusallık sonuçları her iki parçacık tabancası sonuçları birbirine uyumlu oldukları ve iyi bir doğrusallığa sahip olduğu görülmektedir.
- 2) Trackstermerge_Regressed_Energies algoritması ile elde edilen pion doğrusallık sonuçları her iki parçacık tabancası birbirine uyumlu sonuçlar verdiklerine rağmen Pythia8PtGun sonuçları CloseByParticleGunProducer sonuçlarına göre az bir miktar daha iyi olduğu görülmektedir.

Algoritma karşılaştırılması yapacak olursak bu sonuçlar 2D_LC sonuçlarına göre daha düşük doğrusallığa sahip olduğu görülür.

- 3) Trackstermerge_Raw_Energies algoritması ile elde edilen pion doğrusallık sonuçları her iki parçacık tabancası ile elde edilen sonuçlar birbirine uyumlu oldukları görülmesine rağmen Pythia8PtGun sonuçları CloseByParticleGunProducer sonuçlarına göre az bir miktar daha iyi olduğu görülmektedir.

Algoritma karşılaştırılması yapacak olursak bu sonuçlar hem 2D_LC sonuçları hem de Trackstermerge_Regressed_Energies sonuçlarına göre daha düşük doğrusallığa sahip olduğu görülür.

Öte yandan genel olarak foton’un doğrusallığı pion’un doğrusallığına göre daha iyi olduğu görülmektedir.

5.2. HGCAL Dedektör Verimliliği Sonuçları

Fotonlarla dedektör verimliliği, Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de görülmekte olup bunlar sırasıyla 2D_LC algoritmasına, Trackstermerge_Regressed_Energies algoritmasına ve Trackstermerge_Raw_Energies algoritmasına aittir. Fotonlarla dedektör verimliliği şöyledir;

- 1) 2D_LC algoritması ile elde edilen dedektör verimliliği sonuçları her iki parçacık tabancası sonuçları birbirine uyumlu oldukları ve iyi bir dedektör verimliliğine (yaklaşık %98) sahip olduğu görülmektedir.
- 2) Trackstermerge_Regressed_Energies algoritması ile elde edilen dedektör verimliliği sonuçları her iki parçacık tabancası birbirine uyumlu sonuçlar verdikleri görülmektedir. Yüksek enerjili fotonlarda iyi bir dedektör verimliliğine sahipken düşük enerjili fotonlarda dedektör verimliliği %85'e kadar düştüğü görülmektedir.
- 3) Trackstermerge_Raw_Energies algoritması ile elde edilen dedektör verimliliği sonuçları her iki parçacık tabancası birbirine uyumlu sonuçlar verdikleri görülmektedir. Yüksek enerjili fotonlarda dahi dedektör verimliliğinin %90 civarına kadar düştüğü ayrıca düşük enerjili fotonlarda dedektör verimliliği %75'e kadar düştüğü görülmektedir. Öte yandan bu algoritma sonuçları 2D_LC ile Trackstermerge_Regressed_Energies sonuçları ile kıyaslandığında yaklaşık %10 civarında daha düşük bir dedektör verimliliğine sahip olduğu görülmektedir.

Pionlarla dedektör verimliliği, Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'de görülmekte olup bunlar sırasıyla 2D_LC algoritmasına, Trackstermerge_Regressed_Energies algoritmasına ve Trackstermerge_Raw_Energies algoritmasına aittir. Pionlarla dedektör verimliliği sonuçlarımız şöyledir;

- 1) 2D_LC algoritması ile elde edilen dedektör verimliliği sonuçları her iki parçacık tabancası sonuçları birbirine uyumlu oldukları ve dedektör verimliliğinin de yaklaşık %90 civarında olduğu görülmektedir. Öte yandan verim düşük enerjili pionlarda %85'e kadar düştüğü görülmektedir.
- 2) Trackstermerge_Regressed_Energies algoritması ile elde edilen dedektör verimliliği her iki parçacık tabancası düşük enerjilerde tam uyumlu olmadıkları görülürken yüksek enerjilerde uyumlu sonuçlar verdikleri görülmektedir. Ancak bu algoritma sonuçları 2D_LC algoritması ile elde edilen sonuçlara göre daha düşük %90 civarında olduğu görülmektedir. Özellikle düşük enerjili pionların verimliliği %0'a kadar düştüğü görülmektedir.

