

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**RENK SEKİZLİSİ ELEKTRON'UN (e_8) TeV ENERJİ ÖLÇEKLİ
ÇARPIŞTIRICILARDA ARANMASI**

Ümit KAYA

FİZİK ANABİLİM DALI

**ANKARA
2019**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Ümit KAYA tarafından hazırlanan “Renk Sekizlisi Elektron’un (e_s) TeV Enerji Ölçekli Çarpıştırıcılarda Aranması” adlı tez çalışması 20/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Şemsettin TÜRKÖZ
Ankara Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı



Jüri Üyeleri :

Başkan : Prof. Dr. Orhan ÇAKIR
Ankara Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı



Üye : Prof. Dr. Şemsettin TÜRKÖZ
Ankara Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı



Üye : Prof. Dr. Saleh SULTANSOY
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Malzeme Bilimi
ve Nanoteknoloji Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye : Prof. Dr. Veysi Erkcan ÖZCAN
Boğaziçi Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı



Üye : Doç. Dr. Volkan ARI
Ankara Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. Özlem YILDIRIM
Enstitü Müdür Vekili

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilme aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

20/06/2019



Ümit KAYA

ÖZET

Doktora Tezi

RENK SEKİZLİSİ ELEKTRON'UN (e_8) TeV ENERJİ ÖLÇEKLİ ÇARPIŞTIRICILARDA ARANMASI

Ümit KAYA

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şemsettin Türköz
Eş Danışman: Prof. Dr. Saleh Sultansoy

Bu tezde, maddenin muhtemel yeni yapı düzeyi olduğu düşünülen preon modelleri incelenmiş ve yeni bir minimal preon modeli önerilmiştir. Mevcut ve gelecekte kurulması düşünülen çarpıştırıcıların preon modellerinin öngördüğü parçacıklardan biri olan renk sekizlisi elektronu araştırma potansiyelleri belirlenmiştir. Çalışma sırasında FCC ve SppC temelli enerji önephesi ep çarpıştırıcıları önerilmiş ve ana parametreleri irdelenmiştir. Ayrıca IceCube işbirliği tarafından 2012-2013 yılları arasında gözlemlenen PeV enerjili nötrino olaylarının, yine preon modellerinin öngördüğü parçacıklardan olan renk sekizlisi nötrinolar olarak yorumlanmıştır.

Haziran 2019, 100 sayfa

Anahtar Kelimeler: Preon, preon modelleri, renk sekizlisi elektron, renk sekizlisi nötrino, FCC, SppC, LHC, ep çarpıştırıcıları.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

Ümit KAYA

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Prof. Şemsettin Türköz
Co-supervisor: Prof. Saleh Sultansoy

In this thesis, preon models which are thought to be possible new building level of the matter has been reviewed and a new minimal preon model has been proposed. Then the search potential of existing and future colliders for color octet electron, which is one of the particles predicted by the preon models, has been determined. During the study, FCC and SppC based energy frontier ep collider have been proposed and their main parameters have been evaluated. In addition, the PeV energy neutrino events, observed between the years 2012-2013 by IceCube collaboration, have been interpreted as color octet neutrino which is also predicted by the preon models.

June 2019, 100 pages

Key Words: Preon, preon models, color octet electron, color octet neutrino, FCC, SppC, LHC, ep colliders.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında önemli katkılarda bulunan değerli danışmanım sayın Prof. Dr. Şemsettin Türköz'e, çalışmalarımı yönlendiren, eş danışmanım sayın Prof. Dr. Saleh Sultansoy'a, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyen sayın Doç. Dr. Gökhan Ünel'e, tez çalışmalarım sırasında önemli katkılar sağlayan arkadaşlarım Dr. Bora Ketenoğlu'na, Ali Can Canbay'a, Bilgehan Barış Öner'e, Yiğit Can Acar'a ve Dariush Mohammadzadeh'e, birlikte çalıştığım değerli arkadaşlarım Görkem Türemen'e, Ali Osman Acar'a, her zaman yanımda olan, hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen, ailem olmalarından onur duyduğum, yaşama sevincim anneme, babama ve kardeşlerime, en önemlisi her türlü zorluğa birlikte göğüs gerdiğimiz eşim Esmer'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez 114F337 proje numaralı, "Maddenin Muhtemel Yeni Yapı Düzeyinin TeV Enerjili Çarpıştırıcılarda Aranması" başlıklı TÜBİTAK 1001 projesi tarafından desteklenmiştir.

Ümit KAYA
Ankara, Haziran, 2019

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
SİMGE VE KISALTMALAR.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİK YAPI.....	4
2.1 Preon Modellerinin Sistematiği.....	4
2.2 Minimal Fermiyon-Skaler Preon Modeli.....	12
3. LHC VE GELECEK ÇARPIŞTIRICI SEÇENEKLERİ.....	16
3.1 Hadron Çarpıştırıcıları.....	16
3.1.1 LHC	16
3.1.2 FCC.....	19
3.1.3 SppC	21
3.2 Elektron-Pozitron Çarpıştırıcıları.....	22
3.2.1 ILC	22
3.2.2 CLIC.....	24
3.2.3 PWFA-LC	26
3.3 Elektron-Proton Çarpıştırıcıları.....	28
3.3.1 FCC Temelli ep Çarpıştırıcıları.....	29
3.3.2 SppC Temelli ep Çarpıştırıcıları.....	32
4. e8'İN LHC VE GELECEKTE KURULMASI DÜŞÜNÜLEN ÇARPIŞTIRICILARDA ARANMASI.....	34
4.1 Rezonans Üretim.....	36
4.1.1 LHeC	37
4.1.2 FCC-ep.....	46

4.1.2.1 FCC temelli e-p Çarpıştırıcılarında Sinyal-Ardalan Analizi.....	47
4.1.2.2 FCC temelli e-p Çarpıştırıcılarının Kompozitlik Ölçeği üzerindeki limitleri.....	53
4.1.3 SppC-ep	56
4.2 Çift Üretim	57
4.3 Tek Üretim	58
4.3.1 Tek üretim +1 parçacık.....	58
4.3.2 Tek üretim +2 parçacık.....	59
4.4 LHC’de e _s ’in Çift ve Birleştirilmiş Üretiminin İncelenmesi	60
4.5 FCC ve SppC’de e _s ’in Birleştirilmiş ve Çift Üretimi	65
4.6 Dolaylı Üretim	67
4.6.1 Hadron Çarpıştırıcıları	68
4.6.2 Lepton Çarpıştırıcıları	69
5. EK BİR ARAŞTIRMA: KOZMİK IŞINLARDA ν_8	80
5.1 IceCube Deneyinde PeV Enerjili Nötrinoların Renk Sekizlisi Nötrino Yorumu	81
5.1.1 Yeni IceCube Verisi	81
5.1.2 IceCube PeV Olaylarının Kaynağı Olarak Renk Sekizlisi Nötrino.....	82
5.2 IceCube Deneyinde PeV Enerjili Nötrinoların Leptoquark Yorumu Üzerine Tartışma	85
6. SONUÇ.....	87
KAYNAKLAR.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....	98

SİMGE VE KISALTMALAR

β	Betatron Fonksiyonu
σ	Demet Boyutu
ε	Yayınım
P_T	Enine Momentum
η	Pseudo-rapidity
ξ_p	Proton Demet-demet Parametresi
D_e	Elektron Bozulma Parametresi
L	Işımlık
ATLAS	(A Toroidal LHC AparatuS) Toroid şekline bir LHC aparatı
BSM	(Beyond the Standard Model) Standart Model Ötesi
CLIC	(Compact Linear Collider) Kompakt Doğrusal Çarpıştırıcı
CMS	(Compact Muon Solenoid) Kompakt Müon Solenoid
DIS	(Deep Inelastic Scattering) Derin Esnek Olmayan Saçılma
e_8	(Color Octet Electron) Renk Sekizlisi Elektron
ERL	(Energy Recovery Linac) Enerji Geri Kazanımlı Doğrusal Hızlandırıcı
FCC	(Future Circular Collider) Gelecek Dairesel Çarpıştırıcı
ILC	(International Linear Collider) Uluslararası Doğrusal Çarpıştırıcı
LHC	(Large Hadron Collider) Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
LHeC	(Large Hadron electron Collider) Büyük Hadron Elektron Çarpıştırıcısı
PWFA-LC	(Plasma Wake Field Accelerator-Linear Collider) Plazma Saçak Alanlı Hızlandırıcı-Doğrusal Çarpıştırıcı
SM	(Standard Model) Standart Model
SppC	(Super proton proton Collider) Süper proton proton Çarpıştırıcı
QCDE	(Quantum Chromo Dynamics Explorer) Kuantum Renk Dinamiği Kaşifi
ν_8	(Color Octet Neutrino) Renk Sekizlisi Nötrino

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Büyük Hadron Çarpıştırıcı halkasının gösterimi (Anonymous 2018).....	17
Şekil 3.2 CERN hızlandırıcı tesisi (Anonymous 2019c)	18
Şekil 3.3 Gelecekte kurulması düşünülen FCC halkasının yerleşimi (Abada vd. 2018)	20
Şekil 3.4 FCC-hh çarpıştırıcısı için varsayımsal bir algıç (Abada vd. 2018)	21
Şekil 3.5 SppC'nin temsili bir görünümü (CEPC-SPPC 2019).....	22
Şekil 3.6 500 GeV kütle merkezi enerjisi için ILC kompleksinin şematik yerleşimi (ILC TDR 2013)	23
Şekil 3.7 3 TeV kütle merkezi enerjili CLIC düzeni (CLIC CDR 2012)	25
Şekil 3.8 CLIC hızlandırıcısı için olası yeri gösteren harita (CLIC CDR 2012)	25
Şekil 3.9 PWFA temelli 10 TeV doğrusal çarpıştırıcının düzeni (Delahaye vd. 2014)..	27
Şekil 3.10 SppC ve doğrusal elektron çarpıştırıcının olası görünümü.....	32
Şekil 4.1 Farklı kompozitlik ölçeğinde e_8 'in kütesine karşı bozunum genişliği grafığı	35
Şekil 4.2 Rezonans üretime ait Feynman diyagramı.....	36
Şekil 4.3 LHeC'in 1.4 TeV kütle merkezi enerjisinde e_8 rezonans üretim tesir kesiti	37
Şekil 4.4 LHeC'in 1.98 TeV kütle merkezi enerjisinde e_8 rezonans üretim tesir kesiti	38
Şekil 4.5 $s = 1.4$ TeV ve $\Lambda = 10$ TeV olduğu durumda sinyal ve ardaan için son durum jetlerin enine momentum dağılımları.....	40
Şekil 4.6 $s = 1.4$ TeV ve $\Lambda = 10$ TeV olduğu durumda sinyal ve ardaan için son durum elektronların pseudo-rapidity dağılımları.....	40
Şekil 4.7 $s = 1.4$ TeV ve $\Lambda = 10$ TeV olduğu durumda sinyal ve ardaan için son durum jetlerin pseudo-rapidity dağılımları.....	41
Şekil 4.8 $s = 1.4$ TeV ve $\Lambda = 10$ TeV olduğu durumda sinyal ve ardaan için değişmez kütle dağılımları.....	41
Şekil 4.9 $s = 1.98$ TeV ve $\Lambda = 10$ TeV olduğu durumda sinyal ve ardaan için son durum jetlerin enine momentum dağılımları	43
Şekil 4.10 $s = 1.98$ TeV ve $\Lambda = 10$ TeV olduğu durumda sinyal ve ardaan için son durum jetlerin pseudo-rapidity dağılımları	44
Şekil 4.11 $s = 1.98$ TeV ve $\Lambda = 10$ TeV olduğu durumda sinyal ve ardaan için son durum elektronların pseudo-rapidity dağılımları	44
Şekil 4.12 $s = 1.98$ TeV ve $\Lambda = 10$ TeV olduğu durumda sinyal ve ardaan için değişmez kütle dağılımları	45

Şekil 4.13 Kompozitlik ölçeğinin e_8 'in kütlesine eşit olduğu durumda (a) ve 100 TeV'ye eşit olduğu durumda (b) e_8 rezonans üretim tesir kesiti	47
Şekil 4.14 Son durum elektronlarının (jetlerin) enine momentum dağılımları.....	49
Şekil 4.15 Son durum elektronlarının pseudo-rapidity dağılımları.....	49
Şekil 4.16 Son durum jetlerin pseudo-rapidity dağılımları.....	50
Şekil 4.17 Olay üretim esnasında uygulanan tırpanlardan sonra ERL60 \otimes FCC de sinyal ve ardaan değişmez kütle dağılımları	50
Şekil 4.18 Keşif tırpanlarından sonra ERL60 \otimes FCC'de sinyal ve ardaan değişmez kütle dağılımları	51
Şekil 4.19 Keşif tırpanlarından sonra ILC \otimes FCC'de sinyal ve ardaan değişmez kütle dağılımları	52
Şekil 4.20 Keşif tırpanlarından sonra PWFA-LC \otimes FCC'de sinyal ve ardaan değişmez kütle dağılımları	53
Şekil 4.21 ILC \otimes FCC için kompozitlik ölçeğine karşın tesir kesiti dağılımı	56
Şekil 4.22 Renk sekizlisi elektronun çift üretimine ait bazı Feynman diyagramları Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Şekil 4.23 Parton seviyesi tek üretime ek bir parçacık Feynman diyagramları Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Şekil 4.24 Parton seviyesi tek üretime ek iki parçacık Feynman diyagramları .Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Şekil 4.25 LHC'de çift üretim için tesir kesiti	61
Şekil 4.26 LHC'de tek üretim +1 parçacık tesir kesitleri	61
Şekil 4.27 LHC'de tek ve çift üretim için ayrı ayrı tesir kesitleri.....	62
Şekil 4.28 LHC'de e_8 analizinde birleştirilmiş sinyal ve ardaanların kinematik dağılımları	63
Şekil 4.29 LHC'de e_8 'in keşfi için gerekli toplam ışınlık değerleri.....	65
Şekil 4.30 Kompozitlik ölçeğinin e_8 'in kütlesine eşit olduğu durumda e_8 'in kütlesinin bir fonksiyonu olarak çift üretim tesir kesiti	66
Şekil 4.31 Kompozitlik ölçeğinin 100 TeV'e eşit olduğu durumda e_8 'in kütlesinin bir fonksiyonu olarak çift üretim tesir kesiti	66
Şekil 4.32 Renk sekizlisi elektronun hadron çarpıştırıcılarında dolaylı üretimine ait Feynman diyagramı.....	68
Şekil 4.33 FCC'de e_8 'in dolaylı üretimine ait tesir kesiti	69
Şekil 4.34 Renk sekizlisi elektronun lepton çarpıştırıcılarında dolaylı üretimine ait Feynman diyagramı.....	69
Şekil 4.35 ILC ve CLIC'te renk sekizlisi elektronun dolaylı üretim tesir kesiti.....	70
Şekil 4.36 CLIC'te renk sekizlisi elektronun dolaylı üretim tesir kesiti.....	70
Şekil 4.37 ILC'de sinyal ve ardaan için son durumdaki jetlerin normalize enine momentum dağılımları	71

Şekil 4.38 ILC’de sinyal ve ardalın için son durumdaki jetlerin normalize pseudo-rapidity dağılımları	71
Şekil 4.39 ILC’de sinyal ve ardalın için son durumdaki jetlerin normalize değişmez kütle dağılımları	72
Şekil 4.40 ILC’de renk sekizlisi elektronun dolaylı olarak dışarılanması, gözlemi ve keşfi için gerekli ışınlık değerleri	74
Şekil 4.41 CLIC1’de renk sekizlisi elektronun dolaylı olarak dışarılanması, gözlemi ve keşfi için gerekli ışınlık değerleri	74
Şekil 4.42 CLIC2’de renk sekizlisi elektronun dolaylı olarak dışarılanması, gözlemi ve keşfi için gerekli ışınlık değerleri	75
Şekil 4.43 200 fb^{-1} ışınlıkta ILC’de renk sekizlisi elektronununun kütesine karşın ulaşılabilir kompozitlik ölçeği değerleri	76
Şekil 4.44 230 fb^{-1} ışınlıkta CLIC1’de renk sekizlisi elektronununun kütesine karşın ulaşılabilir kompozitlik ölçeği değerleri	76
Şekil 4.45 590 fb^{-1} ışınlıkta CLIC2’de renk sekizlisi elektronununun kütesine karşın ulaşılabilir kompozitlik ölçeği değerleri	76
Şekil 4.46 PWFA-LC’de renk sekizlisi elektronun dolaylı üretim tesir kesiti	77
Şekil 4.47 PWFA-LC’de son durum jetlerin enine momentum dağılımları	77
Şekil 4.48 PWFA-LC’de son durum jetlerin pseudo-rapidity dağılımları	78
Şekil 4.49 PWFA-LC’de son durum jetlerin değişmez kütle dağılımları	78
Şekil 4.50 PWFA-LC’de renk sekizlisi elektronun dolaylı olarak dışarılanması, gözlemi ve keşfi için gerekli ışınlık değerleri	79
Şekil 5. 1 Renk sekizlisi nötrino üretimi ve bozunumuna ait Feynman diyagramı	82
Şekil 5.2 νN saçılımında ν_8 üretim tesir kesiti	83
Şekil 5.3 Kozmik nötrino akısı ile evriltilmiş ν_8 tesir kesitinden gelen üretim oranı dağılımı	84
Şekil 5.4 Kozmik nötrino akısı ile evriltilmiş <i>gluon</i> enerji dağılımından gelen olay oranı dağılımı	84
Şekil 6.1 FCC temelli çarpıştırıcılar için farklı pp, e^+e^- ve ep çarpıştırıcılarında e_8 için keşif limitleri	88
Şekil 6.2 SppC temelli çarpıştırıcılar için farklı pp, e^+e^- ve ep çarpıştırıcılarında e_8 için keşif limitleri	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Temel olarak varsayılan aşamaların gösterimi (Kaya vd. 2018)	2
Çizelge 2.1 Fritsch-Mandelbaum preonlarının kuantum sayıları	6
Çizelge 2.2 Rishon modelinde preonların kuantum sayıları	7
Çizelge 2.3 Helonlarla oluşturulan Standart Model	8
Çizelge 2.4 $QF, S \leq 1$ durumu için preonların olası elektrik yükleri (Celikel vd. 1998)	10
Çizelge 2.5 Fariborz-Jora-Nasri Modeli preonları ve kuantum sayıları	11
Çizelge 2.6 Fermiyon-skaler modellerden ortaya çıkan diğer parçacıkların yükleri	13
Çizelge 2.7 İki fermiyonik ve bir skaler preon durumu	13
Çizelge 2.8 Minimal fermiyon-skaler modele ait preonların zayıf izotopik ve hiperyükleri	14
Çizelge 3.1 LHC demet parametreleri	19
Çizelge 3.2 FCC proton-proton çarpıştırıcısı demet parametreleri	20
Çizelge 3.3 SppC demet parametreleri	22
Çizelge 3.4 ILC temel parametreleri	23
Çizelge 3.5 CLIC temel parametreleri	26
Çizelge 3.6 PWFA-LC'nin demet ana parametreleri	27
Çizelge 3.7 ILC \otimes FCC ve PWFA-LC \otimes FCC çarpıştırıcılarının temel parametreleri	30
Çizelge 3.8 Bozulma üst sınırı 25 için geliştirilmiş ILC \otimes FCC ve PWFA-LC \otimes FCC çarpıştırıcılarının temel parametreleri	31
Çizelge 3.9 PWFA-LC \otimes FCC'de IBS büyüme zamanları	31
Çizelge 3.10 LC \otimes SppC temelli ep çarpıştırıcısının temel parametreleri	33
Çizelge 3.11 Yeniden düzenlenmiş β^* ile LC \otimes SppC temelli ep çarpıştırıcısının temel parametreleri	33
Çizelge 4.1 LHeC'in ana parametreleri	37
Çizelge 4.2 Sinyal, ana ar dalan ve diğer ar dalan tesir kesitleri (pb olarak)	39
Çizelge 4.3 $s = 1.4$ TeV ve $L_{int} = 1$ fb $^{-1}$ de sinyal ve ar dalan olay sayıları	42

Çizelge 4.4 $s = 1.4$ TeV’de 5σ (3σ) istatistiki anlamlılık için ulaşılabilir TeV biriminde kompozitlik ölçekleri.....	43
Çizelge 4.5 $s = 1.98$ TeV ve $L_{int} = 1$ fb ⁻¹ de sinyal ve ardalan olay sayıları	45
Çizelge 4.6 $s = 1.98$ TeV’de 5σ (3σ) istatistiki anlamlılık için ulaşılabilir TeV biriminde kompozitlik ölçekleri.....	46
Çizelge 4.7 FCC temelli e-p çarpıştırıcılarının ana parametreleri	47
Çizelge 4.8 Farklı e-p çarpıştırıcılarında renk sekizlisi elektronun gözlem (3σ) ve keşif (5σ) limitleri.....	52
Çizelge 4.9 Kompozitlik ölçüğünün alt limitini belirlemek için uygun tırpan değerleri ..	54
Çizelge 4.10 FCC temelli e-p çarpıştırıcılarında TeV biriminde kompozitlik ölçüğü alt limitleri.....	55
Çizelge 4.11 FCC ve SppC temelli e-p çarpıştırıcılarının en yüksek kütle merkezi enerjisi ve ışınlık değerleri.....	56
Çizelge 4.12 e_8 ’in ep çarpıştırıcılarında keşif limitleri.....	57
Çizelge 4.13 Birleştirilmiş e_8 üretimini taklit eden ana SM ardalan olayları.....	62
Çizelge 4.14 Temel ve keşif tırpanlarından sonraki birleştirilmiş sinyal tesir kesitleri..	64
Çizelge 4.15 LHC, FCC ve SppC’nin kütle merkezi enerjisi ve ışınlık değerleri	67
Çizelge 4.16 FCC ve SppC için kütle limitleri	67
Çizelge 4.17 ILC ve CLIC1’de tırpanlardan sonraki toplam tesir kesitleri	73
Çizelge 4.18 CLIC2’de tırpanlardan sonraki toplam tesir kesitleri	73
Çizelge 4.19 ILC, CLIC1 ve CLIC2’nin bir ve üç yıllık çalışma süreleri sonunda ulaşılabilir renk sekizlisi elektron kütle değerleri.....	75
Çizelge 4.20 PWFA-LC’de ulaşılabilir renk sekizlisi elektron kütle limitleri.....	78
Çizelge 4.21 PWFA-LC’de ulaşılabilir kompozitlik ölçüğü limitleri.....	79
Çizelge 5.1 IceCube verisinin iki yıllık sonuçları	81
Çizelge 5.2 IceCube verisinin üç yıllık sonuçları	82
Çizelge 5.3 Renk sekizlisi nötrino olay sayıları.....	85
Çizelge 5.4 Leptokuark olay sayıları	86
Çizelge 6.1 e_8 ’in farklı çarpıştırıcılarda aranması üzerindeki keşif kütle limitleri	87



aramada hikâyenin sonu olamaz ve daha temel bir teoriye ihtiyacımız olduğu açıktır. Geçmişte bu durumla iki kez karşılaştık. Çizelge 1.1’de maddenin temel yapıtaşlarının aranmasının son 150 yıllık serüveni özetlenmiştir. Bunlardan birincisi kimyasal elementlerin çokluğu, ikincisi ise kuark modeliyle sonuçlanan hadron bolluğudur.

Birinci durum Rutherford deneyi ile açıklanırken, ikinci durum SLAC’ta yapılan Derin Esnek Olmayan Saçılma (DIS) deneyi ile açıklığa kavuştu. Bugün gelinen noktada sahip olduğumuz en iyi modelin (SM) temel parçacık sayısındaki fazlalığıyla tekrardan karşı karşıyayız. Süre gelen bu benzerlik SM fermiyonlarının daha temel yapısının veya yapılarının olduğuna işaret ediyor.

Çizelge 1.1 Temel olarak varsayılan aşamaların gösterimi (Kaya vd. 2018)

Aşamalar	1870–1930’lar	1950–1970’ler	1970–2020’ler
Temel Öğe Bolluğu	Kimyasal Elementler	Hadronlar	Kuarklar, Leptonlar
Sistemantik	Periyodik Tablo	Sekizli Yol	Fermiyon Aileleri
Doğrulan Öngörüler	Yeni Elementler	Yeni Hadronlar	Yeni Parçacıklar?
Açıklayan Deneyler	Rutherford	SLAC, DIS	LHC? FCC/SppC?
Yapı Taşları	Proton, elektron	nötron, Kuarklar	Preonlar?
Enerji Ölçeği	MeV	GeV	TeV?
Teknolojiye Etkisi	Doğrudan	Dolaylı	Doğrudan?

Daha temel yapıların varlığı üzerine iki ana yaklaşım vardır: Süper Sicim ve Kompozit Modeller. Yukarıda bahsi geçen süre gelen basitleştirme açısından kompozit modeller hayli ilgi çekici gözükümler. Bu modeller doğayı onun en temel yapı taşlarıyla açıklamaya çalışırlar. Burada kompozit yani preon modellerine yönelmemizin sebepleri SM aile tekrarı ve fermiyon karışımlarıdır. Bu karışımlar maddenin preonik yapısının bir işareti olarak ele alınabilir. Ayrıca SM problemlerine preonik seviyede etkili bir çözüm bulabiliriz.

Standart Model Ötesi (BSM) araştırmaları arasında, kuark-lepton bileşimleri (kompozitliği) oldukça gözdedir. Örneğin, preon modelleri uyarılmış leptonlar, uyarılmış kuarklar, ikili kuaklar, ikili leptonlar, leptokuarklar, leptogluonlar ve renk altılısı kuarklar gibi parçacıklar ngrrlenir. Leptogluonlar uyarılmış leptonlar ve leptokuarklar ile aynı durumda olmalarına rağmen CERN'deki Büyük Hadron arpıştırıcı'sı zerindeki ATLAS ve CMS deneylerinde bunlara ait doğrudan bir araştırma bulunmamaktadır.

Bu tezin 2. bölümünde, renk sekizlisi elektronun öngörüldüğü modellere ait teorik bir altyapı sunulacak ve tez esnasında ortaya çıkarılan yeni bir modelden bahsedilecektir. Bölüm 3'te e_8 'in araştırılması düşünülen gelecek arpıştırıcı seçeneklerine ve bunların özelliklerine değinilecektir ve tez esnasında nerilen FCC ve SppC temelli elektron-proton çarpıştırıcılarının ana parametreleri irdelenecektir. 4. bölüm'de e_8 'in farklı üretim modları gelecek arpıştırıcı seçeneklerinde incelenecek ve bu çarpıştırıcıların e_8 'i araştırma potansiyelleri gösterilecektir. 5. bölüm'de ise ek bir araştırma olan ν_8 'in IceCube deneyi tarafından gözlemlenen PeV enerjili nötrino olayları olarak yorumlanması anlatılacaktır. Bölüm 6'da tez, sonuç ve önerilerle sonlandırılacaktır.

2. TEORİK YAPI

2.1 Preon Modellerinin Sistematiği

Preon'lar ilk olarak Jogesh Pati ve Abdus Salam tarafından ortaya atılmışlardır. Prensip, kompozitlik dört aşamada ele alınabilir (genel olarak her aşama bir öncekini içermektedir):

- i) Kompozit Higgs bozonları
- ii) Kompozit kuarklar ve leptonlar
- iii) Kompozit W ve Z bozonları
- iv) Kompozit foton ve gluonlar

İlk aşamanın en yaygın örneği Teknirenk modelleridir. Bu model W ve Z bozonlarına doğal şekilde kütle kazandırırken, kuarklara ve leptonlara kütle vermekte ciddi problemler içerir. Bu yüzden genişletilmiş teknirenk modelleri öngörülmüştür. Fakat bu genişletilmiş modeller ana yaklaşımın ahengini bozmaktadır. Bu nedenle tez çerçevesinde bu modellerle ilgilenilmeyecektir.

İkinci aşamaya gelince, bugüne kadar önerilen Preon modelleri iki ana sınıfa ayrılabilir:

- Fermiyon-skalar modeller (FS)
- 3-fermiyon modelleri (FFF)

Bu modeller, alışılmadık kuantum sayıları içeren birçok yeni parçacık öngörmektedir.

Üçüncü aşamanın doğada gerçekleşmesi durumunda, uyarılmış W ve Z, renk sekizlisi W ve Z, skalar W ve Z gibi parçacıklar da öngörülmektedir.

Dördüncü aşamanın gerçekleşmesi günümüz bilgileri ışığında doğal gözükmemektedir çünkü foton ve gluonlar kütesizdir ve bozulmamış ayar simetrisine karşılık gelmektedir.

Preon modelleri 1970'li yıllardan itibaren geliştirilmektedir (Pati ve Salam 1974; Harari 1979; Fritzsich ve Mandelbaum 1981; Greenberg ve Sucher 1981; Barbieri vd. 1981; Baur ve Streng 1985; Celikel vd. 1998). 1990'lara kadar önerilen preon modelleri bir kitapta toplanmıştır (D' Souza ve Kalman 1992). En az üç fermiyon ailesinin varlığı ile birlikte kuarkların ve leptonların aileler arası karışımlarının gözlenmesi onların daha temel olan bileşenlerden oluşabileceği düşüncesine neden olmuştur. Kuark ve leptonlardan daha temel olan parçacıklar preonlar olarak adlandırılır. Preon kelimesi parçacık fiziğinde kuarkların ve leptonların alt bileşenleri olan noktasal parçacıklar için kullanılmaktadır (Pati ve Salam 1974). Preonlar kuarklardan ve leptonlardan daha temel parçacık olduğu için boyutları da kuarklardan ve leptonlardan daha küçük olmalıdır. Yani boyutları 10^{-18} cm'den küçük olmalıdır. Kompozit modellerin bazılarına göre preonlar Kuantum Renk Dinamiği (QCD) benzeri bir kuvvet vasıtasıyla bağlı durumlar olarak lepton ve kuarkları oluşturmaktadır.

Günümüze kadar önerilen preonik modellerden bazıları şunlardır:

Pati-Salam Modeli:

Bir fermiyon-skaler model örneğidir. $SU(3)_C$ ve $U(1)_Y$ 'nin alt grup olduğu renk etkileşmelerinin $SU(4)_C$ genişletilmiş grubunda kuarklar ve leptonların birleştirilmesini temel alır (lepton sayısı 4. renk olarak düşünülür). Genel ayar grubu $SU(4)_C \times SU(4)_L \times SU(4)_R$ dir. Burada üç çeşit preon dördüsü kullanılır: $i_{L,R}$ ve α . $i = P, \Pi, \lambda, \chi$ sağ-elli ve sol-elli fermiyonik spin-1/2 dördüleridir, $\alpha = a, b, c, d$ ise bozonik spin-0 renk dördüsüdür. a, b ve c standart modelde olduğu gibi 3 ana renge denk gelirken d ise leptonlarla ilişkilendirilmektedir. Kuarklar ve leptonlar fermiyon ve skalar preonların bağlı durumlarıdır:

$$\Psi_{L,R} = \begin{bmatrix} P \\ \Pi \\ \lambda \\ \chi \end{bmatrix}_{L,R} \otimes (a, b, c, d) = \begin{bmatrix} P_{a,b,c} & P_d \\ \Pi_{a,b,c} & \Pi_d \\ \lambda_{a,b,c} & \lambda_d \\ \chi_{a,b,c} & \chi_d \end{bmatrix}_{L,R} = \begin{bmatrix} u_{a,b,c} & v_e \\ d_{a,b,c} & e \\ s_{a,b,c} & \mu \\ c_{a,b,c} & v_e \end{bmatrix}_{L,R}$$

Fritzsich-Mandelbaum Modeli (Haplon Modeli): Bir fermiyon-skaler modeli prototipidir ve hiper-renk ayar grubuna sahiptir (Fritzsich ve Mandelbaum 1981). Bu

grup $SU(N)$ ile temsil edilmektedir. Çizelge 2.1’de modelin öngördüğü preonların sahip olduğu kuantum sayıları gösterilmektedir. Bu özelliklerden yararlanarak birinci aile lepton ve kuarklarını preonlar vasıtasıyla ifade edecek olursak;

$$u = (\bar{\alpha}\bar{x}), d = (\bar{\beta}\bar{x}), e^- = (\bar{\beta}\bar{y}), \nu_e = (\bar{\alpha}\bar{y})$$

Çizelge 2.1 Fritzsch-Mandelbaum preonlarının kuantum sayıları

Preon	Elektriksel Yük	Hiperyük $SU(N)$	Renk yükü	Spin
α	$e/2$	N	3	1/2
β	$-e/2$	N	3	1/2
x	$e/6$	\bar{N}	3	0
y	$-e/2$	\bar{N}	$\bar{3}$	0

Benzer bir şekilde zayıf etkileşmelerin ayar bozonları preonlar cinsinden aşağıda ifade edilmiştir:

$$W^+ = (\alpha\bar{\beta}), W^- = (\bar{\alpha}\beta), Z = \frac{1}{\sqrt{2}}(\alpha\bar{\alpha} + \beta\bar{\beta})$$

Bu modelde gluonlar, fotonlar ve hiper-bozonlar temel parçacıklar olarak öngörülmüştür.

Matsushima Modeli:

Bir fermiyon-skaler modeldir. Matsushima $SU(3)_C \times SU(2)_L \times SU(2)_R$ ‘nin temel gösterimi içindeki her birinin yükü $|e/6|$ olan spin-0 preon ve spin-1/2 preon süpersimetrik çiftlerini kullanmaktadır. Modelde G_L ve G_R bağlanma katsayılarının birbirinden bağımsız olmalarından dolayı A_L kompozitlik ölçeği Fermi ölçeği yakınlarında, A_R de büyük birleşim teorisi (GUT) yakınlarında olur.

Harari-Seiberg-Shube Modeli (Rishon Modeli):

Bu model sadece fermiyonik preonları kullanan (üç fermiyon modeli) prototip bir modeldir (Harari 1979). Burada iki tip preon kullanılmıştır: $e/3$ elektriksel yüküne sahip T ve 0 elektriksel yüküne sahip V. Bu preonlarla ilgili SU(3) renk ve SU(3) hiperrenk kuantum sayıları Çizelge 2.2’de listelenmiştir. Modelde lepton ve kuarkları oluşturan temsiller aşağıdaki şekilde ayrıştırılabilir:

$$3 \otimes 3 \otimes 3 = 1 \oplus 8 \oplus 8 \oplus 10, \quad 3 \otimes 3 \otimes \bar{3} = 3 \oplus \bar{6} \oplus \bar{3} \oplus 15$$

Çizelge 2.2 Rishon modelinde preonların kuantum sayıları

Preon	Elektriksel Yük	Hiper Renk Yükü	Renk Yükü	Spin
T	$e/3$	3	3	1/2
V	0	3	$\bar{3}$	1/2

Bu modele göre birinci aile fermiyonların preonlar cinsinden temsili aşağıdaki şekildedir (Shupe 1979; Harari 1979; Harari ve Seiberg 1982; Elbaz 1986):

$$e^+ = (TTT), \quad \nu = (VVV), \quad u = (TTV), \quad \bar{d} = (TVV)$$

Helon Modeli:

Bu model Rishon modelini temel almaktadır ve üç fermiyon modelidir. Preonun dengi olan parçacık bu modelde helon olarak adlandırılır (Bilson-Thompson 2005). Helon modelinde $+e/3$, 0 ve $-e/3$ yüklü sırasıyla H^+ , H^0 , H^- olarak gösterilen 3 temel parçacık önerilir. Standart Modelin 1. Aile fermiyonlarının helon altyapısı Çizelge 2.3’te verilmiştir.

