



T.C.

KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK İŞINLIKLI VE YÜKSEK-ENERJİLİ BÜYÜK HADRON
ÇARPIŞTIRICILARINDA SPİN-1/2 UYARILMIŞ KUARKIN
İKİ-JET SON DURUMUNDA ARAŞTIRILMASI**



LEYLA AYDIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2021

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK İŞINLIKLI VE YÜKSEK ENERJİLİ BÜYÜK HADRON
ÇARPIŞTIRICILARINDA SPİN-1/2 UYARILMIŞ KUARKIN İKİ-JET SON
DURUMUNDA ARAŞTIRILMASI

LEYLA AYDIN

Bu tez,
Fizik Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2021

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Leyla Aydın



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

**YÜKSEK IŞINLIKLI VE YÜKSEK ENERJİLİ BÜYÜK HADRON
ÇARPIŞTIRICILARINDA SPİN-1/2 UYARILMIŞ KUARKIN İKİ-JET SON
DURUMUNDA ARAŞTIRILMASI
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

LEYLA AYDIN

ÖZET

Higgs bozonunun bulunması ile tamamlanan Standart Model (SM), madde-karşıt madde asimetrisi, karanlık madde, karanlık enerji, hiyerarşi sorunu, fermiyonik ailelerin tekrarlanması ve nötrino salınımları gibi hala açıklayamadığı bir çok soru vardır. Standart Model Ötesi (SMÖ) teoriler bu sorulara çözüm üretme amacındadır ve bunlardan biri de preonik modeller bir başka deyişle kompozitliklerdir. Kompozitlikle ilgili, CERN'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda araştırmalar yapılmaktadır. Bu çarpıştırıcıdaki CMS ve ATLAS deneylerindeki fizikçiler, kompozitliğin doğrudan bir ispatını ortaya koyması beklenen uyarılmış kuarkın keşfine yönelik büyük bir gayret içerisindedirler. Son olarak, 13 TeV'lik kütle merkezi enerjisi ve 140 fb^{-1} toplam ışınlık değeri ile uyarılmış kuark iki-jet son durumu için 6.7 TeV'lik deneysel bir dışarlama limiti getirilmiştir. BHC'daki bu deneyler 2023 yılının sonuna doğru veri alımının sonuna gelecektir. Bu aşamadan sonra CERN'de devreye sokulması planlanan iki yeni çarpıştırıcı projesi vardır. Bunlar, sırasıyla, 14 TeV kütle merkezi enerji ve yıllık toplam 350 fb^{-1} ışınlık değeri ile Yüksek Işınlıklı-Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (YI-BHC) ve 27 TeV kütle merkezi enerjisi ve yıllık toplam 750 fb^{-1} ışınlık değeri ile Yüksek Enerjili-Büyük Hadron Çarpıştırıcısıdır (YE-BHC). Bu çarpıştırıcılardan ilki için 2020'lerin sonundan itibaren 10 yıllık, ikincisi için ise 2030'lu yılların sonundan itibaren 20 yıllık bir çalışma süresi öngörülmektedir. Her iki çarpıştırıcının da SMÖ teorilerin testinde önemli bir rol oynaması kaçınılmazdır. Haliyle uyarılmış kuarkların araştırılmasını daha ileri bir seviyeye çekecekleri de aşıkardır. Bu çalışmada, her iki çarpıştırıcının temel parametreleri kullanılarak uyarılmış kuarkın iki-jet son durumundaki ulaşılabilir kütle sınırları ve kompozitlik ölçeği muhtemel aralığı, keşif (5σ), gözlem (3σ) ve dışarlama (2σ) değerlerinin CalcHEP simülasyon programı ile hesaplanması ile belirlenmiştir. YI-BHC'nda 10 yıllık YE-BHC'nda 20 yıllık çalışma sürelerinin sonunda, kompozitlik ölçeği değerinin uyarılmış kuarkın kütlesine eşit alındığı durumda, uyarılmış kuarkın iki-jet son durumundaki keşif, gözlem ve dışarlama sınırları sırasıyla 8.1, 8.4 ve 8.7 TeV ve 14.8, 15.5 ve 16 TeV olarak hesaplanmıştır. Yine bu çarpıştırıcılardaki kompozitlik ölçeği taramasında bu parametrenin sırasıyla yaklaşık 9 ile 95 TeV ve 11 ile 3200 TeV aralığında bulunabileceği hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: parçacık fenomenolojisi, uyarılmış kuark, YI-BHC, YE-BHC, iki-jet, kompozit yapılar.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Ocak/2021

Danışman: Doç.Dr. Yusuf Oğuzhan GÜNAYDIN

Sayfa Sayısı: 66

A SEARCH FOR SPIN 1/2 EXCITED QUARK WITH DI-JET FINAL STATE AT HIGH-LUMINOSITY AND HIGH-ENERGY LARGE HADRON COLLIDERS

(M.Sc. THESIS)

LEYLA AYDIN

ABSTRACT

There are many questions that the Standard Model, complete with the discovery of the Higgs boson, still cannot explain such as matter-antimatter asymmetry, dark matter, dark energy, the problem of hierarchy, repetition of fermionic families, neutrino oscillations, and so on. Beyond the Standard Model (BSM) theories aim to solve these questions and one of them is preonic models, in other words, compositeness. Physicists in the CMS and ATLAS experiments at CERN are in a great effort towards the discovery of the excited quark, which is supposed to provide direct proof of compositeness. An experimental exclusion limit of 6.7 TeV was introduced for the excited quark with di-jet final state with a center of mass energy of 14 TeV and an integrated luminosity value of 140 fb^{-1} , ultimately. These experiments in the LHC will come to the end of data acquisition towards the end of 2023. After this phase, there are two new collider projects planned to be constructed at CERN. These are the High Luminosity-Large Hadron Collider (HL-LHC) with a 14 TeV center of mass energy and an integrated luminosity value of 350 fb^{-1} per year and the High Energy-Large Hadron Collider (HE-LHC) with a 27 TeV center of mass energy and an integrated luminosity value of 750 fb^{-1} per year. For the first of these colliders, a 10-year operating period is envisaged from the end of the 2020s, and for the second, a 20-year operating period from the end of the 2030s. It is inevitable that both colliders play an important role in testing BSM theories, and it is obvious that they will further the search for excited quarks. In this study, the attainable mass limits and compositeness scale probable range of the excited quark with the di-jet final state using the fundamental parameters of both colliders, in a manner of discovery (5σ), observation (3σ), and exclusion (2σ) values calculated by CalcHEP simulation program. At the end of 10 years for HL-LHC and 20 years for HE-LHC, when the composite scale value is taken equal to the mass of the excited quark, the discovery, observation, and exclusion limits of the excited quark with the di-jet final state are calculated as 8.1, 8.4 and 8.7 TeV and 14.8, 15.5 and 16 TeV, respectively. Again, in the search of the compositeness scale in these colliders, it has been calculated that this parameter can be found in the range of approximately 9 to 95 TeV and 11 to 3200 TeV, respectively.

Keywords: particle phenomenology, excited quark, HL-LHC, HE-LHC, di-jet, composite structures.

Kahramanmaraş Sutcu Imam University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics, January/2021

