

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nazlı Bahar ÖZKAN

**CMS DEDEKTÖRÜNDE JET TETİKLEYİCİLERİNİN
VERİMLİLİĞİ VE SAHTE JET TETİKLENME ORANLARI**

FİZİK ANABİLİM DALI

ADANA-2019

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CMS DEDEKTÖRÜNDE JET TETİKLEYİCİLERİNİN VERİMLİLİĞİ
VE SAHTE JET TETİKLENME ORANLARI**

Nazlı Bahar ÖZKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

Bu tez 08/08/2019 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU
ÜYE

.....
Prof. Dr. Sefa ERTÜRK
ÜYE

Bu tez Enstitümüz Fizik Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

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

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

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CMS DEDEKTÖRÜNDE JET TETİKLEYİCİLERİNİN VERİMLİLİĞİ VE SAHTE JET TETİKLENME ORANLARI

Nazlı Bahar ÖZKAN

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ
Yıl: 2019, Sayfa: 71
Jüri : Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ
: Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU
: Prof. Dr. Sefa ERTÜRK

Büyük hadron çarpıştırıcısında gerçekleştirilen ağır iyon fiziği çalışmalarının amacı yüksek yoğunluk ve sıcaklıkta kuark gluon plazması üretmektir. Elde edilen yüksek yoğunluklu ortamın özelliklerinin araştırılabilmesi için veri seçimi yapılmasına izin veren tetikleyiciler kullanılmaktadır. Bu tetikleyiciler ilk seviye (L1) ve yüksek seviye (HLT) olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Bu tez, ortamın özelliklerini belirlemede önemli bir araç olan jetlerin bulunması için kullanılan tetikleyiciler üzerinedir. Bu çalışmada tetikleyicilerin çalışma performansları ve jet olarak algılanan sahte jetlerin tayini için kullanılan tetikleyicilerin verimliliği incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağır İyon, CMS, Jet Tetikleyicileri, L1, HLT

ABSTRACT

MSc THESIS

JET TRIGGER EFFICIENCIES AND FAKE TRIGGER RATES AT CMS

Nazlı Bahar ÖZKAN

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF PHYSICS

Supervisor : Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ
Year: 2019, Pages: 71
Jury : Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ
: Prof. Dr. İsa DUMANOĞLU
: Prof.Dr. Sefa ERTÜRK

The aim of nucleus-nucleus collisions at the Large Hadron Collider (LHC) is obtaining the hot and dense quark gluon plasma. Triggers are required to choose and save data one of the hard probes called jets to observe properties of hot and dense medium correctly. Those triggers consists two parts called first level (L1) and high level (HLT) triggers. This thesis study is on the efficiencies of jet finding triggers and investigation of fake jet rates to understand contribution of fake jets to events via fake jet triggers.

Key Words: Heavy Ion, CMS, Jet Triggers, L1, HLT

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

1. Standart Model

Standart Model (SM) evrenin nelerden oluştuğunu, içeriğinde neleri barındırdığını anlamak için parçacık fizikçileri tarafından geliştirilmiş teorik bir modeldir. Bu teori, maddenin temel yapı taşlarını ve bunların karmaşık etkileşimlerini açıklayan kapsamlı bir teoridir.

SM, evreni en iyi ihtimalle hesaplayabilen bir teori olmasına karşın açıklayamadığı bazı durumlar mevcuttur. Örneğin; yerçekimini standart model açıklayamamıştır. Benzer şekilde cevaplanamayan sorulardan bir tanesi de evrendeki parçacıkların neden farklı kütlelere sahip olduğudur. Bu gibi problemlere cevap verebilmek amacıyla Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi (CERN)'nde daha önce ulaşılmamış enerji düzeylerinde parçacıklar çarpıştırılarak ortaya çıkan fiziksel olaylar ve madde formları (Kuark Gluon Plazması-KGP gibi) incelenmektedir. CERN'de yapılan araştırmalarda, SM'in bazı eksiklerini tamamlayan, Higgs bozonunun özellikleri araştırılmaktadır.

2. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ) iki süper iletken halkada hadronları hızlandırmak için inşa edilmiştir. Her bir süper iletken halkanın uzunluğu 26.7 km'dir ve yerin 100 metre altındadır. 1984 ve 1989 yılları arasında CERN'deki büyük elektron pozitron çarpıştırıcısının yerine inşa edilmiştir. BHÇ tüneli Leman gölüne doğru %1,4 eğime sahiptir. BHÇ'ye bağlı enjektör görevi gören 2.5 km uzunluğunda iki tane transfer tüneli parçacıkların hızlandırılıp BHÇ'ye verilmesini sağlar.

BHÇ son teknolojik özelliklerle donatılmış ve parçacıkları zıt yönlerde hızlandırıp çarpıştırma esasına göre çalışan bir makinedir. Ters yöne hızlandırılan parçacıklar sekiz farklı noktada kesiştirilerek zıt yönde gelen parçacıkların çarpışması sağlanır. sekiz farklı çarpışma noktasından 4'ü gerekli ekipmanlarla

donatılarak 4 farklı deney sistemi inşa edilmiştir. Bunlar ATLAS, CMS, LHC-b ve ALICE' tir. Bu deney sistemlerinin her biri farklı amaçlarla kurulmuş olup bu tez çalışması CMS deneyindeki çalışmalar üzerinedir.

2.1. Kompakt Müon Solenoidi

Kompakt Müon Solenoidi (CMS) detektörü CERN'deki BHÇ halkası üzerine kurulmuş deneylerden biridir. Bu detektör yerin 100 metre altında Fransız kasabası Cessy yakınlarında ve Cenevre Gölü ile Jura Dağları arasındadır. BHÇ 'nin temel motivasyonlarından biri elektrozayıf simetri kırılımının doğasına ışık tutabilmektir. Bu kırılımdan Higgs mekanizmasının sorumlu olduğu düşünülmektedir..

BHÇ'deki ağır iyon çarpışmalarında her bir demet çarpışmasında yaklaşık olarak 20 tane esnek olmayan çarpışma olayı üst üste binmektedir. Bu her 125 ns'de bir 1000 yüklü parçacığın etkileşim noktasından etrafa yayılması anlamına gelir. Aynı demet çarpışmasında ortaya çıkan bu veri içerisinde yapılan incelemede 20 esnek olmayan çarpışmanın bir tanesi incelenirken diğer çarpışmalardan gelen verinin bir karmaşa yaratacağı açıktır. Bu problem yüksek tanecikli, iyi zaman çözünürlüğüne sahip bir detektör kullanılarak aşılabilir. Bu da çok fazla detektör kanalının kullanılmasını gerektirir. CMS sahip olduğu yüksek tanecikli yapısıyla bu probleme çözüm niteliğindedir. Sahip olduğu milyonlarca detektör kanalını çok iyi senkronize ederek aynı demet çarpışmasından gelen farklı parçacık çarpışmalarını yüksek çözünürlükle ayırabilmektedir.

2.1.1. Hadronik Kalorimetre

CMS detektörü farklı özellikler içeren yüksek enerjili süreçleri incelemek için dizayn edilmiştir. Hadron kalorimetresi (HKAL) özellikle hadron jetlerinin ölçülmesi, kayıp enerjiye sebep olan nötrino ve egzotik parçacıkların varlanabilmesi için önemlidir. Şekil 2.2'de CMS detektörünün genel yapısı görülmektedir. Hadron kalorimetresi, izleyici sisteminden ve elektromanyetik kalorimetreden sonra yer alır. Hadron kalorimetresi fiçı bölgesi ve kapak

bölgesinden oluşur. Hadron kalorimetresi solenoid mıknatısın iç kısmında ve dış kısmında yer alır ve 4 farklı kalorimetrenin birleşiminden meydana gelir. Bunlar; İleri Hadron Kalorimetresi (HF), Hadronik Uç Kapak Kalorimetresi (HE), Hadronik Dış Kapak Kalorimetresi (HO) ve Hadronik Fıçı Kalorimetresi (HB) dir.

2.1.2 Elektromanyetik Kalorimetre

Elektronik Kalorimetre (EKAL) 61200 kurşun tungstenden (PbWO_4) oluşmuş hermetik homojen bir kalorimetredir. Her bir kristal $0.0174 \eta \times 0.0174 \phi$ yüzey genişliğine ve 230 mm uzunluğa sahiptir. Kristaller fıçı bölgesine ve iki kapak bölgesine sıralanarak ortam kapatılmıştır. Yüksek yoğunluklu kristallerin kullanılması sayesinde yüksek granüllü ve radyasyona dayanıklı bir kalorimetre elde edilmiştir. Her bir kristale bağlanan fotodiyotlar ve fototriodlar sayesinde kristallerde depolanan enerji ölçülebilmektedir. Fıçı bölgesinde fotodiyotlar, kapak bölgesinde ise fototriodlar kullanılmıştır. Bu kalorimetre $|\eta| < 3.0$ rapidite bölgesinde yer alır.

2.1.3. CMS Detektöründe Tetikleyici Sistemleri

BHÇ yüksek etkileşim oranlarında hem proton hem de ağır iyon çarpışmaları sağlar. Bu çarpışmalar 125 ns’de bir gerçekleşir (proton için 25 ns). Bu çarpışmalar sonucu oluşan bütün veriyi kaydetmek mümkün olmadığı için, elde edilen verinin incelemeye değer olup olmadığına karar vermemiz ve bu karar sonucu incelemek istediğimiz veriyi kaydetmemiz gerekmektedir. Bu olay seçim işlemini yapan sisteme, tetikleyici sistemi adı verilir. Elde edilen veriler iki adımda azaltılarak, kaydedilecek veriden tasarruf edilir. Bu adımlar ilk seviye tetikleyici sistemi ve yüksek seviye tetikleyici sistemi olarak adlandırılır.

2.1.3.1. İlk Seviye Tetikleyici Sistemi

CMS detektöründe yer alan ilk seviye tetikleyici sisteminin (L1) elemanları her bir çarpışma olayı sonrasında elde edilen veriyi inceleyip kaydedilip

kaydedilmeyeceğine karar verebilmesi için 3.2 μ s süreye sahiptir. Bu süre içerisinde olay verisi arabelleklerde saklanmalı ve daha kompleks incelemeler için ileri seviye tetikleyici sistemine gönderilip gönderilmeyeceğine karar verilmesi gerekmektedir.

CMS dedektöründe ilk seviye tetikleyici sistemi müonların, elektronların, jetlerin, fotonların ve kayıp enine enerjinin belirlenmesini esas almıştır. Tetikleyici sistemi eşik değerlerini kabul edilebilir bir sınırdan tutarak, CMS’te elde edilen fizik grafiklerinde yeterli istatistiği sağlayacak kadar olay verisi sağlamakla yükümlüdür. Elde edilen verinin sistematik hata oranının mümkün olduğunca az olması gerekmektedir.

2.1.3.2. Yüksek Seviye Tetikleyici Sistemi

CMS ilk seviye tetikleyici sistemi yüksek orandaki çarpışma sayısını filtreleyerek azaltmak ve kaydedilebilecek bir seviyeye getirmek zorundadır. Fizik analizleri ve daha iyi olay filtreleme işlemleri için, ilk seviye tetikleyici sisteminin kabul ettiği her bir olaya ait veri, 512 geçici hafıza bölgesinden tek bir yere taşınmak zorundadır. Yığın bellek ile offline hesaplama sistemlerinin kapasitelerini birbirleriyle eşleştirebilmek için deney çıktısı saniyede 100 olayı geçmemelidir. Bu fonksiyon, alt detektörlerin okuma ünitelerine bağlı yüksek performanslı okuma ağına sahip bir sistem tarafından gerçekleştirilir. Bu sistem bir bilgisayar tarlasında tanımlanmış olan olay filtreleme birimidir. Olay verisi akışı olay yönetim sistemi tarafından kontrol edilir.

Yüksek seviye tetikleyici sistemi (HLT) bir olayı tutma veya reddetme kararını verebilmek için tüm olay verisini kullanır. Yüksek seviye tetikleyici sistemi olay oranını 10^3 faktöründe azaltmak ve yığın belleğe saniyede 100 olay yazmak için dizayn edilmiştir. Yüksek seviye tetikleyici sisteminin son aşaması yapılandırma yapar ve farklı imzalar ile veriyi işaretleyerek, kolaylıkla erişilebilecek veri setleri halinde kaydeder.

3. Veri Analizi

3.1. Jet Tetikleyicilerinin Verimliliği

Ağır iyon çarpışmaları sırasında CMS’te bulunan tetikleyici sistemler aktif olduğu için, bu sistemlerin alınan detektör verisi üzerinde göstereceği etki, nasıl bir verimlilikle çalıştıklarına bağlıdır. 2010 Kasım ayından önce kurşun-kurşun ağır iyon çarpışmalarına ait detektör verisi olmadığı için, yapılacak çarpışmalar öncesinde Monte Carlo simülasyon verisi kullanılarak tetikleyicilerin verimlilikleri belirlenmiştir. Bu tezde anlatılan çalışmalardan sonra elde edilen sonuçlara göre, Kasım 2010 tarihinde gerçekleştirilen çarpışmalarda kullanılacak jet tetikleyicileri ve eşik değerleri belirlenmiştir. Jet tetikleyicilerinin çalışma performansları simülasyon verileri kullanılarak belirlendikten sonra alınan detektör verisi incelenmiş ve MC – Detektör veri karşılaştırmaları yapılarak, tetikleyici sistemlerin davranışları incelenmiştir.

3.2. Sahte Tetikleyici Oranı Ve Sahte Jetler

Jet bulma algoritmasının bulduğu bütün jetler gerçek jet değildir. Bu jetlerin bir kısmı sahte jettir. Sahte jetler, jet bulma algoritmamızın jet sandığı ama asıl olarak jet olmayan detektör verileridir. Sahte jet bulma işlemi simülasyon verisinde kolaylıkla yapılabilir. Detektör verisinde ise bu işlemi yapmak tam olarak mümkün değildir. Detektör verisinde sahte jet tahmininde bulunabilmek için simülasyon verisi ile elde edilen sonuçlar kullanılmaktadır. Simülasyon verisinde sahte jetleri bulmak için genjetler ile kalojetler eşleştirilerek, genjetlerle eşleşmeyen kalojetlerin jet tetikleyicilerini çalıştırma oranına bakılmıştır.

Eşleştirme işlemi için, simülasyon aşamasında ürettiğimiz Genjet ile kalorimetrede ölçtüğümüz kalojetin aynı eksende olup olmadığına bakarız. Eğer genjet ekseni kalojet eksenine aynı doğru üzerinde veya yakınındaysa bu bize üretilmiş genjetin kalorimetrede kalojet olarak ölçüldüğünü gösterir ve beklenen sonuç budur. Eğer eksenler uyuşmuyorsa bu da bize ölçtüğümüz kalojetin üretilmediğini yani gerçek bir jet olmadığını yani sahte bir jet olduğunu gösterir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada CMS detektöründe 2010 yılında gerçekleştirilen ağır iyon çarpışma verilerinden jet içeren olayların bulunması, istenilen özelliklere sahip olayların kayıt edilmesi ve jetlerin yüksek doğrulukla bulunması gibi misyonlara sahip olan jet tetikleyicilerinin performansları ve çalışma verimlilikleri incelenmiştir.

Bu çalışmanın ilk etabında elektronik sistemlerden oluşan ilk seviye tetikleyici sisteminin jetlerin bulunması ve yapılandırılması adımları ele alınmıştır. Simülasyon verisi kullanılarak gerçekleştirilen bu adımlar sonrası ilk seviye jet tetikleyicisinin kalorimetrelerde gözlemlenen jetleri yüksek doğrulukla bulunduğu gözlemlenmiştir. İlk seviye jet tetikleyicisi buna ek olarak düşük enerji spektrumunda yer alan birçok sahte jet bulmuştur.

Jet tetikleyicilerinin performansı ve verimlilik eğrileri incelenerek, hangi jet tetikleyicilerinin kurşun-kurşun çarpışmalarında kullanılacağı simülasyon verisi kullanılarak bulunmuştur. Yapılan verimlilik çalışmaları sonucu, enerji eşik değeri 30 GeV olan tekli jet tetikleyicisi minimum enerji eşik seviyesine sahip tetikleyici olarak seçilmiş ve yüksek seviye tetikleyicinin baz olarak kullanacağı tetikleyici olmasına karar verilmiştir.

TEŞEKKÜR

Çalışmamın gerek ders,gerek tez aşamasında bana her türlü desteği sağlayan,sabırını ve bilgilerini hiçbirzaman esirgemeyen ve onlardan çok şey öğreneceğime inandığım değerli danışman hocalarım Sayın Prof.Dr.Gülşen Önengüt ve Sayın Prof. Dr. Ayşe POLATÖZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez yazım aşamasında engin bilgi ve tecrübelerini paylaşarak,olumlu fikir ve yönlendirmeleriyle bana katkı sağlayan değerli hocalarım Sayın Prof.Dr.Sefa Ertürk,Sayın Prof.Dr. İsa DUMANOĞLU,Sayın Prof.Dr.Eda EŞKUT ve Sayın Prof.Dr.Aysel Kayış TOPAKSU'ya sonsuz teşekkürler.

Yüksek Lisans çalışmalarım esnasında her konuda desteğini hissettiğim ve her zaman yanımda olan değerli arkadaşım Alishah NART'a çok teşekkür ederim.

Son olarak,eğitim hayatımla sınırlayamayacağım kadar büyük destek gördüğüm aileme sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	IX
İÇİNDEKİLER	X
ÇİZELGELER DİZİNİ	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIV
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
2.1 Büyük Hadron Çarpıştırıcısı	5
2.2.Kompakt Müon Solenoidi	8
2.2.1 Solenoid Mıknatıs	12
2.2.2.Müon Odacıkları	13
2.2.3 İzleyici Sistemi.....	14
2.2.4 Kalorimetre Sistemleri	16
2.2.4.1 Hadronik Kalorimetre	16
2.2.4.1.1 Hadronik Fıçı Kalorimetresi	16
2.2.4.1.2 Hadronik Kapak Kalorimetresi	17
2.2.4.1.3 İleri Hadron Kalorimetresi	18
2.2.4.1.4 Hadronik Dış Yüzey Kalorimetresi.....	19
2.2.4.2 Elektromanyetik Kalorimetre.....	19
2.2.5 CMS Detektöründe Tetikleyici Sistemleri	21
2.2.5.1 İlk Seviye Tetikleyici Sistemi	23
2.2.5.1.1 Kalorimetre Tetikleyicisi	25
2.2.5.1.2 Müon Tetikleyicisi	26

2.2.5.1.3 Global Tetikleyici.....	27
2.2.5.2 Yüksek Seviye Tetikleyici Sistemi	28
3. MATERYAL VE METOD	31
3.1 CMS Deneyinde Ağır İyon Fiziği Çalışmaları.....	31
3.1.1 Ağır İyon Çarpışmaları	31
3.1.2 Veri Örnekleri ve Tetikleyici Seçimleri.....	31
3.1.3 Olay Seçim Prosedürü.....	32
3.1.4 Merkeziliğin Belirlenmesi.....	33
3.2 Jetler ve Jet Tetikleyicileri	34
3.2.1. Ağır İyon Fiziğinde Jetler	36
3.2.2 Jet Yapılandırılması	36
3.2.3 Jet Tetikleyicileri.....	38
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	39
4.1. Jet Bulma Verimliliği.....	39
4.1.1. Lider Jetlerin Bulunması	39
4.2. Sahte Tetikleyici Oranı Ve Sahte Jetler	45
4.3. İlk Seviye Jet Tetikleyicilerinin Verimliliği	49
4.4. Yüksek Seviye Jet Tetikleyicilerinin Verimliliği.....	57
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. Fermiyonlar ve Kuvvet Taşıyıcı Parçacıklar.....	1
Çizelge 2.1. BHÇ’de İyon Çarpışmaları İçin Seçilmiş Demet Parametreleri	7





ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. Çekirdek çarpışmaları sonrasında kuark gluon plazması genişlemesinin şematik diyagramı	3
Şekil 2.1. BHÇ' de Proton ve İyon Demet Enjeksiyon Şeması	8
Şekil 2.2. Kompakt Muon Solenoidi	11
Şekil 2.3. Solenoid Mıknatısın Genel Görünümü	13
Şekil 2.4. CMS Müon Odacıklarının Yapısı	14
Şekil 2.5. CMS İzleyici Sisteminin İlk 3 Katmanı	15
Şekil 2.6. CMS Dedektörünün Boyuna Görünüşü Ve Hadronik Kalorimetrenin Kısımları	17
Şekil 2.7. Hadronik kapak kalorimetresi (HE)	18
Şekil 2.8. Hadronik dış yüzey kalorimetresi	19
Şekil 2.9. CMS elektromanyetik kalorimetrenin dizayn şeması	21
Şekil 2.10. CMS Tetikleyici Sisteminin Şeması	22
Şekil 2.11. Tetikleyici Kuleleri ve Kalorimetreler.....	26
Şekil 3.1. CMS Ağır İyon Çarpışmalarında Ölçülen Merkezilik Parametresi	34
Şekil 3.2. Jet Gelişim Süreci	35
Şekil 4.1. Lider Kalojetlerin Enerji Spektrumu.....	41
Şekil 4.2. Lider Kalojet ve Tüm kalojet enerji spektrumunun %0-10 merkeziliğe göre dağılımı	42
Şekil 4.3. Lider Kalojet ve Tüm Kalojet enerji spektrumunun %30-40 merkeziliğe göre dağılımı	42
Şekil 4.4. Lider Genjet ve Tüm Genjetlerin Enerji Spektrumu	43
Şekil 4.5. Detektör verisinden alınmış lider kalojetler ve tüm kalojetlerin enerji spektrumu.....	44
Şekil 4.6. Lider Kalojetler ile Genjetlerin Eşleştirilmesi	45
Şekil 4.7. Sahte Jet Tetikleyicileri Oranı.....	46
Şekil 4.8. Sahte Jet Oranının %0-10 Merkezi Çarpışmalardaki Dağılımı	47