- 3) Trackstermerge_Raw_Energies algoritması ile elde edilen dedektör verimliliği her iki parçacık tabancası benzer davranış göstermesine rağmen özellikle düşük enerjilerde uyumlu olmadıkları görülmekte olup yüksek enerjilerde uyumlu sonuçlar verdikleri görülmektedir. Ancak bu algoritma sonuçları 2D_LC ve Trackstermerge_Regressed_Energies algoritmaları ile elde edilen sonuçlara göre daha düşük %70 civarında verimliliğe sahip olduğu görülmektedir. Özellikle düşük enerjili pionların verimliliği %0'a kadar düştüğü görülmektedir.

Öte yandan genel olarak foton'un dedektör verimliliği pion'un dedektör verimliliği göre daha iyi olduğu görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar, HGCal DPG simulation and performance toplantılarında sunum yapılarak paylaşılmıştır.

5.3. Öneriler

Elde edilen ve HGCal DPG toplantılarında sunulan bu sonuçlar ışığında ilgili algoritmaların değerlendirmesi konunun uzmanları tarafından yapılacaktır. Gerektiğinde algoritmaların gözden geçirilerek güncellemeleri yapılacaktır ve iyileştirme yönünde çalışmaları yapılacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] "Fermion", Britanica, <https://www.britannica.com/science/fermion>. [Erişim tarihi: 13 Aralık 2021].
- [2] "Vikipedi özgür ansiklopedi", Vikipedi özgür ansiklopedi, https://tr.wikipedia.org/wiki/Temel_par%C3%A7a%C4%B1k. [Erişim tarihi: Aralık 2021].
- [3] "HGCAL Website", HGCAL, <https://hgcal.web.cern.ch/>. [Erişim tarihi: 12 Aralık 2021].
- [4] "CERN Accelerating Science", CERN Accelerating Science, <https://home.cern/about/who-we-are/our-governance/member-states>. [Erişim tarihi: 12 Aralık 2021].
- [5] "Some Theoretical Problems in Particle Physics", Y. Nambu, 1985. <https://doi.org/10.1002/phbl.19850410705>. [Erişim tarihi: 13 Aralık 2021].
- [6] "UA1 experiment", UA1 experiment, https://en.wikipedia.org/wiki/UA1_experiment. [Erişim tarihi: 13 Aralık 2021].
- [7] "Higgs discovery", Higgs discovery, <https://atlas.cern/updates/feature/higgs-boson>. [Erişim tarihi: 13 Aralık 2021].
- [8] "CERN - A Laboratory for the World", CERN - A Laboratory for the World, <https://physicsmasterclasses.org/exercises/keyhole/sp/reception/CERN.html>. [Erişim tarihi: 13 Aralık 2021].
- [9] "CERN Document Server", P. Lefevre, <https://cds.cern.ch/record/291782/files/cm-p00047618.pdf>. [Erişim tarihi: 13 Aralık 2021].
- [10] CMS Colaboration, "CMS TDR, CMS TDR", Volume I, CERN/LHCC 2006-001, 2006.
- [11] "CERN Document Server", CERN Document Server, <https://cds.cern.ch/record/2771843/plots>. [Erişim tarihi: 13 Aralık 2021].
- [12] "ATLAS Dedektörünün Yapısı ve İşleyişi", ATLAS Dedektörünün Yapısı ve İşleyişi, <https://atlas.physicsmasterclasses.org/tr/atlas.htm>. [Erişim tarihi: 13 Aralık 2021].