Supervisor: Assoc. Prof. Yusuf Oğuzhan GÜNAYDIN

Page number: 66

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın oluőturulmasında bŸyŸk emek sarf eden, sŸre boyunca her tŸrlŸ gayret ve çabayı esirgemeyen danıőmanım Doç.Dr. Yusuf Oğuzhan GŸNAYDIN'a bŸtŸn samimiyetimle teőekkŸr ederim. Tez çalıőmam boyunca manevi desteklerini eksik etmeyen ve beni yılmadan çalıőmaya teővik eden sevgili anneme ve kardeőlerime bŸtŸn içtenliğimle teőekkŸr ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. STANDART MODEL ve STANDART MODEL ÖTESİ TEORİLER	4
2.1 Standart Model	4
2.1.1 Fermiyonlar	5
2.1.2 Bozonlar	7
2.2 Standart Model Ötesi (SMÖ) Teoriler	8
2.2.1 Kompozit Modeller	9
3. YÜKSEK IŞINLIKLILIK ve YÜKSEK ENERJİLİ BÜYÜK HADRON ÇARPIŞTIRICISI 10	10
3.1 Büyük Hadron Çarpıştırıcısı	10
3.2 Işınlık	11
3.3 Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı	12
3.4 Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı	14
4. YÖNTEM VE ANALİZLER	16
4.1 CalcHEP Benzetim Yazılımı	16
4.2 Kompozitlik Ölçeği	17
4.3 Kütle Merkezi Enerjisi	17
4.4 Spin-1/2 Uyarılmış Kuark Etkileşim Lagranjyen	18
4.5 Bozunum Genişliği	19
4.6 Tesir Kesiti	22
4.7 İstatistiki Önem Hesabı	28
4.8 Enine Momentum, Psedö-rapidity ve Değişmez Kütle	29
4.9 Sinyal-Ardalan Çözümlemesi	32
5. SONUÇ VE BULGULAR	40
KAYNAKLAR	54
EKLER	58
EK-1.	59
ÖZGEÇMİŞ	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Standart Model parçacıkları ve taşıyıcı bozonlar.	4
Şekil 3.1. CERN ve Büyük Hadron Çarpıştırıcısının üstten temsili gösterimi.	10
Şekil 4.1. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\Lambda = 14$ TeV, $\Lambda = m_{u^*}$ kompozitlik ölçeklerinde ve $\sqrt{s} = 14$ TeV'de uyarılmış u kuark için bozunum genişliği grafikleri.	21
Şekil 4.2. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\Lambda = 14$ TeV, $\Lambda = m_{d^*}$ kompozitlik ölçeklerinde ve $\sqrt{s} = 14$ TeV'de uyarılmış d kuark için bozunum genişliği grafikleri.	22
Şekil 4.3. Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\Lambda = 27$ TeV, $\Lambda = m_{u^*}$ kompozitlik ölçeklerinde ve $\sqrt{s} = 27$ TeV'de uyarılmış u kuark için bozunum genişliği grafikleri.	22
Şekil 4.4. Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\Lambda = 27$ TeV, $\Lambda = m_{d^*}$ kompozitlik ölçeklerinde ve $\sqrt{s} = 27$ TeV'de uyarılmış d kuark için bozunum genişliği grafikleri.	22
Şekil 4.5. $proton - proton$ çarpıştırıcılarda doğrudan ve dolaylı üretim için sinyal sürecinin Feynman diyagramı.	24
Şekil 4.6. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı için $\Lambda = 14$ TeV ve $\sqrt{s} = 14$ TeV'de uyarılmış u kuark, d kuark ve q kuark için tesir kesiti grafikleri.	26
Şekil 4.7. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı için $\Lambda = m_{Q^*}$ ve $\sqrt{s} = 14$ TeV'de uyarılmış u kuark, d kuark ve q kuark için tesir kesiti grafikleri.	26
Şekil 4.8. Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı için $\Lambda = 27$ TeV ve $\sqrt{s} = 27$ TeV'de uyarılmış u kuark, d kuark ve q kuark için tesir kesiti grafikleri.	27
Şekil 4.9. Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı için $\Lambda = m_{Q^*}$ ve $\sqrt{s} = 27$ TeV'de uyarılmış u kuark, d kuark ve q kuark için tesir kesiti grafikleri.	27
Şekil 4.10. (η) 'nin kutup açısına bağlı değerleri.	30
Şekil 4.11. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda ($\sqrt{s} = 14$ TeV) kompozitlik ölçeğinin 14 TeV (sol panel) değerine eşit ve uyarılmış kuarkın kütesine eşit alındığı durumlardaki (sağ panel) u^* (üst sıra) ile q^* (alt sıra) için enine momentum dağılımları.	34

Şekil 4.12.	Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda ($\sqrt{s} = 27$ TeV) kompozitlik ölçeğinin 27 TeV (sol panel) değerine eşit ve uyarılmış kuarkın kütesine eşit alındığı durumlardaki (sağ panel) d^* (üst sıra), u^* (orta sıra) ile q^* (alt sıra) için enine momentum dağılımları.	35
Şekil 4.13.	Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda ($\sqrt{s} = 14$ TeV) kompozitlik ölçeğinin 14 TeV (sol panel) değerine eşit ve uyarılmış kuarkın kütesine eşit alındığı durumlardaki (sağ panel) u^* (üst sıra) ile q^* (alt sıra) için psedö-rapidity dağılımları.	36
Şekil 4.14.	Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda ($\sqrt{s} = 27$ TeV) kompozitlik ölçeğinin 27 TeV (sol panel) değerine eşit ve uyarılmış kuarkın kütesine eşit alındığı durumlardaki (sağ panel) d^* (üst sıra), u^* (orta sıra) ile q^* (alt sıra) için psedö-rapidity dağılımları.	37
Şekil 4.15.	Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda ($\sqrt{s} = 14$ TeV) kompozitlik ölçeğinin 14 TeV (sol panel) değerine eşit ve uyarılmış kuarkın kütesine eşit alındığı durumlardaki (sağ panel) u^* (üst sıra) ile q^* (alt sıra) için değişmez kütle dağılımları.	38
Şekil 4.16.	Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda ($\sqrt{s} = 27$ TeV) kompozitlik ölçeğinin 27 TeV (sol panel) değerine eşit ve uyarılmış kuarkın kütesine eşit alındığı durumlardaki (sağ panel) d^* (üst sıra), u^* (orta sıra) ile q^* (alt sıra) için değişmez kütle dağılımları.	39
Şekil 5.1.	Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\Lambda = 14$ TeV, $\Lambda = m_{u^*}$ kompozitlik ölçeği ve $\sqrt{s} = 14$ TeV kütle merkezi enerjisinde, toplam ışınığa karşılık gelen, uyarılmış u kuark için ulaşılabilir kütle değerleri grafikleri.	42
Şekil 5.2.	Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda, $\Lambda = 14$ TeV, $\Lambda = m_{q^*}$ kompozitlik ölçeği ve $\sqrt{s} = 14$ TeV kütle merkezi enerjisinde, ışınığa (\mathcal{L}_{top}) karşılık gelen, uyarılmış q kuark için ulaşılabilir kütle (m_{q^*}) değerleri grafikleri.	43
Şekil 5.3.	Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\Lambda = 27$ TeV, $\Lambda = m_{d^*}$ kompozitlik ölçeği ve $\sqrt{s} = 27$ TeV için yıllık toplam ışınığa karşılık gelen, uyarılmış d kuark için ulaşılabilir kütle değerleri grafiği.	47
Şekil 5.4.	Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\Lambda = 27$ TeV, $\Lambda = m_{u^*}$ kompozitlik ölçeği ve $\sqrt{s} = 27$ TeV için yıllık toplam ışınığa karşılık gelen, uyarılmış u kuark için ulaşılabilir kütle değerleri grafiği.	48
Şekil 5.5.	Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\Lambda = 27$ TeV, $\Lambda = m_{q^*}$ kompozitlik ölçeği ve $\sqrt{s} = 27$ TeV için yıllık toplam ışınığa karşılık gelen, uyarılmış q kuark için ulaşılabilir kütle değerleri grafiği.	49
Şekil 5.6.	Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda u^* ve q^* kütesine bağlı ulaşılabilir kompozitlik ölçeği grafiği.	51
Şekil 5.7.	Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda d^* , u^* ve q^* kütesine bağlı ulaşılabilir kompozitlik ölçeği grafiği.	53