Şekil 4.9. Sahte Jet Oranının %30-40 Merkezi Çarpışmalardaki Dağılımı.....	48
Şekil 4.10. Sahte Jet Oranının %50-60 Merkezi Çarpışmalardaki Dağılımı	48
Şekil 4.11. Sahte Jet Oranının %80-90 Merkezi Çarpışmalardaki Dağılımı	48
Şekil 4.12. Tekli Jet Tetikleyicilerinin Verimliliği (Simülasyon Verisi).....	49
Şekil 4.13. Tekli Jet Tetikleyicilerinin Verimliliği (2010 Ağır İyon Verisi)	50
Şekil 4.14. Tekli Jet Tetikleyicisi Verimliliğinin %0-10 Çarpışma Merkeziliğine Göre Değişimi (Simülasyon Verisi)	51
Şekil 4.15. Tekli Jet Tetikleyicisi Verimliliğinin %20-30 Çarpışma Merkeziliğine Göre Değişimi (Simülasyon Verisi)	52
Şekil 4.16. Tekli Jet Tetikleyicisi Verimliliğinin %40-50 Çarpışma Merkeziliğine Göre Değişimi (Simülasyon Verisi)	52
Şekil 4.17. Tekli Jet Tetikleyicisi Verimliliğinin %60-70 Çarpışma Merkeziliğine Göre Değişimi (Simülasyon Verisi)	53
Şekil 4.18. Tekli Jet Tetikleyicisi Verimliliğinin %0-10 Çarpışma Merkeziliğine Göre Değişimi (Detektör Verisi)	54
Şekil 4.19. Tekli Jet Tetikleyicisi Verimliliğinin %20-30 Çarpışma Merkeziliğine Göre Değişimi (Detektör Verisi)	54
Şekil 4.20. Tekli Jet Tetikleyicisi Verimliliğinin %40-50 Çarpışma Merkeziliğine Göre Değişimi (Detektör Verisi)	55
Şekil 4.21. Tekli Jet Tetikleyicisi Verimliliğinin %60-70 Çarpışma Merkeziliğine Göre Değişimi (Detektör Verisi)	55
Şekil 4.22. Lider Kalojet Psüdorapiditesinin (η), Jet Tetikleyici Verimliliğiyle Korelasyonu (Simülasyon Verisi)	56
Şekil 4.23. Lider Kalojet Psüdorapiditesinin (η), Jet Tetikleyici Verimliliğiyle Korelasyonu (Detektör Verisi).....	57
Şekil 4.24. Yüksek Seviye Jet Tetikleyicisinin Verimliliği (Simülasyon Verisi)...	58
Şekil 4.25. Yüksek Seviye Jet Tetikleyici Verimliliği ve Genjet Enerjisiyle Korelasyonu	59

Şekil 4.26. Yüksek Seviye Jet Tetikleyicisinin Verimliliği ve Lider Kalojetler ile Korelasyonu (Detektör Verisi)	60
---	----





SİMGELER VE KISALTMALAR

SM	: Standart Model
CERN	: Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
BHÇ	: Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
CMS	: Sıkı Muon Solenoidi
ATLAS	: Büyük Toroidal Dedektör
ALICE	: Büyük İyon Çarpıştırma Deneyi
LHCb	: LHCb Fiziği Deneyi
PS	: Proton Sinkrotron
SPS	: Süper Proton Sinkrotron
EKAL	: Elektromanyetik Kalorimetre
HKAL	: Hadronik Kalorimetre
HB	: Hadronik Fıçı
HE	: Hadronik Uç Kapak
HO	: Hadronik Dış
HF	: İleri Hadronik Kalorimetre
CSC	: Katot Şerit Odaları
DT	: Sürüklenme Tüpleri
L1	: Seviye 1
ASICs	:Pratik Özel Tümüleşik Devreler
FPGAs	:Saha Programlanabilir Geçit Diziler
PLDs	:Programlanabilir Mantık Devreleri
TTS	:Tetikleyici Daraltma Sistemi
RHIC	:Rölativistik Ağır İyon Çarpıştırıcısı
BSC	:Demet Sintilatör Sayacı
QGP	:Kuark Gluon Plazması
QCD	:Kuantum Kromodinamik

HLT	:Yüksek Seviye Tetikleyici
LINAC	:Doğrusal Hızlandırıcı
η	: Psüdo rapidite
θ	: Polar (Kutupsal) Açısı
ϕ	: Düzlemsel (Azimutal) Açısı
PbWO ₄	: Kurşun Tungsten
eV	: Elektron Volt
MeV	: Milyon Elektron Volt
GeV	: Milyar Elektron Volt
TeV	: Trilyon Elektron Volt
L	: Işıklılık
$\sqrt{s}$	: Kütle Merkezi Enerjisi
p_T	: Dikine Momentum
Pb	: Kurşun

1. GİRİŞ

Standart Model (SM) evrenin nelerden oluştuğunu, içeriğinde neleri barındırdığını anlamak için parçacık fizikçileri tarafından geliştirilmiş teorik bir modeldir. Bu teori, maddenin temel yapı taşlarını ve aralarındaki etkileşimleri açıklayan kapsamlı bir teoridir. SM altı kuark, altı lepton ayrıca altı antikuark ve altı antilepton içerir. Temel etkileşimler foton, W^+ , W^- , Z^0 bozonları ve gluon gibi taşıyıcı parçacıklar vasıtasıyla gerçekleşir. Madde parçacıkları kuarklar ve leptonlar olmak üzere iki gruba ayrılır her grupta 6 temel parçacık olup çiftler halinde üç aile (nesil) şeklinde gruplandırılmıştır. Üç aile temel kuvvet taşıyıcı parçacıkları ile birlikte Tablo 1.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Fermiyonlar ve Kuvvet Taşıyıcı Parçacıklar

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

Temel etkileşimler çekici ve itici kuvvetler ile bozunum ve yok olmayı

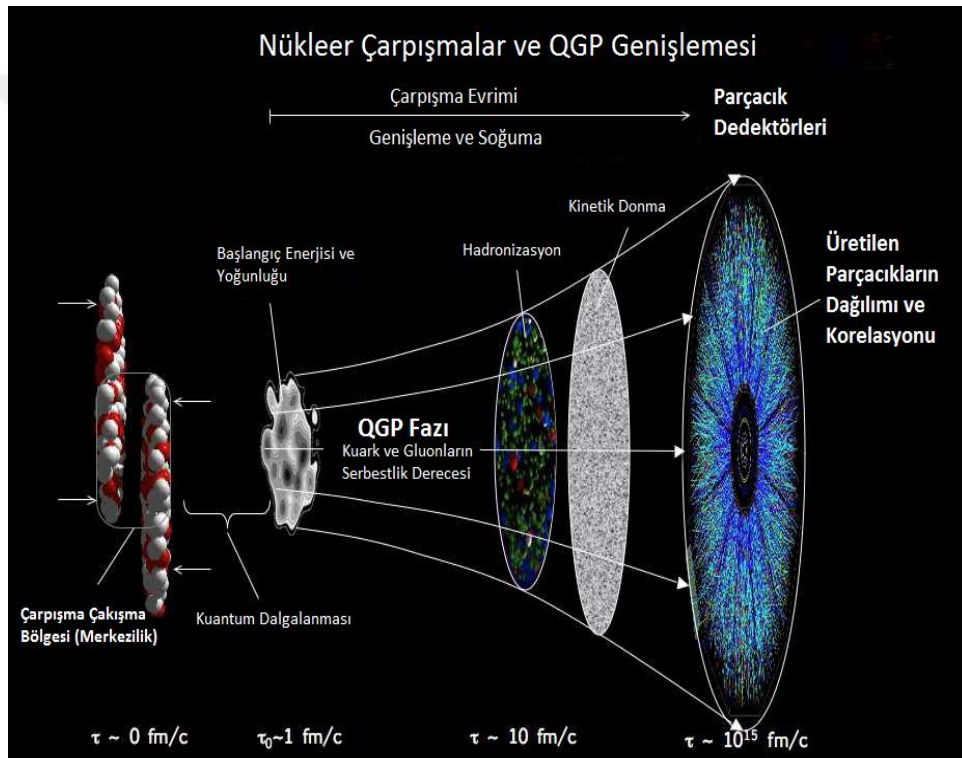
içerir. Parçacıklar arasında 3 farklı temel etkileşim biçimi vardır ve yerçekimi kuvveti ile beraber evrende 4 temel etkileşim ile vardır. Bu etkileşimler;

- **Güçlü Etkileşim;** güçlü etkileşim kuvveti kuarkları bir arada tutarak hadronların oluşmasını sağlayan kuvvettir ve taşıyıcı parçacığı gluondur.
- **Elektromanyetik Etkileşim;** elektromanyetik kuvvet, yüklü parçacıkların birbirlerini itmesine ve çekmesine yol açan kuvvettir. Taşıyıcı parçacığı fotondur.
- **Zayıf Etkileşim;** Zayıf etkileşim, ağır kuark ve leptonların daha hafif kuark ve leptonlara bozunumundan sorumludur. Zayıf etkileşimin taşıyıcı parçacıkları W^+ , W^- , Z^0 bozonlarıdır. Çevremizdeki madde dengeye ulaşmış ilk nesil kuark ve leptonlardan oluşmuştur. Kuark ve leptonlar en hafif biçimlerinde oldukları için daha fazla bozunamayacak durumdadır.

SM, evreni en iyi ihtimalle hesaplayabilen bir teori olmasına karşın açıklayamadığı bazı durumlar mevcuttur. Örneğin; yerçekimini standart model açıklayamamıştır. Benzer şekilde cevaplanamayan sorulardan bir tanesi de evrendeki parçacıkların neden farklı kütlelere sahip olduğudur. Bu gibi problemlere cevap verebilmek amacıyla Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi (CERN)'nde daha önce ulaşılmamış enerji düzeylerinde parçacıklar çarpıştırılarak ortaya çıkan fiziksel olaylar ve madde formları (Kuark Gluon Plazması-KGP gibi) incelenmektedir. CERN'de yapılan araştırmalarda, SM'in bazı eksiklerini tamamlayan, Higgs bozonunun özellikleri araştırılmaktadır.

CERN'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ) Ekim 2009 - Aralık 2012 yılları arasında proton-proton (p-p) ve kurşun-kurşun (Pb-Pb) çekirdeklerini, BHÇ halkası üzerine yerleştirilmiş dedektör merkezlerinde çarpıştırmıştır. Bu

çarpışmalardan alınan ve incelenen veriler sonucu 4 Temmuz 2012 tarihinde Higgs bozonu benzeri olarak adlandırılan yeni bir parçacık keşfedilmiştir. Kesin kanıtlar elde etmek için daha fazla veri toplanması gerekmekte olup, BHÇ üzerindeki iki ana deney olan CMS ve ATLAS yaptıkları analizler sonucu 126 GeV kütle aralığında ve %95 güvenilirlik seviyesinde yeni bir parçacık keşfettiklerini ve bu parçacığın Higgs bozonu olabileceğini duyurdular (CMS Kollaborasyonu, 2012).



Şekil 1.1. Çekirdek çarpışmaları sonrasında kuark gluon plazması genişlemesinin şematik diyagramı (Sorensen, 2009)

Şekil 1.1'de BHÇ 'de gerçekleştirilen iyon çarpışmalarının hadronizasyon süreci şematik olarak anlatılmıştır.

Temel etkileşimler biçimleri içerisinde güçlü etkileşim ile daha fazla ilgilenilmektedir. Bunun sebebi; yüksek enerjili parçacık çarpışmalarında ortaya

çıkan kuarkların ve gluonların incelenebilmesi için güçlü etkileşimin kurallarının bilinmesi gerekliliğidir. Güçlü etkileşimi anlatan temel teori Kuantum KromoDinamik (KRD) olarak adlandırılır. Son yıllarda, bu teoriyi uç noktalarda (yüksek sıcaklık, yoğunluk ve basınç vs.) incelemek teorik ve deneysel olarak çekici hale gelmiştir. KRD sadece zengin, dinamik içerikli kuantum alan teorisi değil, ayrıca SM'in laboratuvar ortamında tam özelliklerine ulaşılabilmiş kısmıdır. Bu teori kullanılarak parçacık çarpışmalarında ortaya çıkan kuark gluon plazmasının karakteristiği incelenebilir ve evrenin ilk oluşum anlarındaki fiziksel koşullar anlaşılabilir.

Ultra rölativistik atomik çekirdekler gibi sistemlerin dinamiğini inceleyebilmek için sadece deneysel araçlar bulunmaktadır. Kafa-kafaya çekirdek çarpışmaları parçacık çarpışmalarına kıyasla daha sıcak, yoğun ve yüksek enerjili KRD maddesi oluşturabilir. Yüksek enerjili iyon çarpıştırıcıları yüksek derecede uyarılmış kuark gluon plazmasını inceleme imkanını sağlar. BHÇ bize bu imkânı fazlasıyla vermektedir.

BHÇ daha önceki iyon çarpıştırıcılarından 30 kat daha yüksek iyon-iyon kütle merkezi enerjisi sağlamaktadır. Bu enerji aralığına daha önce hiçbir laboratuvar ortamında erişilememiştir (CMS TDR, 2007)

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1 Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ) iki süper iletken halkada hadronları hızlandırmak için inşa edilmiştir. Her bir süper iletken halkanın uzunluğu 26.7 km'dir ve yerin 100 metre altındadır. 1984 ve 1989 yılları arasında CERN'deki büyük elektron pozitron çarpıştırıcısının yerine inşa edilmiştir. BHÇ tüneli Lemman gölüne doğru %1,4 eğime sahiptir. BHÇ'ye bağlı enjektör görevi gören 2.5 km uzunluğunda iki tane transfer tüneli parçacıkların BHÇ'ye verilmesini sağlar (CMS TDR, 2007).

BHÇ son teknolojik özelliklerle donatılmış ve parçacıkları zıt yönlerde hızlandırıp çarpıştırma esasına göre çalışan bir makinedir. Ters yöne hızlandırılan parçacıklar 8 farklı noktada kesiştirilerek zıt yönde gelen parçacıkların çarpışması sağlanır. 8 farklı çarpışma noktasından 4'ü gerekli ekipmanlarla donatılarak 4 farklı deney sistemi inşa edilmiştir. Bunlar ATLAS, CMS, LHC-b ve ALICE' tir. Bu deney sistemlerinin her biri farklı amaçlarla kurulmuş olup bu tez çalışması CMS deneyinde gerçekleşmiştir. BHÇ'de genel program hadronların hızlandırılmasıdır yani proton-proton çarpışmalarıdır. Buna ek olarak ağır iyon çarpışmaları her yılın bir ayı kadar süreyle gerçekleştirilerek ekstrem koşullarda kuark gluon plazması oluşturulması amaçlanmıştır. Ağır iyon çarpışmaları BHÇ konseptine sonradan dahil edilerek gerekli düzenlemeler yapılmış ve ilk kurşun-kurşun ($^{208}\text{Pb}^{82+}$) çarpışmaları 2010 Kasım ayında gerçekleştirilmiştir. 8,33 Tesla manyetik alanında hızlandırılan iyonların enerjisi her bir iyon başına 2.76 TeV ve ışıklılık $1.0 \times 10^{27} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ olur. (CMS Coll., 2011).

İşıklılık; birim zamanda birim alandan geçen parçacık sayısıdır. Birimi cgs sisteminde $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ dir. İşıklılık bir hızlandırıcının performansını karakterize edebilmek için gereken önemli bir değerdir. İşıklılık aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$L = \frac{gf k_B N_p^2}{4p e_n b^*} F \quad (2.1)$$

Burada,

γ :Lorentz Faktörü,

f :Dolanım Frekansı,

k_B :Demet Sayısı,

N_p :Demet Başına İyon Sayısı,

e_n :Normalize Edilmiş Enine Yayınım,

β^* :Betatron Fonksiyonu,

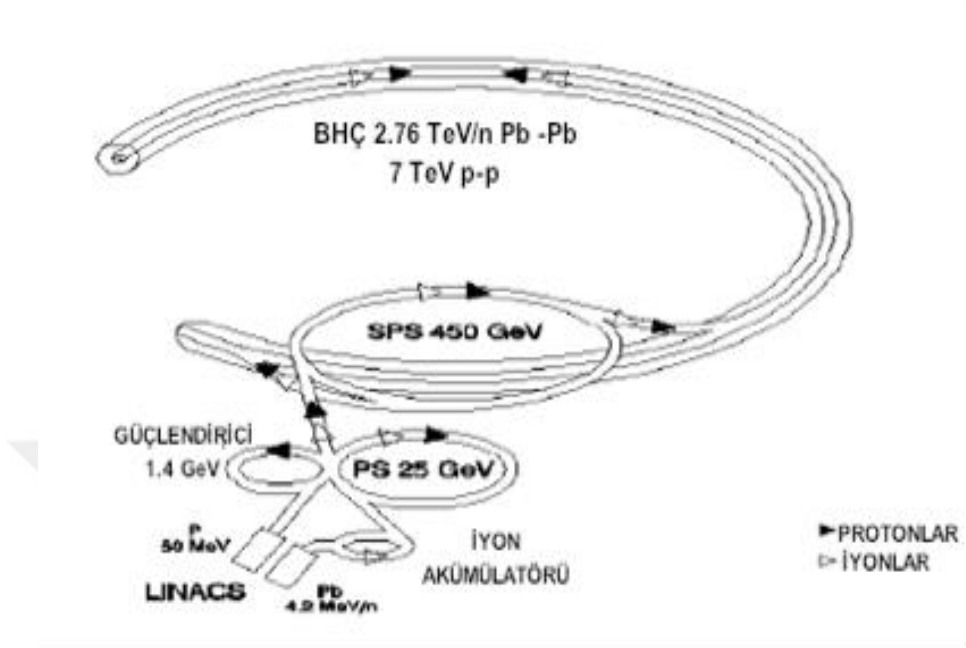
F :Kesişme Açısına Bağlı Redüksiyon Faktörü'dür

BHÇ halkasının temel donanım sistemi ağır iyon programı için uyumlu görünse de, demet dinamiği ve performans limitleri gibi pek çok açıdan proton çarpışmalarından farklı olmasına rağmen proton çarpışmalarıyla ortak özelliklere sahiptir. Örnek olarak; iyon demetlerinin nominal radyasyonu öyle bir seçilmiştir ki iyon demetleri, proton demetleriyle aynı geometrik özelliklere sahiptir ve aynı manyetik alan içerisinde benzer enerjiler taşımaktadırlar. Buna karşın iyon demetleri nitel ve nicel olarak proton demetlerinden farklıdır. Bu sebeple bazı hızlandırıcı parametreleri de farklılık gösterir. Bu farklılıklar Tablo 2.1'de görülebilir.

Çizelge 2.1. BHC'de İyon Çarpışmaları için Seçilmiş Demet Parametreleri (LHC Design Report, 2004)

Demet Parametreleri	Birim	Enjeksiyon	Çarpışma
Kurşun iyon enerjisi	[GeV]	36900	574000
Nükleon başına enerji	[GeV]	177,4	2759
Demet başına iyon sayısı		$7,0 \times 10^7$	$7,0 \times 10^7$
Demet sayısı		592	592
Demet başına depolanan enerji	[MJ]	0,245	3,81
Sinkrotron frekansı	[Hz]	63,7	23,0
RMS demet uzunluğu	[cm]	9,97	7,94

Ağır iyon çarpışmaları özel olarak ALICE detektörü için sağlanmakla birlikte CMS ve ATLAS deneyleri de, bu fiziksel olaya katılma kararı almış ve iyon çarpışmalarında veri alımı yaparak incelemelere başlamışlardır. CMS, ağır iyon fiziği çalışabilmek için gereken yüksek dizayn kalitesine sahiptir (CMS TDR, 2006).



Şekil 2.1. BHÇ’de Proton ve İyon Demet Enjeksiyon Şeması

İyon-iyon çarpışmalarında iyon başına $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV kütle merkezi enerjisine sahip çarpışmalarda hesaplanan toplam etkileşim tesir kesiti 8 milibarn’dır. CMS’te yaklaşık olarak saniyede 10^9 elastik olmayan çarpışma olayı gözlemlenmiştir. Bu yüksek olay oranı bazı zorluklara yol açmıştır. Bunlardan en önemlisi tüm veriyi depolama kapasitesinin bulunmamasıdır. Veri kaydında tasarruf yapabilmek için olay seçimi yaparak saniyede 10^9 olayı, saniyede 100 olaya indirgeyebilmektir. Olay seçimi yapabilmek için her 125 ns’de bir karşılaşan demetlerden gelen veriyi inceleyerek, tüm veriyi eleyip gerekli verileri teyplere kaydedecek bir tetikleyici sisteme ihtiyaç duyulmuştur (CMS Trigger TDR, 2000).

2.2.Kompakt Müon Solenoidi

Kompakt Müon Solenoidi (CMS) detektörü CERN’deki BHÇ halkası üzerine kurulmuş deneylerden biridir. Bu detektör yerin 100 metre altında Fransız kasabası Cessy yakınlarında ve Cenevre Gölü ile Jura Dağları arasındadır. BHÇ

'nin temel motivasyonlarından biri elektro zayıf simetri kırılmasının doğasına ışık tutabilmesidir. Bu kırılmadan Higgs mekanizmasının sorumlu olduğu düşünülmektedir. Higgs mekanizmasının deneysel çalışmaları SM'in matematiksel kararlılığını açıklayabilmektedir.

SM'e alternatif olmaya aday olan çeşitli teoriler yeni simetrilere, yeni kuvvetlere veya bileşenlere ihtiyaç duymaktadır. Daha da fazlası bu teorilerin desteklenmesi için yapılan keşifler sonucu birleşik alan teorisinin bulunmasının kolaylaşması umudu vardır. Yeni keşifler süper simetri veya ekstra boyut formunda olabilir.

