

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim Soner ZORBAKIR

**CMS KALORİMETRE JETLERİ İÇİN HE REKALİBRASYON KISITLAMA
DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ**

FİZİK ANABİLİM DALI

ADANA, 2015

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CMS KALORİMETRE JETLERİ İÇİN HE REKALİBRASYON
KISITLAMA DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ**

İbrahim Soner ZORBAKIR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

Bu tez 16/01/2015 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Aysel KAYIŞ TOPAKSU Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ Öğr. Gör. Dr. Kadri ÖZDEMİR
DANIŞMAN ÜYE ÜYE

Bu tez Enstitümüz Fizik Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

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

Proje No: FYL-2014-2519

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

Sevgili Aileme...

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CMS KALORİMETRE JETLERİ İÇİN HE REKALİBRASYON KISITLAMA DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ

İbrahim Soner ZORBAKIR

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

Danışman : Prof. Dr. Aysel KAYIŞ TOPAKSU
Yıl: 2015, Sayfa: 75
Jüri : Prof. Dr. Aysel KAYIŞ TOPAKSU
: Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ
: Öğr. Gör. Dr. Kadri ÖZDEMİR

Hadronik uç kapak kalorimetresinde (HE) aktif madde olarak plastik sintilatörler ve dalgaboyu kaydırıcı (WLS) fiberler kullanılmaktadır. Hem plastik sintilatörlerden hem de WLS fiberlerden okunan ışıktaki radyasyon hasarından dolayı bir azalma meydana geleceği bilinmektedir. HE’de foto detektör olarak şu anda hibrit foto diyotlar (HFD) kullanılmaktadır. HFD’ler 2019’da silikon foton çoğaltıcılar (SiFÇ) ile değiştirilecektir. 2015 yılından itibaren başlayacak olan çarpışma verisi alımı süresince, HKAL’ın radyasyon hasarından nasıl etkileneceğini belirlemek amacıyla bir radyasyon hasarı modeli oluşturulmuştur. Ayrıca, bu radyasyon hasarı modeline uygun Monte Carlo (MC) verileri HFD’lerin kullanıldığı Faz0 ve SiFÇ’lerin kullanıldığı Faz1 senaryoları için ayrı ayrı üretilmiştir. Bu çalışmada, HE’de meydana gelen radyasyon hasarının hesaplamalara olan etkisini en aza indirmek amacıyla, farklı ışıklılık ve farklı jet enerjilerinde en uygun rekaliibrasyon kısıtlama değeri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: HKAL, Radyasyon Hasarı, HFD, SiFÇ, Rekaliibrasyon Faktörü

ABSTRACT

MSc THESIS

DETERMINATION OF HE RECALIBRATION CUTOFF VALUES FOR CMS CALORIMETER JETS

İbrahim Soner ZORBAKIR

**ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF PHYSICS**

Supervisor : Prof. Dr. Aysel KAYIŞ TOPAKSU
Year: 2015, Pages: 75
Jury : Prof. Dr. Aysel KAYIŞ TOPAKSU
: Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ
: Öğr. Gör. Dr. Kadri ÖZDEMİR

The Hadron Endcap (HE) calorimeter uses plastic scintillators and wavelength shifting (WLS) fibers as its active medium. Both plastic scintillator and WLS fiber are known to suffer degradation of light output because of radiation damage. Currently Hybrid Photo Diodes (HPDs) are used in the HE as photo detectors. They will be replaced with Silicon Photomultipliers (SiMPs) in 2019. A radiation damage model has been created to determine how radiation damage will effect HCal during the collision data taking period which will start in 2015. Also, Monte Carlo (MC) samples in accordance with the radiation damage model have been generated for the Phase0 scenario using HPDs and the Phase1 scenario using SiPMs. In this study, to minimize radiation damage effect, occurring in the HE, on calculations optimal recalibration cutoffs are determined with different luminosities and jet energies.

Key Words: HCal, Radiation Damage, HPD, SiPM, Recalibration Factor

TEŞEKKÜR

İlk olarak ders ve tez çalışmasının her aşamasında sonsuz desteğini gördüğüm, bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyen, çok değerli fikirleri ile bana yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Aysel KAYIŞ TOPAKSU'ya sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım değerli hocalarım Prof. Dr. Gülsen ÖNENGÜT, Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ, Prof. Dr. Eda EŞKUT ve Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU'na çok teşekkür ederim.

CERN'deki deneysel çalışmalarım sırasında yardımını gördüğüm, bilgi ve deneyimini paylaşan Kadri ÖZDEMİR'e çok teşekkür ederim. Çalışmalarım boyunca hep yan yana olduğum ve her türlü desteklerini gördüğüm grup arkadaşlarım ve sevgili dostlarım Mehmet OĞLAKÇI ve Uğur KİMİNSU'ya çok teşekkür ederim.

Tüm eğitim-öğretim hayatım boyunca, her koşulda yanımda olup desteğini esirgemeyen ve her konuda bana güvenen değerli aileme sonsuz teşekkür ederim.

Her zaman desteklerini hissettiğim canım dostlarım Gökhan KANDEMİR, Mehmet Burak KOCA ve Özge ATIŞ'a çok teşekkür ederim. Bana her zaman ailem kadar yakın olan, tanıştığımız ilk andan itibaren yanımda olup desteğini esirgemeyen can dostum Berk KAZANCI'ya sonsuz teşekkür ederim. Ders döneminde ve CERN'de bulunduğumuz süre boyunca yanımda olan tüm Yüksek Enerji Fiziği grubu arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca CERN'deki çalışmalarımı maddi olarak destekleyen TAEK'e (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR	X
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
2.1. CERN ve Büyük Hadron Çarpıştırıcısı	5
2.2. BHÇ Halkası Üzerinde Yer Alan Detektörler	8
2.3. CMS ve Alt Detektörleri	14
2.4. CMS’de Çalışılan Fizik Konuları	29
3. MATERYAL VE METOD	31
3.1. CMS Deneyinde Kullanılan Jetler ve Kümeleme Algoritmaları	31
3.1.1. Iterative Cone (IC) Algoritması	34
3.1.2. Seedless Infrared Stable Cone (SISCone) Algoritması	35
3.1.3. Anti- k_T Algoritması	36
3.2. Hadronik Uç Kapak Kalorimetresi	38
3.3. HE Kalorimetresindeki Yenileme Çalışmaları ve Radyasyon Hasarı Modeli	41
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR	49
4.1. Rekalibrasyon Faktörü ve Rekalibrasyon Kısıtlama Değeri	49
4.2. Radyasyon Hasarının Jetler Üzerindeki Etkisi	51
4.3. Jet Offset Düzeltme Faktörünün Simüle Edilmesi	52
4.4. Jet Enerji Yanıtının Simüle Edilmesi	59
4.5. Jet Enerji Çözünürlüğünün Simüle Edilmesi	66
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	75

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. SM’de temel parçacıklar	3
Şekil 2.1. CERN hızlandırıcı kompleksi ve BHÇ halkası üzerinde yer alan 4 büyük deney: ALICE, ATLAS, LHCb ve CMS	7
Şekil 2.2. Parçacıklar ve detektörde bıraktıkları izler	9
Şekil 2.3. ATLAS detektörü.....	10
Şekil 2.4. ALICE Detektörü	11
Şekil 2.5. LHCb Dedektörü.....	12
Şekil 2.6. LHCf Dedektörü	13
Şekil 2.7. CMS Dedektörü	15
Şekil 2.8. CMS deneyinin enine kesiti	16
Şekil 2.9. Piksel detektörü.....	17
Şekil 2.10. HDI kartı	18
Şekil 2.11. Karbon fiber destek yapısı	18
Şekil 2.12. Kurşun tungsten kristalleri	19
Şekil 2.13. EKAL ’in yapısı	20
Şekil 2.14. HB’deki kamaların numaralandırılması.....	21
Şekil 2.15. HB’de kullanılan sintilatör tablasının yapısı.....	22
Şekil 2.16. CMS detektöründe HO katmanlarının pozisyonu.....	23
Şekil 2.17. HF kalorimetresi	24
Şekil 2.18. CMS’in mıknatısı.....	25
Şekil 2.19. Demir boyunduruk arasına yerleştirilen müon istasyonlarında iz bırakan müonun temsili gösterimi.....	26
Şekil 2.20. Müon sistemi.....	27
Şekil 2.21. Veri toplama ve tetikleme sistemi.....	28
Şekil 2.22. Higgs bozunum kanalları	29
Şekil 3.1. CMS kalorimetrelerinde jetlerin enerjilerini bıraktığı yerler.....	32
Şekil 3.2. Jetlerin üretilmesi ve yeniden yapılandırılması.....	33
Şekil 3.3. Infrared (üst) ve Collinear (alt) güvenliliğin konfigürasyonu.....	34
Şekil 3.4. Iterative Cone çalışma konfigürasyonu.....	35

Şekil 3.5. İki boyutta, bir parçacık çifti içeren çemberin pozisyonunun belirlenmesi	36
Şekil 3.6. Farklı jet kümeleme algoritmalarının davranışı	38
Şekil 3.7. HE kalorimetresi	39
Şekil 3.8. HE soğurucu yapısı	40
Şekil 3.9. HB/HE'de Gray cinsinden radyasyon seviyesi	42
Şekil 3.10. Bir sintilatör tablası ve WLS fiberler	43
Şekil 3.11. HKAL lazer kalibrasyon verilerine uygulanan eksponansiyel fit	44
Şekil 3.12. Tabakalara uygulanan düzeltme sabiti (D - ışık geçirgenliği)	45
Şekil 3.13. HE'de her kulenin her bir tabakasından okunan sinyaller	46
Şekil 4.1. HKAL'de (a) şu anda ve (b) Faz1 çalışmalarından sonra kullanılacak olan derinlik şeması	49
Şekil 4.2. (a) HFD'lere ve (b) SiFÇ'lere uygulanan rekaliibrasyon kısıtlama değeri	51
Şekil 4.3. $p_T^{jet} = 30$ GeV olan jetler için, HFD'ler kullanılırken rekaliibrasyon kısıtlama değeri 1, 20, 50 ve 200 değerlerinde elde edilmiş jet offset düzeltme faktörü	53
Şekil 4.4. $p_T^{jet} = 100$ GeV'lik jetler için, HFD'ler kullanılırken rekaliibrasyon kısıtlama değeri 1, 20, 50 ve 200 değerlerinde elde edilmiş jet offset düzeltme faktörü	54
Şekil 4.5. $p_T^{jet} = 200$ GeV'lik jetler için, HFD'ler kullanılırken rekaliibrasyon kısıtlama değeri 1, 20, 50 ve 200 değerlerinde elde edilmiş jet offset düzeltme faktörü	55
Şekil 4.6. $p_T^{jet} = 30$ GeV'lik jetler için, SiFÇ'ler kullanılırken rekaliibrasyon kısıtlama değeri 1, 100, 1000 ve 10000 değerlerinde elde edilmiş jet offset düzeltme faktörü	56
Şekil 4.7. $p_T^{jet} = 100$ GeV'lik jetler için, SiFÇ'ler kullanılırken rekaliibrasyon kısıtlama değeri 1, 100, 1000 ve 10000 değerlerinde elde edilmiş jet offset düzeltme faktörü	57

Şekil 4.8. $p_T^{jet} = 200$ GeV'lik jetler için, SiFÇ'ler kullanılırken rekaliibrasyon kısıtlama değeri 1, 100, 1000 ve 10000 değerlerinde elde edilmiş jet offset düzeltme faktörü	58
Şekil 4.9. $p_T^{jet} = 30$ GeV'lik jetler için, HFD'ler kullanılırken farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji yanıtı.....	60
Şekil 4.10. $p_T^{jet} = 100$ GeV'lik jetler için, HFD'ler kullanılırken farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji yanıtı.....	61
Şekil 4.11. $p_T^{jet} = 200$ GeV'lik jetler için, HFD'ler kullanılırken farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji yanıtı.....	62
Şekil 4.12. $p_T^{jet} = 30$ GeV'lik jetler için, SiFÇ'ler kullanılırken farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji yanıtı.....	63
Şekil 4.13. $p_T^{jet} = 100$ GeV'lik jetler için, SiFÇ'ler kullanılırken farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji yanıtı.....	64
Şekil 4.14. $p_T^{jet} = 200$ GeV'lik jetler için, SiFÇ'ler kullanılırken farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji yanıtı.....	65
Şekil 4.15. $p_T^{jet} = 30$ GeV'lik jetler için, HFD'ler kullanılırken farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji çözünürlüğü.....	66
Şekil 4.16. $p_T^{jet} = 100$ GeV'lik jetler için, HFD'ler kullanılırken farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji çözünürlüğü.....	67
Şekil 4.17. $p_T^{jet} = 200$ GeV'lik jetler için, HFD'ler kullanılırken farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji çözünürlüğü.....	67
Şekil 4.18. $p_T^{jet} = 30$ GeV'lik jetler için, SiFÇ'ler kullanılırken farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji çözünürlüğü.....	68

- Şekil 4.19. $p_T^{jet} = 100$ GeV'lik jetler için, SiFÇ'ler kullanılırken farklı Rekalibrasyon Kısıtlama Değerlerinde elde edilmiş jet enerji çözünürlüğü.....69
- Şekil 4.20. $p_T^{jet} = 200$ GeV'lik jetler için, SiFÇ'ler kullanılırken farklı rekalibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji çözünürlüğü.....69

SİMGELER VE KISALTMALAR

SM	: Standart Model
SUSY	: Süper Simetri
KRD	: Kuantum Renk Dinamiği
CERN	: Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire
BHÇ	: Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
PSB	: The Proton Synchrotron Booster
PS	: Proton Synchrotron
SPS	: Super Proton Synchrotron
LEP	: The Large Electron-Positron Collider
CMS	: Compact Muon Solenoid
ATLAS	: A Torodial LHC Apparatus
ALICE	: A Large Ion Collider Experiment
LHCb	: Large Hadron Collider beauty
LHCf	: Large Hadron Collider forward
TOTEM	: Total Elastic And Diffractive Cross-Section Measurement
RP	: Roman Pots
CMOS	: Complementary Metal Oxide Semiconductor
HDI	: High Density Interconnect
APV	: Analogue Pipeline Voltage
EKAL	: Elektromanyetik Kalorimetre
EE	: Elektromanyetik Uç Kapak
EB	: Elektromanyetik Fıçı
ADP	: Avalanche Photo Diodes
VPT	: Vacuum Phototriode
ADC	: Analogue-to-Digital Converter
HKAL	: Hadronik Kalorimetre
HB	: Hadronik Fıçı
HE	: Hadronik Uç Kapak
HO	: Hadronik Dış

HF	: İleri Hadronik Kalorimetre
DTs	: Sürüklenme Tüpleri
CSCs	: Katot Şerit Odaları
RPCs	: Dirençli Paralel Levhalı Odalar
L1T	: Level-1 Trigger
HLT	: High Level Trigger
WLS	: Dalgaboyu Kaydırıcı
HFD	: Hibrit Foto Diyot
SiFÇ	: Silisyum Foton Çoğaltıcı
DFC	: Diamon Fly Cutter
PF	: Particle Flow
TID	: Toplam İyonize Doz
MC	: Monte Carlo
IC	: Iterative Cone
SISCone	: Seedless Infrared Stable Cone
η	: Psüdo rapidite
θ	: Polar Açısı
ϕ	: Azimutal Açısı
eV	: Elektron Volt
MeV	: Milyon Elektron Volt
GeV	: Milyar Elektron Volt
TeV	: Trilyon Elektron Volt
fC	: Femto Coulomb
L	: Işıklılık
λ_1	: Nükleer Etkileşme Uzunluğu

1.GİRİŞ

Evrendeki her şey temel parçacıklar olarak adlandırılan basit yapıtaşlarından oluşmaktadır ve bu yapıtaşları birbirleri ile 4 temel kuvvet aracılığıyla etkileşmektedir. Bu parçacıkların ve kuvvetlerin birbiriyle nasıl etkileştiği ise Standart Model (SM) tarafından açıklanmaktadır. Yapılan birçok deneyden sonra SM iyice anlaşılmiş ve fiziksel olarak iyi test edilmiş bir teori olarak kabul edilmektedir.

Etrafımızdaki bütün maddeler temel parçacıklardan meydana gelmektedir. SM’de temel parçacıklar, kuarklar ve leptonlar adı verilen iki gruba ayrılmaktadırlar. Her bir grup kendi içerisinde altı parçacık içermektedir. Leptonlar elektron (e), müon (μ), tau (τ) ve bu parçacıkların nötrinoları olan, sırasıyla, elektron nötrinosu (ν_e), müon nötrinosu (ν_μ) ve tau nötrinosundan (ν_τ) oluşmaktadır. Kuarklar ise yukarı (u), aşağı (d), tılsım (c), acayıp (s), üst (t) ve alt (b) olmak üzere altı çeşittir. Anti parçacıkları ile beraber toplam 24 tane temel parçacık bulunmaktadır.

SM’e göre temel parçacıklar üç aile şeklinde temsil edilirler. En kararlı ve en hafif parçacıklar birinci aileyi oluştururken, en kararsız ve en ağır parçacıklar ise üçüncü aileyi oluşturmaktadır. Evrendeki bütün kararlı maddeler birinci aileye ait parçacıklardan oluşmaktadır. Ağır ve kararsız olan parçacıklar ise hızlı bir şekilde birinci aileye bozularak kararlı maddeler oluşturmaktadırlar. Birinci ailede yukarı kuark, aşağı kuark, elektron ve elektron nötrinosu, ikinci ailede tılsım kuark, acayıp kuark, müon ve müon nötrinosu, üçüncü ailede ise üst kuark, alt kuark, tau ve tau nötrinosu bulunmaktadır.

Elektronun spini $\frac{1}{2}$, yükü $-1.6 \times 10^{-19}C$ (e), kütlesi $9.31 \times 10^{-31}kg$ ($0.5 MeV/c^2$)’dir. μ ’nun yükü e yüküne eşittir, kütlesi $105.7 MeV/c^2$ (elektronun 207 katı), spini $\frac{1}{2}$ ’dir. τ parçacığının kütlesi $1784 MeV/c^2$, spini $\frac{1}{2}$ ’dir ve yükü e yüküne eşittir. SM’e göre nötrinoların elektrik yükleri sıfırdır ve kütleleri yoktur.

Kuarkların da spinleri $\frac{1}{2}$ ’dir. Yukarı, tılsım ve üst kuarklarının kütleleri sırasıyla $\approx 2.3 MeV/c^2$, $\approx 1.275 GeV/c^2$, $\approx 173.07 GeV/c^2$ ve üçünün de yükü $2/3 e$ değerindedir. Aşağı, acayıp ve alt kuarklarının kütleleri ise sırasıyla $\approx 4.8 MeV/c^2$, $\approx 95 MeV/c^2$, $\approx 4.18 GeV/c^2$ ve üçünün de yükü $-1/3 e$ değerindedir.

Kuarkların ve leptonların anti parçacıkları aynı kütle ve spin özelliklerine sahip iken sadece yükleri zıttır.

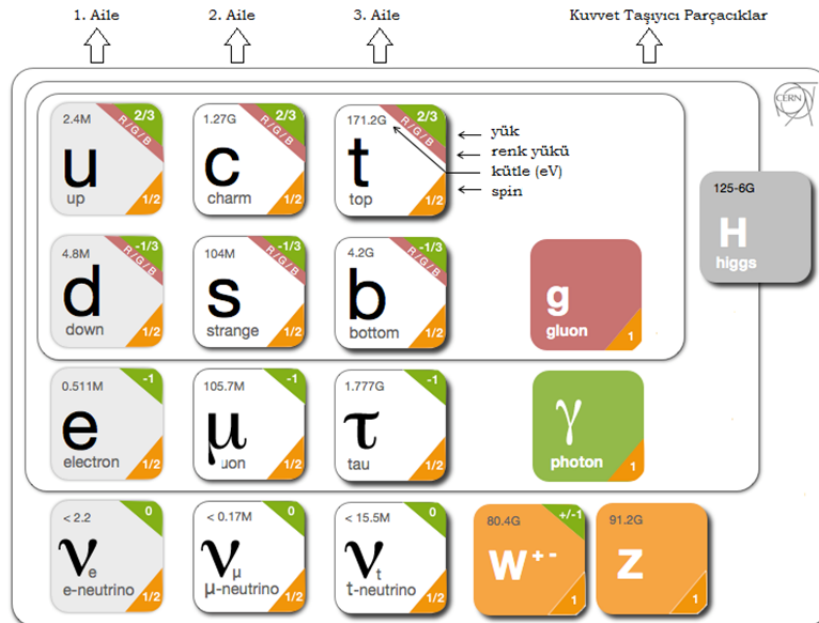
SM'e göre üç kuark bir araya gelerek baryonları oluşturur. Atom çekirdeğinde bulunan proton ve nötron bir baryondur. Bir kuark ve bir anti kuarktan oluşan parçacıklara ise mezon denir. Baryonlar birer fermiyon oldukları için Pauli dışarlama ilkesine uymak zorundadırlar. Ancak baryonların içinde aynı cinsten iki veya üç kuark aynı kuantum durumunda bulunabilir. Örneğin proton, iki u ve bir d kuarkından oluşmaktadır. Bu durum ise Pauli dışarlama ilkesine aykırı bir durumdur. Bu sorunu gidermek için kuark ve anti kuarkların "renk" olarak adlandırılan ek bir özelliğine ihtiyaç duyulmuş ve Kuantum Renk Dinamiği (KRD) denilen bir hipotez ortaya atılmıştır. "Renk" niceliğinin kırmızı, mavi ve yeşil olmak üzere üç mümkün durumu vardır. Bu hipoteze göre, baryondaki üç kuarkın hepsi farklı renklere sahip olacağından Pauli dışarlama ilkesi ile uyumlu hale gelirler.

Daha önce bahsettiğimiz gibi temel parçacıklar 4 temel kuvvetin etkisi altındadır. Bu temel kuvvetler güçlü kuvvet, zayıf kuvvet, elektromanyetik kuvvet ve kütle çekim kuvvetidir. Her kuvvetin farklı etkileşim uzaklıkları ve büyüklükleri vardır. Kütle çekim kuvveti en zayıf kuvvet olmasına rağmen sonsuz etkileşim uzaklığına sahiptir. Bu kuvvet cisimlerin Dünya'nın yüzeyinde kalması, gezegenlerin yörüngelerde dönmesi gibi fiziksel olaylardan sorumludur. Elektromanyetik kuvvette sonsuz etkileşim uzaklığına sahiptir fakat şiddeti kütle çekim kuvvetinden daha büyüktür. Elektromanyetik kuvvet yüklü parçacıklara etki eder ve atomun bir arada tutulması gibi fiziksel olaylarda rol alır. Güçlü ve zayıf kuvvet ise kısa etkileşim uzaklığına sahiptirler ve sadece atom altı uzaklıklarda etkilidirler. Zayıf kuvvet adının aksine kütle çekim kuvvetinden büyüktür. Bu kuvvet pek çok parçacığın ve hatta pek çok atom çekirdeğinin kararsız olmasından sorumludur. Güçlü kuvvet ise 4 temel kuvvet arasında en güçlü olanıdır. Çekirdek içerisindeki nötron ve protonların bir arada tutulmasından sorumludur. Temel kuvvetler büyüklüklerine göre güçlü kuvvet, elektromanyetik kuvvet, zayıf kuvvet ve kütle çekim kuvveti şeklinde sıralanırlar.

SM'e göre güçlü kuvvet, zayıf kuvvet ve elektromanyetik kuvvet, diğer parçacıklara kuvvet taşıyıcı olarak adlandırılan parçacıklar aracılığıyla etki ederler. Bu kuvvet taşıyıcı parçacıklar bozonlar olarak adlandırılırlar. Maddeyi oluşturan

parçacıkların etkileşimi, birbirleriyle yaptıkları bozon değişimi ile gerçekleşir. Her kuvvetin kendine özgü taşıyıcı parçacığı vardır. Güçlü kuvvet gluon aracılığıyla, elektromanyetik kuvvet foton aracılığıyla, zayıf kuvvet ise W^\pm ve Z bozonları ile taşınır. Henüz bulunmamış olmasına rağmen kütle çekim kuvvetinin ise graviton ile taşındığı düşünülmektedir. Kuvvet taşıyıcı parçacıklar yani bozonların spinleri 1'dir. Fotonun, gluonun ve Z bozonunun elektrik yükleri sıfır iken W bozonu yüklüdür. Foton ve gluonun kütlesi sıfırdır. W ve Z bozonları ise kütleli parçacıklardır.

SM'de temel parçacıklar arasındaki büyük kütle farklarının nasıl ortaya çıktığı açıklanamayan sorulardan bir tanesidir. Bu sorunun cevabı, SM tarafından öngörülen ve temel parçacıklara kütle kazandırma mekanizması olarak da bilinen Higgs Mekanizması ile açıklanmaktadır. Higgs mekanizmasında öngörülen şey bütün uzayın Higgs Alanı ile kaplı olması ve parçacıkların bu alanla etkileşerek kütle kazanıyor olmalarıdır. Mekanizmaya göre parçacıklar alanla ne kadar etkileşirlerse o kadar kütle kazanmaktadırlar. Higgs mekanizmasını doğrulayacak olan ve mekanizmanın taşıyıcı parçacığı Higgs ise CERN'deki ATLAS ve CMS deneylerinde yapılan kapsamlı araştırmalarla 14 Mart 2013'de gözlenmiştir. Şekil 1.1 SM'de temel parçacıklar ile beraber kuvvet taşıyıcı parçacıkları da göstermektedir.



Şekil 1.1. SM'de temel parçacıklar (http://www.isgtw.org/sites/default/files/Standard_model_infographic.png).

Bu tez çalışması, CERN'deki CMS deneyinin hadronik kalorimetresinin (HKAL) alt detektörlerinden hadronik uç kapak (HE) detektörünün okuma ünitelerinde bulunan hibrit foto diyotlar (HFD) ve silikon foto çoğaltıcılar (SiFC) yardımıyla, HE detektöründeki radyasyon hasarının etkisi incelenmektedir. Radyasyon hasarının en aza indirgenmesi için kullanılacak olan en uygun rekaliibrasyon kısıtlama değerinin belirlenmesi ve bu hasarın jetlerin yeniden yapılandırılması üzerindeki etkisi bu tezin ana konusudur. Bu amaçla yapılan simülasyon analizleri bu çalışmada yer almaktadır.

Bu tezde, HE'de foto detektör olarak HFD'lerin kullanıldığı Faz0 senaryosu ve SiFC'lerin kullanıldığı Faz1 senaryosu ayrı ayrı simüle edilmiştir. Daha sonra jet offset düzeltme faktörüne, jet enerji yanıtına ve jet enerji çözünürlüğüne bakılarak, farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinde ve farklı jet enerjilerinde radyasyon hasarı minimize edilmeye çalışılmıştır.

Tezin önceki çalışmalar kısmında CERN, BHÇ ve BHÇ üzerinde bulunan deneyler ile HKAL ve bu kalorimetrenin alt detektörleri anlatılmıştır. Materyal ve metot kısmında HE kalorimetresi ve CMS deneyinde kullanılan jetler ve jet kümeleme algoritmaları tartışılmış, araştırma ve bulgular kısmında ise HE detektöründe foto detektör olarak HFD'lerin kullanıldığı 2017 senaryosu ve SiFC'lerin kullanıldığı 2019 senaryosunun simülasyon analizlerinin sonuçları verilmiştir. Tezin sonuç ve öneriler kısmında HFD ve SiFC'lerin kullanıldığı her iki senaryo için belirlenen rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinin en uygun sonuçları özetlenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1 CERN ve Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

Cenevre’de yüksek enerji fiziği araştırmaları için kurulan CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) Dünya’nın en büyük araştırma laboratuvarıdır. CERN’de yaklaşık 100 ülkedeki 600 enstitüden katılan yaklaşık 10000 bilim adamı maddenin temel yapısını hakkındaki bilgilerimizi daha derinlere götürmek üzere çalışmaktadırlar. Bugünlerde, madde üzerindeki anlayışımız çekirdekten daha ileri ilerlemiş ve farklı teoriler ortaya atılmıştır. CERN’de belirli amaçlar için kurulmuş olan parçacık hızlandırıcıları ve detektörler kullanılarak bu teoriler test edilmektedir.