Şekil EK-1.1. Terminalden Calcchep programına giriş yaparak <i>./calchep</i> komutu ile programın çalıştırılması.	59
Şekil EK-1.2. CalcHEP 3.6.23/models dizini içerisinde yüklü <i>q3-quark</i> modelinin seçimi.	59
Şekil EK-1.3. Süreç tanımlaması için <i>Force Unit.Gauge=ON</i> konumuna getirilmesi ve <i>Enter Process</i> butonunun seçilmesi.	60
Şekil EK-1.4. p^* , $p^* \rightarrow j$, j kanalı için parçacık tanımlamaları yapılması ve kompozit p parçacığı için olası tanımlı parçacıklar $u, U, d, D, c, C, s, S, b, B, G$ ve jet için u tanımlanması.	60
Şekil EK-1.5. $p^* \rightarrow j$, j için tanımlanan Feynman diyagramları için <i>View Diagrams</i> butonunun seçilmesi.	60
Şekil EK-1.6. p^* , $p^* \rightarrow j$, j için belirlenen Feynman diyagramlarının alt süreçlerinin gösterimi.	61
Şekil EK-1.7. p^* , $p^* \rightarrow j$, j için belirlenen Feynman diyagramlarının gösterimi.	61
Şekil EK-1.8. Hesaplamalarda belirlenecek değerlerin girilmesi için <i>Symbolic Calculations</i> seçimi.	61
Şekil EK-1.9. Derleyici için <i>C-Compiler</i> seçimi.	62
Şekil EK-1.10.Durum belirlenmesi için <i>IN state</i> seçimi.	62
Şekil EK-1.11.CTEQ6L parton dağılımı fonksiyonu ve parçacık momentum değerlerinin belirlenmesi.	62
Şekil EK-1.12.Kompozitlik ölçeği (Λ) ve uyarılmış kuark kütle değerlerinin girilmesi.	63
Şekil EK-1.13.Tarama yapılacak uyarılmış kuark için <i>Q</i> faktörünün belirlenmesi.	63
Şekil EK-1.14. <i>nSess</i> ve <i>nCalls</i> değerlerinin girilmesi.	63
Şekil EK-1.15. <i>Start Integration</i> seçilerek sürecin tamamlanması.	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Standart Model Leptonları	5
Çizelge 2.2. Standart Model Kuarkları	6
Çizelge 2.3. Bazı baryonlara ait özellikler.	6
Çizelge 2.4. Bazı mezonlara ait özellikler.	7
Çizelge 2.5. Taşıyıcı Parçacıklar	8
Çizelge 3.1. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı ile Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın temel parametrelerinin karşılaştırılması.	13
Çizelge 3.2. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı ile Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın temel parametrelerinin karşılaştırılması.	15
Çizelge 4.1. Uyarılmış u kuark ve d kuark için bozunma kanalları ve bunlara karşılık gelen bozunum genişliği denklemleri.	20
Çizelge 4.2. Basitleştirilmiş sigma dönüştürme tablosu.	28
Çizelge 5.1. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\Lambda = 14$ TeV kompozitlik ölçeğine ve $\sqrt{s} = 14$ TeV kütle merkezi enerjisine sahip, en düşük ve en yüksek yıllık toplam ışınım değerine göre u^* ve q^* 'ın dışarlama (2σ), gözlem (3σ) ve keşif (5σ) limit değerleri.	40
Çizelge 5.2. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\Lambda = m_{u^*}$, $\Lambda = m_{q^*}$ kompozitlik ölçeğine ve $\sqrt{s} = 14$ TeV kütle merkezi enerjisine sahip, en düşük ve en yüksek yıllık toplam ışınım değerine göre u^* ve q^* 'ın dışarlama (2σ), gözlem (3σ) ve keşif (5σ) limit değerleri.	41
Çizelge 5.3. Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\Lambda = 27$ TeV kompozitlik ölçeği ve $\sqrt{s} = 27$ TeV kütle merkezi enerjisine sahip en düşük ve en yüksek yıllık toplam ışınım değerine göre d^* , u^* ve q^* 'ın dışarlama (2σ), gözlem (3σ) ve keşif (5σ) limit değerleri.	44
Çizelge 5.4. YE-BHÇ'de $\Lambda = m_{d^*}$, $\Lambda = m_{u^*}$ ve $\Lambda = m_{q^*}$ kompozitlik ölçeğine sahip en düşük ve en yüksek yıllık toplam ışınım değerine göre d^* , u^* ve q^* 'ın dışarlama (2σ), gözlem (3σ) ve keşif (5σ) limit değerleri.	44
Çizelge 5.5. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\sqrt{s} = 14$ TeV kütle merkezi enerjisinde 3500 fb^{-1} ışınım değeri için belirli kütle miktarlarına karşılık gelen kompozitlik ölçeği değerleri.	50
Çizelge 5.6. Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\sqrt{s} = 27$ TeV kütle merkezi enerjisinde 15000 fb^{-1} ışınım değeri için belirli kütle miktarlarına karşılık gelen anlamlılık değerleri.	52

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

CERN	: Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
BHÇ	: Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
YL-BHÇ	: Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
YE-BHÇ	: Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
SM	: Standart Model
SMÖ	: Standart Model Ötesi
KM	: Kütle Merkezi
GeV	: Giga Elektronvolt
TeV	: Tera Elektronvolt
fb	: Femtobarn
d^*	: Uyarılmış d kuark
u^*	: Uyarılmış u kuark
q^*	: Uyarılmış q kuark
Q^*	: Uyarılmış d, u, q kuark
Λ	: Kompozitlik Ölçeği
\mathcal{L}	: Işınlık
\mathcal{L}_{top}	: Toplam Işınlık
σ	: Tesir Kesiti
\sqrt{s}	: Kütle Merkezi Enerjisi
Γ	: Bozunum Genişliği
τ	: Yarı Ömür
P	: Momentum
P_T	: Enine Momentum

- η : Pseudo-rapidity
- ϕ : Azimut Açısı
- \mathbf{m} : Kütle
- \mathbf{m}_{d^*} : Uyarılmış d kuark kütlesi
- \mathbf{m}_{u^*} : Uyarılmış u kuark kütlesi
- \mathbf{m}_{q^*} : Uyarılmış q kuark kütlesi
- \mathbf{E} : Enerji
- \mathbf{E}_{KM} : Kütle Merkezi Enerjisi
- $\Delta\mathbf{R}$: Konik Açısı
- 2σ : İstatistiki Dışarlama Limiti
- 3σ : İstatistiki Gözlem Limiti
- 5σ : İstatistiki Keşif Limiti

1. GİRİŞ

İnsanın "gerçekte var olanı" bilme arzusu ve çabası geçmişten günümüze, tarih boyunca farklı kavramlar ve konular etrafında olsa da hiç ara vermeden, farklı coğrafyalardan ve dimağlardan aktarılarak günümüze ulaşmıştır. Varoluş ile ilgili en temel sorulardan bir tanesi; "üzerinde yaşadığımız dünya ve bu dünya içinde bulunduğu evreni oluşturan temel yapı nedir?" sorusudur. "En temel nedir?" sorusuna başlangıçta, toprak, hava, su, ateş cevabını veren insanoğlu zamanla bu sınıflandırmayı daha ayrıntılı ele alarak maddeyi çeşitli sınıflandırmalar altında tanımlamaya başlamıştır.

19. yüzyılda Mendeleev'in kimyasal elementleri belli bir yöntemle göre tasnif ederek standart bir tablo çıkarması gibi 20. yüzyılda atom altı parçacıkların yükleri, ömürleri, spinleri, kararlılıkları gibi özellikleri göz önüne alınarak sınıflandırma yapılmış ve bir standart model ortaya çıkmıştır. Bu modelin genel çerçevesini oluşturan iki ana unsur varlık vardır, bunlar; kuvvetler ve parçacıklar şeklindedir. Dört temel kuvvet tarafından yönetilen maddenin temel yapıtaşlarının nasıl etkileşime girdiğini açıklayan bu model için, şu ana kadar Dünyamız ve onun içinde bulunduğu Evren'i en doğru şekilde tanımlamaktadır. Standart Model tüm kimyanın, maddenin davranışlarının, yıldızların davranışlarının kısaca gördüğümüz her şeyin fiziksel kuramıdır. Standart Model öngörülen hedeflere ulaşmıştır ve deney ile kuram arasında sağlam bir köprü görevi görmektedir. Ancak Standart Model şu anda, atom altı dünyanın en iyi tanımı olsa da, *kuark-lepton simetrisi, aile sayısı, madde anti-madde dengesizliği, fermiyonların tekrarlanması, nötrino salınımları, hiyerarşi sorunu, karanlık madde ve parametre fazlalığı* gibi cevap veremediği sorular vardır. Bu sorulara cevap bulabilmek için Standart Model Ötesi (SMÖ) denilen, *süpersimetri, ek boyutlar, büyük birleşim teorisi, süpersicim, kompozitlik* gibi yeni modeller fizikçiler tarafından öne sürülmüş olup, bu modellerle ilgili deneysel ve fenomenolojik araştırmalar yapılmaktadır.

Kompozitlik olarak adı geçen SMÖ model, SM fermiyonlarının da bir altyapısı olabileceği fikri olarak ortaya çıktı. 1965 yılında F.E. Low'un ağır leptonlar üzerine yayımladığı makaleden [1] sonra Jogesh C. Pati ve Abdus Salam kompozitlik üzerine yayımladıkları makalede kompozitliği oluşturan parçacıklara "*preon*" ismini verdiler [2]. Böylelikle, kompozitlik genel başlığı altında o günden bu güne bir çok preonik model önerildi [3, 4]. Bu modellerle, yukarıda bahsi geçen, SM'in cevap veremediği sorulara çeşitli çözümler getirilmeye çalışılmıştır.

Bir çok fizikçi uyarılmış fermiyonlarla ilgili çeşitli parçacık hızlandırıcısı parametrelerini göz önüne alarak deneysel [5, 6, 7, 8, 9, 10] ve fenomenolojik araştırmalar yapmışlardır [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19]. Uyarılmış kuarkların muhtemel keşfi, SM fermiyonlarının bir kompozit yapıda olduğunun ispatı olacaktır. Yapılan bu fenomenolojik çalışmalar, parçacık fiziğinde öncü makineler olan parçacık çarpıştırıcılarının potansiyelini

ortaya koymakta oldukça faydalı olup ve deneyçilerin veri analizlerinde izleyecekleri yollara ışık tutmaktadır.