Çizelge 2.3 Helonlarla oluşturulan Standart Model

	H ₊	H ₀	H ₋
H ₊ H ₊	e ⁺	u _b	-
H ₊ H ₀	u _g	\overline{d}_r	-
H ₀ H ₊	u _r	\overline{d}_g	-
H ₀ H ₀	\overline{d}_b	v _e	d _b
H ₀ H ₋	-	d _g	\overline{u}_r
H ₋ H ₀	-	\overline{u}_g	d _r
H ₋ H ₋	-	\overline{u}_b	e ⁻

Preon Trinity Modeli:

Haplon ve Rishon modellerinden evrilmiş bir modeldir (Dugne vd 1999). Haplon modeli üç fermiyonik ve üç bozonik preonların olduğu bir modelle genişletilmektedir. Fermiyonik preonlar, α , β ve δ ile adlandırılırken bozonik olanlar x , y ve z sembolleriyle gösterilmektedir. Spin-1/2 preonlar, α , β ve δ sırasıyla +1/3, -2/3, +1/3 yüke sahiptir. Spin-1 anti-dipreonlar ise;

$$x = (\overline{\beta\delta}), y = (\overline{\alpha\delta}), z = (\overline{\alpha\beta})$$

şeklindedir ve yükleri ise sırasıyla +1/3, -2/3, +1/3 olarak verilmektedir. Bu modelde;

$$e^- = (\beta\overline{x}), v_e = (\alpha\overline{x}), u = (\alpha x), d = (\alpha y), Z = (\alpha\overline{\alpha}) \text{ ve } W^- = (\beta\overline{\alpha})$$

şeklindedir.

Çelikel-Kantar-Sultansoy Modeli:

Bu model kurulurken iki varsayım yapılmıştır: i) İstatistiğin bozulmaması, ii) Preonların renkli olması. Birinci varsayıma göre, Standart Model fermiyonları tek sayıda

fermionik preon içermelidir. Dolayısıyla, ya fermiyon-skaler modeli ya da üç fermiyon modeli mümkündür (Celikel vd. 1998). İkinci varsayımına göre ise preonların renk üçlüsü parçacıklar olduğu kabul edilmektedir.

Fermiyon-skaler modeli çerçevesinde leptonlar, bir fermiyonik preon ile bir skaler anti-preonun bağlı durumudurlar,

$$l = (F\bar{S}) = 1 \oplus 8$$

Böylece her bir Standart Model leptonunun bir tane renk sekizlisi eşi vardır. Üç fermiyon modelinde ise renk ayrışımı:

$$l = (FFF) = 1 \oplus 8 \oplus 8 \oplus 10$$

şeklinde olup, her Standart Model leptonunun iki tane renk sekizlisi ve bir tane de renk onlusu eşi olması gerektiği öngörülür.

Fermiyon-skaler modeline göre anti-kuarklar bir fermiyonik ve bir de skaler tipli preondan oluşurlar. Böylece her Standart Model anti-kuarkının bir tane renk altıslısı eşi vardır:

$$\bar{q} = (FS) = \bar{3} \oplus 6$$

Üç fermiyon modelinde kuarklar:

$$q = (F\bar{F}\bar{F}) = 3 \oplus \bar{3} \oplus \bar{6} \oplus 15$$

şeklinde bir kompozit yapıya sahiptirler. Böylece her Standart Model kuarkının bir tane anti-üçlüsü, bir tane anti-altıslısı ve bir tane de onbeşli eşi vardır.

Renk üçlüsü preonların olası elektrik yükleri için ($Q_{F,S} \leq 1$) farklı seçenekler Çizelge 2.4'te verilmiştir. Dördüncü sütun Fritzsche-Mandelbaum modeline karşılık gelir (Fritzsche ve Mandelbaum 1981), beşinci sütundaki seçenek elektrik yükü açısından fermiyon-skaler simetrisine sahiptir ve bu preonik düzeyde süpersimetrinin göstergesi olabilir.

Çizelge 2.4 $Q_{F,S} \leq 1$ durumu için preonların olası elektrik yükleri (Celikel vd. 1998)

	1. Model	2. Model	3. Model	4. Model	5. Model
S_1	0	1/3	1/2	2/3	1
F_1	0	1/3	1/2	2/3	1
F_2	-1	-2/3	-1/2	-1/3	0
S_2	1/3	0	-1/6	-1/3	-2/3

Fermiyon-skaler modeli çerçevesinde Standart Model'in birinci aile fermiyonlarını oluşturmak için, en az iki tane fermiyon, iki tane de skaler tipli preona ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece birinci ailenin fermiyonlarını

$$\begin{aligned} \nu_e &= (F_1 \bar{S}_1), & e &= (F_2 \bar{S}_1); \\ \bar{d} &= (F_1 S_2), & \bar{u} &= (F_2 S_2) \end{aligned}$$

şeklinde bağlı durumlar olarak yazmamız mümkündür (Celikel vd.1998).

Fariborz-Jora-Nasri Modeli:

Bu modelde iki adet psions ψ ve chions χ adında fermiyonik preon öngörülüyor (Fariborz vd. 2016). Bu model global $U(1)_V \times U(1)_A \times SU(2)_L \times SU(2)_R$ simetrisine sahiptir. Bu simetri daha sonra $SU(2)_L \times U(1)_Y$ ye indirgeniyor. Çizelge 2.5'te önerilen preonlara ait kuantum sayıları verilmektedir.

Çizelge 2.5 Fariborz-Jora-Nasri Modeli preonları ve kuantum sayıları

Preon	Q	T _{3L}	T _{3R}	SU(3) _C
ψ_L	2/3	1/2	0	3+6*
ψ_R	2/3	0	1/2	3+6*
χ_L	-1/3	-1/2	0	3+6*
χ_R	-1/3	0	-1/2	3+6*

Büyük gruptan elektro-zayıf gruba indirgenme sırasında olan simetri kırınımından sonra preonların sahip oldukları hiperyükler; $Y=2(Q-T_{3L})$, $Y(\psi_L)=1/3$, $Y(\psi_R)=4/3$, $Y(\chi_L)=-1/3$, $Y(\chi_R)=-2/3$ şeklindedir. Makalede $Y(\chi_L)=-1/3$ hesabında yanlışlık yapılmıştır. Asıl değer, $Y(\chi_L)=1/3$ olmalıdır. Çalışmada skaler teklilerin elektron zayıf grubun simetri kırınımıyla alakalı olacağı söylenerek skaler çiftliler aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$\begin{pmatrix} \chi_R^\dagger & \psi_L \\ \chi_R^\dagger & \psi_L \end{pmatrix} Y=1; \quad \begin{pmatrix} \psi_R^\dagger & \psi_L \\ \psi_R^\dagger & \chi_L \end{pmatrix} Y=-1.$$

Bu modelde leptonlar:

$$e_L = \psi_L^\dagger \psi_L^\dagger \chi_L^\dagger, e_R = \psi_R^\dagger \psi_R^\dagger \chi_R^\dagger, \nu_L = \chi_L^\dagger \chi_L^\dagger \psi_L^\dagger, \nu_R = \chi_R^\dagger \chi_R^\dagger \psi_R^\dagger$$

Şeklinde yapılıdır. Birinci aile leptonları 3x3x3, ikinci aile leptonları 6*x6*x6* ve üçüncü aile leptonları 3x3x6* bağlı durumları ile verilir.

Kuarklar ise:

$$u_L = \chi_L^\dagger \chi_L \psi_L, u_R = \chi_R^\dagger \chi_R \psi_R, d_L = \psi_L^\dagger \chi_L \psi_L, d_R = \psi_R^\dagger \chi_R \psi_R$$

şeklinde yapılıdır. Birinci aile kuarkları 3*x3x3, ikinci aile kuarkları 6x6*x3 ve üçüncü aile kuarkları 3*x3x6* veya 6x3x3 bağlı durumları ile verilir.

Buraya kadar daha önceki yıllarda önerilmiş olan preonik modellerden bazılarını özetlendi. Günümüzde preonik modellere gösterilen ilgi giderek artmaktadır. Preonik modellerde öngörülen dikuarklar, uyarılmış fermiyonlar, leptokuarklar, leptogluonlar üzerine yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır (Sahin vd. 2010; Akay vd. 2011; Liu vd. 2014; Kohda vd. 2013; Karabacak vd. 2012; Richardson ve Winn 2012; Han vd. 2010; Enkhbat 2014; Gonçalvez-Netto vd. 2013; Mandal ve Mitra 2013).

Yukarıda bahsedilen modellerin (ve genel olarak preon modellerinin) temelde iki eksikliği vardır: preon düzeyinde etkileşme dinamiğinin bilinmemesi ve SM aileleri göz önüne alındığında preon sayısının fazla olması. Bu eksikliklerden ilki, preonların deneysel olarak gözlenmesi ve bunların etkileşmelerinin incelenmesi sonucunda giderilebilir. İkinci eksiklik temel öge sayısını azaltmaya imkan sağlayacak yeni pre-preonik yapı düzeyi sayesinde giderilebilir.

2.2 Minimal Fermiyon-Skaler Preon Modeli

Yukarıda bahsi geçen modellerin ortak problemleri SM seviyesinde henüz gözlenmemiş başka parçacıkların ortaya çıkmasıdır. Örneğin, renk üçlüsü preonlardan oluşan fermiyon-skaler modellerinde ilk SM aile fermiyonlarına ek olarak aşağıdaki parçacıkların ortaya çıkması söz konusudur. Bunlar renk teklisi olarak:

$$(F_1\bar{S}_2) \text{ ve } (F_2\bar{S}_2)$$

renk üçlüsü olarak:

$$(\bar{F}_1\bar{S}_1) \text{ ve } (\bar{F}_2\bar{S}_1)$$

şeklinde gösterilebilir. Bu parçacıkların elektrik yükleri Çizelge 2.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.6 Fermiyon-skaler modellerden ortaya çıkan diğer parçacıkların yükleri

Ek Parçacıklar	Elektrik Yükleri				
	1. Model	2. Model	3. Model	4. Model	5. Model
$(F_1\bar{S}_2)$	-1/3	1/3	2/3	1	5/3
$(F_2\bar{S}_2)$	-4/3	-2/3	-1/3	0	2/3
$(\bar{F}_1\bar{S}_1)$	0	-2/3	-1	-4/3	-2
$(\bar{F}_2\bar{S}_1)$	1	1/3	0	-1/3	-1

Bahsi geçen bu parçacıkların henüz keşfedilmiş olmaması veya SM kütle ölçeğinin çok üzerinde kütlelere sahip olması problemi ortaya çıkmaktadır. Fritsch ve Mandelbaum, bu problemi çözen QED veya QCD benzeri preon dinamikleri (hiperrenk) önerdi (Fritsch 1981). Aynı hiperrenkli preonlar arasındaki itici etkileşimler bu istenmeyen bağlı durumları ortadan kaldırır. Fakat bu modellerde S_1 bir renk anti-üçlüsü; F_1 , F_2 ve S_2 ise gelişigüzel olarak renk üçlüsüdür. Dahası, preon dinamiklerinin QED veya QCD benzeri olması zorunlu değildir. Örneğin, “kütleçekimi benzeri” dinamikleri sadece çekici bir güç söz konusudur.

Yukarıda söz edilen problem ele alınarak, istenmeyen parçacıkların ortaya çıkmasını engelleyen minimal bir fermiyon skaler model önerilmiştir (Kaya vd. 2018). Önerilen preonların, renkleri, yükleri ve spinleri çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.7 İki fermiyonik ve bir skaler preon durumu

	Renk Yüğü (C)	Elektrik Yüğü (Q)	Spin (S)
$F_{1L,R}$	3	1/6	1/2
$F_{2L,R}$	3	-5/6	1/2
S	3	1/6	0

Böylece F_1 ve F_2 nin S ile olan bağılı durumları yalnızca SM fermiyonlarını oluşturur. Örneğin;

$$Q_{\bar{F}_2} + Q_{\bar{S}} = +\frac{2}{3}; C_{\bar{F}_2} \otimes C_{\bar{S}} = \bar{3} \otimes \bar{3} = 3 \oplus \bar{6} \rightarrow u = (\bar{F}_2 \bar{S})_3$$

$$Q_{\bar{F}_1} + Q_{\bar{S}} = -\frac{1}{3}; C_{\bar{F}_1} \otimes C_{\bar{S}} = \bar{3} \otimes \bar{3} = 3 \oplus \bar{6} \rightarrow d = (\bar{F}_1 \bar{S})_3$$

$$Q_{F_1} + Q_{\bar{S}} = 0; C_{F_1} \otimes C_{\bar{S}} = 3 \otimes \bar{3} = 1 \oplus 8 \rightarrow \nu_e = (F_1 \bar{S})_1$$

$$Q_{F_2} + Q_{\bar{S}} = -1; C_{F_2} \otimes C_{\bar{S}} = 3 \otimes \bar{3} = 1 \oplus 8 \rightarrow e^- = (F_2 \bar{S})_1$$

Buradan açıkça görülür ki önerilen model renk sekizlisi leptonları ve renk altılısı anti kuarkların varlığını öngörmektedir.

Fermiyon-skaler modelde preonlar renk üçlüleridirler, bunun anlamı QCD'nin preonik seviyede gerçekleşeceği'dir. Eğer uzay-zaman yapısı değişmez ise, elektro-zayıf ayar simetrisinin de preonik seviyede gerçekleşeceği yaklaşımı doğaldır. Çizelge 2.8'de öngördüğümüz modele ait preonların zayıf izo-spini ve zayıf hiperyükleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.8 Minimal fermiyon-skaler modele ait preonların zayıf izotopik ve hiperyükleri

	Zayıf izotopik yük (I_3)	Zayıf hiper yük (Y)
$\begin{pmatrix} F_{1L} \\ F_{2L} \end{pmatrix}$	1/2 -1/2	-2/3
F_{1R}	0	1/3
F_{2R}	0	-5/3
S	0	1/3

Bir diğer önemli konu aile tekrarıdır. İkinci ve üçüncü SM fermiyon aileleri kuantum çift uyarımları tarafından oluşabilir (Pati ve Salam 1983). Örneğin, ikinci aile fermiyonları aşağıda gösterildiği üzere birinci SM fermiyon ailesine bir $(S\bar{S})$ eklemek ile yapılabilir.

$$\nu_\mu = (F_1\bar{S})(S\bar{S}) \quad \mu = (F_2\bar{S})(S\bar{S}) \quad s = (\bar{F}_1\bar{S})(S\bar{S}) \quad c = (\bar{F}_2\bar{S})(S\bar{S})$$

Aynı düşünce ile üçüncü aile aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\nu_\tau = (F_1\bar{S})(S\bar{S})^2 \quad \tau = (F_2\bar{S})(S\bar{S})^2 \quad b = (\bar{F}_1\bar{S})(S\bar{S})^2 \quad t = (\bar{F}_2\bar{S})(S\bar{S})^2$$

Yukarıdaki yapıda, $(S\bar{S})$ 'in sadece tekli bileşenin ikinci ve üçüncü aile SM fermiyonlarının oluşumunda yer aldığı varsayılır. Alternatif olarak, $(S\bar{S})$ 'in renk sekizlisi bileşeni de üst ailelerin oluşumuna dahil olduğu düşünülebilir. Bu durumda, $(F\bar{S})(S\bar{S})$ aşağıdaki gibi bir renk yapısına sahip olur:

$$(1 \oplus 8) \otimes (1 \oplus 8) = 1 \oplus 8 \oplus 8 \oplus 1 \oplus 8 \oplus 8 \oplus 10 \oplus \bar{10} \oplus 27$$

Böylece, ilk tekli muon, ikinci tekli tau olarak düşünülebilir. Sonuç olarak, muon iki renk sekizlisi eşe sahip olurken tau iki renk sekizlisi, bir renk onlusu, bir anti-renk onlusu ve bir de renk yirmiyedilisi eşe sahip olur. Aynı yapı muon ve tau nötrinosu için de düşünülebilir.

Burada önerilen minimal fermiyon-skaler preon modelinin, prensip olarak diğer FS modellerinde olduğu gibi, ayna fermiyonik preonların ele alınmasıyla ortadan kaldırılabilecek bir üçgen anomali içerdiği belirtilmelidir.

3. LHC VE GELECEK ÇARPIŞTIRICI SEÇENEKLERİ

Renk sekizlisi elektronu araştırma potansiyellerini belirleyeceğimiz mevcut ve gelecekte kurulması düşünülen çarpıştırıcı seçenekleri bu bölümde ele alınmıştır. Foton ve çekirdek demetleri bu tez dahilinde değildir.

3.1 Hadron Çarpıştırıcıları

3.1.1 LHC

Büyük Hadron çarpıştırıcısı (LHC), şu anda çalışmakta olan dünyanın en büyük ve en güçlü parçacık hızlandırıcısıdır (LHC 2018). İlk olarak çalışmaya 10 Eylül 2008'de başlamıştır. LHC, parçacıkların enerjisini arttırmak için bir dizi hızlandırıcı yapıya sahip 27 kilometre uzunluğunda bir halkadan oluşur.

Hızlandırıcı içerisinde, yüksek enerjiye sahip iki parçacık demeti, çarpışmadan önce ışık hızına yakın bir hızda hareket ederler. Demetler ayrı demet borularında zıt yönde hareket eder ve bu demet boruları çok yüksek vakum altında tutulurlar. Bu demetler hızlandırıcı halka etrafında süper-iletken elektromıknatıslar tarafından sağlanan güçlü bir elektromanyetik alan tarafından yönlendirilirler. Elektromıknatıslar, süperiletken durumda çalışan direnç ya da enerji kaybı olmaksızın verimli elektrik iletkeni olan özel elektririk kablolarından yapılmışlardır. Bu mıknatısların boş uzaydan daha soğuk olan bir sıcaklığa yani -271.3 °C ye soğutulması gerekmektedir. Hızlandırıcının çoğu mıknatısları ve diğer sistemleri soğutmayı sağlayan bir sıvı helyum dağıtım sistemine bağlıdır.

Hızlandırıcı etrafında demeti yönlendirmek için binlerce farklı çeşit ve boyutta mıknatıs kullanılır. Bunlar, demetleri büken ve her biri 15 m uzunluğunda 1232 ikikutuplu mıknatıs ve her biri 5-7 m uzunluğunda demetleri odaklayan 392 dörktuplu mıknatıstır. Çarpışmadan hemen önce, çarpışma ihtimalini arttırmak için parçacıkları birbirine yaklaştıran farklı tip mıknatıslar da vardır.

LHC halkasında bulunan yedi deney, çarpışmaların ürettiği sayısız parçacığı analiz etmek için ayrı ayrı algıçlar kullanır. Bu deneyler dünyanın her yerindeki enstitülerden bilim insanlarının işbirliği ile yürütülür. Her deney farklı bir amaç güder ve sahip olduğu algıç ile karakterize edilir.

Bu algıçlardan en büyük olanları ATLAS (Anonymous 2019b) ve CMS'dir (Anonymous 2019d) ve genel parçacık fiziği araştırmaları için kurulmuşlardır. Bağımsız olarak tasarlanan bu iki algıç, yapılan yeni keşiflerin karşılıklı onayı için çok önemlidir. Biraz daha özel amaçlar için inşa edilmiş olan ağır iyon algıç ALICE (Anonymous 2019), kuark-gluon plazması denilen maddenin bir fazının oluştuğu aşırı enerji yoğunluklarında kuvvetle etkileşime giren maddenin fiziğini incelemek için tasarlanmıştır. LHCb (Anonymous 2018b) ise b ve c kuarkları inceleyerek madde-antimadde asimetrisini araştırır. Bu dört büyük algıç LHC halkası üzerinde büyük mağaralarda bulunmaktadır. LHC ve 4 büyük dedektörün pozisyonları Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

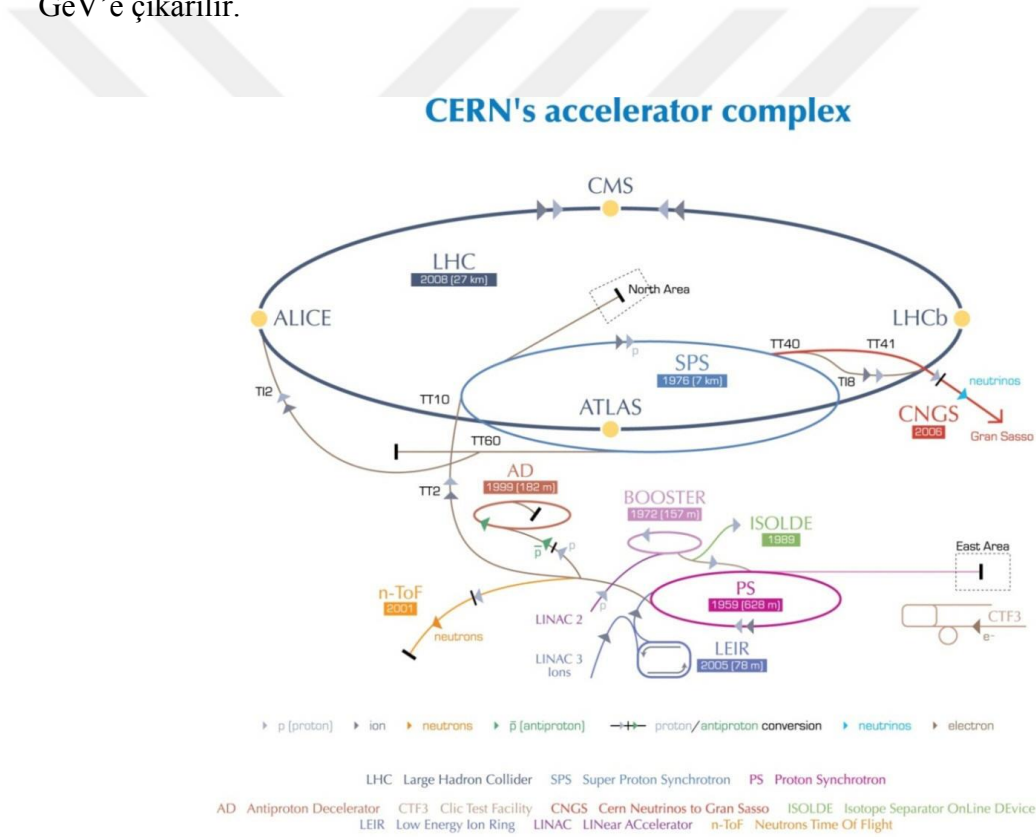


Şekil 3.1 Büyük Hadron Çarpıştırıcı halkasının gösterimi (Anonymous 2018)

LHC'deki daha küçük deneyler, ileri yöndeki parçacıklar (küçük açılarda çarpışma) üzerine odaklanan TOTEM (Anonymous 2019h) ve laboratuvar koşullarında kozmik ışınların benzetimini yapabilmek için LHC'deki çarpışmaları kullanan LHCf'dir (Anonymous 2018c). TOTEM, CMS etkileşim noktasının her iki tarafında bulunan algıçları kullanır, LHCf ise LHC demet hattı boyunca ATLAS çarpışma noktasının her iki tarafında 140 metre mesafede bulunan iki algıçtan oluşur. MoEDAL (Anonymous

2019e), manyetik tekkutbu (manyetik yüke sahip varsayımsal bir parçacık) aramak için LHCb'nin yakınında bulunan algıçları kullanır.

LHC'nin proton kaynağı kapalı bir haznedeki hidrojen gazıdır (Anonymous 2018a). Bu hidrojen gazından protonları üretmeyi sağlayacak, hidrojen gazını elektronlarından ayırmak amacıyla bir elektrik alan kullanılır. Linac 2 (doğrusal hızlandırıcı), protonların enerjisini 50 MeV'e hızlandıran ilk hızlandırıcıdır. Demet buradan Proton Sinkrotron İtıcisine (PBS) aktarılır ve burada protonların enerjisi 1.4 GeV'e çıkarılır. Bunu takiben protonlar enerjilerini 25 GeV'e yükseltecek Proton Sinkrotron'una (PS) girerler. Buradan protonlar Süper Proton Sinkrotron'una (SPS) gönderilirler ve enerjileri 450 GeV'e çıkarılır.



European Organization for Nuclear Research | Organisation européenne pour la recherche nucléaire

© CERN 2008

Şekil 3.2 CERN hızlandırıcı tesisi (Anonymous 2019c)

450 GeV enerjiye sahip bu protonlar LHC'nin iki ayrı demet borusuna aktarılır. Bu iki demet birbirlerinin aksi yönünde dönerler. Şekil 3.2'de protonları gerekli enerjiye ulaştıran hızlandırıcı zinciri gösterilmektedir. Her LHC halkasını doldurmak için geçen

süre 4 dakika 20 saniyedir ve 20 dakika sonra her iki demet en yüksek enerjileri olan 6.5 TeV'e ulaşırlar. Demetler normal çalışma koşullarında LHC halkalarında saatlerce dolaşırlar. Toplam enerjinin 13 TeV'ye (LHC'nin planlanan demet enerjisi 7 TeV'dir.) eşit olduğu durumda ALICE, ATLAS, LHCb ve CMS algıçları içerisinde çarpışmaya sokulur. Çarpışan bu demetlerin temel parametreleri Çizelge 3.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1 LHC demet parametreleri

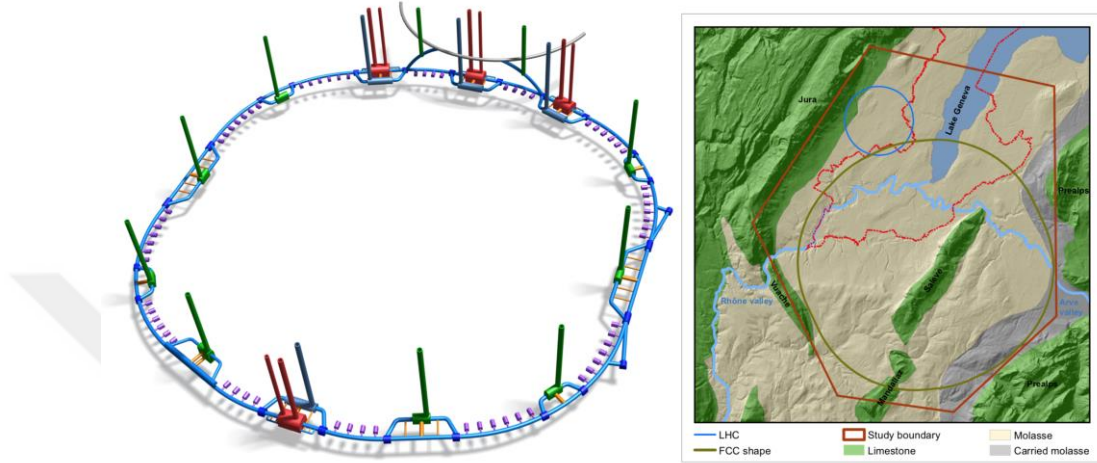
Demet Enerjisi (TeV)	6.5 (7)
En Yüksek Işınlık ($10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	10.0
Demet Başına Parçacık Sayısı (10^{11})	1.05
Norm. Enine Yayılım (μm)	3.75
β^* Fonksiyonu (m) (çarpışma bölg.)	0.50
Demet Boyutu (μm)	15.9
Demet Başına Bohça Sayısı	2808
Bohçalar Arası Boşluk (ns)	24.95
Bohça Uzunluğu (mm)	77
Demet-Demet Parametresi	3.42×10^{-3}

3.1.2 FCC

Gelecek Dairesel Çarpıştırıcı'nın hadron-hadron seçeneği (FCC-hh) LHC'den neredeyse bir mertebe daha yüksek enerjide proton-proton çarpışması sağlamayı amaçlamaktadır. Hedeflenen kütle merkezi enerjisi 100 TeV'dir. Bu mertebedeki bir kütle merkezi enerjisini sağlamak için hızlandırıcılarda Nb_3Sn temelli ileri düzey süperiletken mıknatıslara gereksinim olmaktadır. Nominal dipol manyetik alanının 16 T olduğunu varsayarsak, bu tarz bir makinanın 100 km bir çevreye sahip olacağı açıktır. FCC'nin her iki ana deneyde 25 yıllık bir süreçte 20 ab^{-1} toplam ışınlık sağlaması düşünülmektedir.

FCC, Avrupa Gelecek Hızlandırıcıları Komitesi (ECFA) himayesinde küresel bir işbirliği olarak düzenleniyor ve Avrupa Parçacık Fiziği Stratejisi'nin bir sonraki güncellemesi için kavramsal bir tasarım raporu hazırlandı (Abada vd. 2018).

Gelecekteki Dairesel Çarpıştırıcı (FCC), CERN’de, Şekil 3.3’teki gibi, LHC’nin ileri halkası olarak kurulması planlanmaktadır (Abada vd. 2018; Benedikt vd. 2015). LHC’den gelen protonları 50 TeV’ e hızlandırılması amaçlanan FCC’nin yeni fizik arayışında büyük bir rol oynaması hedeflenmektedir

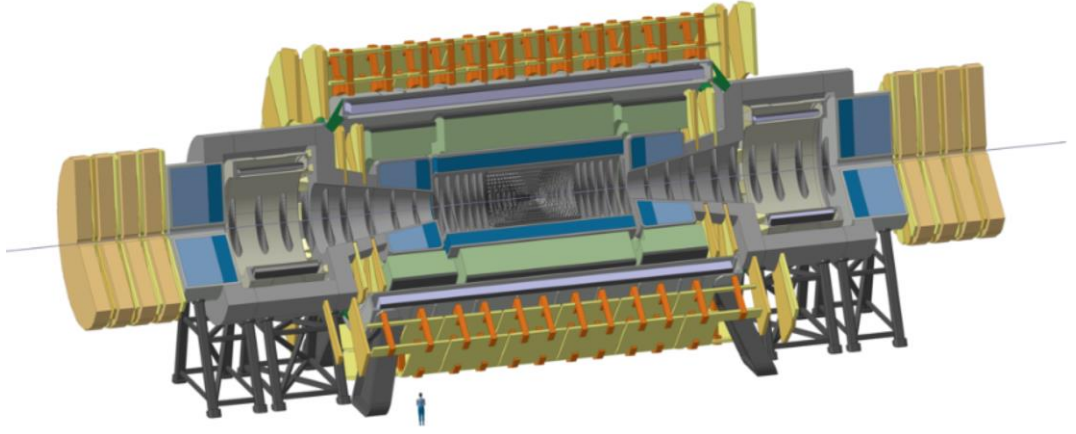


Şekil 3.3 Gelecekte kurulması düşünülen FCC halkasının yerleşimi (Abada vd. 2018)

FCC’nin planlanan proton demet parametreleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Şekil 3.4’te ise FCC halkası üzerinde kurulması planlanan ve yeni fizik arayışında büyük rol oynayacağı düşünülen algıcın varsayımsal bir tasarımı gösterilmektedir. Tasarımdaki algıcın çapı 20 m ve uzunluğu 50 m’dir.

Çizelge 3.2 FCC proton-proton çarpıştırıcısı demet parametreleri

	Başlangıç	Ana
Demet Enerjisi (TeV)	50	50
En Yüksek Işınlık ($10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	5.0	< 30
Demet Başına Parçacık Sayısı (10^{10})	10	10
Norm. Enine Işıma (μm)	2.2	2.2
β^* Fonksiyonu (m) (çarpışma bölg.)	1.1	0.3
Demet Boyutu (μm)	6.8	3.5
Demet Başına Bohça Sayısı	10400	10400
Bohçalar Arası Boşluk (ns)	25	25
Bohça Uzunluğu (mm)	80	80



Şekil 3.4 FCC-hh çarpıştırıcısı için varsayımsal bir algıç (Abada vd. 2018)

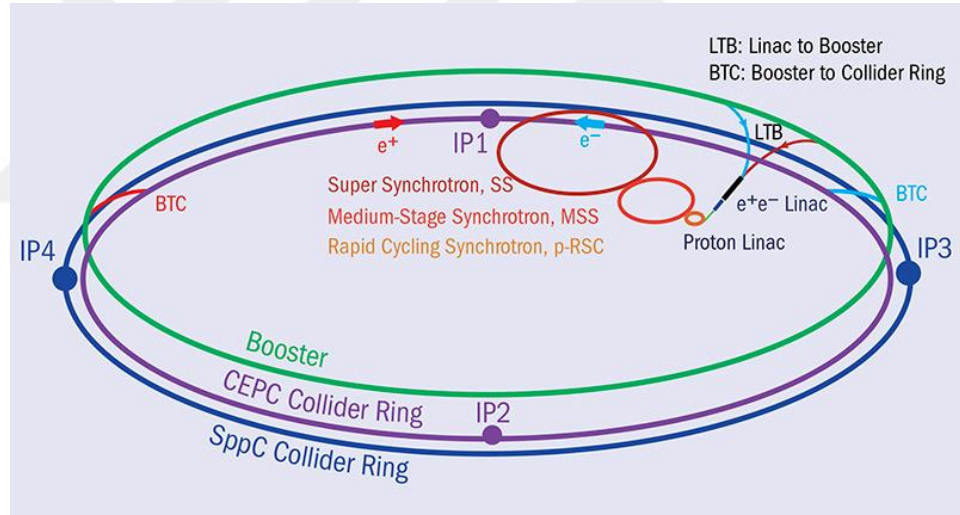
3.1.3 SppC

Süper Proton-Proton Çarpıştırıcısı (SppC), Çin’de kurulması planlanan ve 71.2 TeV ve 136 TeV kütle merkezi enerjili seçeneklere sahip proton-proton çarpıştırıcısıdır (Gao vd. 2016; Bai vd. 2016). Bu tarz bir çarpıştırıcıda elektron-pozitron ve proton-proton çarpışmalarının aynı anda yapılabileceği ve tamamlayıcı bilgiler sunacağı belirtilmiştir. Ayrıca iki makineyi de kullanarak elektron-proton çarpışmaları da yapılabilir.