Giriş bölümünde bahsedilen kütle farkı probleminin dışında SM’in eksik kaldığı bazı konular vardır ve bu konular hali hazırda CERN’de çalışılmaktadır. Bu eksiklikleri şöyle sıralayabiliriz:

- Kuarklar ve leptonlar gerçekten temel parçacık mı, yoksa daha temel başka parçacıklardan mı oluşuyorlar?
- Madem görünür evren sadece birinci ailenin iki kuark ve bir leptonundan oluşuyor, diğer iki aile neden var?
- Parçacık kütleleri niye öngörülemiyor ve kütle çekimi bu modele en uyumlu şekilde nasıl girmeli?
- Maddeyle anti madde arasında bir simetri varsa, evrene baktığımızda neden hep madde görüyoruz da, hiç anti madde göremiyoruz? Madde ve anti madde Büyük Patlama gerçekleştiğinde aynı zaman ve miktarda üretilmiş olmalı, fakat bugüne kadarki gözlemlerde evrenin maddeden oluştuğu bilinmektedir.
- Karanlık maddenin yapısı nedir ve neden gözlenemiyor? Kozmolojik ve astrofizik gözlemlere göre, görünebilen madde, evrenin sadece %4’nü oluşturmaktadır. Araştırmalar, evrenin %23’üne karşılık gelen karanlık madde ve %73’üne karşılık gelen karanlık enerjileri açıklayabilecek

fenomenlere ve parçacıklara açık durumdadır. Açıklamaya yönelik en bilinen fikir ise hâlihazırda keşfedilmemiş süpersimetrik parçacıklardır.

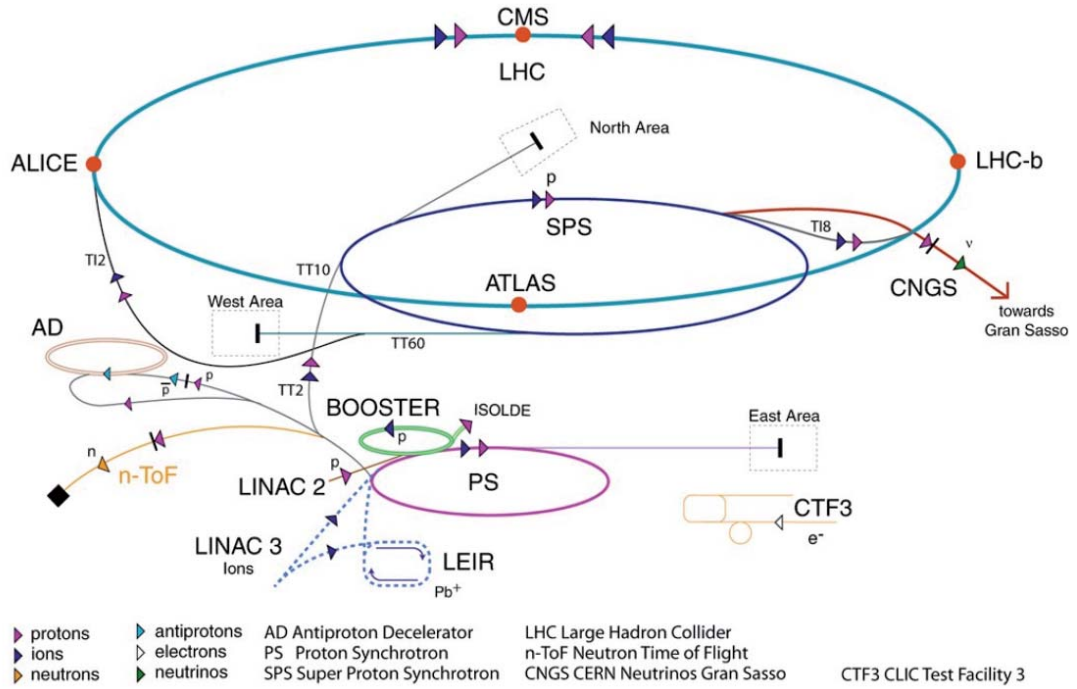
- Dört ayrı etkileşimi anlamaya çalışmak yerine, bu dördü tek bir etkileşimin çatısı altında toplanamaz mı? Bilinen standart parçacıkların çok büyük kütleli eşlerinin var olduğu hipotezinde bulunan Süper Simetri (SUSY) teorisinin temel kuvvetleri birleştirebileceği düşünülmektedir. Eğer süpersimetri teorisi doğru ise en hafif süpersimetrik parçacıkların Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda (BHÇ) keşfedilebilmesi gerekmektedir.

BHÇ şimdiye kadar inşa edilmiş en güçlü dairesel parçacık hızlandırıcısıdır. Fransa ve İsviçre sınıra inşa edilen BHÇ, evren hakkındaki çok önemli sorulara cevap aramak için tasarlanmıştır. Hızlandırıcı daha önce LEP'in (The Large Electron-Positron Collider) yer aldığı tünelin içine yerleştirilmiştir. Tünel yerin 100 metre altında ve çevresi 27 km'dir.

BHÇ'de temel olarak proton hüzmeleri çarpıştırılmaktadır. Her proton hüzmesi 2808 proton öbeği içermektedir. Her öbekte ise yaklaşık 10^{11} tane proton bulunmaktadır. Proton öbekleri zıt yörüngelerde hareket etmektedirler ve yeni parçacıkları oluşturmak için kafa kafaya çarpıştırılarak maksimum kütle merkezi enerjisi elde edilmeye çalışılmaktadır. Protonlar BHÇ'de ışık hızının %99.9999991'i kadar hızda ve aynı boru içinde yüksek vakumda tutularak zıt yönlerde hareket etmektedirler. Öbekler, süper iletken elektromıknatıslar kullanılarak elde edilen çok güçlü bir manyetik alanla hızlandırıcı halkada tutulmaktadır. Hedeflenen kütle merkezi enerjisi ise 14 TeV'dir. Günlük terimlerle 14 TeV çok büyük bir enerji değildir. Bu enerji miktarı uçan bir sivrisineğin sahip olduğu kinetik enerjiye eşittir. BHÇ'yi bu kadar özel kılan neden ise, bu kadar bir enerjiyi bir toz zerresinden yüz trilyon kez daha küçük bir noktaya odaklamış olmasıdır. Bu noktaya odaklanmış olan enerji sayesinde, BHÇ'de büyük patlamadan yaklaşık 10^{-25} saniye sonraki koşullar elde edilmeye çalışılmaktadır ve böylece evrenin oluşumu hakkındaki gizemin çözülmesi hedeflenmektedir.

BHÇ'de protonların hızlandırılması doğrusal bir hızlandırıcı olan Linac2 ile başlamaktadır. Protonlar Linac2'de 50 MeV'lik enerjiye ulaştırılırlar. Daha sonra

PSB (The Proton Synchrotron Booster-Proton Sinkrotron Yükseltici) enerjisi 1.4 GeV'e kadar artırır ve protonları PS'e (Proton Synchrotron- Proton Sinkrotron) gönderir. PS protonların enerjisini 26 GeV'e çıkarır ve SPS'e (Super Proton Synchrotron-Süper Proton Sinkrotron) aktarır. SPS'de protonlar 450 GeV'lik enerjiye sahip olduklarında son olarak BHÇ'ye gönderilir ve burada enerji 7 TeV'e kadar çıkarılır. Protonlar BHÇ'de bir saniyede yaklaşık 11245 tur atmaktadırlar ve halka üzerindeki 4 noktada kafa kafaya çarpıştırılmaktadırlar. Bu çarpışma noktaları ATLAS, CMS, ALICE ve LHCb adı verilen 4 büyük detektör tarafından çevrelenmiştir. ATLAS ve CMS genel amaçlı detektörler iken diğerleri özel amaçlı detektörlerdir. Şekil 2.1'de CERN hızlandırıcı kompleksi ve BHÇ üzerinde yer alan detektörler gösterilmektedir.



Şekil 2.1. CERN hızlandırıcı kompleksi ve BHÇ halkası üzerinde yer alan 4 büyük deney: ALICE, ATLAS, LHCb ve CMS (Mangano, 2010).

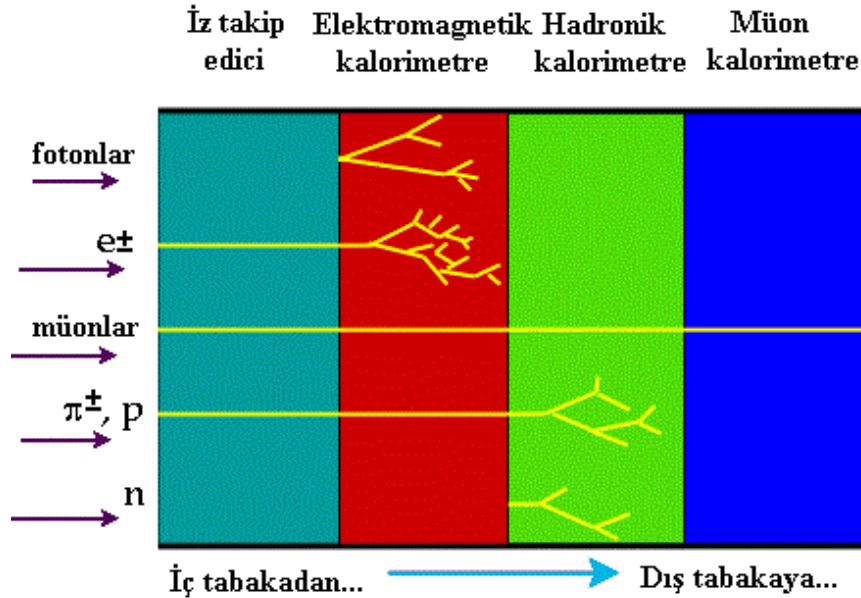
2.2. BHÇ Halkası Üzerinde Yer Alan Detektörler

BHÇ’de çarpışmalar sırasında meydana gelen olaylar, yeniden yapılandırma kapasitesine sahip ve yüksek çarpışma oranıyla başa çıkabilen büyük detektörler kullanılarak incelenir. Aslında bu detektörler milyonlarca sensöre sahip, saniyede 40 milyon fotoğraf çekebilen büyük, üç boyutlu fotoğraf makinaları olarak düşünülebilir. Detektörler yerleşik katman yapısına sahiptirler ve her bir katmanın farkı bir işlevselliği vardır. En içte bulunan katmanlar en az yoğunluğa sahip iken en dışta bulunurlar ise en yüksek yoğunluğuna ve en karmaşık yapıya sahiptirler.

BHÇ’deki çarpışmalarda üretilmesi beklenen ağır parçacıklar çok kısa ömre sahiptirler ve çok kısa sürede daha hafif, bilinen parçacıklara bozunurlar. Detektörlerde gerçekleşen çarpışmalardan sonra ortaya çıkan elektron, müon, foton, proton ve nötron gibi parçacıklar ışık hızına yakın hızlarda detektörle etkileşirler. Detektörler bu hafif parçacıkları, yeni ve ağır parçacıkların varlığı hakkında bilgi sahibi olmak için kullanır.

Yüklü parçacıkların yörüngeleri detektörlerde manyetik alan kullanılarak bükülür ve yörüngelerinin eğrilik yarıçapları momentumlarını hesaplamak için kullanılır. Parçacığın kinetik enerjisi ne kadar fazla ise çizdiği yörünge o kadar büyük olur. Bu yüzden eğrilik yarıçapını doğru bir şekilde belirleyebilmek için, yüksek kinetik enerjiye sahip parçacıkların yörüngeleri kesin bir şekilde ölçülmelidir. Detektörün bir diğer önemli parçası ise kalorimetrelerdir ve parçacıkların enerjilerini ölçmek için kullanılırlar. Kalorimetreler mümkün olan en fazla parçacık enerjisini emmek için yeterince büyük boyutlarda inşa edilmelidirler. Bu iki ilke BHÇ’deki detektörlerin “ niye bu kadar büyük? ” sorusuna cevap olacak temel nedenlerdir. Detektörler momentumu ve enerjiyi tam olarak ölçmek ve her bir olayı detaylı bir şekilde yeniden yapılandırabilmek için soğansı (hermitik) bir yapıda inşa edilmişlerdir ve ayrıca parçacıkların kafa kafaya çarpıştığı ilk etkileşim noktası da bu soğansı yapının merkezinde yer almaktadır. Detektörün bütün katmanlarından gelen bilgiler birleştirildikten sonra detektörde iz bırakan parçacığın kimliği belirlenebilmektedir.

Elektron, proton ve müon gibi yüklü parçacıklar iyonizasyon yolu ile detektörde iz bırakırlar. Elektronlar çok hafif parçacıklardır ve bu yüzden enerjilerini çok hızlı bir şekilde kaybederler. Protonlar ise elektrondan daha ağır olduğu için detektörde daha ileri gidebilirler. Fotonlar ise aslında iz bırakmazlar fakat kalorimetreye vardıklarında bir elektrona ve bir pozitrona dönüşürler. Daha sonra bu bilgi kullanılarak detektörde fotonların enerjileri ölçülebilir. Müonlar ise detektörde en dış tabakalara ulaşabilen tek parçacıktır çünkü müonlar minimum iyonize parçacıklardır ve bu nedenle daha yavaş enerji kaybederler. Şekil 2.2'de çeşitli parçacıkların detektörde iz bırakma şeması gösterilmektedir.

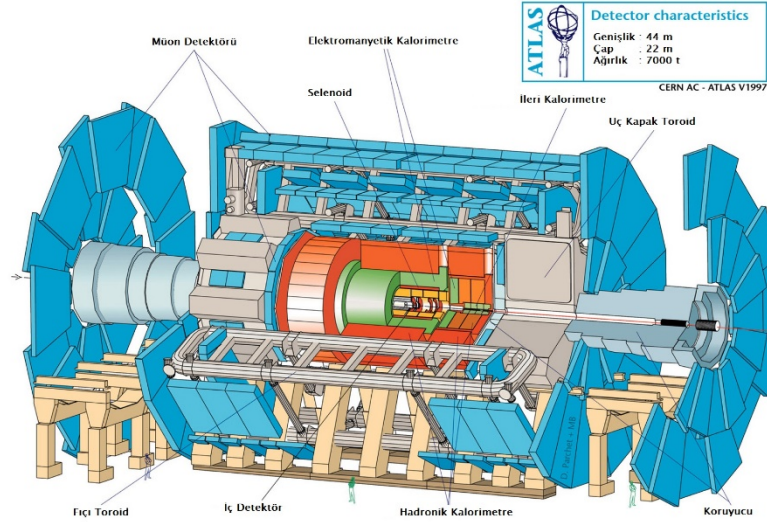


Şekil 2.2. Parçacıklar ve iz bıraktıkları detektörler ([http://www.lhc-closer.es /img/subidas/5_8_1_3.gif](http://www.lhc-closer.es/img/subidas/5_8_1_3.gif)).

Detektörün her bir parçası yüzbinlerce kablo ile bir elektronik okuma sistemine bağlıdır. Basit bir şekilde, detektörde bir sinyal tespit edilmez, sistem sinyalin tam yerini ve zamanını kaydeder ve anında bilgisayara gönderir. Bu şekilde birkaç yüz tane bilgisayar aynı anda çalışır ve bütün bilgiler bir araya toplanır. Bütün bilgisayar sisteminin en başında ise hangi olayın alakalı olup olmadığına çok kısa bir sürede karar veren, çok hızlı bir sistem bulunur. Bu sistemde fiziksel anlama sahip potansiyel olayları seçecek birçok farklı kriter bulunmaktadır. Bu kriterler ile birlikte

600 milyon olayı tutan bir veri, daha detaylı araştırılmak için birkaç yüz bin olaya indirgenir. BHC halkası üzerinde yukarıda bahsedilen türden toplamda 4 büyük: ATLAS, CMS, ALICE ve LHCb ile birlikte 2 küçük: TOTEM ve LHCf detektörleri bulunmaktadır.

ATLAS (A Torodial LHC ApparatuS- Büyük Toroidal Detektör) BHC’de bulunan iki genel amaçlı detektörlerden biridir. Detektörde, Higgs bozonu, ekstra boyutlar ve karanlık maddeyi oluşturduğu varsayılan parçacıklar gibi geniş bir fizik yelpazesi araştırılmaktadır. ATLAS’da çarpışma noktası etrafına katmanlar şeklinde yerleştirilen altı farklı alt detektör aracılığıyla parçacıkların yörüngeleri, momentumları ve enerjileri ölçülmektedir. Parçacıkların yörüngeleri çok büyük bir mıknatis ile bükülmektedir ve böylece bu parçacıkların momentumları ölçülebilmektedir. Şekil 2.3’de ATLAS detektörü gösterilmektedir.

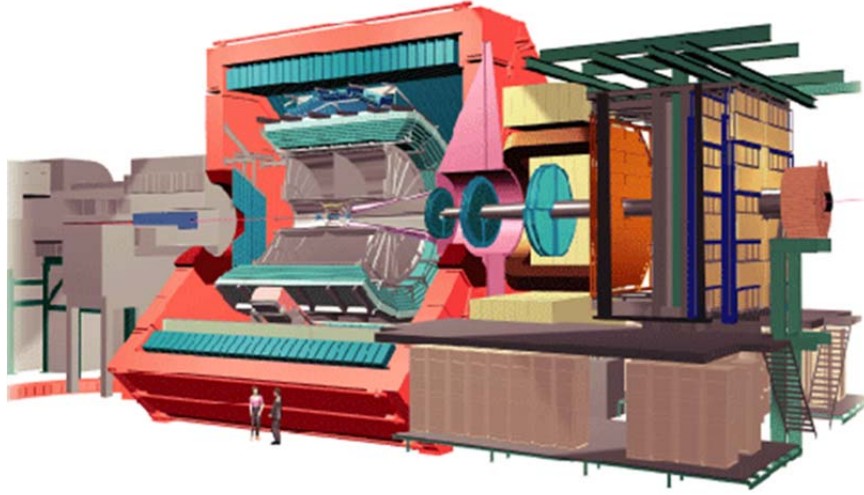


Şekil 2.3. ATLAS detektörü (<http://scipp.ucsc.edu/personnel/atlasdet.jpg>).

ATLAS’da gerçekleşen çarpışmalar çok büyük bir veri akışı ortaya çıkartmaktadır. Büyük miktardaki bu verinin derlenmesi için ileri düzeyde bir “tetikleyici” sistem kullanılmaktadır. Bu sistem, detektördeki bilgisayar sistemine komutlar göndererek hangi olayın kaydedileceğini hangi olayın göz ardı edileceğini belirlemektedir. Daha sonrada kaydedilen olaylar analiz edilmektedir.

ATLAS detektörü 46 m uzunluğunda, 25 m yüksekliğinde, 25 m genişliğinde olup 7000 ton ağırlığındadır. Deneyde, 38 ülkedeki 172 enstitüden katılan 3000'den fazla bilim insanı çalışmaktadır.

ALICE (A Large Ion Collider Experiment- Büyük İyon Çarpıştırma Deneyi) bir ağır iyon detektörüdür ve çok yüksek enerji yoğunluklarda güçlü etkileşen maddenin fiziğini araştırmak için tasarlanmıştır. Bu yüksek enerji yoğunluğundaki maddenin formu ise kuark-gluon plazması olarak adlandırılır. Şekil 2.4'de ALICE detektörü gösterilmektedir.



Şekil 2.4. ALICE Detektörü (<http://public.web.cern.ch/public/lhc/ALICE-en.html>).

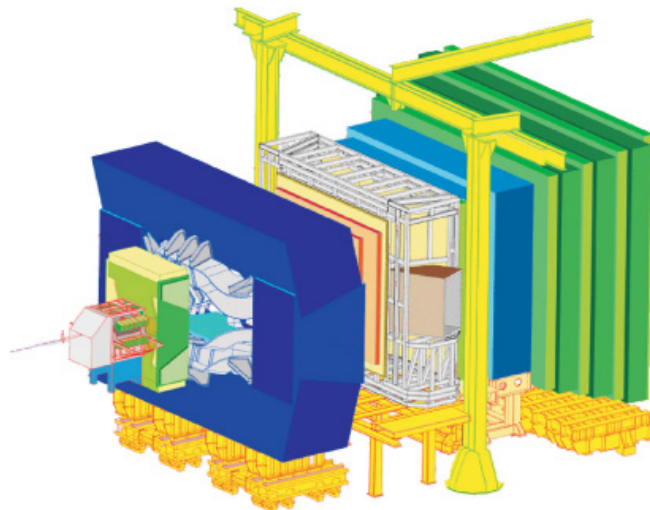
Evrendeki bütün maddeler atomlardan meydana gelmektedir. Hidrojen hariç her atom, protonlar ve nötronlardan oluşan ve bir elektron bulutu tarafından çevrelenen bir çekirdeğe sahiptirler. Protonlar ve nötronlar ise, kuarklar ve bu kuarkları birbirine bağlayan gluonlardan oluşmaktadır. Şimdiye kadar yapılan hiçbir deneyde kuarklar izole bir şekilde gözlenememiştir. Kuarklar birbirlerine kalıcı bir şekilde bağlıdır ve parçacıklar içinde hapsolmuşlardır. Bu durum renk hapsi olarak bilinmektedir.

BHÇ'de güneşin merkezinden 100000 kat daha fazla sıcaklık oluşmaktadır. Büyük patlamadan hemen sonraki koşulları yaratmak amacıyla her yılın belirli zamanlarında BHÇ'de kurşun iyonları çarpıştırılır. Bu koşullar altında proton ve nötronlar erimeye başlar ve yapısında bulundukları kuarklar ve gluonlar

bağlarından koparak serbest kalırlar. Kuark-gluon plazmasının varlığı ve özellikleri, renk hapsi ve kiral-simetri gibi KRD fenomenlerinin anlaşılması için çok büyük önem taşımaktadır. ALICE 16 m yüksekliğinde, 26 m uzunluğunda, 16 m çapında ve 10,000 ton ağırlığındadır. ALICE deneyindeki araştırma sonuçlarının kuark-gluon plazma yapısı hakkında daha ayrıntılı bilgiler vermesi ve plazmanın bugünkü evreni oluşturan parçacıklara nasıl dönüştüğü sorusunu yanıtlaması beklenmektedir. Deneyde, 30 ülkedeki 100 enstitüden katılan 1000'den fazla bilim insanı çalışmaktadır (<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/ALICE-en.html>).

LHCb (Large Hadron Collider beauty-b Fiziği Deneyi) deneyi, b-kuarkının etkileşimlerini inceleyerek madde ve anti madde arasındaki farkı araştırmak için tasarlanmıştır. BHÇ'de bulunan diğer detektörlerin aksine çarpışma noktasını çevreleyen kapalı bir detektör yerine LHCb deneyinde, tek bir yönde ileri doğru fırlayan parçacıkları algılamak için sıralı yerleştirilmiş birkaç alt detektör kullanılmaktadır.

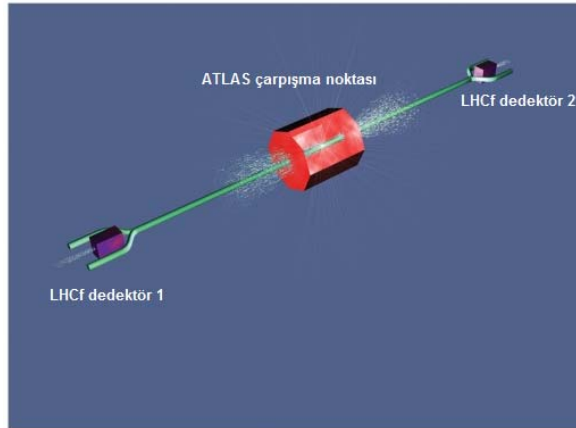
BHÇ'de kuarklar diğer formlara dönüşmeden önce farklı çeşitlerde bol miktarlarda yaratılmaktadır. LHCb'de b-kuarklarını yakalamak için özel olarak tasarlanmış ve hareket edebilen bir izleyici sistem kullanılmaktadır. LHCb detektörü 21 m uzunluğunda, 10 m yüksekliğinde, 13 m genişliğinde ve 5600 ton ağırlığındadır. Deneyde, 66 enstitüden katılan yaklaşık 700 bilim insanı çalışmaktadır. Şekil 2.5'de LHCb detektörü gösterilmektedir.



Şekil 2.5. LHCb Detektörü (<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/LHCb-en.html>).

LHCf'de (The Large Hadron Collider forward-Büyük İleri Hadron Çarpıştırıcısı) kozmik ışınları simüle etmek amacıyla BHÇ tarafından ileri doğru fırlatılan parçacıklar kullanılır. Kozmik ışınlar doğal olarak Dünya atmosferinin yüklü parçacıklarla etkileşmesi sonucu ortaya çıkar. Yüklü parçacıklar atmosferin üst kısmında yer alan çekirdeklerle çarpışarak yeryüzüne ulaşan bir parçacık çağlayanı oluştururlar. Bu durumun BHÇ'de nasıl ortaya çıktığının araştırılması binlerce kilometreyi kapsayan büyük ölçekli kozmik ışın deneylerinin kalibre edilmesine ve yorumlanmasına katkıda bulunacaktır.

LHCf, ATLAS'ın her iki tarafından 140 metre uzaklıkta ve BHÇ hüzmeye eksenine boyunca yerleştirilmiş iki detektörden oluşmaktadır. Hüzmeye eksenine yerleştirilen bu iki detektör sayesinde, proton hüzmeleriyle neredeyse sıfır derecelik açı yapan parçacıkların gözlenmesi mümkün kılınmaktadır. Her detektörünün uzunluğu 30 cm, yüksekliği 80 cm ve genişliği 10 cm'dir. Detektörlerin her ikisi de 40 kg ağırlığındadır (<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/LHCf-en.html>). Şekil 2.6'da LHCf detektörü gösterilmektedir.



Şekil 2.6. LHCf Detektörü (CERN Brochure, 2009).

TOTEM'de (Total elastic and diffractive cross-section measurement-Toplam Elastik ve Difraktif Tesir Kesit Ölçüm Detektörü) ileri fırlatılan parçacıklar incelenmektedir ve deneyde birçok fiziksel çalışmaların yanı sıra, protonların belirleyerek BHÇ'nin ışıklılığı (luminosity) doğru bir şekilde hesaplanmakta ve görüntülenmektedir. Işıklılık, detektörde birim zamanda birim alanda oluşan

çarpışma olarak düşünülebilir. BHÇ'nin ışıklılığı sadece hüzme parametrelerine bağlıdır ve bir Gaussian hüzme dağılımı için ışıklılık şu şekilde yazılabilir;

$$L = \frac{N_b^2 n_b f_{dön} \gamma_r}{4\pi \epsilon_n \beta^*} F$$

burada N_b öbek başına parçacık sayısı, n_b hüzme başına öbek sayısı, $f_{dön}$ dönme frekansı, γ_r rölativistik gama faktörü, ϵ_n enine hüzme yayma gücü, β^* çarpışma noktasındaki beta fonksiyonu ve F etkileşme noktasındaki kesit açısından dolayı oluşan geometrik ışıklılık indirgeme faktörüdür (Evans ve Bryant, 2008).

Işıklılığı doğru bir şekilde ölçmek için, TOTEM hüzmelere çok yakın bölgelerde üretilen parçacıkları belirlemektedir. Detektör “Roman pots” (RP) adı verilen, özel olarak tasarlanmış ve hüzme eksenine yerleştirilmiş vakum odacıkları içermektedir. Toplamda, CMS deneyinin etkileşme noktasının her iki tarafına yerleştirilmiş 26 adet RP bulunmaktadır ve detektör CMS deneyinden 440 m’lik bir uzaklığa yayılmıştır. Yüksekliği ve genişliği 5 m olan detektörün toplam ağırlığı 3 tondur (<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/TOTEM-en.html>).