Yapılan araştırmalara göre uyarılmış fermiyonların kütlelerinin SM fermiyonlarına göre daha büyük olması beklenen bir durumdur. Uyarılmış fermiyonların ulaşılabilir kütle değerlerinin belirlenmesinin yanı sıra hesaplamalardaki önemli bir parametre olan kompozitlik ölçeğinin (Λ) belirlenmeside gereklidir. Teorik olarak, uyarılmış fermiyonların bir parçası olan uyarılmış kuarkları (q^*) elde edebileceğimiz dört ayrı kanal bulunmaktadır. Bu kanallar; *iki – jet*, ($q^* \rightarrow jj$), *foton – jet*, ($q^* \rightarrow \gamma j$), *W – jet*, ($q^* \rightarrow W j$), ve *Z – jet*, ($q^* \rightarrow Z j$) şeklindedir. Her bir kanal için en son olarak CMS ve ATLAS deneylerinde bir uyarılmış kuarkın kütlesine dışarlama sınırı getirilmiştir. q^* 'ın kütlesinin dışarlama sınırı ; *iki – jet* kanalı için 6.7 TeV, *foton – jet* kanalı için 5.5 TeV, *W – jet* kanalı için 5.0 TeV ve *Z – jet* kanalı içinse 4.7 TeV olarak belirlenmiştir [20, 21, 22]. Bu sınırlamalar Büyük Hadron Çarpıştırıcısının 13 TeV kütle merkezi enerjisi (KM) ile yıllık toplam ışınlık iki jet son durumu için 140, diğer son durumlar için 35.6 fb^{-1} değerlerinde elde edilmiştir. Bu dışarlama limitlerini daha da ileri götürmek ya da gözlem veya keşif limitlerine ulaşabilmek için iki parametrede değişikliğe gidilmelidir. Yapılması gereken ise; ya kütle merkezi enerjisi yüksek bir çarpıştırıcı inşa etmek ya da çarpıştırıcının ışınlık değerini yeni teknikler ile oldukça yükseltmek olmalıdır. Bu parametrelerin ikisi de yüksek değerlere çekilirse elimizde güçlü bir keşif makinesi olacaktır. Bu doğrultuda 2020'li yılların ortasına doğru CERN'de bir sonraki aşama olarak yüksek ışınlık hedefine ulaşılacak yeni bir proje, Yüksek-Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (YI-BHÇ) planlanmaktadır [23]. Yapılan plana göre, YI-BHÇ'nin 14 TeV kütle merkezi enerjisi ile yıllık toplam ışınlığın 10 yılda yaklaşık 350 fb^{-1} 'den 3500 fb^{-1} 'e çıkarılması öngörülmektedir [24]. YI-BHÇ'den sonraki aşamada ise 27 TeV kütle merkezi enerjili Yüksek-Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (YE-BHÇ)'nin 2030'lu yılların sonuna doğru faaliyete geçmesi ve 20 yıl içerisinde de toplam ışınlığın 750 fb^{-1} 'den 15000 fb^{-1} 'e çıkması öngörülmektedir [25, 26].

Tez çalışmamda YI-BHÇ ve YE-BHÇ'de *iki – jet* durumunda spin-1/2 uyarılmış kuarkın araştırılması yapılmıştır. Daha önce BHÇ tarafından uyarılmış kuarkın kütlesine getirilen sınırlandırmalar göz önünde bulundurularak CalcHEP benzetim yazılımı kullanılarak çeşitli analiz ve taramalar yapılmıştır. Yaptığım analizlerin sonucunda her iki çarpıştırıcıdaki çeşitli ışınlık değerlerine göre uyarılmış kuarkın ulaşılabilir kütlesi ile muhtemel kompozitlik ölçeği değerlerinin keşif, gözlem ve dışarlama limitleri ortaya konmuştur.

Bu çalışmada Bölüm 2'de Standart Model'in genel yapısından, bu modelin yetersiz kaldığı durumlardan ve bu durumlara çözüm arayan modellere yer verilmiştir. Bölüm 3'de ise Büyük Hadron Çarpıştırıcısı ve ilerleyen zamanlarda mevcut çarpıştırıcı üzerinde yapılacak güncellemelerle hayata geçirilecek iki yeni proje olan Yüksek Işınlıklı ve Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcıları anlatılmıştır. Tez çalışması sırasında kullandığım metod ve

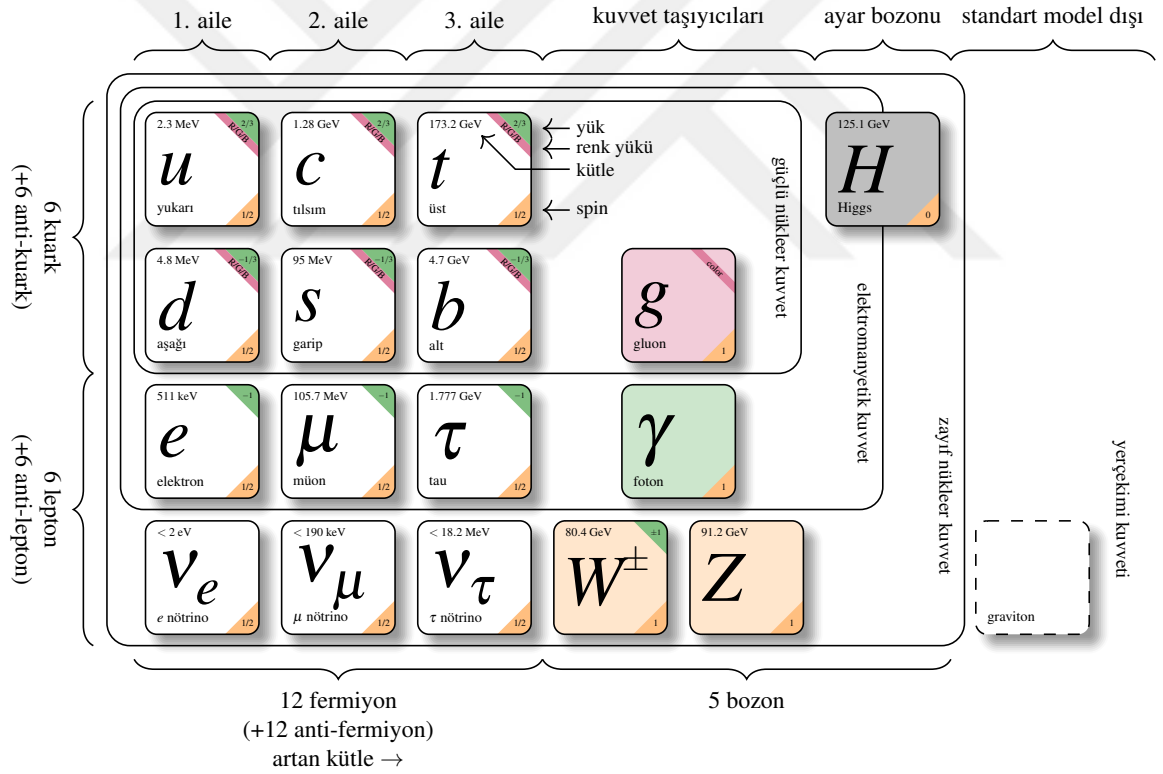
yapılan analizler 4 . bölümde yer almaktadır. Bölüm 5’de ise her iki çarpıştırıcı seçeneğinde, uyarılmış kuarkın ulaşılabilir kütlesi ile kompozitlik ölçeği taramaları ile ilgili sonuçlara yer verilmiştir.



2. STANDART MODEL ve STANDART MODEL ÖTESİ TEORİLER

2.1. Standart Model

Atom; bilimin doğmasında, gelişmesinde, ilerlemesinde sürekli, bilim insanlarının ilgi odağında olmuştur. Atom ile ilgili yapılan çalışmalar sayesinde atomaltı parçacıklar yüzyılı aşan bir süre içinde teker teker bulunmuştur. Öyle ki ilk keşif 1897 yılında J.J Thomson'un elektronu keşfiyle başlamıştır [27]. İlerleyen zamanlarda atom merkezinde "+" yüklü bir çekirdeğin, çekirdeğin içinde proton ve nötronların bulunduğu, proton ve nötronların ise kuark denilen parçacıklardan oluştuğu keşfedilmiştir. Bu keşiflerden yola çıkılarak evrende gözlemlenebilen tüm maddelerin yapı taşlarının kuarklar ve leptonlar adı verilen parçacıklardan oluştuğu ifade edilmiş, bu parçacıklar arasındaki etkileşmeyi sağlayan kuvvetlerin de ortaya çıkarılması ile birlikte atom altı parçacıklarının genel çerçevesi oluşmuştur. Bu çerçeveye ise "Standart Model" (SM) adı verilmiştir. Doğadaki dört temel kuvvetten; güçlü nükleer kuvvet, zayıf nükleer kuvvet ve elektromanyetik kuvvet, Standart Model çerçevesi içerisinde yer alırken yer çekimi kuvveti, bu çerçeveye dahil edilememiştir.