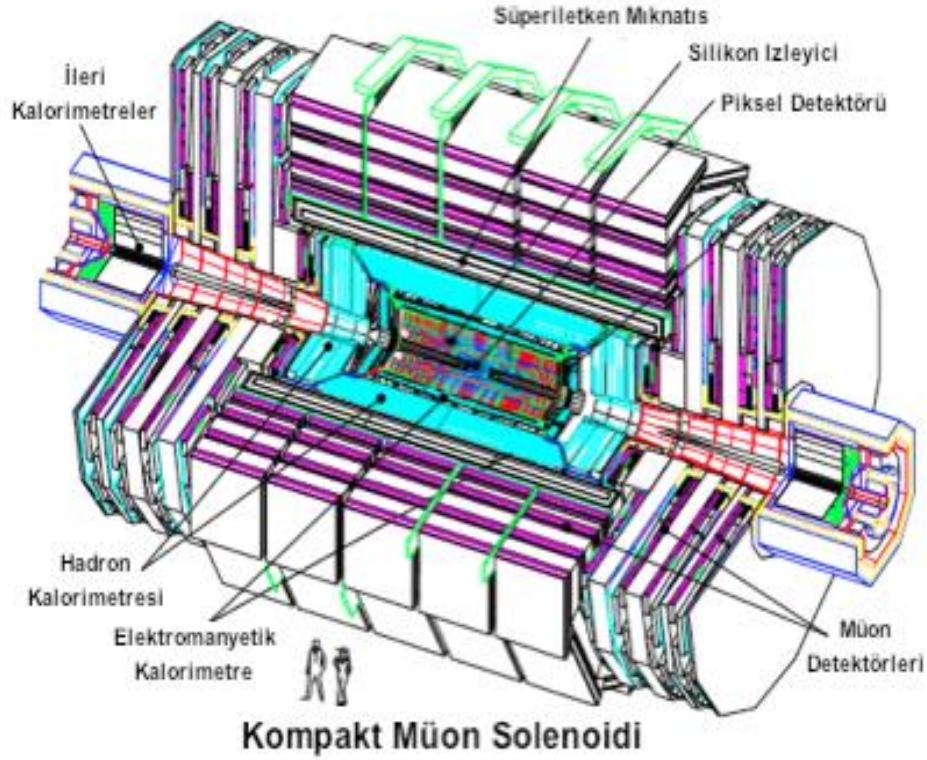
Ağır iyon çarpışmalarında her bir demet çarpışmasında yaklaşık olarak 20 tane esnek olmayan çarpışma olayı üst üste binmektedir. Bunun anlamı her 125 ns'de bir 1000 yüklü parçacık etkileşim noktasından etrafa yayılmaktadır. Aynı demet çarpışmasında ortaya çıkan bu veri içerisinde yapılan incelemede 20 esnek olmayan çarpışmanın bir tanesi incelenirken diğer çarpışmalardan gelen verinin bir karmaşa yaratacağı açıktır. Bu problem yüksek tanecikli, iyi zaman çözünürlüğüne sahip bir detektör kullanılarak aşılabilir. Bu da çok fazla detektör kanalının var olacağını ortaya koyar. CMS sahip olduğu yüksek tanecikli yapısıyla bu probleme çözüm niteliğindedir. Sahip olduğu milyonlarca detektör kanalını çok iyi senkronize ederek aynı demet çarpışmasından gelen farklı parçacık çarpışmalarını yüksek çözünürlükle ayırabilmektedir.

Etkileşim noktasından gelen yüksek parçacık akışı yüksek radyasyon seviyelerine yol açar. Bu yüzden radyasyona dayanıklı detektör elemanları ve ön uç elektronikleri gerekmektedir. BHÇ fizik programı için gerekli olan detektör özellikleri aşağıdaki maddelerde sıralanabilir:

- Müonların güvenilir şekilde tespit edilmesi ve iyi momentum çözünürlüğünün bulunması, ikili müonların kütle çözünürlüklerinin tespit edilebilmesi ve momentumu 1 TeV'den küçük müonların yüklerinin açık bir şekilde belirlenmesi.

- İzleyici detektörlerde yüklü parçacıkların momentumunun ve yapılandırma verimliliğinin iyi bir şekilde tespit edilmesi.
- Elektromanyetik enerji çözünürlüğünün yüksek olması iki-foton ve iki-elektron kütle çözünürlüklerinin iyi olması, geniş geometrik kaplama, π^0 reddi, yüksek ışıklılıkta yüksek verimli foton ve lepton izolasyonu.
- Kayıp enine (transverse) enerjinin bulunması, iki-jet kütesinin belirlenmesi. Jet enerjilerinin belirlenmesi için geniş geometrik kaplamaya sahip hadron kalorimetresi gereklidir (CMS Trigger TDR, 2000).

CMS detektörünün tasarımı Şekil 2.2’de gösterilmektedir. CMS, 21.6 m uzunluğunda 14.6 m çapındadır. Yüksek momentum çözünürlüğüne ulaşabilmek için 4 Teslalık süper iletken solenoid mıknatıslar kullanılmış ve yüksek manyetik alan seçilmiştir. Döndürme alanı, 4 müon terminali kurulmasına izin veren, yeterli direnç göstermesine olanak sağlayan 1,5 m demirin içerisine yerleştirilmiştir ve tam geometrik kaplama sağlamaktadır. Mıknatıs bobinin iç çapı, bünyesinde iç izleyici ve kalorimetreyi barındıracak kadar geniştir (CMS TDR, 2008).



Şekil 2.2. Kompakt Muon Solenoidi

İzleyici hacmi 5,8 m silindirik uzunluk ve 2,6 m yarıçap ile verilmiştir. Yüksek parçacık yoğunluğunda meydana gelen parçacık izlerinin ortaya çıkardığı karmaşayı CMS 10 katmanlı silikon mikro şeritli detektörle aşmaktadır. Aynı zamanda 3 katmanlı silikon piksel detektörü, etkileşim noktasına yakın bir yere yerleştirilerek yüklü parçacık izlerinin çarpışma parametrelerinin ölçülmesini ve etkileşim noktasının pozisyonunun belirlenebilmesini sağlamaktadır.

CMS tarafından kabul edilen koordinat düzlemi orijini çarpışma noktasında olacak şekilde CMS'in ortasında ve içindedir. y -ekseni dik olacak şekilde yukarı doğru, x -ekseni merkezden yarıçap boyunca dışarı doğrudur. z -ekseni ise demet yönü boyunca uzanır. Azimuthal ϕ açısı; x ekseninden ölçülür ve x - y düzleminde. Polar açı θ ise; z ekseninden ölçülür. Rölativistik noktaları

belirlemek için psüdorapidite değişkeni kullanılır. Psüdorapidite ;

$$\eta = -\ln \tan(\theta/2) \quad (2.2)$$

Denklemleri ile bulunur. Böylece, demet yönüne dik olarak ölçülen momentum p_T , x bileşeni kullanılarak ve enerji E_T ise y bileşeni kullanılarak hesaplanmış olur. (CMS TDR, 2007)

2.2.1 Solenoid Mıknatıs

Müon sisteminin gerekli performansa ulaşabilmesi için CMS geniş süper iletken bir solenoid mıknatıs kullanmaktadır. Solenoid mıknatıs müonların yönlerini eğme gücüne sahiptir. Bu eğme gücü müonların momentum çözünürlüğünün belirlenmesinde önemli bir rol oynar ve eğme gücü solenoid mıknatısın oluşturduğu manyetik alanla doğru orantılıdır. CMS solenoid mıknatısı Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

Bu mıknatısın ana özelliği, saf alüminyum stabilize iletkenin ve dolaylı soğutma sisteminin bir arada bulunmasıdır. (CMS TDR, 2008)



Şekil 2.3. Solenoid Mıknatısın Genel Görünümü

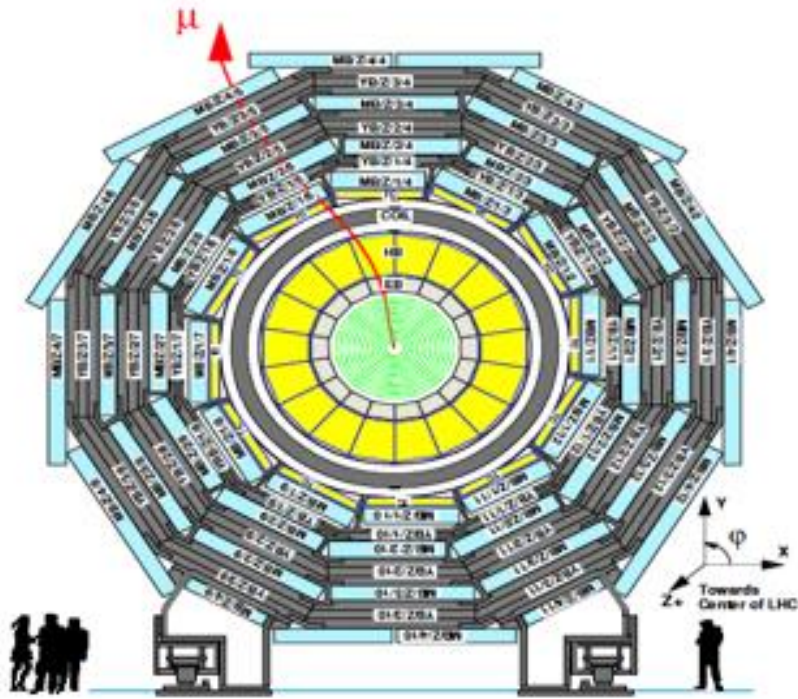
2.2.2. Müon Odacıkları

Müon odacıkları, müonların algılanması için kullanılan detektör parçalarıdır. Müonların algılanması ilginç olayların tespitinde kullanılabilecek güçlü bir araçtır. Örneğin; Higgs bozonunun bozunumu sonucu ortaya çıkacağı öngörülen ZZ veya ZZ^* bozonları 4 leptona bozunacaktır ve bu leptonların tamamı müon olabilir. Yani, ortaya çıkması beklenen Higgs bozonunun bulunmasının bir işareti 4 müon içeren bir çarpışma olayıdır ve bu olayı bulabilmek için 4 tane müon olan çarpışma olaylarını incelememiz yeterlidir. Bu yüzden müonların algılanması CMS için önemli ve güçlü bir araçtır.

Müon odacıkları fıçı ve kapak bölgesi boyunca yer alır. Bu odacıkların amacı, müonları tespit etmek ve momentumlarını yüksek çözünürlükle ölçmektir. Müon odacıkları, müonların momentumlarını ölçmek için 4 Teslalık bir manyetik alanda dönmeye zorlar. Dönmeleri sırasında müonların çizdiği yörüngeleri

izleyerek, yörüngelerinin eğriliğini ölçer ve müonların momentumlarını belirler (CMS TDR, 2008). Merkezi olarak üretilen müonlar 3 defa ölçülür:

- İç izleyicide,
- Solenoid mıknatıstan sonra ve
- Döndürme alanında ölçülmektedir.



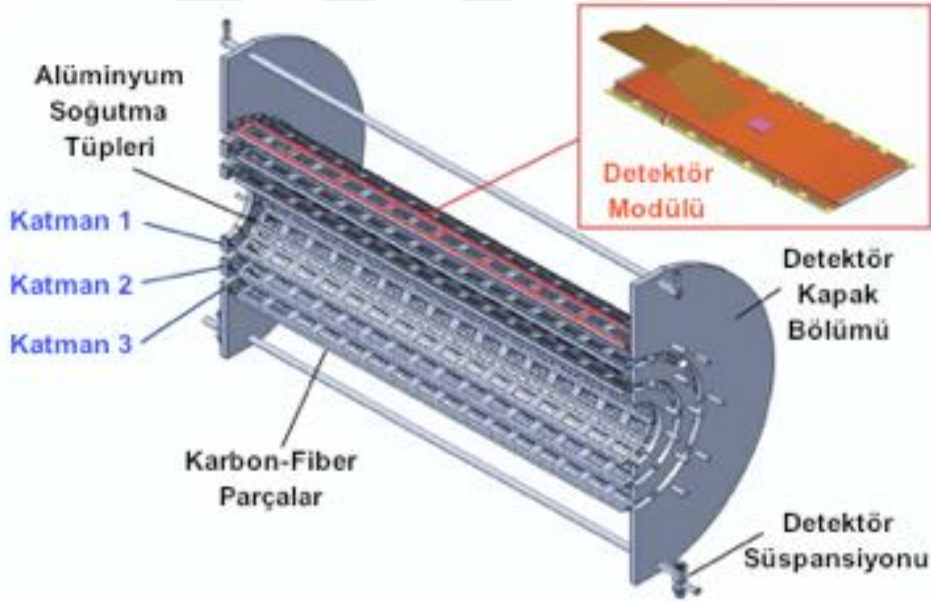
Şekil 2.4. CMS Müon Odacıklarının Yapısı

2.2.3 İzleyici Sistemi

CMS izleyici sistemi, çarpışma noktasından yayılan yüklü parçacıkların izledikleri yolu kesin ve verimli olarak ölçmek için tasarlanmıştır. Çarpışma noktasının etrafını tamamiyle kaplar. 5,8 m uzunluğunda ve 2,5 m çapındadır. CMS solenoid mıknatısı izleyici üzerinde 4 Teslalık homojen manyetik alan

sağlamaktadır. Parçacık çokluğu sebebiyle ölçülecek yüklü parçacık izlerini tam olarak belirleyebilmek için yüksek tanecikli bir yapı ve hızlı tepki süresi gerekmektedir.

Çarpışma olayları sonrası ortaya çıkan parçacık akışının yarattığı radyasyon izleyici sistemine zarar verebilmektedir. İzleyici sistemini dizayn ederken düşünülen en önemli faktör bu sistemin radyasyondan etkilenmeden 10 yıl süreyle çalışabilmesidir. Bu sebeple inşa edilen izleyici sistemi silikon detektör teknolojisi ile dizayn edilmiştir. CMS izleyici sistemi bir tane piksel detektörü ve bir tane silikon şerit detektörü içerir. Bu detektörler 1440 piksel ve 15148 silikon şerit detektör modülünden oluşmaktadır. İzleyici bilgisi ağırlıkla olay seçimi için kullanılmaktadır. Bu amaçla yüksek seviye tetikleyici sistemi izleyici sisteminden gelen bilgileri kullanarak olay seçimi yapmaktadır. (CMS TDR, 2008)



Şekil 2.5. CMS İzleyici Sisteminin İlk 3 Katmanı

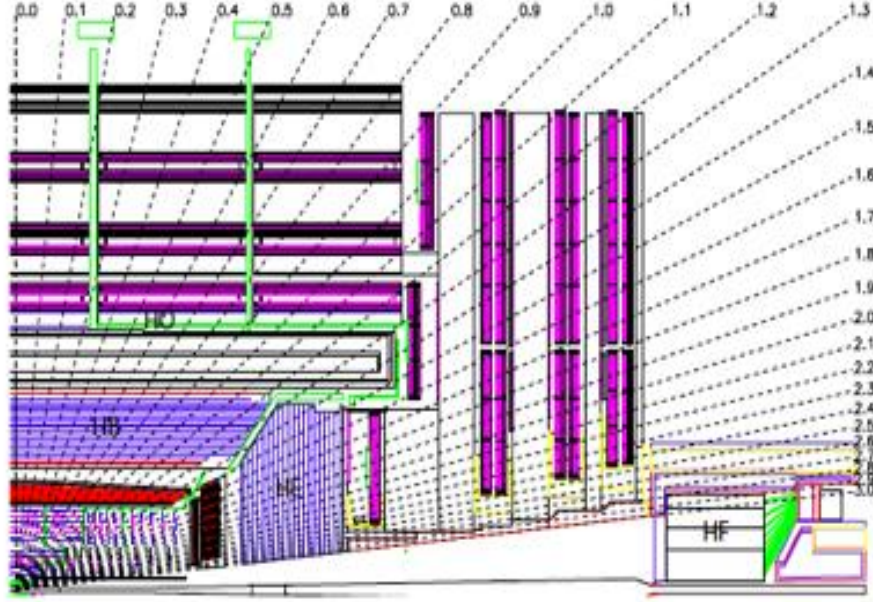
2.2.4 Kalorimetre Sistemleri

2.2.4.1 Hadronik Kalorimetre

CMS detektörü farklı özellikler içeren yüksek enerjili süreçleri incelemek için dizayn edilmiştir. Hadron kalorimetresi (HKAL) özellikle hadron jetlerinin ölçülmesi, kayıp enerjiye sebep olan nötrino ve egzotik parçacıkların gözlemlenebilmesi için önemlidir. Şekil 2.2’de CMS detektörünün genel yapısı görülmektedir. Hadron kalorimetresi, izleyici sisteminden ve elektromanyetik kalorimetreden sonra yer alır. Hadron kalorimetresi fiçı bölgesinden ve kapak bölgesinden oluşur. Hadron kalorimetresi solenoid mıknatısın iç kısmında ve dış kısmında yer alır ve 4 farklı kalorimetrenin birleşiminden meydana gelir. (CMS TDR, 2008)

2.2.4.1.1 Hadronik Fiçı Kalorimetresi

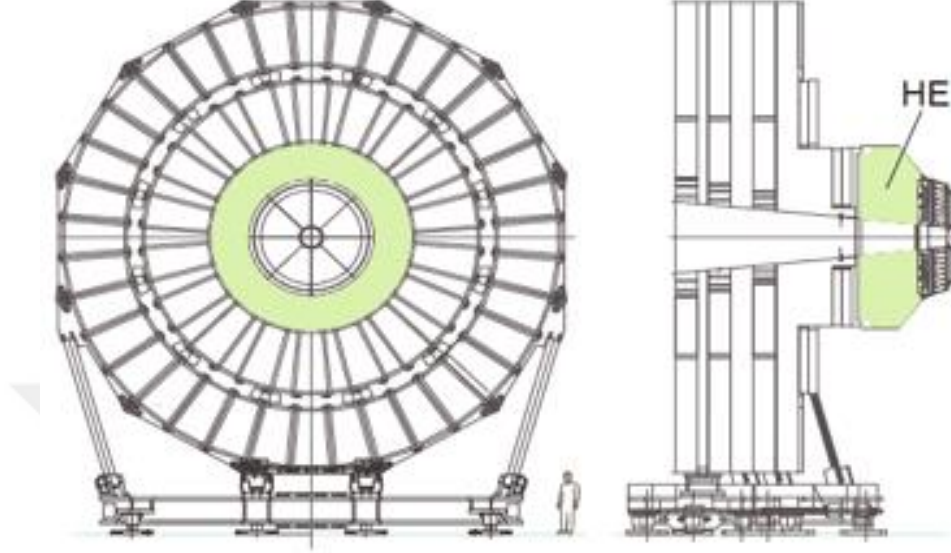
Hadronik fiçı (HB) kalorimetresi silindirik bir yapıya sahip olup detektörün orta kısmında yer alır. HB pozitif ve negatif olmak üzere iki kısımdan oluşur. HB $|\eta| < 1.3$ bölgesinde yer alır. HB 36 özdeş azimuthal kamadan oluşur. Her bir kama 4 farklı azimuthal açı (ϕ) bölgesine bölünmüştür. Bütün katmanlar birbirine ölü bölge olmayacak biçimde tutturulmuştur. En içteki ve en dıştaki tabakalar sağlamlık açısından paslanmaz çelikten yapılmıştır. Plastik sintilasyon detektörü 16 η sektörüne ayrılmıştır. $(\Delta\eta, \Delta\phi) = (0.087, 0.087)$ (CMS TDR, 2008)



Şekil 2.6. CMS Dedektörünün Boyuna Görünüşü Ve Hadronik Kalorimetrenin Kısımları

2.2.4.1.2 Hadronik Kapak Kalorimetresi

Hadronik kapak kalorimetresi (HE) $1.3 < |\eta| < 3$ rapidite aralığında yer almaktadır. Silindirik fiçı kalorimetresine bir kapak niteliğinde olup etkileşim bölgesinden yayılan parçacıkların %34'ü bu bölgeden geçmektedir. HE, 4 Teslalık solenoid mıknatısın sonuna yerleştirildiği için manyetik olmayan bir malzemeden yapılmıştır. Hadronik duşları ölçebilmesi için yeterli soğurucu uzunluğuna ve mekanik özelliklere sahiptir. Hadronik kapak kalorimetresi Şekil 2.7'de görülmektedir (CMS TDR, 2008).



Şekil 2.7. Hadronik kapak kalorimetresi (HE)

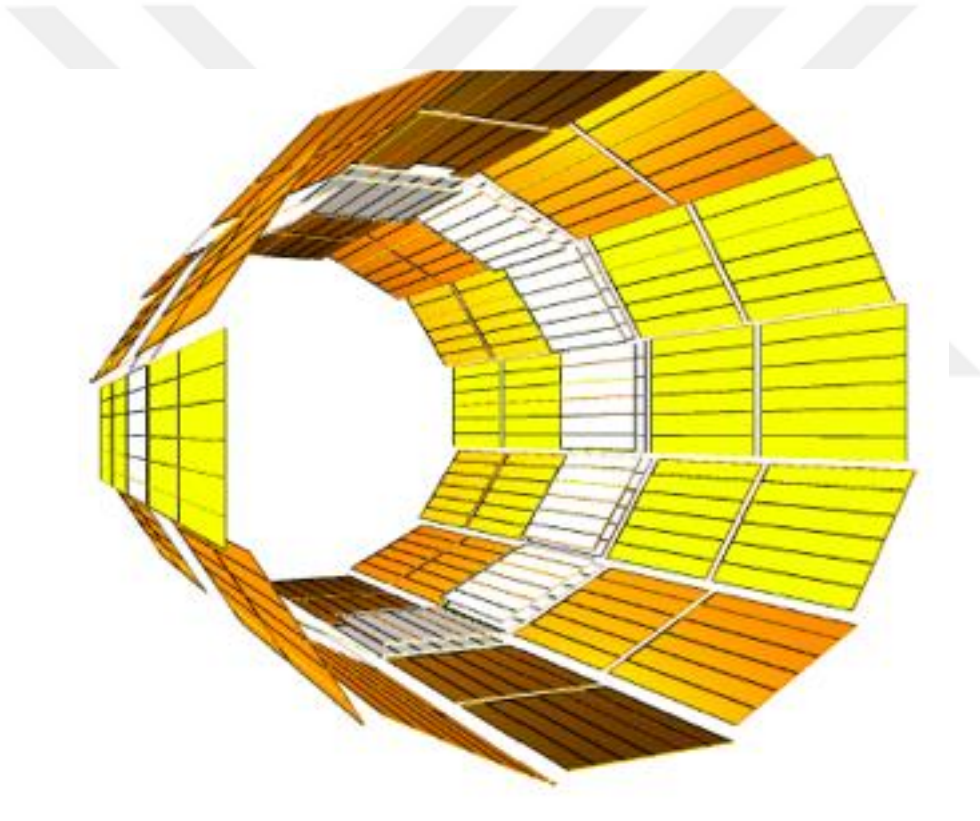
2.2.4.1.3 İleri Hadron Kalorimetresi

İleri hadron kalorimetresi (HF), CMS detektör sisteminin en uç rapidite kısmında yer alır. Detektörün en ileri kısmında olmasına karşın detektörün en fazla parçacık enerjisi depolanan kısmıdır. Pozitif ve negatif olmak üzere iki kısımdan oluşur. Radyasyondan en az etkilenmesi amacıyla aktif ortam kuartz fiberden dizayn edilmiştir. HF kalorimetre 5 mm kalınlığında çelik tabakalardan oluşmuştur. Fiberler bu soğurucu çelik tabakaların içerisine yerleştirilmiştir.