2014 yılı başlarında IHEP, CEPC-SppC’nin Çin Hükümeti’nin bir sonraki 5 yıllık planında yer alabilmesi için bir yıl içerisinde kavramsal bir rapor hazırlayıp yayınlamaya karar verdi. Raporda 54 km’lik bir halka tasarımı yer almaktadır. Bu tasarım maliyet kaygısı sebebi ile bu boyutta tutulmuştur. Ayrıca 100 km uzunluğunda alternatif bir halka tasarımı da raporda yer almaktadır. SppC’nin temsili bir gösterimi Şekil 3.5’te yer almaktadır (CEPC-SPPC 2019) ve sahip olacağı demet parametreleri Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3 SppC demet parametreleri

Demet Enerjisi (TeV)	35.6	68.0
Çevre (km)	54.7	100.0
En Yüksek Işınlık ($10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	11	102
Bohça Başına Parçacık Sayısı (10^{10})	20	20
Norm. Enine Işıma (μm)	4.10	3.05
β^* Fonksiyonu (m) (çarpışma bölg.)	0.75	0.24
Demet Boyutu (μm)	9.0	3.04
Demet Başına Bohça Sayısı	5835	10667
Bohçalar Arası Boşluk (ns)	25	25
Bohça Uzunluğu (mm)	75.5	15.8



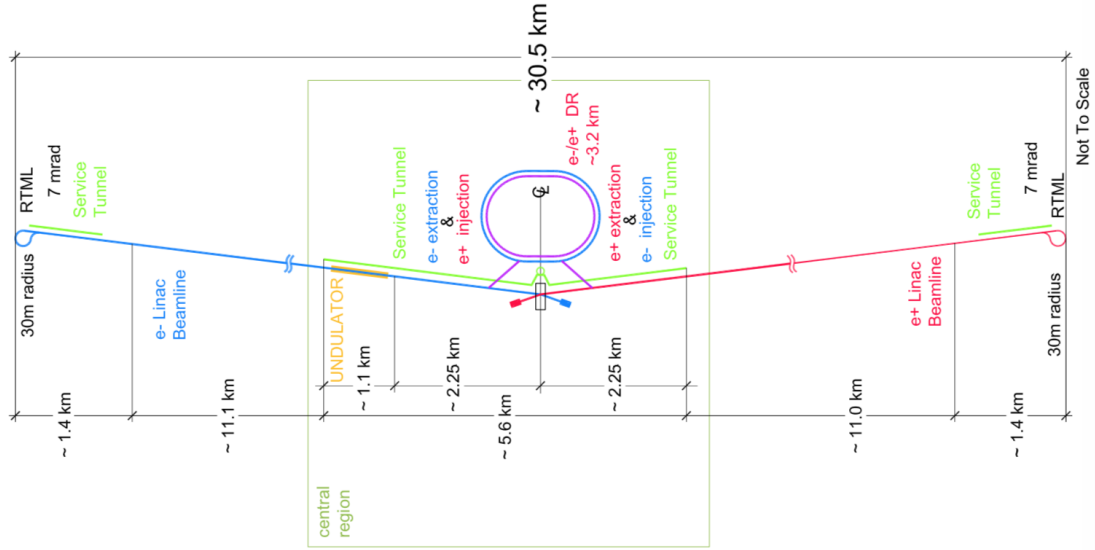
Şekil 3.5 SppC'nin temsili bir görünümü (CEPC-SPPC 2019)

3.2 Elektron-Pozitron Çarpıştırıcıları

3.2.1 ILC

Uluslararası Doğrusal Çarpıştırıcı (ILC) (ILC TDR 2013), 1.3 GHz süper iletken radyo frekansı (SCRF) hızlandırma teknolojisine dayanan doğrusal bir elektron pozitron çarpıştırıcısıdır. Yüksek ışınlık ile 200-500 GeV (1 TeV'ye kadar arttırılabilir) kütle

merkezi enerjisine ulaşmak için tasarlanmıştır. Şekil 3.6’da ILC kompleksinin şematik bir gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.6 500 GeV kütle merkezi enerjisi için ILC kompleksinin şematik yerleşimi (ILC TDR 2013)

200'den 500 GeV'ye kadar kütle merkezi enerjilerinin taban hattı operasyonel aralığı için en üst düzey parametreler, nispeten düşük risk ve minimum maliyetle maksimum ulaşılabilir fizik performansını sağlamak için optimize edilmiştir. Çizelge 3.4'te 200, 250, 350 ve 500 GeV kütle merkezi ILC'nin ana parametreleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.4 ILC temel parametreleri

Demet Enerjisi (GeV)	100	125	175	250
Işınlık ($10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	0.56	0.75	1.0	1.8
Toplam uzunluk (km)	30.5	30.5	30.5	30.5
Hızlandırma gradyeni (MV/m)	31.5	31.5	31.5	31.5
Çarpışma Bölgesinde Demet Gücü (MW)	2.1	2.6	3.7	5.3
Bohça Başına Parçacık Sayısı (10^9)	2.0	2.0	2.0	2.0
Norm. Yatay Enine Yayınım (μm)	10	10	10	10
Norm. Dikey Enine Yayınım (nm)	35	35	35	35
Yatay β^* Fonksiyonu (mm)	16	13	16	11
Dikey β^* Fonksiyonu (mm)	0.34	0.41	0.34	0.48
Çarpışma Bölgesi Yatay Demet Boyutu (nm)	904	729	684	474

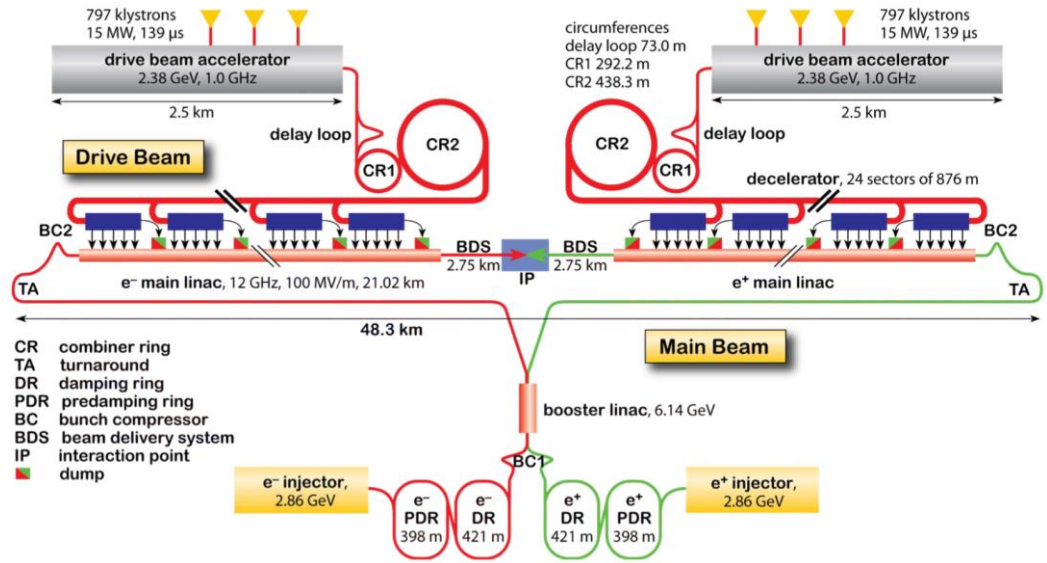
Çizelge 3.4 ILC temel parametreleri (devam)

Çarpışma Bölgesi Dikey Demet Boyutu (nm)	7.8	7.7	5.9	5.9
Demet Başına Bohça Sayısı	1312	1312	1312	1312
Tekrarlama Frekansı (Hz)	5	5	5	5
Demet atma süresi (ns)	554	554	554	554
Bohça ayırımı (ns)	8	8	8	8
Bohça Uzunluğu (mm)	0.3	0.3	0.3	0.3

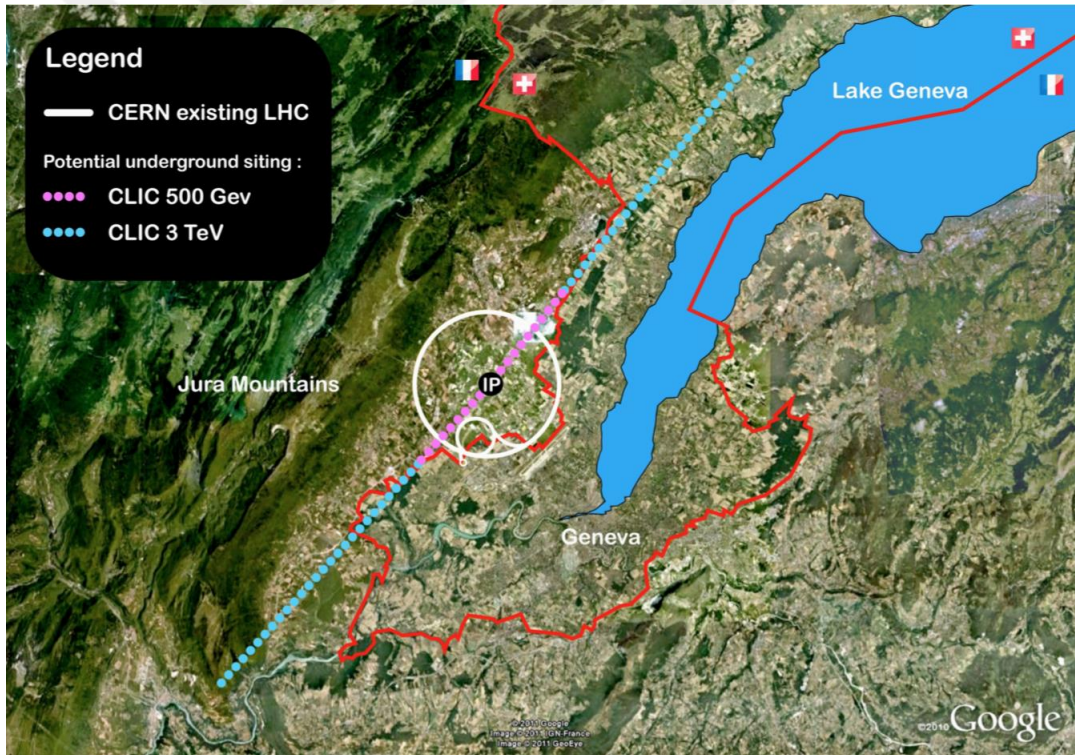
ILC' nin inşasının önünde iki soru işareti var: proje için bir ev sahibi ülke bulmak ve finanse etmek. Japonya, bu çarpıştırıcıya ev sahipliği yapmaya aday ülkeler arasındadır.

3.2.2 CLIC

Birkaç Multi-TeV enerji aralığındaki bir elektron-pozitron çarpıştırıcısına dayanan ön fizik çalışmalarının ardından (Anonymous 2018d; Ellis 2001) CLIC çalışmaları, 3 TeV kütle çarpışma enerjisi ile lineer bir çarpışmanın tasarımına odaklanmıştır (CLIC CDR 2012). Bu çarpıştırıcı için ışınlık $5.9 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ olarak planlanmıştır. Şekil 3.7'de CLIC teknolojisini oluşturan elemanlar listelenmiştir. Şekil 3.8'de ise Cenevre bölgesinde hızlandırıcının olası konumunu göstermektedir. Burada mavi noktalar 3 TeV'lik bir çarpışma için gereken demet hattı uzunluğunu göstermektedir. Ana demet ve linak parametreleri Çizelge 3.5'te listelenmiştir.



Şekil 3.7 3 TeV kütle merkezi enerjili CLIC düzeni (CLIC CDR 2012)



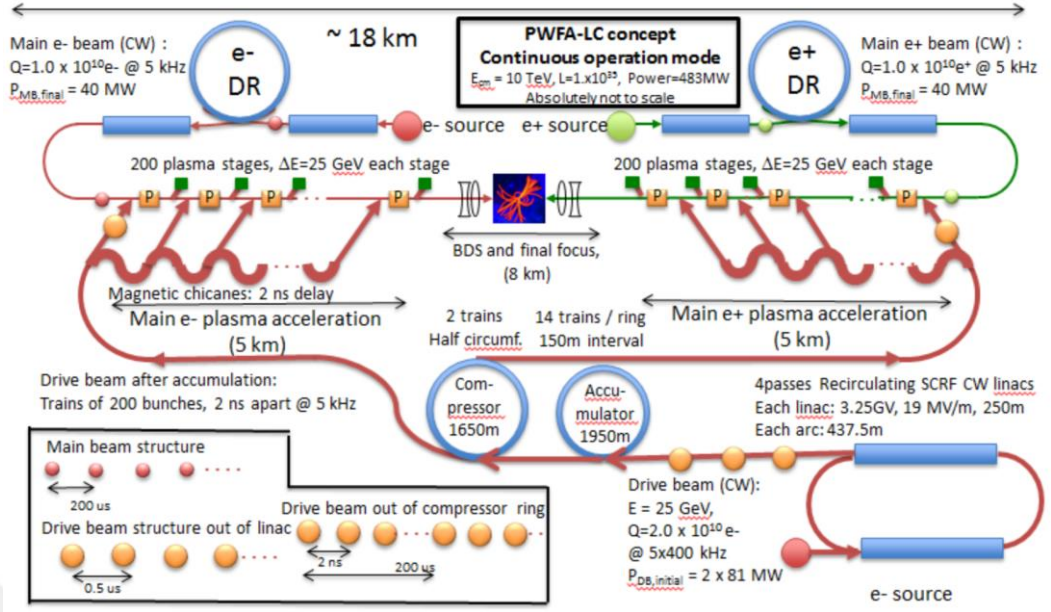
Şekil 3.8 CLIC hızlandırıcısı için olası yeri gösteren harita (CLIC CDR 2012)

Çizelge 3.5 CLIC temel parametreleri

Demet Enerjisi (GeV)	1500
Işınlık ($10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	5.9
Toplam uzunluk (km)	48.4
Hızlandırma gradyeni (MV/m)	100
Çarpışma Bölgesinde Demet Gücü (MW)	14
Bohça Başına Parçacık Sayısı (10^9)	3.72
Norm. Yatay Enine Yayınım (nm)	660.0
Norm. Dikey Enine Yayınım (nm)	20.0
Yatay β^* Fonksiyonu (mm)	6.9
Dikey β^* Fonksiyonu (mm)	0.068
Çarpışma Bölgesi Yatay Demet Boyutu (nm)	45.0
Çarpışma Bölgesi Dikey Demet Boyutu (nm)	0.9
Demet Başına Bohça Sayısı	312
Tekrarlama Frekansı (Hz)	50
Demet atma süresi (ns)	156
Bohça ayırımı (ns)	0.5
Bohça Uzunluğu (mm)	0.044

3.2.3 PWFA-LC

Demet-sürücü PWFA (Plasma Wake Field Accelerator) temelli doğrusal e^+e^- çarpıştırıcısı kavramı (Adli vd 2013), PWFA teknolojisinden yararlanan, elde edilecek kritik parametreleri tanımlayan ve makul bir tasarım bulmaya yönelik fizibilitelelerini ele almak için gerekli Ar-Ge girişimi olarak geliştirilmiştir. Şekil 3.9'da PWFA-LC'nin olası bir düzeni gösterilmektedir. PWFA (Delahaye vd. 2014), normal hızlandırma sistemlerine göre daha yüksek enerjilere ulaşabildiği için standart teknolojilere göre daha büyük avantaja sahiptir. Bu nedenle günümüzde PWFA ile çalışan Doğrusal hızlandırıcılar (LC) gündemdedir. Olası bir PWFA-LC çarpıştırıcısının parametreleri Çizelge 3.6'daki gibi öngörülmüştür.



Şekil 3.9 PWFA temelli 10 TeV doğrusal çarpıştırıcının düzeni (Delahaye vd. 2014)

Çizelge 3.6 PWFA-LC'nin demet ana parametreleri

Demet Enerjisi (GeV)	5000
En Yüksek Işınlık ($10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	6.27
Bohça Başına Parçacık Sayısı (10^{10})	1.00
Norm. Yatay Enine Yayınım(μm)	10.0
Norm. Dikey Enine Yayınım (nm)	35.0
Yatay β^* Fonksiyonu (mm)	11.0
Dikey β^* Fonksiyonu (mm)	0.099
Yatay Hüzme Boyutu (nm)	106
Dikey Hüzme Boyutu (nm)	59.8
Demet Başına Bohça Sayısı	1
Tekrarlama Frekansı (Hz)	5000
Çarpışma Bölgesinde Demet Gücü (MW)	40
Bohçalar Arası Boşluk (ns)	20 x 10 ⁴
Bohça Uzunluğu (mm)	0.02

3.3 Elektron-Proton Çarpıştırıcıları

Lepton-hadron saçılımının maddenin derinlemesine anlaşılmasında önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Örneğin Hofstadter deneyinde atom çekirdeğinden saçılan elektronlar nükleonların yapısını ortaya çıkarmıştır (Hofstadter ve McAllister 1955). Bu deney Nobel ödülü almıştır. Dahası kuark parton modeli SLAC'daki lepton-hadron çarpışmalarından ortaya konmuştur (Friedman ve Kendall 1972). 0.32 TeV kütle merkezi enerjisine sahip HERA ep çarpıştırıcısı kinematik bölgenin hem yüksek Q^2 hem de küçük x cinsinden iki merteye genişletilmiştir. Ayrıca LHC ve Tevatron deneyleri için parton dağılım fonksiyonlarını sağlamıştır. Ne yazık ki parton yoğunluklarının doygunluğunun kendini göstereceği yeterince küçük x ($<10^{-6}$) ve yeterince büyük Q^2 bölgesine henüz ulaşılammıştır. 1.3 TeV kütle merkezi enerjisinde çalışması düşünülen LHeC bu bölgenin incelenmesi için fırsat sağlayacaktır (Abelleira Fernandez vd 2012).

Elektron-proton çarpıştırıcılarındaki ışınlık hesabı için genel bir ifade,

$$L = \frac{N_e N_p}{4\pi \max[\sigma_{xp}, \sigma_{xe}] \max[\sigma_{yp}, \sigma_{ye}]} \min[f_{cp}, f_{ce}]$$

şeklindedir. Burada N_e, N_p bohçada elektron ve proton sayılarını gösterirken, σ_{xp}, σ_{xe} proton ve elektron için yatay, σ_{yp}, σ_{ye} proton ve elektron için dikey demet boyutlarını temsil etmektedir. f_{cp} ve f_{ce} ise proton ve elektron bohçalarının frekansını gösterir. f_c , $f_c = N_b f_{rep}$ ile ifade edilebilir. Burada N_b , bohça sayısını ve f_{rep} halka çarpıştırıcı için yenileme frekansını, doğrusal çarpıştırıcı için ise atma frekansını belirtir. Elektron-proton çarpıştırıcısında çarpışma frekansını belirlemek için, gelen demet frekansları arasından minimum olan seçilir. Bu parametreler bazen elektron-proton çarpıştırıcısının ışınlık değerini en iyi seviyeye çıkarmak için yeniden düzenlenebilir ancak bu yapılırken bazı sınırlamaların olduğuna dikkat edilmelidir. Örneğin bu sınırlamalardan biri elektron demetinin gücüdür. Bu çalışmada elektron-proton çarpıştırıcılarında parameter değişiklikleri yalnızca proton demeti üzerinden yapılmıştır ve elektron yani doğrusal çarpıştırıcıların ana parametreleri dikkate alınmıştır. Doğrusal-halka tipi elektron-proton çarpıştırıcıları için diğer sınırlamalar demet-demet etkilerinden

kaynaklanmaktadır. Genel olarak, etkileşim noktalarında (IP) yüksek ışınlık değerlerine sahip olmak için daha iyi bir odaklanma gerekir.

Ayrıca çarpışma bölgesinde demet-demet etkileşmelerinden kaynaklı sınırlamalar göz önünde tutulmalıdır: elektron demeti için bozulma (disruption) ve proton demeti için demet-demet ayar kayması (beam-beam tune shift). Elektron demeti için bozulma parametresi,

$$D_{x_e} = \frac{2N_p r_e \sigma_{z_p}}{\gamma_e \sigma_{x_p} (\sigma_{x_p} + \sigma_{y_p})}, D_{y_e} = \frac{2N_p r_e \sigma_{z_p}}{\gamma_e \sigma_{y_p} (\sigma_{x_p} + \sigma_{y_p})}$$

şeklinde verilir. Burada $r_e = 2.82 \times 10^{-15}$ elektronun klasik yarıçapıdır. γ_e elektron demetinin Lorentz faktörü, σ_{x_p} ve σ_{y_p} çarpışma bölgesindeki yatay ve dik proton demet boyutudur. σ_{z_p} proton demetinin bohça uzunluğudur. Proton demetleri için demet-demet parametresi,

$$\xi_{x_p} = \frac{N_e r_p \beta_p^*}{2\pi \gamma_p \sigma_{x_e} (\sigma_{x_e} + \sigma_{y_e})}, \xi_{y_p} = \frac{N_e r_p \beta_p^*}{2\pi \gamma_p \sigma_{y_e} (\sigma_{x_e} + \sigma_{y_e})}$$

şeklinde verilir. Burada $r_p = 1.54 \times 10^{-18}$ protonun klasik yarıçapıdır. β_p^* , çarpışma bölgesindeki proton demetinin beta fonksiyonu, γ_p proton demetinin Lorentz faktörüdür. σ_{x_e} ve σ_{y_e} elektronun çarpışma bölgesindeki yatay ve dik demet boyutlarıdır.

3.3.1 FCC Temelli ep Çarpıştırıcıları

ILC⊗FCC ve PWFA-LC⊗FCC seçenekleri göz önüne alındığında, elektron hızlandırıcıların demet aralığının her zaman FCC'den daha büyük olduğu, proton demet boyutlarının her zaman IP'deki elektron demet boyutlarından daha büyük olduğu belirtilmelidir (Acar vd. 2017). Çarpışma bölgesinde enine eşleşen proton ve elektron

demetleri için proton demetinin yuvarlaklığını da göz önünde bulundurarak sayısal hesaplamalarda,

$$L_{ep} = \frac{N_e N_p}{4\pi\sigma_p^2} f_{ce}, \xi_p = \frac{N_e r_p \beta_p^*}{4\pi\gamma_p \sigma_p^2}, D_e = \frac{N_p r_e \sigma_{zp}}{\gamma_e \sigma_p^2}$$

formüllerini kullanıyoruz. ILC⊗FCC ve PWFA-LC⊗FCC çarpıştırıcılarına ait (hem nominal FCC hem de ep çarpışmaları için geliştirilmiş FCC parametreleri kullanılarak) ışınlık, bozulma ve demet-demet parametre değerleri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7 ILC⊗FCC ve PWFA-LC⊗FCC çarpıştırıcılarının temel parametreleri

Çarpıştırıcı	Nominal FCC				
	E_e (GeV)	\sqrt{s} (TeV)	L_{ep} (cm ⁻² s ⁻¹)	D_e	ξ_p
ILC⊗FCC	250	7.08	2.26×10^{30}	1.0	1.09×10^{-3}
	500	10.0	2.94×10^{30}	0.5	9.40×10^{-3}
PWFA-LC⊗FCC	250	7.08	3.44×10^{30}	1.0	5.47×10^{-4}
	500	10.0	2.58×10^{30}	0.5	5.47×10^{-4}
	1500	17.3	1.72×10^{30}	0.17	5.47×10^{-4}
	5000	31.6	0.86×10^{30}	0.05	5.47×10^{-4}
Geliştirilmiş FCC					
ILC⊗FCC	250	7.08	55×10^{30}	24	1.09×10^{-3}
	500	10.0	70×10^{30}	12	9.40×10^{-3}
PWFA-LC⊗FCC	250	7.08	82.6×10^{30}	24	5.47×10^{-4}
	500	10.0	61.9×10^{30}	12	5.47×10^{-4}
	1500	17.3	41.3×10^{30}	4.0	5.47×10^{-4}
	5000	31.6	20.8×10^{30}	1.2	5.47×10^{-4}

Geliştirilmiş FCC için β_p^* parametresi 0.1 m olarak yeniden ele alınmıştır. Bu durumda σ_p 2.05 μ m olur. Ayrıca ışınlığı arttırmak için bozulma parametresi sınır değeri 25’te

kalacak şekilde bohçadaki proton sayısı arttırılmıştır. Bu şekilde hesaplanan ışınlık değerleri Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8 Bozulma üst sınırı 25 için geliştirilmiş ILC⊗FCC ve PWFA-LC⊗FCC çarpıştırıcılarının temel parametreleri

Çarpıştırıcı	E_e (GeV)	\sqrt{s} (TeV)	N_p (10^{11})	L_{ep} ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	ξ_p
ILC⊗FCC	250	7.08	2.3	57×10^{30}	1.09×10^{-3}
	500	10.0	4.6	149×10^{30}	9.40×10^{-3}
PWFA-LC⊗FCC	250	7.08	2.3	86×10^{30}	5.47×10^{-4}
	500	10.0	4.6	129×10^{30}	5.47×10^{-4}
	1500	17.3	13.8	258×10^{30}	5.47×10^{-4}
	5000	31.6	45.8	453×10^{30}	5.47×10^{-4}

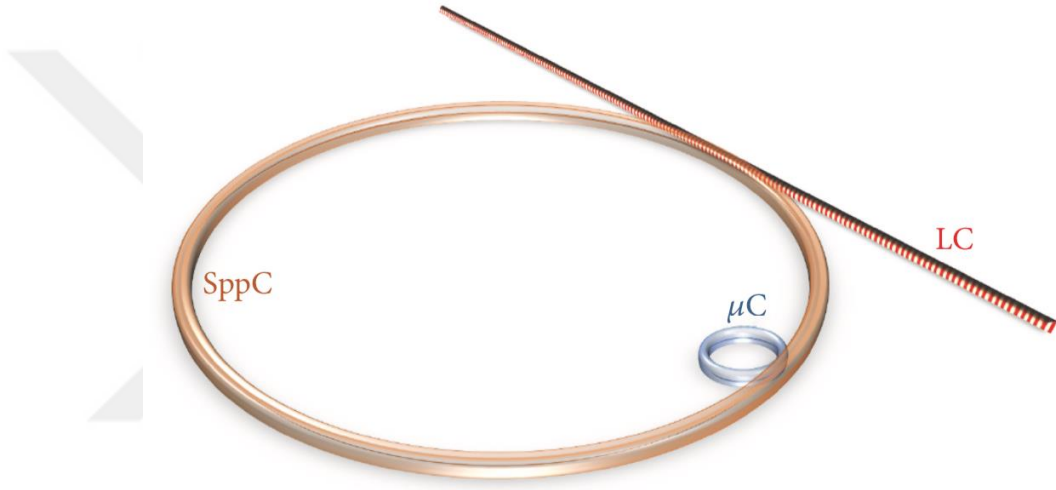
Çizelge 3.8’in 4. sütunundan görüleceği üzere bohçalardaki proton sayıları, FCC’nin tasarımına göre daha yüksek olduğundan, injektör zincirinde köklü bir değişiklik yapılması gerekebilir. Dikkat edilmesi gereken diğer önemli nokta IBS büyüme zamanıdır (Corneliussen ve Carlton 1993). Bu demet içerisindeki parçacıkların Coulomb etkileşimlerinden dolayı yayılım büyüme oranına karşılık gelir. Burada Wei (J. Wei,1993) formülü kullanılarak yatay IBS büyüme hızları hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.9 PWFA-LC⊗FCC’de IBS büyüme zamanları

E_e (GeV)	\sqrt{s} (TeV)	N_p (10^{11})	L_{ep} ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	ξ_p	$\tau_{\text{IBS},x}$ (h)
250	7.08	2.3	86×10^{30}	5.47×10^{-4}	85
500	10.0	4.6	129×10^{30}	5.47×10^{-4}	43
1500	17.3	13.8	258×10^{30}	5.47×10^{-4}	14
5000	31.6	45.8	453×10^{30}	5.47×10^{-4}	4

3.3.2 SppC Temelli ep Çarpıştırıcıları

SppC proton halkasına teğet olarak kurulacak bir doğrusal electron hızlandırıcısı yüksek kütle merkezi enerjili elektron-proton çarpışmalarına imkan sağlayacaktır (Canbay vd. 2017). Şekil 3.10’da bu çarpıştırıcının görsel olarak bir benzetimi sunulmuştur. Bu çalışmada elektron demetlerinin ILC ve PWFA-LC den alınacağı gözönünde bulundurularak SppC temelli bir elektron-proton çarpıştırıcısı yapılması öngörülmüştür.



Şekil 3.10 SppC ve doğrusal elektron çarpıştırıcısının olası görünümü

ILC ve PWFA-LC'nin boğça aralıklarının SppC boğça aralığından çok daha büyük olduğu önceki parametre çizelgelerinden rahatlıkla görülebilir. Diğer yandan, proton demetinin enine boyutu, elektron demetinin enine boyutlarından çok daha büyüktür. Bu nedenle parlaklık, demet-demet parametresi ve bozulma formülü FCC temelli ep çarpıştırıcıları kısmındaki ile aynı olur.

ILC, PWFA-LC ve SppC'nin nominal değerlerini kullanarak Çizelge 3.10'da verilen çarpıştırıcıların kütle merkezi enerjisi, ışınlık, demet demet parametresi ve bozulma değerlerini elde ediyoruz. Parantez içerisinde verilen parlaklık değerleri ALOHEP (Anonymous 2019a) yazılımı tarafından yapılan demet-demet benzetiminin ışınlık sonuçlarını göstermektedir.

Çizelge 3.10 LC⊗SppC temelli ep çarpıştırıcısının temel parametreleri

E_e , TeV	E_p , TeV	\sqrt{s} , TeV	L_{ep} , $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	D_e	ξ_p
0.5	35.6	8.44	$3.35 (6.64) \times 10^{30}$	0.537	0.5×10^{-3}
0.5	68	11.66	$2.69 (5.33) \times 10^{31}$	0.902	0.7×10^{-3}
5	35.6	26.68	$0.98 (1.94) \times 10^{30}$	0.054	0.3×10^{-3}
5	68	36.88	$0.78 (1.56) \times 10^{31}$	0.090	0.4×10^{-3}

Elektron-proton çarpışmalarının ışıklığını arttırmak için SppC proton demeti parametrelerinin LHeC benzeri yükseltilmesi kullanılabilir. Yani, çarpışma noktasındaki proton demetinin β fonksiyonu, LHeC (J. L. Abelleira Fernandez, vd. 2012) ve THERA (Katz, Klein, Levy ve Schlenstedt, 2001) tasarımlarına karşılık gelen 7.5 / 2.4 kat daha düşük (0.75 / 0.24 m yerine 0.1 m) olacak şekilde alınabilir. Bu, sırasıyla 35.6 TeV ve 68 TeV proton demeti ile SppC için ışıklık değerini sırasıyla 7.5 ve 2.4 kat artırır. Sonuçlar Çizelge 3.11'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.11 Yeniden düzenlenmiş β^* ile LC⊗SppC temelli ep çarpıştırıcısının temel parametreleri

E_e , TeV	E_p , TeV	\sqrt{s} , TeV	L_{ep} , $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	D_e	ξ_p
0.5	35.6	8.44	$2.51 (4.41) \times 10^{31}$	4.03	0.5×10^{-3}
0.5	68	11.66	$6.45 (10.8) \times 10^{31}$	2.16	0.7×10^{-3}
5	35.6	26.68	$7.37 (13.3) \times 10^{30}$	0.403	0.3×10^{-3}
5	68	36.88	$1.89 (3.75) \times 10^{31}$	0.216	0.4×10^{-3}

4. e_8 'İN LHC VE GELECEKTE KURULMASI DÜŞÜNÜLEN ÇARPIŞTIRICILARDA ARANMASI

SM'in ayar simetrisi tarafında izin verilen terimleri dahil ederek renk sekizlisi elektron için aşağıdaki şekilde bir lagranjiyen yazılabilir;

$$\mathcal{L} = \bar{e}_8^a i\gamma^\mu (\partial_\mu \delta^{ac} + g_s f^{abc} G_\mu^b) e_8^c - M_{e_8} \bar{e}_8^a e_8^a + \mathcal{L}_{int}$$

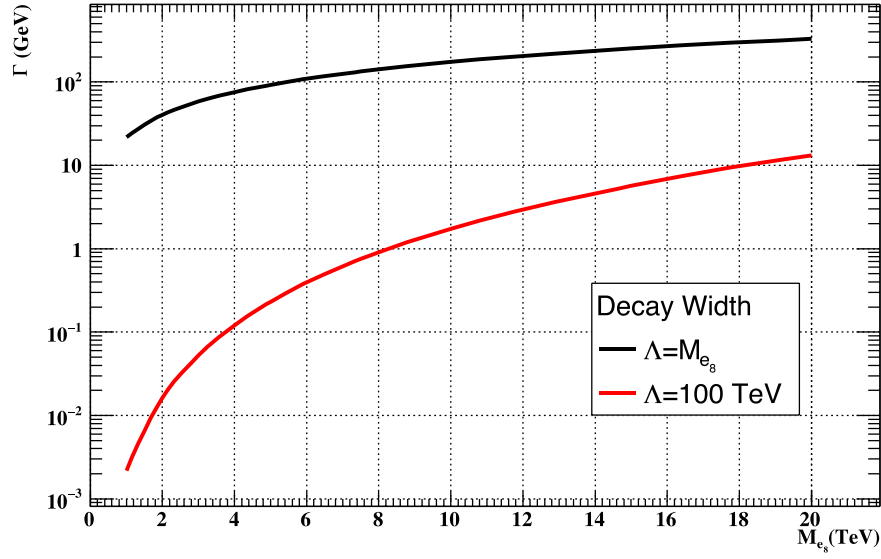
Basitlik açısından elektro-zayıf bağlaşım terimlerini ihmal edersek, etkileşim lagranjiyeni (\mathcal{L}_{int}) tüm yüksek boyutlu operatörleri içerir. Bu tezde yalnızca SM elektronu ile renk sekizlisi elektron arasındaki etkileşimi içeren boyut 5 terimi dikkate alındı. Buna göre etkileşim lagranjiyeni;

$$\mathcal{L}_{int} = \frac{g_s}{2\Lambda} G_{\mu\nu}^a [\bar{e}_8^a \sigma^{\mu\nu} (\eta_L e_L + \eta_R e_R)] + h.c.$$

şeklinde olur. Burada, Λ kompozitlik ölçeği (efektif teorinin geçerli olduğu ölçek), e_L ve e_R elektronların sol ve sağ spinör bileşenleri, $G_{\mu\nu}^a$ gluon alan güç tensörü, $\sigma^{\mu\nu}$ antisimetrik tensor ve g_s güçlü etkileşim sabitidir. Burada η_L ve η_R kiralite faktörleridir. Elektron kiralite korunumu $\eta_L \eta_R = 0$ anlamına geldiğinden dolayı bu tezde $\eta_L = 1$ ve $\eta_R = 0$ olacak şekilde ayarladık. Etkileşim lagranjiyeninden görüleceği üzere renk sekizlisi elektron bir gluon ve bir elektrona bozunur. $\eta_L = 1$ ve $\eta_R = 0$ kabulü ile birlikte e_8 'in bozunum genişliği;

$$\Gamma_{e_8} = \frac{\alpha_s(M_{e_8}) M_{e_8}^3}{4\Lambda^2}$$

şeklinde ifade edilebilir. İfadeden anlaşılacağı üzere bozunum genişliği e_8 'in kütlesinin küpü ile doğru orantılı olurken kompozitlik ölçeğinin karesi ile ters orantılı oluyor. Şekil 4.1'de e_8 'in kütlesinin bozunum genişliğine karşı grafiği gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Farklı kompozitlik ölçeğinde e_8 'in kütlesine karşı bozunum genişliği grafiği

Burada ifade etmek gerekir ki, kompozitlik ölçeğinin renk sekizlisi elektronun kütlesinin çok çok üzerine çıktığı durumda bozunum genişliği yaklaşık olarak 10000 kat düşmektedir. Bu değer 20 TeV e_8 kütlesinde yaklaşık 10 kat olmaktadır.

PDG'de (Tanabashi vd. 2018) gösterilen e_8 üzerindeki deneysel limit CDF'ten alınan (Abe vd. 1989) 86 GeV'lik limittir. e_8 'in farklı çarpıştırıcılarda aranması üzerine sonrasında yapılan birçok çalışma mevcuttur. Örneğin LHC'de CMS leptokuark analiz sonuçları kullanılarak e_8 'in kütlesi üzerinde bir dışarlama çalışması yapılmıştır (Gonçalvez-Netto vd. 2013). Burada renk sekizlisi elektron yaklaşık olarak 1.2-1.3 TeV'e kadar dışarlanmıştır. Aynı zamanda yapılan diğer bir çalışmada ise yine LHC'de çift üretim ve tek üretim sonuçları birleştirilerek LHC'nin 100 fb^{-1} ışınlık değeri ile e_8 'i yaklaşık olarak 3.4 TeV'e kadar dışarlanabileceği gösterilmiştir (Mandal ve Mitra 2013).

Bir diğer çalışma da ise elektron-proton çarpıştırıcısında e_8 'in rezonans üretimi incelenmiştir. Çalışmada çarpıştırıcı olarak gelecekte kurulması planlanan LHeC'in (Büyük Hadron Elektron Çarpıştırıcısı) demet enerji seçenekleri ele alınmıştır. Proton demeti enerjisi 7 TeV olarak alınıp, QCDE-1(Kuantum Renk Dinamiği Kaşifi-1), burada elektron demet enerjisi 70 GeV olarak belirlenmiştir. Bu tip bir elektron-proton

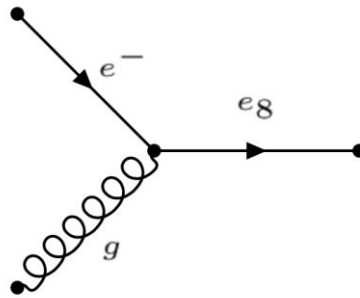
çarpıştırıcısında e_8 'in 1200 GeV kütle değerine kadar incelenebileceği gösterilmiştir. Elektron demet enerjisinin 140 GeV olduğu durumda ise e_8 'in kütlesi 1700 GeV değerine kadar taranabildiği belirtilmiştir. Fakat daha önce söz edildiği gibi bu değer LHC (Büyük Hadron Çarpıştırıcısı)'nin yüksek ışınlık değeri durumunda dışarlanabilir olarak görülmektedir.