Şekil 2.1. Standart Model parçacıkları ve taşıyıcı bozonlar.

Şekil 2.1’de da görüldüğü üzere Standart Model’e göre evren birbirinin kopyası gibi duran 3 aileden oluşmaktadır. Her aile de 2 kuark, 2 lepton ve bunların antiparçacıkları vardır. SM’de evrendeki bütün maddelerin yapı taşı olarak kabul ettiğimiz kuarklar ve leptonlara; *fermion*, bu parçacıklar arasındaki etkileşmeyi sağlayan taşıyıcı kuvvetlere ise *bozon* adı verilmiştir.

2.1.1. Fermiyonlar

Madde parçacığı olarak kabul edilirler ve spinleri $1/2$, $3/2$ gibi buçuklu sayılara sahiptir. Fermiyonlar Fermi-Dirac istatistiğine uyar ve Pauli Dışarlama prensibine göre; iki fermiyon aynı kuantum durumuna sahip olamaz. Bundan dolayı antisimetrik parçacıklardır. Elektron, proton, nötron en bilinen fermiyonlardır. Fermiyonlar leptonlar ve kuarklar olmak üzere iki grupta incelenirler.

Leptonlar, güçlü etkileşimden etkilenmeyen, elektrik yükü, spin ve kütle özelliklerine sahip temel parçacıklardır. İki tip lepton vardır. Elektron tipinde yüklü leptonlar ve nötrino olarak bilinen nötr leptonlar. Yüklü leptonlar diğer parçacıklarla etkileşim gösterirken, nötrinolar diğer parçacıklarla etkileşim göstermezler. Üç aileden oluşan ve çeşni adı verilen altı tip lepton vardır. Bunlar; "-1" yüklü elektron (e), müon (μ^-), tau (τ^-) ve nötr yüklü elektron nötrinosu (ν_e), müon nötrinosu (ν_μ), tau nötrinosu (ν_τ) ve bunların anti parçacıkları da olmak üzere 12 tanedir. Elektron en kararlı leptonudur ve evrende en çok bulunan yüklü lepton türüdür. Tau ve müonlar ise ancak kozmik ışınlar veya yüksek enerji çarpışmalarında oluşurlar. Çizelge 2.1'da Standart Model leptonlarının buldukları aile, elektrik yükleri ve spinleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Standart Model Leptonları

Leptonlar				
1. Aile	2. Aile	3. Aile	Elektrik Yükü	Spin
e	μ^-	τ^-	-1	$\frac{1}{2}$
ν_e	ν_μ	ν_τ	0	$\frac{1}{2}$

Kuarklar, dört temel kuvvetin tümüyle de etkileşebilen, elektrik yükü, renk yükü, spin ve kütle özelliklerine sahip, aynı zamanda elektrik yükü temel yükün tam sayı katı olmayan temel parçacık ailesidir. Çizelge 2.2'de de verildiği üzere aile ; " $-\frac{1}{3}$ " yük değerine sahip aşağı (d), acayip (s), alt (b) ve " $+\frac{2}{3}$ " yük değerine sahip yukarı (u), tılsım (c), üst (t) kuark ve bunların her birine karşılık gelen karşıt yüklü anti kuarklardan oluşur. Leptonlardan farklı olarak kuarklar renk yüküne sahip oldukları için, her kuark ve anti kuark için üç farklı renk durumu olduğundan, toplam 36 kuark ve anti-kuark vardır.

Çizelge 2.2. Standart Model Kuarkları

Kuarklar				
1. Aile	2. Aile	3. Aile	Elektrik Yükü	Spin
u	c	t	$+\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$
d	s	b	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$

Kuarklar doğada tek başlarına bulunmazlar. Hadron olarak bilinen parçacıkların içerisinde hapsedilmiş olarak ikili veya üçlü yapılar şeklinde bulunmaktadır. Hadronlar ise baryonlar ve mezonlar olmak üzere iki grupta incelenirler. Üç kuark içeren hadronları “*baryon*”, bir kuark ve bir anti-kuark içeren hadronları ise “*mezon*” olarak adlandırırız. Çizelge 2.3 ve 2.4’te sırasıyla bazı baryon ve mezon parçacıklarına örnek olarak verilmiştir. Bu çizelgelerde ayrıca baryon ve mezon grubuna ait bazı hadronların kütleleri, kuark yapıları, sembolleri de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Bazı baryonlara ait özellikler.

BARYONLAR				
Parçacık Adı	Sembol	Kuark İçeriği	Yük	Kütle (MeV/ c^2)
Proton	p	uud	1	938,3
Nötron	n	udd	0	939,6
Lambda	Λ	uds	0	1115,6
Omega	Ω^-	sss	-1	1672,4
Ksi	Ξ^0, Ξ^-	uss, dss	0, -1	1314,8
Sigma	$\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-$	uus, uds, dds	1, 0, -1	1186,3

Çizelge 2.4. Bazı mezonlara ait özellikler.

MEZONLAR				
Parçacık Adı	Sembol	Kuark İçeriği	Yük	Kütle (MeV/c ²)
Pion	π^+, π^-	$u\bar{d}, d\bar{u}$	1, -1	139,5
Kaon	K^+, K^-	$u\bar{s}, s\bar{u}$	1, -1	493,6
Upsilon	Υ	$b\bar{b}$	0	9460,3
Ro	ρ^+	$u\bar{d}$	0	775,11
Fi	ϕ	$s\bar{s}$	0	1019,4
J/Psi	J/Ψ	$c\bar{c}$	0	3096,9

2.1.2. Bozonlar

Kuvvet parçacıkları olarak adlandırabileceğimiz bozonlar, temel kuvvetlere aracılık ederler. Bozon ailesi $W^\pm, Z^0, Glüon, Foton$ taşıyıcı parçacıkları ile *Higgs* parçacığından oluşmaktadır. Kütleçekim hariç fiziğin temel kuvvetlerini taşıyan ayar bozonları:

- Foton :Işık parçacığı olarak bilinirler, tüm elektromanyetik etkileşimi taşır.
- Glüon :Kuarkları biraraya getirerek proton ve nötronları oluşturan ve atom içinde tutan güçlü nükleer kuvvet etkileşimini taşır.
- $W^\pm - Z^0$: Zayıf nükleer kuvvet etkileşimini taşır.
- Higgs : Temel parçacıklara kütle kazandıran bozondur.

Bozonlar, Bose–Einstein istatistiklerine uyarlar. Dalga fonksiyonları simetriktir ve spinleri tam sayı değer alır. Standart Model'e ait taşıyıcı parçacıkların özellikleri Çizelge 2.5'de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Taşıyıcı Parçacıklar

Bozonlar			
Parçacık	Kütle [GeV/c^2]	Elektrik Yüğü	Spin
Foton (γ)	0	0	1
W^-	80.385	-1	1
W^+	80.385	+1	1
Z^0	91.187	0	1
Glüon (g)	0	0	1
Higgs (H)	125	0	0

2.2. Standart Model Ötesi (SMÖ) Teoriler

Yüksek enerji fiziğı, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın 4 Temmuz 2012'de Higgs bozonunu keşfetmesiyle heyecan verici bir döneme girmiştir [28, 8]. Keşfedilen skaler bozon Standart Model öngörülerini ile tutarlı idi ve sonunda; SM'nin kayıp parçası bulunmuştu. SM'in başarısı zaman içerisinde kuramsal hesaplamalar ile deneysel çalışmaların karşılaştırılmasıyla kanıtlanmıştır. SM temel parçacıklar ve etkileşimlerini tutarlı bir matematiksel modelle açıklamakta ve deneylerle uyumlu sonuçlar vermektedir. Bu nedenle en başarılı parçacık fiziğı teorisi dır. Ancak SM her ne kadar hızlandırıcılardan elde edilen bilgileri açıklayabilse de bilim insanlarını tatmin etmeyen pek çok eksikliği de vardır. Parçacıkların kütesini nasıl kazandığının ve bütün özellikleri aynı olmasına rağmen kütleleri farklı olan üç parçacık ailesinin varlığının açıklanamaması, antimaddenin akibetinin bilinmemesi, karanlık enerjinin yapısı ve kaynağı hakkında yeterli bilginin olmaması, temel kuvvetlerden bazılarının diğerlerinden neden daha güçlü olduğunun açıklanamaması gibi sorunlar bilim insanlarını SM'yi kapsayan, ancak eksikliklerine de tamamlayıcı çözümler öneren yeni fizik kuramları arayışına itmiştir. Bu arayıştaki bazı aday kuramlar; Süpersimetri, Ek boyutlar, Büyük Birleşme Kuramı, Sicim Kuramı, Kompozit modeller olarak sıralanabilir. SM'nin bahsedilen sorunları çözmeye yönelik fizikçiler birçok fikir ileri sürmüşlerdir. Bu fikirlerden, bu çalışma ile ilintili olan kompozit modeller üzerinde duracağım.