- [13] "The largest volume detector ever constructed for a particle collider", ATLAS, <https://atlas.cern/discover/detector>. [Erişim tarihi: 13 Aralık 2021].
- [14] "Alice", Alice, <http://home.cern/science/experiments/alice>. [Erişim tarihi: 13 Aralık 2021].
- [15] "ALICE Schematics", ALICE Schematics, <https://cds.cern.ch/record/2263642>. [Erişim tarihi: 13 Aralık 2021].
- [16] The LHCb. Collaboration, "The LHCb Collaboration", JINST, cilt 3, 2008.
- [17] "LHCb", LHCb, <https://home.cern/science/experiments/lhcb>. [Erişim tarihi: 13 Aralık 2021].
- [18] "CMS CERN", CMS CERN, <https://home.cern/science/experiments/cms>. [Erişim tarihi: 13 Aralık 2021].
- [19] CMS Collaboration, "The CMS experiment at the CERN LHC", JINST, cilt 3, no. 3, p. 3, 2008.
- [20] CMS Collaboration, "The CMS experiment at the CERN LHC", JINST, cilt 3, no. 3, pp. 1-361, 2008.
- [21] "CMS Detector Posters", CMS Detector Posters, 200. <https://cmsdocdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB/ShowDocument?docid=4227>. [Erişim tarihi: 13 Aralık 2021].
- [22] E. Focardi, "Status of the CMS detector", CMS CR-2011/214, TIPP 2011, 2011.
- [23] "CMS Magnet", CMS Magnet, <http://cms.web.cern.ch/news/superconductingmagnet>. [Erişim tarihi: 13 Aralık 2021].
- [24] CMS collaboration, "Performance of the CMS muon detector and muon reconstruction with proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV", JINST, pp. 1-57, 2018.
- [25] A. Benaglia, "The CMS ECAL performance with examples", The CMS ECAL performance with examples, Siena, Italy, 2014.
- [26] HCAL Technical Design Report, "HCAL Technical Design Report", CERN/LHCC 97-31, CMS TDR 2, Cenevre, 1997.

- [27] CMS Collaboration, "Identification and filtering of uncharacteristic noise in the CMS hadron calorimeter", Journal of Instrumentation, cilt JINST 5 T03014, pp. 1-32, 2010.
- [28] "CMS Colaboration", CMS Colaboration http://cdsweb.cern.ch/record/1431485/files/hcal-2000-010_02.jpg. [Erişim tarihi: 13 Aralık 2021].
- [29] "The CMS Collaboration", CMS Collaboration, <http://cds.cern.ch/record/1431487>. [Erişim tarihi: 13 Aralık 2021].
- [30] CMS HCAL Collaboration, "Design, Performance, and Calibration of CMS Hadron Endcap Calorimeters", CMS NOTE 2008/010, 2008.
- [31] CMS Collaboration, "Study of Various Photomultiplier Tubes with Muon Beams and Cerenkov Light Produced in Electron Showers", CMS NOTE, 2010/003, 2010.
- [32] M. Catanesi, "A-Dependence of the charge production cross-section", CERN, Nucl. Instr. And Methods, 1987.
- [33] "The High-Luminosity LHC", The High-Luminosity LHC, <http://home.cern/science/accelerators/high-luminosity-lhc>. [Erişim tarihi: 14 Aralık 2021].
- [34] "CMS Collaboration", CMS Collaboration <https://cds.cern.ch/record/2293646/files/CMS-TDR-019.pdf>. [Erişim tarihi: 14 aralık 2021].
- [35] CMS Collaboration, "Technical Proposal for the Phase II Upgrade of the CMS Detector: Technical Report", CERN LHCC 2015 010; LHCC-P-008, <http://cds.cern.ch/record/2020886/files/LHCC-P-008.pdf>, 2015.
- [36] ILC Collaboration, "ILC Reference Design Report Volume 4 Detectors", FERMILAB DESIGN 2007 02, [http://cds.cern.ch/record/1075831/files/fermilab pub 07 793 e.pdf](http://cds.cern.ch/record/1075831/files/fermilab%20pub%2007%20793%20e.pdf), 2007.
- [37] CMS Collaboration, "The Phase 2 Upgrade of the CMS Endcap Calorimeter", CERN LHCC 2017 023; CMS TDR 019, <https://cds.cern.ch/record/2293646/files/CMS-TDR-019.pdf>, 2017-2019.

- [38]N. Akchurin, "First beam tests of prototype silicon modules for the CMS High Granularity ENDCAP Calorimeter", JINST, cilt JINST 13 (2018) P10023 <https://cds.cern.ch/record/2646748/files/pdf.pdf>, 2018.