HF ağır iyon çarpışmalarında merkezilik parametresini belirlemek için kullanılmıştır. Merkezilik parametresi bölüm 3.1.4'te incelenecektir. Merkezilik parametresi ortaya çıkan parçacık sayısı ile ölçülür. Çarpışma merkezinden etrafa yayılan parçacıkların sayısı bu kalorimetre aracılığıyla ölçülerek merkezilik parametresi belirlenmiştir (CMS TDR, 2008).

2.2.4.1.4 Hadronik Dış Yüzey Kalorimetresi

Merkezi psüdorapidite aralığında yer alan hadronik fiçı ve elektromanyetik fiçı kalorimetrelerinin, hadronik duşları durdurma güçleri yeterli olmadığından bu kalorimetrelere ek olarak hadronik dış yüzey kalorimetresi (HO) yerleştirilmiştir. HO solenoid mıknatısın soğurucu yapısını da kullanarak en dış soğurucu olarak yer alır ve hadronik fiçıdan sonra oluşan veya enerjisi tam olarak depolanamayan hadronik duşları ölçmeye yarar. CMS dedektörü içerisindeki yerleşimi Şekil 2.8’ deki gibidir. (CMS TDR, 2008)



Şekil 2.8. Hadronik dış yüzey kalorimetresi

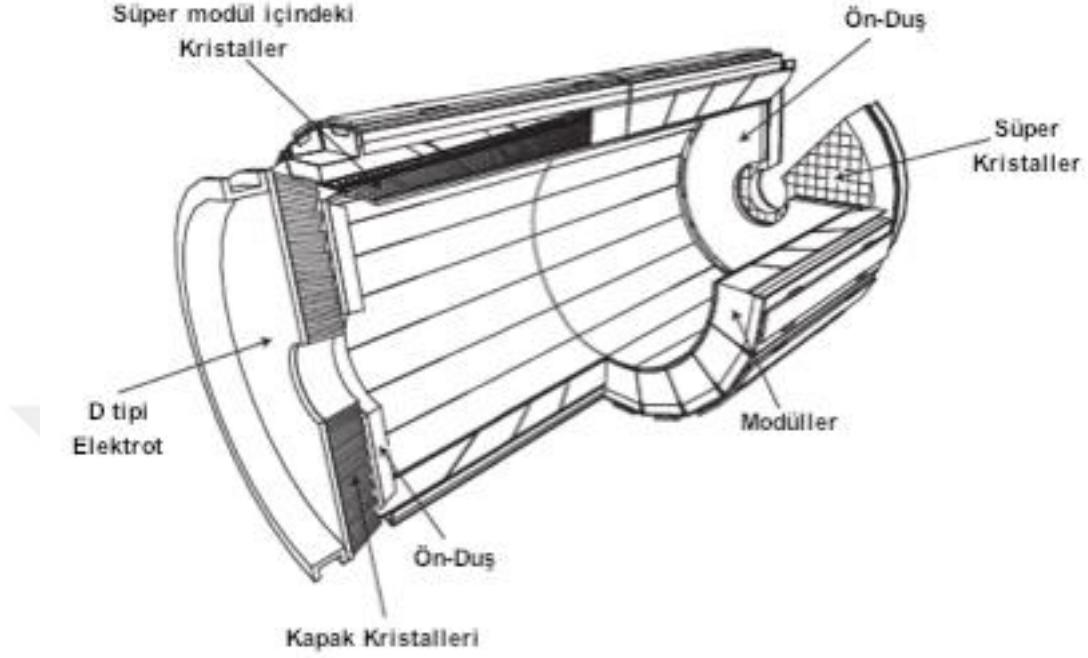
2.2.4.2 Elektromanyetik Kalorimetre

Elektromanyetik kalorimetre (EKAL) 61200 kurşun tungstenden (PbWO_4)

oluşmuş hermetik homojen bir kalorimetredir. Her bir kristal $0.0174 \eta \times 0.0174 \phi$ yüzey genişliğine ve 230 mm uzunluğa sahiptir. Kristaller fıçı bölgesine ve iki kapak bölgesine sıralanarak ortam kapatılmıştır. Yüksek yoğunluklu kristallerin kullanılması sayesinde yüksek tanecikli ve radyasyona dayanıklı bir kalorimetre elde edilmiştir. Her bir kristale bağlanan fotodiyotlar ve fototriodlar sayesinde kristallerde depolanan enerji ölçülebilmektedir. Fıçı bölgesinde fotodiyotlar, kapak bölgesinde ise fototriodlar kullanılmıştır. Bu kalorimetre $|\eta| < 3.0$ rapidite bölgesinde yer alır.

EKAL okuma sistemi her bir kristale bağlı fotodetektörden gelen küçük sinyalleri yüksek hızda ve kesinlikte elde edebilmelidir. Okuma sistemindeki elektronikler 5X5 kristali bir kule olarak kabul eder ve bu kulede depolanan enerjiyi ilk seviye tetikleyici sistemine aktarır.

Bu kalorimetrenin tasarımındaki temel hedeflerden biri, öngörülen Higgs bozonunun iki fotona bozunumunu gözlemleyebilmektir (CMS TDR, 2008).



Şekil 2.9. CMS elektromanyetik kalorimetrenin dizayn şeması

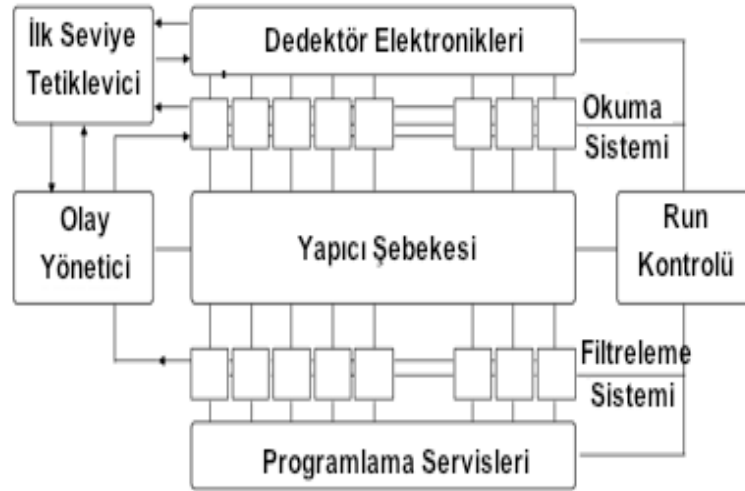
2.2.5 CMS Detektöründe Tetikleyici Sistemleri

BHÇ yüksek etkileşim oranlarında hem proton hem de ağır iyon çarpışmaları sağlar. Bu çarpışmalar 125 ns’de bir gerçekleşir (proton için 25 ns). Bu çarpışmalar sonucu oluşan bütün veriyi kaydetmek mümkün olmadığı için, elde edilen verinin incelemeye değer olup olmadığına karar vermemiz ve bu karar sonucu incelemek istediğimiz veriyi kaydetmemiz gerekmektedir. Bu olay seçim işlemini yapan sisteme, tetikleyici sistemi adı verilir. Elde edilen veriler iki adımda azaltılarak, kaydedilecek veriden tasarruf edilir. Bu adımlar ilk seviye tetikleyici sistemi ve yüksek seviye tetikleyici sistemi olarak adlandırılır.

İlk seviye tetikleyici sistemi programlanabilir elektroniklerden oluşmaktadır. Buna karşın ileri seviye tetikleyici sistemi yaklaşık bin tane işlemciden oluşan bir süper bilgisayar filtreleme bölgesi üzerinde tanımlanmış

yazılımlardan oluşmaktadır.

İlk seviye tetikleyici sisteminin çıktı oranı limiti 100 kHz olarak dizayn edilmesine karşın, pratikte hesaplanan çıktı oranı limiti 30kHz'dir. İlk seviye tetikleyici sistemi kalorimetrelerden ve müon sisteminden aldığı veriyi kullanır ve elde ettiği veriyi ön uç elektroniklerde muhafaza eder. Yüksek seviye tetikleyici sistemi elde edilen bu verinin tamamına erişme yetkisine sahiptir ve dolayısıyla daha kompleks hesaplar yaparak istenilen özellikteki olayları seçme işlemini gerçekleştirmektedir. İlk seviye tetikleyici sistemi programlanabilir elektronik aygıtlardan oluştuğundan radyasyona dayanıklılık ve hız bu sistem için en önemli faktörlerdir.



Şekil 2.10. CMS Tetikleyici Sisteminin Şeması

CMS tetikleyici ve veri alım sistemi 4 bölümden oluşur: Detektör elektronikleri, ilk seviye tetikleyici prosesleri (kalorimetre, müon ve global tetikleyiciler), okuma üniteleri ve online filtreleme yapan yüksek seviye tetikleyici sistemi (CMS Trigger TDR, 2000).

Ağır iyon çarpışmalarında CMS tetikleyicileri için olası en düşük eşik değerleri seçilmiştir. Bunun sebebi, bu çarpışmaların daha önce gerçekleştirilmemiş olması ve ortaya çıkacak objelerin özelliklerinin tam olarak kestirilememesidir. Örneğin, ikili jetlerde ikincil jetin sönümü sonrasında jetin momentumunun ilk jete kıyasla çok düşük olduğu gözlenmiştir. Yüksek momentum eşik değeri seçilseydi bu fiziksel objenin gözlenmesi mümkün olmayabilirdi. Çekirdek çarpışmaları 125 ns’de bir gerçekleşmesine karşın parçacık çokluğu proton çarpışmalarından çok fazladır. Parçacık çokluğu alınacak olay verisinin de çok olması anlamına gelmektedir. Bu sebeple ilk seviye tetikleyici sisteminin çalışma hızı 5 kHz ile sınırlandırılmıştır (CMS Coll, 2011).

2.2.5.1 İlk Seviye Tetikleyici Sistemi

CMS detektöründe yer alan ilk seviye tetikleyici sisteminin (L1) elemanları her bir çarpışma olayı sonrasında elde edilen veriyi inceleyip kaydedilip kaydedilmeyeceğine karar verebilmesi için 3.2 μ s süreye sahiptir. Bu süre içerisinde olay verisi arabelleklerde saklanmalı ve daha kompleks incelemeler için ileri seviye tetikleyici sistemine gönderilip gönderilmeyeceğine karar verilmesi gerekmektedir (CMS Trigger TDR, 2000).

CMS ilk seviye tetikleyici sistemi müonların, elektronların, jetlerin, fotonların ve kayıp enine enerjinin belirlenmesini esas almıştır. Tetikleyici sistemi eşik değerlerini kabul edilebilir bir sınırdan tutarak, CMS’te elde edilen fizik sonuçlarında yeterli istatistiği sağlayacak kadar olay verisi sağlamakla yükümlüdür. Elde edilen verinin sistematik hata oranının mümkün olduğunca az olması gerekmektedir. İlk seviye tetikleyici sisteminin gereksinimleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

–Tetikleyici sistemi leptonları ve jetleri $|\eta| < 2.5$ pseudorapidite aralığında seçebilme kapasitesine sahip olmalıdır. Lepton ve jetlerin yüksek verimlilikle bulunması ve seçilmiş bir momentum eşik değerinin üzerinde olması gerekmektedir.

– Tekli ve çoklu jet tetikleyicileri $|\eta| < 5$ pseudorapidite aralığında yüksek verimlilikle çalışabilmelidir. Yüksek momentum bölgelerinde ise jet tetikleyicileri tam verimlilikle çalışmalıdır.

–100 GeV eşik değerine sahip bir kayıp enine (transverse) enerji tetikleyicisi bulunmalıdır.

– $|\eta| < 2.5$ aralığında ve $p_T > 40$ GeV/c eşik değerinin üzerinde tekli lepton tetikleyicisi tam verimlilikle çalışabilmelidir. Bunun anlamı tetikleyicinin %95 verimlilikten daha iyi bir verimlilikle çalışmasıdır.

– $|\eta| < 2.5$ aralığında ve ilk lepton için $p_T > 20$ ve ikinci lepton için $p_T > 15$ GeV/c eşik değerinin üzerinde ikili lepton tetikleyicisi tam verimlilikle çalışabilmelidir.

–Leptonlar için olduğu gibi tekli ve ikili fotonlar için de benzer koşullar gereklidir.

İlk seviye tetikleyici sistemi yerel, global ve bölgesel bileşenlere sahiptir. Yerel tetikleyiciler aynı zamanda en basit tetikleyici jeneratörleri olarak da adlandırılır. En basit tetikleyici jeneratörleri kalorimetrelerdeki tetikleyici kulelerde depolanan enerjiyi ve müon odacıklarında oluşan parçacık izlerini kullanarak çalışır. Bölgesel tetikleyiciler ise jeneratörlerden gelen bilgileri birleştirerek elektron müon gibi tetikleyici objelerini ortaya çıkarır ve düzenler. Bulunan tetikleyici objeleri enerjilerine, momentumlarına ve kalitelerine göre sıralanır. Global kalorimetre ve global müon tetikleyicileri sıralamada en yükseklerde yer alan tetikleyici objelerini global tetikleyiciye transfer ederler. Global tetikleyici ilk seviye tetikleyici hiyerarşisinin en üst elemanıdır ve bir olayın kabul edilip edilmeyeceğine karar veren mekanizmadır. Kabul ettiği olayları daha fazla inceleme için ileri seviye tetikleyici sistemine göndermektedir. Global tetikleyici karar verirken, tetikleyici kontrol sisteminden gelen koşulları göz önünde bulundurur. Tetikleyici kontrol sistemi algoritmik hesaplar kullanır, detektörlerin sağlamlık durumlarını göz önünde bulundurur ve veri alım sisteminin o anki durumuna bakar (CMS Trigger TDR, 2000).

Tetikleyici sisteminin mantık devreleri Pratik özel tümleşik devrelerden (ASICs), saha programlanabilir geçit dizilerden (FPGAs), programlanabilir mantık devrelerinden (PLDs) ve ayrıık hafızalarda tutulan kayıt tablolarından oluşur.

İlk seviye tetikleyici sistemi, müon sisteminden ve kalorimetrelerden gelen verileri kullanarak, tetikleyici objelerinin varlıkları üzerine kararlar verir. İlk seviye tetikleyici sistemi başlıca 3 alt sistemden oluşur. Bunlar; ilk seviye kalorimetre tetikleyicisi, ilk seviye müon tetikleyicisi ve ilk seviye global tetikleyicidir.

2.2.5.1.1 Kalorimetre Tetikleyicisi

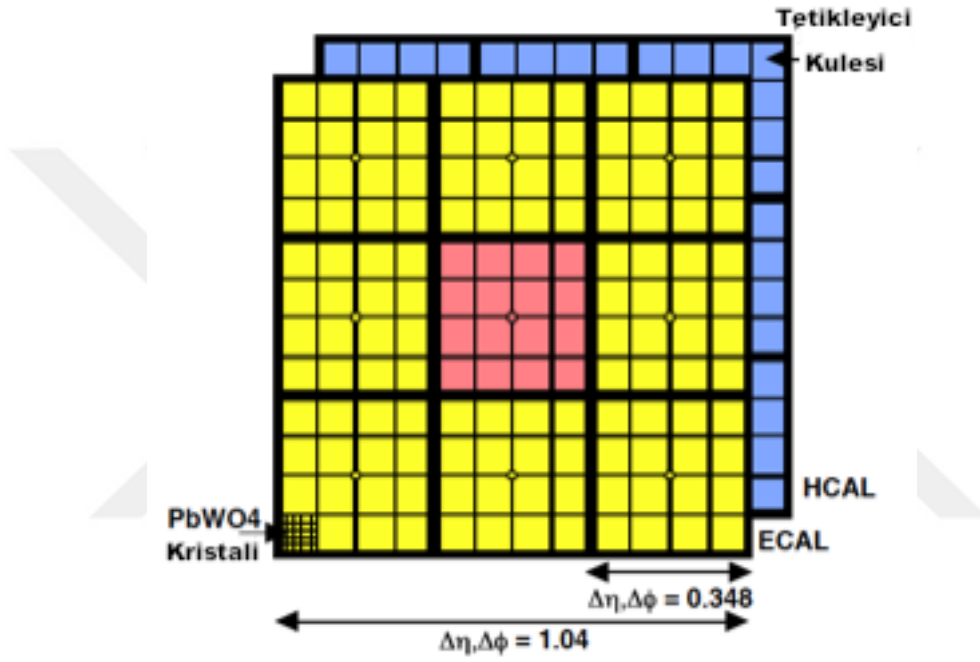
Kalorimetre tetikleyicisi elektromanyetik ve hadronik kalorimetrelerin her bir kalorimetre hücresindeki enerjiler kullanılarak oluşturulan tetikleyici kulelerinin incelenmesiyle çalışır. Elektromanyetik kalorimetreden alınan enerji kalorimetrede depolanan elektromanyetik enerjiden oluşur. Hadronik kalorimetrelerden alınan enerji, depolanan hadronik enerjilere karşılık gelir.

Kalorimetre tetikleyicisi elektromanyetik ve hadronik kalorimetre kristallerinde depolanan enine enerjiyi (E_T) her 125 ns’de bir sayısallaştırmak zorundadır. En basit tetikleyici jeneratörleri EKAL kristallerinden ve HKAL kulelerinden aldığı enerjileri kullanarak tetikleyici kulelerinin enine enerjisini belirler ve hangi çarpışma olayından geldiği bilgisini ekler. Tetikleyici kulesinin şematik gösterimi şekil 2.11’de gösterilmiştir. Bu iki ölçüm işlemi performanslarını etkileyebilecek çeşitli etkilere sebep olur. Bu etkiler:

- Enine enerji ölçümünde verilen sabit katsayı katkısını arttırır.
- Elektronik gürültü terimini kötüleştirir.

Bu etkilerin ilkinin örneği; her bir elektronik kanalın kalibrasyon sabitindeki eksik bilgidir.

Kalorimetre tetikleyicisi, kalorimetre elektroniklerinden E_T ve ince tane profil bilgisini alır ve izole edilmiş veya izole edilmemiş elektronları fotonları, τ adaylarını, jetleri ve kayıp enerjiyi bulur. Kalorimetre geometrileri ve tetikleyici elektronikleriyle haritalandırması, en iyi performansı sağlayacak şekilde dizayn edilmiştir (CMS Trigger TDR, 2000).



Şekil 2.11. Tetikleyici Kuleleri ve Kalorimetreler

2.2.5.1.2 Müon Tetikleyicisi

İlk seviye müon tetikleyicisi 3 çeşit müon detektörünü kullanır: Sürüklenme Odacıkları (DT), Katot Şeritli Odacıklar (CSC) ve Dirençli Düzlem Odacıkları (RPC). Bu üç detektörün katmanlı yapısı arka plan çıkarımını kolaylaştırır. Yüksek tanecikli yapıları sayesinde çok parçacıklı ortamlarda çalışabilmektedirler.

Yerel müon tetikleyicileri her bir müonun pozisyonunu ve açısını içeren bir vektör kullanır. İz bulucudan alınan bu vektörler farklı müon istasyonlarından alınan bilgiler kombine edilerek bulunur ve müonun momentum bilgisini de içerir. En yüksek momentum ve kaliteye sahip olan müon adaylarından en fazla 4 tanesi seçilerek global müon tetikleyicisine gönderilir. Global müon tetikleyicisi kalorimetreden gelen bilgileri de kullanarak izole edilmiş müon tetikleyicisini oluşturur. (CMS Trigger TDR, 2000)

2.2.5.1.3 Global Tetikleyici

Global tetikleyici, müon ve kalorimetre tetikleyicilerinden gelen bilgileri senkronize ederek farklı zamanlarda ulaşan verileri eşleştirir. Global tetikleyici kararlarını müon ve kalorimetre tetikleyici bilgilerini kullanarak verir. İlk seviye tetikleyici sistemi sabit bir eşik değerinin üstündeki objeleri grafiklere çizdirmek yerine, tetikleyici objelerini sıralar ve düzenler. Tüm tetikleyici objelerinin momentumun yanı sıra (η, ϕ) koordinat bilgileri de bulunur. Bu bilgiler global tetikleyicinin tetikleyici objelerinin konumuna bağlı olarak farklı eşik değerleri uygulamasına izin verir. Ayrıca global tetikleyici, incelediği objelerin birbirlerine olan mesafesini veya birbirlerine zıt yönde olan objeleri bulabilir. Global tetikleyici, fizik tetikleyicilerini kontrol etmenin yanı sıra test ve kalibrasyon çalışmalarında da kullanılır. Global tetikleyici, ölçeklendirilmiş (prescaled) tetikleyiciler için verimlilikleri test etmede ve veri kaydında önemli bir elemandır. Global tetikleyici her bir demet çarpışması için kabul veya ret kararı veren mekanizmadır. Bu karar tetikleyici daraltma sistemi (TTS) tarafından tetikleyici zamanlayıcısına ve tetikleyici kontrol sistemine iletilir.

Tetikleyici daraltma sistemi ilk seviyeden gelen kabul kararını yok sayarak ön-ölçekleme (prescale) yapar. Bu mekanizma detektör okuma ünitesi veya veri alım sistemi aşırı çalışmaya başladığında devreye girebilir. Ayrıca tetikleyici daraltma sistemi istenildiği takdirde benzer özelliklere sahip çarpışma olaylarından

bazılarını reddedebilir. Böylelikle aynı türden verileri kaydetmek istemediğimiz anda bu sistemi devreye sokarak veri kaydında tasarruf sağlayabiliriz (CMS Trigger TDR, 2000).

2.2.5.2 Yüksek Seviye Tetikleyici Sistemi

CMS ilk seviye tetikleyici sistemi yüksek orandaki çarpışma sayısını filtreleyerek azaltmak ve kaydedilebilecek bir seviyeye getirmek zorundadır. Fizik analizleri ve daha iyi olay filtreleme işlemleri için, ilk seviye tetikleyici sisteminin kabul ettiği her bir olaya ait veri, 512 geçici hafıza bölgesinden tek bir yere taşınmak zorundadır. Yığın bellek ile offline hesaplama sistemlerinin kapasitelerini birbirleriyle eşleştirebilmek için deney çıktısı saniyede 100 olayı geçmemelidir. Bu fonksiyon, alt detektörlerin okuma ünitelerine bağlı yüksek performanslı okuma ağına sahip bir sistem tarafından gerçekleştirilir. Bu sistem bir bilgisayar tarlasında tanımlanmış olan olay filtreleme birimidir. Olay verisi akışı olay yönetim sistemi tarafından kontrol edilir.