2.2.1. Kompozit Modeller

Kompozit modellerde, Standart Model'de temel olarak kabul edilen kuark ve leptonların bir iç yapıya sahip oldukları, preon adı verilen daha temel parçacıkların bağlı durumları oldukları öngörülür. SM'de kuark ve leptonlar 3 aile şeklinde sınıflandırılır ve bir aile içindeki yapı diğer ailelerde de karşımıza çıkmaktadır. Ailelerin birbirini tekrarlaması, fermiyonların kütle spektrumundaki hiyerarşi sorunu, kuark ve leptonların zayıf etkileşmelerde benzerlik göstermesi ve SM çerçevesinde temel olarak adlandırılan parçacık sayısının fazla oluşu, kuark ve leptonların kompozit yapılar olabileceğini düşündürmektedir. Kompozit modellerde, kuarkların ve leptonların maddenin temel yapı taşı olan ve "preon" olarak adlandırılan parçacıkların bağlı durumları olduğu varsayılmaktadır [29, 30]. Preon teorisi, kimyada 94 doğal elementi yalnızca üç temel yapı taşının bileşenlerine (elektron, proton ve nötron) indirgeyen periyodik tablonun yaptığını, parçacık fiziği için de yapabilmek amacıyla ortaya atılmıştır. Preon fikri ilk olarak 1974 yılında Jogesh Pati ve Abdus Salam tarafından ortaya atılmıştır [2]. Bu tarihten günümüze kadar, parçacık fizikçileri tarafından sayısız preonik model önerilmiştir. Bu modellerden bazıları:

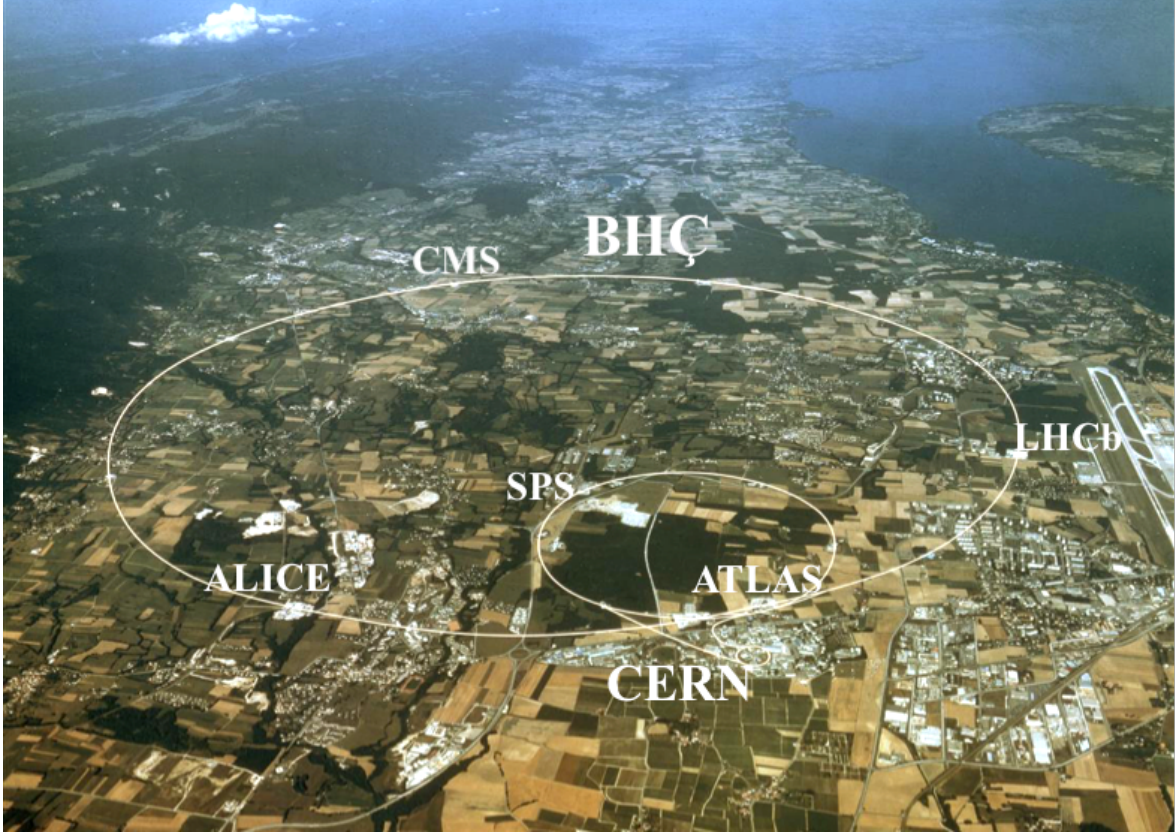
- *Terawaza modeli*[31]
- *Rishon Modeli*[32]
- *Haplon Modeli*[33]
- *Cosmon Modeli*[34]
- *Primon Modeli*[30]
- *Preon Üçlüsü Modeli*[35]
- *Çelikel-Kantar-Sultansoy Modeli*[36]
- *Helon Modeli*[37]
- *Y-partikül Modeli*[4]

olarak sıralanabilir.

Herhangi bir sistemin kompozit bir yapısının olup olmadığını araştırabilmek için o sistemi uyararak gereklidir. Fermiyonların uyarılmış durumları deneysel olarak gözlemlendiği takdirde, bu durum parçacıkların kompozit yapısını da ispat etmiş olacaktır.

3. YÜKSEK İŞİNLİKLİ ve YÜKSEK ENERJİLİ BÜYÜK HADRON ÇARPIŞTIRICISI

3.1. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı



Şekil 3.1. CERN ve Büyük Hadron Çarpıştırıcısının üstten temsili gösterimi.

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ), İsviçre ve Fransa sınırında yer alan dünyanın en büyük ve en yüksek enerjili parçacık hızlandırıcısıdır [38]. Yüksek enerji fiziği çalışmalarına yeni bir boyut kazandırmak, mevcut birçok teoriyi sınamak için 2000 yılında faaliyeti sona eren Büyük Elektron-Pozitron Çarpıştırıcısı yerine inşaa edilmiştir. BHÇ 10 Eylül 2008’de faaliyetlerine başladı ve CERN’de hızlandırıcıların en son üyesi olarak halen çalışmaktadır. Yerin 100 m altındaki 27 km uzunluğundaki dairesel bir tünel içerisine inşa edilen BHÇ, 38000 tondan fazla ağırlığı ile "büyük çarpıştırıcı" olarak etiketlenmeyi hak eden bir keşif makinesidir. Şekil 3.1 ’de CERN ve Büyük Hadron Çarpıştırıcısı’nın coğrafik olarak üstten temsili bir görünümü verilmiştir [39].

BHÇ’de çok yoğun iki proton demeti 13 TeV’lik kütle merkezi enerjisinde, -271°C sıcaklıkta, 10-13 atm’lik vakum altında, ışık hızına yakın bir hızda çarpıştırılmaktadır. Halkanın içinde farklı tiplerde 9300 süper iletken mıknatıs, proton demetlerini saniyede 11.245 kez iki zıt yönde hareket ettirir ve saniyede yaklaşık 600 milyon çarpışma yapması için bir araya getirir. Çarpışmalardan elde edilen olaylar, BHÇ’nin ana parçasını oluşturan

dedektör dediğimiz binlerce karmaşık parçadan ve elektronik devreden oluşan dev aygıtlarda veri olarak kayıt altına alınmaktadır. Dört ana dedektör (ATLAS, ALICE, CMS ve LHCb) BHÇ halkasının etrafında büyük odalara yerleşmişlerdir. Bu dedektörlerden kaydedilen veriler WorldWide LHC Computing Grid (WLCG) küresel bir bilgisayar ve yazılım ağı vasıtası ile analiz edilebilmektedir. BHÇ, SM'yi ve birçok teoriyi doğrulayan keşiflerde bulunmuştur. 2012'de Higgs Bozonu'nun keşfi hiç şüphesiz fizik tarihinde önemli bir kilometre taşıdır. Ancak SM'de açıklanamayan bir çok soruya cevap aranması için BHÇ'den daha yüksek fizik potansiyeli olan aygıtlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla iki yeni proje CERN'de hayata geçirilecektir; Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (YI-BHÇ) ve Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (YE-BHÇ).