Elektron-proton çarpıştırıcısında ise dolaylı üretime bakılan bir diğer çalışma ILC'nin (Uluslararası Doğrusal Çarpıştırıcı, elektron demet enerjisi 500 GeV), e_8 'in kütlesini 1750 GeV değerine kadar inceleyebilirken elektron demet enerjisinin 1500 GeV olduğu CLIC'te (Kompakt Doğrusal Çarpıştırıcı) e_8 'in kütlesi 7 TeV değerine kadar taranabiliyor.

Bu kısımda renk sekizlisi elektronun çeşitli çarpıştırıcılarda ve çeşitli üretim süreçlerinde karşılaştırılmalı olarak bir incelemesi yapılacaktır.

4.1 Rezonans Üretim

Bu bölüm renk sekizlisi elektronun farklı çarpıştırıcılarda incelenmesi açısından tezin ana kısmını oluşturmaktadır ve farklı kütle merkezi enerjilerindeki elektron-proton çarpıştırıcılarında renk sekizlisi elektronun rezonans üretimini içermektedir. Bu üretime ait Feynmann diagramı Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Rezonans üretime ait Feynman diyagramı

Şimdi farklı çarpıştırıcı seçeneklerinin renk sekizlisi elektronun rezonans üretimindeki araştırma potansiyellerini inceleyelim.

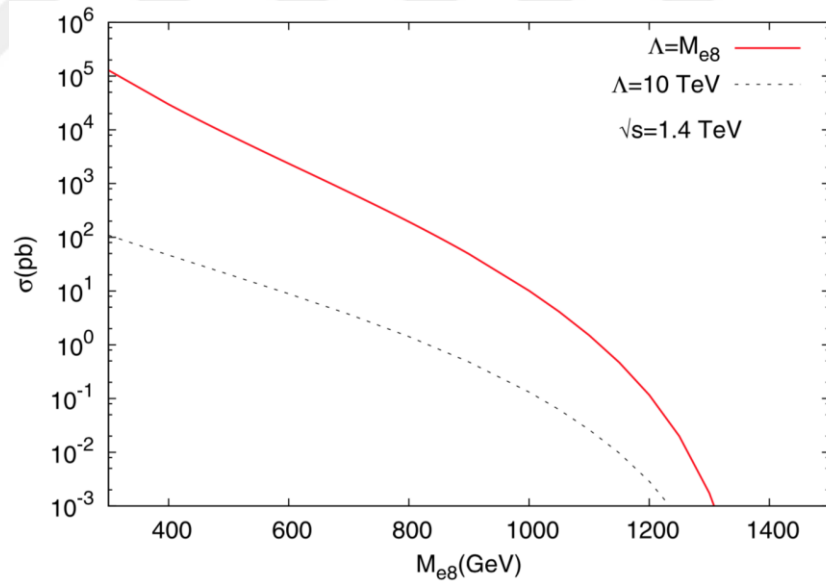
4.1.1 LHeC

Bu çarpıştırıcı seçeneğinde elektron demet enerjisi 70 GeV ve 140 GeV dir. Çizelge 4.1’de LHeC elektron-proton çarpıştırıcı seçeneği için kütle merkezi enerjisi ve ışınlık değerleri verilmiştir (Abelleira Fernandez vd 2012). Bu bölümdeki sonuçlar Sahin, Sultansoy ve Turkoz makalesinden alınmıştır (Sahin, Sultansoy ve Turkoz 2010).

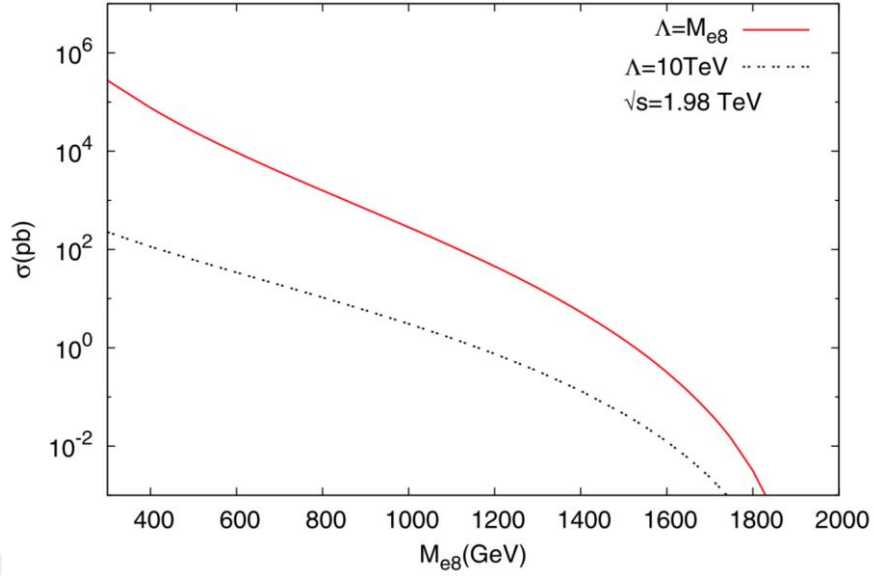
Çizelge 4.1 LHeC’in ana parametreleri

E_e , GeV	\sqrt{s} , TeV	L , $10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
70	1.4	1-10
140	1.98	1-10

Çizelge 4.1’deki kütle merkezi enerjilerinde renk sekizlisi elektronun rezonans üretim tesir kesiti Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 LHeC’in 1.4 TeV kütle merkezi enerjisinde e_8 rezonans üretim tesir kesiti



Şekil 4.4 LHeC'in 1.98 TeV kütle merkezi enerjisinde e_8 rezonans üretim tesir kesiti

4.1.1.1 LHeC'te Sinyal-Ardalan Analizi

Yapılan tüm hesaplamalar parton seviyesinde CalcHEP 3.4.3 (Pukhov 2004) benzetim program ve CTEQ6L1 (Stump vd. 2003) parton dağılım fonksiyonu kullanılarak yapılmıştır. Kinematik tırpanları belirlemek için sinyal ve ardalandaki son durum parçacıkların enine momentum ve pseudo-rapidty dağılımları ele alınmıştır. Burada jet, sinyal için gluonu ve ardalan için kuarkları ($u, \bar{u}, d, \bar{d}, c, \bar{c}, s, \bar{s}, b, \bar{b}$) temsil etmektedir. Parton seviyesinde sinyal süreci $e^- g \rightarrow e_8 \rightarrow e^- g$, ana ardalan süreci foton ve Z bozonu değiş tokuşu ile gerçekleşen $e^- q \rightarrow e^- q$ sürecidir. Diğer ardalan süreçleri,

$$e^- q \rightarrow e^- W^- q$$

$$e^- q \rightarrow e^- q g, e^- q \rightarrow e^- q \bar{q}$$

$$e^- q \rightarrow e^- Z q$$

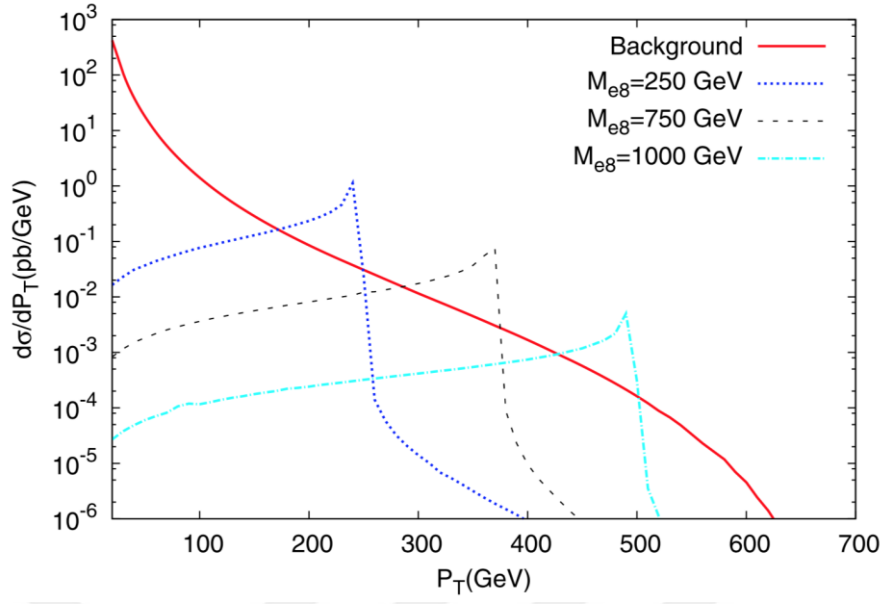
şeklinde olur. Buradaki diğer ardalan süreçlerinde son durumdaki elektron, demet borusu doğrultusunda hareket eder. Dolayısıyla ilk ardalan sürecinde W^- bozonu leptonik olarak bozunur. Burada kayıp enine enerji yeterince küçük ise süreç sinyale benzer. İkinci süreçte son durumdaki jet sahte elektron gibi davranırsa bu durumda süreç sinyale benzer. Üçüncü süreçte ise Z bozonu leptonik olarak bozunur ve burdaki

bir lepton algılanmaz ise süreç yine sinyale benzer. Bahsi geçen bu üç ardalan süreci ana ardalan ile kıyaslandığında çok düşük tesir kesitlerine sahip olduğu Çizelge 4.2'den görülebilir.

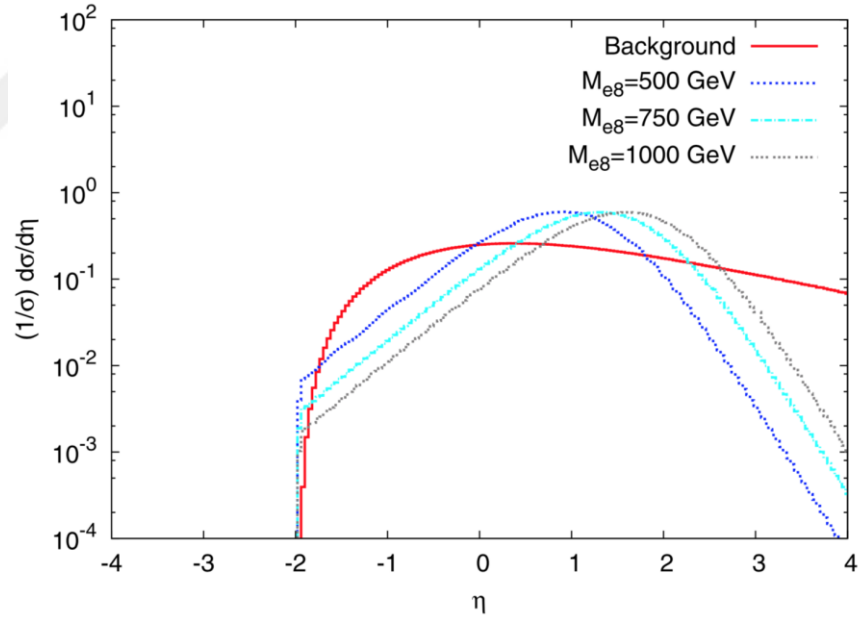
Çizelge 4.2 Sinyal, ana ardalan ve diğer ardalan tesir kesitleri (pb olarak)

Alt Süreç	$\Lambda = M_{e_8} (\Lambda = 10 \text{ TeV})$	
	$P_T^j > 150 \text{ GeV}$	$P_T^{j,e} > 150 \text{ GeV}$ $M_{inv} = 1000 \pm 60 (20) \text{ GeV}$
$e^- g \rightarrow e_8 \rightarrow e^- g$	27.4 (0.254)	21.7 (0.252)
$e^- q \rightarrow e^- q$	7.88	0.165 (0.0534)
$e^- q \rightarrow e^- W^- q \rightarrow e^- e^- \bar{\nu}_e q$	2.3×10^{-3}	$4.5 \times 10^{-6} (9.0 \times 10^{-7})$
$e^- q \rightarrow e^- q \bar{q}$	4.9×10^{-4}	$1.84 \times 10^{-8} (4.8 \times 10^{-9})$
$e^- q \rightarrow e^- q g$	0.118	$2.46 \times 10^{-7} (7.3 \times 10^{-8})$
$e^- q \rightarrow e^- Z q \rightarrow e^- e^- e^+ q$	2.97×10^{-4}	$2.96 \times 10^{-7} (8.89 \times 10^{-8})$

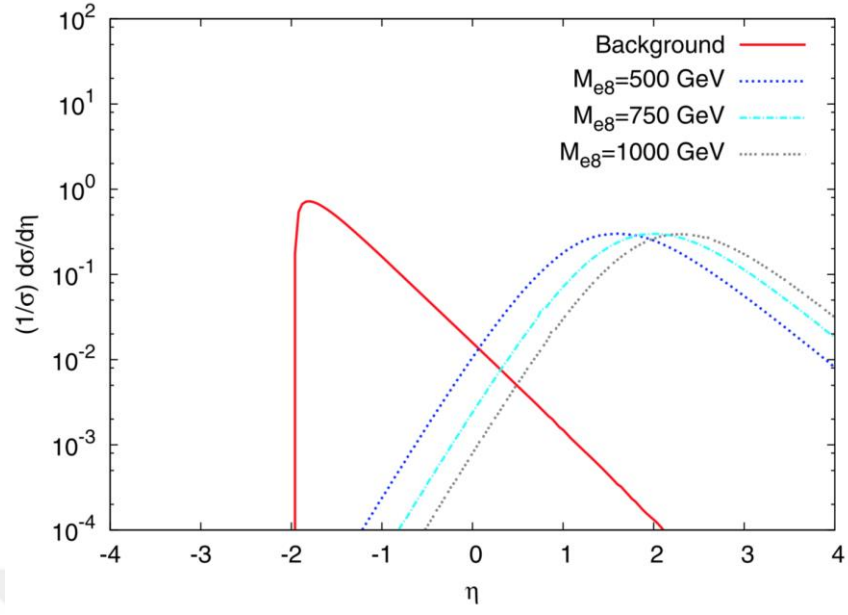
Son durum jetlerin enine momentum dağılımları sinyalde $\Lambda = 10 \text{ TeV}$ olduğu durum ve ardalan için Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Görüldüğü üzere $p_T > 150 \text{ GeV}$ tırpanı ardalanı önemli ölçüde azaltırken sinyali neredeyse etkilememektedir. Şekil 4.6 ve 4.7 sırasıyla son durum jetlerin ve elektronların pseudo-rapidity dağılımlarını göstermektedir. Şekil 4.6'dan görüleceği üzere elektronlar için pseudo-rapidity dağılımları çok farklı değildir. Son durum jetleri için pseudo-rapidity dağılımları dikkate alındığında, sinyal olaylarının çoğu $\eta = 0$ üzerinde ve ardalanın %99'luk kısmı $-2 < \eta < 0$ bölgesinde dağıldığı görülmektedir. Bu sebepten $p_T > 150 \text{ GeV}$, $|\eta_e| < 4$ ve $0 < \eta_j < 4$ tırpanları uygulanmıştır. Bu tırpanlarla birlikte Şekil 4.8'de sinyal ve ardalan için değişmez kütle dağılımları gösterilmiştir.



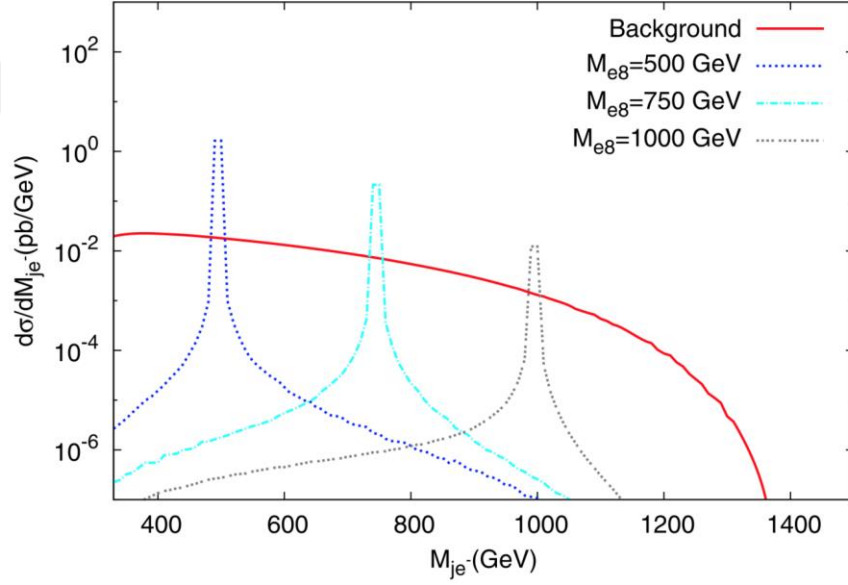
Şekil 4.5 $\sqrt{s} = 1.4$ TeV ve $\Lambda = 10$ TeV olduğu durumda sinyal ve ardalın için son durum jetlerin enine momentum dağılımları



Şekil 4.6 $\sqrt{s} = 1.4$ TeV ve $\Lambda = 10$ TeV olduğu durumda sinyal ve ardalın için son durum elektronların pseudo-rapidity dağılımları



Şekil 4.7 $\sqrt{s} = 1.4$ TeV ve $\Lambda = 10$ TeV olduğu durumda sinyal ve aralan için son durum jetlerin pseudo-rapidity dağılımları



Şekil 4.8 $\sqrt{s} = 1.4$ TeV ve $\Lambda = 10$ TeV olduğu durumda sinyal ve aralan için değişmez kütle dağılımları

İstatistiki anlamlılık için aşağıdaki denklem kullanılmıştır;

$$SS = \frac{S}{\sqrt{S + B}}$$

burada S ve B sırasıyla sinyal ve ardaan olay sayılarını ifade etmektedir.

Toplam ışınlğın 1 fb^{-1} olduğu durumda renk sekizlisi elektronun farklı kütle değerleri için sinyal ve ardaan olay sayıları Çizelge 4.3'te gösterilmektedir. Bu değerlerin hesaplanması sırasında yukarıda bahsedilen tırpanlara ek olarak $\Gamma_{e_8} > 10 \text{ GeV}$ durumu için $M_{e_8} - 2\Gamma_{e_8} < M_{e_j} < M_{e_8} + 2\Gamma_{e_8}$ ve $\Gamma_{e_8} < 10 \text{ GeV}$ durumu için $M_{e_8} - 20 \text{ GeV} < M_{e_j} < M_{e_8} + 20 \text{ GeV}$ kütle penceresi uygulanmıştır.

Çizelge 4.3 $\sqrt{s} = 1.4 \text{ TeV}$ ve $L_{int} = 1 \text{ fb}^{-1}$ de sinyal ve ardaan olay sayıları

$M_{e_8}, \text{ GeV}$	$\Lambda = M_{e_8}$		$\Lambda = 10 \text{ TeV}$	
	S	B	S	B
500	1.1×10^7	1.1×10^3	3.3×10^4	700
750	6.4×10^5	630	4.2×10^3	280
1000	2.2×10^4	165	250	53
1250	81	6	1	1

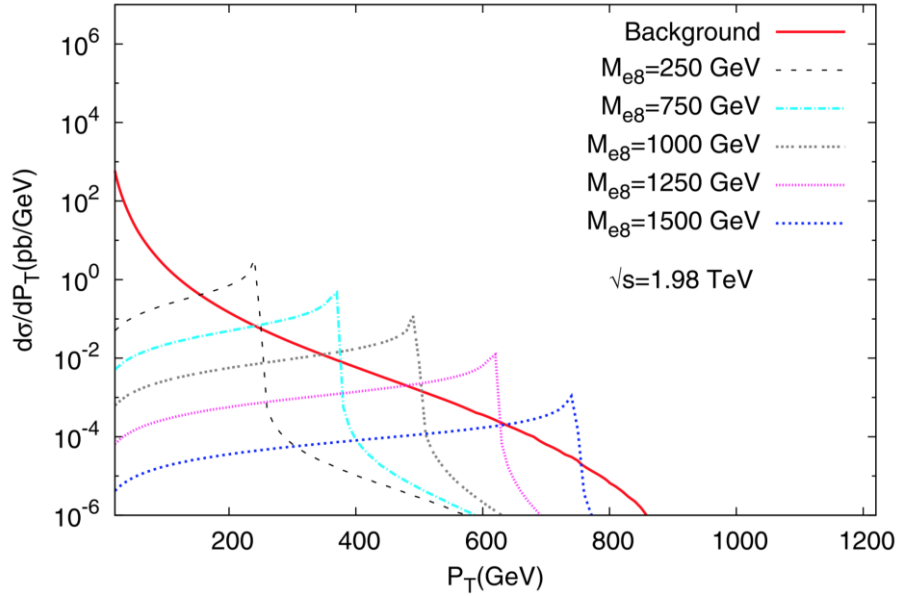
Görüldüğü üzere renk sekizlisi elektronun rezonans üretimi $M_{e_8} \cong 1 \text{ TeV}$ 'e kadar oldukça temiz bir iz sağlayacaktır. Çizelge 4.2'de sinyal, ana ve diğer ardaan süreçlerine ait tesir kesitleri verilmişti. Buna ek olarak bu süreçlerin son durumunda ortaya çıkan birincil elektronların demet borusu yönünde olması ($|\eta_e| > 4$) gerekliliği bu ardaanların tesir kesitlerinin yaklaşık üç mertebe azalmasına yol açmaktadır. Ayrıca $e^-q \rightarrow e^-W^-q \rightarrow e^-e^-\bar{\nu}_eq$ süreci, p_T^{miss} tırpanı kullanılarak ($p_T^{miss} < 20 \text{ GeV}$ için ~ 0.3 ve $p_T^{miss} < 10 \text{ GeV}$ için ~ 0.1) bastırılabilir. $e^-q \rightarrow e^-Zq \rightarrow e^-e^-e^+q$ sürecinde pozitronun eksikliği bu ardaanı ek olarak yaklaşık 3 mertebe daha azaltır.

Rezonans üretimin avantajı kompozitlik ölçeğini çarpıştırıcının kütle merkezi enerjisinden çok daha ötede araştırabilecek olmasıdır. $L_{int} = 1 \text{ fb}^{-1}$ ve $L_{int} = 10 \text{ fb}^{-1}$ için ulaşılabilir kompozitlik ölçekleri Çizelge 4.4'te verilmektedir. Görüldüğü üzere kompozitlik ölçeğinde yüzlerce TeV değerlerine ulaşılabilir. Özellikle toplam ışınlğın bir mertebe arttığı durumda ulaşılabilir kompozitlik ölçeklerinde 2 kat daha yüksek değerlere kadar araştırma yapılabilir.

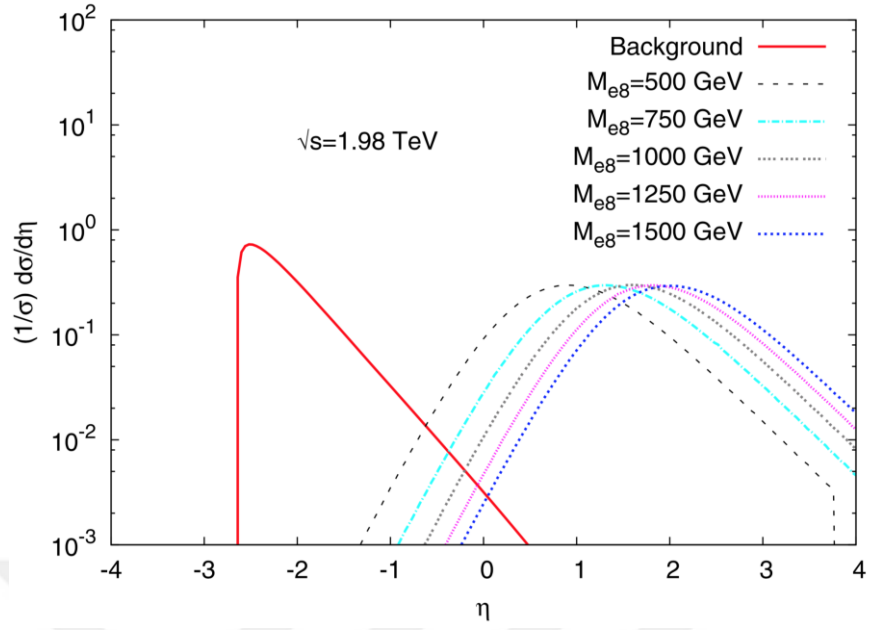
Çizelge 4.4 $\sqrt{s} = 1.4$ TeV’de 5σ (3σ) istatistiki anlamlılık için ulaşılabilir TeV biriminde kompozitlik ölçekleri

M_{e_8} , GeV	$L_{int} = 1 \text{ fb}^{-1}$	$L_{int} = 10 \text{ fb}^{-1}$
500	150 (200)	275 (350)
750	65 (90)	125 (160)
1000	22 (30)	45 (58)

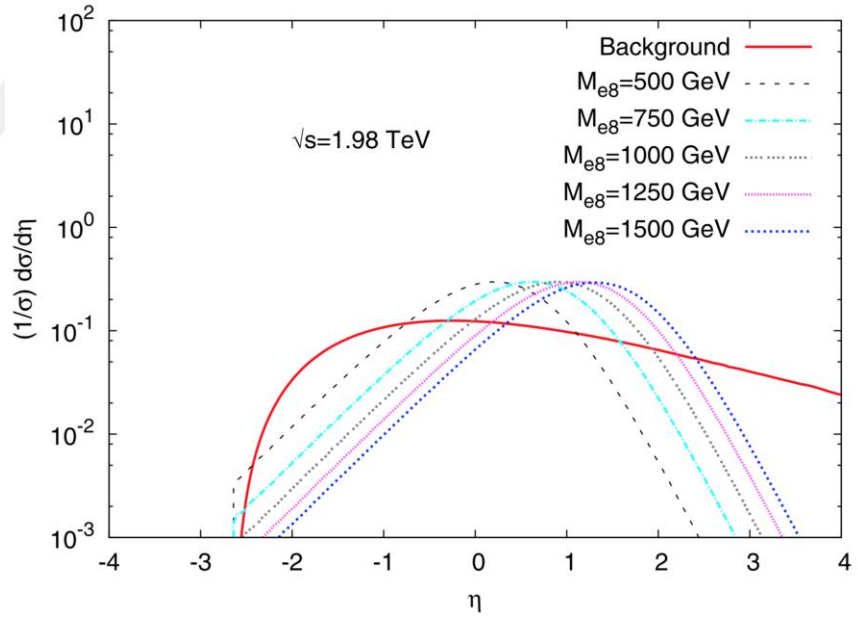
LHeC’in 1.98 TeV’lik kütle merkezi enerjisine sahip çarpıştırıcı seçeneğinde renk sekizlisi elektronun gözlenmesi veya keşfi için gereken tırpanları belirlemek için Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de sırasıyla gösterilen p_T , η_j ve η_e dağılımları incelendi. Şekillerden farkedileceği üzere bu dağılımlarda önemli değişikliğin yalnızca η_j ’de olduğu açıktır. Dağılımlardan $p_T > 150$ GeV, $|\eta_e| < 4$ ve $0.5 < \eta_j < 4$ keşif tırpanları belirlenmiştir. Bu tırpanlar uygulandıktan sonra Şekil 4.12’de değişmez kütle dağılımı gösterilmektedir.



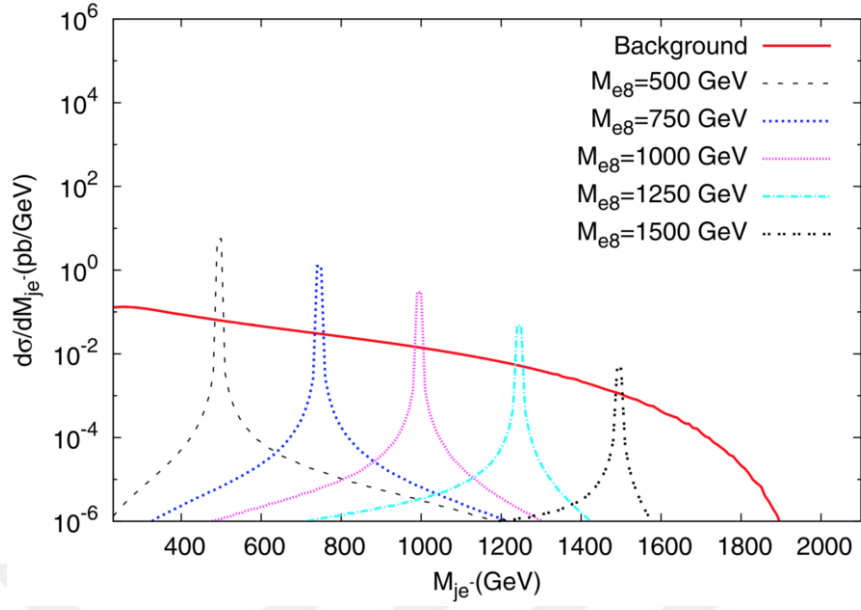
Şekil 4.9 $\sqrt{s} = 1.98$ TeV ve $\Lambda = 10$ TeV olduğu durumda sinyal ve ardaan için son durum jetlerin enine momentum dağılımları



Şekil 4.10 $\sqrt{s} = 1.98$ TeV ve $\Lambda = 10$ TeV olduğu durumda sinyal ve ardaan için son durum jetlerin pseudo-rapidity dağılımları



Şekil 4.11 $\sqrt{s} = 1.98$ TeV ve $\Lambda = 10$ TeV olduğu durumda sinyal ve ardaan için son durum elektronların pseudo-rapidity dağılımları



Şekil 4.12 $\sqrt{s} = 1.98$ TeV ve $\Lambda = 10$ TeV olduğu durumda sinyal ve ardaian için değişmez kütle dağılımları

Sinyal ve ardaian olay sayıları renk sekizlisi elektronun 6 farklı kütle değeri için Çizelge 4.5'te gösterilmektedir. Burada da bir önceki kütle merkezi enerjisi durumunda uygulanan kütle penceresi uygulanmıştır. Çizelgeden görüleceği üzere renk sekizlisi elektronun 1500 GeV kütle değerine kadar çok temiz bir iz elde edilebilir.

Çizelge 4.5 $\sqrt{s} = 1.98$ TeV ve $L_{int} = 1 \text{ fb}^{-1}$ de sinyal ve ardaian olay sayıları

$M_{e_8}, \text{ GeV}$	$\Lambda = M_{e_8}$		$\Lambda = 10 \text{ TeV}$	
	S	B	S	B
500	3.3×10^7	1.4×10^3	9.8×10^4	940
750	3.9×10^6	1000	2.6×10^4	445
1000	5.0×10^5	630	5.8×10^3	210
1250	5.3×10^4	270	980	76
1500	3.5×10^3	77	89	16
1750	55	6	2	1

Ulaşılabilir kompozitlik ölçeği değerleri renk sekizlisi elektronun 5 farklı kütle değeri için Çizelge 4.6'da gösterilmektedir. Çizelge 4.4 ile karşılaştırıldığında elektron demeti enerjisindeki 2 katlık bir artışın, $M_{e_8} = 500$ GeV de ulaşılabilir kompozitlik ölçeğinde 1.5 katlık bir artışa, $M_{e_8} = 750$ GeV de 2 katlık bir artışa, $M_{e_8} = 1000$ GeV de 4 katlık bir artışa sebep olduğu görülebilir. Dahası bir önceki çarpıştırıcı seçeneğinde mümkün olmayan kompozitlik ölçeği değerlerine bu çarpıştırıcı seçeneğinde, $M_{e_8} = 1250$ GeV ve $M_{e_8} = 1500$ GeV olduğu durumda ulaşılabilir.

Çizelge 4.6 $\sqrt{s} = 1.98$ TeV'de 5σ (3σ) istatistiki anlamlılık için ulaşılabilir TeV biriminde kompozitlik ölçekleri

M_{e_8} , GeV	$L_{int} = 1 \text{ fb}^{-1}$	$L_{int} = 10 \text{ fb}^{-1}$
500	245(320)	440 (570)
750	150 (195)	275 (355)
1000	82 (110)	155 (205)
1250	41 (56)	81 (107)
1500	16 (23)	34 (46)

Sonuç olarak LHeC'in 70 ve 140 GeV lik elektron demeti enerjisine sahip olması düşünülen çarpıştırıcılarında renk sekizlisi elektron sırasıyla 1200 GeV ve 1700 GeV'lik kütle değerine kadar araştırılabilir. Bu çarpıştırıcıdaki kompozitlik ölçeği ise örneğin renk sekizlisi elektronun kütesinin 500 GeV olması durumunda (bu değer LHC tarafından şu anda dolaylı olarak dışarılanmış durumdadır.) 570 TeV'e kadar araştırılabilir.

4.1.2 FCC-ep

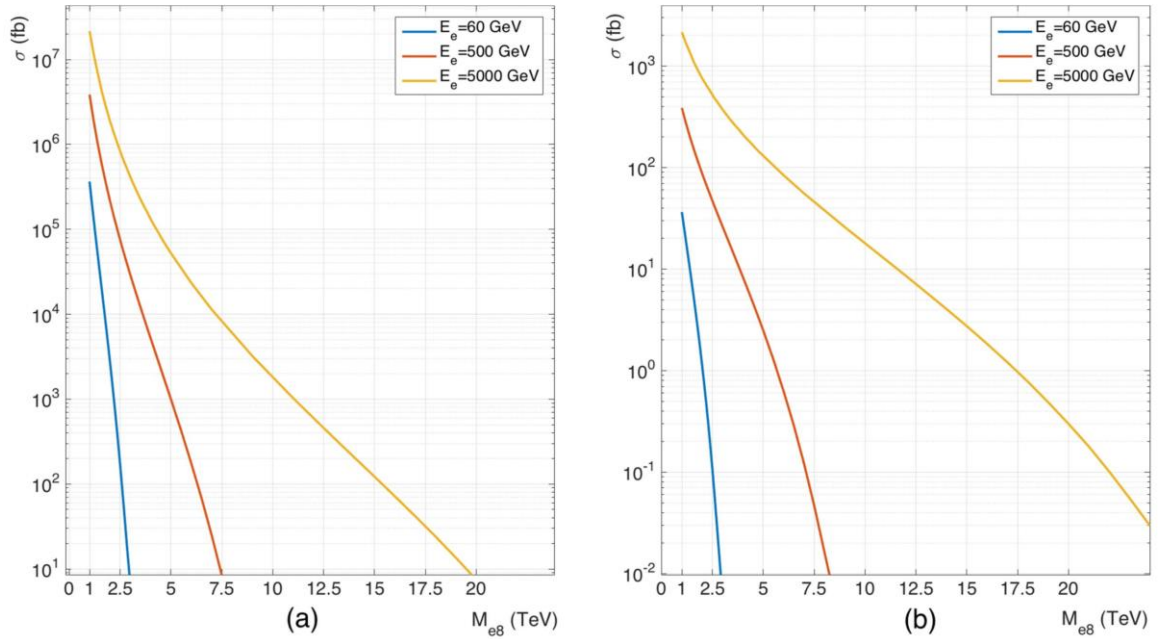
Bu çarpıştırıcı seçeneklerinde elektron demet enerjisi 60 GeV'den başlayıp sırasıyla, 500 GeV ve 5000 GeV olarak ele alınmıştır. Bu elektron demet enerjileri ERL, ILC ve PWFA-LC demet enerjilerine karşılık gelmektedir. Proton demet enerjisi ise FCC proton çarpıştırıcısının demet enerjisi olan 50 TeV alınmıştır. Bu elektron-proton çarpıştırıcı seçeneklerine ait kütle merkezi enerjisi ve toplanacak ışınlık değerleri

Çizelge 4.7’de gösterilmiştir (Acar vd. 2017).

Çizelge 4.7 FCC temelli e-p çarpıştırıcılarının ana parametreleri

Çarpıştırıcı Seçeneği	E_e , TeV	Kütle Merkezi Enerjisi, TeV	Yıllık L_{int} , fb^{-1}
ERL60⊗FCC	0.06	3.46	100
ILC⊗FCC	0.5	10	10-100
PWFA-LC⊗FCC	5	31.6	1-10

Şekil 4.13’te bu çarpıştırıcı seçeneklerinde e_8 ’in üretim tesir kesiti değerleri kompozitlik ölçeğinin e_8 ’in kütlesine eşit olduğu (a) ve 100 TeV olduğu (b) durumlar için ele alınmıştır.