Veri akışını en iyi biçime getirebilmek için, filtreleme birimi, aşamalı olarak bir dizi yüksek seviye tetikleyicisi filtresi uygular. Başlangıç filtreleme kararı kalorimetre ve müon sistemi gibi detektör bileşenlerinden alınan veri kullanılarak verilir. Bu veri, kısmi olarak adlandırılabilir çünkü tüm detektör bileşenlerinden elde edilen veri kullanılmamıştır. Bu sayede izleyici sisteminden gelen büyük hacimli veri, her olay için incelenmeyerek, sistem bant genişliği olası bir yoğunluktan kurtarılmış olur. Başlangıç filtreleme sayesinde olay oranının en azından bir derece azalması beklenir. Sadece başlangıç filtrelerini geçebilen olayların verisi tam inceleme için yüksek seviye tetikleyici algoritmaları uygulanmak üzere filtre tarlasına gönderilir. Yüksek seviye tetikleyici sistemi ilk seviye tetikleyici sisteminin kullandığı tüm bilgilere ulaşma imkanına sahiptir. Dolayısıyla yüksek seviye tetikleyici sistemi ilk seviye tetikleyici sisteminden iletilen tüm objeler üzerinde daha fazla kombinasyon uygulama ve topolojik hesaplar yapma imkanına sahiptir. Hatta yüksek seviye tetikleyici sisteminin (HLT)

sahip olduğu bazı bilgiler ilk seviye tetikleyici sisteminde zaman kısıtlaması yüzünden mevcut değildir. Bu bilgi izleyiciden ve detektörün tüm parçalarından gelen bilgiyi içerir.

Netice olarak, yüksek seviye tetikleyici sistemi bir olayı tutma veya reddetme kararını verebilmek için tüm olay verisini kullanır. Yüksek seviye tetikleyici sistemi olay oranını 10^3 faktöründe azaltmak ve yığın belleğe saniyede 100 olay yazmak için dizayn edilmiştir. Yüksek seviye tetikleyici sisteminin son aşaması yapılandırma yapar ve farklı imzalar ile veriyi işaretleyerek, kolaylıkla erişilebilecek veri setleri halinde kaydeder.

Ağır iyon çarpışmalarında, her bir olay verisi yaklaşık olarak 13 MB büyüklüğe sahiptir. Bu rakam proton çarpışmaları için 1.5 MB civarındadır (CMS Trigger TDR, 2000).



3. MATERYAL VE METOD**3.1 CMS Deneyinde Ağır İyon Fiziği Çalışmaları****3.1.1 Ağır İyon Çarpışmaları**

BHÇ enerjilerinde ağır iyon çekirdeklerinin çarpıştırılması sonucu daha önce gözlemlenmemiş enerjilerde madde oluşması beklenir. Kuark gluon plazmasının deneysel işaretlerinden biri sert parton saçılmalarından ortaya çıkan hadronların oluşturduğu jetler ve kuark gluon plazması içinde enerji kaybeden sönümlenmiş jetlerdir. Rölativistik ağır iyon çarpıştırıcısında (RHIC) gerçekleştirilen nükleon çarpışmaları sonrası partonik enerji kaybının varlığını kanıtlayan bulgulara rastlanmıştır (STAR Coll., 2009). BHÇ’de ise aynı olay daha yüksek enerjilerde gözlenmiştir.

3.1.2 Veri Örnekleri ve Tetikleyici Seçimleri

2010 yılında Ağır iyon çarpışmalarında alınan verilerde tetikleyiciler tarafından minimum etkilenmiş ve jet içeren olaylara öncelik verilmiştir. Minimum etkilenmiş olayların seçilme sebebi, ağır iyon çarpışmalarının genel karakteristiklerinin incelenmek istenmesidir. Minimum etkilenmiş olaylar $+z$ ve $-z$ eksenini yönündeki demet sintilatör sayacı (BSC) ve ileri hadron kalorimetresi (HF) detektörlerinden gelen sinyallerin eşzamanlılığına bakılarak seçilmiştir. Minimum etkilenmiş olay tetikleyicisi hadronik inelastik çarpışmalar için %97 verimlilikle çalışmıştır. Elektronik gürültü, kozmik ışınlar, çifte çalışan tetikleyiciler, demet ardalanı gibi istenmeyen veriler minimum etkilenmiş olay ve jet tetikleyicileri kullanılarak dışarılanmıştır. Kabul edilen minimum etkilenmiş olay ve jet tetikleyicilerinde etkileşim noktasında her iki demetin var olması şartı koşulmuştur. İstenilen koşulları sağlayan ve jet tetikleyicilerinin kabul ettiği bütün olayların, minimum etkilenmiş olay tetikleyicileri için gerekli olan bütün koşulları sağladığı görülmüştür. 2010 yılında alınan çarpışmalarda ulaşılan çarpışma oranı çarpışan

demet sayısına (1×1 ve 129×129 aralığında) ve demet şiddetine bağlı olarak 1 ile 210 Hz arasında değişiklik göstermiştir. Hadronik elastik olmayan kurşun çarpışmalarında ölçülen tesir kesiti yaklaşık olarak 8 mb'dır. Birim rapidite başına düşen parçacık sayısı çarpışma parametresine bağlıdır (CMS Coll., 2011).

Online olay seçimi için CMS iki aşamalı tetikleyici sistemi kullanır. Bunlar ilk seviye ve yüksek seviye tetikleyici sistemleridir. Ağır iyon çarpışmalarında ilk seviye tekli jet tetikleyicisi momentumu $p_T > 30$ GeV/c den büyük olan jetleri seçmiştir. Yüksek seviye tetikleyici ise momentumu $p_T > 35$ GeV/c den büyük olan jetleri seçmektedir. Tetikleyici sistemlerinin kullandığı dik momentum değeri (p_T), düzeltilmemiş dik momentum değeridir. Düzeltme işlemi her bir kalorimetre parçasının parçacık enerjilerine verdiği tepkiye bakılarak elde edilen düzeltme faktörlerinin uygulanması işlemidir. Tetikleyici verimlilikleri tetiklenen olay sayısı ile minimum etkilenmiş olay sayısı oranısına bakılarak bulunur. (CMS Coll., 2011)

3.1.3 Olay Seçim Prosedürü

Analizlerde kullanmak üzere saf elastik olmayan hadronik çarpışmaları içeren verileri seçebilmek için tetikleyicileri geçmiş olan veriler üzerinde, ek olarak çevrimdışı seçimler uygulanmıştır. Öncelikle demet halo olaylarını veto etmek için $+z$ ve $-z$ eksenindeki BSC sinyallerinin zamanlaması kullanılır. Sonra, ultra-sınır çarpışmaları ve demet-gaz olaylarını veto etmek için, çarpışma noktasının her iki tarafında yer alan HF kalorimetresinin en azından 3 kulesinde 3 GeV enerji depolayan olaylar seçilir. Sonrasında ise momentumu $p_T > 75$ MeV/c den büyük en az iki parçacık izi içeren yapılandırılmış köşe varlığına bakılır. Bu köşenin demet izi pozisyonuyla ve z eksen boyunca beklenen çarpışma alanıyla uyumlu olması beklenir. Son olarak daha fazla demet-gaz ve demet artıkları olaylarını elemek için, demet yönü boyunca piksel kümelerinin, birincil köşe noktasından gelen parçacıklarla bağdaşması şartı aranır.

Seçilmiş olaylar içerisinde jet bulma algoritması çalıştırılmadan önce, EKAL ve HKAL kalorimetrelerinden kaynaklı küçük bir miktar gürültü çıkarılır. Bu gürültü HKAL ve EKAL detektörlerine özgü olmayan detektör tepkileridir. Sonuç olarak 2010 yılında alınmış ağır iyon verilerinin %2,4’u atık ve istenmeyen veri olarak kaydedilmiş veri içerisinde çıkarılmıştır (CMS Coll., 2011).

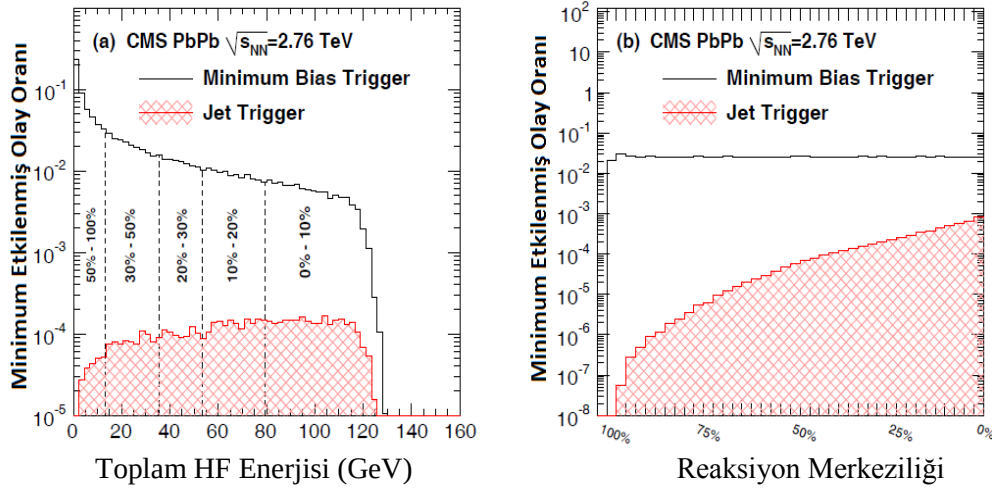
3.1.4 Merkeziliğin Belirlenmesi

Çarpışma parametresinin veya merkeziliğin belirlenmesi ağır iyon çarpışmalarının karakterizasyonu için son derece önemlidir. Reaksiyon merkeziliği çarpışan çekirdeklerin çarpışma alanının geometrik ölçeğini ifade eder. Bu parametrenin belirlenmesi incelenecek olayın dinamiğini belirlenmesinde etkilidir. Yüksek enerjili çekirdek çarpışmalarında birincil olay merkeziliği, yüklü parçacık çokluğu veya çeşitli psüdo-rapidity aralığındaki enine enerji ölçülerek belirlenmiştir. Merkezilik, bu ölçümlerin toplam tesir kesiti yüzdeliği belli aralıklara (bin’lere) bölünerek hesaplanır. Bu teknik, yüklü parçacık çokluğu (veya enine enerji) ile çekirdek-çekirdek çarpışma miktarı arasında tekdüze bir ilişki olduğu varsayımına dayanır.

CMS’te çarpışma parametresini belirlemenin kolay yolu kalorimetrelerde depolanan enine enerji miktarlarını kullanmaktır. Bu değişken merkezi çarpışmalarda artmakta, sınırsal çarpışmalarda ise hızlıca azalmaktadır. Düşük başlangıç parton yoğunluğundan dolayı, ileri rapidite bölgesinde yer alan HF ve CASTOR kalorimetreleri merkezi bölgelerdeki kalorimetrelerle kıyasla son durum tekrar saçılmalarından daha az etkilenir. Bu sebeple ileri kalorimetrede depolanan dik enerji (E_T) miktarı merkezilik parametresinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Örneğin; %0-10 merkezilik parametresi kalorimetrede depolanan toplam E_T ‘nin %0-10 aralığında olan kısmının ileri kalorimetrede depolanması demektir. Bu en merkezi çarpışma olarak tanımlanır. Çarpışma parametresinin enine enerji bağımlılığı $3 < |\eta| < 5$ psüdo-rapidity aralığında üretilmiştir. Bu bağımlılık, çekirdek-çekirdek çarpışma dinamiğinin dalgalanması, enine enerji

akışının her bir çekirdek etkileşiminde farklılık göstermesi yüzünden dağınıktır. Sınır olaylarının merkeziliğini belirlemek için HF’te depolanan enine enerji ile sıfır derece kalorimetrede depolanan nötral enerjinin korelasyonunun kullanılması öngörülmüştür (CMS Coll.,2011).

Şekil 3.1’de 2010 ilk ağır iyon çarpışmalarında merkezilik parametresini belirlemek için alınmış ölçümler görülmektedir. Şekil 3.1.a)’ da minimum bias ve jet tetikleyicisini çalıştırmış olayların hadronik ileri kalorimetrede depolanan toplam enerjiye oranı görülmektedir. Şekil 3.1.b)’ de minimum bias ve jet tetikleyicisini geçen olayların merkeziliği görülmektedir.

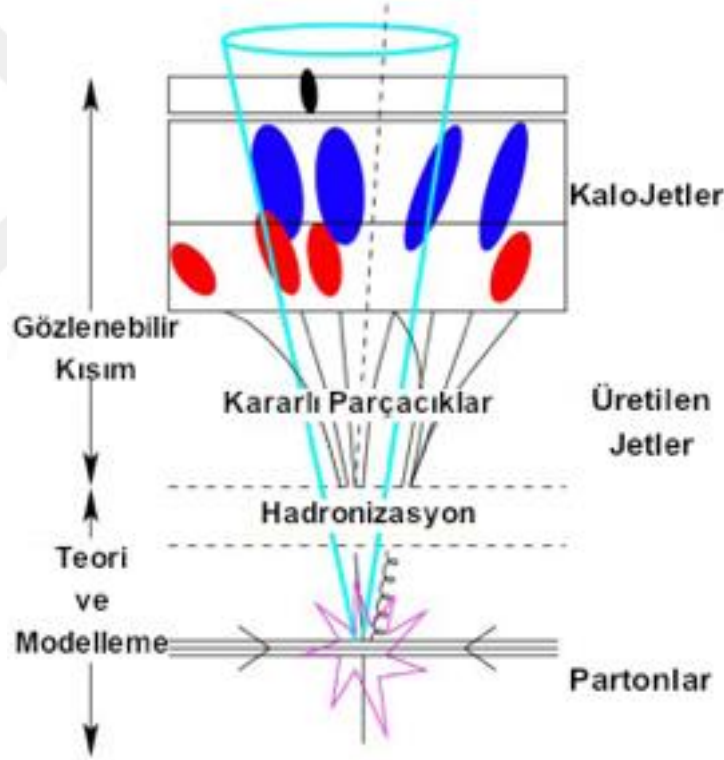


Şekil 3.1. CMS Ağır İyon Çarpışmalarında Ölçülen Merkezilik Parametresi (CMS COLLABORATION,2010 “Observation and studies of jet quenching in PbPb collisions at $s_{NN}=2.76$ TeV”arXiv:1102.1957)

3.2 Jetler ve Jet Tetikleyicileri

Yüksek enerjili etkileşimlerde sert saçılma süreci sonucu, partonlar son durumlarında ve yüksek enine momentum ile üretilirler. Parton olarak adlandırılan kuark ve gluonlar direkt gözlemlenebilir olmadıklarından, kendilerini, kararlı parçacıklara hadronize ederek, ortaya koyarlar. Hadronizasyon sonucu EKAL ve

HKAL’de (çıkan parçacıklar yüklüyse ek olarak piksel ve silikon şerit izleyici detektörlerde) sinyal oluşumu sağlanmış olur. Bu sinyaller sonradan kümelenerek kararlı parçacıklardan oluşan paralel yönlü objelere dönüşür. Bu objelere jet adı verilir. Jetlerin, parton seviyesi ve yoğun etkileşimlerden meydana gelen hadron duşları hakkındaki bilgileri açığa çıkarması beklenir. Bir jetin sert etkileşimden gözlenebilir enerjiye dönüşüm aşamaları Şekil 3.2’de gösterilmiştir. BHÇ’ deki birçok ilgi çekici fizik olayı kararlı durumda jetler içerir. Bu yüzden jetlerin kesin ölçümü ve yapılandırılması sert saçılma olaylarının ve yeni fizik araştırmalarının anahtarı niteliğindedir (Wiedemann, 2003).



Şekil 3.2. Jet Gelişim Süreci

3.2.1. Ağır İyon Fiziğinde Jetler

BHÇ’de yapılan kurşun-kurşun çarpışmalarında jet incelenmesi iki deneysel zorluğa sahiptir. İlki hadronlaşma-parçalanma sürecinin rastgeleliğidir. Bu rastgelelik kararlı durumda yüklü veya yüksüz parçacıklar ile jet enerjisi kesrinin dalgalanmasına sebep olur. Jetlerin belirlenmesi ve incelenebilmesi için elektromanyetik ve hadronik enerjilerinin yüksek verimlilikle bulunması gerekir. Alınan veri ile teorik hesaplamalar arasında sağlam bir kıyaslama yapabilmek için hassas bir jet enerji kalibrasyonu, yüksek derecede önemlidir. İkinci zorluk ise arka plan olaylarının jet enerjilerine olan fazladan katkısını orijinal jet enerjisinden ayırmaktır. Arka plan olayları yumuşak hadronik etkileşimlerden kaynaklanır. Arka plan olaylarından kaynaklı parçacıklar ile jete ait olan parçacıkların ayrılabilmesi için bir momentum eşik değeri ($p_T > 4$ GeV/c) uygulanmıştır. Bu işlemin avantajı yüksek enerjili jetlerin ($E_T > 30$ GeV) incelenmesini sağlamasıdır.

3.2.2 Jet Yapılandırılması

Jetlerin yapılandırılması için kalorimetrelerde depolanan enerjileri veya parçacıkların dörtlü vektörlerini toplayan algoritmalar kullanılır. İyi bir jet algoritması, parton seviyesi ile parçacık seviyesi arasında iyi uyuşma sağlayabilen algoritmadır. Parçacık seviyesi ile kasıt hadronizasyon süreci sonrasında kalan kararlı parçacıklardır. Ayrıca iyi bir jet algoritması, aynı doğrultuda hareket eden parçacıkların tek parçacık olarak algılanmasını engellemelidir. Bu özelliğe doğrudaşlık emniyeti adı verilir. Jet bulma algoritması enerji tabanlı olan jet algoritmaları doğrudaşlık emniyetine sahip değildir. Geleneksel olarak hadron çarpıştırıcılarında, jetleri bulmak için koni temelli gruplama algoritmaları kullanılır. Koni temelli algoritmalar kayda değer enerji akışlarının doğrultusunda hayali bir koni bölgesi seçer ve bu bölge içinde kalan tüm parçacıkları gruplayarak, ön-jet olarak kaydeder. Koni bölgesi en yüksek enerjili parçacık eksenine etrafındadır ve koni bölgesinde yer alan tüm parçacıkların dörtlü vektör bilgileri hesaplanır. Dörtlü vektörler, bir parçacığın eta, phi, E_T ve p_T bilgilerini içerir.

CMS ağır iyon çarpışmalarında jet yapılandırılması, her bir olay için arka fon çıkarma özelliğine sahip yinelemeli (iteratif) koni algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu algoritma ayrıca gürültü çıkarma özelliğine de sahiptir. Bu algoritmanın adımları şu şekilde sıralanabilir:

Başlangıç olarak, her bir psüdo-rapidite (η) halkasında, kalorimetre hücrelerinde kaydedilen enerjinin ortalaması ve sapması hesaplanır. Hesaplanan ortalama ve sapma bütün kalorimetre kulelerinin enerjilerinden çıkarılır. Ayrıca pedestal fonksiyonu bütün kulelerden çıkarılarak enerjisi sıfırdan büyük olan kuleler üzerinde jet bulma algoritması çalıştırılır. İkinci adım olarak, jet bulma algoritmasının bulduğu jet alanlarının dışında kalan kulelerin ortalama enerji değeri ve sapması tekrar hesaplanır. Jet alanı dışındaki kule enerjilerinden hesaplanan ortalama ve sapma değeri bütün kulelerden çıkarılır. Başlangıçta hesaplanan ortalama ve sapma enerji değeri önemini yitirdiğinden sadece ikinci hesaplanan enerji ortalaması ve sapması çıkarılmaktadır. Enerji çıkarımından sonra enerjisi sıfırdan büyük olan kuleler üzerinde tekrardan jet bulma algoritması son defa çalıştırılır. Bu sayede arda lan çarpışmaların katkısı ve gürültü incelenmek istenen detektör verisinden çıkarılmış olur (Kodolova, 2007).

3.2.3 Jet Tetikleyicileri

2010 CMS ağır iyon çarpışmalarında gözlemlenen, tetikleyicilerden minimum bias olayların yarısı kaydedilebilmiştir. Bu yüzden ilk seviye ve yüksek seviye tüm jet tetikleyicileri tüm jet istatistiklerini kaydedecek şekilde ayarlanmıştır. Bunun için seçilebilecek en düşük jet enerji eşik değeri (30 GeV) seçilmiştir. İlk seviye jet tetikleyicilerinden iki tanesi aktif olarak kullanılmıştır: Algoritma etiketi 34 olan “TekliJet30U_BptxAND” ve algoritma etiketi 89 olan “TekliJet50U_BptxAND” tetikleyicileridir.

Yüksek seviye tetikleyicide ise dört tane jet tetikleyicisi kullanılmıştır. Bunlar dört farklı doğrulanmamış momentum eşik değerine sahip, “HLT_HIJet35U”, “HLT_HIJet50U”, “HLT_HIJet75U” ve “HLT_HIJet90U” tetikleyicileridir ve momentum eşik değerleri sırasıyla 35, 50, 75 ve 90 GeV/c dir. Yüksek seviye tetikleyicilerin hepsi çekirdek olarak “TekliJet30U_BptxAND” tetikleyicisini kullanmaktadır. Bunun anlamı “TekliJet30U_BptxAND” tetikleyicisini çalıştıran olaylar için yüksek seviye tetikleyicilerin çalışacağıdır. Online jet yapılandırılması ve momentum eşik değerleri sayesinde ilk seviye jet tetikleyicilerinin oranı, 35, 50, 75 ve 90 GeV/c eşik değerleri için sırasıyla 23, 150, 500 ve 750 faktöründe ön ölçeklendirilmiştir.