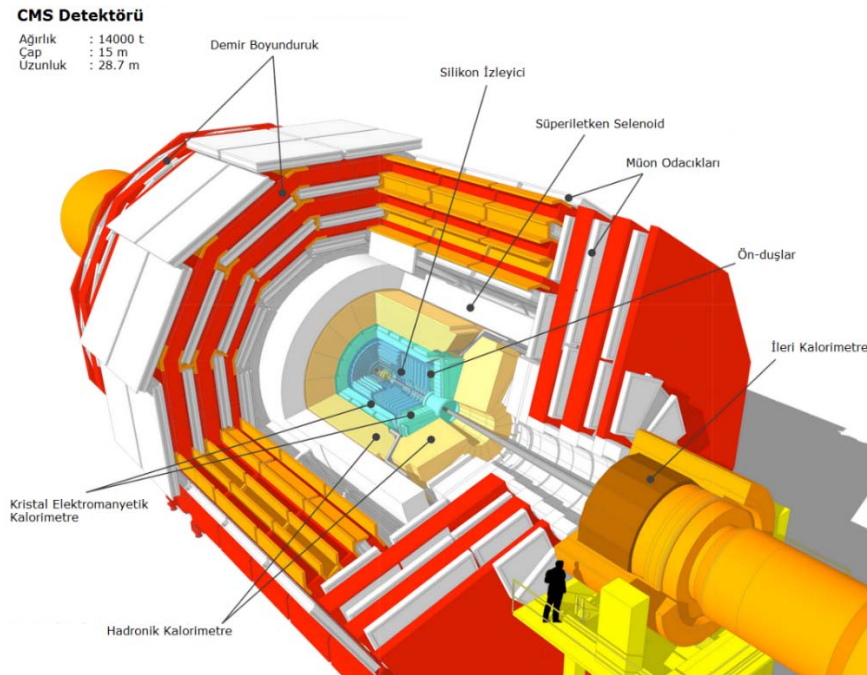
2.3. CMS ve Alt Detektörleri

CMS (Compact Muon Solenoid-Sıkı Müon Selenoidi) müonları, elektronları, fotonları ve jetleri belirlemek ve bu parçacıkların hassas ölçümleri ile yeni fiziğin farklı imzalarını tespit etmek için tasarlanmıştır. Bu görevi tek bir aygıt ile yerine getirmek mümkün değildir. Bu nedenle her birinin görevi farklı olan alt detektörler tasarlanmıştır. Parçacık hüzmelerinin kafa kafaya çarpıştığı nokta ya da diğer bir adıyla ana etkileşim noktası CMS’in merkezinde bulunmaktadır. Alt sistemler ise ana etkileşim noktasının etrafına soğansı bir yapı gibi yerleştirilmiştir.

CMS’in başlıca özelliği, süper iletken bobin tarafından oluşturulan güçlü manyetik alanıdır. Bobin ile etkileşim noktası arasında izleyici ile beraber elektromanyetik ve hadronik kalorimetre bulunmaktadır. Demir bir boyunduruk

bobin etrafını sarmalamaktadır ve daha sonra boyunduruğun içine gömülü olacak şekilde müon odacıkları aralıklarla yerleştirilmiştir.

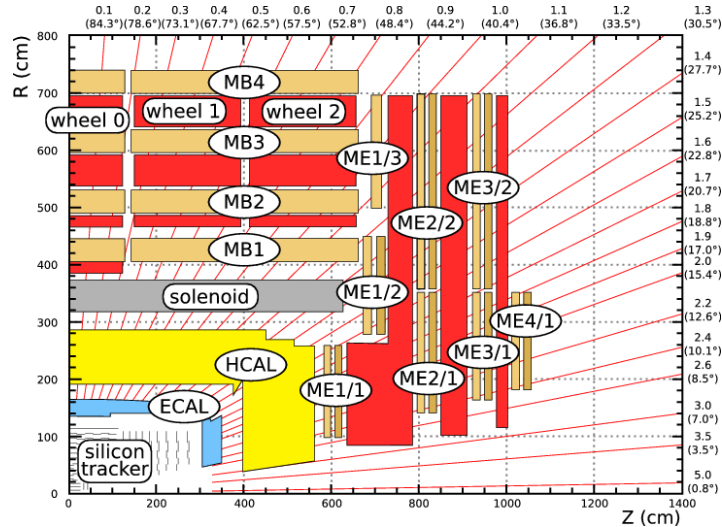
Detektör tarafından belirlenmesi gereken parçacıklar elektronlar, fotonlar, hadronlar, müonlar, nötrinolar veya nötrino benzeri parçacıklardır. Elektronlar ve fotonlar elektromanyetik kalorimetrede enerji bırakırken, hadronik kalorimetre ile etkileşmezler. Yüklü olmalarından dolayı elektronlar izleyicide bir iz bırakırlar ama fotonlar elektrik yükleri olmadığından dolayı iz bırakmazlar. Güçlü etkileşen yüklü ve yüksüz parçacıklar ise hem elektromanyetik hem de hadronik kalorimetrede enerji bırakırlar. Müonlar ise tüm detektör boyunca ilerlerler fakat kalorimetrelerde çok az enerji bırakırlar. Bu nedenle müonlar, müon odacıklarında bıraktıkları sinyaller ile belirlenebilirler. Nötrinolar veya nötrino benzeri parçacıklar, örneğin süpersimetrik teorilerde öngörülen “neutralino”lar, detektörle sadece zayıf etkileşirler ve detektör tarafından doğrudan belirlenemezler. Bu tür parçacıklar dolaylı yollardan gözlemlenebilirler. Eğer detektördeki kayıp enerji miktarı sıfırdan farklı ise bu duruma nötrino veya nötrino benzeri parçacıkların yol açtığı söylenebilir. Kayıp enerji ise kalorimetrede bulunan dik enerjinin vektörel toplamı ile hesaplanabilir. Şekil 2.7’de CMS detektörü gösterilmektedir.



Şekil 2.7. CMS detektörü (<http://cms.web.cern.ch/news/cms-detector-design>).

Deneyin en önemli kısımlarından biri ise tetikleme ve veri toplama sistemidir. Detektör içerisinde bir saniyede milyonlarca çarpışma meydana gelmektedir ve bunların sadece küçük bir kısmı fiziksel anlama sahiptir. Bu nedenle olaylar özelliklerine göre anında seçilmek zorundadır ve bu görev tetikleme sistemi ile gerçekleştirilmektedir. Veri toplama sistemi ise seçilen olaylardan gelen büyük miktardaki verileri biriktirmeden ve ileri analizler için bu verileri kalıcı bir şekilde kaydetmekten sorumludur. CMS, 28.7 m uzunluğunda, 15 m yüksekliğinde, 15 m genişliğinde olup 14000 ton ağırlığındadır. Bu deneyde 41 ülkedeki 189 enstitüden katılan 3300'den fazla bilim insanı çalışmaktadır.

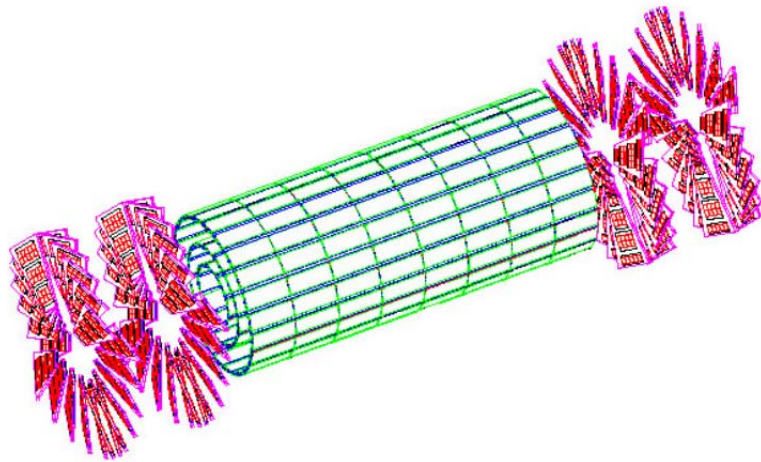
CMS tarafından kabul edilen koordinat sisteminde, çarpışma noktası orijin olarak kabul edilmiştir. y -ekseni düşey olarak yukarı yönü ve x -ekseni yarıçap doğrultusunda radyal olarak BHÇ'nin merkezini işaret etmektedir. z -ekseni ise hüzme doğrultusunu göstermektedir. Azimutal açı ϕ , x - y düzlemindeki x -ekseninden, polar açı θ ise z -ekseninden ölçülmektedir. Psüdorapidite $\eta = -\ln(\theta/2)$ denklemi ile tanımlanmaktadır. p_T ve E_T ile ifade edilen dik momentum ve enerji hüzme boyunca ölçülmektedir. Dik momentum ve enerji, x ve y bileşenlerinden hesaplanmaktadır. Dik düzlemdeki enerji kaybı, kayıp dik enerji (E_T^{kyp}) olarak ifade edilmektedir. CMS detektörünün enine kesiti sabit η çizgileriyle birlikte Şekil 2.8'de gösterilmektedir (CMS TDR, 2006).



Şekil 2.8. CMS deneyinin enine kesiti (http://inspirehep.net/record/837837/files/Figures_cms_quadrant.png).

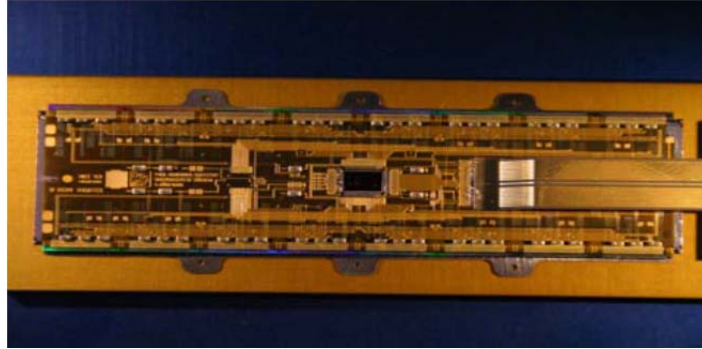
İzleyici sistemi çarpışma noktasından gelen parçacıkların karşılaşacağı ilk yerdir. İzleyicinin görevi manyetik alan tarafından bükülen yüklü parçacık yörüngelerini belirlemektir. Parçacıkların momentumu manyetik alandan dolayı yörüngelerinde oluşan eğrilikten hesaplanabilir ve bunun yanında parçacığın elektrik yükü de belirlenebilir. İzleyici 2.4 m yarıçaplı ve 5.4 m uzunluğunda silindirik bir hacmi kaplamaktadır ve iki kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlar piksel detektör ve iç izleyicidir. İki sistemde silikondan yapılmıştır ve bu nedenle bir iyonizasyon detektörü olarak çalışmaktadırlar.

Piksel detektörü, etkileşme noktasına yakın bir şekilde en iç kısma yerleştirilmiştir. Piksel adı verilen silikon bloklar aracılığıyla yüksek çözünürlük sağlanmaktadır. Piksel detektörünün temel amacı ağır ve görel olarak uzun ömürlü parçacıkların birincil ve ikincil etkileşim noktalarını belirlemektir. Piksel sistemi aynı zamanda iç izleyicide yer alan iz bulucu sistemini de tamamlamaktadır. Piksel sistemi iki ayrı detektörden oluşmaktadır. Bunlar fıçı piksel detektörü ve ileri piksel detektörüdür. Fıçı piksel detektörü iç içe yerleştirilmiş, sırasıyla yaklaşık 4 cm, 7cm ve 11 cm yarıçapa sahip üç katmandan oluşmaktadır. İleri piksel detektörü ise hüzme yönünde, etkileşme noktasından ± 34 cm ve ± 46 cm uzaklığa yerleştirilmiş iki çift katmandan oluşmaktadır. Piksel detektörün geometrik temsili Şekil 2.9'da gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Piksel detektörü (Wulz, 2008).

Toplamda, $100\ \mu\text{m} \times 150\ \mu\text{m}$ boyutlarına sahip 66 milyon tane piksel bulunmaktadır. Bu pikseller 16000 okuma yongası tarafından okunmaktadır ve bu yongalar silikon sensörlere bağlıdır. Yongalar $0.25\ \mu\text{m}$ boyutlarında ve CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor-Tamamlayıcı Metal Oksit Süperiletkeni) teknolojisi kullanılarak üretilmişlerdir. Detektör parçası boyunca sinyalleri ve gücü dağıtmak için sensörlerin üstüne HDI (High Density Interconnect-Yüksek Yoğunluklu Bağlayıcı) kartları yapıştırılmıştır. Yüksek radyasyon seviyesinden dolayı bazı piksel katmanları değiştirilmiştir. Şekil 2.10'da bir HDI kartı gösterilmektedir.



Şekil 2.10. HDI kartı (Wulz, 2008).

Piksel sistemini saran iç izleyici ise 15000 silikon mikro şerit detektör parçasından meydana gelmektedir. Her bir parça sensörlerden, mekanik destek yapısından ve sensörlere bağlanan okuma ünitelerinden oluşmaktadır. Şekil 2.11'de karbon fiber mekanik destek yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Karbon fiber destek yapısı (Wulz, 2008).

İç izleyicide verinin okunması için 50000 optik kablo kullanılmaktadır ve en sonda radyasyona dayanıklı APV (Analogue Pipeline Voltage) yongalar yer almaktadır. Her bir APV yongası 128 kanala ve yüke duyarlı yükselticilere sahiptir. Yüksek radyasyondan ve düşük gürültü gereksiniminden dolayı izleyici -10^0 C'de çalışmak zorundadır. İç izleyicinin fiçı kısmı iç içe yerleştirilmiş 10 katmandan, ileri kısmı ise disk şeklinde 12 katmandan oluşmaktadır.

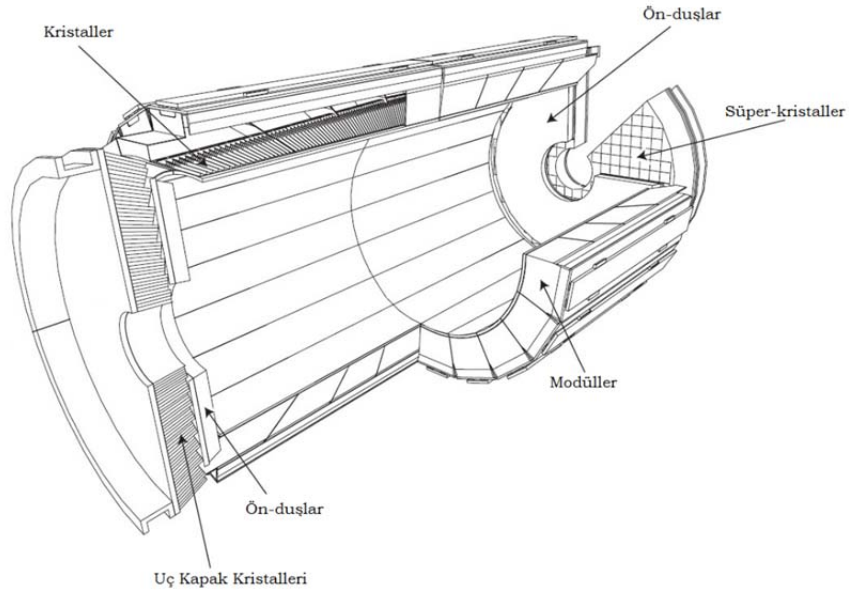
Yüksek enerjili elektronlar ve fotonlar bütün enerjilerini kalorimetrede bırakırlar. Bu parçacıklar maddeyle bremsstrahlung ışıması ve elektron-pozitron çifti oluşumu yoluyla etkileşirler. Elektromanyetik kalorimetrede (EKAL) yaklaşık 76000 tane kurşun tungsten kristali kullanılmaktadır. EKAL her biri 1700 kristal içeren 36 parçadan oluşan merkezi fiçı bölgesi (EB) ve her biri 7324 kristal içeren iki kapak (EE) kısmından oluşmuştur. EB'nin psüdorapidite aralığı $|\eta| < 1.48$ ve EE'nin psüdorapidite aralığı ise $|\eta| = 3.0$ a kadar uzanmaktadır. EKAL'de iki nedenden dolayı kurşun tungsten kristalleri kullanılmaktadır. Birinci neden, çok yoğun olmalarıdır. Böylece elektromanyetik duşlar erken oluşur ve tüm kalorimetrede algılanabilir. İkinci neden ise duş boyunca emilen ışığı algılayabilecek kadar hızlı bir sintilatör olmalarıdır. Şekil 2.12'de kurşun tungsten kristalleri gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Kurşun tungsten kristalleri (Wulz, 2008).

EKAL ağır radyasyon şartları altında ve yüksek manyetik alan içerisinde çalıştığından dolayı, merkez bölgede ışığın okunması için silikon APD'ler (Avalanche Photo Diodes-Çığ Foto Diyot) kullanılmaktadır. İleri bölgelerde ise

VPT'lar (Vacuum Phototriode-Vakum Foto Triyot) kullanılmaktadır. Uzun optik fiberler, ADC'ler (Analogue-to-Digital Converter-Analog-Sayısal Çevirici) ile sayısallaştırılan sinyallerin sayım odalarına taşınması için kullanılmaktadır. Şekil 2.13'de EKAL'in yapısı gösterilmektedir.

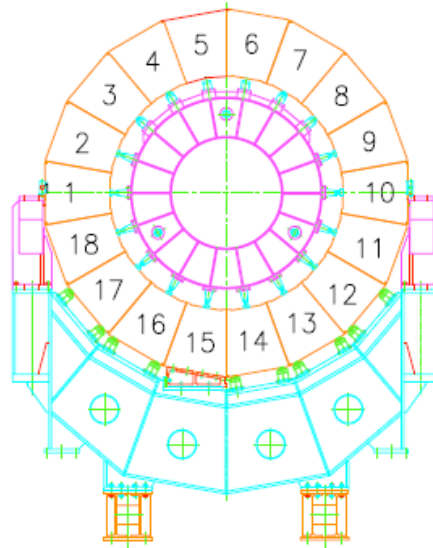


Şekil 2.13. EKAL'in yapısı (https://inspirehep.net/record/1251416/files/Figures_Experimental_Apparatus_ECAL.png).

Protonlar, nötronlar ve pionlar güçlü etkileşen parçacıklardır ve HKAL bu parçacıkların enerjilerini ölçmek için tasarlanmıştır. HKAL, hadronik jetlerin ve kayıp dik enerji ölçümleri ile belirlenebilen nötrinoların ve egzotik parçacıkların ölçümlerinde çok önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle HKAL'in en iyi jet çözünürlüğüne sahip olmasına, jetlerin yönünü ve kayıp dik enerjiyi hassas ölçecek biçimde yapılandırılmasına büyük önem verilmiştir. CMS detektöründe, hadronik duşlar elektromanyetik duşlardan sonra oluşur ve daha boylamsal ve yanal uzunluklara sahiptirler. Bu yüzden HKAL, EKAL'den daha kalındır ve EKAL'i sarmalamaktadır. HKAL pirinç ve paslanmaz çelik soğuruculardan ve plastik sintilatörlerden oluşan bir örnekleme kalorimetresidir. Sintilatörlerdeki sinyaller ise dalgaboyu-kaydırıcı optik kablolar aracılığıyla fiçı ve kapak bölgesindeki foto sensörler aracılığıyla okunmaktadır. HKAL psüdorapidite bölgesini

kapsamaktadır ve 4 alt detektörden oluşmaktadır. Bu alt detektörler hadronik fiçı (HB), hadronik uç kapak (HE), hadronik dış (HO) ve hadronik ileri (HF) kalorimetreleridir. HB ve HE etkileşim noktasından bakıldığında izleyici ve EKAL'in hemen arkasında bulunmaktadır. HB, EKAL'in dış yarıçapı olan $R = 1.77$ m ile manyetik bobinin iç yarıçapı olan $R = 2.95$ m arasına yerleştirilmiştir. Bu durum HB'nin hadronik duşları tam olarak soğurmada yetersiz kalmasına neden olmuştur. Bu yüzden HO, HB'yi tamamlayacak şekilde manyetik bobinin hemen arkasına yerleştirilmiştir. $|\eta| = 3$ 'den sonrasına ise, psüdo-rapidity aralığını $|\eta| = 5.2$ 'e kadar genişletmek amacıyla etkileşim noktasından ± 11.2 m uzaklığa HF yerleştirilmiştir.

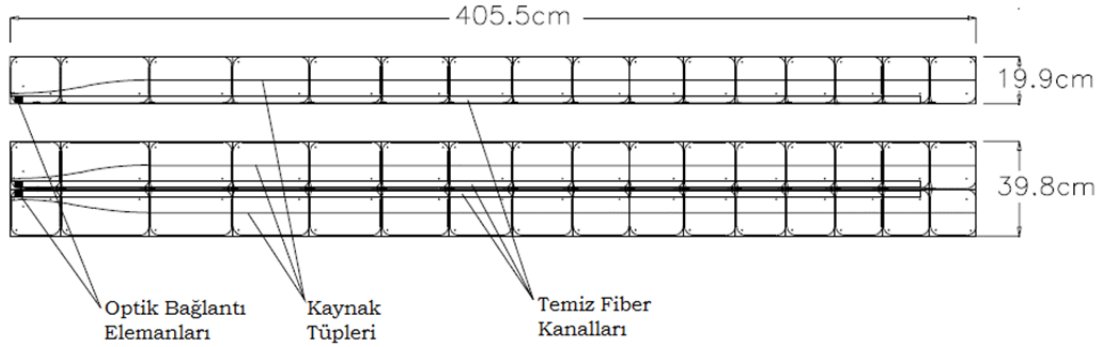
HB, $|\eta| < 1.3$ psüdo-rapidity aralığını kapsayan bir örnekleme kalorimetresi olup, HB- ve HB+ adı verilen iki yarım fiçuya bölünmüştür. HB'de, yarım fiçuları oluşturan 36 tane özdeş kama bulunmaktadır. Kamalar, hüzme eksenine paralel olacak şekilde hizalanmış pirinç soğurucu plakalardan meydana gelmektedir. Her kama dört azimutal ($\Delta\theta = 5^\circ$) sektörden oluşmaktadır. En içteki ve en dıştaki plakalar yapısal sağlamlığı elde etmek amacıyla paslanmaz çelikten yapılmışlardır. HB'deki kamaların numaralandırılması Şekil 2.14'de gösterilmektedir.



Şekil 2.14. HB'deki kamaların numaralandırılması (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004, 2008).

HB'nin soğurucu yapısı 40 mm kalınlığındaki ön-çelik plakadan, ardından bu plakayı takip eden sekiz tane 50.5 mm kalınlığında pirinç plaka, daha sonra 6 tane 56.5 mm kalınlığındaki pirinç plakadan ve son olarak 75 mm kalınlığında arka-çelik plakadan oluşmaktadır. 90° 'deki toplam soğurucu kalınlığı 5.82 nükleer etkileşme uzunluğuna (λ_I) sahiptir. HB kalorimetresinin etkin kalınlığı polar açısı ile artmaktadır (şeklinde) ve 90° 'deki değeri $10.6 \lambda_I$ 'dir. HB'nin pirinç soğurucusu C26000/pirinç kartuş olarak adlandırılmakta ve %70 bakırdan, %30 ise çinkodan meydana gelmektedir. Soğurucunun radyasyon uzunluğu $X_0 = 1.49\text{cm}$, nükleer etkileşme uzunluğu ise $\lambda_I = 16.42\text{cm}$ 'dir.

HB'de gelen ışığı okumak için aktif madde olarak 70000 tane olan sintilatör döşeme ve dalgaboyu kaydırıcı (WLS) fiberler kullanılmaktadır. Belirli bir azimutal katmanındaki döşemeler tek bir sintilatör biriminde gruplanarak tablalar oluşturulmuştur. Şekil 2.15'de bir sintilatör tablası gösterilmektedir. Kararlılık ve radyasyona dayanıklılığından dolayı HB'de 3.7 mm kalınlığındaki Kuraray SCSN81'ler sintilatör olarak seçilmiştir.



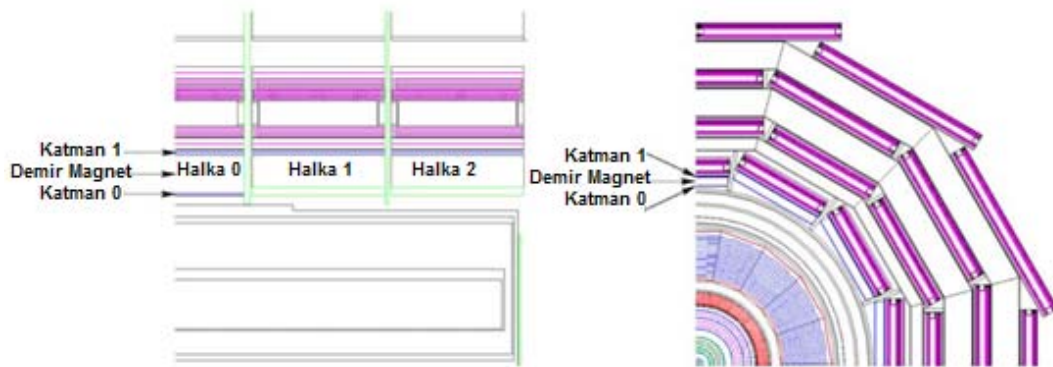
Şekil 2.15. HB'de kullanılan sintilatör tablasının yapısı (CMS colabration, 2008, JINST 3 S08004, 2008).

Her tabla farklı sintilatörlerden yapılmıştır. Her döşemeden gelen ışık 0.94 mm çaplı dalga boyu kaydırıcı fiberler ile toplanmaktadır. Dalga boyu kaydırıcı fiberler, foto sensörlerin birkaç metre uzağına yerleştirilmiş olan sintilatör plakalardan taşınan ışıktaki optik zayıflamayı azaltmak için saydam fiberlere ayrılmaktadır. Saydam fiberler, sintilatör tablanın kenarında bulunan elmas yapıları bir

optik birleştiriciye kadar uzanmaktadır. Optik kablolar daha sonra ışığı daha ilerideki bir optik birime iletmektedir. Optik birim ise ışığın Hibrit Foto Diyot (HFD)'a yönlendirilmesini sağlamaktadır.

Merkezi psüdorapidite bölgesinde bulunan EB ve HB'nin bileşik durdurma gücü hadronik duşları durdurmakta yetersizdir. $HO, |\eta| < 1.3$ psüdorapidite aralığını kapsamaktadır ve $1.4/\sin\theta$ etkileşim uzunluğuna eşit olan ek bir soğurucuya karşılık gelerek geç başlayan hadronik duşlarla HB'den sonraki duş enerjilerini ölçmek için kullanılmaktadır.

Solenoid vakum tankının dışında, manyetik alan z eksenine boyunca 2.536 m genişliğinde beş adet halka biçimde tasarlanan demir boyunduruk tarafından döndürülmektedir. HO kalorimetresi, bu beş halkanın her birine ilk hassas tabaka olarak yerleştirilmiştir. Bu halkalar, $-2, -1, 0, +1, +2$ numaraları ile tanımlanmakta ve z eksenine boyunca artmaktadır. 0. halkada soğurucu malzeme olarak 19.5 cm kalınlığında demir plakalar kullanılmıştır ve bu demir plakalar, detektörün merkezinden radyal olarak 3.82 m ve 4.07 m uzağa yerleştirilmiştir. Diğer tüm halkalar, 4.07 m radyal uzaklıkta tek bir HO katmanına sahiptir. Böylece kalorimetre sisteminin toplam derinliği en az $11.8 \lambda_1$ 'a kadar uzatılmıştır. Şekil 2.16'da CMS'de HO detektörünün enine ve boyuna pozisyonu gösterilmektedir.