Şekil 4.13 Kompozitlik ölçeğinin e_8 ’in kütlesine eşit olduğu durumda (a) ve 100 TeV’ye eşit olduğu durumda (b) e_8 rezonans üretim tesir kesiti

4.1.2.1 FCC temelli e-p Çarpıştırıcılarında Sinyal-Ardalan Analizi

Bu kısımda nümerik hesaplar kompozitlik ölçeğinin renk sekizlisi elektronun kütlesine eşit olduğu durumda yani $\Lambda = M_{e_8}$ için yapılacaktır. Analiz sırasında uygulanacak tırpanları belirlemek amacıyla sinyal ve ardaalan süreçlerindeki son durum

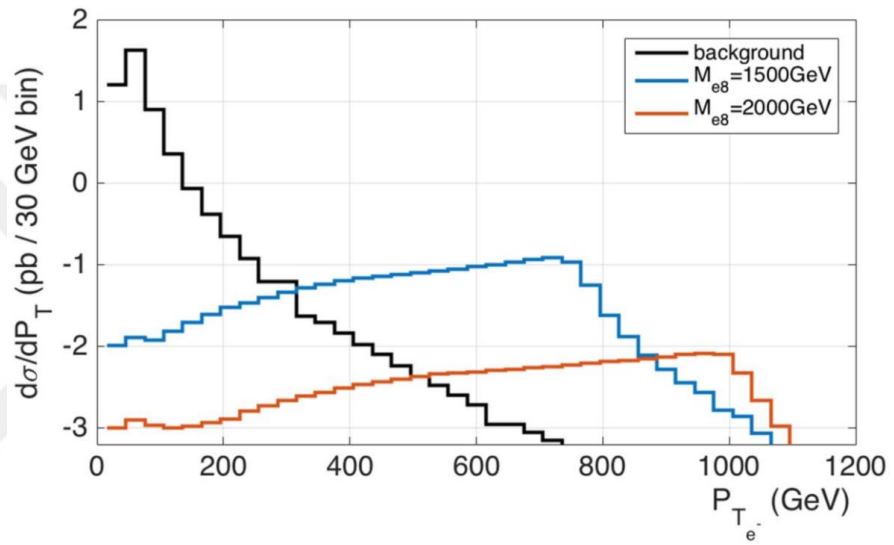
parçacıklarının P_T ve η dağılımlarını inceledik. Bu aşamada elektronların dik momentumuna 20 GeV, jet'lerinkine ise 30 GeV tırpan uygulandı. Sinyal için jet gluona karşılık gelirken ($e g \rightarrow e g \rightarrow e g$) ardalın için jet kuarklara ($e q \rightarrow e q$) karşılık gelir. Ardalan da süreç foton ve Z bozonu değiş tokuşu ile olur. Ardalan olay üretimi için MadGraph5 (Alwall vd. 2007), COMPHEP 4.5.2 (Boos vd 2004) olay üretim programları, Pythia6 hadronizasyon ve duşlama programı (Sjöstrand vd 2006), CTEQ6L1 (Pumplin vd 2002) parton dağılım fonksiyonu ve analiz için ROOT5 (Anonymous 2019f) veri analizi yapısı kullanıldı. Ardından farklı elektron demet enerjilerine sahip çarpıştırıcı seçeneklerinde P_T ve η keşif tırpanları belirlendi ve değişmez kütle dağılımları bu tırpanlardan sonra gösterildi. Son olarak renk sekizlisi elektron üzerindeki keşif limitleri hesaplandı.

İlk olarak ERL60 \otimes FCC ile başlayalım. Son durum elektronlarının enine momentum dağılımları (jet'ler için de aynısı olacak) Şekil 4.14'te gösterilmektedir. CMS sonuçlarının yeniden yorumlanmasıyla renk sekizlisi elektron için $M_{e_8} < 1.3$ TeV dışarlanması (Mandal ve Mitra 2013) ele alındığında, $P_T > 500$ GeV keşif tırpanının yeterli olacağı görülmektedir. Son durum elektronları ve jetleri için pseudo-rapidity dağılımları Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da gösterilmektedir. Şekil 4.15'ten görüleceği üzere $\eta_e > 0.5$ keşif tırpanı sinyal olaylarını neredeyse etkilemez iken ardalan olaylarının önemli ölçüde bastırmaktadır. Aynı amaçla son durum jetleri için $\eta_j > 2.1$ keşif tırpanı seçildi. Hem η_e hem de η_j için üst limit 4.74 olarak belirlendi ve bu değer proton yönünde 1° 'ye karşılık gelir. Bu açıda gelecek bir parçacık LHeC'de olduğu gibi (Abelleira Fernandez vd 2012) ileri bir algıç sayesinde yakalanabilir. Olay üretimi sırasında uygulanan tırpanlar ve keşif tırpanları sonucu elde edilen değişmez kütle dağılımları Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de sırasıyla gösterilmiştir. Şekil 4.18'den keşif tırpanlarından sonra ardalanın önemli ölçüde sinyalin altına düştüğü görülmektedir.

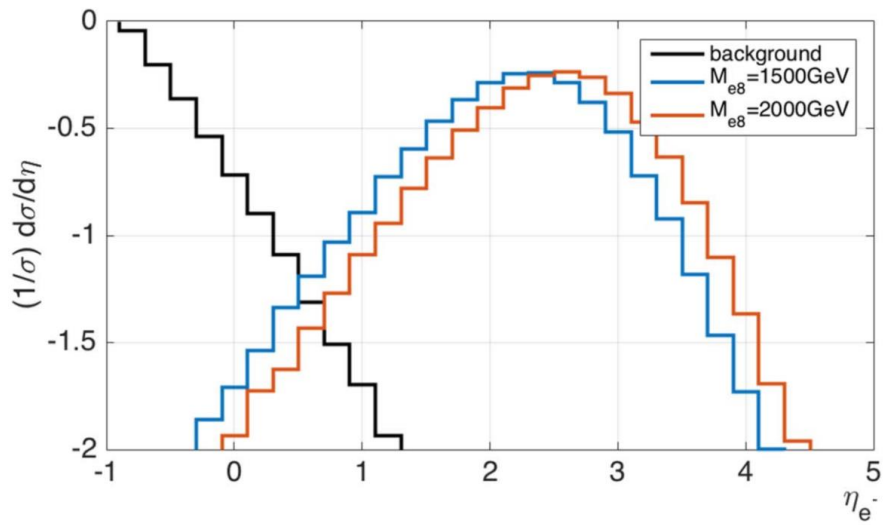
Renk sekizlisi elektronun keşif ve gözlem limitlerini belirlemede, istatistiki anlamlılık için aşağıdaki formül kullanıldı.

$$SS = \sqrt{2 \left[(S + B) \ln \left(1 + \left(\frac{S}{B} \right) \right) - S \right]}$$

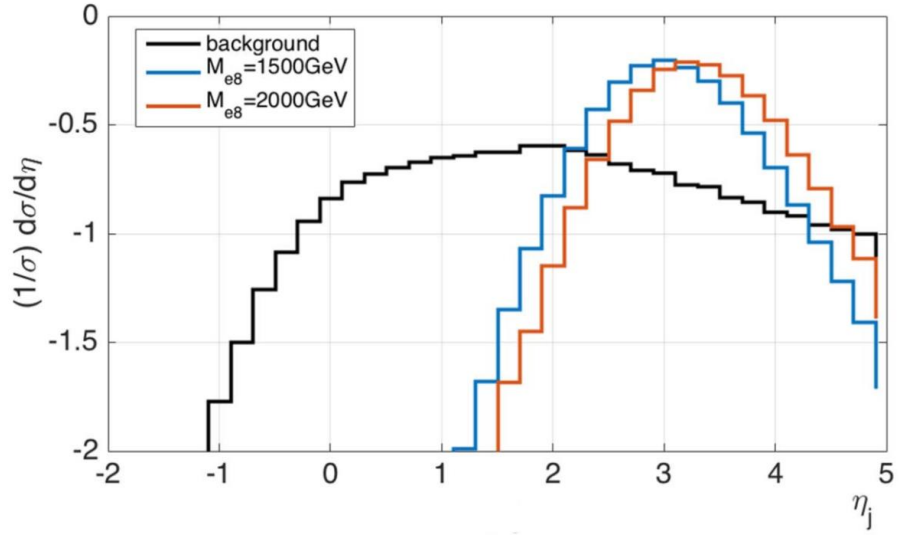
Burada S ve B sırasıyla sinyal ve ardaan için olay sayılarını ifade etmektedir. Keşif tırpanlarına ek olarak S ve B yi belirmeden önce $M_{e_8} - 2\Gamma_{e_8} < M_{e_j} < M_{e_8} + 2\Gamma_{e_8}$ kütle penceresi uygulandı. 100 fb^{-1} toplam ışnılık için, keşif (5σ) ve gözlem (3σ) limitleri sırasıyla 2900 GeV ve 3100 GeV olarak belirlendi.



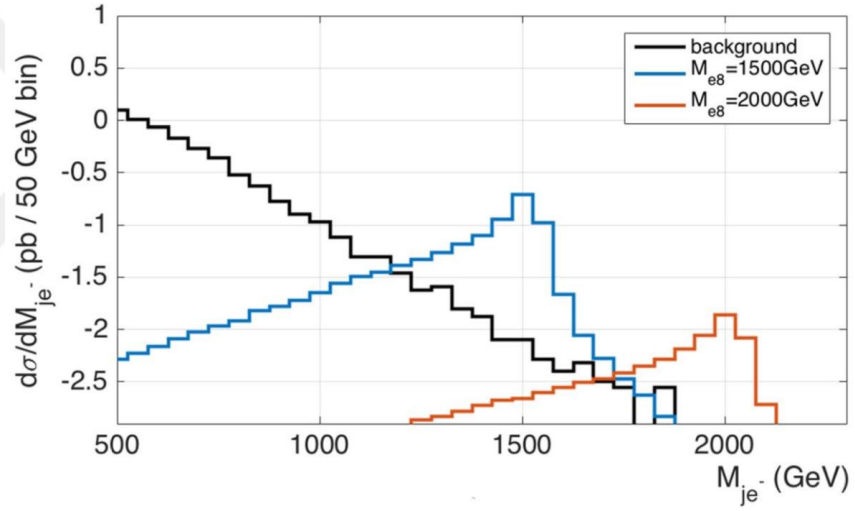
Şekil 4.14 Son durum elektronlarının (jetlerin) enine momentum dağılımları



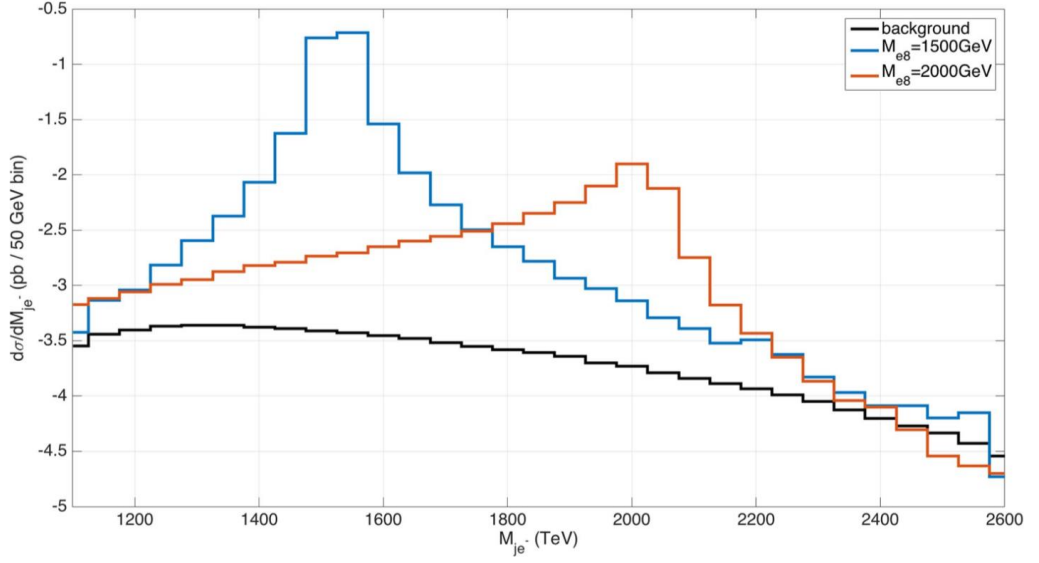
Şekil 4.15 Son durum elektronlarının pseudo-rapidity dağılımları



Şekil 4.16 Son durum jetlerin pseudo-rapidity dağılımları



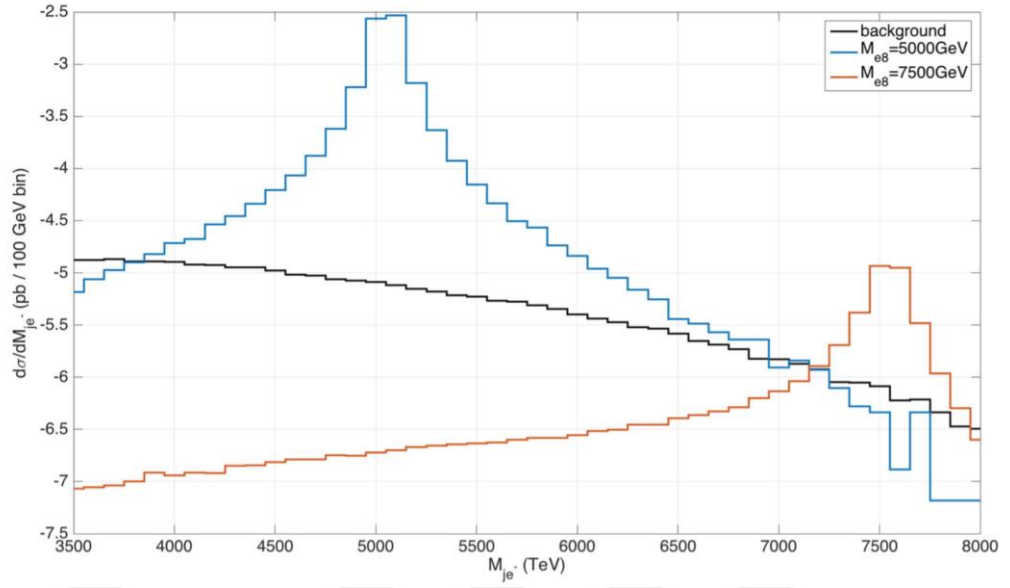
Şekil 4.17 Olay üretim esnasında uygulanan tırpanlardan sonra ERL60⊗FCC de sinyal ve ardaan değişmez kütle dağılımları



Şekil 4.18 Keşif tırpanlarından sonra ERL60 \otimes FCC’de sinyal ve ardanan değışmez kütle dağılımları

Renk sekizlisi elektronun ERL60 \otimes FCC’de gözlemlenemediği durumda ($M_{e_8} > 3.1$ TeV), benzer yöntemler ILC \otimes FCC için tekrarlandı ve $P_T > 1500$ GeV, $-1.5 < \eta_e < 4.74$ ve $0.5 < \eta_j < 4.74$ keşif tırpanları uygulandı. Bu tırpanlardan sonra değışmez kütle dağılımı Şekil 4.19’da gösterilmektedir. ILC \otimes FCC’nin Çizelge 4.7’de gösterilen 10 fb^{-1} ve 100 fb^{-1} toplam ışınıkları, yukarıda verilen istatistiki anlamlılık denklemi ve $M_{e_8} - 2\Gamma_{e_8} < M_{ej} < M_{e_8} + 2\Gamma_{e_8}$ kütle penceresi kullanıldı ve gözlem keşif limitleri Çizelge 4.8’de verilmektedir.

PDF belirsizlikleri ve denklemde verilen istatistiki anlamlılık üzerinde etkisi olan ölçek değışkenliği nedeniyle sistematik belirsizlikler hakkında endişe duyulabilir. Çizelge 4.8’in son iki sütununda, MadGraph5 sistematik modülü kullanılarak hesaplanan sistematik belirsizlikler gösterilmektedir. Bu belirsizliklerin ihmal edilebilir olduğu görülmektedir.



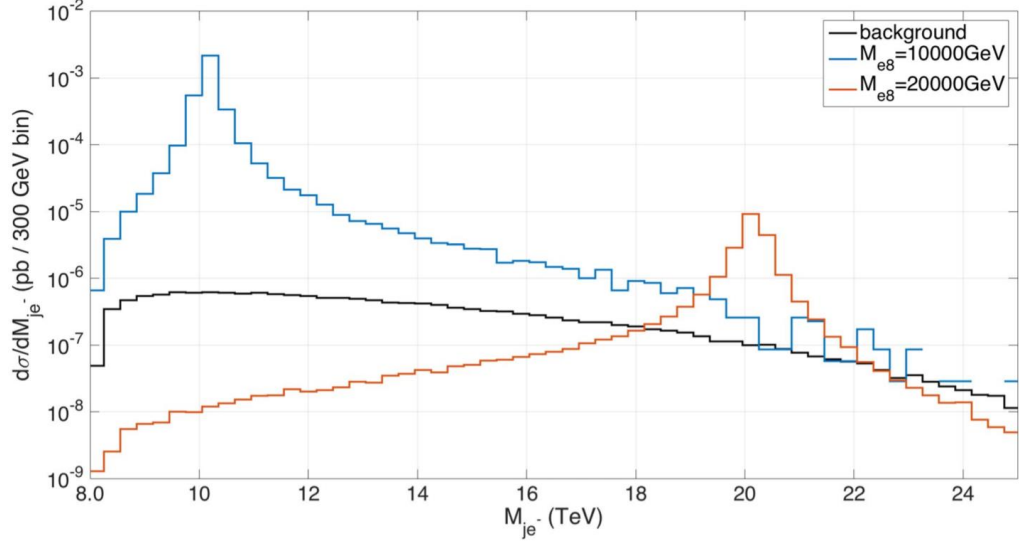
Şekil 4.19 Keşif tırpanlarından sonra ILC ⊗ FCC’de sinyal ve ardaan değişmez kütle dağılımları

Çizelge 4.8 Farklı e-p çarpıştırıcılarında renk sekizlisi elektronun gözlem (3σ) ve keşif (5σ) limitleri

Çarpıştırıcı	Toplam Işınlık, fb ⁻¹	M_{e_8} , TeV $\begin{matrix} +\text{PDF}_{hata} + \text{ölçek}_{hata} \\ -\text{PDF}_{hata} - \text{ölçek}_{hata} \end{matrix}$	
		3σ	5σ
ERL60 ⊗ FCC	100	3.1 $\begin{matrix} +0.48\% +0.67\% \\ -0.61\% -1.04\% \end{matrix}$	2.9 $\begin{matrix} +0.17\% +0.32\% \\ -0.21\% -0.47\% \end{matrix}$
ILC ⊗ FCC	10	8.4 $\begin{matrix} +0.06\% +0.09\% \\ -0.06\% -0.11\% \end{matrix}$	8.1 $\begin{matrix} +0.01\% +0.02\% \\ -0.01\% -0.02\% \end{matrix}$
	100	8.9 $\begin{matrix} +0.79\% +0.99\% \\ -0.90\% -1.35\% \end{matrix}$	8.6 $\begin{matrix} +0.10\% +0.15\% \\ -0.31\% -0.55\% \end{matrix}$
PWFA-LC ⊗ FCC	1	21.6 $\begin{matrix} +0.05\% +0.12\% \\ -0.12\% -0.35\% \end{matrix}$	20.1 $\begin{matrix} +0.10\% +0.25\% \\ -0.50\% -1.55\% \end{matrix}$
	10	24.3 $\begin{matrix} +0.40\% +0.78\% \\ -0.21\% -0.47\% \end{matrix}$	23.1 $\begin{matrix} +0.08\% +0.17\% \\ -0.08\% -0.21\% \end{matrix}$

Benzer yaklaşım PWFA-LC ⊗ FCC için yapıldı. Yine ILC ⊗ FCC’nin renk sekizlisi elektronu gözlemleyemediği durum için ($M_{e_8} > 8.1$ TeV) keşif tırpanları belirlendi. $P_T > 4000$ GeV, $-2.9 < \eta_e < 4.74$ ve $-1.0 < \eta_j < 4.74$ keşif tırpanları uygulandı. Bu tırpanlardan sonraki değişmez kütle dağılımı Şekil 4.20’de gösterilmektedir. Benzer

şekilde uygulanan kütle penceresi ve istatistiki anlamlılık denklemi ile elde edilen PWFA-LC \otimes FCC'nin renk sekizlisi elektron üzerindeki gözlem ve keşif limitleri Çizelge 4.8'in son satırında gösterilmektedir.



Şekil 4.20 Keşif tırpanlarından sonra PWFA-LC \otimes FCC'de sinyal ve ardaan değişmez kütle dağılımları

4.1.2.2 FCC temelli e-p Çarpıştırıcılarının Kompozitlik Ölçeği üzerindeki limitleri

Renk sekizlisi elektronun FCC'nin proton-proton çarpıştırıcısında keşfedildiği durumda yukarıda bahsi geçen elektron-proton çarpıştırıcıları kompozitlik ölçeğini tahmin etmemiz için bize fırsat sunacaktır. Bu sebeple iki olasılık söz konusudur;

- Renk sekizlisi elektron eğer FCC proton-proton çarpıştırıcısında keşfedilir ve FCC temelli elektron-proton çarpıştırıcısında gözlenmez ise bu durumda kompozitlik ölçeğine bir alt limit konabilir.
- Renk sekizlisi elektron eğer FCC proton-proton çarpıştırıcısında keşfedilir ve FCC temelli elektron-proton çarpıştırıcısında gözlenir ise bu durumda kompozitlik ölçeği belirlenebilir.

Bu kısımda bu iki olasılığın dört ayrı kütle değeri $M_{e_8} = 2.5, 5.0, 7.5$ ve 10 TeV için bir analizi sunulacaktır.

4.1.2.2.1 Renk Sekizlisi Elektron FCC-pp'de Keşfedilir ve FCC-ep'de gözlenmez ise

Bu olasılık söz konusu olduğunda hali hazırda renk sekizlisi elektronun kütlesi bilindiğinden uygun tırpan değerleri belirlenebilir. $M_{e_8} = 2.5$ TeV kütle değerini ILC \otimes FCC'de ele alarak başlayalım. $P_T > 500$ GeV, $-1.30 < \eta_e < 4.74$ ve $0.5 < \eta_j < 3.00$ ardaanın önemli derecede azaltırken sinyali neredeyse etkilememektedir. Benzer analiz diğer kütle değerleri için tekrarlandı ve uygun tırpan değerleri Çizelge 4.9'da sunuldu. Ayrıca bu kısımda $0.99M_{e_8} < M_{e_j} < 1.01M_{e_8}$ kütle penceresi kullanıldı.

Çizelge 4.9 Kompozitlik ölçeğinin alt limitini belirlemek için uygun tırpan değerleri

Çarpıştırıcı	Tırpan Tipi	$M_{e_8} = 2.5$ TeV		$M_{e_8} = 5.0$ TeV		$M_{e_8} = 7.5$ TeV		$M_{e_8} = 10$ TeV	
		min	max	Min	max	min	max	min	max
ERL60 \otimes FCC	η_e	0.6	4.74	–	–	–	–	–	–
	η_j	2.4	4.74	–	–	–	–	–	–
	KP	2474	2525	–	–	–	–	–	–
ILC \otimes FCC	η_e	-1.3	4.74	-1.1	4.74	-0.8	4.74	–	–
	η_j	0.5	3.0	1.0	3.8	1.3	4.2	–	–
	KP	2475	2525	4950	5050	7425	7575	–	–
PWFA- LC \otimes FCC	η_e	-3.3	4.74	-2.9	4.74	-2.7	4.74	-2.6	4.74
	η_j	-1.8	0.7	-1.2	1.7	-0.9	2.0	-0.6	2.4
	KP	2475	2525	4950	5050	7425	7575	9900	10100

*KP= kütle penceresidir.

Çizelge 4.9'da belirtilen tırpanlar ile tüm durumlar için $P_T > 500$ GeV ve %1'lik kütle pencereleri uygulanarak kompozitlik ölçeği için ulaşılabilir alt limitler belirlendi. İstatistiki anlamlılık denklemi kullanılarak elde edilen kompozitlik ölçeği değerleri Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10 FCC temelli e-p çarpıştırıcılarında TeV biriminde kompozitlik ölçeği alt limitleri

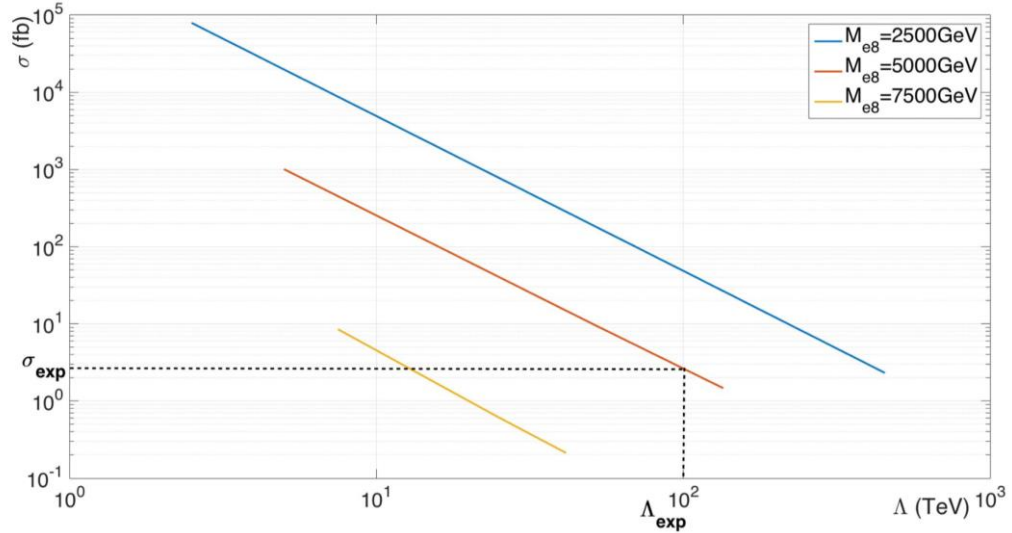
Çarpıştırıcı	L_{int}, fb^{-1}	$M_{e_e} = 2.5 \text{ TeV}$		$M_{e_e} = 5.0 \text{ TeV}$	
		3σ	5σ	3σ	5σ
ERL60⊗FCC	100	44 ^{+0.63% +1.74%} -0.67% -2.33%	34 ^{+0.89% +2.46%} -0.95% -3.30%	-	-
ILC⊗FCC	10	250 ^{+0.16% +0.09%} -0.19% -0.11%	195 ^{+0.24% +0.13%} -0.28% -0.15%	75 ^{+0.14% +0.43%} -0.15% -0.53%	58 ^{+0.36% +1.10%} -0.38% -1.35%
	100	450 ^{+0.27% +0.15%} -0.32% -0.18%	350 ^{+0.69% +0.38%} -0.81% -0.45%	135 ^{+0.23% +0.70%} -0.24% -0.86%	105 ^{+0.24% +0.73%} -0.27% -0.96%
PWFA- LC⊗FCC	1	220 ^{+0.26% +0.60%} -0.34% -0.87%	170 ^{+0.44% +1.01%} -0.57% -1.47%	200 ^{+0.13% +0.10%} -0.21% -0.19%	150 ^{+0.32% +0.24%} -0.52% -0.46%
	10	400 ^{+0.44% +1.01%} -0.56% -0.44%	305 ^{+0.28% +0.64%} -0.36% -0.93%	390 ^{+0.40% +0.30%} -0.65% -0.58%	300 ^{+0.15% +0.11%} -0.24% -0.21%
Çarpıştırıcı	L_{int}, fb^{-1}	$M_{e_e} = 7.5 \text{ TeV}$		$M_{e_e} = 10 \text{ TeV}$	
		3σ	5σ	3σ	5σ
ERL60⊗FCC	100	-	-	-	-
ILC⊗FCC	10	22 ^{+0.74% +1.79%} -0.78% -2.31%	15 ^{+0.97% +2.35%} -1.02% -3.02%	-	-
	100	42 ^{+0.44% +1.06%} -0.46% -1.36%	32 ^{+0.51% +1.23%} -0.54% -1.60%	-	-
PWFA- LC⊗FCC	1	190 ^{+0.24% +0.10%} -0.29% -0.12%	145 ^{+0.31% +0.13%} -0.38% -0.16%	110 ^{+0.41% +0.66%} -0.41% -0.68%	80 ^{+0.27% +0.44%} -0.27% -0.45%
	10	360 ^{+0.32% +0.14%} -0.39% -0.16%	275 ^{+0.21% +0.09%} -0.25% -0.10%	200 ^{+0.30% +0.48%} -0.29% -0.48%	155 ^{+0.15% +0.24%} -0.15% -0.25%

Çizelge 4.8'dekine benzer şekilde kompozitlik ölçeğindeki sistematik belirsizlikler Çizelge 4.10'da da gösterilmiştir. Beklendiği gibi renk sekizlisi elektronun artan kütle değerlerinde kompozitlik ölçeğinin alt limit değerleri azalmıştır. Renk sekizlisi elektronun FCC'de keşfedildiği durumda, bu parçacık FCC temelli ILC⊗FCC veya PWFA-LC ⊗ FCC'de gözlenirse dahi kompozitlik ölçeğine 100'lerce TeV mertebesinde alt limit konulacağı gösterilmiştir.

4.1.2.2 Renk Sekizlisi Elektron FCC-pp'de Keşfedilir ve FCC-ep'de gözlenir ise

Bu durumda elektron-proton çarpıştırıcılarındaki Λ^2 ile ters orantılı olan tesir kesiti değeri kompozitlik ölçeğinin değerini doğrudan belirlemeye fırsat verir. Bir örnek olarak ILC⊗FCC durumunu ele alalım. Şekil 4.10'da $M_{e_e} = 2.5, 5.0$ ve 7.5 TeV renk sekizlisi elektronun kütle değerleri için renk sekizlisi elektronun üretim tesir kesitinin kompozitlik ölçeğine bağımlılığı gösterilmiştir. Örneğin renk sekizlisi elektron FCC proton-proton çarpıştırıcısında 5.0 TeV kütle değerinde keşfedilmiş olsun ve bu kütle

değeri için ILC⊗FCC’de üretim tesir kesiti değeri 2.5 fb olarak ölçülsün. Bu durumda kompozitlik ölçeği 100 TeV olarak belirlenir.



Şekil 4.21 ILC⊗FCC için kompozitlik ölçeğine karşın tesir kesiti dağılımı

4.1.3 SppC-ep

SppC temelli elektron-proton çarpıştırıcı özelliklerini ve ana parametrelerini Bölüm 3.1.1.2’de vermiştik. Görüldüğü üzere bu demet parametreleri Bölüm 3.1.1.1’de verilen FCC temelli elektron-proton çarpıştırıcısının ana parametreleri ile benzerlik göstermektedir. Bu sebepten bu kısımda ayrıntılı bir analiz sunmak yerine FCC-ep’de elde edilebilecek limitler üzerinden bir tahmin yapıldı. SppC ve FCC temelli ILC ve PWFA-LC ep çarpıştırıcıları için kütle merkezi enerjisi ve en yüksek ışınlık değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.11’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.11 FCC ve SppC temelli e-p çarpıştırıcılarının en yüksek kütle merkezi enerjisi ve ışınlık değerleri

Çarpıştırıcı	E_e (GeV)	\sqrt{s} (TeV)	L_{ep} ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	D_e	ξ_p
ILC⊗FCC	500	10	70.0×10^{30}	12	9.40×10^{-3}
ILC⊗SppC	500	11.7	108×10^{30}	2.16	0.7×10^{-3}
PWFA-LC⊗FCC	5000	31.6	20.8×10^{30}	1.2	5.47×10^{-4}
PWFA-LC⊗SppC	5000	36.9	37.5×10^{30}	0.216	0.4×10^{-3}

FCC temelli ep çarpıştırıcılarında yapılan analiz SppC temelli ep çarpıştırıcıları için de yapılmıştır ve sonuçlar diğer ep çarpıştırıcı seçenekleriyle birlikte Çizelge 4.12’de gösterilmiştir.

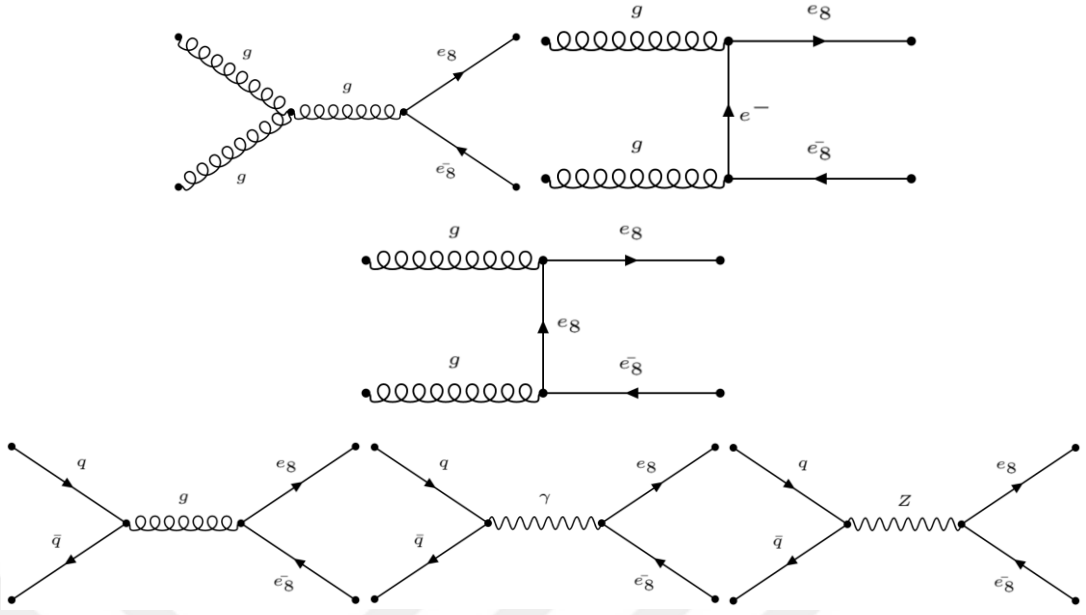
Çizelge 4.12 e_8 ’in ep çarpıştırıcılarında keşif limitleri

Çarpıştırıcı	\sqrt{s} (TeV)	L_{ep} (fb^{-1})	5σ (TeV)
LHeC-1	1.40	1	1.28
LHeC-2	1.98	1	1.78
ERL60 \otimes FCC	3.46	100	2.9
ILC \otimes FCC	10.0	10	8.1
PWFA-LC \otimes FCC	31.6	1	20.1
ILC \otimes SppC	11.7	10	10
PWFA-LC \otimes SppC	36.9	1	27

Çizelge 4.12’den görüldüğü gibi, PWFA-LC \otimes SppC, renk sekizlisi elektronun rezonans üretiminde en yüksek keşif potansiyeline sahiptir.

4.2 Çift Üretim

Lepton çarpıştırıcılarında renk sekizlisi elektronun çift üretimi incelendiğinde, çarpıştırıcının renk sekizlisi elektronu arama sınırı yaklaşık olarak onun kütle merkezi enerjisinin yarısı kadar olduğu söylenebilir. Bu yüzden renk sekizlisi elektronun çift üretimi hadron çarpıştırıcılarında incelenmiştir. Şekil 4.22’de e_8 ’in proton-proton çarpıştırıcısında çift üretimine ait Feynman diyagramları gösterilmektedir.