35 GeV momentum eşik değerine sahip tetikleyicinin oranının birkaç Hz’i aşmadığı görülmüştür. Bu yüzden ağır iyon fiziği çalışmalarında momentum eşik değeri 50 GeV/c olan jet tetikleyicisi olay seçim faktörü olarak kullanılmıştır. Bu eşik değerinde jetlere sahip olan olaylar ön ölçekleme yapılmadan kaydedilmiştir. (CMS Coll., 2011)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Jet Bulma Verimliliği

Ağır iyon çarpışmaları sırasında CMS’te bulunan tetikleyici sistemler aktif olduğu için, bu sistemlerin alınan detektör verisi üzerinde göstereceği etki, nasıl bir verimlilikle çalıştıklarına bağlıdır. 2010 Kasım ayından önce kurşun-kurşun ağır iyon çarpışmalarına ait detektör verisi olmadığı için, yapılacak çarpışmalar öncesinde MC simülasyon verisi kullanılarak tetikleyicilerin verimlilikleri belirlenmiştir. Bu tezde anlatılan çalışmalardan sonra elde edilen sonuçlara göre, Kasım 2010 tarihinde gerçekleştirilen çarpışmalarda kullanılacak jet tetikleyicileri ve eşik değerleri belirlenmiştir. Jet tetikleyicilerinin çalışma performansları simülasyon verileri kullanılarak belirlendikten sonra alınan detektör verisi incelenmiş ve MC – Detektör veri karşılaştırılmaları yapılarak, tetikleyici sistemlerin davranışları incelenmiştir.

Jet tetikleyicileri her bir çarpışma olayı içerisindeki jetleri inceleyerek, jet enerji eşik değerinden yüksek olan olayları kabul eder. Jet tetikleyicileri eşik değerinin üzerinde enerjiye sahip olan bir jet bulduğunda aynı olay içerisindeki diğer jetlerin bir önemi kalmamakta ve bu olay jet tetikleyicisini geçmektedir. Bu nedenle, Jet tetikleyicilerinin performansını veya verimliliklerini ölçmek için her bir çarpışma olayı içindeki en yüksek enerjili jet bulunur. Aynı olay içindeki diğer jetlerin jet tetikleyicisi için bir önemi olmayacağından, jet tetikleyici performansı en yüksek enerjiye sahip jetler kullanılarak ölçülür. Bu çalışmamızda bu jetleri lider jet olarak adlandıracağız.

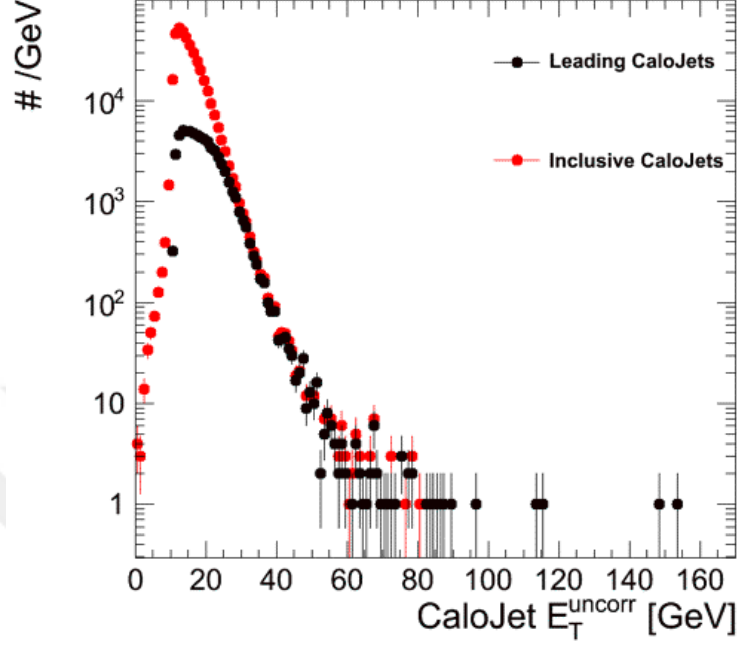
4.1.1. Lider Jetlerin Bulunması

Lider Jetler her bir çarpışma olayı içerisindeki en yüksek enerjili jetlerdir. Her bir çarpışma olayındaki jetler, jet bulma algoritması kullanılarak elde edilir, yapılandırılır ve enerjilerine göre sıralanır. Sıralamada en yüksek enerjiye sahip

olan jet seçilerek, sahip olduğu bütün özellikler ile birlikte lider jet olarak kaydedilir. Her bir çarpışma olayı için bu süreç tekrarlanır.

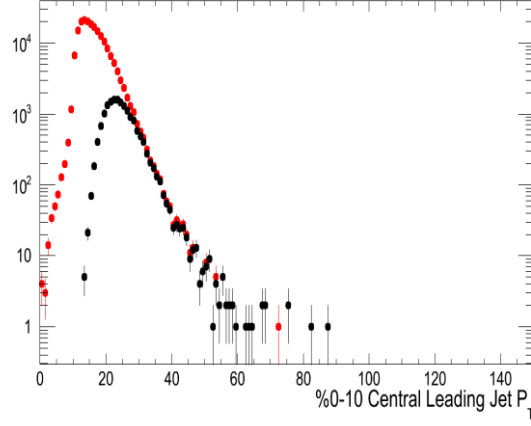
Bütün jetler incelendikten ve lider jetlerin tamamı kaydedildikten sonra, lider jetler ile inceleme sürecinden geçen bütün yapılandırılmış jetler karşılaştırılır. Bu karşılaştırmada lider jetlerin, yapılandırılmış bütün jetler içerisinde yüksek enerjili jetlerle eşleşmiş olması beklenmektedir. Bu işlem bir nevi lider jet bulma işleminin sağlaması niteliğindedir.

Lider jet bulma işlemi 2010 ağır iyon verisi alınmadan önce MC simülasyon verisi kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan MC simülasyon verisi Hydjet simülatörü kullanılarak elde edilmiş olup, 200 bin adet tetikleyiciden minimum etkilenmiş çarpışma simülasyonu içermektedir. İnceleme sonucu, simülasyon verisinde yaklaşık 400 bin kalorimetre jeti (kalojet) olduğu, bunların sadece 70 bininin lider kalojet olduğu bulunmuştur. Şekil 4.1’de, tespit edilen tüm kalojetler ile lider kalojetlerin enerji karşılaştırılması yapılmıştır.

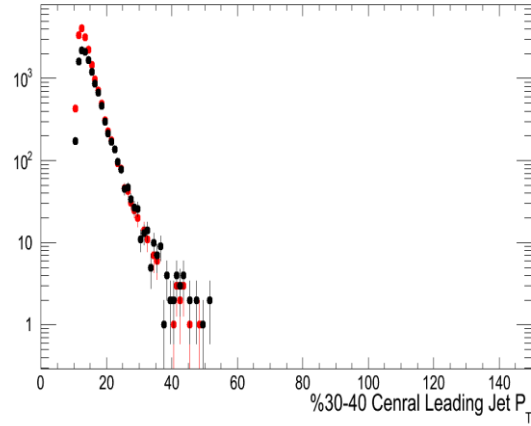


Şekil 4.1 Lider Kalojetlerin Enerji Spektrumu

Şekil 4.1’de, veriden elde edilen tüm jetler kırmızı noktalarla, bunların içerisindeki lider kalojetler ise siyah noktalarla, gösterilmiştir. Görüleceği üzere lider kalojetler 30 GeV üzeri enerjilerde tüm kalojetler ile eşleşmeye başlamaktadır. Yüksek enerji bölgelerinde eşleşme oranının yüksek olması lider kalojetlerin yüksek enerjili kalojetler olması mantığına da uygundur. Lider kalojetlerin merkezilik parametresine göre değişimi Şekil 4.2 ve 4.3’teki grafiklerden görülebilir.



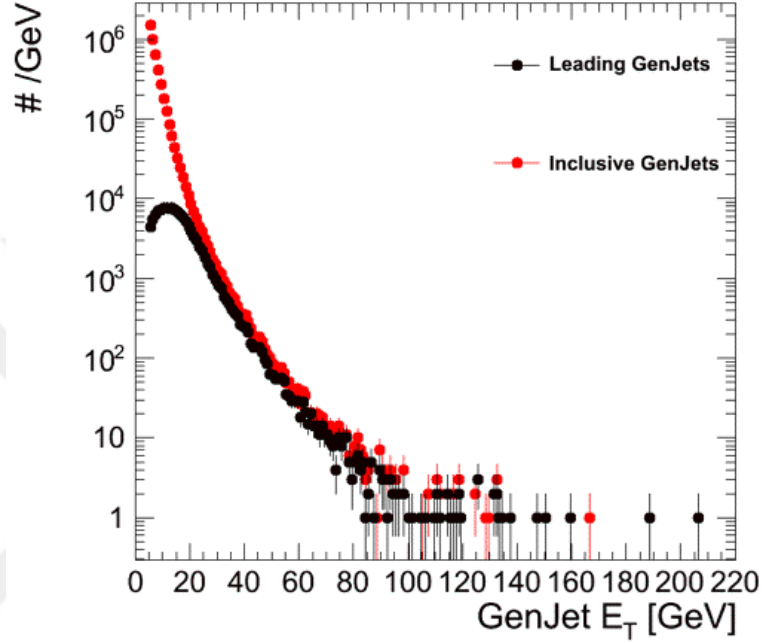
Şekil 4.2. Lider Kalojet ve Tüm kalojet enerji spektrumunun %0-10 merkeziliğe göre dağılımı



Şekil 4.3. Lider Kalojet ve Tüm Kalojet enerji spektrumunun %30-40 merkeziliğe göre dağılımı

Şekil 4.2'deki grafik %0-%10 merkezilik (en merkezi çarpışma) parametresi için, Şekil 4.3'teki grafik ise %30-%40 merkezilik (yarı merkezi çarpışma) parametresi için alınmış lider kalojet – tüm kalojet karşılaştırmalarıdır. Kalojet enerji spektrumunun merkezi çarpışmalarda daha yüksek enerji seviyelerine, çevresel çarpışmalarda ise daha düşük enerji seviyelerine sahip

olduğu görülmektedir. Lider kalojetler için gerçekleştirilen adımların aynısı lider genjetler (simülasyon jetleri) ve tüm genjetler için tekrarlanmıştır.

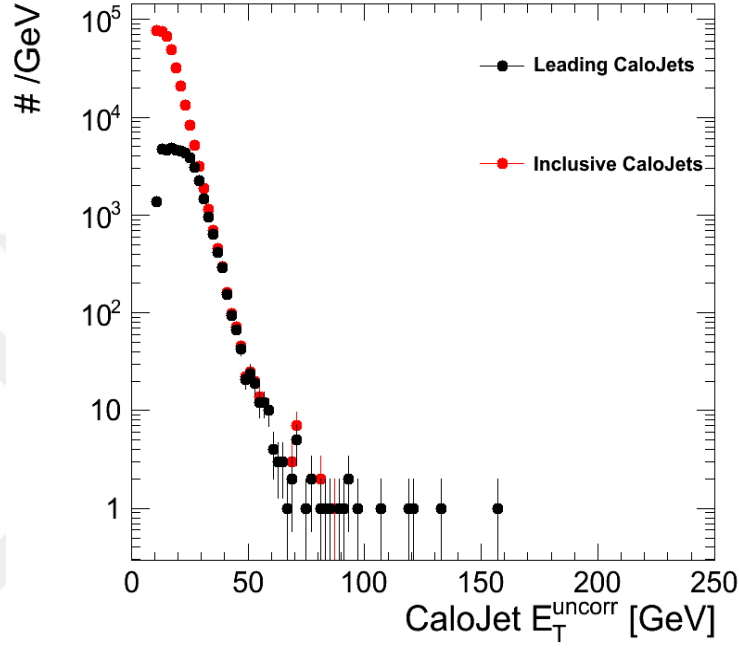


Şekil 4.4. Lider Genjet ve Tüm Genjetlerin Enerji Spektrumu

Lider genjetler ve tüm genjetlerin enerji spektrumu Şekil 4.4'te görülmektedir. Bu dağılımdaki genjetler yapılandırılarak kalojetler elde edilmektedir. Lider kalojetler bu yüzden bu dağılımdaki lider genjetlerle eşleşmelidir. Genjetler ile kalojetlerin eşleştirilmesi sonucu eşleşmeyen kalojetler sahte jetlerdir.

Simülasyon verisi üzerinde yapılan bu çalışmalar, detektör verisi alındıktan sonra tekrarlanmış ve simülasyon – detektör verisi uyumluluğuna bakılmıştır. Genjetler detektör verisinde var olmadığından, genjetler kullanılarak yapılan çalışmalar detektör verisi üzerinde gerçekleştirilememektedir. Bu yüzden sahte jet

oranı veya sahte jetlerin jet tetikleyicilerini çalıştırma oranı detektör verisi kullanılarak bulunamaz.



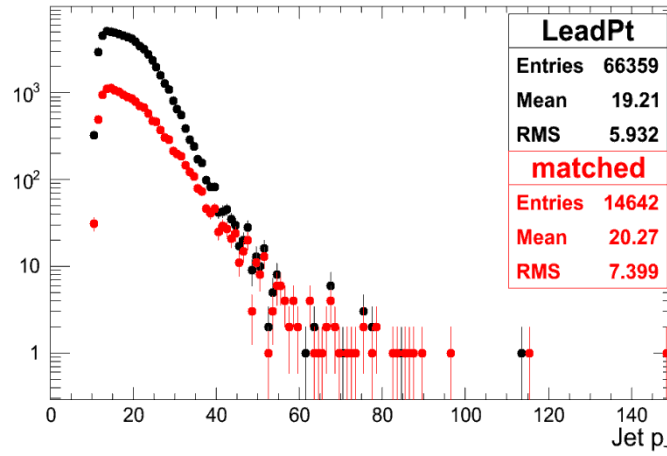
Şekil 4.5. Detektör verisinden alınmış lider kalojetler ve tüm kalojetlerin enerji spektrumu

Şekil 4.5'teki spektrum 2010 kurşun-kurşun çarpışma verilerine aittir. Grafikte görüleceği üzere lider kalojetler tüm kalojetlerle, simülasyon verisi ile benzer şekilde, 30 GeV üzerindeki bölgede yüksek oranda eşleşmektedir. Simülasyon verisi ile detektör verisi karşılaştırıldığında gözlemlenen yüksek uyumluluk şaşırtıcı derecede iyidir. Detektör verisinde elde edilen jet enerji spektrumu simülasyon verisi ile hemen hemen aynı özelliklere sahiptir. Karşılaştırma açısından simülasyon verisinden elde edilen jet spektrumu (Şekil 4.1) incelenebilir.

4.2. Sahte Tetikleyici Oranı Ve Sahte Jetler

Jet bulma algoritmasının bulduğu bütün jetler gerçek jet değildir. Bu jetlerin bir kısmı sahte jettir. Sahte jetler, jet bulma algoritmamızın jet sandığı ama asıl olarak jet olmayan detektör verileridir. Sahte jet bulma işlemi simülasyon verisinde kolaylıkla yapılabilir. Detektör verisinde ise bu işlemi yapmak tam olarak mümkün değildir. Detektör verisinde sahte jet tahmininde bulunabilmek için simülasyon verisi ile elde edilen sonuçlar kullanılmaktadır. Simülasyon verisinde sahte jetleri bulmak için genjetler ile kalojetler eşleştirilerek, genjetlerle eşleşmeyen kalojetlerin jet tetikleyicilerini çalıştırma oranına bakılmıştır.

Eşleştirme işlemi için, simülasyon aşamasında ürettiğimiz Genjet ile kalorimetrede ölçtüğümüz kalojetin aynı ekseninde olup olmadığına bakarız. Eğer genjet eksenini kalojet eksenine aynı doğru üzerinde veya yakınındaysa bu bize üretilmiş genjetin kalorimetrede kalojet olarak ölçüldüğünü gösterir ve beklenen sonuç budur. Eğer eksenler uyuşmuyorsa bu da bize ölçtüğümüz kalojetin üretilmediğini yani gerçek bir jet olmadığını yani sahte bir jet olduğunu gösterir.

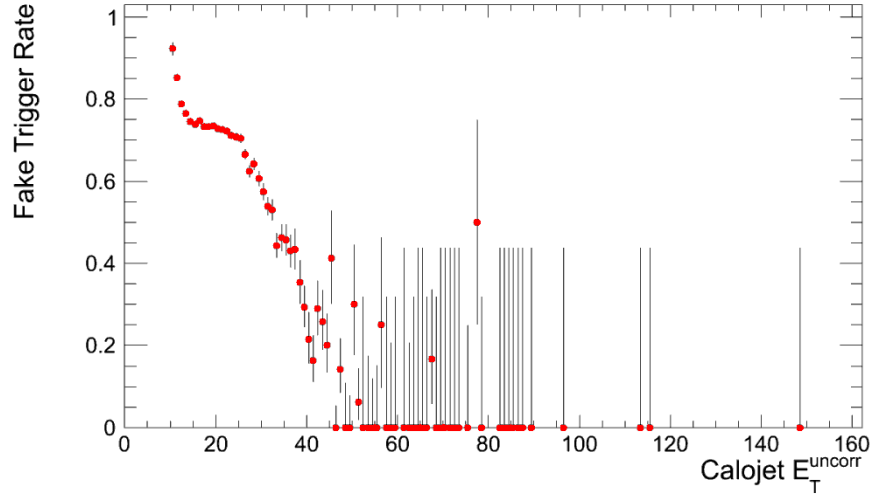


Şekil 4.6. Lider Kalojetler ile Genjetlerin Eşleştirilmesi

Sahte jetler, sistemimizin jet olarak ölçtüğü ama aslında jet olmayan objelerdir. Bu objeler yan yana ölçülen yüksek enerjili kalorimetre kuleleridir. Jet

bulma algoritmasının kesin bir doğrulukla çalışmadığının göstergesidir.

Eşleştirme işlemi sonucu elde edilen grafik Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Grafikte siyah işaretçiler lider kalojetleri, kırmızı işaretçiler ise kendi jet eksenine yakın bir genjetle eşleşmiş lider kalojetleri temsil etmektedir. Grafikten de görüleceği gibi yaklaşık 70 bin lider kalojetin sadece 15 bin kadarı genjetlerle eşleşmiştir. Buda bize lider kalojetlerin büyük bir kısmının sahte olabileceğini ifade etmektedir. Bulunan bu sahte jetlerin jet tetikleyicilerini çalıştırma oranı Şekil 4.7’de görülmektedir.



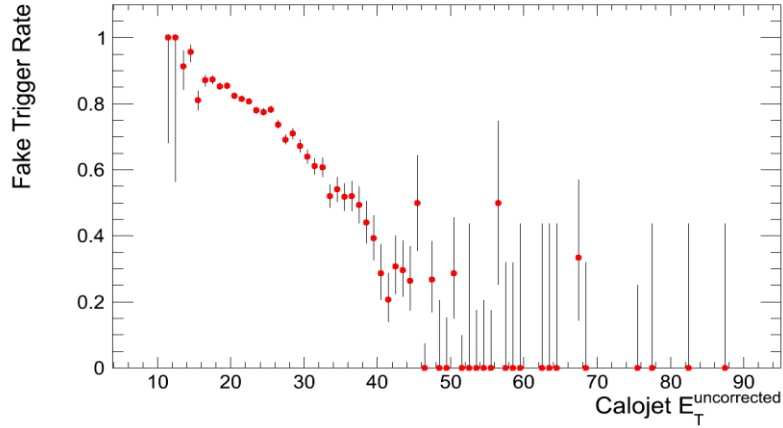
Şekil 4.7. Sahte Jet Tetikleyicileri Oranı

Şekil 4.7’deki grafikte y eksenini tetikleyicinin çalıştırılma verimliliğini, x eksenini ise jet tetikleyicisini çalıştıran sahte kalojetlerin enerjilerini göstermektedir. y eksenindeki 1 değeri, tetikleyicinin %100 verimlilikle çalıştırılması anlamına gelmektedir. Düşük enerjilere sahip sahte jetlerin tetikleyiciyi yüksek oranda çalıştırdığı görülmektedir. Örneğin; 15 GeV enerjiye sahip sahte kalojetler jet tetikleyicisini %90 oranında çalıştırmıştır. Yani; 15 GeV enerjiye sahip sahte jetlerin %90’ı jet tetikleyicisinden geçmeyi başarmıştır. Buna karşın 50 GeV’den büyük enerjili sahte jetlerin tetikleyiciyi çalıştırma oranı sıfıra yakındır. Grafikten

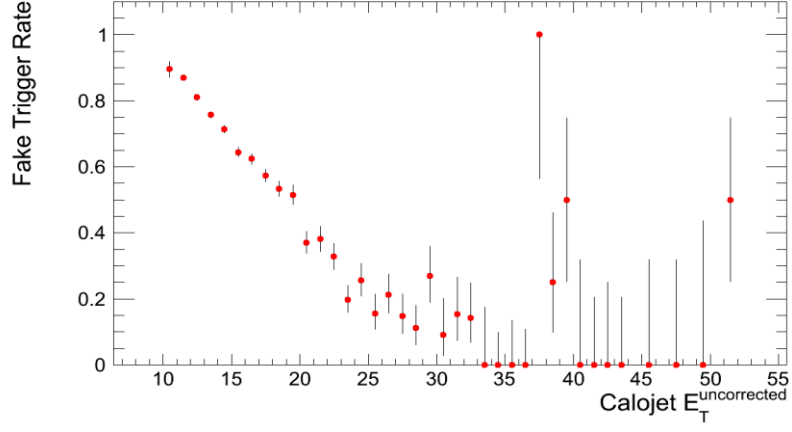
de görüleceği üzere, enerjisi 80 GeV den büyük hiçbir sahte jet, jet tetikleyicisinden geçmeyi başaramamıştır.

Simülasyon verisi kullanılarak elde edilen bu sonuca bakarsak, detektör verisinden alınan jet spektrumunda yaklaşık olarak 80 GeV üzeri enerjiye sahip jetler gerçek jetlerdir diyebiliriz. Simülasyon verisi ile detektör verisi arasındaki yüksek uyum bu seçimi yapabilmemizi sağlamaktadır.