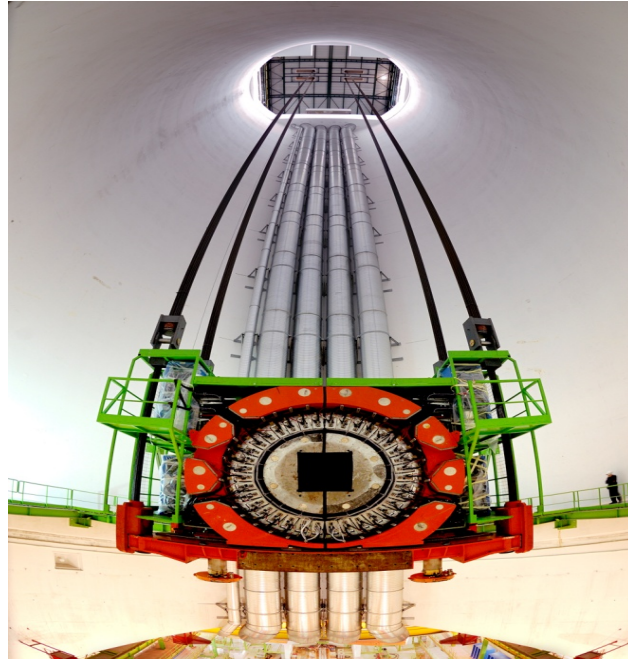
Şekil 2.16. CMS detektöründe HO katmanlarının pozisyonu (CMS Collaboration, 2008, JINST 3 S08004).

HO kalorimetresi, fiçı müon detektörünün birinci katmanının ön tarafında bulunan bir veya iki katmanlı sintilatör döşemelerinden oluşmaktadır. Döşemelerden

gelen sintilasyon ışığı WLS fiberler aracılığı ile toplanmaktadır. WLS’de toplanan ışık ise bu WLS fiberlere bağlı Kuraray saydam fiberlerle foto detektörlere taşınmaktadır.

HF’in psüdorapidite aralığı $3 \leq |\eta| \leq 5$ ’dir ve HF+ ve HF- olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Bu parçalar etkileşme noktasından yaklaşık 11.2 m uzağa yerleştirilmiştir. HF ileri bölgedeki jetlerin ve kayıp dik enerji (E_T^{kyp})’nin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca HF, ışıklılık ölçümünde de önemli bir rol oynamaktadır.

Bir örnekleme kalorimetresi olan HF’de toplam 36 çelik kama bulunmaktadır. Kalorimetrenin aktif materyali olan kuartz fiberler çelik soğuruculardaki boşlukların içine yerleştirilmiştir. Fiberler foto çoğaltıcı tüplerle okunmaktadır. HF’de parça başına 864 okuma kanalı olmak üzere toplam 1728 kanal bulunmaktadır. Şekil 2.17’de HF kalorimetresi gösterilmektedir.



Şekil 2.17. HF kalorimetresi (<http://cds.cern.ch/record/1431489/files/HFLowering4.jpg?subformat=icon-1440>).

Yüklü parçacıkların momentum ölçümleri manyetik alanda yörüngelerinin bükülmelerine bağlıdır. Yüksek hassasiyetli bir momentum ölçümü elde edebilmek

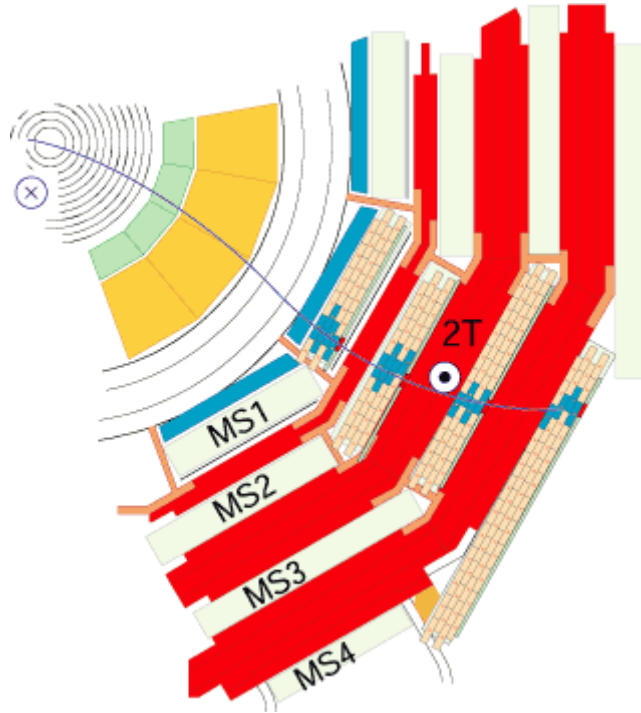
için kuvvetli bir manyetik alan gerekmektedir. Bu kuvvetli alanı elde edilmek amacıyla CMS’de süper iletken solenoid bobin kullanılmaktadır. Bu bobin deneyin ana parçasıdır ve 4T’lık bir manyetik alan üretmektedir. Manyetik bobin, 12.5 m uzunluğunda, 6.3 m çapında ve her biri 2.5 m uzunluğunda 5 parçadan oluşmaktadır. CMS’de kullanılan mıknatıs şimdiye kadar inşa edilmiş en büyük süper iletken mıknatıstır. Ağırlığı 12000 tondur ve -268.5° C’ye kadar soğutulmaktadır. Mıknatıs tarafından üretilen manyetik alan Dünya’nın manyetik alanından 100000 kat daha güçlüdür ve 18 tonluk altını eritecek kadar bir enerjiye sahiptir. Şekil 2.18’de CMS’in inşa aşaması sırasında yerleştirilen mıknatıs görülmektedir.



Sekil 2.18. CMS’in mıknatısı (<http://cms.web.cern.ch/news/superconducting-magnet>).

CMS detektörünün en önemli görevlerinden biri müonları belirlemektir. Müonlar, elektronlar ve pozitronlar gibi yüklü parçacıklardır ama 200 kat daha ağırdırlar. Higgs bozonu gibi birçok yeni parçacığın bozunum kanallarında yer aldığı öngörülen müonlar, detektör boyunca çok fazla enerji kaybetmeden ilerleyebildikleri için birçok parçacığın aksine kalorimetrelerde durdurulamazlar yani enerjilerinin tamamını kalorimetrelerde bırakmazlar. Bu nedenle müonları belirleyebilmek için detektörün uç kısmına sadece müonların sinyal bırakabildiği odacıklar yerleştirilmiştir.

Müon odacıkları Şekil 2.19’da görüldüğü gibi, manyetik bobinin hemen dışında, demir boyundurukların arasına yerleştirilmiştir. Şekil 2.19’da demir boyunduruklar kırmızı ile temsil edilmektedir. MS1, MS2, MS3 ve MS4 ise müon istasyonlarını göstermektedir. Bir müon, müon istasyonlarında bıraktığı izler ile tespit edilebilir.

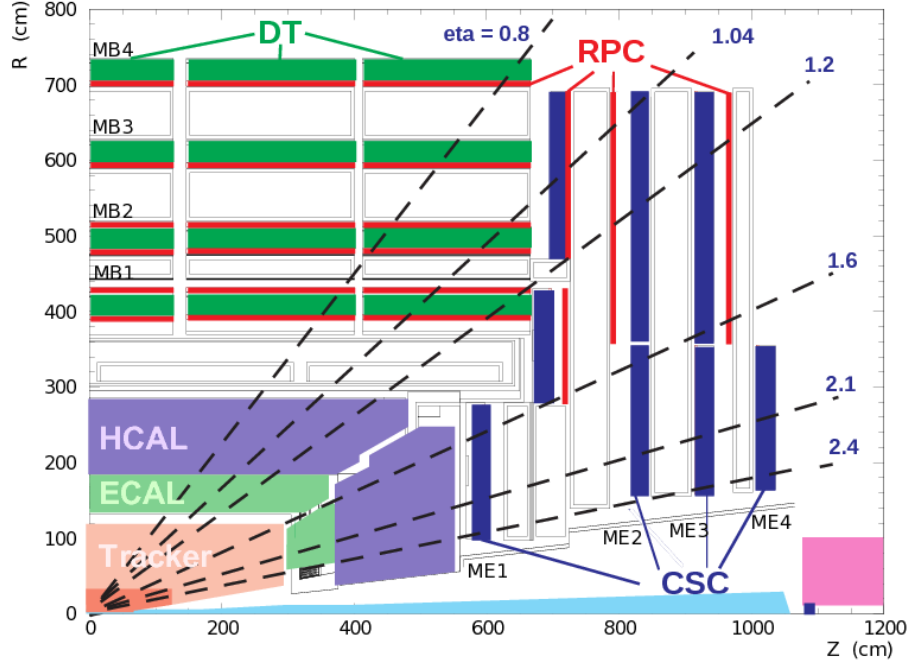


Şekil 2.19. Demir boyunduruk arasına yerleştirilen müon istasyonlarında iz bırakan müonun temsili gösterimi (<http://cms.web.cern.ch/news/muon-detectors>).

Müonun her bir istasyondaki birçok tabakada bıraktığı izler takip edilir ve izleyiciden gelen bilgiler ile birleştirilir. Bu şekilde bir müonun detektör boyunca izlediği yörünge belirlenmiş olur. Bu yörünge belirlenmesiyle parçacığın momentumu hesaplanabilir. Bir manyetik alanda, bir parçacığın momentumu ne kadar büyükse izlediği yörünge eğriliği o kadar az olur. Sonuç olarak, çok büyük momentumlu müonların bile CMS’deki güçlü manyetik alan sayesinde yörüngeleri bükülebilir ve momentumları ölçülebilir.

CMS’de, 250 tane sürüklenme tüpü (DTs), parçacığın izini takip eden ve tetikleyiciyi devreye sokan 540 tane katot şerit odaları (CSCs) ve müon verilerinin tutulması hakkında hızlı bir şekilde karar veren yedek tetikleme sistemini oluşturan

610 tane dirençli paralel levhalı odalar (RPCs) bulunmaktadır. Şekil 2.20’de müon sistemi gösterilmektedir.



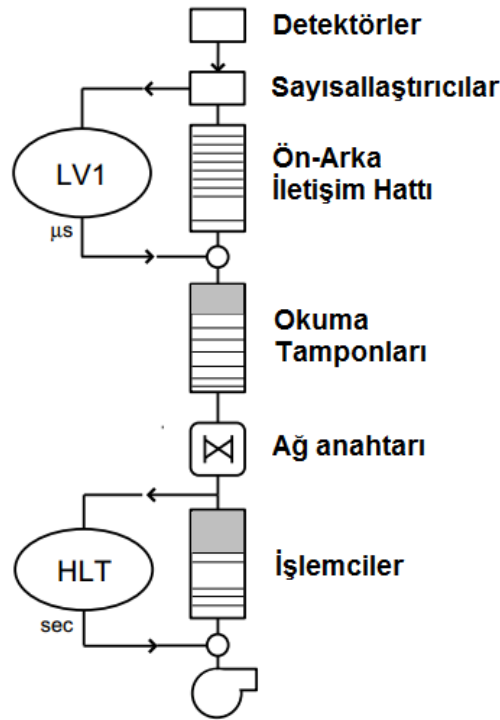
Şekil 2.20. Müon sistemi (<http://inspirehep.net/record/1185262/files/MuonSys-mod3.png>).

BHÇ’de yüksek etkileşim oranlarında proton-proton ve ağır iyon çarpışmaları meydana gelmektedir. Çarpışan hüzmeler arası zaman aralığı ise 25 ns’dir. Işıklılığa bağlı olarak her bir çarpışan hüzmeye birkaç tane proton-proton etkileşmesi ortaya çıkmaktadır. BHÇ için beklenen ışıklılık değeri olan $10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ değerinde, her 25 ns’de yaklaşık 20 tane proton-proton etkileşmesi gerçekleşmektedir. Olay başına yaklaşık 1 MB’lık boyuta sahip olan bu çok büyük miktarda veriyi depolamak ve işlemek mümkün değildir. Bu nedenle veriye güçlü bir kısıtlama uygulanmalıdır. Bu görev fiziksel bir olayın seçim sürecinde başta yer alan tetikleme sistemi ile gerçekleştirilmektedir. CMS’de verinin seçimi için kullanılan tetikleme sistemi iki alt sisteme sahiptir. Bu alt sistemlere L1T (Level-1 Trigger) ve HLT (High Level Trigger) adı verilmektedir.

L1T sistemi çok hızlı bir şekilde fiziksel anlama sahip olabilecek olayları arayan bir sistemdir. Bu sistemin işleyişine gazetelerin ana başlıklarını tarayan

okuyucu bir sistem örnek olarak verilebilir. Bu şekilde saniye başına meydana gelen milyarlarca olaydan 100000 tanesi seçilmektedir. HLT sisteminde ise bütün bir olayı yeniden oluşturmak için detektörün farklı sistemlerinden gelen bilgiler senkronize bir şekilde işlenmektedir. Bu sisteme ise gazeteyi oluşturmak için bütün sayfaları bir araya getirip sıralayan bir derleme sistemi örnek olarak verilebilir. Daha sonra bu bilgiler tetikleme sisteminin son halkası olan bilgisayar sistemlerine gönderilir.

Bu sistemdeki bilgisayarlar saniyenin onda birinden daha kısa bir zamanda çalışmaktadırlar. Bu sistem karmaşık fiziksel süreçleri temsil eden olayları aramaktadır ve ortalama 100000 olaydan 100 tanesini seçerek geri kalanları göz ardı etmektedir. Kalan 100 olay fiziksel anlama sahip olabilecek ve daha detaylı bir şekilde analiz edilecek olan veriyi oluşturmaktadır. CMS’de tetikleme sisteminin varlığına rağmen birkaç PB’lık veri kaydedilmektedir. Bu veri yaklaşık olarak saniyede 10000 Britannica ansiklopedisindeki bilgiye eşittir fakat az önce bahsedildiği gibi sadece fiziksel anlama sahip olan olaylar saklanmaktadır. Şekil 2.21’de tetikleme sisteminin şeması gösterilmektedir.

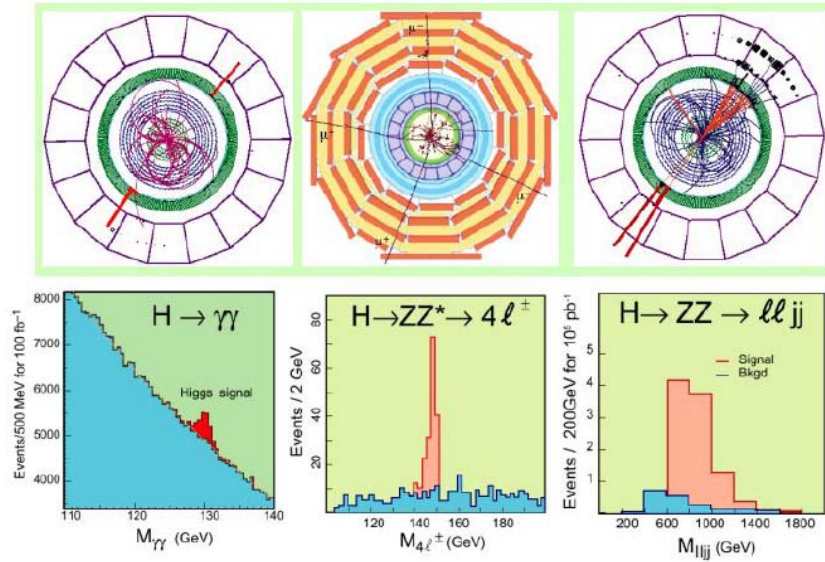


Şekil 2.21. Veri toplama ve tetikleme sistemi (TDR, Volume 2: Data Acquisition and High-Level Trigger, 2002).

2.4 CMS'de Çalışılan Fizik Konuları

Parçacık fiziğinde henüz cevaplanmamış olan birçok soru vardır. Bu sorular arasında en önemli olanlar parçacık kütlelerinin hiyerarşisi ve parçacıkların bu kütleyle nasıl sahip olduklarıdır. SM'e göre parçacıklar Higgs mekanizması ile kütle kazanmaktadır. Fakat mekanizmada yer alan Higgs parçacığının kütlesi SM tarafından öngörülememektedir.

Higgs bozununun kütlesine bağlı olarak, deneylerde farklı bozunum kanalları ortaya çıkmaktadır. Düşük kütlelerde Higgs bozonu iki fotona, ara kütlelerde 4 leptona, yüksek kütlelerde ise 2 leptona ve 2 jete bozunmaktadır.



Şekil 2.22 Higgs bozunum kanalları (Wulz,2008)

Şekil 2.22'de simüle edilmiş Higgs olayları gösterilmektedir. İlk resim Higgs bozununun iki fotona bozunduğu kanalı göstermektedir. Bu kanalda, izleyicide herhangi bir iz görünmezken, EKAL'de iki tane yüksek enerjili küme oluşmaktadır. Ortadaki resimde ise 4 lepton kanalı gösterilmektedir. Bu kanalda 4 leptonun izi hem izleyicide hem de müon odacıklarında görülmektedir fakat kalorimetrede önemli bir enerji ölçülememektedir. Üçüncü resimde ise Higgs bozonu izleyicide ve EKAL'de görülebilen iki elektrona ve HKAL'de zıt yörlümlerde belirlenen iki jete bozunmaktadır.

SUSY teorisi SM'i genişletme konusundaki en önemli adaylardan birisi olup temel kuvvetleri birleştirebileceği düşünülmektedir. CMS'de çalışılan SUSY'de çok geniş bir parçacık spektrumu vardır ve SM'deki her bir parçacık için bir süperparçacık öngörülmektedir. Bu parçacıklara ek olarak 5 tane farklı Higgs bozonu vardır. Büyük miktardaki parçacık sayısı ve bu parçacıkların bozunum sırasında oluşturduğu parçacık çağlayanları süpersimetrik parametrelerin bulunmasını zorlaştırmaktadır.

Deneyde ayrıca kozmolojik sorulara da cevaplar aranmaktadır. Bu sorulardan birisi madde-anti madde asimetrisidir. Bir diğer soru ise evrenin %23'ünü oluşturan karanlık maddedir. SUSY bu sorulara cevap verebilir ve CMS'de SUSY ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Bunların dışında kütleli vektör bozonlarının aranması, ekstra boyutlar ve ağır iyon fiziği gibi konularda CMS'in fizik araştırma yelpazesi içerisinde bulunmaktadır.

3. MATERYAL VE METOD

Bir önceki bölümde CMS, HKAL ve HKAL'ın alt kalorimetreleri HB, HO ve HF ele alınmıştır. Jetler ve CMS deneyinde kullanılan jet kümeleme algoritmaları ile beraber bu tez çalışmasının gerçekleştirildiği HE kalorimetresi ise detaylı bir şekilde bu bölümde tartışılacaktır.

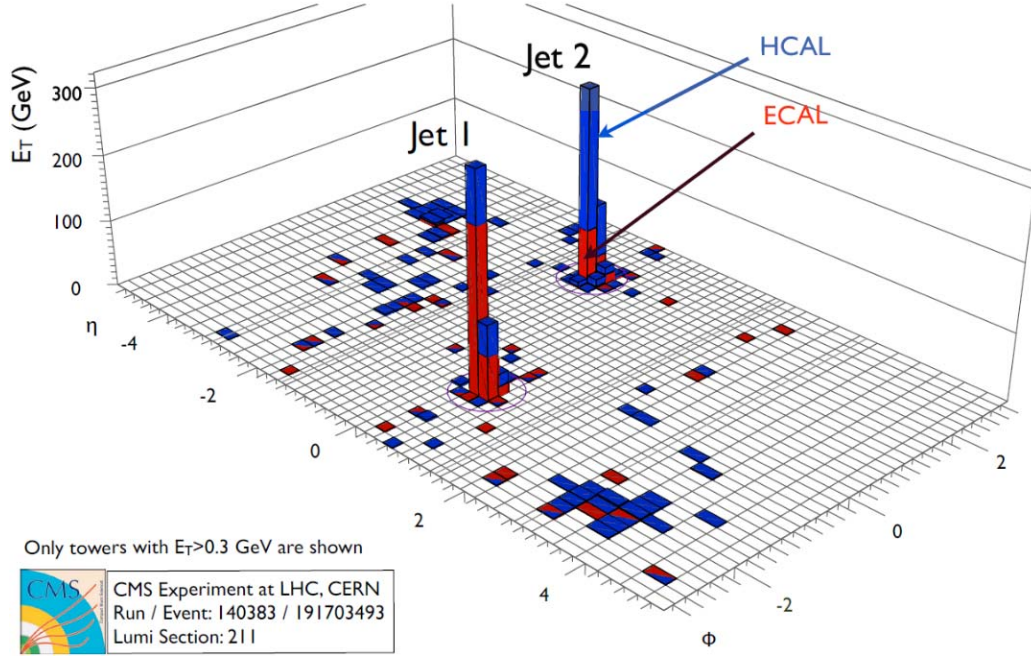
3.1. CMS Deneyinde Jetler ve Kullanılan Jet Kümeleme Algoritmaları

Jetler yüksek enerji deneylerinde ortaya çıkan partonların (kuarkların ve gluonların) deneysel göstergeleridir. Partonlar net bir renk yüküne sahiptirler ve yük hapsinden dolayı doğada serbest halde bulunamazlar. Bu nedenle doğada gözlenemezler. Bunun yerine partonlar, renk-yüksüz hadronları oluşturmak için bir araya gelirler. Bu süreç hadronizasyon olarak adlandırılır. Hadronizasyon ise jet olarak bilinen hadronların odaklanmış spreylelerinin oluşumuna yol açar.

Jetler, BHÇ'de birçok fiziksel olayın açıklanmasında büyük rol oynamaktadır. Bu fizik çalışmalarında, son durum parçacıkları olarak jetler gözlenmektedir. Bu nedenle jetlerin detektörlerde belirlenmesi ve yeniden yapılandırılması BHÇ'de çalışılan fizik analizleri için oldukça önemlidir.

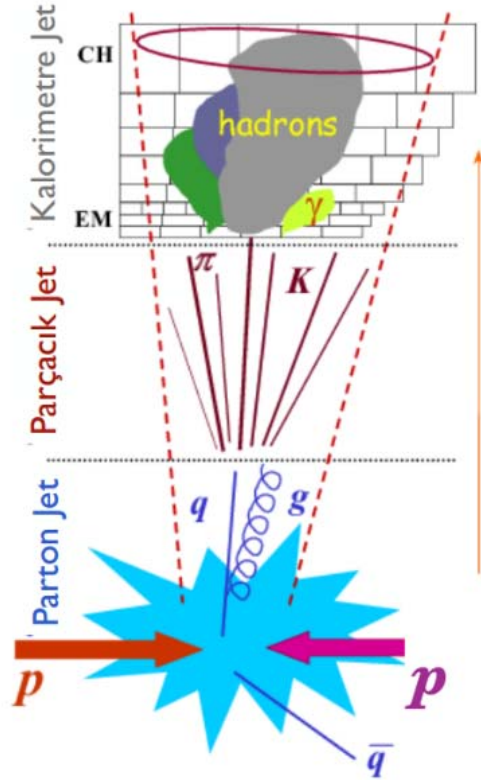
CMS deneyinde iki farklı jet kavramı üzerinde durulmaktadır. Bunlar yeniden yapılandırılmış jetler (RecoJet) ve üretilmiş jetler (GenJet) olarak adlandırılır. GenJet'ler renk yüküne sahip değildirler ve kararlı parçacıklardan oluşmaktadırlar. GenJet'ler Monte Carlo (MC) verilerinde gözlenir ve bu jetlerin kinematik özellikleri istenilen şekilde değiştirilebilir. RecoJet'ler ise hem MC verisinde hem de çarpışma verisinde gözlenmektedirler. Jetler oluştuklarında CMS detektörü ile etkileşerek EKAL ve HKAL gibi alt detektörlerde sinyaller bırakırlar. Bu sinyaller RecoJet'leri oluşturmak için çeşitli jet algoritmaları kullanılarak birleştirilir. Şekil 3.1'de jetlerin CMS kalorimetrelerinde enerjilerini bıraktığı yerler gösterilmektedir. Jetlerin HKAL'de bıraktıkları enerjiler mavi ile temsil edilirken, EKAL'de bıraktıkları enerjiler kırmızı ile temsil edilmektedir. RecoJet olarak CMS deneyinde dört farklı jet çeşidi kullanılmaktadır. Bunlar kalorimetre jetleri (KaloJet), jet-artı-izleyici, PF

jetler ve izleyici jetler olarak adlandırılırlar. KaloJet'ler, kalorimetre kulelerinde birikmiş enerjileri ve izleri kullanılarak yeniden yapılandırılır.



Şekil 3.1. CMS kalorimetrelerinde jetlerin enerjilerini bıraktığı yerler.

CMS’de EKAL ve HKAL’deki hücrelerin birleştirilmesiyle bir kalorimetre kulesi oluşturulur. Kalorimetre kuleleri HKAL hücreleri ve bu hücrelere karşılık gelen EKAL kristallerinden oluşmaktadır. $|\eta| < 1.4$ bölgesinde, kalorimetre kuleleri bir HKAL hücresi ve buna karşılık gelen 5x5 EKAL kristallerinin toplamı ile oluşturulurken, $1.4 < |\eta| < 3.0$ bölgesinde kalorimetre kulelerinin oluşturulması daha karmaşıktır. Bunun nedeni ise EE’deki kristallerin geometrik yapısıdır. Jet-artı-izleyici algoritması, izleyici detektör bilgisi kullanılarak KaloJet’lerin enerjisinin ve yönünün daha iyi bir şekilde belirlenip düzeltilmesiyle elde edilir. Parçacık akış algoritması, CMS’in tüm alt detektörlerindeki bilgileri kullanarak her bir parçacığın yeniden yapılandırılıp tanımlanması ile elde edilir. İzleyici jetler ise detektörde etkileşen yüklü parçacıkların yeniden yapılandırılmasıyla elde edilirler. Şekil 3.2’de KaloJet ve GenJet olmak üzere jetlerin üretimi ve yeniden yapılandırılmasının temsili gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Jetlerin üretilmesi ve yeniden yapılandırılması.

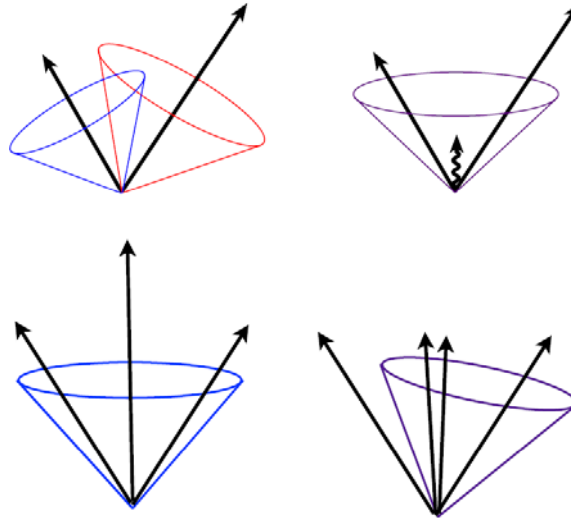
CMS deneyinde GenJet'ler ve KaloJet'ler üç farklı jet algoritması kullanılarak yeniden yapılandırılırlar. Bu jet algoritmaları Iterative Cone (IC) (A. Heister et al, AN-2005/053, 2005) , Seedless Infrared Stable Cone (SISCone) (Salam ve ark, 2007) ve Anti- k_T (Cacciari ve ark, 2008)'dir. Bu algoritmaların koni yarıçapları $\Delta R=0.5, 0.7$ 'dir.

Jetler kalorimetre kulelerinde bıraktığı enerjiler kullanılarak yeniden yapılandırılabilir. Kalorimetre kulelerine veya kümelenmiş parçacıklara belli kurallar uygulayan jet kümeleme algoritmaları, jetlerin yeniden yapılandırılmasında kullanılır. Bu algoritmalar temelde jetlerin konumsal yakınlığı göz önünde bulundurularak oluşturulur. Basit bir şekilde, iyi bir jet kümeleme algoritması aşağıda sıralanan koşulları yerine getirmelidir:

- Detaylı bir şekilde herhangi bir ön kümelenmeyi, birleşmeyi ve parçalanmayı içerecek şekilde tam anlamıyla belirlenmiş olmalıdır,

- Deneysel bir analizde uygulanması basit olmalı ve detektör yapısından bağımsız olmalıdır,
- Teorik hesaplamalarda kullanımı kolay olmalıdır,
- Pertürbasyon teoreminin herhangi bir mertebesinde sonlu bir tesir kesiti sağlamalıdır,
- Collinear (aynı yönlülük) ve Infrared (kızılötesi) güvenli olmalıdır.