3.2. Işınlık

Bir parçacık hızlandırıcısının yeteneğini ölçen parametrelerden birisi de ışınlık faktörüdür. Hızlandırıcısının çarpışma noktasında birim kesit alanda birim zamanda etkileşen parçacık sayısına *ışınlık* (\mathcal{L}) denir. Diğer bir tanımla olay sayısı ile tesir kesiti arasındaki orantısallık sabitidir.

$$\frac{dR}{dt} = \mathcal{L} \cdot \sigma \quad (3.1)$$

Burada;

dR/dt : Olay sayısı,

σ : Tesir kesiti'dir.

Işınlığın birimi $cm^{-2}s^{-1}$ 'dir. Denklem 3.2 ile verilen anlık ışınlığın yanı sıra bir hızlandırıcı için yıllık toplam ışınlık değeri de çarpıştırıcısının fizik potansiyelini ortaya koyma açısından önem arz etmektedir. Anlık ışınlığı veren bağıntı aşağıdaki gibidir:

$$\mathcal{L} = \gamma \frac{n_b N^2 f_{rev}}{4\pi\beta^* \epsilon_n} R \quad (3.2)$$

Burada;

γ : protonun durgun kütle enerjisini,

n_b : demet sayısını,

N : parçacık sayısını,

f_{rev} : devir frekansını,

β^* : çarpışma noktasındaki beta fonksiyonunu ,

ϵ_n : enine normalize edilmiş emisyonunu,

$R = 1/\sqrt{1 + \frac{\theta_c \sigma_z}{2\sigma}}$: ışınlık geometrik indirgeme faktörünü,

temsil etmektedirler.

Toplam ışıklık (\mathcal{L}_{top}), toplam çarpışma sayısını yani çarpıştırıcı tarafından bir süre boyunca sağlanan ışıklığın integrali ile elde edilebilen sayısal bir değeri temsil eder. Toplam ışıklık;

$$\mathcal{L}_{top} = \mathcal{L} dt \quad (3.3)$$

ile ifade edilir.

3.3. Yüksek Işıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

BHÇ üzerinde yapılacak bir dizi düzenleme ile faaliyete geçmesi beklenen Yüksek Işıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (YI-BHÇ) [40], fizikçilerin Higgs bozonu gibi, yeni keşfedilen bir olgunun daha ayrıntılı incelenmesine ve SMÖ teorilerinin ispatını destekleyecek yeni bulgulara imkan sağlayacaktır. Gelişimi birçok teknolojik yeniliğe bağlı olan bu proje BHÇ'nin performansını arttırmaya odaklanır. Bunu başarmak için, parçacık demetinin şu anda BHÇ'de olduğundan daha yoğun ve daha odaklanmış olması gerekecektir. Bunu sağlayacak yeni ekipmanlar BHÇ'nin 27 kilometrelik uzunluğunun yarısından daha az bir kısmına kurulacaktır. Kurulacak bu sistem; yeni ve daha güçlü süper iletken bir bileşik olan niyobyum-kalaydan yapılacak dört kutuplu mıknatısların, daha güçlü ve kompakt bükme mıknatısların, yenilikçi süper iletken bağlantıların kullanılması, mevcut enjektör zincirinin değiştirilip Linac2 yerine daha güçlü olan Linac4 getirilmesi, mevcut makine koruması güçlendirilmesi ve daha birçok güncelleme çalışmasının yapılmasıyla oluşacaktır.

YI-BHÇ'nin, BHÇ'ye göre çok daha kompleks bir yapıda olması, bu yapının oluşması için fizikçilerin çalışmasının yanı sıra bir çok mühendislik çalışmasını beraberinde getirecektir. YI-BHÇ için ilk inşaat mühendisliği çalışmaları Nisan 2018'de başlamış olup dört yıl sürmesi beklenmektedir. ATLAS ve CMS deneylerinin (BHÇ Nokta5) ve (BHÇ Nokta1) sahalarında yapılacak yer altı çalışmaları; yaklaşık 80 m derinliğinde bir kuyu, özellikle kriyojenik ekipmanı barındıracak bir yeraltı servis salonu, elektrik ekipmanı için 300 m uzunluğunda bir tünel, yeni yapıları hızlandırıcı tünele bağlayan yaklaşık 50 m uzunluğunda, içeriğinde radyofrekans ekipmanı gibi özel donanımları barındıran dört tüneldir. Yüzey binalarının yapılması ise 2020-2022 yılları arasında planlanmaktadır. Her sahada yüzey çalışması, toplam 2800 m² yüzey alanını temsil eden beş yeni bina inşasından oluşmaktadır. Bunlar, soğutma ve havalandırma ekipmanının yanı sıra elektrikli ekipmanı barındıracaktır. İnşaat çalışmaları yanı sıra hızlandırıcıya gerekli olan ekipmanların geliştirilmesi için ekipler hızla çalışmaktadır. Amaç, 11 tesla dipol mıknatıslar, belirli hizalandırıcılar, enstrümantasyon ve görüntüleme gibi ilk bileşenleri 2019-2020'deki (LS2) ikinci uzun kapatma sırasında kurmaktır. Bununla birlikte, ekipmanların çoğunun kurulumu

ve büyük deney yükseltmelerinin, 2024'ten 2026'ya kadar olan (LS3) üçüncü uzun kapatma sırasında yapılması planlanıyor [23, 41].

Bir hızlandırıcıda performansı etkileyen en önemli özelliklerden biri ışınlık değeridir. Bir zaman aralığında meydana gelmesi muhtemel çarpışmaların sayısı doğrudan bu değerle orantılıdır. Artan ışınlık, daha fazla veri üretir ve fizikçilerin bilinen mekanizmaları daha ayrıntılı incelemelerine ve kendilerini ortaya çıkarabilecek nadir yeni parçacıkları gözlemlmelerine olanak tanır. BHC tarafından kaydedilen toplam ışınlık için sayısal değerlere örnek verecek olursak; $\mathcal{L} = 6.1 \text{ fb}^{-1}$ için $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$, $\mathcal{L} = 23.3 \text{ fb}^{-1}$ için $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ 'dir. 13-14 TeV kütle merkezi enerjisine sahip BHC için anlık ışınlık değeri $1 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ iken, YI-BHC'de $5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ sınırına dayanır [42]. Çizelge 3.1'de BHC ve YI-BHC'nin bazı özellikleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Sonuç olarak tüm çalışmalar ve gerekli yükseltmelerden sonra faaliyete geçmesi beklenen YI-BHC ve BHC için kısa bir kıyaslama yapıldığında; 2017'de BHC'de 3 milyon Higgs üretilebilirken, 2027 sonrasında YI-BHC'de 15 milyon Higgs üretilmesi beklenmektedir.

Çizelge 3.1. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı ile Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın temel parametrelerinin karşılaştırılması.

Parametre	BHC	YI-BHC
Kütle Merkezi Enerjisi [TeV]	13-14	14
Demet Aralığı [ns]	25	25
Demet Sayısı	2736	2736
Tepe Işınlığı [$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$]	1.0	7.4
Toplam Olay	≤ 28	≤ 140
Yıllık Toplam Işınlık [fb^{-1}]	140	350

3.4. Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

CERN’de gelecekteki bir çarpıştırıcı için önerilen seçeneklerden biri de, aynı tüneli işgal edecek, ancak BHÇ’nin enerjisinin kabaca iki katını destekleyebilecek gelişmiş yüksek alanlı dipol mıknatıslardan inşa edilecek olan Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (YE-BHÇ)’dir. YE-BHÇ’nin 27 TeV’lik bir kütle merkezi enerjisi ile 20 yıllık bir çalışma süresinin sonunda 15.000 fb^{-1} toplam ışınığa ulaşması hedeflenmektedir. Dört deneysel dedektörle bağlantılı olarak, bu altyapı, elektrozayıf simetri kırılmasının kökenine ilişkin anlayışımızı derinleştirecek, Higgs bozonu ile ilgili daha ayrıntılı ölçümlere, YI-BHÇ keşif erişimini ikiye katlayacak ve derinlemesine iz sürmeye izin verecektir. Bu parçacık çarpıştırıcısı, doğrudan YI-BHÇ’nin yerini alacak ve 21. yüzyılın ortasından sonra yaklaşık 20 yıl boyunca fizikçilerin sonu gelmez meraklarına hizmet edecektir.