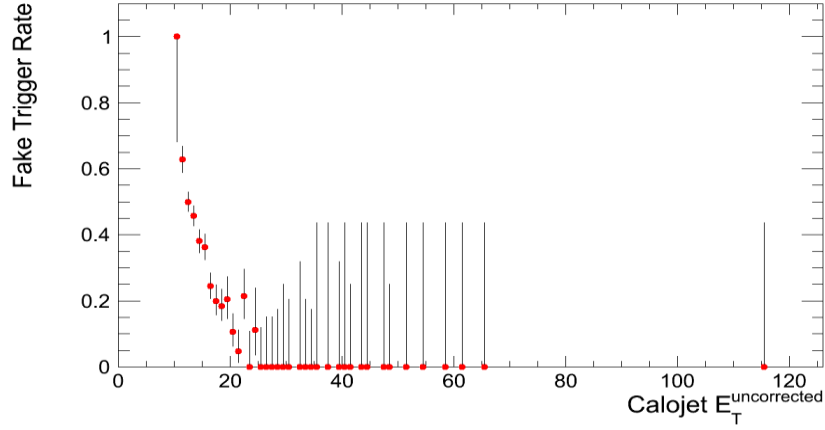
Sahte jet tetikleyicilerin çalıştırılma oranının merkezilik parametresine bağlılığı Şekil 4.8-9-10-11’de verilmiştir. Şekil 4.8’deki grafik en merkezi (%0-%10) çarpışmalar için, Şekil 4.9’daki grafik yarı merkezi (%30-%40) çarpışmalar için, Şekil 4.10’daki grafik yarı çevresel (%50-%60) çarpışmalar için, Şekil 4.11’deki grafik ise çevresel (%80-%90) çarpışmalar için hesaplanmış sahte jet tetiklenme oranlarıdır. Görüldüğü üzere merkezi çarpışmalarda sahte jet oranı daha fazladır. Çevresel çarpışmalarda ise bu oran çok düşüktür.



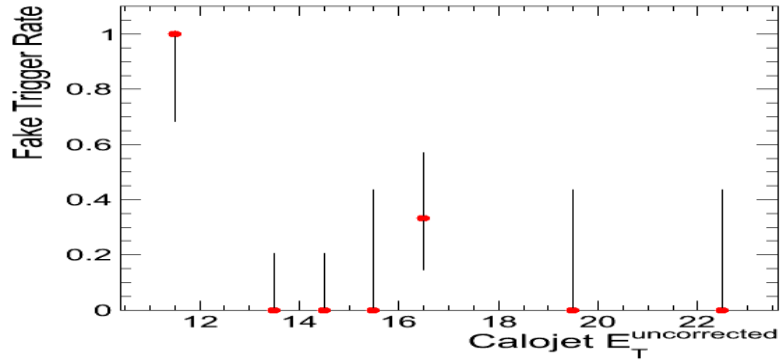
Şekil 4.8. Sahte Jet Oranının %0-10 Merkezi Çarpışmalardaki Dağılımı



Şekil 4.9. Sahte Jet Oranının %30-40 Merkezi Çarpışmalardaki Dağılımı



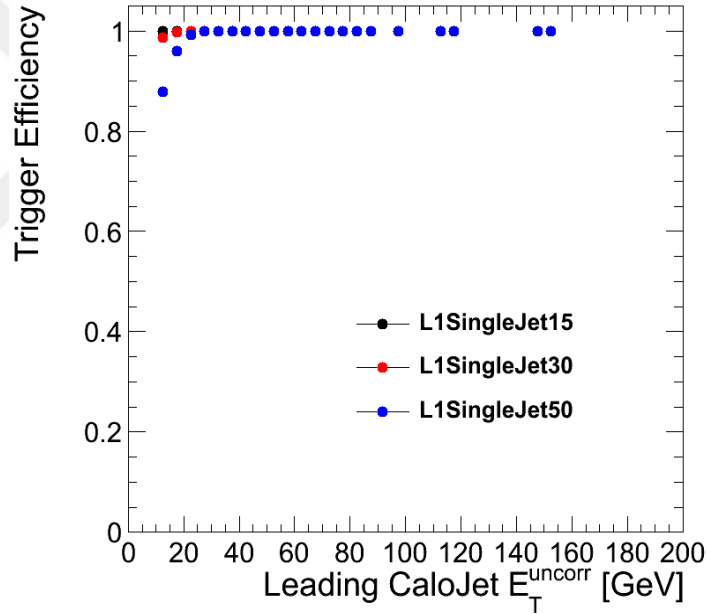
Şekil 4.10. Sahte Jet Oranının %50-60 Merkezi Çarpışmalardaki Dağılımı



Şekil 4.11. Sahte Jet Oranının %80-90 Merkezi Çarpışmalardaki Dağılımı

4.3. İlk Seviye Jet Tetikleyicilerinin Verimliliği

İlk seviye tetikleyici sistemindeki tekli Jet bulma tetikleyicilerinin çalışma verimliliği, lider jetler kullanılarak elde edilmiştir. Lider jetlerden tekli jet tetikleyicilerini çalıştıran jetlerin hangi enerjilerde bulunduğu, tetikleyici verimliliğini incelemeye faydalı bir yöntemdir. Bütün lider jetlerin farklı enerji seviyelerinde tetikleyicileri çalıştırma oranı, tetikleyicinin verimliliğini ifade eder. Şekil 4.12’de ilk seviye tekli jet tetikleyicilerinin verimliliği ve lider kalojet enerjisine göre korelasyonu verilmiştir. Bu korelasyon simülasyon verisi kullanılarak elde edilmiştir.

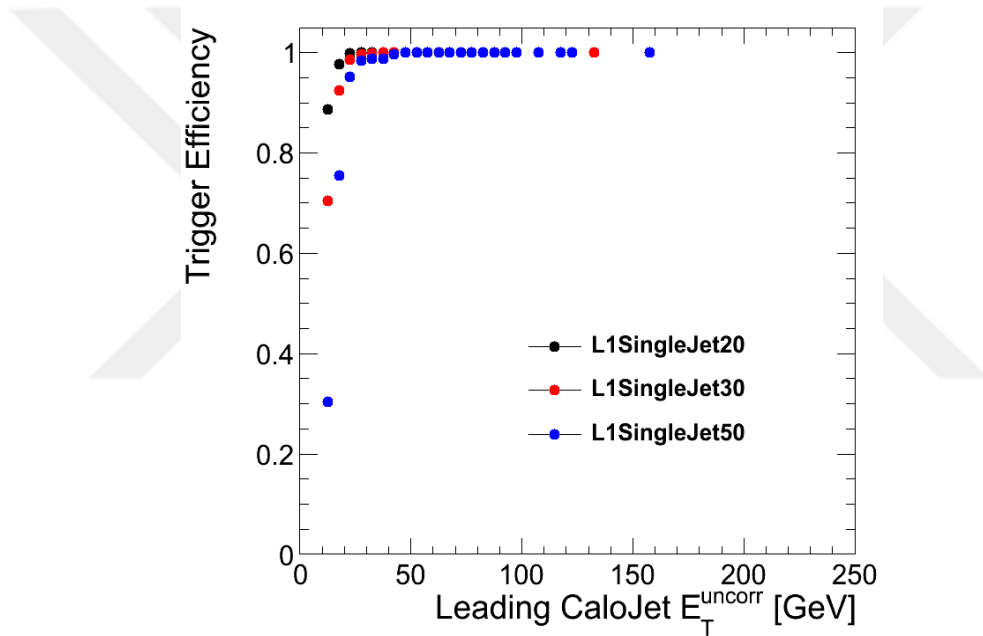


Şekil 4.12. Tekli Jet Tetikleyicilerinin Verimliliği (Simülasyon Verisi)

Dağılımlardan görüleceği üzere jet bulma algoritmasının bulduğu jetler, jet enerji eşik değeri 15 GeV olan jet tetikleyicisini bütün enerji seviyelerinde tam verimlilikle (%97’den büyük) çalıştırmaktadır. Jet enerji eşik değeri 30 GeV olan tetikleyici yaklaşık ~20 GeV ‘den sonra tam verimlilikle çalışmaya başlamaktadır.

Eşik değeri 50 GeV olan tetikleyici ise 30 GeV'den sonra tam verimlilikle çalışmaktadır. Dağılımdaki jet enerjileri doğrulanmamış ham enerjilerdir. Jet tetikleyicileri ham enerjileri kullanmaktadır. İlk Seviye tetikleyici sistemi, simülasyon verisinde jetleri yüksek bir verimlilikle bulabilmektedir.

Aynı işlem detektör verisi üzerinde de uygulanmıştır. İlk seviye tetikleyici sisteminin bulduğu jetlerin tetikleyicileri çalıştırma oranı ve lider jet enerjisine göre korelasyonu Şekil 4.13'te verilmiştir.



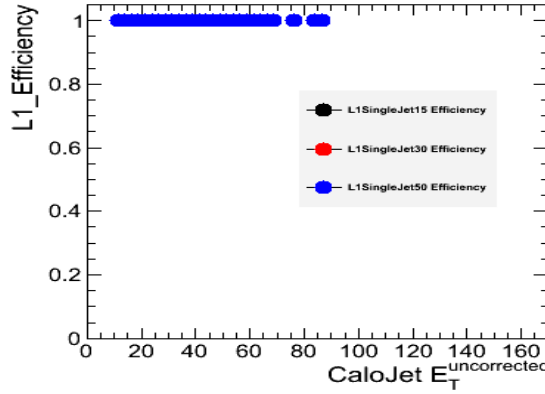
Şekil 4.13. Tekli Jet Tetikleyicilerinin Verimliliği (2010 Ağır İyon Verisi)

Şekil 4.13'te gösterildiği gibi lider kalojetler, jet enerji eşik değeri 15 GeV olan jet tetikleyicisini 10 GeV'den yüksek enerjilerde, tam verimlilikle (%97'den büyük) çalıştırmaktadır. Jet enerji eşik değeri 30 GeV olan tetikleyici yaklaşık ~20 GeV'den sonra tam verimlilikle çalışmaya başlamaktadır. Eşik değeri 50 GeV olan tetikleyici ise 40 GeV'den sonra tam verimlilikle çalışmaktadır. Tetikleyici verimliliklerinin eşik değerinden hemen önceki enerji değerinde tam verimlilikte

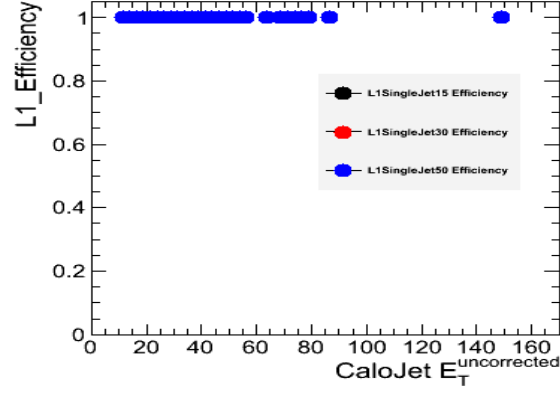
çalışmaya başlaması istenilen bir olaydır. Böylelikle istediğimiz enerji aralığına sahip jetleri kaydetmiş olduğumuzu anlarız.

Dağılımdaki jet enerjileri doğrulanmamış ham enerjilerdir. İlk Seviye tetikleyici sistemi, detektör verisinde de jetleri yüksek bir verimlilikle bulabilmektedir. Şekil 4.12 ve 4.13 karşılaştırıldığında simülasyon ve gerçek veri arasındaki yüksek uyum fark edilebilir.

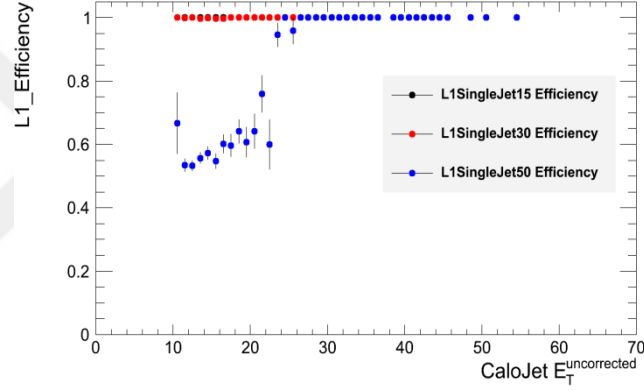
Detektör verisi alınmadan önce simülasyon verisi üzerinde yapılan çalışmalar sonucu 15 GeV eşik değerine sahip tetikleyicinin bütün jetler tarafından tetiklendiği, bu yüzden çarpışmalar sırasında en düşük enerji eşik değeri olarak 30 GeV seçilmesi gerektiğine karar verilmiştir. Yüksek seviye tetikleyici sisteminin çekirdek olarak kullanması gereken ilk seviye jet tetikleyicisi yapılan çalışmalar sonucu 30 GeV olarak kabul edilmiştir.



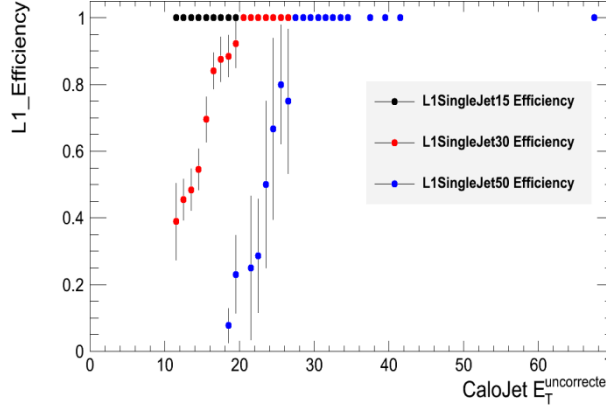
Şekil 4.14. Tekli Jet Tetikleyicisi Verimliliğinin %0-10 Çarpışma Merkeziliğine Göre Değişimi (Simülasyon Verisi)



Şekil 4.15. Tekli Jet Tetikleyicisi Verimliliğinin %20-30 Çarpışma Merkeziliğine Göre Değişimi (Simülasyon Verisi)



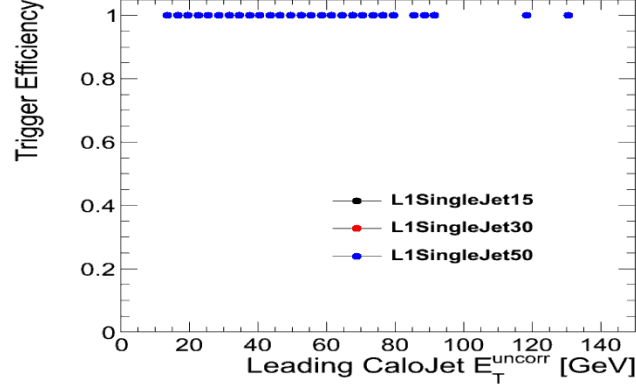
Şekil 4.16. Tekli Jet Tetikleyicisi Verimliliğinin %40-50 Çarpışma Merkeziliğine Göre Değişimi (Simülasyon Verisi)



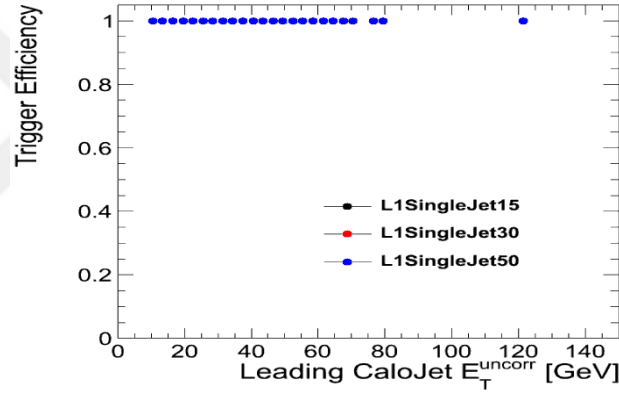
Şekil 4.17. Tekli Jet Tetikleyicisi Verimliliğinin %60-70 Çarpışma Merkeziliğine Göre Değişimi (Simülasyon Verisi)

Jet tetikleyicilerinin merkezilik parametresine göre değişimi, farklı merkeziliğe sahip çarpışmalar için önem taşımaktadır. İyi bir jet tetikleyicisi bütün merkeziliklerde jetleri yüksek oranla bulabilmelidir. Simülasyon verisi için elde edilmiş jet tetikleyicilerinin merkezilik parametresine göre değişimi Şekil 4.14-15-16-17’te verilmiştir. Grafiklerden görüleceği üzere jet tetikleyicileri en merkezi çarpışmalarda (%0-10 ve %10-20) tam verimlilikle çalışmaktadır. Bu çarpışmalarda elde edilen bütün jetler tetikleyicileri geçebilmiştir. Çevresel çarpışmalara gidildikçe tetikleyici verimlilikleri eşik değerlerinden hemen önce yükselerek, tetikleyicilerin tam verimlilikle çalışmaya başladığı görülmektedir.

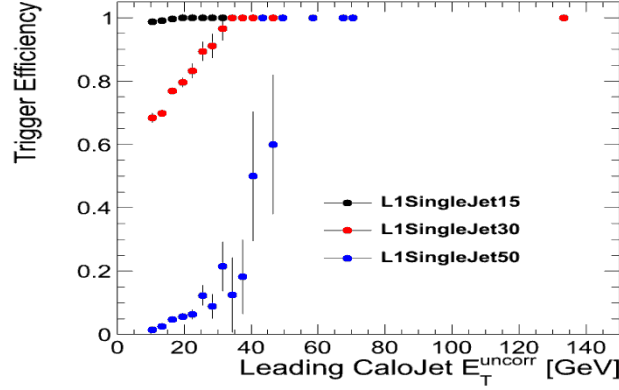
Benzer şekilde detektör verisinden elde edilen tekli jet tetikleyicilerinin çalışma performansının merkeziliğe göre değişimi Şekil 4.18-19-20-21’de gösterilmiştir.



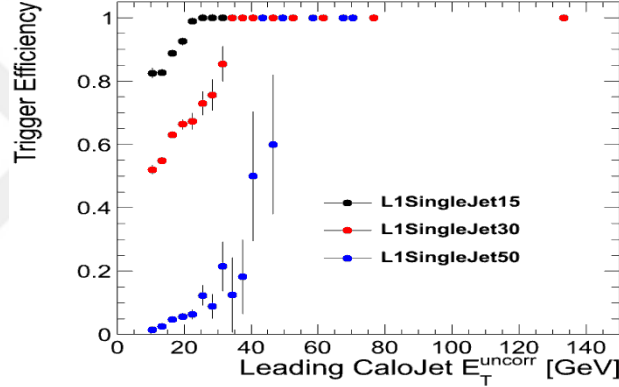
Şekil 4.18. Tekli Jet Tetikleyicisi Verimliliğinin %0-10 Çarpışma Merkeziliğine Göre Değişimi (Detektör Verisi)



Şekil 4.19. Tekli Jet Tetikleyicisi Verimliliğinin %20-30 Çarpışma Merkeziliğine Göre Değişimi (Detektör Verisi)



Şekil 4.20. Tekli Jet Tetikleyicisi Verimliliğinin %40-50 Çarpışma Merkeziliğine Göre Değişimi (Detektör Verisi)

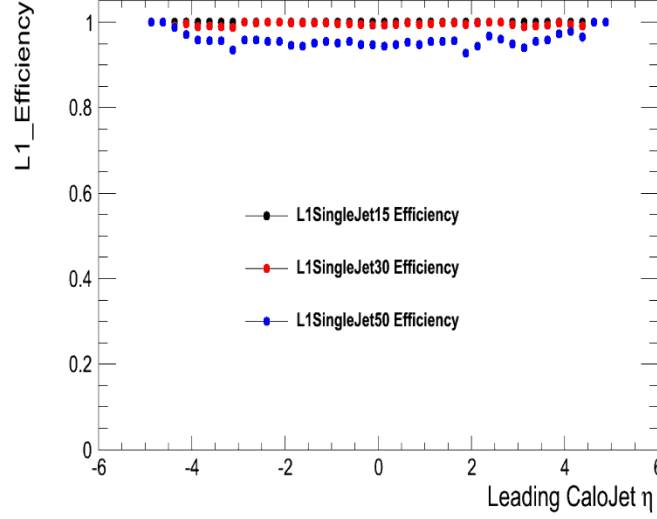


Şekil 4.21. Tekli Jet Tetikleyicisi Verimliliğinin %60-70 Çarpışma Merkeziliğine Göre Değişimi (Detektör Verisi)

İlk seviye jet tetikleyicilerinin ağır iyon çarpışmalarındaki performansı hem simülasyon hem de detektör verileri kullanılarak test edilmiş ve bütün merkeziliklerde yüksek verimlilikle çalıştığı gözlemlenmiştir.

İlk seviye jet tetikleyicilerinin detektör koordinatlarına göre değişimi, jet bulma verimliliğinde detektör alt sistemlerinin performanslarını gösterir. CMS detektör alt sistemlerinin η koordinat uzayında farklı bölgelere ayrıldığı önceki bölümlerde anlatılmıştır. Örneğin, HKAL kalorimetresi CMS detektörünün $-3 < \eta < 3$ bölgesinde yer almaktadır. Jet tetikleyicilerinin simülasyon verisi kullanılarak

elde edilmiş verimliliği ve lider jetlerin η bilgisiyle korelasyonu Şekil 4.22’de verilmiştir.

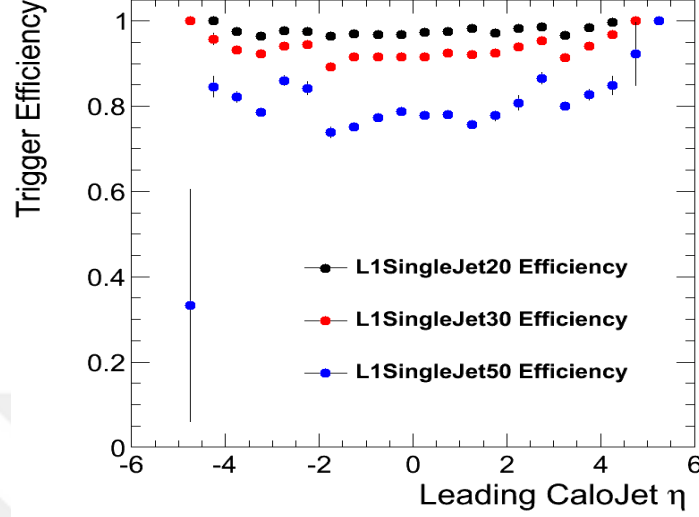


Şekil 4.22. Lider Kalojet Psüdorapiditesinin (η), Jet Tetikleyici Verimliliğiyle Korelasyonu (Simülasyon Verisi)

Burada görüleceği üzere simülasyon verisinde, lider kalojetler ileri kalorimetre bölgesinde daha yüksek verimlilikle bulunmaktadır. İlk seviye tetikleyici sistemindeki jet enerji eşik değeri 15 GeV olan bütün jetler bütün η bölgelerinde bulunabilmektedir.

Eşik değeri 30 GeV olan tetikleyici $3 < |\eta| < 4$ bölgesi haricinde tam verimlilikle bulunabilmektedir. $3 < |\eta| < 4$ bölgesi CMS detektöründe kapak kalorimetrelerine denk gelmektedir ve kapak bölgelerinde jet bulma verimliliğinin düşük olduğu görülmektedir.