Collinear ve Infrared güvenliliği, jet kümeleme algoritmaları için temel bir gerekliliktir. Infrared güvenli demek bir gluonun jet kümeleme algoritmasına eklendiğinde, sonucun değişmemesi demektir. Collinear güvenli demek ise bir partonun iki partona ayrılması durumunda jet kümeleme algoritmasının sonucunun değişmemesi demektir. Şekil 3.3'de Infrared ve Collinear güvenliliğinin konfigürasyonu gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Infrared (üst) ve Collinear (alt) güvenliliğinin konfigürasyonu.

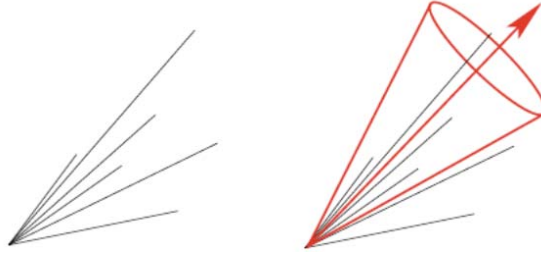
3.1.1. Iterative Cone (IC) Algoritması

IC basit bir koni tabanlı jet kümeleme algoritmasıdır. Kısa bir uygulama zamanına sahip olmasından dolayı, CMS'de HLT sisteminde kullanılmaktadır. Bu algoritmada enerjisi 1 GeV'den büyük olan tohum parçacık (seed particle) p_T sıralı bir şekilde etiketlenir. Koni algoritmasının temeli en yüksek enerjili parçacığı

bulmak ve ΔR_{ij} yarıçaplı koni içerisinde kalan bütün parçacıkları alıp bir jet olarak kabul etmeye dayanmaktadır. Bunu yaparken

$$\Delta R_{ij} = \sqrt{(y_i - y_j)^2 + (\phi_i - \phi_j)^2} < R$$

hesaplaması kullanılmaktadır. Burada y_i ve ϕ_i sırasıyla i parçacığının rapiditesi ve azimut açısıdır. Bu hesaplama kararlı bir koni bulunana kadar devam eder. Boyutsuz R parametresi ise jetin yarıçapıdır. Kararlı bir koni bulunduğunda, jet belirlenir ve geriye kalan girdilerden bütün bileşenleri silinir. Algoritmanın Infrared ve Collinear güvenliliği olmamasına rağmen CMS’de $R = 0.5$ yarıçaplı koniler için kullanılmaktadır. Şekil 3.4’de IC’nin çalışma konfigürasyonu gösterilmektedir.



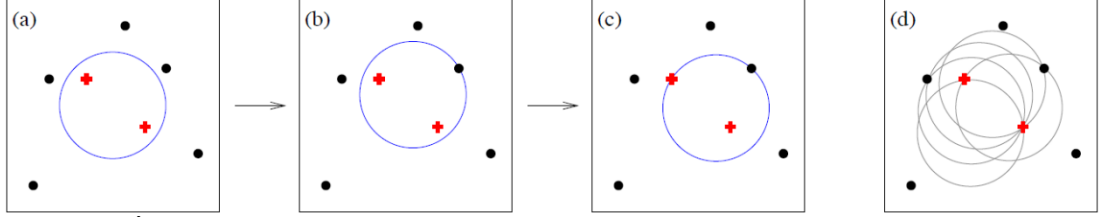
Şekil 3.4. Iterative Cone çalışma konfigürasyonu.

3.1.2. Seedless Infrared Stable Cone (SISCone) Algoritması

IC gibi algoritmalar bir olaydaki bütün parçacıkları tohum olarak kabul eder ve kararlı konileri arar. Hafif bir parçacık, iki ağır parçacığın arasına eklendiğinde bu algoritma bu hafif parçacığa da tohum gibi yaklaşır ve üçüncü bir koni aramaya başlar. Bu sorun Infrared güvenli olmama olarak bilinmektedir.

IC’deki bu sorunu çözmek için, bütün parçacıklar üzerinden tohumsuz bir arama önerilmiş ve bu öneri Midpoint Cone Algorithm (Blazey, 2000) olarak adlandırılmıştır. Bu öneriye göre, gerçek bir tohum parçacığa sahip olan kararlı bir koni bulunduktan sonra sahte bir tohum, iki kararlı koni arasına eklenir ve yeni bir koni aranır. Ama bu işlem N parçacık arasından jetleri bulmak için yaklaşık olarak $N \times 2^N$ kadar zaman (100 parçacık için 10^{17} yıl) almaktadır. Bu zaman sorunu

işlemin 2 boyuta taşınması ile çözülmektedir. Tek boyutta, bir halkanın pozisyonunu belirlemek için yalnızca tek serbestlik derecesi (y veya η) vardır. İki boyutta ise, içerisinde bir çift parçacık içeren çemberin pozisyonunu belirlemek için iki serbestlik derecesi (y ve η) vardır. Şekil 3.5’de bu yaklaşım gösterilmektedir.



Şekil 3.5. İki boyutta, bir parçacık çifti içeren çemberin pozisyonunun belirlenmesi (Salam, 2007).

Şekil 3.5’e bakıldığında, ilk önce iki başlangıç noktası seçilir (a). Bu başlangıç noktalarından bir tanesi çember ile temas edene kadar çember farklı yönlerde döndürülür (b). İlk nokta çembere temas ettiğinde çember o noktaya sabitlenir ve ikinci nokta temas edene kadar çember o nokta etrafında döndürülmeye devam eder (c). En son olarak iki nokta da çembere temas eder ve iki noktanın da temas ettiği diğer bütün çemberler belirlenir (d). Bu uygulama yaklaşık olarak $N^2 \cdot \ln 2$ kadar zaman alır ve kabul edilebilir bir Infrared güvenliliği sağlar. Algoritmanın sorunlardan arındırılmış son hali SIScone algoritması olarak adlandırılmıştır. SIScone algoritması düşük CPU verimliliğinden dolayı ve pile-up içeren olaylarda doğru sonuçlar vermediği için CMS tarafından önerilmemektedir.

3.1.3. Anti- k_T Algoritması

Anti- k_T algoritması hem Infrared hem de Collinear güvenlidir ve CMS’de varsayılan jet kümeleme algoritması olarak kullanılmaktadır. Anti- k_T algoritması, k_T algoritmasının özel bir halidir. k_T algoritması çiftli yeniden birleştirmeye dayalıdır. Bu algortmada eğer bu çiftli parçacıkların dik momentumları, algortmada tanımlı olan değerden küçük ise bu iki parçacık birleştirilir. i ve j parçacıkları arasındaki uzaklık d_{ij} ile hüzme ve i parçacığı arasındaki uzaklık d_{iB} şu şekilde tanımlanmaktadır;

$$d_{ij} = \min(p_{Ti}^2, p_{Tj}^2) \frac{\Delta R_{ij}^2}{R^2}$$

$$d_{iB} = p_{Ti}^2$$

$$\Delta R_{ij}^2 = (y_i - y_j)^2 + (\phi_i - \phi_j)^2$$

burada R koni yarıçapıdır. k_T algoritması aşağıdaki adımları izleyerek çalışmaktadır:

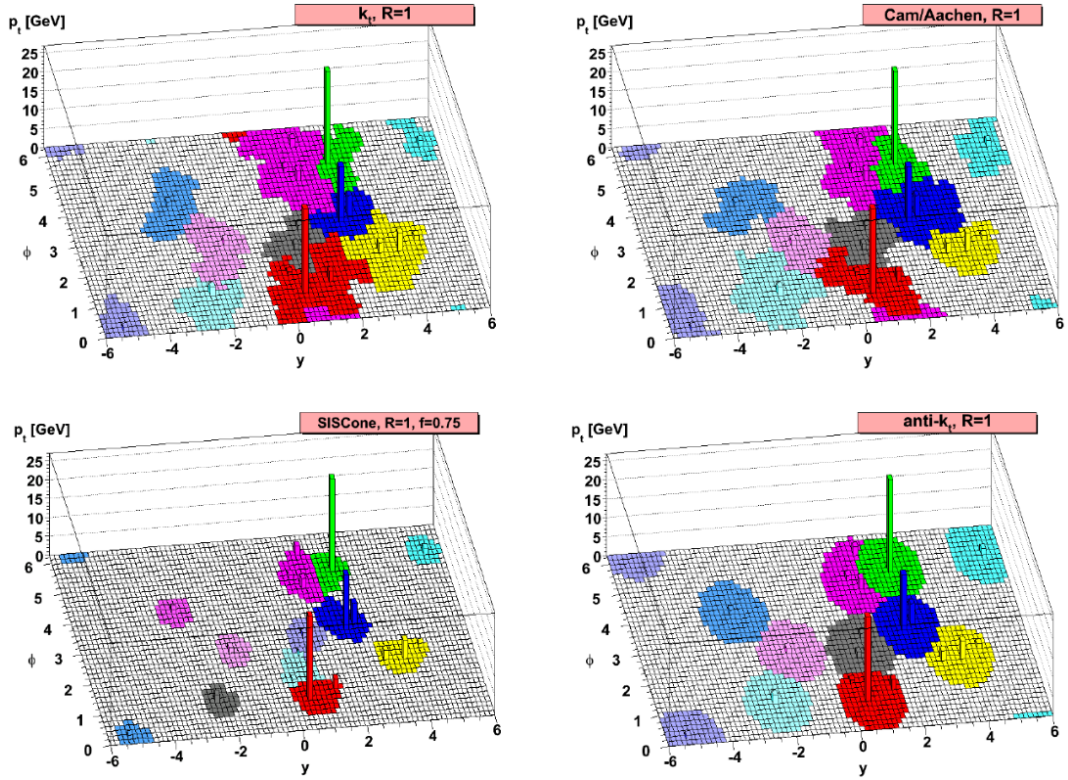
- Bütün parçacıkların listesi yapılır.
- d_{ij} ve d_{iB} hesaplanır.
- Eğer d_{ij} en küçük ise, i ve j parçacıklarını birleştirilip yeni bir parçacık oluşturulur ve 1. adıma dönülür.
- Eğer d_{iB} en küçük ise, i parçacığı listeden silinir ve 1. adıma dönülür.
- Bu işlemler hiçbir parçacık kalmayana kadar devam ettirilir.

Uzaklık hesaplamaları şu şekilde genelleştirilebilir;

$$d_{ij} = \min(p_{Ti}^{2p}, p_{Tj}^{2p}) \frac{\Delta R_{ij}^2}{R^2}$$

$$d_{iB} = p_{Ti}^{2p}$$

burada p parametresi 1 alındığında k_T algoritması kullanılır ve ilk önce “soft” parçacıklar kümelendirilir. Eğer p parametresi -1 alınırsa anti- k_T algoritması kullanılır ve ilk önce “hard” parçacıklar kümelendirilir. Anti- k_T algoritması en iyi jet şekillerini vermektedir ve CMS’de $R = 0.4$ ve $R = 0.6$ için k_T algoritması, $R = 0.5$ ve $R = 0.7$ anti- k_T algoritması kullanılmaktadır. Şekil 3.6’da farklı jet kümeleme algoritmalarının davranışları gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Farklı jet kümeleme algoritmalarının davranışı (Salam, 2010).

Bu tezde KaloJet'ler, anti- k_T algoritması kullanılarak $R = 0.5$ yarıçaplı koni ile kümelendirilmiştir. KaloJet'ler HE kalorimetresinin bulunduğu $1.8 < |\eta| < 3.0$ bölgesinde yeniden yapılandırılmıştır.

3.2. Hadronik Uç Kapak Kalorimetresi (HE)

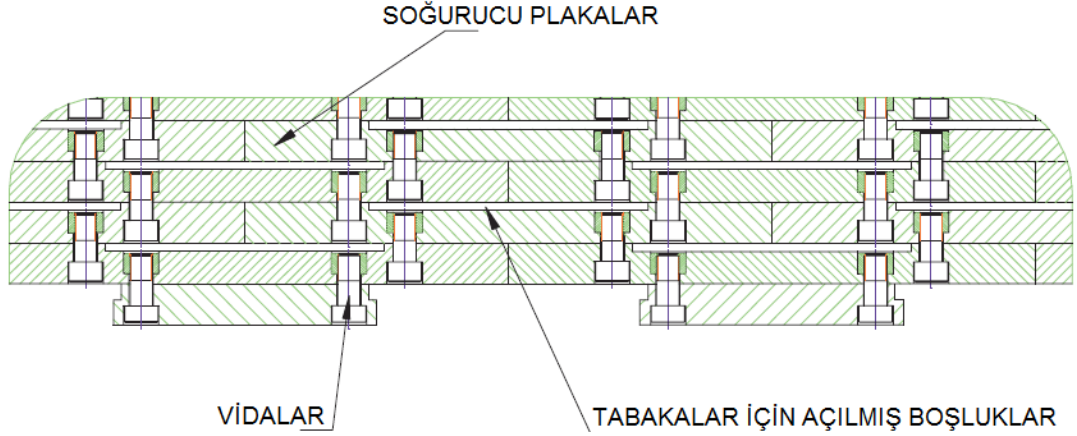
HE kalorimetresi rapidite aralığının önemli bir kısmı olan $1.3 < |\eta| < 3.0$ kapsamaktadır. Bu bölge son durumda üretilen parçacıkların yaklaşık %34'ünü içermektedir. $|\eta| = 3.0$ bölgesinde BHÇ'nin yüksek ışıklılığından dolayı HE'nin radyasyona dayanıklı olması gerekmektedir. Kalorimetre 4 T'lık manyetik alan üreten bobinin içine yerleştirildiğinden, soğurucu yapı manyetik alandan etkilenmeyen materyallerden yapılmış olmalıdır. Ayrıca soğurucunun, hadronik duşları içeren maksimum etkileşme uzunluğuna ve iyi mekanik özelliklere sahip olması gerekmektedir. HE'de istenilen özelliklere sahip soğurucu olacak C26000 piriç kartuş kullanılmaktadır.



Şekil 3.7. HE kalorimetresi. (<http://cds.cern.ch/record/1431487/files/PB010005.jpg?subformat=icon-640>)

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi HE kalorimetresi müon uç kapak boyunduruğuna bitişik yerleştirilmiştir. Müon soğurucu yapısı ile HE arasında bulunan boşlukta CSC’ler bulunduğu için kalorimetrenin sadece küçük bir kısmı bobine tutturulmuştur. HE’nin soğurucu yapısı, parçacık enerji çözünürlüğüne etkisinden çok HB ile HE arasındaki boşluğu minimize etmek için tasarlanmıştır. Çünkü HE’deki jetlerin çözünürlüğü pile-up, parton dağılımı ve manyetik alan etkilerinden dolayı kısıtlanmaktadır. Soğurucu yapı olarak kullanılan pirinç plaklar 79 mm kalınlığındadır ve her plaka üzerinde sintilatörleri yerleştirmek için 9 mm’lik boşluklar vardır. Soğurucunun nükleer etkileşme uzunluğu $10\lambda_1$ ’dır. Şekil 3.8’de HE’nin soğurucusunun yapısı gösterilmektedir.

HE’nin dış katmanlarında foto detektörlerin ve ön-arka elektroniklerinin yerleştirilmesi için bırakılmış boş bir bölge vardır. Dış katmanlara yapısal destek sağlanması amacıyla 10 cm kalınlığında paslanmaz çelik plakalar yerleştirilmiştir. Optik parçalar ise soğurucunun montajı tamamlandıktan sonra boşluklara yerleştirilmiştir.



Şekil 3.8. HE soğurucu yapısı (CMS colaboration, 2008,JINST 3 S08004, 2008).

HE’de sintilasyon ışığı WLS fiberler ile toplanmaktadır. Sintilatörler ikizkenar yamuk şeklinde olup, 1-17 tabakaları için 3.7 mm kalınlığındaki SCSN81, 0. tabaka için 9 mm kalınlığındaki BC408 kullanılmıştır. Her sintilatörde WLS fiberlerin yerleştirileceği oluklar açılmıştır. Fiberlerin uçları DFC (Diamond Fly Cutter) kullanılarak şekillendirilmiş ve fiberlerin bir ucu toplanılan ışığı arttırmak için alüminyum ile kaplanmıştır. Diğer uçlar ise temiz fiberlerle birleştirilmiştir ve bir optik bağlayıcıda son bulmaktadırlar. Bu bağlayıcı da DFC ile şekillendirilmiştir. HE kalorimetresinde 20916 tane sintilatör döşeme ve 1368 tane sintilatör tablası bulunmaktadır. Detektörün tanecikliliği $|\eta| < 1.6$ için $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.087 \times 0.087$ iken $|\eta| > 1.6$ için $\Delta\eta \times \Delta\phi \approx 0.17 \times 0.17$ ’dir.

HE’de sintilatör tablasının durumunu kontrol etmek için UV nitrojen lazer kullanılmaktadır. Işık ise kuartz fiberler ile beslenmektedir. Bu fiberler, alüminyum yansıtıcılarda son bulmaktadır ve buradan ışığı sintilatör döşemelere göndermektedir. Sintilatördeki UV kaynak ile üretilen ışık yüklü bir parçacığın oluşturduğu sinyale benzerdir ve böylece sintilatörden elektroniklere kadar olan optik hat kontrol edilmektedir. Bu kontrol radyasyon hasarından kaynaklanan, sinyaldeki azalmaların belirlenmesini sağlamaktadır. Tablalar, soğurucular içindeki boşluklara yerleştirilmiştir. Detektörün arka kısmında ise foto detektörler ve elektronikler bulunmaktadır.

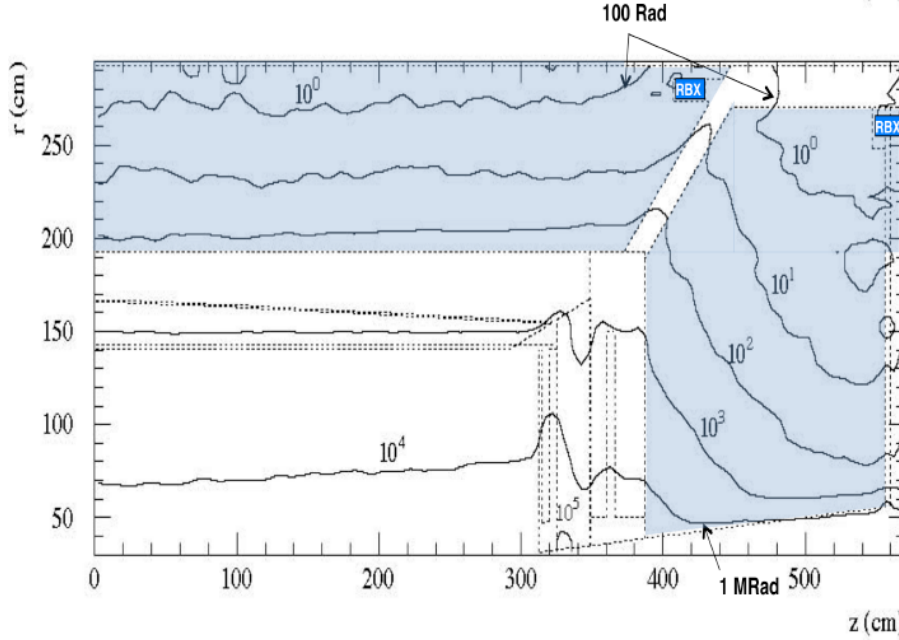
3.3. HE Kalorimetresindeki Yenileme Çalışmaları ve Radyasyon Hasarı Modeli

HE detektöründe şu anda foto detektör olarak HFD'ler kullanılmaktadır. HFD'ler manyetik alana dayanıklı ve yaklaşık 2×10^3 'lük bir kazanç ve optik sinyalleri elektrik sinyallerine çeviren 18 kanala sahiptir. Detektördeki manyetik alandan dolayı, HFD'lerde bazı sorunlar meydana gelmiştir. Bu sorunların çoğu bu cihazlara uygulanan büyük elektrik alandan kaynaklanmaktadır. En önemli sorunlardan biri ise foto detektöre yüksek voltaj uygulandığında, elektriksel boşalmanın ortaya çıkmasıdır. Bu nedenlerden dolayı HE detektöründe kullanılan HFD'ler SiFC'ler ile değiştirilecektir.

SiFC çok-pikselli, düşük voltaj altında 10^4 ve 10^6 arasında değişen bir kazanç sahip Geiger modunda çalışan bir APD cihazıdır. Ayrıca SiFC'lerin foton yakalama verimliliği ise %20 ile %40 arasındadır. Her pikselin boyutu 5–50 μm arasındadır. Böylece yeterince düşük yoğunluklu fotonların her piksel üzerine düşmesi sağlanarak bu aygıttan lineer bir yanıt elde edilebilir. Bütün piksellerden gelen akım toplanmakta ve SiFC düşük sinyaller için bile lineer bir davranış sergilemektedir. SiFC'lerin yüksek performansı HE detektöründeki derinlik ayarlamalarına büyük bir katkıda bulunacaktır. HFD'ler ile karşılaştırıldığında SiFC'lerin sinyal-gürültü oranı sekiz kat daha fazladır. SiFC'lerin çalışma voltajı HFD'lerden daha düşüktür. Düşük voltaj kullanımı ile mevcut HFD'lerde yüksek voltajlarda gözlenen arızalanmalar engellemektedir. SiFC'ler 4 T değerine kadar manyetik alandan etkilenmezken, HFD'lerde sıfır manyetik alanda ve 3.5 T – 4 T'lık güçlü alanlarda herhangi bir sorun gözlenmezken, 0.2 T - 3.0 T düzeyindeki manyetik alanlarda sorunlar meydana gelmektedir.

HFD'lerin sinyal-gürültü performansı daha iyi derinlik ayarlamalarına olanak sağlamamaktadır. Bunun sonucu olarak CMS detektöründeki jetlerin yeniden yapılandırılmasında kullanılan Particle Flow (PF) tekniği çok verimsiz kalmaktadır. SiFC'lerin gelişmiş kazancı ile daha iyi derinlik ayarlamaları mümkün olacaktır. Böylece PF tekniği için çok önemli olan hadronik duşlar daha iyi takip edilebilecektir. Ayrıca bu düzenleme ile HE'nin yüksek η bölgelerinde meydana gelen radyasyon hasarı daha iyi bir şekilde belirlenebilecektir. Radyasyon hasarı

HE'deki her bir tabakayı kötü etkilemektedir. Bunun sonucunda da tabakalardan gelen ışıpta bir kayıp gözlenmektedir. Tabakalardan gelen ışığı, derinliğin bir fonksiyonu olarak SiFÇ'ler ile okuyarak bu kayıp azaltılabilecektir. Şekil 3.9'da 500 fb⁻¹ ışıklılık değerinde ortaya çıkan radyasyon seviyesi gösterilmektedir.



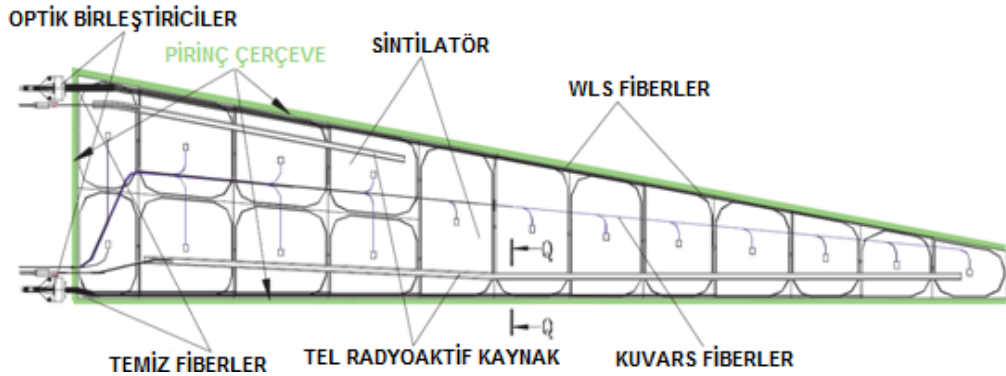
Şekil 3.9. HB/HE'de Gray cinsinden radyasyon seviyesi (CMS-TDR-010, 2012).

HE detektörü özellikle yüksek $|\eta|$ bölgelerinde büyük miktarda parçacık akısına maruz kalmaktadır. $|\eta|$ arttıkça, ortalama parçacık enerjisi artarken, HE sintilatörlerinin yüzey alanı azalır. Sonuç olarak 500 fb⁻¹ ışıklılık değerinde HE kalorimetresinde bulunan sintilatörlerindeki her bir tabaka için tahmin edilen toplam iyonize doz (TID), $|\eta| = 1.5$ 'de 200 rad, $|\eta| = 3.0$ 'da ise 200 Mrad kadar artmaktadır.

HFD'lerin SiFÇ'ler ile değiştirilmesinin ana nedenlerinden biri, 2008-2012 yılları arasında detektörde gerçekleşen çarpışmalar sonucunda ortaya çıkan iyonize radyasyondur. Bu iyonize radyasyon CMS'in tüm alt detektörlerini etkilemekte ve radyasyona bağlı olarak hasara neden olmaktadır. Radyasyon hasarı ise detektörün okuduğu sinyalleri etkilemekte ve sinyallerde azalmaya yol açmaktadır. Bunun yanı sıra, detektörde oluşan gürültüde bir artış beklenmektedir. Bütün bu nedenler bir araya geldiğinde, detektörün verimliliği azalmakta ve detektörden gelen gerçek sinyallerin belirlenmesi zorlaşmaktadır. Detektörün verimliliğindeki bu azalma,

birçok fiziksel olayın açıklanmasında önemli bir rol üstlenen jetlerin yeniden yapılandırılmasını kötü bir şekilde etkilemektedir.

HE alt detektörü aktif madde olarak plastik sintilatör (Kuraray SCSN81) ve WLS fiber (Kuraray Y11) kullanmaktadır. Şekil 3.10’da bir sintilatör tablası ve WLS görülmektedir.

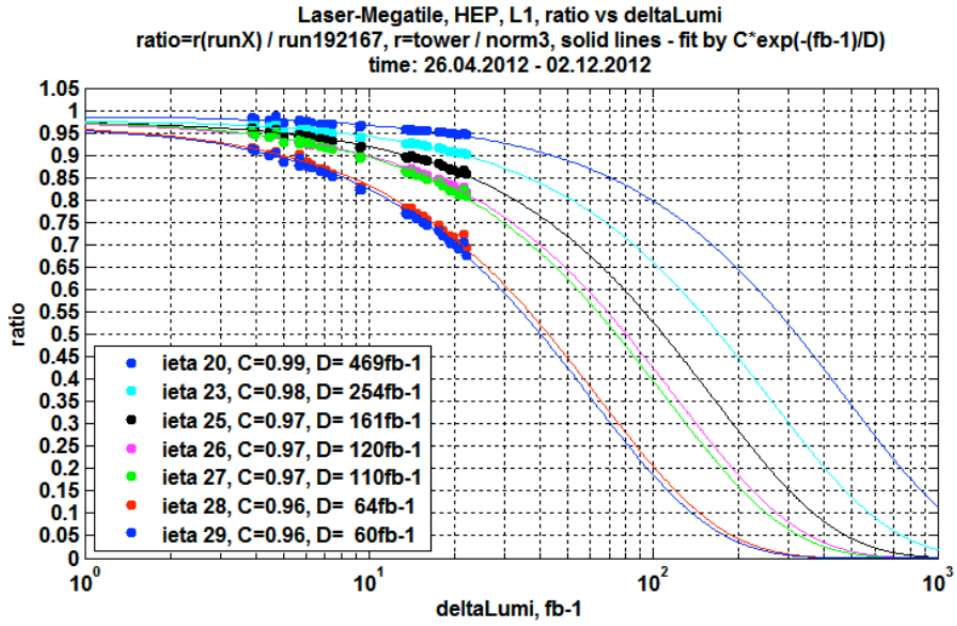


Şekil 3.10. Bir sintilatör tablası ve WLS fiberler.