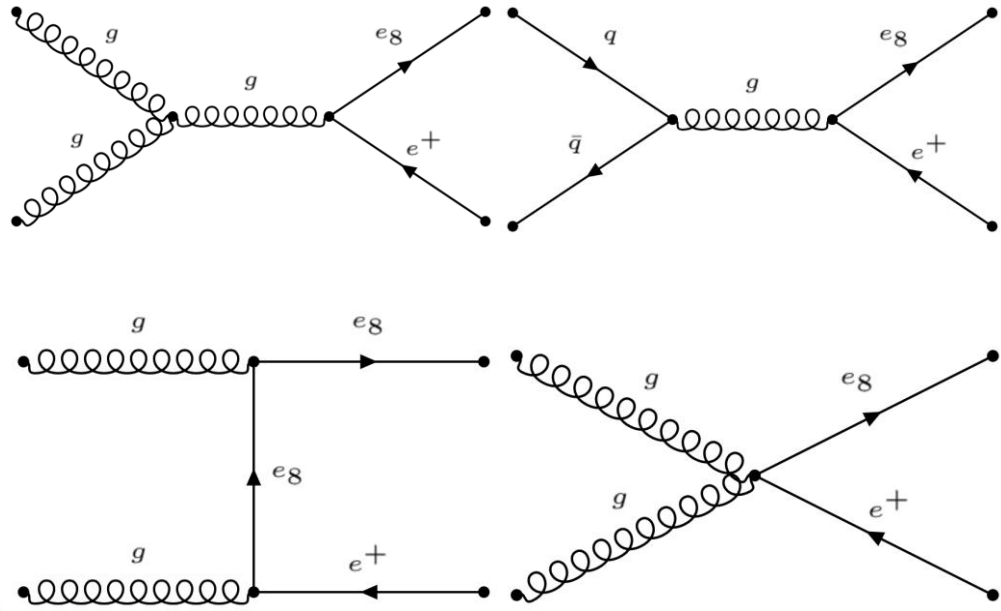
Şekil 4.22 Renk sekizlisi elektronun çift üretimine ait bazı Feynman diyagramları

4.3 Tek Üretim

Renk sekizlisi elektronun tek üretimi, son durumda ona eşlik eden parçacık sayısı ile tek üretim +1 parçacık ve tek üretim +2 parçacık olarak ikiye ayrılır.

4.3.1 Tek üretim +1 parçacık

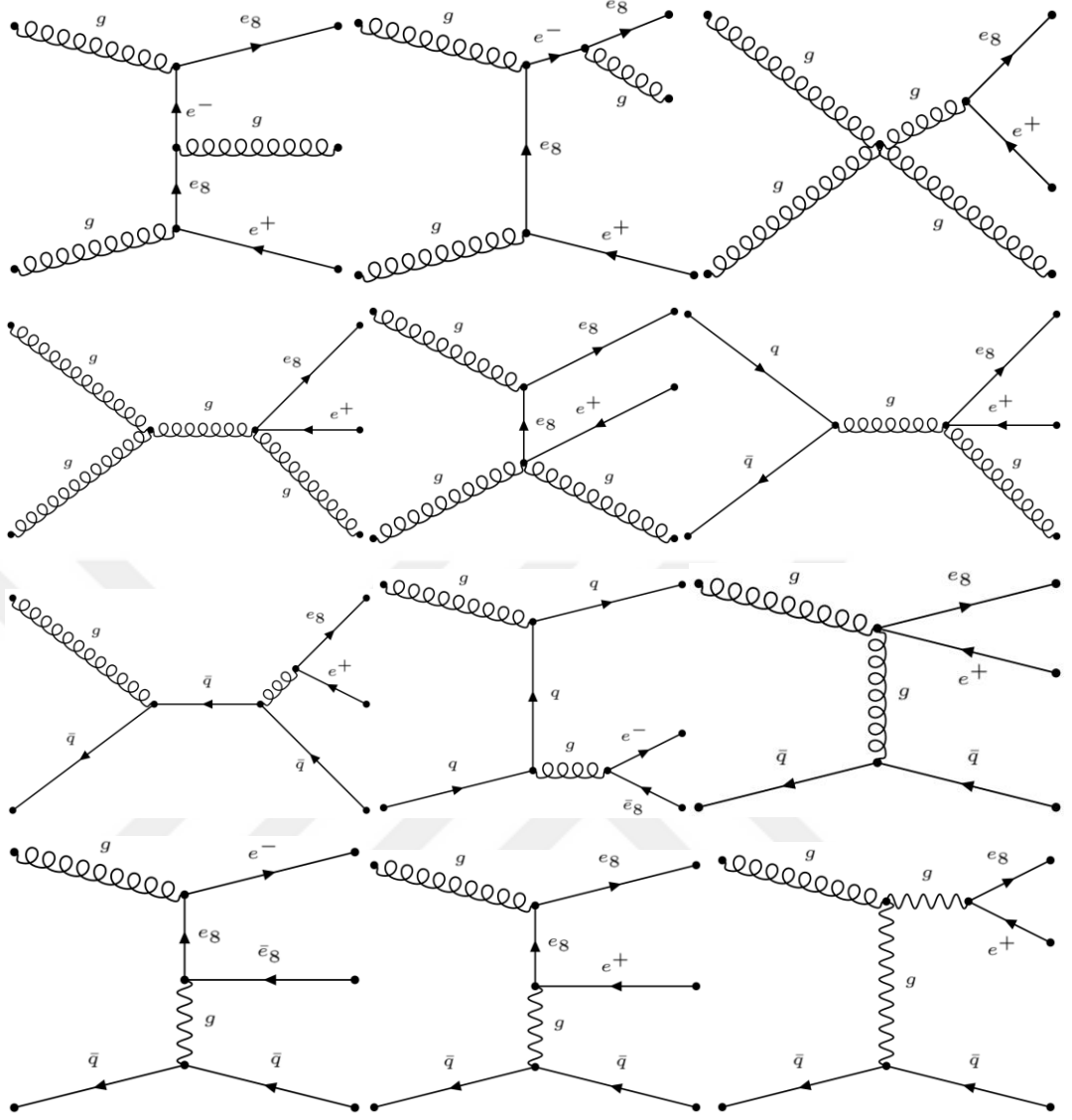
Bir elektron ile birlikte üretilen renk sekizlisi elektron Şekil 4.23'te gösterildiği gibi gg ya da $q\bar{q}$ başlangıç durumlarıyla olabilir.



Şekil 4.23 Parton seviyesi tek üretime ek bir parçacık Feynman diyagramları

4.3.2 Tek üretim +2 parçacık

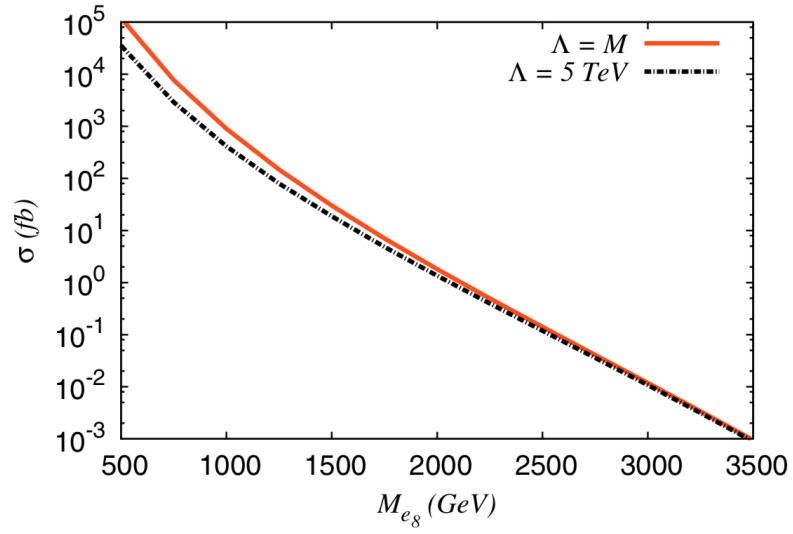
Şekil 4.24'te renk sekizlisi elektronun yanında iki parçacık ile üretim Feynman diyagramları gösterilmektedir.



Şekil 4.24 Parton seviyesi tek üretime ek iki parçacık Feynman diyagramları

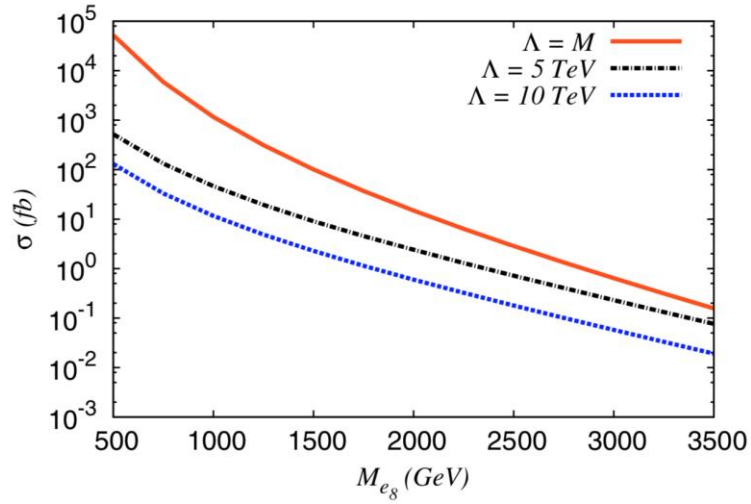
4.4 LHC'de e_8 'in Çift ve Birleştirilmiş Üretiminin İncelenmesi

Şekil 4.25'te kompozitlik ölçeğinin e_8 'in kütlesine eşit olduğu ve 5 TeV olduğu durumda e_8 'in kütlesinin bir fonksiyonu olarak LHC'de (14 TeV) çift üretim tesir kesitleri gösterilmektedir (Mandal ve Mitra 2013).

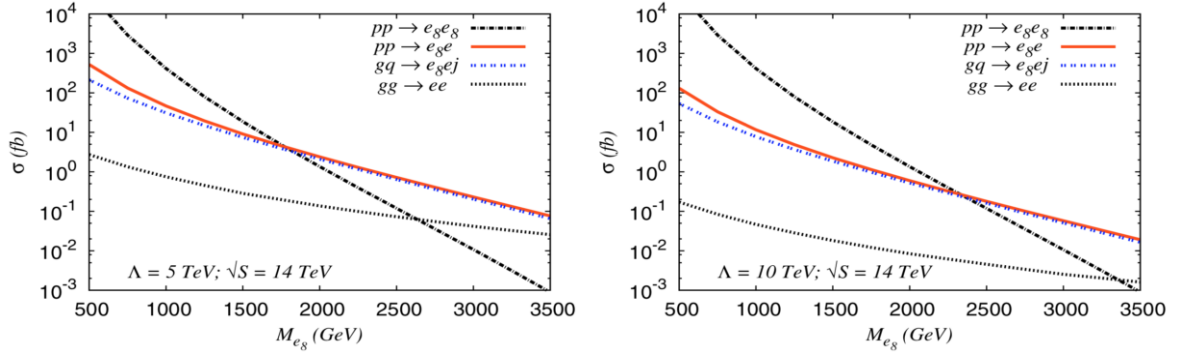


Şekil 4.22 LHC’de çift üretim için tesir kesiti

Şekil 4.26’da ise LHC’de tek üretim ve yanında bir parçacık (elektron) ile üretim tesir kesitleri verilmektedir. Üretim çeşitlerine ve giren parçacıkların durumuna göre tesir kesitlerinin değişimi ise Şekil 4.27’de verilmiştir. Görüldüğü üzere e_8 ’in düşük kütle değerlerinde çift üretim baskın olurken, daha yüksek kütle değerlerinde tek üretim ön plana çıkmaktadır.



Şekil 4.23 LHC’de tek üretim +1 parçacık tesir kesitleri



Şekil 4.24 LHC’de tek ve çift üretim için ayrı ayrı tesir kesitleri

Renk sekizlisi elektronun LHC’de araştırılmasında tüm sinyal süreçlerinin birlikte olduğu durum da (birleştirilmiş üretim) incelenmiştir (Mandal ve Mitra 2013). Bu sinyal süreçleri;

$$pp \rightarrow e_8 \bar{e}_8 \rightarrow e^- g e^+ g$$

$$pp \rightarrow e_8 e^+ \rightarrow e^- g e^+$$

$$pp \rightarrow e_8 e^+ j \rightarrow e^- g e^+ j$$

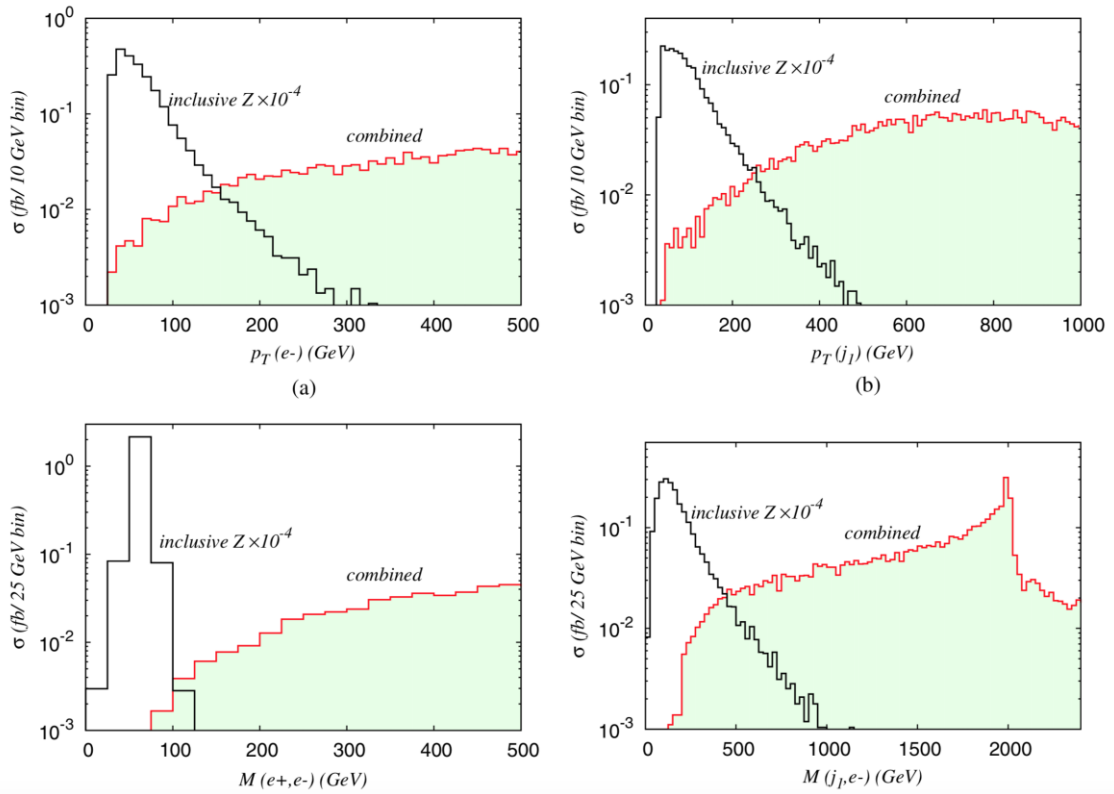
gibidir.

Bütün son durumların ortak özelliği, iki yüksek momentumlu elektron ve bir de yüksek momentumlu jete sahip olmasıdır. Sinyal süreçlerinde bu seçim sağlanırsa tüm son durumlara ait olaylardan seçilmiş olunur. Olayları taklit eden SM olaylarının çoğu $e^- e^+$ çifti yaratacak olan Z bosonun bozumunundan gelir. Çizelge 4.13’te LHC e_8 ’in farklı üretiminden kaynaklı son durumları taklit eden SM olayları ve tesir kesitleri verilmiştir. Tesir kesitlerinin hesaplanması sırasında bazı temel tırpanlar kullanılmıştır: $P_T(e, j) > 25 \text{ GeV}$, $|\eta(e, j)| < 2.5$ ve $\Delta R(e, j) \geq 0.4$.

Çizelge 4.13 Birleştirilmiş e_8 üretimini taklit eden ana SM ardalın olayları

Süreç	Tesir Kesiti (fb)
$Z + nj$ ($n = 0, 1, 2, 3$)	2×10^4
$t\bar{t}$	1.95×10^3
tW	132.15
WW	7.51
Toplam	2.32×10^4

Şekil 4.28’de temel tırpanlardan sonra a’da sinyal ve ardalan için son durumdaki elektronlara ait momentum dağılımları, b’de jetlerin momentum dağılımları, c’de son durumda bir elektron ve bir pozitrondan oluşturulmuş değişmez kütle dağılımı ve d’de bir elektron ve bir jetten oluşturulmuş enine kütle dağılımları gösterilmektedir. Bu dağılımlardan keşif tırpanları belirlenmiştir. Keşif tırpanları için ise temel tırpanlara ek olarak $P_T(e^-e^+) > 150 \text{ GeV}$, $P_T(j) > 100 \text{ GeV}$, $M(e^-e^+) > 150 \text{ GeV}$ ve $|M(e, j) - M_{e_8}| \leq 0.2M_{e_8}$ tırpanları uygulanmıştır.



Şekil 4.25 LHC’de e_8 analizinde birleştirilmiş sinyal ve ardalanların kinematik dağılımları

Temel ve keşif tırpanlarından sonra Çizelge 4.14’te farklı kompozitlik ölçeğinde e_8 ’in kütlesine karşılık, kalan birleştirilmiş sinyal olay sayıları gösterilmektedir.

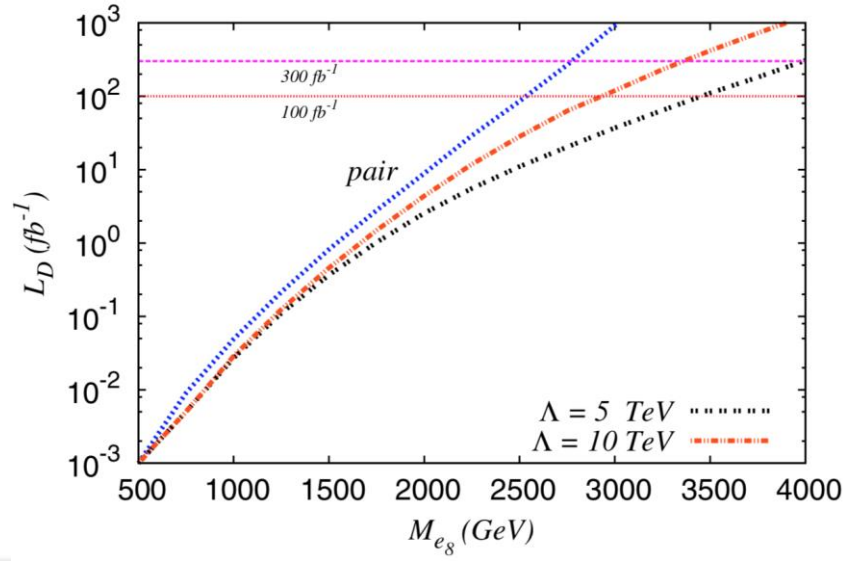
Çizelge 4.14 Temel ve keşif tırpanlarından sonraki birleştirilmiş sinyal tesir kesitleri

$M_{e_8} (GeV)$	$\Lambda = 5 TeV$		$\Lambda = 10 TeV$	
	Temel (fb)	Keşif (fb)	Temel (fb)	Keşif (fb)
500	2.73×10^4	1.31×10^4	2.70×10^4	1.27×10^4
750	2.63×10^3	1.93×10^3	2.59×10^3	1.91×10^3
1000	443	367	415	437
1250	105	90.3	92.0	80.5
1500	31.7	27.3	24.5	21.9
1750	11.5	9.76	7.52	6.71
2000	4.77	3.92	2.59	2.28
2250	2.26	1.80	0.99	0.85
2500	1.18	0.91	0.42	0.36
2750	0.65	0.49	0.20	0.16
3000	0.37	0.27	0.11	0.08
3250	0.22	0.16	0.06	0.04
3500	0.13	0.09	0.03	0.02

LHC'de renk sekizlisi elektronlarının keşfedilmesi için parlaklık gereksinimini şu şekilde tanımlanıyor;

$$\mathcal{L}_D = \max(\mathcal{L}_5, \mathcal{L}_{10})$$

Burada \mathcal{L}_5 , 5σ istatistiki anlamlılık için gerekli ışınlık, \mathcal{L}_{10} ise 10 sinyal olayı gözlemlemek için gereken ışınlık değerini gösterir. Şekil 4.29'da 14 TeV'lik LHC'de $\Lambda = 5 TeV$ ve $10 TeV$ için M_{e_8} 'in bir fonksiyonu olarak \mathcal{L}_D gösterilmektedir.

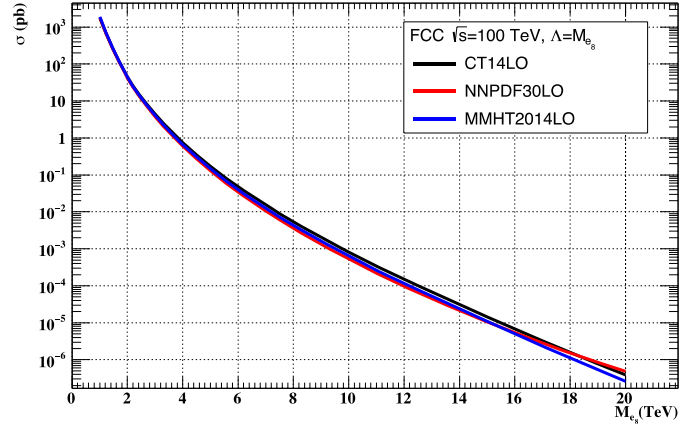


Şekil 4.26 LHC’de e_8 ’in keşfi için gerekli toplam ışınlık değerleri

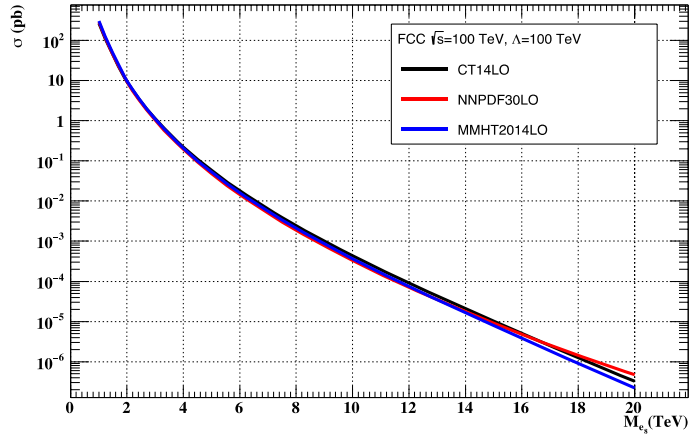
Çift üretimde keşif tırpanları ile renk sekizlisi elektronunun kütle limiti, 14 TeV LHC’de 100 fb^{-1} (300 fb^{-1}) toplam ışınlık 2.5 TeV (2.8 TeV) olur. Analizde, birleştirilmiş durumda 14 TeV kütle merkezi enerjisine ve 100 fb^{-1} (300 fb^{-1}) toplam ışınlığa sahip LHC’nin, 5 TeV’lik kompozitlik skalası için e_8 ’i 3.4 TeV (4 TeV) ’e kadar olan kütlelerde arayabileceğini gösterilmektedir.

4.5 FCC ve SppC’de e_8 ’in Birleştirilmiş ve Çift Üretimi

Şekil 4.30 ve 4.31’de e_8 ’in FCC’de çift üretiminin tesir kesiti kompozitlik ölçeğinin e_8 ’in kütlesine eşit olduğu durumda ve 100 TeV’e eşit olduğu durumda verilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere tesir kesiti 3 farklı parton dağılım fonksiyonu kullanarak hesaplanmıştır. LHC’ye kıyasla proton momentumu yaklaşık 7-8 kat büyüktür. Dolayısıyla partonların taşıdığı momentumlar da farklılık gösterecektir. Bu nedenle 3 ayrı parton dağılım fonksiyonu kullanarak tesir kesitlerinde bir karşılaştırma yapılması öngörülmüştür.



Şekil 4.27 Kompozitlik ölçeğinin e_8 'in kütlesine eşit olduğu durumda e_8 'in kütlesinin bir fonksiyonu olarak çift üretim tesir kesiti



Şekil 4.28 Kompozitlik ölçeğinin 100 TeV'e eşit olduğu durumda e_8 'in kütlesinin bir fonksiyonu olarak çift üretim tesir kesiti

SppC'nin kütle merkezi enerjisi FCC'nin kütle merkezi enerjisinden çok farklılık göstermeyeceğinden bir tesir kesiti grafiği SppC için verilmemiştir. Bu kısımda LHC'nin sonuçları kullanılarak FCC ve SppC'de e_8 'in bu çarpıştırıcılarda araştırılmasında ulaşılabilecek kütle limitleri üzerinde durulmuştur. Yaklaşım yapılırken Gavin Salam ve Andreas Weiler tarafından geliştirilen kaba tahmin yapabilen çarpıştırıcı erişimi programı kullanılmıştır (Anonymous 2019g). Çizelge 4.15'te LHC, FCC ve SppC'nin kütle merkezi enerjileri ve 1 yıllık toplam ışınlık değerleri verilmiştir. Tevatron verisi ile renk sekizlisi leptonun kütlesinin 325 GeV'ye kadar incelenebileceği belirtilmiştir (Hewett ve Rizzo 1997). Gavin ve Weiler tarafından geliştirilen çarpıştırıcı

erişim programı kullanılarak LHC için bir yaklaşım yapıldığında yaklaşık 3500 GeV kütle limitine kadar e_8 'in incelenebileceği hesaplanabiliyor. Bu değer LHC için Mandal ve Mitra tarafından yapılan analizin sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca Gonçalvez vd. tarafından CMS leptoquark sonuçları renk sekizlisi elektron için yeniden yorumlandığında 7 TeV ve 5 fb^{-1} ışınlığa sahip LHC'nin e_8 'i 1.2-1.3 TeV'e kadar dışarılanabileceği gösterilmiştir (Gonçalvez vd. 2013). Bu değer LHC 14 TeV 100 fb^{-1} için yeniden değerlendirildiğinde e_8 'in yine yaklaşık olarak 3300-3400 GeV değerlerine kadar dışarılanabileceği Gavin ve Weiler tarafından geliştirilen çarpıştırıcı erişim programı kullanılarak hesaplanabilir. Bu yaklaşımların ardından Çizelge 4.16'da ise LHC'nin sonuçları (100 fb^{-1} için) kullanılarak FCC ve SppC'de ulaşılabilir kütle limitleri verilmektedir.

Çizelge 4.15 LHC, FCC ve SppC'nin kütle merkezi enerjisi ve ışınlık değerleri

Çarpıştırıcı	\sqrt{s} (TeV)	L (fb^{-1})
LHC	14	100
FCC	100	500
SppC	136	10000

Çizelge 4.16 FCC ve SppC için kütle limitleri

Çarpıştırıcı	Çift Üretim (TeV)	Birleştirilmiş Üretim
LHC	2.5	3.4
FCC	11.5	15.0
SppC	23.0	31.0

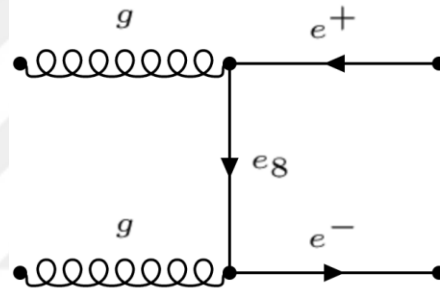
4.6 Dolaylı Üretim

Renk sekizlisi elektronun dolaylı üretimi lepton ve hardon çarpıştırıcılarında olmak üzere ikiye ayrılır. Lepton çarpıştırıcılarında tek üretimde tesir kesiti kompozitlik ölçeğinin karesi ile ters orantılı olur. Yani renk sekizlisi elektronun büyük kütle durumlarında tesir kesiti hızla düşer. Dolayısıyla lepton çarpıştırıcılarında etkin arama dolaylı üretim aracılığıyla olur. Hadron çarpıştırıcılarında ise sonraki kısımda

belirtileceği üzere tek üretim ve çift üretime göre dolaylı üretim 9 TeV kütle değerine kadar daha çekinik kalır. Bu kütle değerinden sonra birleştirilmiş üretim (çift üretim, tek üretim +1 ve tek üretim +2 parçacık) ile dolaylı üretimden daha yüksek tesir kesitleri elde edilebilir. Dolayısıyla renk sekizlisi elektronun dolaylı üretiminde yalnızca lepton çarpıştırıcıları incelenmiştir.

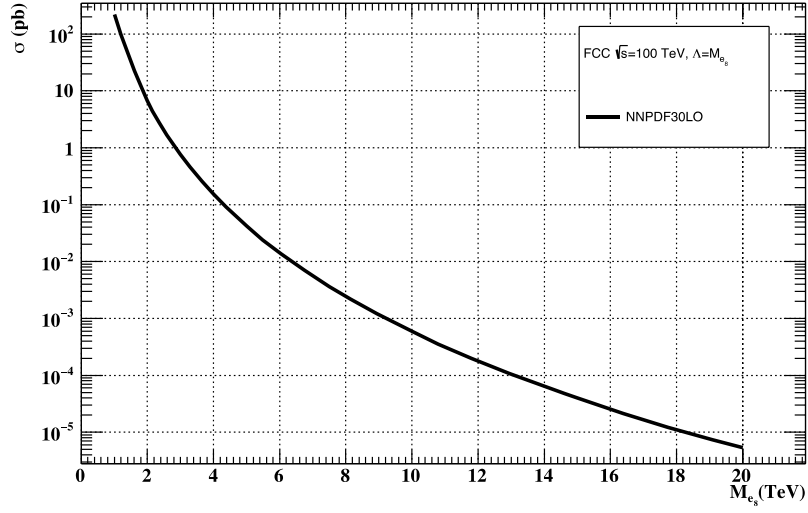
4.6.1 Hadron Çarpıştırıcıları

Daha öncede bahsedildiği üzere hadron çarpıştırıcılarında dolaylı üretim birleştirilmiş üretime göre çekinik kalır. Renk sekizlisi elektronun hadron çarpıştırıcılarında dolaylı üretimine ait Feynmann diyagramı Şekil 4.32’de gösterilmektedir.



Şekil 4.29 Renk sekizlisi elektronun hadron çarpıştırıcılarında dolaylı üretimine ait Feynman diyagramı

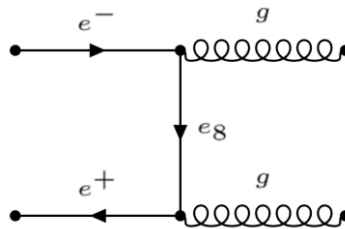
Kompozitlik ölçeğinin renk sekizlisi elektronun kütlesine eşit olduğu durumda, Şekil 4.33’te FCC için kütleyle göre renk sekizlisi elektronun dolaylı üretim tesir kesiti grafiği verilmiştir. FCC’deki birleştirilmiş üretim (çift üretim, tek üretim +1 parçacık, tek üretim +2 parçacık) ile kıyaslanacak olursa tesir kesitinin bir hayli düşük olduğu görülecektir. Bu çekinik üretimin birleştirilmiş üretime göre etkin bir arama olmayacağından dolayı ayrıntılı bir analizi yapılmamıştır.



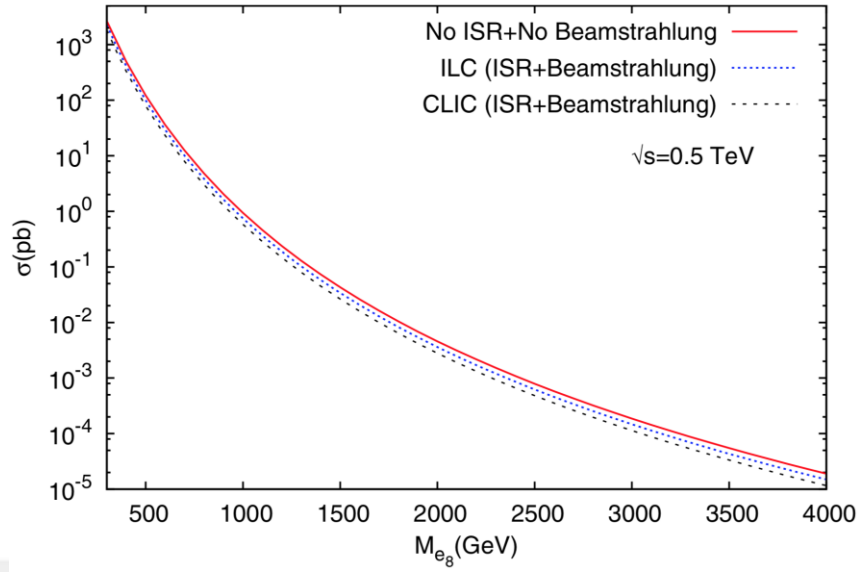
Şekil 4.30 FCC’de e_8 ’in dolaylı üretimine ait tesir kesiti

4.6.2 Lepton Çarpıştırıcıları

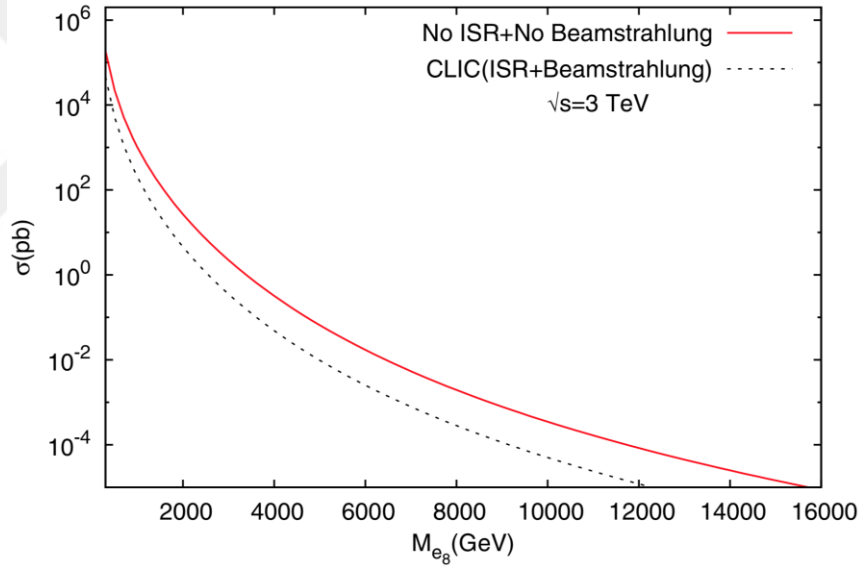
Bu kısımda ILC, CLIC’te renk sekizlisi elektronun dolaylı üretimi incelenerek (Akay vd. 2011), PWFA-LC çarpıştırıcıların renk sekizlisi elektronu araştırma potansiyeli belirlenmiştir. Sinyal süreci t kanalında e_8 değişimi ile $e^-e^+ \rightarrow gg$ şeklindedir. Sürece ait Feynman diyagramı Şekil 4.34’te gösterilmektedir. CLIC ve ILC’de 0.5 TeV kütle merkezi enerjisinde Beamstrahlung ve başlangıç durum ışımaları (ISR) da dahil edilerek hesaplanan toplam tesir kesitleri Şekil 4.35’te gösterilmektedir. 3 TeV kütle merkezi enerjisine sahip CLIC’te yine aynı etkiler dahil edilerek hesaplanan toplam tesir kesitleri Şekil 4.36’da gösterilmektedir. Görüldüğü üzere bu etkiler tesir kesitlerini belirli oranlarda azaltmaktadırlar.