Enerji eşik değeri 50 GeV olan tetikleyici ileri kalorimetre bölgelerinde ($|\eta| > 5$) tam verimlilikle bulunabilirken diğer bölgelerde %90 civarı bir verimlilikle bulunmaktadır.



Şekil 4.23. Lider Kalojet Psüdorapiditesinin (η), Jet Tetikleyici Verimliliğiyle Korelasyonu (Detektör Verisi)

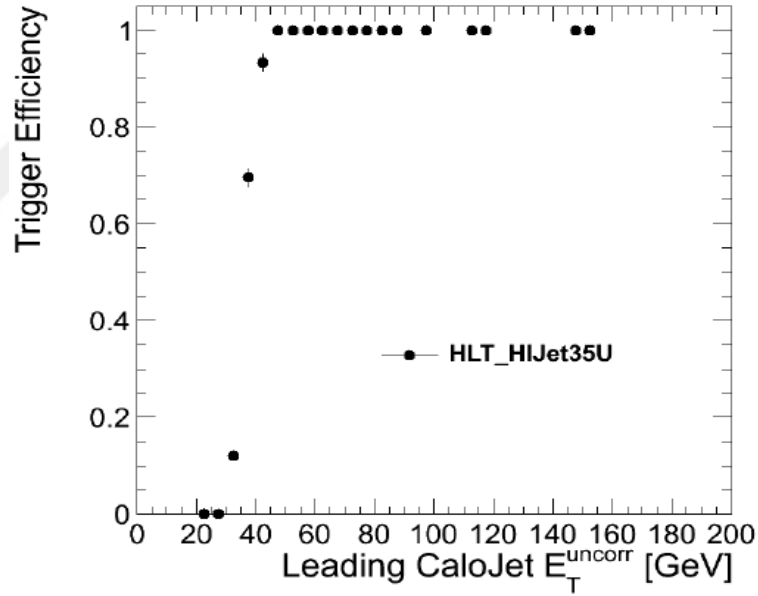
Detektör verisinden elde edilen ve Şekil 4.23'te gösterilen grafikte enerji eşik değeri 15 GeV olan tetikleyici tüm bölgelerde tam verimlilikle çalışabilirken, eşik değeri 30 GeV olan tetikleyici ileri bölgelerde yüksek verimlilikle bulunabilir olup, diğer bölgelerde %90 verimlilikle bulunabilmektedir. Enerji eşik değeri 50 GeV olan jet tetikleyici simülasyon verisinden farklı olarak daha düşük verimlilikle çalışmaktadır. Simülasyon verisinde %90 verimlilikle çalışacağı tahmin edilen 50 GeV eşik değerli tetikleyici, detektör verisinde %70-%80 arası verimlilikle bulunabilmiştir.

4.4. Yüksek Seviye Jet Tetikleyicilerinin Verimliliği

Yüksek Seviye Tetikleyici Sisteminin ilk seviyeden farklı olarak uyguladığı algoritmalarla bulduğu jetler ve bu jetlerin tetiklenme oranı kaydedilecek veri açısından ve jet fiziği üzerine çalışmalar açısından önemlidir. İlk seviye tetikleyici sistemindeki 30 GeV eşik değerli tekli jet tetikleyicisini geçen olaylar daha fazla inceleme ve olay seçimi için yüksek seviye tetikleyici sistemine

gönderilmektedir. Yüksek seviye tetikleyici sistemi ilk seviyeyi geçen olayları daha fazla incelemeye tabi tutarak bu olayların bir kısmını elemekte bir kısmını da kaydedilmek üzere teyplere göndermektedir.

Yüksek seviye jet tetikleyicileri jet seçimi yapmak için lider kalojetleri kullanmaktadır. Lider kalojetlerin eşik değeri 35 GeV olan yüksek seviye jet tetikleyicisini çalıştırma oranı ilk etapta simülasyon verisi kullanılarak bulunmuş daha sonra detektör verisi üzerinde aynı işlem tekrarlanarak yüksek seviye tetikleyici sisteminin performansına bakılmıştır. Simülasyon verisi kullanılarak bulunan yüksek seviye jet tetikleyici sisteminin verimliliği Şekil 4.24'te verilmektedir.

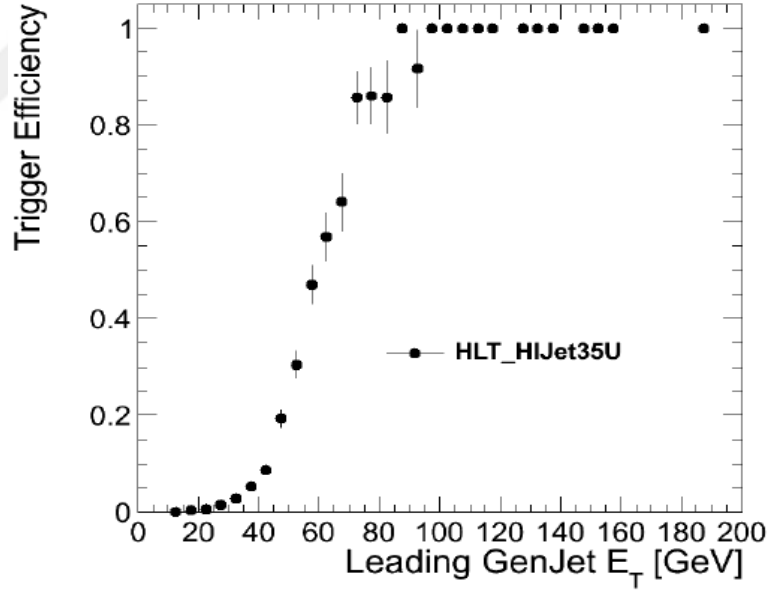


Şekil 4.24. Yüksek Seviye Jet Tetikleyicisinin Verimliliği (Simülasyon Verisi)

Yüksek seviye jet tetikleyicisi 35 GeV eşik değerine sahiptir ve tetikleyici verimliliği lider kalojet enerjisi 30 GeV'den büyük bütün jetler için tam verimlilikle çalışmaktadır. Grafikten de görüleceği üzere tetikleyici verimliliği 25

GeV'den sonra aniden artış göstermekte ve keskin bir artışla tam verimliliğe geçmektedir. Bu tetikleyici sistemi için görmek istediğimiz performans biçimidir. Simülasyon verisinden elde edilen bu sonuca bakılarak yüksek seviye jet tetikleyicisinin çok iyi bir performansla çalışması beklenmektedir.

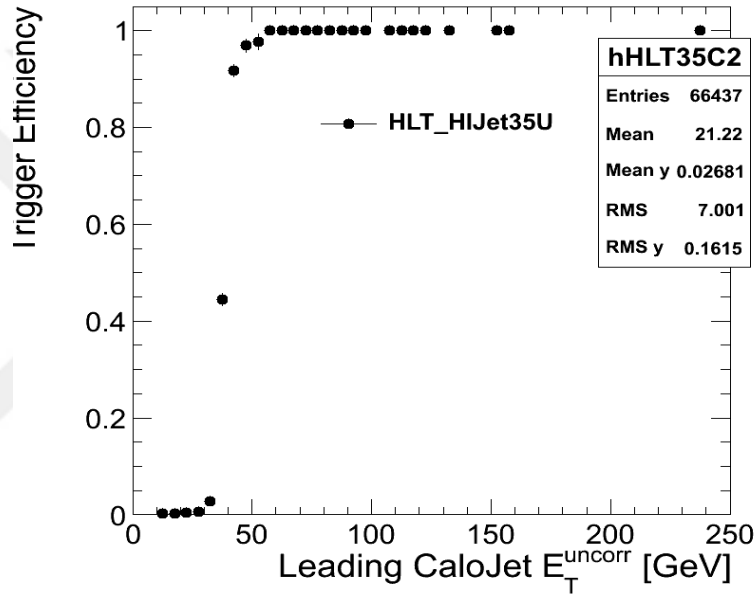
Simülasyon verisinde var olan genjetler kullanılarak bu sistem hakkında daha geniş bilgiler bulunabilir. Örneğin detektör içerisindeki durumu simüle edilen bir jetin enerjisi doğrulandıktan sonra elde edilecek tetikleyici performansı tahmin edilebilir. Genjetler herhangi bir detektör etkisi uygulanmamış jetler olduğundan, tetikleyici verimliliğinin genjet enerjisine göre korelasyonu bize kalojet enerjileri doğrulandıktan sonra elde edilecek tetikleyici performansı hakkında bilgi verir. Lider Genjet enerjilerinin tetikleyici verimliliğiyle korelasyonu Şekil 4.25'te verilmiştir.



Şekil 4.25. Yüksek Seviye Jet Tetikleyici Verimliliği ve Genjet Enerjisiyle Korelasyonu

Grafikten görüleceği üzere enerji eşik değeri 35 GeV olan jet tetikleyicisinden geçen lider jetler, enerjileri doğrulandıktan sonra 80 GeV enerji değeri üzerinde tam verimlilikle bulunmaktadır.

Simülasyon çalışmaları yapıldıktan sonra yüksek seviye jet tetikleyicilerinin çalışma performansı detektör verisi kullanılarak tekrarlanmış ve yüksek seviye tetikleyicinin performansına bakılmıştır.



Şekil 4.26. Yüksek Seviye Jet Tetikleyicisinin Verimliliği ve Lider Kalojetler ile Korelasyonu (Detektör Verisi)

Detektör verisi kullanılarak elde edilen yüksek seviye jet tetikleyicisi verimliliği Şekil 4.26'daki grafikte gösterilmiştir. Doğrulanmamış jet enerjileri kullanılarak elde edilmiş bu sonuca bakarak, ani artış gösteren tetikleyici verimliliği, enerji eşik değeri 35 GeV olan tetikleyicinin 40 GeV üzerindeki jetlerde tam verimlilikle çalışabildiğini göstermektedir. Bu yüksek tetikleyici verimliliği sayesinde ağır iyon çarpışmalarında kullanılan tetikleyiciler, jet bulma

ve jet içeren olayları bulup kaydetme konusunda yüksek bir performans sergilemiştir.





5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

CERN’de yapımı tamamlanan ve 2009 yılının sonunda faaliyete geçen BHÇ halkası üzerindeki CMS deneyi, Higgs, SUSY parçacıklarının saptanması ve CP kırınımı gözlemlenmesini hedefleyen bir deneydir. CMS detektöründe bu gözlemlerin yapılabilmesi için birçok fiziksel şartın sağlanması gerekmektedir. Bu şartlar, detektörün bütün kısımlarının senkronize çalışabilmesi, elektronik aksamaların hızlı bir şekilde çalışması, çarpışmalar sonucu ortaya çıkan fiziksel objelerin yüksek doğrulukla bulunması ve analiz edilmesi gereken ilginç çarpışma verilerinin kayıt edilmesi vb. gibi sıralanabilir.

Bu çalışmada CMS detektöründe gerçekleştirilen ağır iyon çarpışma verilerinden jet içeren olayların bulunması, istenilen özelliklere sahip olayların kayıt edilmesi ve jetlerin yüksek doğrulukla bulunması gibi misyonlara sahip olan jet tetikleyicilerinin performansları ve çalışma verimlilikleri incelenmiştir.

Dünyada daha önce gerçekleştirilmemiş kurşun-kurşun çarpışmaları ilk defa CERN’de 2010 yılında gerçekleştirilmiştir. Yaptığımız çalışmayı bir kat daha zor hale getiren, daha önce hiç bir şekilde gözlemlenmemiş bir fiziksel olaya, simülasyon verilerinin kullanılmasının zorunlu olmasıdır. Bu çalışmada anlatılan birçok çalışma çarpışma öncesi gerçekleştirilerek, çarpışma esnasında kullanılacak olan bazı tetikleyici parametrelerinin belirlenmesi konusunda esas teşkil etmiştir. Kurşun – kurşun çarpışmaları sonrası alınan detektör verisi kullanılarak aynı adımlar gerçekleştirilmiş ve tetikleyici sisteminin detektörden alınan veri üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Detektör verisi ile simülasyon verisi kıyaslanarak, kullanılan Monte Carlo simülasyon verilerinin detektör ile ne kadar uyumlu olduğu gösterilmiştir.

Bu çalışmanın ilk etabında elektronik sistemlerden oluşan ilk seviye tetikleyici sisteminin jetlerin bulunması ve yapılandırılması adımları ele alınmıştır. Simülasyon verisi kullanılarak gerçekleştirilen bu adımlar sonrası ilk seviye jet tetikleyicisinin kalorimetrelerde gözlemlenen jetleri yüksek doğrulukla bulunduğu

gözlemlenmiştir. İlk seviye jet tetikleyicisi buna ek olarak düşük enerji spektrumunda yer alan birçok sahte jet bulmuştur. Bu sahte jetlerin, jet tetikleyicilerini çalıştırma oranı, üretim seviyesindeki üretilen jetler (genjetler) incelenerek bulunmuştur. Sahte jetlerin incelenmesi sonucu enerji değeri 80 GeV'den yüksek olan jetlerin güvenilebilir jetler olabileceği sonucuna varılmıştır. Sahte jet incelenmesi sırasında bütün enerji değerlerindeki bulunan jetlerin %80'e yakınının sahte jet olduğu gözlemlenmektedir. Fakat 30 GeV üzeri bölgeye bakıldığında bu oranın düştüğü, 80 GeV üzeri bölgede ise sahte jet bulunmadığı gözlemlenmiştir.

Jet tetikleyicilerinin performansı ve verimlilik eğrileri incelenerek, hangi jet tetikleyicilerinin kurşun-kurşun çarpışmalarında kullanılacağı simülasyon verisi kullanılarak bulunmuştur. Yapılan verimlilik çalışmaları sonucu, enerji eşik değeri 30 GeV olan tekli jet tetikleyicisi minimum enerji eşik seviyesine sahip tetikleyici olarak seçilmiş ve yüksek seviye tetikleyicinin baz olarak kullanacağı tetikleyici olmasına karar verilmiştir. Jet tetikleyicilerinin, enerji eşik değerlerinden daha düşük enerjilerde tam verimlilikle çalışmaya başladığı gözlemlenmiş ve detektör verisi alındıktan sonra, bu verimlilikler kontrol edilmiştir. Detektör verisi kullanılarak yapılan verimlilik çalışmalarında ilk seviye jet tetikleyicisinin yüksek verimlilikle çalıştığı gözlemlenmiştir. Jet tetikleyicilerinin merkezilik parametresine bağlılığı araştırılmış sonuçları gösterilmiştir. Elde edilen sonuca göre, jetler, merkezi çarpışmalarda daha yüksek verimlilikle bulunabilmektedir.

İlk seviye jet tetikleyicilerinin, detektör koordinat uzayına göre çalışma verimliliği incelenmiş ve detektörün her bölgesinde jetlerin bulunma ve tetiklenmesi verimlilikleri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonrasında CMS detektörünün ileri bölgelerinde jetlerin daha yüksek verimlilikle bulunduğu, fıçı bölgesinde jet bulma ve tetiklenme oranının ileri bölgelere kıyasla daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Simülasyon verisi kullanılarak elde edilen sonuçta, CMS detektörünün ileri bölgelerinde jetlerin tam verimlilikle bulunabildiği, fıçı bölgesinde ise %90'a yakın bir verimlilikle bulunduğu gözlemlenmiştir. Aynı

çalışma detektör verisi kullanılarak tekrarlanmış ve detektörden alınan verinin simülasyon verisinden elde edilen sonuçla benzerlik taşıdığı ama tam anlamıyla aynı olmadığı görülmüştür. Detektör verisi kullanılarak elde edilen sonuca göre, CMS detektörünün ileri bölgelerindeki jetlerin bulunma verimliliği benzer şekilde yüksek iken, fiçı bölgesindeki jet bulunma oranının simülasyona kıyasla düşük olduğu görülmüştür.

Yüksek seviye tetikleyici sistemi, ilk seviyeden gelen bilgiler üzerinde daha çok inceleme yaparak seçim kriterlerini uygulayan algoritmadır. Yüksek seviye jet tetikleyicilerinin performansı simülasyon ve detektör verisi kullanılarak belirlenmiştir. Yüksek seviye jet tetikleyicisi, enerji eşik değeri olası en düşük seviyede olması istendiği için 35 GeV eşik değeri seçilmiştir. Enerji eşik değeri 35 GeV olan yüksek seviye jet tetikleyicisi, baz olarak enerji eşik değeri 30 GeV olan ilk seviye tekli jet tetikleyicisini kullanmaktadır. Yapılan çalışma sonrası yüksek seviye jet tetikleyicisinin enerji eşik değerinden hemen öncesinde tam verimlilikle çalışmaya başladığı sonucuna ulaşılmıştır. Üretilen jetler (genjetler) kullanılarak yüksek seviye jet tetikleyicisinin bulduğu jetlerin enerjileri doğrulandıktan sonra olması beklenen tetikleyici verimliliği tahmin edilmiştir. Simülasyon verisi kullanılarak elde edilen sonuç, detektör verisi kullanılarak tekrarlanmış ve detektör verisinin simülasyon ile yüksek uyum gösterdiği gözlenmiştir.

Bu çalışmada CMS deneyinde 2010 yılında alınan ağır iyon çarpışma verileri kullanılmıştır. Güncel sonuçlar için CMS'in ağır iyon fiziğinde çıkan yeni yayınlarına bakılabilir.



KAYNAKLAR

- CMS Collaboration, “Electromagnetic calorimeter commissioning and performance with 7 TeV data”, CMS Note 10-002 (2010).
<http://cdsweb.cern.ch/record/1278160?ln=en>
- CMS Collaboration, “Identification and Filtering of Uncharacteristic Noise in the CMS Hadron Calorimeter”, JINST 5 (2010) T03014,
<http://arxiv.org/abs/0911.4881>
- CMS Collaboration, “The CMS experiment at the CERN LHC”, JINST 3 (2008) S08004. doi:10.1088/1748-0221/3/08/S08004
- CMS Collaboration, “Determination of jet energy calibration and transverse momentum resolution in CMS”. JINST 6 P11002 (2011)
- CMS Tridas Project Technical Design Report Volume1: The Trigger Systems, Technical Report 2002-38, (2000) CERN/ LHCC.
- H. De Vries, C.W. De Jager, and C. De Vries, “Nuclear charge and magnetization density distribution parameters from elastic electron scattering”, Atom. Data Nucl. Data Tabl. **36** (1987) 495.
- High Density QCD with Heavy Ions Physics Technical Design Report
<http://iopscience.iop.org/0954-3899/34/11/008>
<http://cdsweb.cern.ch/record/1019832/files/lhcc-2007-009.pdf>
- J. Schukraft, “The future of high energy nuclear physics in Europe,” arXiv:nucl-ex/0602014.
- Jet Reconstruction in Heavy Ion Collisions Matteo Cacciari, Juan Rojo, Gavin P. Salam, Gregory Soyez <http://arxiv.org/abs/1010.1759>
- LHC Design Report Volume I - The LHC main ring, Chapter 21 “The LHC as Lead Ion Collider”. CERN-2004-003-V-1, Geneva, Switzerland, 2004.
- M. Cacciari, G. P. Salam, and G. Soyez, “Fluctuations and asymmetric jet events in PbPb collisions at the LHC”, arXiv:1101.2878.
- M. Cacciari, J. Rojo, G. P. Salam et al., “Jet Reconstruction in Heavy Ion

- Collisions”. 2010. arXiv:1010.1759.
- M. L. Miller, K. Reygers, S. J. Sanders et al., “Glauber modeling in high energy nuclear collisions”, *Ann. Rev. Nucl. Part. Sci.* **57** (2007) 205, arXiv:nucl-ex/0701025.
- O. Kodolova, I. Vardanian, A. Nikitenko et al., “The performance of the jet identification and reconstruction in heavy ions collisions with CMS detector”, *Eur. Phys. J. C* **50** (2007) 117. doi:10.1140/epjc/s10052-007-0223-9.
- Paul Sorensen, “Elliptic Flow: A Study Of Space-Momentum Correlations In Relativistic Nuclear Collisions”, (2009) arXiv:0905.0174[nucl-ex]
- STAR Collaboration, “First Direct Measurement of Jets in $p + p$ $\sqrt{s} = 200$ GeV Heavy Ion Collisions by STAR”, *Eur. Phys. J.* **C61** (2009) 761, arXiv:0809.1609. doi:10.1140/epjc/s10052-009-0880-y.
- STAR Collaboration, “First fragmentation function measurements from full jet reconstruction in heavy-ion collisions at $\sqrt{s} = 200$ GeV by STAR”, *Eur. Phys. J.* **C61** (2009) 629, arXiv:0809.1419. doi:10.1140/epjc/s10052-009-0904-7.
- STAR Collaboration, “Measurements of jet structure and fragmentation from full jet reconstruction in heavy ion collisions at RHIC”, *Nucl. Phys.* **A830** (2009) 267C, arXiv:0907.4788. doi:10.1016/j.nuclphysa.2009.10.097.
- The CMS Collaboration, “Observation and studies of jet quenching in PbPb collisions at nucleon-nucleon center-of-mass energy = 2.76 TeV” (2011) arXiv:1102.1957 [nucl-ex].
- The CMS collaboration, “Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC”
<https://doi.org/10.1016/j.physletb.2012.08.021>
- The CMS collaboration, “Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC”
<https://doi.org/10.1016/j.physletb.2012.08.020>

The CMS Collaboration, “The Trigger and Data Acquisition project, Volume I, The Level-1 Trigger, Technical Design Report”, CERN/LHCC 2000-038, CMS TDR 6.1, 15 December 2000.

The CMS collaboration, Chatrchyan, S., Khachatryan, V. et al. J. High Energ. Phys. (2011) 2011: 141. [https://doi.org/10.1007/JHEP08\(2011\)141](https://doi.org/10.1007/JHEP08(2011)141)

U. A. Wiedemann *et al.*, "Hard Probes in Heavy Ion Collisions at the LHC: Jet Physics", hep-ph/0310274, 2003

Z.-W. Lin, C. M. Ko, B.-A. Li et al., “A multi-phase transport model for relativistic heavy ion collisions”, Phys. Rev. **C72** (2005) 064901, arXiv:nucl-th/0411110.



ÖZGEÇMİŞ

04/09/1984 yılında Adana’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adana’da tamamladı. 2003 yılında başladığı Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü’nden 2007 yılında mezun oldu.2009 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalında tezli yüksek lisans öğrenimine başladı.