Hem plastik sintilatörde hem de WLS fiberde, radyasyon hasarından dolayı bir sinyal kaybı olduğu bilinmektedir. 2008-2012 yıllarında arasında CMS deneyinde 20 fb^{-1} 'lik veri toplanmıştır. Hüzme eksenine en yakın sintilatörlerde, radyasyon hasarının en yüksek değerine ulaşacağı bilinmektedir. Bu bölgelerdeki tablaların yaklaşık olarak 0.5 Mrad 'lık bir doza maruz kalacağı tahmin edilmektedir. Tahmin edilen değer 20 fb^{-1} için beklenenden az olmasına rağmen yapılan yenileme çalışmalarından sonra ulaşılacak olan 200 fb^{-1} ve 500 fb^{-1} ışıklılık değerlerinde jetlerin yeniden yapılandırmasını büyük bir miktarda etkileyeceği düşünülmektedir. Bu tezde radyasyon hasarının, jet enerji yanıtını ve jet enerji çözünürlüğünü nasıl etkilediğini tespit etmek amacıyla radyasyon hasarı toplam ışıklılığın bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir.

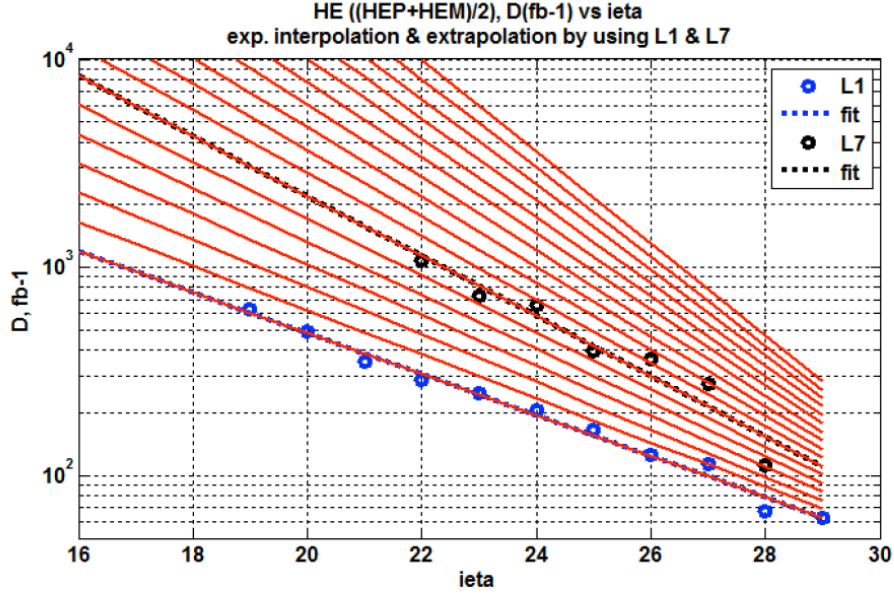
2015 yılından itibaren başlayacak olan çarpışma verisi alımı süresince, HKAL'ın radyasyon hasarından nasıl etkileneceğini belirlemek amacıyla bir radyasyon hasarı modeli oluşturulmuştur. Bu modele göre, HE'nin sintilatör tablalarında ve WLS fiber kablolarında hasara neden olan iyonize radyasyonun sintilatörden çıkan sinyalde (ışıkta) bir azalmaya neden olacağı varsayılmaktadır. Bu

ışık kaybı (kararma) HE'nin her bir tablasına uygulanan belirli parametreler ile birlikte eksponansiyel bir azalma fonksiyonu ile temsil edilmektedir. Bu parametreler seçilen her bir kuledeki 1. ve 7. katmanlar için var olan 2012 HKAL lazer kalibrasyon verilerinden türetilmiştir. Şekil 3.11 seçilen kulelerden gelen lazer verileri için, ışık kazancının eksponansiyel fit fonksiyonununun toplam ışıklılığa karşı grafiğini göstermektedir.



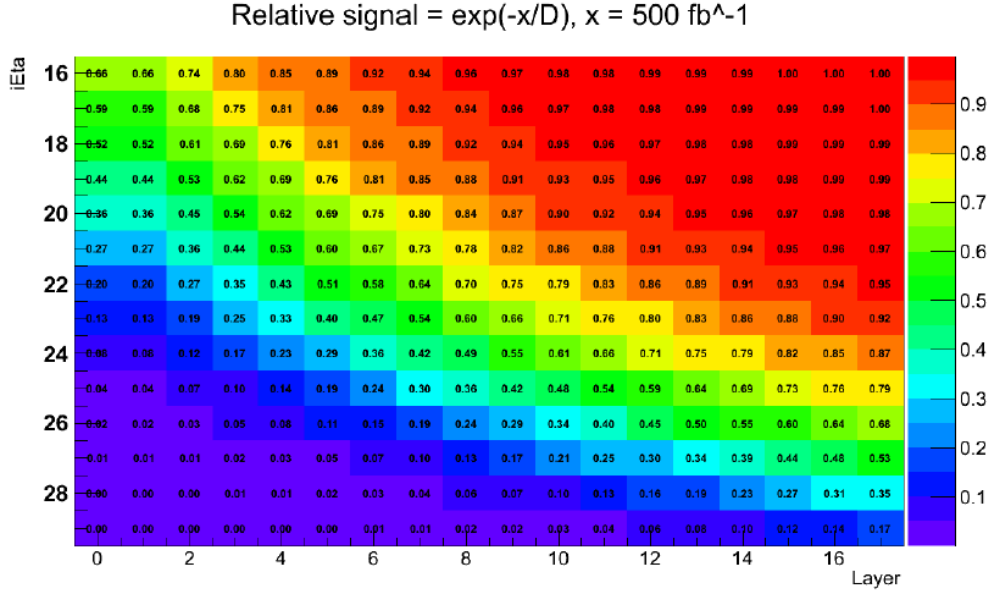
Şekil 3.11. HKAL lazer kalibrasyon verilerine uygulanan eksponansiyel fit.

Şekil 3.11'de noktalar lazer verilerini gösterirken sürekli çizgi ise veriye uygulanan üstel fit fonksiyonunu göstermektedir. D (ışık geçirgenliği) parametresi eksponansiyel azalma fonksiyonu için bir düzeltme sabitidir. Şekil 3.11'den görüleceği gibi D parametresinin değeri azaldıkça tabakada gözlenen ışık kaybı daha hızlı olmaktadır. 1.ve 7. tabakaya uygulanan düzeltme sabiti, 2-6 ve 8-17 tabakları için ayrı ayrı Şekil 3.12'deki gibi belirlenmiştir. Ayrıca 0. ve -1. tabaka için ise 1. tabakaya uygulanan değer kullanılmıştır.



Şekil 3.12. Tabakalara uygulanan düzeltme sabiti (D - ışık geçirgenliği).

Tabakalara uygulanan düzeltme sabiti, tüm HE için radyasyon hasarını belirlemektedir. Bu çalışma için kullanılan radyasyon hasarı modelinde, HE'deki her bir kulenin plastik sintilatörlerinin ne kadar radyasyon hasarına maruz kaldığı ve sintilatörlerden foto detektörlere giden ışığın ne kadar azaldığı saptanmıştır. Foto detektörler gelen ışığı fC cinsinden elektrik sinyaline çeviren araçlardır. Bu elektrik sinyalleri daha sonra bir dönüştürme faktörü ile GeV cinsinden enerjiye çevrilir. Detektörde hiçbir iyonize radyasyon yokken bu enerji değeri bilinmektedir. Radyasyon hasarı modeli uygulandıktan sonra dönüştürme faktörü yeniden hesaplanmıştır ve beklendiği gibi radyasyon hasarından dolayı dönüştürme faktöründe bir miktar azalma meydana gelmiştir. Model uygulanmadan önceki değeri elde etmek amacıyla dönüştürme faktörünün değeri rekaliibrasyon faktörü ile çarpılır. Böylece radyasyon hasarının etkisi, mümkün olduğunca en aza indirgenmeye çalışılır (Kevin Pedro, 2013). Şekil 3.13 HE'deki her kulenin her bir tabakasındaki 500 fb⁻¹ ışıklılık değerinde, radyasyon hasarı modelini temel alarak okunan sinyalleri göstermektedir.



Şekil 3.13. HE’de her kulenin her bir tabakasından okunan sinyaller.

Bu radyasyon hasarı modeline uygun MC verileri hem Faz0 (2017, HFD) hem de Faz1 (2019, SiFÇ) için ayrı ayrı GenJet seviyesinde ve RecoJet seviyesinde üretilmiştir. Faz0 senaryosunda, HE’deki okuma kutularında şu anda da kullanılan HFD’ler olduğu varsayılmaktadır. HFD’lerin gürültü genişlikleri radyasyon değişiminden etkilenmemektedir ve okunan gürültü genişliği yaklaşık 200 MeV’dir. HFD’ler yüksek voltaj değerlerinde çalışırlar ve kazançları düşüktür. Faz1 senaryosunda ise okuma kutularında SiFÇ’lerin kullanılacağı varsayılmaktadır. SiFÇ’lerin gürültü genişliği radyasyona bağlı bir şekilde değişmektedir ve artan ışıklılık ile birlikte gürültünün genişliği de artmaktadır. Bu değişim HE detektörü için şu şekilde ifade edilmektedir;

$$\sigma_{SiF\check{C}}^{HE} = 5 + 1.7\sqrt{L_{eff}} [fC]$$

$$L_{eff} = \max(L - 200 \text{ fb}^{-1}, 0)$$

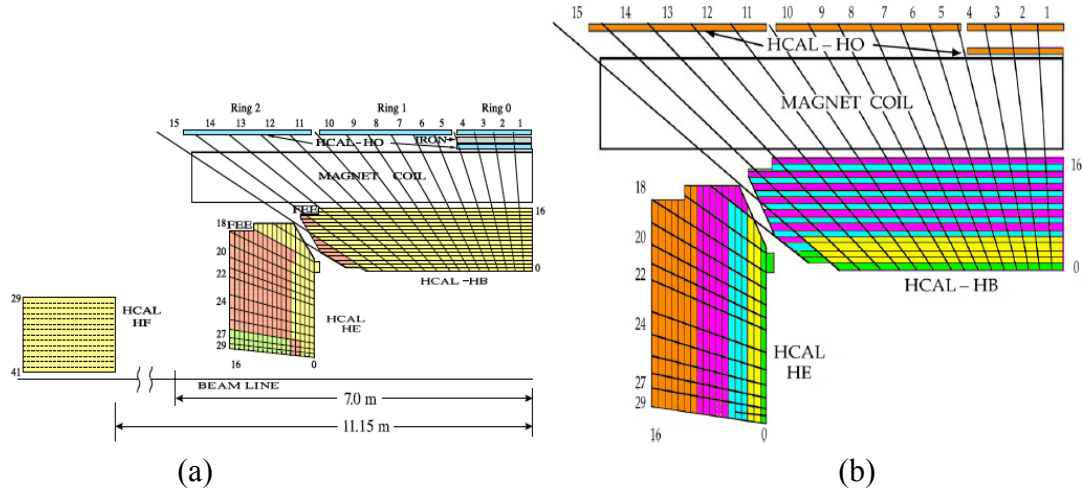
burada, $\sigma_{SiF\check{C}}^{HE}$ SiFÇ’lerin gürültü genişliği, L_{eff} ise etkin ışıklılıktır. Bu tez çalışmasında Faz0 ve Faz1 senaryoları için Pythia6 kullanılarak, d-kuarkından gelen $p_T = 30 \text{ GeV}$, $p_T = 100 \text{ GeV}$ ve $p_T = 200 \text{ GeV}$ enerjili MC örnekleri üretilmiştir. Her bir MC örneği 10000 jet içermektedir. Jetler HE’nin bulunduğu $1.8 < |\eta| < 3.0$

bölgesine düzgün dağılacak şekilde üretilmiştir ve bu MC örnekleri 0, 200, 500, 1000 ve 3000 fb⁻¹ ışıklılık değerlerinde ayrı ayrı CMSSW6_1_2_SLHC5 paketi kullanılarak simüle edilmiştir. HE, HF ve piksel detektörleri için jetler üretilirken, radyasyon hasarı ve rekaliibrasyon faktörü etkin hale getirilmiştir. Radyasyon hasarı ve rekaliibrasyon faktörü EKAL için kullanılmamıştır. Bunun nedeni ise sadece HKAL'deki radyasyon hasarının jetler üzerindeki etkisini gözlemleyebilmektir. Bu MC örneklerinde radyasyon hasarının etkisini daha net görebilmek amacıyla, pile-up etkisi simüle edilmemiştir ve yeniden yapılandırma seviyesinde HKAL'e sırasıyla Zero Suppress Eşik Değeri, Rekaliibrasyon Kısıtlama Değeri ve Kalorimetre Kule Eşik Değeri uygulanmıştır. Bu çalışmanın ana amacı, dedektörün 2017 ve 2019 senaryolarıyla çalışırken kullanacağı en uygun Rekaliibrasyon Kısıtlama Faktörü'nü belirlemektir. Bu amaçla bir sonraki bölümde tartışılacak olan Rekaliibrasyon Kısıtlama Faktörü'nün farklı değerleri için farklı MC örnekleri üretilmiştir.

4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

4.1. Rekalibrasyon Faktörü ve Rekalibrasyon Kısıtlama Değeri

HE'deki foto detektörler, radyasyon hasarından dolayı sintilatörlerde ve fiber kablolarda meydana gelen ışık kaybını telafi etmek amacıyla yeniden kalibre edileceklerdir. Bir kulede birkaç katmandan gelen ışık sadece bir foto detektöre gönderilmektedir. Bu şekilde katmanlar gruplar halinde bir foto detektöre atanmaktadır. Detektördeki bu belirli düzenleme biçimine derinlik (depth) denilmektedir. Derinlik bölümlenme şeması (depth segmentation scheme) adı verilen bu özel düzenleme Faz1 yenileme çalışmalarında değişecektir. Şekil 4.1 HKAL'ın şu anda kullanılan ve Faz1'den sonra kullanılacak olan derinlik bölümlenme şeması göstermektedir.



Şekil 4.1. HKAL'de (a) şu anda ve (b) Faz1 çalışmalarından sonra kullanılacak olan derinlik şeması.

HE radyasyon hasarı modeli Şekil 3.11'de gösterildiği gibi her bir katman için belirli bir azalma eğrisine sahiptir. Bu, bir derinlikteki tabakaların başlangıç değeri bilindiği sürece herhangi bir derinlik için rekalibrasyon faktörünün rahatça hesaplanacağı anlamına gelmektedir. Başlangıç değeri 100000 olay sayılı tek pionların simülasyonlarından elde edilen enerji değeri kullanılarak belirlenmiştir. Simülasyonda her bir pion 50 GeV'lik enerjiye sahiptir ve $1.8 < |\eta| < 3.0$ psödorapidite

aralığında simüle edilmiştir. Ayrıca simülasyon 0 fb^{-1} 'da yani hiçbir ışık kaybı ya da kararına bulunmadığı durumda da yapılmıştır. Artık başlangıç değeri, depolanan enerji miktarları, radyasyon hasarı modeli ve derinlik bölümlene şemasının tam olarak bilinmesiyle rekaliibrasyon faktörü istenilen ışıklılık değeri için aşağıdaki şekilde kolayca hesaplanabilir:

$$\langle E \rangle(l, i\eta, L) = e^{-L/D(l, i\eta)} \langle E \rangle(l, i\eta, L) \quad (1)$$

$$\langle E \rangle(d, i\eta, L) = \sum_{l \in d} \langle E \rangle(l, i\eta, L) \quad (2)$$

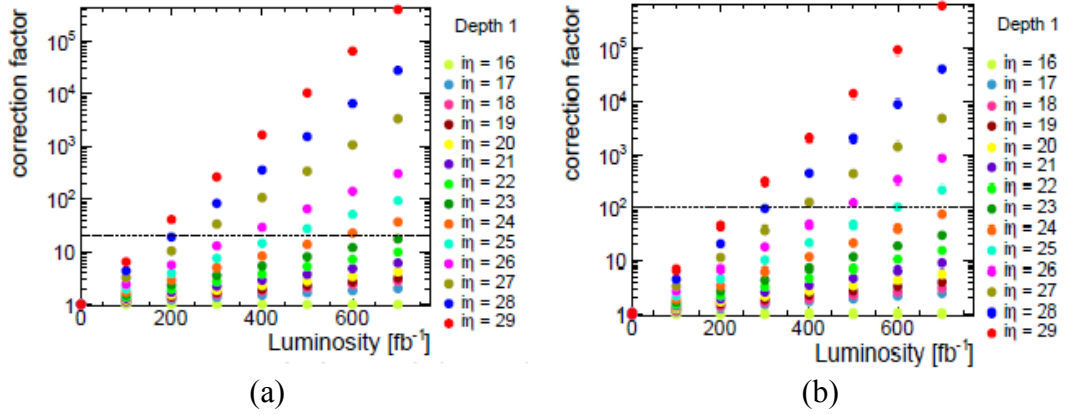
$$f(d, i\eta, L) = \frac{\langle E \rangle(d, i\eta, 0)}{\langle E \rangle(d, i\eta, L)} \quad (3)$$

Denklem (1) 0 fb^{-1} 'den farklı herhangi bir ışıklılıkta, enerji değerini bulmak için radyasyon hasarı modelinin nasıl kullanıldığını göstermektedir. Denklem (2) verilen bir derinlikteki tabakalarda depolanan enerjinin toplamıdır. Denklem (3) ise verilen bir derinlikte ve ışıklılıkta, rekaliibrasyon faktörünün nasıl hesaplanacağını göstermektedir. Bu denklemlerde $\langle E \rangle$ ortalama depolanan enerjiyi, l tabaka numarasını, L ışıklılığı, d derinliği, f ise rekaliibrasyon faktörünü göstermektedir.

Radyasyonun etkisi artan η ile artmaktadır ve artan η ile birlikte rekaliibrasyon faktörü de artmaktadır. Yüksek η değerlerinde, rekaliibrasyon faktörü çok büyük değerlere ulaşmaktadır. Sintilatörlerden gelen ışık bu faktörler ile çarpıldığında çok yüksek değerlere ulaşmakta ve bu değerler beklenen sinyal değerinin çok üstünde olmaktadır. İşte bu nedenden dolayı rekaliibrasyon faktörüne bir kısıtlama getirilmiştir. Bu kısıtlama değerine rekaliibrasyon kısıtlama değeri denilmektedir.

HE alt detektöründe şu anda uygulanan rekaliibrasyon kısıtlama değeri HFD'ler için 20 iken SiFC'ler için 100'dür. Bu tezde farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerleri ile birlikte jet enerji yanıtı ve jet enerji çözünürlüğü kullanılarak radyasyon

hasarı minimize edilmeye çalışılmıştır. Şekil 4.2 sırasıyla ışıklılığın bir fonksiyonu olarak (a) HFD'lere ve (b) SiFÇ'lere uygulanan rekaliibrasyon kısıtlama değerini göstermektedir.



Şekil 4.2. (a) HFD'lere ve (b) SiFÇ'lere uygulanan rekaliibrasyon kısıtlama değeri.

Analizde, rekaliibrasyon kısıtlama değeri HFD'ler için 1, 10, 20, 30, 40, 50, 100, 200 olarak seçilirken, SiFÇ'ler için 1, 50, 100, 150, 200, 500, 1000, 10000 değerleri seçilmiştir. RecoJet olarak bu analizde KaloJet'ler kullanılmıştır. KaloJet'ler, HE kalorimetresindeki radyasyon hasarını tespit edebilmek amacıyla 0, 200, 500, 1000 ve 3000 fb^{-1} ışıklılık değerlerinde Faz0 ve Faz1 senaryoları için ayrı ayrı simüle edilmiştir.

4.2. Radyasyon Hasarının Jetler Üzerindeki Etkisi

HE kalorimetresine yeni radyasyon modeli uygulandıktan ve rekaliibrasyon kısıtlama değerlerine sahip MC örnekleri üretildikten sonra, farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinin jetleri nasıl etkilediği saptanmaya çalışıldı. MC örnekleri anti- k_T jet kümeleme algoritması kullanılarak, GenJet'ler ve KaloJet'ler için ayrı ayrı üretildi. Jet offset düzeltme faktörü uygulandıktan sonra Kalojet'ler ile Genjet'ler eşleştirilip jet enerji yanıtı ve jet enerji çözünürlüğü değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler radyasyon hasarının tespiti için kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmada jetler 4 farklı η aralığında incelenmiştir. Bunun nedeni detektörün hangi bölgesinin radyasyon hasarından en fazla etkilendiğini bulmaktır. Bu η aralıkları ;

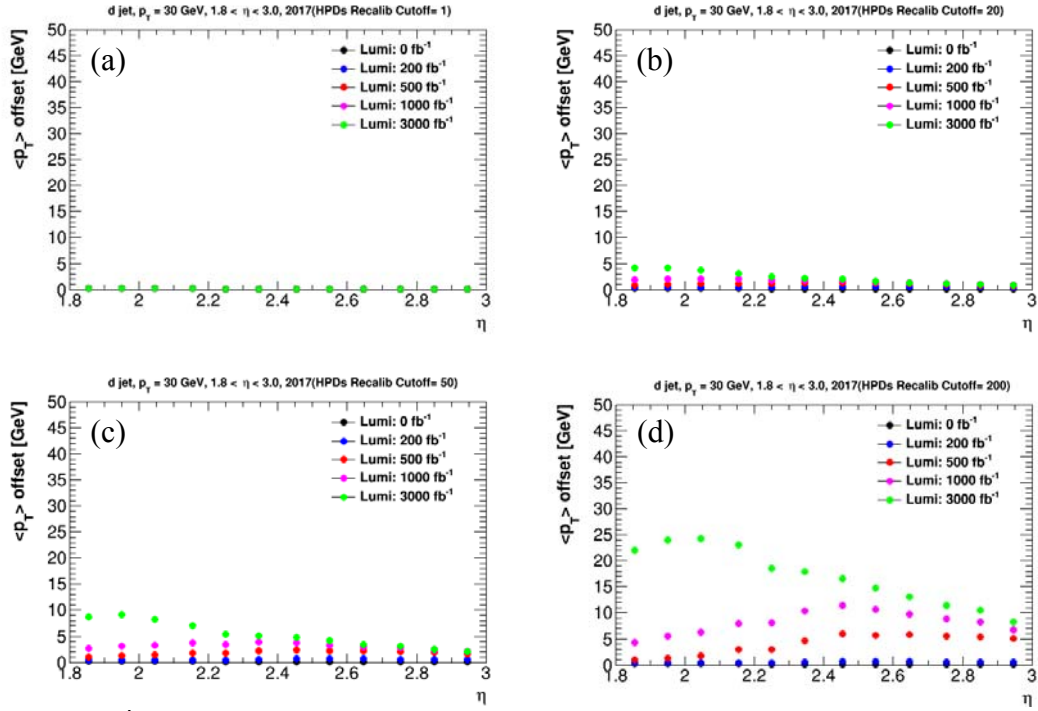
- $1.8 < |\eta| < 2.1$,
- $2.1 < |\eta| < 2.4$,
- $2.4 < |\eta| < 2.7$,
- $2.7 < |\eta| < 3.0$

şeklinde belirlenmiştir. Verilen bu aralıklarda jetlerin enerji yanıtları ve enerji çözünürlükleri incelenmiştir.

4.3. Jet Offset Düzeltme Faktörünün Simüle Edilmesi

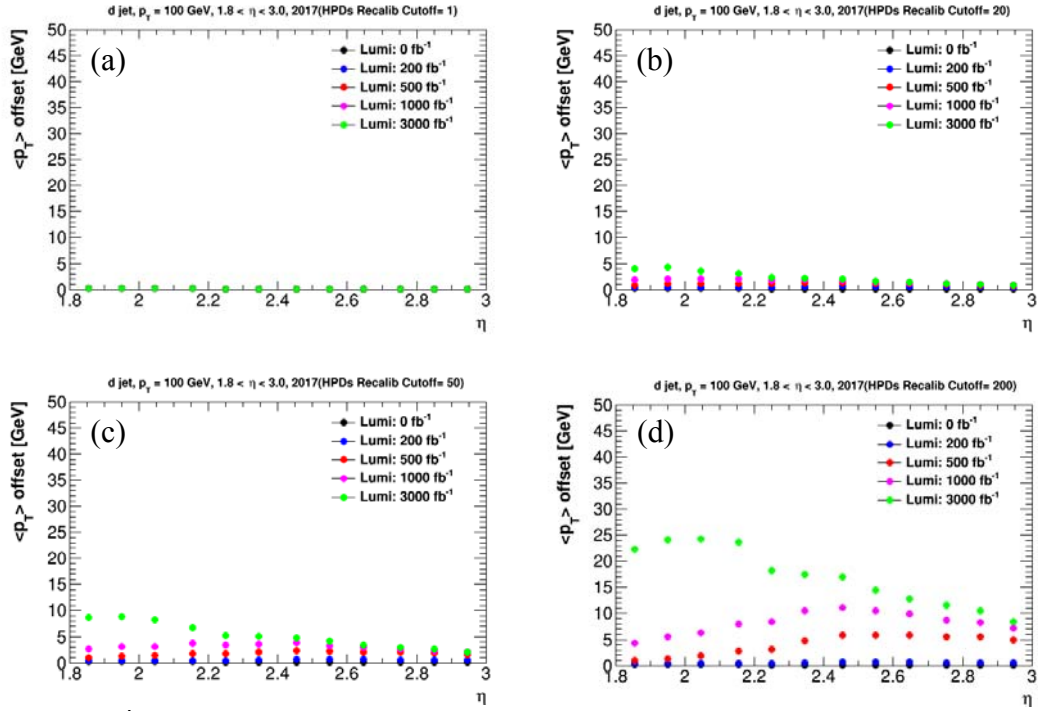
Yeniden yapılandırılmış jetlerin enerjilerini doğru bir şekilde ölçebilmek için bir düzeltme yöntemi uygulanmaktadır. CMS’de kullanılan bu yöntemin ilk basamağı jet offset düzeltme faktörüdür. Jet offset düzeltme faktörü, pile-up’tan kaynaklanan enerjinin toplamı ve kalorimetre kulelerine uygulanan eşik değerini geçen gürültü miktarı olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada pile-up etkisi dikkate alınmadığından dolayı jet offset düzeltme faktörü, sadece kalorimetre kulelerine uygulanan eşik değerini geçen gürültü olarak ele alınmaktadır. Bu nedenle $\langle P_T \rangle(\eta)$ ile gösterilen özel bir jet offset düzeltme faktörü hesaplanmıştır. Bu offset düzeltme faktörü sadece gürültü içeren kalorimetre kulelerindeki ortalama enerjinin $d\eta < 0.5$ halkası içerisinde toplanmasıyla elde edilir (Kevin Pedro, 2013). Jet offset düzeltme faktörü hesaplandıktan sonra jetlerin enerjisinden bu değer çıkartılmıştır. Jet offset düzeltme faktörü hesaplandıktan sonra η ’nın bir fonksiyonu olarak farklı ışıklılık değerlerinde çizdirilerek incelendi.

Şekil 4.3’de $1.8 < |\eta| < 3.0$ bölgesinde HFD’ler için $p_T^{jet} = 30$ GeV iken rekaliibrasyon kısıtlama değeri (a) 1, (b) 20, (c) 50 ve (d) 200 için jet offset düzeltme faktörü gösterilmektedir.