Şekil 4.31 Renk sekizlisi elektronun lepton çarpıştırıcılarında dolaylı üretimine ait Feynman diyagramı

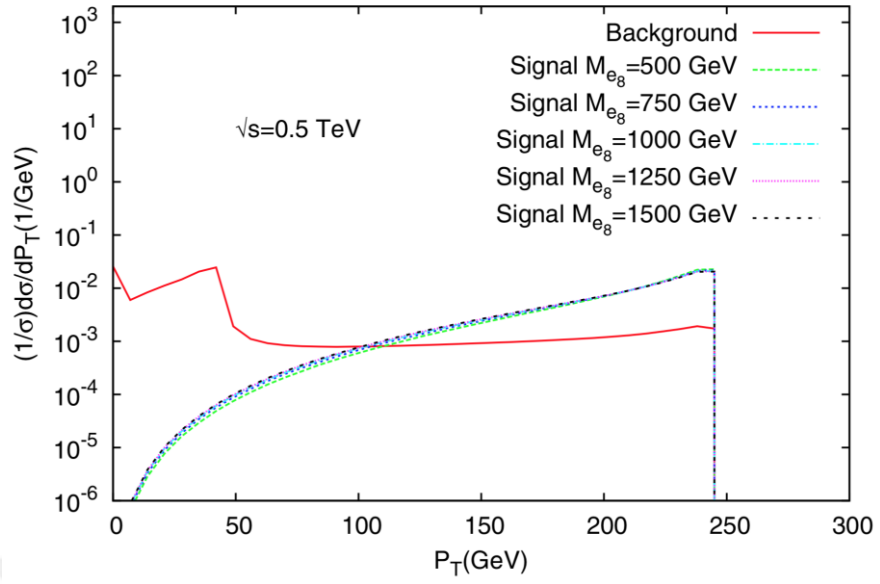


Şekil 4.32 ILC ve CLIC’te renk sekizlisi elektronun dolaylı üretim tesir kesiti

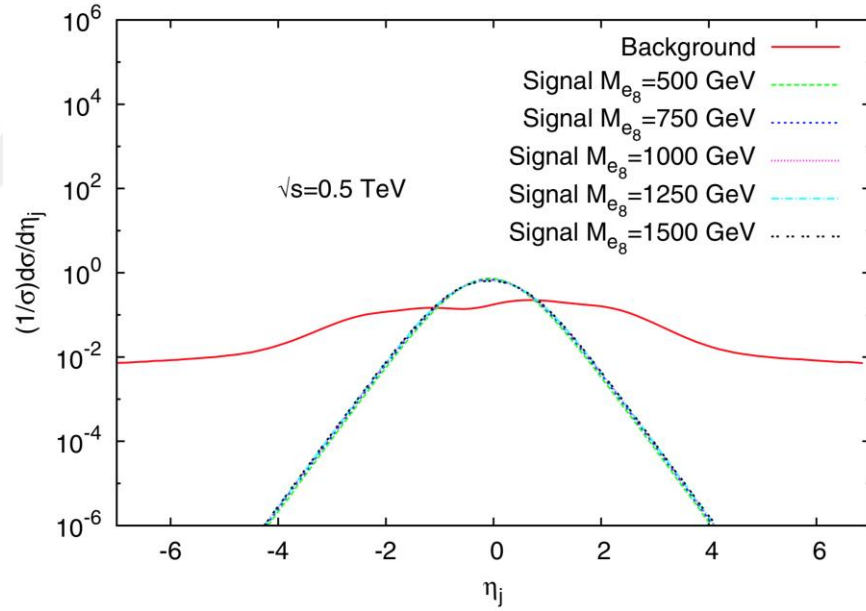


Şekil 4.33 CLIC’te renk sekizlisi elektronun dolaylı üretim tesir kesiti

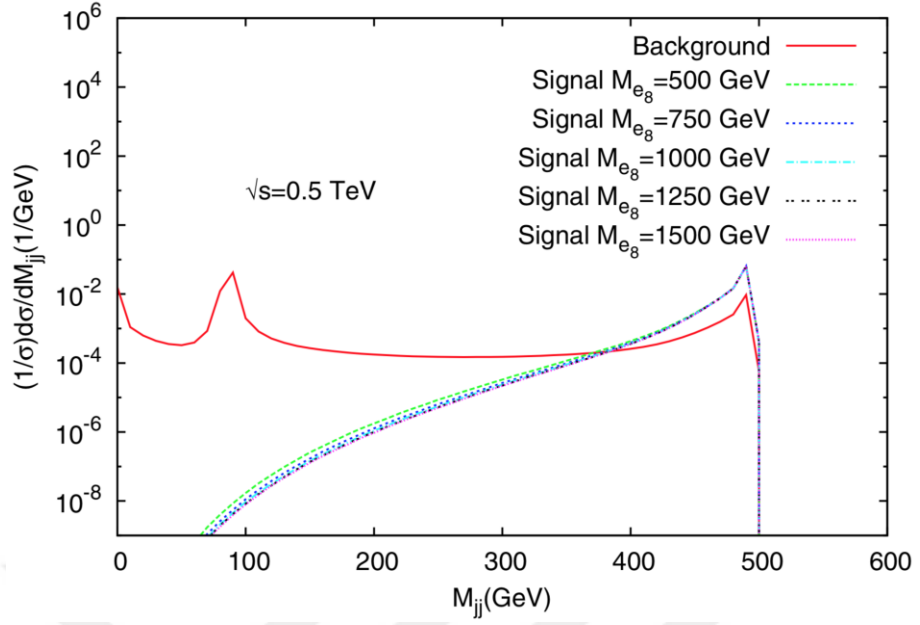
Lepton çarpıştırıcılarında e_8 'in dolaylı üretimine ait ardaalan süreci foton ve Z ile olacak olan iki jet son durumudur ($e^-e^+ \rightarrow \gamma, Z \rightarrow jj$). Burada $j = u, \bar{u}, d, \bar{d}, c, \bar{c}, s, \bar{s}, b, \bar{b}$ dir. ILC’de uygun tırpanları belirlemek için sinyal ve ardaalan sürecine ait son durum jetlerin enine momentum dağılımları (P_T), pseudo-rapidity dağılımları (η) ve değişmez kütle dağılımları sırasıyla Şekil 4.37, Şekil 4.38 ve Şekil 4.39’da verilmiştir.



Şekil 4.34 ILC’de sinyal ve ardaan için son durumdaki jetlerin normalize enine momentum dağılımları



Şekil 4.35 ILC’de sinyal ve ardaan için son durumdaki jetlerin normalize pseudo-rapidity dağılımları



Şekil 4.36 ILC’de sinyal ve ardalana için son durumdaki jetlerin normalize değişmez kütle dağılımları

$P_T > 120$ GeV, $|\eta| < 1$ ve 375 GeV $< M_{inv}(jj) < 500$ GeV seçiminin temel olarak arka planı bastırıldığı ve sinyalin neredeyse değişmez bıraktığı görülmektedir. Şekil 4.39’da ardalanında 90 GeV civarındaki tepe Z bozonunun kütesinin bulunduğu yerdir.

CLIC1 ve CLIC2 için benzer analizler sonucunda aşağıdaki tırpanlar kullanılmıştır:

CLIC1 için, $P_T > 120$ GeV, $|\eta| < 1$ ve 350 GeV $< M_{inv}(jj) < 500$ GeV

CLIC2 için, $P_T > 350$ GeV, $|\eta| < 1$ ve 1000 GeV $< M_{inv}(jj) < 3000$ GeV.

Çizelge 4.17’de ILC ve CLIC1 için yukarıda belirtilen tırpanlardan sonraki sinyal ve ardalana toplam tesir kesiti değerleri gösterilmektedir. Aynı durum CLIC2 için Çizelge 4.18’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.17 ILC ve CLIC1’de tırpanlardan sonraki toplam tesir kesitleri

M_{e_8} , TeV	σ (pb)	
	ILC	CLIC1
0.5	89.835	70.326
1	0.663	0.5091
1.5	0.030	0.0229
2	0.0032	0.0024
Ardalan	1.757	1.763

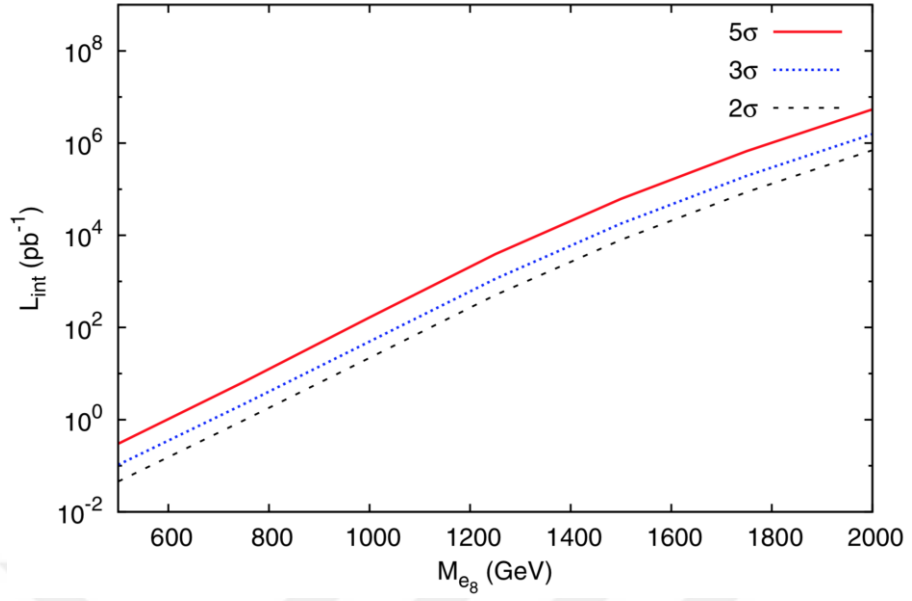
Çizelge 4.18 CLIC2’de tırpanlardan sonraki toplam tesir kesitleri

M_{e_8} , TeV	σ , pb
2	4.0081
3	0.3078
4	0.0424
5	0.0084
6	0.00217
7	0.00067
8	0.00024
Ardalan	0.0378

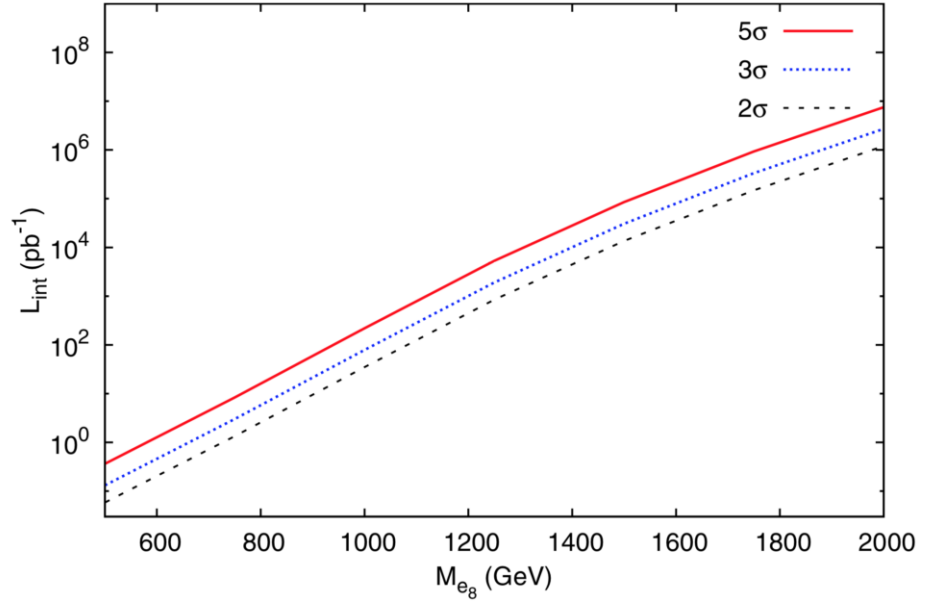
İstatistiki anlamlılıkları hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$S = \frac{\sigma_s}{\sqrt{\sigma_s + \sigma_b}} \sqrt{L_{int}}$$

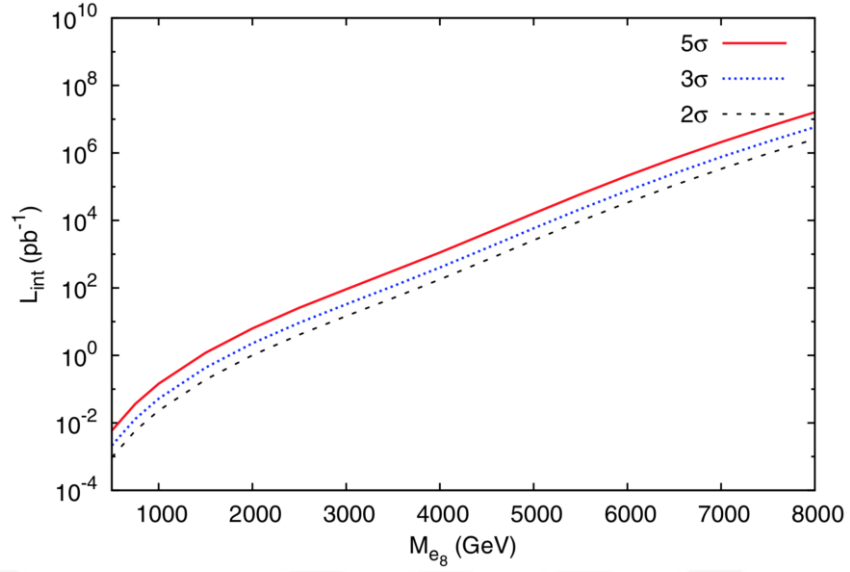
Burada σ_s sinyal tesir kesiti, σ_b ardalın tesir kesiti ve L_{int} toplam ışınlığı ifade etmektedir. Şekil 4.40, 4.41 ve 4.42’de renk sekizlisi elektronun 2σ dışarlama, 3σ gözlem ve 5σ (dolaylı) keşfi için gerekli toplam ışınlıkları sırasıyla ILC, CLIC1 ve CLIC2 için renk sekizlisi elektronun kütlesine bağılı olarak verilmiştir.



Şekil 4.37 ILC’de renk sekizlisi elektronun dolaylı olarak dışarlanması, gözlemi ve keşfi için gerekli ışınlık değerleri



Şekil 4.38 CLIC1’de renk sekizlisi elektronun dolaylı olarak dışarlanması, gözlemi ve keşfi için gerekli ışınlık değerleri



Şekil 4.39 CLIC2’de renk sekizlisi elektronun dolaylı olarak dışarlanması, gözlemi ve keşfi için gerekli ışınlık değerleri

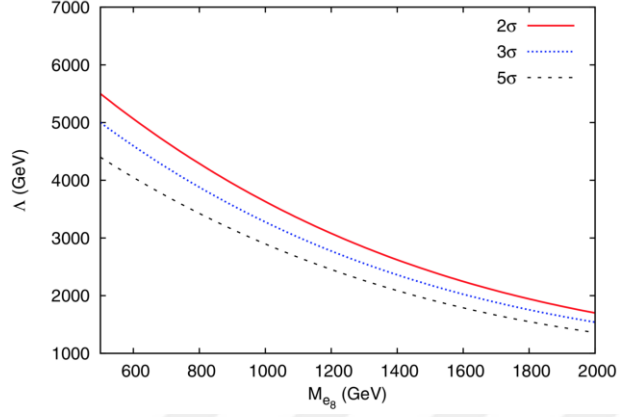
Ulaşılabilir renk sekizlisi elektron kütle değerleri nominal ışınlıkta bir ve üç yıllık çalışma durumunda Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19 ILC, CLIC1 ve CLIC2’nin bir ve üç yıllık çalışma süreleri sonunda ulaşılabilir renk sekizlisi elektron kütle değerleri

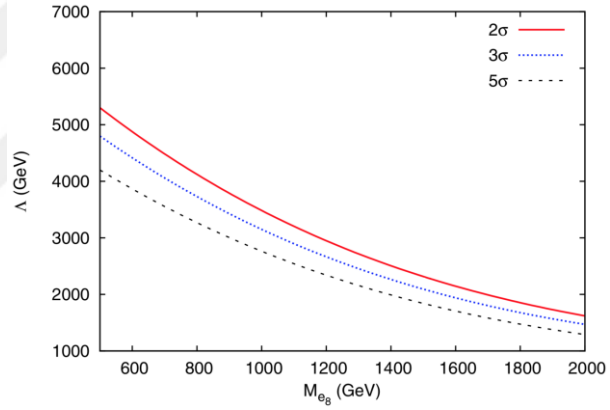
Çarpıştırıcı	Çalışma Süresi	2 σ	3 σ	5 σ
ILC	1 yıl	1850 GeV	1750 GeV	1640 GeV
	3 yıl	1980 GeV	1880 GeV	1760 GeV
CLIC1	1 yıl	1800 GeV	1710 GeV	1600 GeV
	3 yıl	1920 GeV	1840 GeV	1720 GeV
CLIC2	1 yıl	7260 GeV	6880 GeV	6430 GeV
	3 yıl	7810 GeV	7400 GeV	6930 GeV

Buraya kadar olan analizde kompozitlik ölçeği renk sekizlisi elektronun kütlesine eşit olarak alınmıştır. Genel olarak bu ölçek aranan parçacığın kütlesinden farklı olabilir. Bu nedenle çarpıştırıcıların bu ölçek üzerindeki limitleri renk sekizlisi elektronun kütlesine bağlı olarak ele alınmıştır. Burada ILC, CLIC1 ve CLIC2 için sırasıyla 200, 230 ve 590 fb⁻¹ 1 yıllık toplam ışınlık değerleri kullanılmıştır. Şekil 4.43, 4.44 ve 4.45’te bu

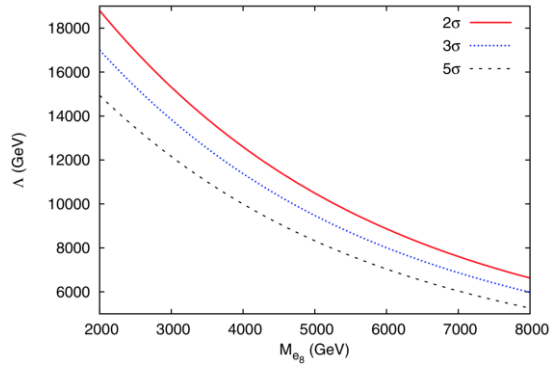
çarpıştırıcı seçenekleri için ulaşılabilir kompozitlik ölçekleri renk sekizlisi elektronun kütlesine bağı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.40 200 fb^{-1} ışılıkta ILC’de renk sekizlisi elektronununun kütlesine karşın ulaşılabilir kompozitlik ölçeğı değerleri

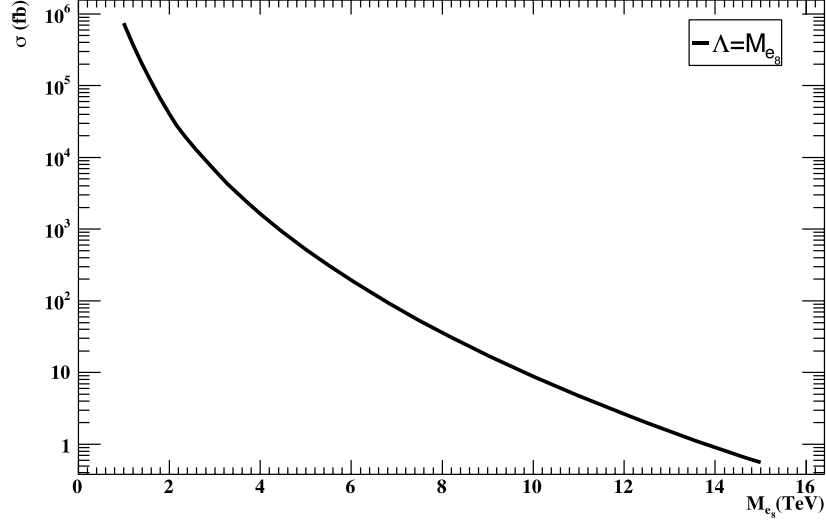


Şekil 4.41 230 fb^{-1} ışılıkta CLIC1’de renk sekizlisi elektronununun kütlesine karşın ulaşılabilir kompozitlik ölçeğı değerleri

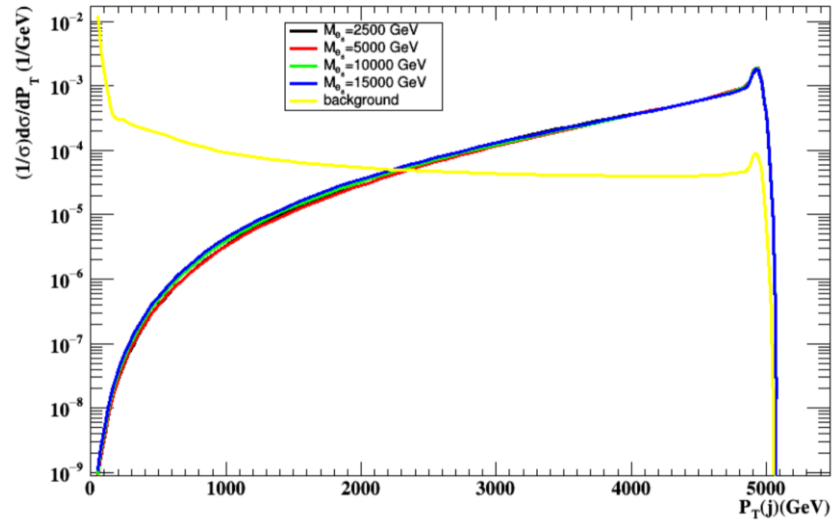


Şekil 4.42 590 fb^{-1} ışılıkta CLIC2’de renk sekizlisi elektronununun kütlesine karşın ulaşılabilir kompozitlik ölçeğı değerleri

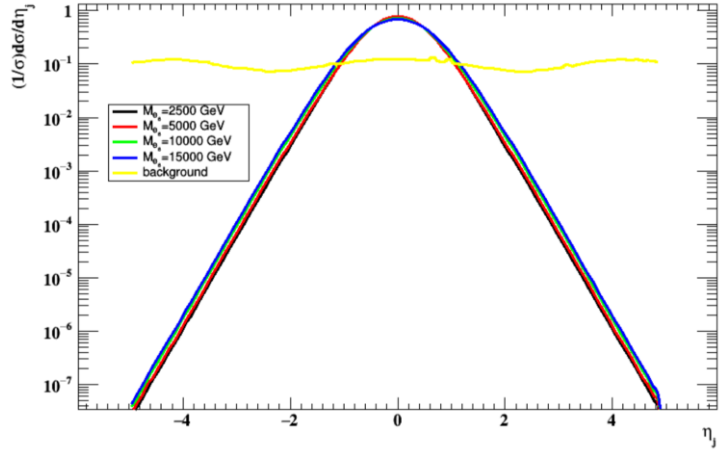
Eğer renk sekizlisi elektronun PWFA-LC çarpıştırıcısında dolaylı üretimine bakacak olursak, bu çarpıştırıcıda elde edilecek toplam tesir kesiti değeri Şekil 4.46’da gösterilmiştir. Yine uygulanması gereken tırpan değerlerini belirlemek için Şekil 4.47, 4.48 ve 4.49’da sırasıyla son durum jetlerine ait enine momentum dağılımları, pseudo-rapidity dağılımları ve değişmez kütle dağılımlarını gösteriyoruz.



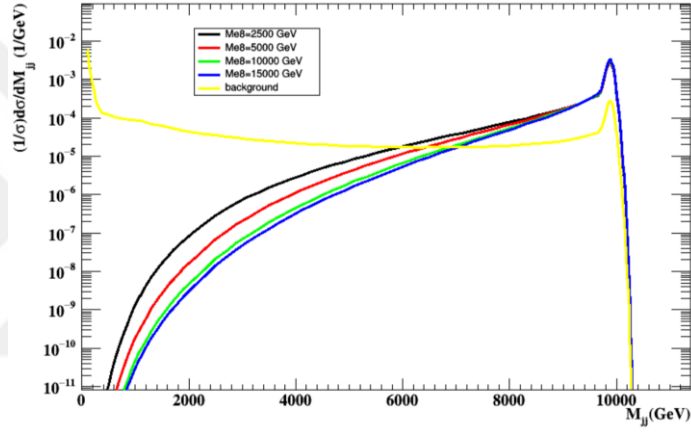
Şekil 4.43 PWFA-LC’de renk sekizlisi elektronun dolaylı üretim tesir kesiti



Şekil 4.44 PWFA-LC’de son durum jetlerin enine momentum dağılımları



Şekil 4.45 PWFA-LC’de son durum jetlerin pseudo-rapidity dağılımları

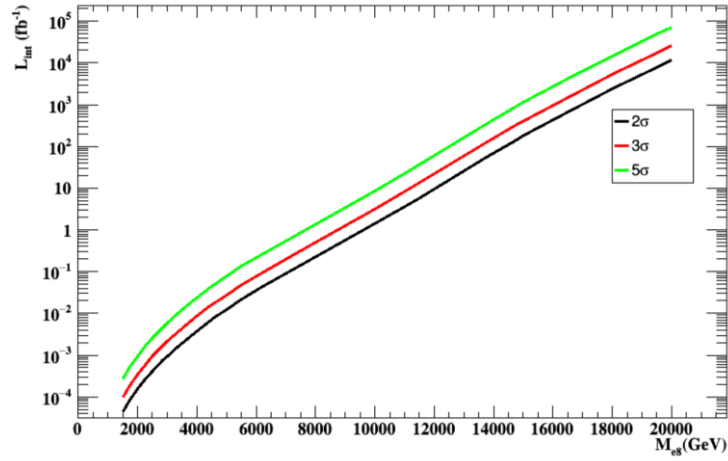


Şekil 4.46 PWFA-LC’de son durum jetlerin değişmez kütle dağılımları

Görüldüğü üzere, $p_T > 2350$ GeV, $|\eta| < 1$ ve $7000 \text{ GeV} < M_{\text{inv}}(\text{jj})$ tırpan değerleri ardalanı önemli ölçüde bastırmaktadır. PWFA-LC’nin 1 ve 3 yıllık çalışması durumunda renk sekizlisi elektronun dışarlanması (2σ), gözlemi (3σ) ve keşfi (5σ) limitleri Çizelge 4.20’de verilmiştir. Şekil 4.50’de ise renk sekizlisi elektronun kütlesine bağlı olarak gereken ışınlık değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.20 PWFA-LC’de ulaşılabilir renk sekizlisi elektron kütle limitleri

Çarpıştırıcı	Çalışma Süresi	2σ	3σ	5σ
PWFA-LC	1 yıl	16.4 TeV	15.5 TeV	14.4 TeV
	3 yıl	17.7 TeV	16.7 TeV	15.6 TeV



Şekil 4.47 PWFA-LC’de renk sekizlisi elektronun dolaylı olarak dışarlanması, gözlemi ve keşfi için gerekli ışınlık değerleri

Daha öncede belirtilen sebepten (kompozitlik ölçeğinin aranan parçacığın kütlesinden farklı değerde olabilme durumu) Çizelge 4.21’de ise e_8 ’in kütlesinin 5 TeV’e eşit olduğu durumda PWFA-LC’de ulaşılabilir kompozitlik ölçeği limitleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.21 PWFA-LC’de ulaşılabilir kompozitlik ölçeği limitleri

Çarpıştırıcı	Çalışma Süresi	2σ	3σ	5σ
PWFA-LC	1 yıl	33.4 TeV	30.2 TeV	26.4 TeV
	3 yıl	38.5 TeV	34.7 TeV	30.5 TeV

Sonuç olarak, kompozitlik ölçeğinin renk sekizlisi elektronun kütlesine eşit olması durumunda ILC’nin bir (üç) yıllık çalışması için renk sekizlisi elektronu 1750 (1880) GeV’ye kadar gözlemlemeye imkanı sağladığı gösterilmiştir. Bu değerler CLIC1 ve CLIC2 için sırasıyla 1710 (1840) GeV ve 6880 (7400) GeV’dir. Renk sekizlisi elektronun kütlesinin 2000 GeV olması durumunda kompozitlik ölçeği CLIC2’de 18 TeV’in üzerinde dışarlanabilir, 17 TeV civarında gözlemlenebilir ve 15 TeV civarında keşfedilebilir durumdadır. PWFA-LC’nin 1 yıllık (3 yıllık) çalışma durumunda ise renk sekizlisi elektronun kütlesi 14.4 (15.6) TeV’e kadar keşfedilebilir, 15.5 (16.7) TeV’e kadar gözlenebilir ve 16.4 (17.7) TeV’e kadar dışarlanabilir. e_8 ’in kütlesinin 5 TeV’e eşit olduğu durumda, kompozitlik ölçeği bu çarpıştırıcınının 3 yıl çalışması sonucunda 34.7 TeV’e kadar gözlenebilir.

5. EK BİR ARAŞTIRMA: KOZMİK IŞINLARDA ν_8

PeV enerjili nötrino olaylarının IceCube işbirliği tarafından gözlenmesi (IceCube Collab. 2013) bu olayların olası yorumları üzerine birçok çalışmanın ortaya çıkmasına kaynak olmuştur (Anchordoqui vd. 2014 ve içerisindeki referanslar). Bu olası yorumların nedeni, IceCube tarafından gözlenen bu iki olayın, atmosferik arka plana ait yorumunun 2.8σ istatistikî anlamlılık ile dışarlanmasıdır. Bu olaylar PeV enerjili nötrino astrofizikinin başlangıcı olabilir. IceCube analizlerinin, kozmik ışın duşlarından atmosferik arka planı bastırmasına olanak sağlayan yüksek enerji başlatma olayı (high energy starting event- HESE) aramaları kullanılarak yapılmaktadır. HESE tekniğinde, nötrino benzeri olaylar, detektörün dış tarafında en erken ışığın gözlemlendiği olayları dışarlayarak seçilir.

Üç yıllık IceCube verisini içeren son yayınları (IceCube Collab. 2014), önceki iki yıllık verilerin ana özelliklerini doğrulamıştır (IceCube verileri tartışması Bölüm 5.1.1’de yapılacaktır): PeV bölgesi ile ilgili olarak bir başka olay daha gözlemlenmiştir. Ayrıca 0.4 PeV ile 1 PeV arasında ve 2.5 PeV üzerinde hiçbir olay yoktur. Bu özellikler ya PeV bölgesindeki “tek-enerjili” nötrino kaynağından ya da nötrino-nükleon saçılımında (ya da her ikisinde) TeV ölçekli yeni parçacıkların rezonans üretiminden kaynaklanabilir. 0.4-1.0 PeV arasındaki bölgedeki boşluk, tespit edilen az sayıda olayların aşağıya doğru bir dalgalanması ile uyumlu olsada, 1.0-2.5 PeV ve 0.03-0.4 PeV bölgelerindeki aşırılıkların farklı kökenlerin bir göstergesi olduğunu varsayıyoruz.

Ice Cube’da ultra yüksek enerjili nötrino olaylarının SM açıklaması (Chen, Dev ve Soni 2014) $s = 1.5 - 2.0$ olduğu E^{-s} ile orantılı basit bir kırılmamış bir güç yasası spektrumu ile yeni bir izotropik kozmik nötrino akımını varsaymaktadır. Bunu takip eden diğer yayınlarında (Chen, Dev ve Soni 2014-2) 400 TeV ve 1 PeV arasındaki görünür enerji boşluğunu ele almak için IceCube’deki yüksek enerji nötrino olayları için iki bileşenli akı önerilmiştir.

BSM yorumlarına gelince, bir dizi makalede IceCube PeV olaylarının olası kökenleri araştırılmıştır. Örneğin, leptokuark rezonansı (Barger ve Keung 2013, Dutta vd. 2015),

ayna nötrino (Joshipura, Mohanty ve Pakvasa 2014), ağır uzun ömürlü parçacık bozunumu (Ema, Jinno ve Moroi 2014), renk sekizlisi nötrino (Akay, Kaya ve Sultansoy 2014), ek boyut (Aeikens vd. 2014), TeV ölçekli kütle çekimi (Illana, Masip ve Meloni 2015) yorumları önerilmiştir.

5.1 IceCube Deneyinde PeV Enerjili Nötrinoların Renk Sekizlisi Nötrino Yorumu

IceCube, uzaydan gelen yüksek enerjili nötrinoları dolaylı olarak kaydeden Güney Kutbu'ndaki bir parçacık algıdır. Yöntemde kozmik ışın duşlarından (shower) gelen ardaanlar bastırılır ve yüksek enerjili olayları kaydedilir. Bir nötrino güney kutbu buzuyla etkileştiği zaman, diğer parçacıkları yaratır (Cherenkov ışması prensibi ile çalışır). Bunlar elektronik optik modüller (foto çoğaltıcı tüp) tarafından kaydedilir. IceCube deneyinde PeV enerjili nötrino olaylarının gözlemlenmesi, bu olayların yorumu üzerine birçok araştırma başlattı. Bu araştırmaların birisi de PeV enerjili olayların kaynağı olabileceğini düşündüğümüz renk sekizlisi nötrinolardır.

5.1.1 Yeni IceCube Verisi

Daha öncede bahsedildiği üzere, ilk 2 PeV olayı 615.9 gün etkin zaman içinde IceCube tarafından gözlenmiştir. İki yıllık veri setinin sonuçları, yani 662 gün içinde etkili olan 28 yüksek enerjili nötrino olayı gruplanarak Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 IceCube verisinin iki yıllık sonuçları

Enerji Bölgesi	Gözlemlenen Olay Sayısı	Beklenen Ardaan Olay Sayısı
50 TeV – 1.0 PeV	26	10
1.0 PeV – 2.0 PeV	2	0.01
2.0 PeV – 10 PeV	0	0

Benzer bir şekilde, 3 yıllık veri setinin yani 988 gün etkin çalışma süresine karşılık gelen sonuçları Çizelge 5.2'de gösterildiği gibi gruplanmıştır. Üç PeV enerjili olayların

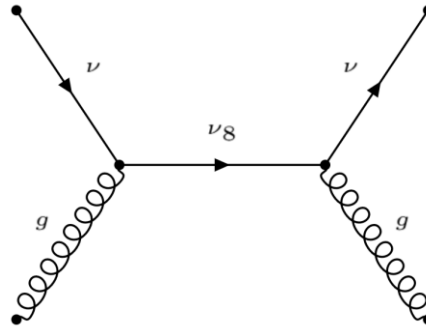
tümü (olay kimliği IceCube Collab. 2014 referansındaki 14, 20 ve 35 numaralı olaylar) duş tipi olay topolojisine sahiptir. İlk iki yılda gözlemlenen iki olay 1041_{-144}^{+132} PeV ve 1141_{-133}^{+143} PeV enerjili olaylardır. Üçüncü yılda gözlemlenen üçüncü olay 2004_{-262}^{+236} enerji değerine sahiptir.

Çizelge 5.2 IceCube verisinin üç yıllık sonuçları

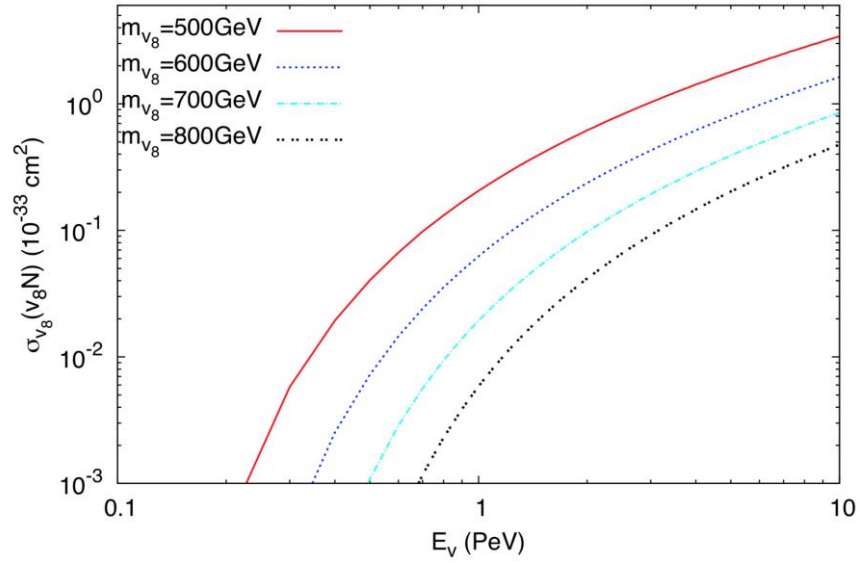
Enerji Bölgesi	Gözlemlenen Olay Sayısı	Beklenen Ardalan Olay Sayısı
30 TeV – 0.4 PeV	33	10
0.4 PeV – 1.0 PeV	0	0.2
1.0 PeV – 2.5 PeV	3	0.02
2.5 PeV – 10 PeV	0	0

5.1.2 IceCube PeV Olaylarının Kaynağı Olarak Renk Sekizlisi Nötrino

Sürece ait Feynman diyagramı Şekil 5.1’de gösterilmektedir (Akay vd. 2015). Sayısal hesaplamalar için CalcHEP (Pukhov 2004) olay üretim programını ve CTEQ6L parton dağılım fonksiyonunu kullandık. Analizde kompozitlik ölçeğini renk sekizlisi nötrinonun kütlesine eşit olduğu yaklaşımını yaptık. Şekil 5.2’de νN saçılımında ν_8 üretim tesir kesiti gösterilmektedir. Burada rezonans üretim tesir kesitinin $(\eta_L/\Lambda)^2$ ile orantılı olduğuna dikkat edilmelidir.