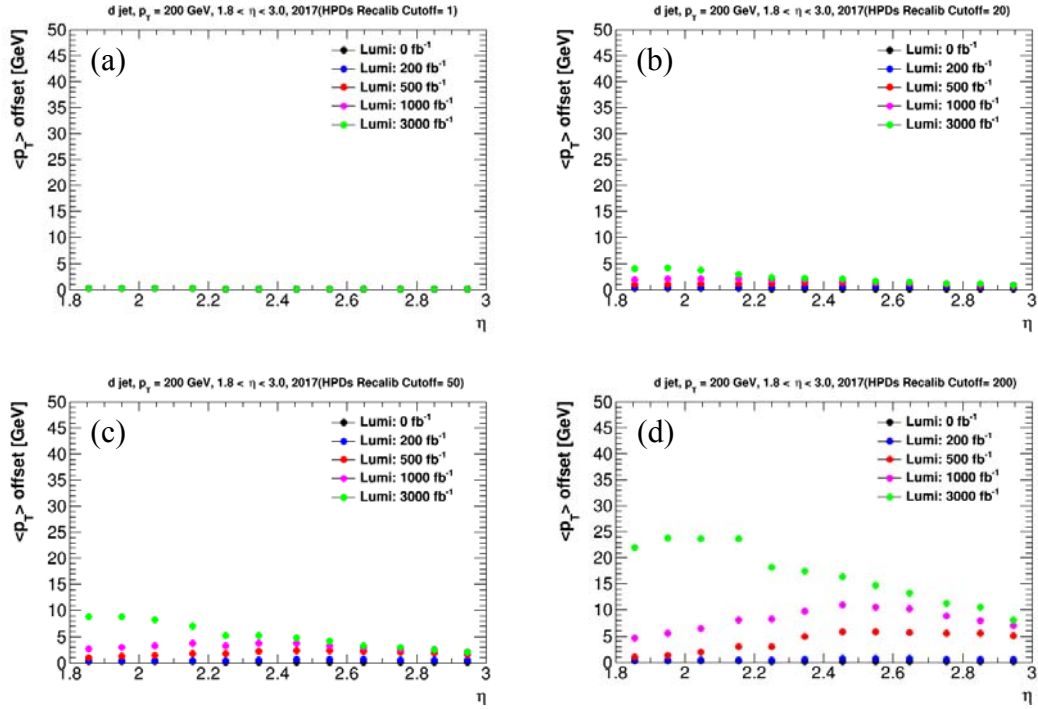
Şekil 4.3. $p_T^{jet} = 30$ GeV’lik jetler için, HFD’ler kullanılırken rekaliibrasyon kısıtlama değeri 1, 20, 50 ve 200 değerlerinde elde edilmiş jet offset düzeltme faktörü.

Şekil 4.4’de $1.8 < |\eta| < 3.0$ bölgesinde HFD’ler için $p_T^{jet} = 100$ GeV iken rekaliibrasyon kısıtlama değeri (a) 1, (b) 20, (c) 50 ve (d) 200 için jet offset düzeltme faktörü gösterilmektedir.



Şekil 4.4. $p_T^{jet} = 100$ GeV’lik jetler için, HFD’ler kullanılırken rekaliibrasyon kısıtlama değeri 1, 20, 50 ve 200 değerlerinde elde edilmiş jet offset düzeltme faktörü.

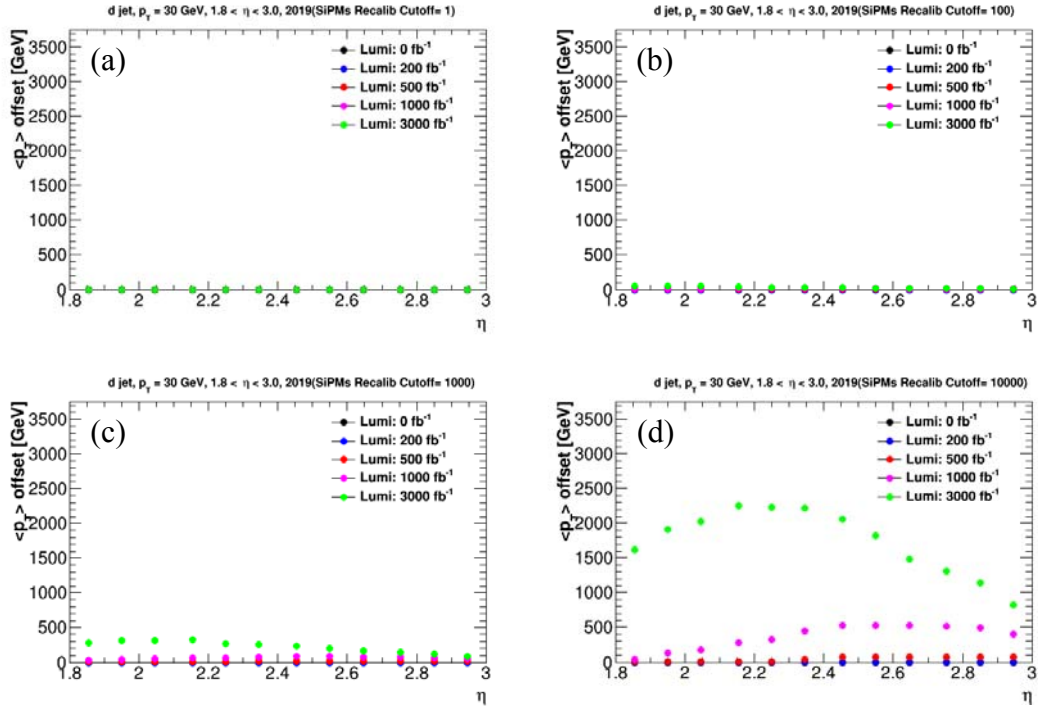
Şekil 4.5’de $1.8 < |\eta| < 3.0$ bölgesinde HFD’ler için $p_T^{jet} = 200$ GeV iken rekaliibrasyon kısıtlama değeri (a) 1, (b) 20, (c) 50 ve (d) 200 için jet offset düzeltme faktörü gösterilmektedir.



Şekil 4.5. $p_T^{jet} = 200$ GeV’lik jetler için, HFD’ler kullanılırken rekaliibrasyon kısıtlama değeri 1, 20, 50 ve 200 değerlerinde elde edilmiş jet offset düzeltme faktörü.

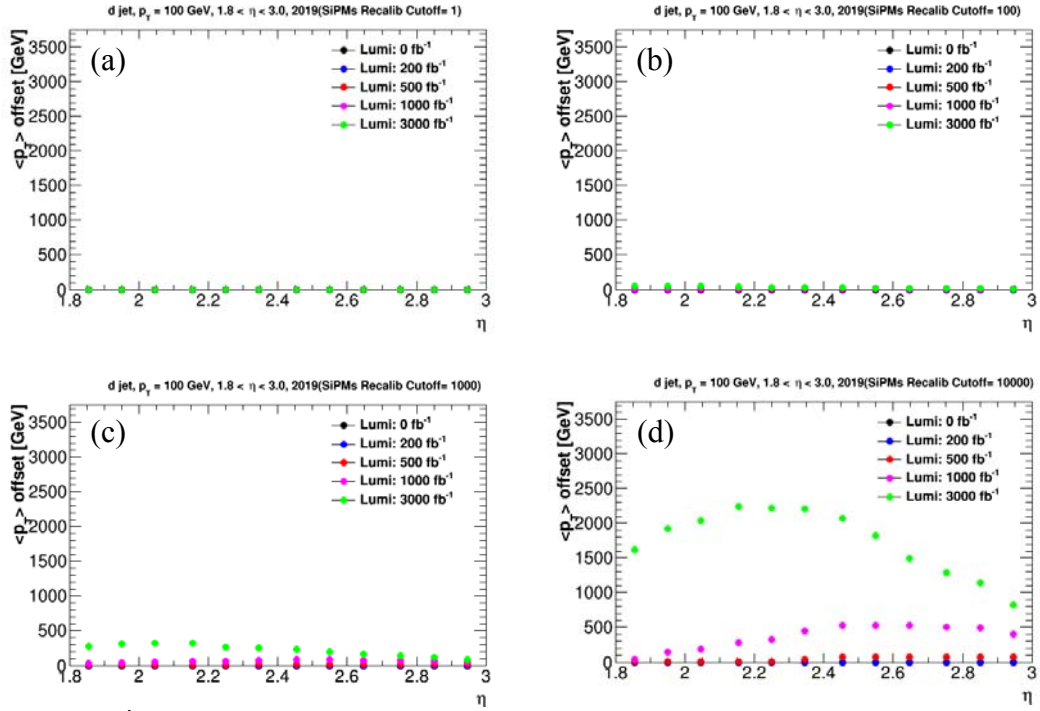
Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5’deki grafiklerin x -ekseni η ’yı, y -ekseni ise jet offset düzeltme faktörünü göstermektedir. Grafiklerde gösterilen siyah, mavi, kırmızı, mor ve yeşil renkler sırasıyla 0, 200, 500, 1000, 3000 fb^{-1} ’i temsil etmektedir. Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5’e bakıldığında artan rekaliibrasyon kısıtlama değeri ile birlikte beklendiği gibi jet offset düzeltme faktörü artmıştır. rekaliibrasyon kısıtlama değeri 1 olarak alındığında jet offset düzeltme faktörü sıfıra yakın değerler alırken, rekaliibrasyon kısıtlama değeri arttıkça jet offset düzeltme faktörü de artmaktadır. Ayrıca artan ışıklılık ile birlikte radyasyon hasarının arttığında şekillerden görülmektedir. Yapılan bu çalışmada jet enerjilerinin, jet offset düzeltme faktörüne etkisi olmadığı gözlenmiştir.

Şekil 4.6’da $1.8 < |\eta| < 3.0$ bölgesinde SiFÇ’ler için $p_T^{jet} = 30$ GeV iken rekaliibrasyon kısıtlama değeri (a) 1, (b) 100, (c) 1000 ve (d) 10000 için jet offset düzeltme faktörü gösterilmektedir.



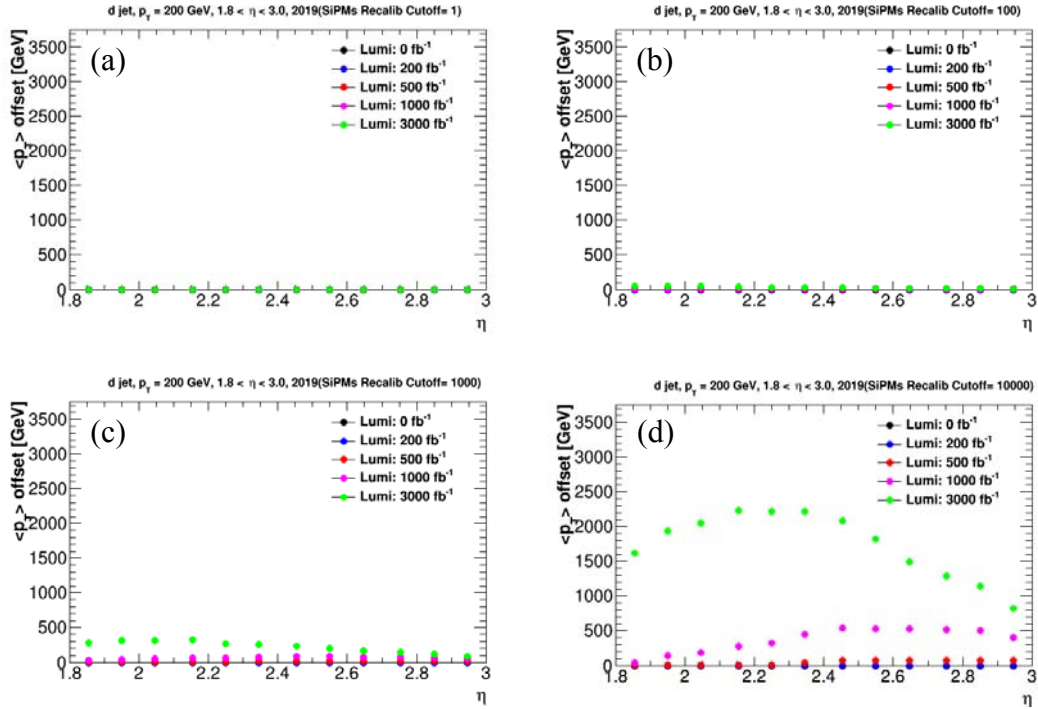
Şekil 4.6. $p_T^{jet} = 30$ GeV’lik jetler için, SiFÇ’ler kullanılırken rekaliibrasyon kısıtlama değeri 1, 100, 1000 ve 10000 değerlerinde elde edilmiş jet offset düzeltme faktörü.

Şekil 4.7’de $1.8 < |\eta| < 3.0$ bölgesinde SiFÇ’ler için $p_T^{jet} = 100$ GeV iken rekaliibrasyon kısıtlama değeri (a) 1, (b) 100, (c) 1000 ve (d) 10000 için jet offset düzeltme faktörü gösterilmektedir.



Şekil 4.7. $p_T^{jet} = 100$ GeV’lik jetler için, SiFÇ’ler kullanılırken rekaliibrasyon kısıtlama değeri 1, 100, 1000 ve 10000 değerlerinde elde edilmiş jet offset düzeltme faktörü.

Şekil 4.8’de $1.8 < |\eta| < 3.0$ bölgesinde SiFÇ’ler için $p_T^{jet} = 200$ GeV iken rekaliibrasyon kısıtlama değeri (a) 1, (b) 100, (c) 1000 ve (d) 10000 için jet offset düzeltme faktörü gösterilmektedir.



Şekil 4.8. $p_T^{jet} = 200$ GeV’lik jetler için, SiFÇ’ler kullanılırken rekaliibrasyon kısıtlama değeri 1, 100, 1000 ve 10000 değerlerinde elde edilmiş jet offset düzeltme faktörü.

Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8’deki grafiklerin x -ekseni η ’yı, y -ekseni ise jet offset düzeltme faktörünü göstermektedir. Grafiklerde gösterilen siyah, mavi, kırmızı, mor ve yeşil renkler sırasıyla 0, 200, 500, 1000, 3000 fb^{-1} ’i temsil etmektedir. Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5’e bakıldığında, SiFÇ’ler için de artan rekaliibrasyon kısıtlama değeri ile birlikte jet offset düzeltme faktörü artmıştır. Rekaliibrasyon kısıtlama değeri 1 olarak alındığında jet offset düzeltme faktörü sıfıra yakın değerler alırken, rekaliibrasyon kısıtlama değeri arttıkça jet offset düzeltme faktörü de artmaktadır. Ayrıca artan ışıklılık ile birlikte radyasyon hasarının arttığında şekillerden görülmektedir. HFD’lerde olduğu gibi artan jet enerjilerinin, jet offset düzeltme faktörüne etkisi olmadığı gözlenmiştir.

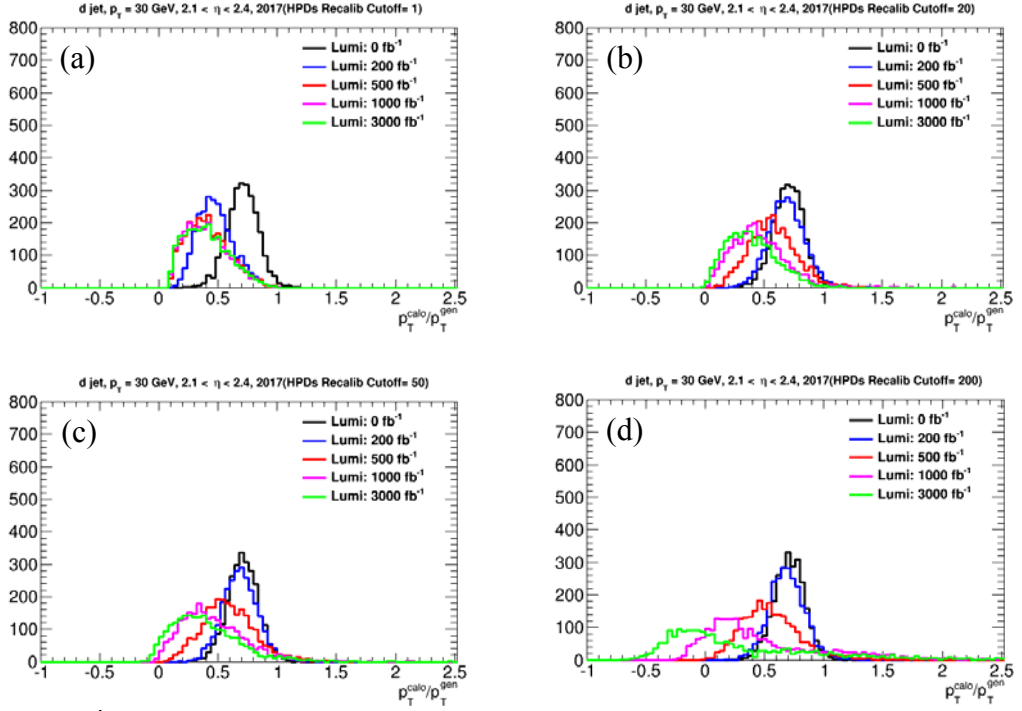
4.4. Jet Enerji Yanıtının Simüle Edilmesi

Radyasyon hasarının jetler üzerindeki etkisini saptayabilmek için detektör seviyesinde ve üretilmiş seviyede MC örnekleri üretildiği daha önceki bölümlerde bahsedilmişti. GenJet'lerin enerjileri gerçek jet enerjileridir. RecoJet'lerin enerjileri ise detektör kaynaklı nedenlerle dolayı GenJet'lerin enerjisinden daha az ya da daha fazla olması beklenmektedir. Ölçüm yapılan kalorimetrede GenJet'lerin enerjileri RecoJet'lerin enerjilerine eşit ise (jet enerji yanıtının değeri 1 ise) bu kalorimetre kusursuz olarak nitelendirilir. Kalorimetrede bir jetin enerjisinin ne kadar iyi ölçüldüğünü anlayabilmek için jet enerji yanıtı niceliğine bakılır. Jet enerji yanıtı ise şu şekilde ifade edilir:

$$\text{Jet Enerji Yanıtı} = \frac{P_T^{KaloJet}}{P_T^{GenJet}}$$

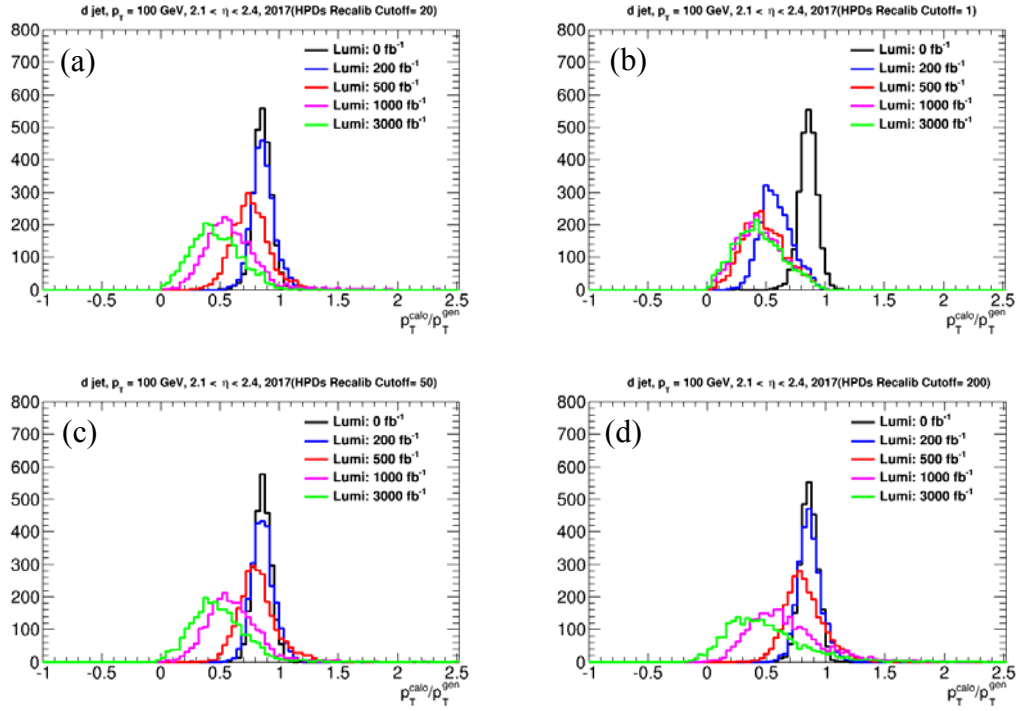
Bu çalışmada Faz1 ve Faz0 için 0 fb^{-1} 'de jet enerji yanıtı dağılımı farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerleri için elde edildi. Bu şekilde detektörde hiçbir radyasyon bulunmazken jet enerji yanıtı dağılımı belirlenmiş oldu. Daha sonra farklı ışıklılıklarda jet enerji yanıtı dağılımları belirlenerek detektörde radyasyonun olmadığı 0 fb^{-1} belirlenen jet enerji yanıtı dağılımı ile karşılaştırıldı.

Şekil 4.9’da $2.1 < |\eta| < 2.4$ bölgesinde HFD’ler için $p_T^{jet} = 30$ GeV iken farklı (a) 1, (b) 20, (c) 50 ve (d) 200 rekaliibrasyon kısıtlama değerleri için jet enerji yanıtını göstermektedir.



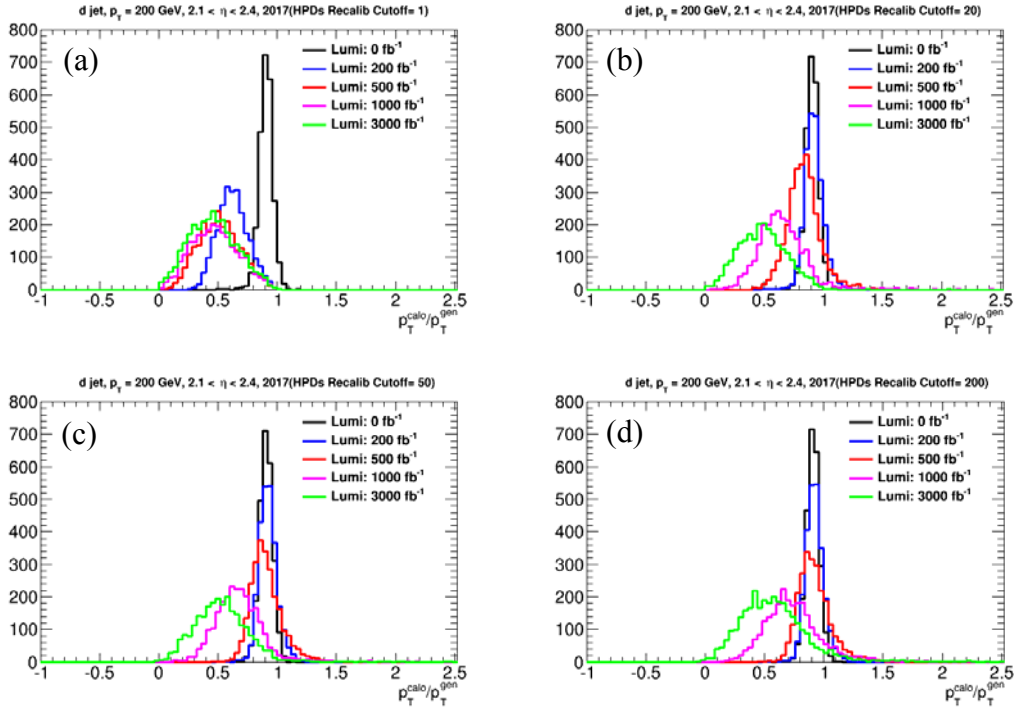
Şekil 4.9. $p_T^{jet} = 30$ GeV’lik jetler için, HFD’ler kullanılırken farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji yanıtı.

Şekil 4.10'da $2.1 < |\eta| < 2.4$ bölgesinde HFD'ler için $p_T^{jet} = 100$ GeV iken farklı (a) 1, (b) 20, (c) 50 ve (d) 200 rekaliibrasyon kısıtlama değerleri için jet enerji yanıtını göstermektedir.



Şekil 4.10. $p_T^{jet} = 100$ GeV'lik jetler için, HFD'ler kullanılırken farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji yanıtı.

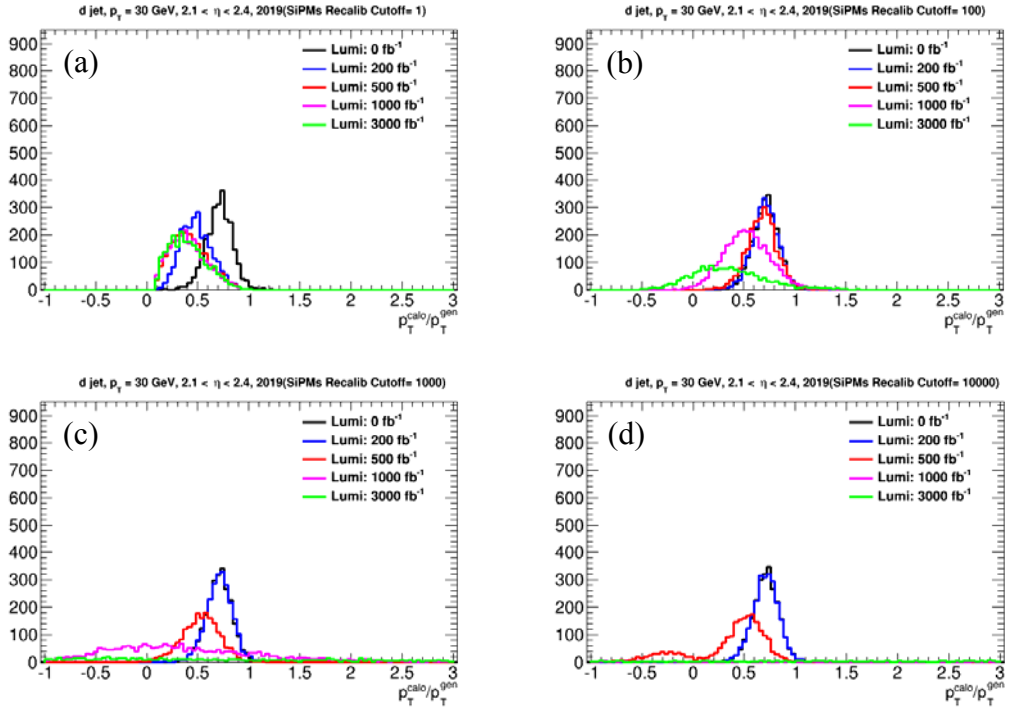
Şekil 4.11’de $2.1 < |\eta| < 2.4$ bölgesinde HFD’ler için $p_T^{jet} = 200$ GeV iken farklı (a) 1, (b) 20, (c) 50 ve (d) 200 rekaliibrasyon kısıtlama değerleri için jet enerji yanıtını göstermektedir.



Şekil 4.11. $p_T^{jet} = 200$ GeV’lik jetler için, HFD’ler kullanılırken farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji yanıtı.

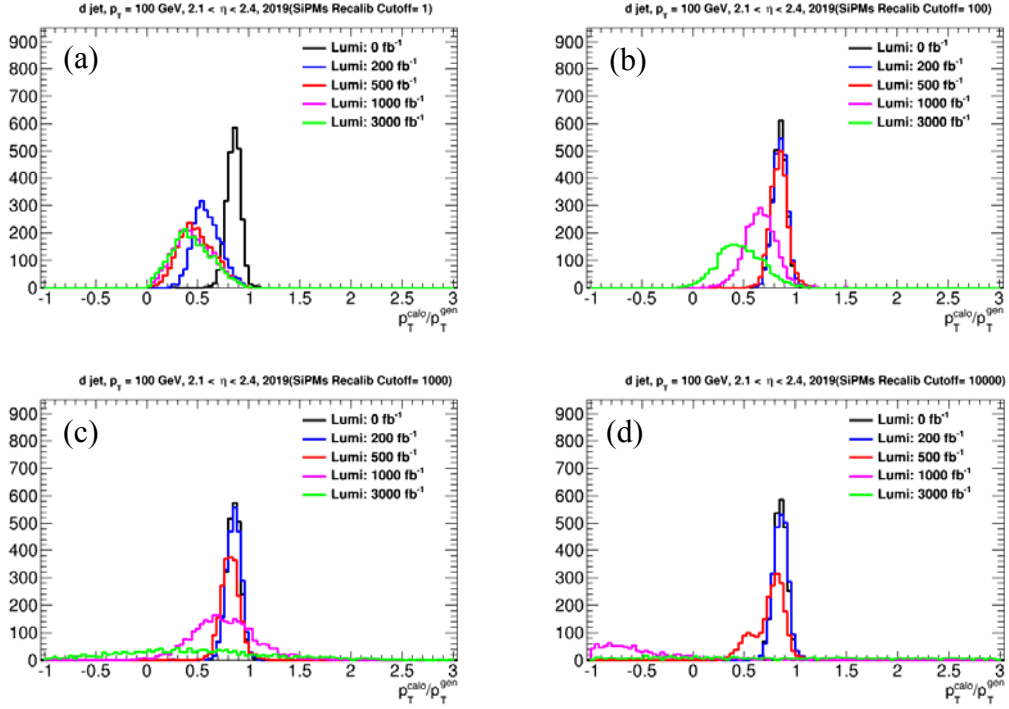
Şekil 4.9, 4.10 ve 4.11’deki grafiklerin x -ekseni jet enerji yanıtı, y -ekseni ise olay sayısını göstermektedir. Grafiklerde gösterilen siyah, mavi, kırmızı, mor ve yeşil renkler sırasıyla 0, 200, 500, 1000, 3000 fb^{-1} ’ı temsil etmektedir. Şekil 4.9, 4.10 ve 4.11’den görüldüğü gibi HFD’lerde 200 ve 500 fb^{-1} ışıklılık değerli için jet enerji yanıtı dağılımının ortalama değeri artan rekaliibrasyon kısıtlama değeri ile birlikte 1’e yaklaşmaktadır. Fakat 1000 ve 3000 fb^{-1} için jet enerji yanıtı dağılımının ortalama değeri 1’den uzaklaşmaktadır. Şekil 4.9, 4.10 ve 4.11 karşılaştırıldığında artan jet enerjilerinin jet enerji yanıtı dağılımlarını bir miktar iyileştirdiği gözlenmektedir.

Şekil 4.12’de $2.1 < |\eta| < 2.4$ bölgesinde SiFÇ’ler için $p_T^{jet} = 30$ GeV iken farklı (a) 1, (b) 100, (c) 1000 ve (d) 10000 rekaliibrasyon kısıtlama değerleri için jet enerji yanıtını göstermektedir.



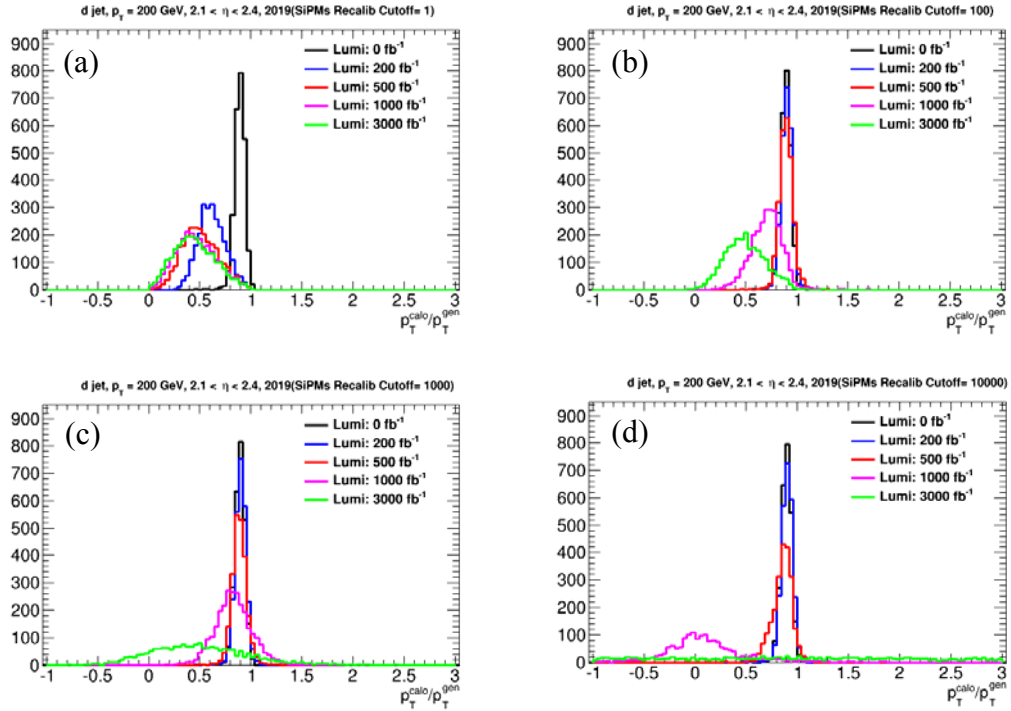
Şekil 4.12. $p_T^{jet} = 30$ GeV’lik jetler için, SiFÇ’ler kullanılırken farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji yanıtı.

Şekil 4.13’de $2.1 < |\eta| < 2.4$ bölgesinde SiFÇ’ler için $p_T^{jet} = 100$ GeV iken farklı (a) 1, (b) 100, (c) 1000 ve (d) 10000 rekaliibrasyon kısıtlama değerleri için jet enerji yanıtını göstermektedir.



Şekil 4.13. $p_T^{jet} = 100$ GeV’lik jetler için, SiFÇ’ler kullanılırken farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji yanıtı.

Şekil 4.14'de $2.1 < |\eta| < 2.4$ bölgesinde SiFÇ'ler için $p_T^{jet} = 200$ GeV iken farklı (a) 1, (b) 100, (c) 1000 ve (d) 10000 rekaliibrasyon kısıtlama değerleri için jet enerji yanıtını göstermektedir.



Şekil 4.14. $p_T^{jet} = 200$ GeV'lik jetler için, SiFÇ'ler kullanılırken farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji yanıtı.

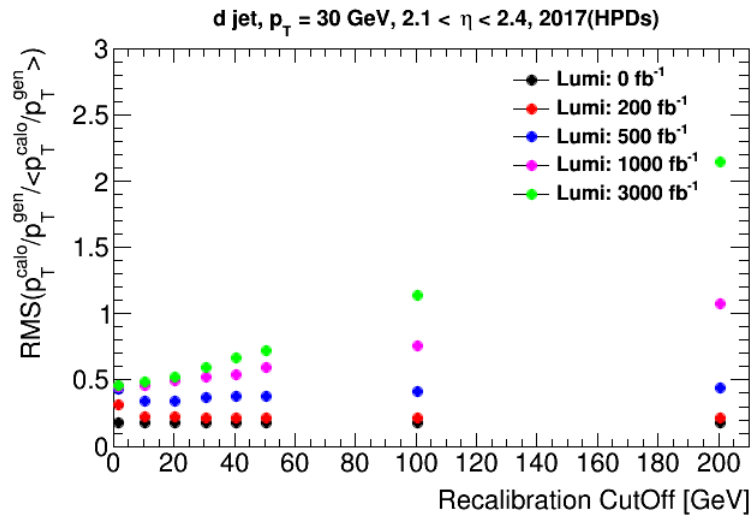
Şekil 4.12, 4.13 ve 4.14'deki grafiklerin x -ekseni jet enerji yanıtı, y -ekseni ise olay sayısını göstermektedir. Grafiklerde gösterilen siyah, mavi, kırmızı, mor ve yeşil renkler sırasıyla 0, 200, 500, 1000, 3000 fb^{-1} 'ı temsil etmektedir. Şekil 4.12, 4.13 ve 4.14'de görüldüğü gibi SiFÇ'lerde 200 ve 500 fb^{-1} ışıklılık değerli için jet enerji yanıtı dağılımının ortalama değeri artan rekaliibrasyon kısıtlama değeri ile birlikte 1'e yaklaşmaktadır yani iyileşmektedir. Fakat 1000 ve 3000 fb^{-1} için jet enerji yanıtı dağılımının ortalama değeri 1'den uzaklaşmaktadır yani kötüleşmektedir. Şekil 4.12, 4.13 ve 4.14 karşılaştırıldığında artan jet enerjilerinin jet enerji yanıtı dağılımlarını bir miktar iyileştirdiği gözlenmektedir.

4.5. Jet Enerji Çözünürlüğünün Simüle Edilmesi

HE kalorimetresinde radyasyon hasarını en aza indirgeyecek recalibrasyon kısıtlama değerine karar vermek amacıyla jet enerji çözünürlüğüne bakıldı. Jet enerji çözünürlüğü şu şekilde ifade edilmektedir:

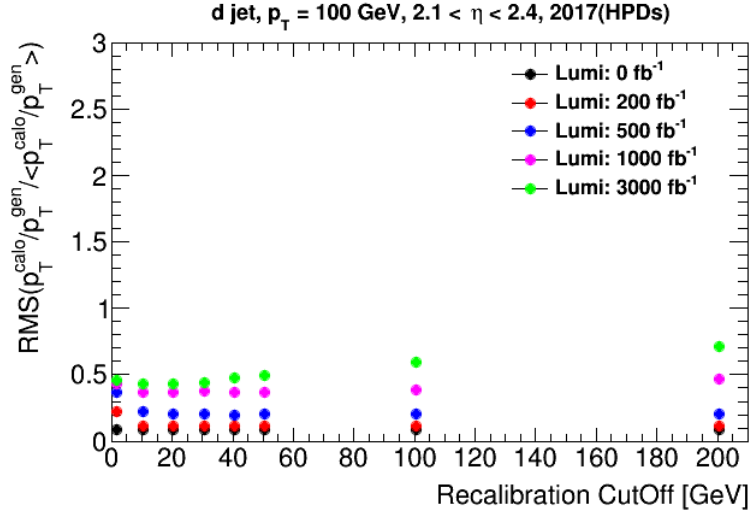
$$\text{Jet Enerji Çözünürlüğü} = \frac{RMS(p_T^{KaloJet}/p_T^{GenJet})}{\langle p_T^{KaloJet}/p_T^{GenJet} \rangle}$$

Kusursuz bir kalorimetrede jet enerji çözünürlüğü 0 olmalıdır. Fakat detektörde hasara neden olan radyasyondan dolayı hiçbir zaman jet enerji çözünürlüğünün 0 olması beklenemez. Jet enerji çözünürlüğü 0'a ne kadar yakın ise kalorimetrenin çözünürlüğü de o kadar iyi olmaktadır. Yani bu çalışmada uygulanan herhangi bir recalibrasyon kısıtlama değerinde jet enerji çözünürlüğü 0'a ne kadar yakın ise radyasyon hasarının detektöre etkisi o kadar azdır. Şekil 4.15'de $2.1 < |\eta| < 2.4$ bölgesinde HFD'ler için $p_T^{jet} = 30$ GeV'lik jetlerin, jet enerji çözünürlüğü gösterilmektedir.



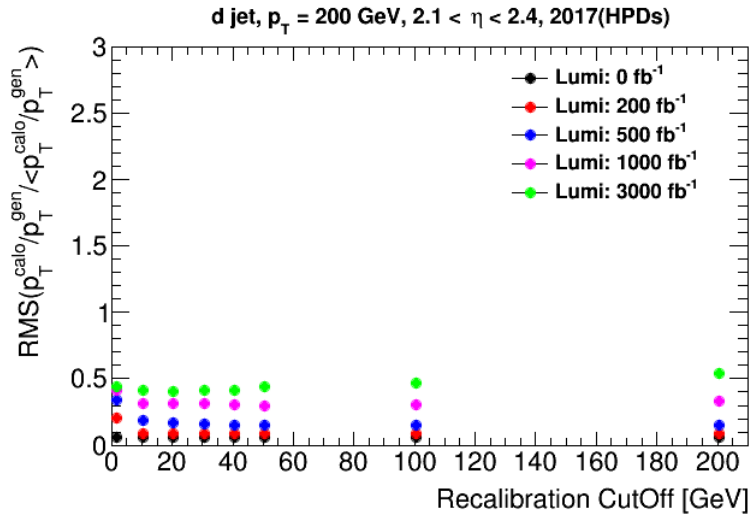
Şekil 4.15. $p_T^{jet} = 30$ GeV'lik jetler için, HFD'ler kullanılırken farklı recalibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji çözünürlüğü.

Şekil 4.16'da $2.1 < |\eta| < 2.4$ bölgesinde HFD'ler için $p_T^{jet} = 100$ GeV'lik jetlerin, jet enerji çözünürlüğü gösterilmektedir.



Şekil 4.16. $p_T^{jet} = 100$ GeV'lik jetler için, HFD'ler kullanılırken farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji çözünürlüğü.

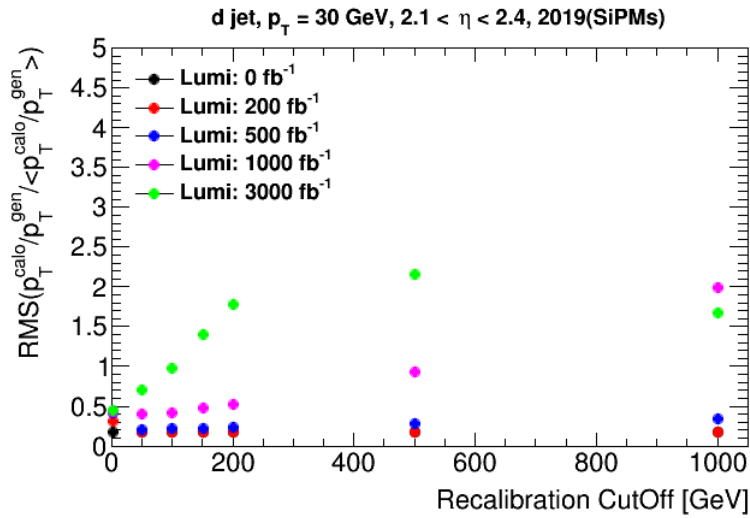
Şekil 4.17'de $2.1 < |\eta| < 2.4$ bölgesinde HFD'ler için $p_T^{jet} = 200$ GeV'lik jetlerin, jet enerji çözünürlüğü gösterilmektedir.



Şekil 4.17. $p_T^{jet} = 200$ GeV'lik jetler için, HFD'ler kullanılırken farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji çözünürlüğü.

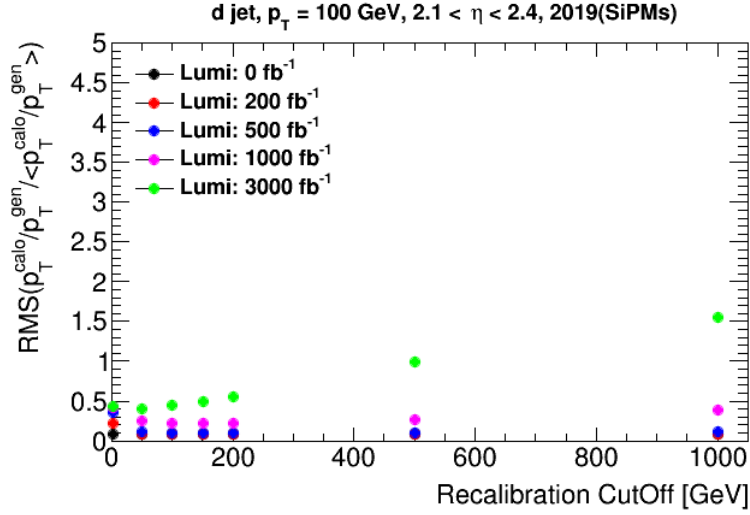
Şekil 4.15, 4.16 ve 4.17'deki grafiklerin x -ekseni recalibrasyon kısıtlama değerlerini, y -ekseni ise jet enerji çözünürlüğünü göstermektedir. Grafiklerde gösterilen siyah, mavi, kırmızı, mor ve yeşil renkler sırasıyla 0, 200, 500, 1000, 3000 fb^{-1} 'ı temsil etmektedir. Şekil 4.15, 4.16 ve 4.17'de görüldüğü gibi HFD'lerde 200 ve 500 fb^{-1} ışıklılık değeri için jet enerji çözünürlüğü artan recalibrasyon kısıtlama değeri ile birlikte çok büyük değişiklik göstermemektedir. Fakat 1000 ve 3000 fb^{-1} ışıklılık değeri için jet enerji çözünürlüğü çok az da olsa 0'dan uzaklaşmaktadır. Şekil 4.15, 4.16 ve 4.17 karşılaştırıldığında artan jet enerjilerinin jet enerji çözünürlüğünü iyileştirdiği gözlenmektedir.

Şekil 4.18'de $2.1 < |\eta| < 2.4$ bölgesinde SiFÇ'ler için $p_T^{jet} = 30 \text{ GeV}$ 'lik jetlerin, jet enerji çözünürlüğü gösterilmektedir.



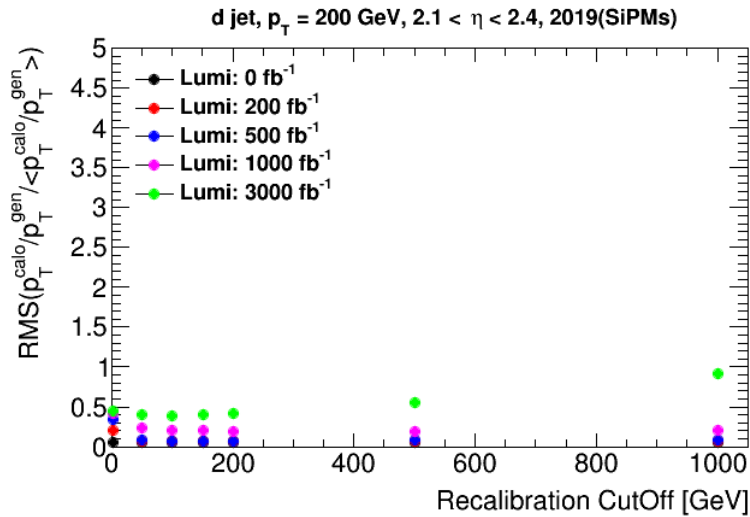
Şekil 4.18. $p_T^{jet} = 30 \text{ GeV}$ 'lik jetler için, SiFÇ'ler kullanılırken farklı recalibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji çözünürlüğü.

Şekil 4.19'da $2.1 < |\eta| < 2.4$ bölgesinde SiFÇ'ler için $p_T^{jet} = 100$ GeV'lik jetlerin, jet enerji çözünürlüğü gösterilmektedir.



Şekil 4.19. $p_T^{jet} = 100$ GeV'lik jetler için, SiFÇ'ler kullanılırken farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji çözünürlüğü.

Şekil 4.20'de $2.1 < |\eta| < 2.4$ bölgesinde SiFÇ'ler için $p_T^{jet} = 200$ GeV'lik jetlerin, jet enerji çözünürlüğü gösterilmektedir.



Şekil 4.20. $p_T^{jet} = 200$ GeV'lik jetler için, SiFÇ'ler kullanılırken farklı rekaliibrasyon kısıtlama değerlerinde elde edilmiş jet enerji çözünürlüğü.

Ŗekil 4.18, 4.19 ve 4.20'deki grafiklerin x -ekseni recalibrasyon kısıtlama değerleri'ni, y -ekseni ise jet enerji çözünürlüğünü göstermektedir. Grafiklerde gösterilen siyah, mavi, kırmızı, mor ve yeşil renkler sırasıyla 0, 200, 500, 1000, 3000 fb^{-1} 'ı temsil etmektedir. Ŗekil 4.18, 4.19 ve 4.20'de görüldüğü gibi SiF'lerde 200, 500 ve 1000 fb^{-1} ışıklılık değeri için jet enerji çözünürlüğü artan recalibrasyon kısıtlama değeri ile birlikte çok büyük değişiklik göstermemektedir. Fakat 3000 fb^{-1} ışıklılık değeri için jet enerji çözünürlüğü 0'dan uzaklaşmaktadır. Ŗekil 4.18, 4.19 ve 4.20 karşılaştırıldığında artan jet enerjilerinin jet enerji çözünürlüğünü iyileştirdiğı gözlenmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında BHÇ'de bulunan CMS deneyindeki HKAL'in alt detektörlerinden HE'nin önümüzdeki yıllarda yapılacak olan proton-proton çarpışmalarından kaynaklanan iyonize radyasyondan nasıl etkileneceği incelenmiştir. İyonize radyasyonun HE detektörünü nasıl etkileyeceği ve jetler üzerindeki kötü etkisini simüle etmek amacıyla, HKAL grubu tarafından daha önce oluşturulan radyasyon modeli kullanılmıştır. Bu model kullanılarak Faz0 (2017) ve Faz1 (2019) senaryolarında HE detektöründe radyasyondan kaynaklanan hasarın etkisi 0, 200, 500, 1000 ve 3000 fb⁻¹ ışıklılık değerlerinde MC verileri kullanılarak incelenmiştir. HE'de meydana gelen radyasyondan kaynaklı hasarı tespit edebilmek amacıyla HE'de gözlemlenen farklı enerjilere sahip jetler kullanılmıştır. Daha sonra farklı reklibrasyon kısıtlama değerleri kullanılarak, jet enerji yanıtı ve jet enerji çözünürlüğü yardımı ile HE'de meydana gelen radyasyon hasarının etkisi en aza indirmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda HE detektöründe Faz0'da kullanılması planlanan HFD'ler için farklı ışıklılık ve jet enerjilerinde radyasyon hasarının etkisini en aza indirgeyen uygun reklibrasyon kısıtlama değerleri şu şekilde belirlenmiştir;

- 30 GeV
 - 200 fb⁻¹ için 30
 - 500 fb⁻¹ için 30
 - 1000 fb⁻¹ için 10
 - 3000 fb⁻¹ için 10
- 100 GeV
 - 200 fb⁻¹ için 20
 - 500 fb⁻¹ için 20
 - 1000 fb⁻¹ için 20
 - 3000 fb⁻¹ için 20

- 200 GeV
 - 200 fb⁻¹ için 20
 - 500 fb⁻¹ için 20
 - 1000 fb⁻¹ için 20
 - 3000 fb⁻¹ için 20

Faz1'de kullanılması planlanan SiFÇ'ler için farklı ışıklılık ve jet enerjilerinde radyasyon hasarının etkisi en aza indirgeyen uygun rekalebrasyon kısıtlama değerleri ise şu şekilde belirlenmiştir;

- 30 GeV
 - 200 fb⁻¹ için 100
 - 500 fb⁻¹ için 100
 - 1000 fb⁻¹ için 100
 - 3000 fb⁻¹ için 100
- 100 GeV
 - 200 fb⁻¹ için 150
 - 500 fb⁻¹ için 150
 - 1000 fb⁻¹ için 150
 - 3000 fb⁻¹ için 100
- 200 GeV
 - 200 fb⁻¹ için 200
 - 500 fb⁻¹ için 200
 - 1000 fb⁻¹ için 200
 - 3000 fb⁻¹ için 100

KAYNAKLAR

- CERN Brochure, 2009. <http://cds.cern.ch/record/1194057/files/CERN-Brochure-2009-007-Eng.pdf>, (Eriřim Tarihi: 30 Ekim 2014).
- CERN Brochure, 2009 <http://cds.cern.ch/record/1183425/files/CERN-Brochure-2009-006-Eng.pdf>, (Eriřim Tarihi: 30 Ekim 2014).
- CERN Brochure, 2010. <http://cds.cern.ch/record/1324123/files/CERN-Brochure-2010-007-Eng.pdf>, (Eriřim Tarihi: 30 Ekim 2014).
- CERN Brochure, 2012. <http://cds.cern.ch/record/1485019/files/CERN-Brochure-2012-004-Eng.pdf>, (Eriřim Tarihi: 30 Ekim 2014).
- CMS Collaboration, 2006. “Detector Performance and Software”, CMS Physics, Technical Design Report, Volume 1, CERN - LHCC 2006-001, <http://cds.cern.ch/record/922757/files/lhcc-2006-001.pdf>, (Eriřim Tarihi: 28 Ađustos 2014).
- CMS Collaboration, 2006. “Physics Performance”, CMS Physics, Technical Design Report, Volume 2, CERN - LHCC 2006-021, <http://cds.cern.ch/record/942733/files/lhcc-2006-021.pdf>, (Eriřim Tarihi: 28 Ađustos 2014).
- CMS Collaboration, 2008. “The CMS experiment at the CERN LHC”, The CERN Large Hadron Collider: Accelerator and Experiments, 122 p., http://iopscience.iop.org/1748-0221/3/08/S08004/pdf/1748-0221_3_08_S08004.pdf (Eriřim Tarihi: 28 Ađustos 2014).
- CMS Collaboration, 2011. “Technical Proposal for The Upgrade of The CMS Detector Through 2020”, CMS UG-TP-1, <https://cds.cern.ch/record/1355706/files/LHCC-P-004.pdf>, (Eriřim Tarihi: 28 Ađustos 2014).
- CMS Collaboration, 2013. “Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC”, CMS-HIG-12-028; CERN-PH-EP-2012-220, <http://arxiv.org/pdf/1207.7235v2.pdf>, (Eriřim Tarihi: 28 Ađustos 2014).

EVANS, L., and BRYANT, P. (Editors), 2008. “LHC Machine”, The CERN Large Hadron Collider: Accelerator and Experiments, http://jinst.sissa.it/LHC/LHCmachine/2008_JINST_3_S08001.pdf, (Eriřim Tarihi: 15 Ađustos 2014).

MANS, J., 2012. “CMS Technical Design Report for The Phase 1 Upgrade of The Hadron Calorimeter”, CERN – LHCC – 2012 - 015; CMS – TDR - 10, <http://cds.cern.ch/record/1481837/files/CMS-TDR-010.pdf>, (Eriřim Tarihi: 15 Ađustos 2014).

PEDRO, K., 2013, “Jet Performance with Radiation Damage and Detector Upgrades”, <https://indico.cern.ch/event/263339/contribution/0/material/slides/0.pdf>, (Eriřim Tarihi: 18 Ađustos 2014).

SALAM, G.P. and SOYEZ, G., 2007, “A Practical Seedless Infrared-Safe Cone Jet Algorithm”, <http://arxiv.org/pdf/0704.0292.pdf>, (Eriřim Tarihi: 10 Ađustos 2014).

<http://home.web.cern.ch/about/physics/standard-model>, (Eriřim Tarihi: 10 Ađustos 2014).

http://www.newscientist.com/article/dn14606-instant-expert-the-large-hadron-collider.html#.VD5eq_msX9x, (Eriřim Tarihi: 10 Ađustos 2014).

<http://sites.uci.edu/energyobserver/2012/11/28/introduction-to-the-large-hadron-collider-at-cern-2/>, (Eriřim Tarihi: 10 Ađustos 2014).

<http://www.lhc-closer.es/1/5/8/0/>, (Eriřim Tarihi: 10 Ađustos 2014).

<http://cms.web.cern.ch/news/what-cms>, (Eriřim Tarihi: 10 Ađustos 2014).

<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/ATLAS-en.html>, (Eriřim Tarihi: 10 Ađustos 2014).

<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/LHCb-en.html>, (Eriřim Tarihi: 10 Ađustos 2014).

<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/LHCf-en.html>, (Eriřim Tarihi: 10 Ađustos 2014).

<http://public.web.cern.ch/public/en/lhc/TOTEM-en.html>, (Eriřim Tarihi: 10 Ađustos 2014).

ÖZGEÇMİŞ

18/08/1990 yılında Gaziantep’te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Gaziantep’te tamamladı. 2008 yılında Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü’nde Lisans öğrenimine başladı. 2012 yılında Fizik bölümünden mezun oldu. 2012 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Fizik Anabilim Dalında tezli yüksek lisans programına başladı. 2013 yılının Haziran – Aralık ve 2014 yılının Temmuz – Aralık ayları arasında CERN’deki CMS deneyinde yapılan çalışmalara katıldı.