Şekil 5.1 Renk sekizlisi nötrino üretimi ve bozunumuna ait Feynman diyagramı



Şekil 5.2 νN saçılımında ν_8 üretim tesir kesiti

ν_8 olaylarını hesaplamak için, Şekil 5.2’de verilen tesir kesiti değerini aşırı-yüksek enerjili nötrino akısıyla evrilttik. Nötrino akısı için en iyi eğri aşağıdaki bağıntıyla verilir.

$$E^2\phi(E) = 1.5 \times 10^{-8} \left(\frac{E}{100} \text{ TeV} \right)^{-0.3} \text{ GeV cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$$

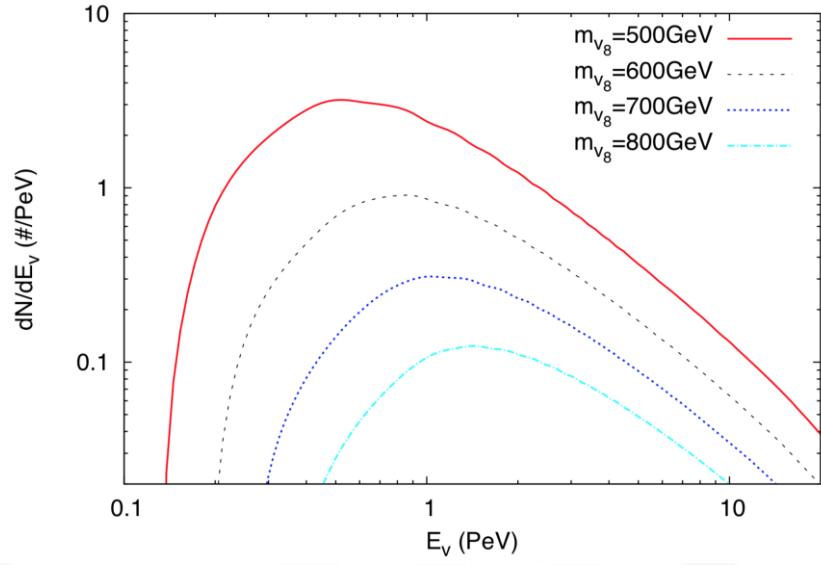
Olay sayısını hesaplamak için ise aşağıdaki bağıntı kullanılır.

$$\frac{dN_{\nu_8}}{dE_\nu} = nt\Omega\sigma_{\nu_8}\phi(E)$$

Burada $t=988$ gün (3 sıradışı olayı bu sürede gözledi), $n = 6 \times 10^{38}$ ve $\Omega=4\pi$ dir.

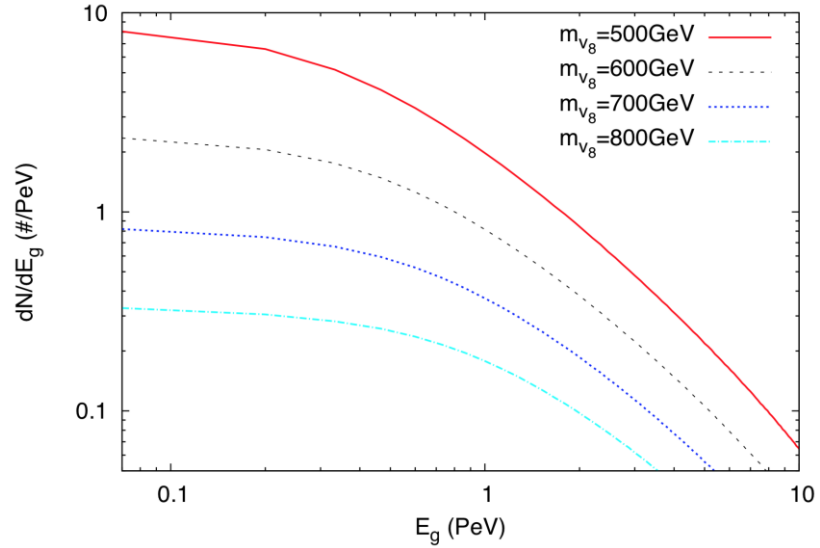
ν_8 yorumunda, PeV enerjili olayların kaynağı olabilecek 3 olası ν_8 : ν_{e8} , $\nu_{\mu 8}$ ve $\nu_{\tau 8}$ dir.

Üretim oranı dağılımı $\frac{dN_{\nu_8}}{dE_\nu}$ Şekil 5.3’te verilmiştir. Burada üç aile renk sekizlisi nötrino kütleleri birbirine eşit kabul edilmiştir.



Şekil 5.3 Kozmik nötrino akısı ile evriltilmiş ν_8 tesir kesitinden gelen üretim oranı dağılımı

ν_8 yorumlama ile ilgili olarak, aslında enerjinin önemli bir kısmı nötrino tarafından taşınır, bu nedenle görünmezdir ve IceCube duşları gluonun hadronizasyonu ile yaratılır. Bu nedenle, Şekil 5.4'te sunulan gluon oranı dağılımı, IceCube veri analizi için daha uygundur.



Şekil 5.4 Kozmik nötrino akısı ile evriltilmiş *gluon* enerji dağılımından gelen olay oranı dağılımı

Analizimizde IceCube tarafından gözlemlenen üç olayı temel nokta olarak kullanıyoruz. Daha sonra (IceCube Collab. 2014) referansında yeralan Şekil 2'den, 0.4 - 1.0 (2.5 - 10) PeV bölgeleri için 2.5 (3.5) üst olay limitlerini kullanıyoruz. Çizelge 5.3'te 1-2.5 PeV enerji bölgesi içinde gözlemlenen üç olaya normalize edilmiş farklı enerji bölgelerinde beklenen olay sayısını sunmaktayız. Son sütundaki sayılar 1-2.5 PeV bölgesinde 3 olay verecek η_L değerlerini göstermektedir. 500 ve 800 GeV arasında kütle değerleri olan renk sekizlisi nötrinolarının IceCube verilerinin doğru yorumlanmasını sağladığı, 800 GeV üzerindeki kütle değerlerinin ise 2.5 PeV'nin üzerindeki olayların fazlalığına neden olduğu görülmektedir. $\eta_L = 1$ 'e karşılık gelen kütle değeri yaklaşık 740 GeV'dir.

Çizelge 5.3 Renk sekizlisi nötrino olay sayıları

$m_{\nu g}$, GeV	0-0.4 PeV	0.4-1.0 PeV	1.0-2.5 PeV	2.5-10 PeV	η_L
500	4.8	2.3	3.0	2.4	0.4
600	3.4	2.2	3.0	2.7	0.6
700	2.4	2.0	3.0	3.0	0.9
800	1.9	1.9	3.0	3.3	1.2

5.2 IceCube Deneyinde PeV Enerjili Nötrinoların Leptoquark Yorumu Üzerine Tartışma

IceCube verilerinin ilk iki yılında gözlenen 2 adet PeV olayının Leptoquark yorumlanması Barger ve Keung tarafından yapılmıştır (Barger ve Keung 2013). İlk nesil kuarklara ve üçüncü nesil leptonlara bozunabilen $-1/3$ yüklü skaler leptoquarkın, 600 GeV civarında bir kütle ve $f_L = 1$ çiftlenimiyle verilerin doğru tanımını sağladığı gösterilmiştir. Tez çalışmasında üç yıllık verilerin sonucunda bu yorum tekrardan ele alınmıştır. Çizelge 5.3'tekine benzer şekilde üç olayı temel nokta aldık. Sonuçlar Çizelge 5.4'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.4 Leptokuark olay sayıları

$m_{\nu_{LQ}}$, GeV	0-0.4 PeV	0.4-1.0 PeV	1.0-2.5 PeV	2.5-10 PeV	f_L
500	2.5	6.4	3.0	1.2	1.0
600	0.5	3.9	3.0	1.1	1.3
700	0	2.1	3.0	1.0	1.7
800	0	1.1	3.0	0.9	2.2

Leptokuark yorumunun $m_{\nu_{LQ}}$ 'nin 650 GeV'nin altında olması durumunda, yeni IceCube verileriyle çatıştığı görülmektedir, çünkü 0.4-1 PeV enerji bölgesindeki olayların aşılmasına yol açmaktadır. 650 GeV üzerindeki kütle ile leptokuark, verilerle uyumludur, ancak bu durumda çiftlenim sabiti f_L 1.5'ten büyük olmalıdır.

IceCube deneyinde gözlemlenen PeV enerjili nötrinolar parçacık fiziği açısından da önemli sonuçlar doğurabilir. Ayrıca IceCube deneyinin kaydedeceği yeni olaylar, renk sekizlisi nötrino yorumu doğruluğunun gelecekte daha iyi bir şekilde test edilmesini sağlayacaktır.

6. SONUÇ

Standart Model (SM) deneylerle sınanmış iyi bir model olmasına rağmen sahip olduğu temel parametre ve parçacık sayısındaki fazlalıktan ötürü daha temel bir modelin/teorinin günümüzde ulaşılan enerji bölgesindeki bir tezahürü olduğu düşünülmektedir. Süregelen en temel yapıyı ortaya koymadaki tarihsel süreç de bunu destekler yöndedir. Bu tezde SM parçacıklarının daha temel temel yapı taşlarından oluştuğunu öngören preon modelleri üzerinde durulmuştur ve yeni bir minimal preon modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modelin diğer modellere göre avantajının egzotik yüklü parçacıklara sahip olmadığı gösterilmiştir.

Gelecekte kurulması olası çarpıştırıcılardan FCC ve SppC temelli enerji önephesi ep çarpıştırıcıları bu tez sırasında önerilmiş ve parametreleri belirlenmiştir.

Preon modellerin öngördüğü parçacıklardan biri olan renk sekizlisi elektronun sahip olduğumuz ve gelecekte kurulması düşünülen çarpıştırıcılarda aranması ele alınmıştır. SM ötesi araştırma kapsamında renk sekizlisi elektronların farklı çarpıştırıcılarda incelenmesi açısından bu çalışma önem teşkil etmektedir. Çizelge 6.1'de farklı çarpıştırıcılarda bir yılda toplanan ışınlık ile e_8 'in aranması üzerindeki keşif kütle limitleri verilmektedir.

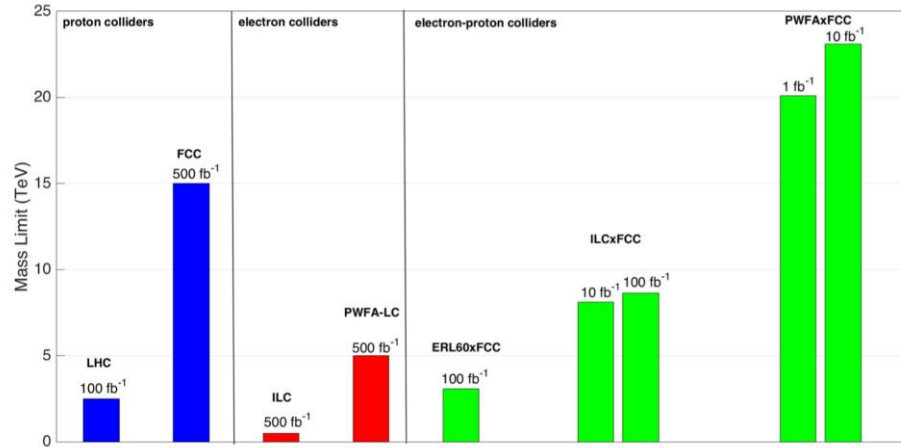
Çizelge 6.1 e_8 'in farklı çarpıştırıcılarda aranması üzerindeki keşif kütle limitleri

Çarpıştırıcı	\sqrt{s} (TeV)	L (fb ⁻¹)	Çift Üretim (TeV)	Birleştirilmiş Üretim (TeV)	Dolaylı Üretim (TeV)	Rezonans Üretim (TeV)
LHC	14	100	2.5	3.4	-	Yok
FCC	100	500	11.5	15.0	-	Yok
SppC	136	10000	23.0	31.0	-	Yok
ILC	0.5	600	~0.25	-	1.64	Yok
CLIC1	0.5	230	~0.25	-	1.60	Yok

Çizelge 6.1 e_8 'in farklı çarpıştırıcılarda aranması üzerindeki keşif kütle limitleri (devam)

CLIC2	3.0	590	~1.5	-	6.93	Yok
PWFA	10	627	~5.0	-	14.4	Yok
LHeC	1.98	1	-	-	-	1.78
ERL60⊗FCC	3.46	100	-	-	-	2.9
ILC⊗FCC	10.0	100	-	-	-	8.6
PWFA-LC⊗FCC	31.6	10	-	-	-	23.1
PWFA-LC⊗SppC	36.9	10	-	-	-	26.9

Karşılaştırma açısından kompozitlik ölçeğinin e_8 'in kütlesine eşit olduğu varsayımıyla LHC, FCC, ILC, PWFA-LC ve FCC temelli ep çarpıştırıcılarında e_8 için keşif sınırları Şekil 6.1'de özetlenmiştir.

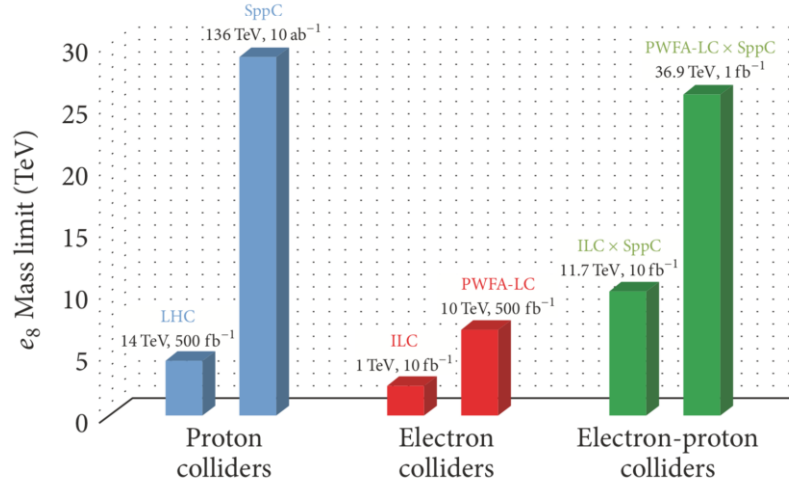


Şekil 6.1 FCC temelli çarpıştırıcılar için farklı pp, e^+e^- ve ep çarpıştırıcılarında e_8 için keşif limitleri

Burada LHC'de renk sekizlisi elektronun keşif limiti 2.5 TeV'dir. FCC için 15 TeV'lik bir keşif limiti, Salam ve Weiler tarafından geliştirilen prosedür kullanılarak LHC keşif limitinin yeniden ölçeklendirilmesiyle elde edilir. Lepton çarpıştırıcılarında e_8 çift

üretimi için keşif limitlerinin yaklaşık olarak çarpıştırıcı kütle merkezi enerjisinin yarısı kadar olduğu açıktır. FCC tabanlı ep çarpıştırıcılarının ise renk sekizlisi elektronu aramada diğer çarpıştırıcı seçeneklerine göre daha üstün oldukları görünmektedir. ILC⊗FCC'nin renk sekizlisi elektronu keşfetme potansiyeli esas olarak LHC ve lepton çarpıştırıcılarından daha büyüktür, fakat FCC'ninkinden daha düşüktür. Öte yandan, FCC tabanlı ep çarpıştırıcılarında e_8 gözlemi, bazı durumlarda birkaç yüz TeV'ye kadar kompozitlik ölçeği belirlemek için bir fırsat sağlayacaktır. Ayrıca, polarize edilmiş elektron demetleri e_8-e-g köşesinin Lorentz yapısını açıklığa kavuşturmak için bir fırsat sağlayacaktır.

Şekil 6.2'de ise yine kompozitlik ölçeğinin e_8 'in kütlesine eşit olduğu durumda LHC, SppC, ILC, PWFA-LC ve SppC temelli ep çarpıştırıcılarında keşif limitleri gösterilmiştir. En yüksek keşif limiti 31 TeV ile SppC'de birleştirilmiş üretimde olduğu görülmektedir. Fakat burada dikkat edilmelidir ki bu limit 10 ab^{-1} bir toplam ışınlık sonucunda alınmaktadır. Buna en yakın limit ise PWFA-LC⊗SppC'deki 26.9 TeV'lik keşif limitidir. Fakat burada toplam ışınlığın SppC'nin 1000'de biri olduğuna dikkat edilmelidir.



Şekil 6.2 SppC temelli çarpıştırıcılar için farklı pp, e^+e^- ve ep çarpıştırıcılarında e_8 için keşif limitleri

e_8 'in deneysel olarak analizindeki tek limit 86 GeV'lik CDF'ten alınan değerdir. Leptokuarklar CMS ve ATLAS deneyinin araştırma programlarında yer almasına

rağmen benzer son duruma sahip e_8 henüz bu deneylerin araştırma programlarına dahil değildir.

Ek bir araştırma olarak 500-800 GeV kütle aralığındaki renk sekizlisi nötrinin IceCube deneyinde gözlemlenen PeV enerjili nötrino olaylarıyla uyum sağladığı gösterilmiştir. LHC’de ve gelecekte kurulması düşünülen çarpıştırıcılarda e_8 ’in ve ν_8 ’in çarpıştırıcılardan alınan veriler ile analizi, eğer var iseler onların gerçek kütlelerini ortaya koyacaktır. Ayrıca yeni fizik ölçeğinin belirlenmesinde de önemli rol oynayacakları düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Abada, A. et al. FCC Collaboration. 2018. Future Circular Collider: Vol. 1 Physics opportunities. CERN-ACC-2018-0056.
- Abada, A. et al. FCC Collaboration. 2018. Future Circular Collider: Vol. 2 The Lepton Collider (FCC-ee). CERN-ACC-2018-0057.
- Abada, A. et al. FCC Collaboration. Future Circular Collider: Vol. 3 The Hadron Collider (FCC-hh). CERN-ACC-2018-0058.
- Abada, A. et al. FCC Collaboration. Future Circular Collider: Vol. 4 The High Energy LHC (HE-LHC). CERN-ACC-2018-0059.
- Abe, F. et al. (CDF Collaboration). 1989. Search for heavy stable charged particles in 1.8-TeV pp(bar) collisions at the fermilab collider. Phys. Rev. Lett. 63 1447.
- Abelleira Fernandez, J. L. et al. [LHeC Study Group Collaboration]. 2012. A Large Hadron Electron Collider at CERN: Report on the Physics and Design Concepts for Machine and Detector. J. Phys. G 39, 075001.
- Acar, Y. C., Kaya, U., Oner, B. B., Sultansoy, S. 2017. Color octet electron search potential of FCC based e-p colliders. Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics, 44 (4) 045005.
- Acar, Y. C., Akay, A. N., Beser, S., Canbay, A. C., Karadeniz, H., Kaya, U., Oner, B. B., Sultansoy, S. 2017. Future circular collider based lepton-hadron and photon-hadron colliders: Luminosity and Physics. NIMA, 871:47-53.
- Akay, A. N., Cakir, O., Gunaydin, Y. O., Kaya, U., Sahin, M., Sultansoy, S. 2015. New IceCube data and color octet neutrino interpretation of the PeV energy events. Int. J. Mod. Phys. A30 no.26, 1550163.
- Adli, E. et al. 2013. Design of a TeV Beam Driven Plasma Wake- Field Linear Collider. Proc. IPAC13, Shangai, China.
- Adli, E. et al. 2013. A beam driven Plasma Wake-Field Linear Collider. CSS2013, Mississippi, USA, arXiv:1308.1145.

Aeikens, E., Pas H., Pakvasa S. and Sickling P. 2015. Flavor ratios of extragalactic neutrinos and neutrino shortcuts in extra dimensions. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*. 2015, 10, 005-005.

Akay, A. N., Karadeniz, H., Sahin, M. and Sultansoy, S. 2011. Indirect search of color octet electron at next generation linear colliders. *Europhys. Lett.* 95,31001.

Akay, A. N., Kaya U. and Sultansoy S. 2014. Color octet neutrino as the source of the IceCube PeV energy neutrino events. arXiv:1402.1681 [hep-ph].

Alwall, J et al. 2007. MadGraph/MadEvent v4: The New Web Generation. *JHEP* 0709 028.

Anchordoqui, L. A. et al. 2014. Cosmic neutrino pevatrons: A brand new pathway to astronomy, astrophysics, and particle physics. *J. High Energy Astrophys.* 1–2, 1-30.

Anonymous. 2018. <https://home.cern/topics/large-hadron-collider>.
Erişim Tarihi: 15.10.2018

Anonymous. 2018a. Web Sitesi: <https://home.cern/about/accelerators>.
Erişim Tarihi: 16.10.2018

Anonymous. 2018b. Web Sitesi: <https://home.cern/science/experiments/lhcb>.
Erişim Tarihi: 03.02.2019.

Anonymous. 2018c. Web Sitesi: <https://home.cern/science/experiments/lhcf>.
Erişim Tarihi: 03.02.2019.

Anonymous. 2018d. Web Sitesi: <http://lcd.web.cern.ch/LCD/>.
Erişim Tarihi: 04.12.2018.

Anonymous. 2019. Web Sitesi: <https://home.cern/science/experiments/alice>.
Erişim Tarihi: 02.01.2019.

Anonymous. 2019a. Web Sitesi: <http://alohep.hepforge.org>.
Erişim Tarihi: 20.04.2019.

Anonymous. 2019b. Web Sitesi: <https://home.cern/science/experiments/atlas>.
Erişim Tarihi: 02.01.2019.

Anonymous. 2019c. Web Sitesi: <https://cds.cern.ch/record/2197559>
Erişim Tarihi: 10.05.2019

Anonymous. 2019d. Web Sitesi: <https://home.cern/science/experiments/cms>.
Erişim Tarihi: 03.02.2019.

Anonymous. 2019e. Web Sitesi: <https://home.cern/science/experiments/moedal>.
Erişim Tarihi: 03.02.2019.

Anonymous. 2019f. Web Sitesi: <http://root.cern.ch>.
Erişim Tarihi: 02.01.2019.

Anonymous. 2019g. Web Sitesi: <http://collider-reach.web.cern.ch/collider-reach/>.
Erişim Tarihi: 17 Mayıs 2019.

Barbieri, R., Mohapatra, R.N., Maseiro A. 1981. Compositeness and a left-right symmetric electroweak model without broken gauge interactions. *Phys. Lett. B* 105, 369-371.

Barger, V and Keung, W.-Y. 2013. Superheavy particle origin of IceCube PeV neutrino events. *Phys. Lett. B* 727, 190.

Baur, U., Streng K.H. 1985. Colored lepton mass bounds from pp collider data. *Phys. Lett. B* 162, 387-391.

Boos, E. et al, [CompHEP Collaboration], 2004. CompHEP 4.4: Automatic computations from Lagrangians to events. *Nucl. Instrum. Meth. A* 534 250.

Canbay, A. C., Kaya, U., Ketenoglu, B., Oner, B. B., Sultansoy, S. 2017. SppC Based Energy Frontier Lepton-Proton Colliders: Luminosity and Physics. *Advances in High Energy Physics*, Volume 2017 Article ID 4021493.

- Celikel, A., Kantar, M., Sultansoy S. 1988. A search for sextet quarks and leptogluons at the LHC. *Phys. Lett. B* 443, 359-364.
- CEPC-SPPC, Preliminary Conceptual Design Report, IHEP-CEPC-DR-2015-01.
- Chen, C.-Y., Dev, P. S. B. and Soni, A. 2014. Standard model explanation of the ultrahigh energy neutrino events at IceCube. *Phys. Rev. D* 89, 033012.
- Chen, C.-Y., Dev P. S. B. and Soni A. 2015. Two-component flux explanation for the high energy neutrino events at IceCube. *Phys. Rev. D* 92, 073001.
- CLIC CDR. 2012. A Multi-TeV linear collider based on CLIC technology: CLIC Conceptual Design Report. CERN-2012-007.
- Corneliussen, S. T. and Carlton, L. 1993. 19 Evolution of Hadron Beams under Intrabeam Scattering. *Proceedings of 1993 Particle Accelerator Conference, 1993 (Washington, DC, USA)*, p. 3653.
- D' Souza, I.A., Kalman, C.S. 1992. PREONS: Models of leptons, quarks and gauge bosons as composite objects. World Scientific, 1992.
- Dutta, B., Gao, Y., Li, T., Rott, C. and Strigari, L. E. 2015. Leptoquark implication from the CMS and IceCube experiments. *Phys. Rev. D* 91, 125015.
- Elbaz, E. 1986. Quark and lepton generation in the geometrical rishon model. *Phys. Rev. D* 34, 1612-1618.
- Ellis, J. 2001. New physics with the Compact Linear Collider. *Nature* 409, 431–435.
- Ema, Y., Jinno, R and Moroi, T. 2014. Cosmic-ray neutrinos from the decay of long-lived particle and the recent IceCube result. *Phys. Lett. B* 733, 120.
- Enkhbat, T. 2014, Scalar leptoquarks and Higgs pair production at the LHC. *JHEP* 1401 158.
- Friedman, J.I., Kendall, H.W. 1972. Deep Inelastic Electron Scattering. *Annu. Rev. Nucl. Sci.*, Vol. 22:203-254.

- Fritzsch, H., Mandelbaum G. 1981. Weak interactions as manifestations of the substructure of leptons and quarks. *Phys. Lett. B* 102, 319-322.
- Gonçalves-Netto, D., López-Val, D., Mawatari, K., Wigmore, I., Plehn T. 2013. Looking for leptogluons. *Phys. Rev. D* 87, 094023.
- Greenberg, O.W., Sucher, J. 1981. A quantum structuredynamic model of quarks, leptons, weak vector bosons and Higgs mesons. *Phys. Lett. B* 99, 339-343.
- Han, T., Lewis, I., Liu, Z. 2010. Colored Resonant Signals at the LHC: Largest Rate and Simplest Topology. *JHEP* 1012 085.
- Harari, H. 1979 A schematic model of quarks and leptons. *Phys. Lett. B* 86, 83-86.
- Harari, H. and Seiberg, N. 1982. The rishon model. *Nuclear Physics B*, 204, 141-167.
- Hewett, J. L. and Rizzo, T. G. 1997. Much ado about leptoquarks: A comprehensive analysis. *Phys. Rev. D* 56, 5709.
- Hofstadter, R., McAllister, R.W. 1955. Electron Scattering from the Proton. *Phys. Rev.*, 98, p. 217.
- IceCube Collab. (M. G. Aartsen et al.) 2013. First Observation of PeV-Energy Neutrinos with IceCube. *Phys. Rev. Lett.* 111, 021103.
- ILC Technical Design Report: Volume 3, Part II, J-P. Delahaye, et al. 2014. Proceedings of the Fifth International Particle Accelerator Conference, Dresden, Germany, p. 3791.
- Illana, J. I., Masip, M. and Meloni, D. 2015. A new physics interpretation of the IceCube data. *Astropart. Phys.* 65, 64.
- Joshiyura, A. S., Mohanty, S. and Pakvasa, S. 2014. Pseudo-Dirac neutrinos via a mirror world and depletion of ultrahigh energy neutrinos. *Phys. Rev. D* 89, 033003.
- Karabacak, D., Nandi, S., Rai, S. K. 2012. Diquark resonance and single top production at the Large Hadron Collider. *Phys.Rev. D* 85 075011.

- Katz, U., Klein, M., Levy, A., and Schlenstedt, S. 2001. *The THERA Books*, DESY-LC-REV-2001-062.
- Kaya, U., Oner, B. B., Sultansoy, S. 2018. A Minimal Fermiyon-Scalar Preonic Model. *Turk J Phys*, 42:235-241.
- Kohda, M., Sugiyama, H., Tsumura, K. 2013. Lepton number violation at the LHC with leptoquark and diquark. *Phys.Lett. B*718 1436-1440.
- Kramer, S., Çiğ, Uygarlığın Kökeni Sumerliler-1, s. 53; Kramer, Sümerler, s. 152-153; Samuel Noah Kramer, Sümer Mitolojisi, Çev., Hamide Koyukan, İstanbul 2001, s. 12-13.
- Liu, Z. L., Li, C. S., Wang, Y., Zhan, Y. C., Li, H. T. 2014. Transverse momentum resummation for color sextet and antitriplet scalar production at the LHC. *Eur. Phys. J. C*74 2771.
- Mandal, T. ve Mitra, S. 2013. Probing Color Octet Electrons at the LHC, *Phys. Rev. D*87 9, 095008.
- Pati, J.C., and Salam, A. 1974. Lepton number as the fourth "color". *Phys. Rev. D* 10, 275- 289.
- Pati, J. C., Salam, A. 1983. Supersymmetry at the preonic or pre-preonic level and composite supergravity. *Nucl. Phys. B* 214, 109-135.
- Pukhov, A. 2004. CalcHEP 2.3: MSSM, structure functions, event generation, batches, and generation of matrix elements for other packages. arXiv: hep-ph/0412191v2.
- Pumplin, J., Stump, D. R., Huston, J., Lai, H-L., Nadolsky, P. and Tung, W-K. 2002. New Generation of Parton Distributions with Uncertainties from Global QCD Analysis. *J. High Energy Phys.* 07, 012.
- Richardson, P., Winn, D. 2012. Simulation of Sextet Diquark Production. *Eur.Phys.J. C*72 1862.
- Sahin, M., Sultansoy, S., Turkoz, S. 2010. Resonant Production of Color Octet Electron at the LHeC, *Phys. Lett. B*689, 172-176.

Shupe, M. A. 1979. A Composite Model of Leptons and Quarks. Phys. Lett. B 86, 87-92.

Sjöstrand, T., Mrenna, S., and Skands, P. Z. 2006. PYTHIA 6.4 Physics and Manual. J. High Energy Phys. 05, 026.

Stump, J., Huston, J., Pumplin, J., Tung, W-K., Lai, H-L., Kuhlmann, S. and Owens, J-F. 2003. Inclusive jet production, parton distributions, and the search for new physics. J. High Energy Phys. 03010, 046.

Tanabashi M. et al. 2018. Review of Particle Physics. Phys. Rev. D 98, 030001.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ümit KAYA
Doğum Yeri : Ankara
Doğum Tarihi : 13/02/1985
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Eryaman Lisesi (2001)
Lisans : Selçuk Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Fizik Öğretmenliği Bölümü
(2008)
Yüksek Lisans : Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı
(2012)

YAYINLAR

SCI (Bilim Atıf Endeksi)

Acar, Y. C., **Kaya, U.**, Oner, B. B., “Resonant production of color octet muons at Future Circular Collider-based muon-proton colliders”, Chin. Phys. C42 (2018), 4,045005.

Acar, Y. C., Akay, A. N., Beser, S., Canbay, A. C., Karadeniz, H., **Kaya, U.**, Oner, B. B., Sultansoy, S., “Future circular collider based lepton–hadron and photon–hadron colliders: Luminosity and Physics”, NIMA, 871:47-53, 2017, DOI: 10.1016/j.nima.2017.07.041

Canbay, A. C., **Kaya, U.**, Ketenoglu, B., Oner, B. B., Sultansoy, S., SppC Based Energy Frontier Lepton-Proton Colliders: Luminosity and Physics, Advances in High Energy Physics, Volume 2017 (2017), Article ID 4021493. DOI: 10.1155/2017/4021493

Acar, Y. C., **Kaya, U.**, Oner, B. B., Sultansoy, S., Color octet electron search potential of FCC based e–p colliders, Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics, 44 (4) (2017) 045005. DOI: 10.1088/1361-6471/aa5f7a

Akay, A. N., Cakir, O., Gunaydin, Y. O., **Kaya, U.**, Sahin, M., Sultansoy, S., New IceCube data and color octet neutrino interpretation of the PeV energy events, Int. J. Mod. Phys. A30 (2015) no.26, 1550163. DOI: 10.1142/S0217751X15501638

ULUSAL YAYIN

Kaya, U., Oner, B. B., Sultansoy, S., “A Minimal Fermiyon-Scalar Preonic Model”, Turk J Phys, 42:235-241, 2018, DOI: 10.3906/fiz-1710-28

Kaya, U., Ketenoglu, B. and Sultansoy, S., “The LHeC Project: e-Ring Revisited”, Science 13 (2018) 173-178, DOI: 10.29233/sdufeffd.468814

ULUSLARARASI SUNUM

Kaya, U., vd., Indirect Search for Color Octet Electron at PWFA-LC, TFD 34, Bodrum.

Web Sitesi: <http://www.tfd.com.tr/arsiv/TFD/34/> Erişim Tarihi: 27.05.2019

Kaya, U., vd., A prototype component of an electron beam welding machine: 20kV electron gun, TFD 34, Bodrum. Web Sitesi: <http://www.tfd.com.tr/arsiv/TFD/34/> Erişim Tarihi: 27.05.2019

Kaya, U., vd., COLOR OCTET ELECTRON SEARCH POTENTIAL AT THE LHC AND FUTURE MULTI TEV SCALE COLLIDERS, TFD 33, Bodrum, Web Sitesi: <http://www.tfd.com.tr/arsiv/TFD/33/tfd33.turkfizikdermegi.org/wp-content/uploads/2017/program/TFD33-program.pdf>, Erişim Tarihi: 27.05.2019

Kaya, U., vd., Color Octet Electrons at FCC-hh, CLIC, FCC-he, FCC Physics, Detector and Accelerator Workshop, Istanbul, Web Sitesi: <https://indico.cern.ch/event/405973/timetable/#20160312> Erişim Tarihi: 27.05.2019

ULUSAL SUNUM

Kaya, U., “Enerji Öncephesi Çarpıştırıcıların Renk Sekizlisi Elektron Araştırma Potansiyelleri”, 2018, Maddenin Yeni Yapı Düzeyi: PREONLAR Çalıştay, ANKARA, Web Sitesi:

https://indico.cern.ch/event/680611/contributions/2788440/attachments/1613347/2562717/e8_energy_frontier.pdf Erişim Tarihi: 27.05.2019

Kaya, U., “IceCube Deneyinde Gözlemlenen PeV Enerjili Olayların Renk Sekizlisi Nötrino Yorumu”, 2018, Maddenin Yeni Yapı Düzeyi: PREONLAR Çalıştay, ANKARA, Web Sitesi:

https://indico.cern.ch/event/680611/contributions/2788446/attachments/1614209/2564641/nu8_icecube.pdf Erişim Tarihi: 27.05.2019

Kaya, U., “Majorana Neutrino and WR at TeV scale ep Colliders”, Ankara High Energy Physics Days 2014, Ankara University-METU, Ankara, Turkey

Kaya, U., “Hadron Therapy”, National Proton Accelerator Workshop 2013, Ankara, Turkey.

Kaya, U., “ADS and TORIUM”, Thorium Energy Conference, ThEC’13 2013, CERN, Switzerland.

PROJELER

TUBİTAK 1001: 114F337, “Maddenin Muhtemel Yeni Yapı Düzeyinin TeV Enerjili Çarpıştırıcılarda Aranması”, Bursiyer (2015-2018).

TUBİTAK 1005: 117F462, “Endüstriyel Uygulamalara Uygun Elektron Tabancası ve Elektron Kaynaklama Cihazı Tasarımı ve Üretimi”, Bursiyer (2018-2019).

TAEK, ATLAS ve LHeC projeleri, Araştırmacı.