Yüksek enerjili bir hadron çarpıştırıcısı inşa etmek için, bir dizi kararlı ve odaklanmış Ar-Ge programı aracılığıyla on yıllık bir hazırlık çalışmasından sonra gerekli teknolojiye ulaşılabilecektir. Düzenek, bir neon-helyum (Neliyum) hafif gaz karışımına dayanan enerji verimli bir kriyojenik soğutma altyapısı olan YI-BHÇ’de öncülük edilen Nb₃Sn teknolojisinin bir evrimine dayanan, güç tasarrufu sağlayan, düşük sıcaklıkta süper iletken bir mıknatıs sisteminden oluşmaktadır. YE-BHÇ’de, yüksek güvenilirlik ve düşük kayıplı kriyojen dağıtım alt yapısı, süper iletken elemanlar kullanılarak yüksek güçlü dağıtılmış demet aktarımı ve diğer CERN hızlandırıcılarında kademeli olarak sunulan yerel mıknatıs enerjisi geri kazanımı ve yeniden kullanılması amaçlanmaktadır. Mevcut BHÇ yeraltı alt yapısının kullanılması, yüzey alanlarının genişletilmesi ve mevcut enjektör zincirlerinin kullanılması, sürdürülebilir bir araştırma yapabilmek için büyük kolaylık ve önem oluşturmaktadır. YE-BHÇ için stratejik Ar-Ge, sosyo-ekonomik etkiyi en üst düzeye çıkarırken inşaat maliyetini ve enerji tüketimini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Teknolojiyle ilgili risklerin azaltılması ve endüstrinin kabul edilebilir bir ekonomik hizmetten yararlanabilmesini sağlaması gerekir. Çizelge 3.2’de YI-BHÇ ve YE-BHÇ parametreleri incelendiğinde aradaki ışınlık dolayısıyla olay sayısı farkı açıkça görülebilmektedir [43].

Çizelge 3.2. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı ile Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın temel parametrelerinin karşılaştırılması.

Parametre	BHÇ	YE-BHÇ
Kütle Merkezi Enerjisi [TeV]	13 - 14	27
Demet Aralığı [ns]	25	25
Demet Sayısı	2736	2808
Tepe Işınlığı [$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$]	1.0	16
Toplam Olay	≤ 28	≤ 460
Yıllık Toplam Işınlık [fb^{-1}]	140	750

4. YÖNTEM VE ANALİZLER

Bu tezde, CalcHEP [44, 45] yazılımını kullanarak, YI-BHÇ ve YE-BHÇ'nin yıllık toplam ışınlık değerine göre uyarılmış kuarkın ulaşılabilir kütle limitlerini belirledim ve kompozitlik ölçeği taramalarını yaptım. Bu sonuçlara ulaşmak için öncelikle CalcHEP'e uyguladığım, Denklem 4.2 ile verilen uyarılmış kuark Lagranjyenini esas alarak, *Bozunum Genişlikleri*, *Tesir Kesitleri* ve *Enine Momentum*, *Psedö-Rapidity*, *Değişmez Kütle* dağılımlarını elde ettim. Bu bölümde sırasıyla izlediğim yöntem, yaptığım hesaplamalar ve sınırlandırma analizleri verilecektir.

4.1. CalcHEP Benzetim Yazılımı

CalcHEP benzetim yazılımını kullanarak uyarılmış u , d kuarklar için Enine Momentum, Psedö-rapidity ve Değişmez Kütle dağılımlarından önce bozunum genişliği dağılım grafikleri ile bu iki kuark ile bunların dejenere durumlarından oluşan uyarılmış q kuarkın tesir kesiti dağılımının nasıl elde edildiğinin aşamaların kısaca ifade edilecektir.

CalcHEP 3.6.23 sürümü <https://theory.sinp.msu.ru/pukhov/calchep.html> adresinden indirilir, kurulumu gerçekleştirildikten sonra gerekli olan model dosyaları program içerisine yüklenir. Terminalden CalcHEP programına giriş yapılarak `./calchep` komutu ile program çalıştırılır, CalcHEP 3.6.23/models dizini içerisinde yüklü ismini `q3_quark` olarak verdiğimiz model seçilir ve *Force Unit.Gauge=ON* konumuna getirilerek *Enter Process* butonu seçilir. Daha sonra p^* , $p^* \rightarrow j$, j etkileşimi yazılır, parçacık listesinden uygun etkileşim için parçacık tanımlamaları yapılır ve kompozit p parçacığı için olası tanımlı parçacıklar u , U , d , D , c , C , s , S , b , B , G ve jet için u, G tanımlanır ve `q3_quark` modelinde uyarılmış kuark olarak tanımlanmış olan $u3$ dışındaki bütün aracı parçacıklar dışarlanır. p^* , $p^* \rightarrow j$, j için tanımlanan Feynman diyagramları için *View Diagrams* butonu seçilir ve $u3$ dışındaki durumlar silinir. Bundan sonraki süreçte gerekli tanımlamalar için sırasıyla *Symbolic Calculations*, *C-Code*, *IN State* butonları seçilir. Süreçte çalışılacak *CTEQ6L* parton dağılımı fonksiyonu seçilir ve parçacık momentum değerleri belirlenir. *IN State*'den sonra *Model Parameters* seçilir, hesaplamalarda kullanılacak olan kompozitlik ölçeği değeri olan Lambda ile kütle değerleri girilir. *QCD Coupling* butonu seçilir. Q faktörü modelde uyarılmış kuarkın kütlesi olarak tanımlanan m_{u3} olarak ayarlanır ve *Monte Carlo Simulation* butonu seçilir $nSess$ ve $nCalls$ değerleri girilir. Son olarak *Start Integration* butonu seçilir ve sürecimiz için tekerrürlü tesir kesiti hesaplaması yaptırılır. Burada anlattığım bu aşamaların şekillerle gösterimi EK-1'de verilmiştir.

4.2. Kompozitlik Ölçeği

Kompozitlik ölçeği (Λ), kompozit bir yapının onu oluşturan alt bileşenlere ayrılabilmesi için enerji ölçeği olarak tanımlanır. Fermiyonların kompozit olduğu modellerde kompozitlik ölçeği, bu parçacıkların noktasal parçacık davranışlarından uzaklaştıkları enerji ölçeği olarak ele alınır. Bu enerji ölçeğinde kuarklar ve leptonlar arasında yeni etkileşimler açığa çıkabilir. Bu sebeple deneysel çalışmalarda, kompozitlik ölçeği bilimeyen belirlenmesi gereken önemli bir parametredir.

4.3. Kütle Merkezi Enerjisi

İki parçacığın çarpışması sırasında, kütle merkezi enerjisi E_{KM} , herhangi bir çerçevede değişmeyen toplam enerji olarak tanımlanır. Kütle merkezi enerjisi;

$$\sqrt{s} = E_{KM} = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + 2(E_1 E_2 - |\vec{p}_1| |\vec{p}_2| \cos \theta)} \quad (4.1)$$

denklemleri ile ifade edilmektedir. BHC'deki gibi kafa kafaya olan çarpışmalarda, parçacık demetleri arasındaki θ açısı 180° 'ye eşit olacaktır ve denklem 4.1'deki cosinüslü terim -1 değerini alacaktır. Görelilik çarpışmaları göz önüne aldığımızda demet enerjisi çarpışan parçacıkların kütlelerinden çok çok büyük (E_1 ve $E_2 \gg m_1$ ve m_2) olacağından denklem 4.1'deki m_1 ve m_2 terimleri ihmal edilebilir. Böylelikle, kütle merkezi enerjisi $\sqrt{s} \approx 2E_1 E_2$ olarak hesaplanabilir. Bu durumda, kafa kafaya çarpışmalarda eğer parçacık demetlerinin enerjileri eşit ise kütle merkezi enerjisi bu demetlerin enerjisinin iki katına eşit olacaktır.

4.4. Spin-1/2 Uyarılmış Kuark Etkileşim Lagranjiyen

Uyarılmış kuarklar için gerekli hesaplamalar, parçacık fenomenolojisi alanında yaygın olarak kullanılan bir önceki bölümde de verilen CalcHEP [45] benzetim yazılımı kullanılarak yapıldı. İncelenmek istenilen spin-1/2 kuark için CalcHEP yazılımı içine etkileşim Lagranjiyen denklemleri yazılarak hesaplamalar yapılır. q^* için, Denklem 4.2' de belirtilen etkin Lagranjiyen [46] girilmiştir.

$$L_{etk} = \frac{1}{2\Lambda} \bar{q}^* \sigma^{\mu\nu} [g_s f_s \frac{\lambda_a}{2} G_{\mu\nu}^a + g f \frac{\vec{\tau}}{2} \vec{W}_{\mu\nu} + g' f' \frac{Y}{2} B_{\mu\nu}] q + h.c. \quad (4.2)$$

Burada;

Λ : Kompozitlik ölçeği,

q^* : Spin-1/2 Uyarılmış Kuark,

q : SM Kuarkları,

$G_{\mu\nu}^a, \vec{W}_{\mu\nu}, B_{\mu\nu}$: Glüon, SU(2) ve U(1) için alan güç tensörleri,

λ^a : Kuark-glüon etkileşimleri renk parametreleri,

$\vec{\tau}$: Pauli Spin Matrisleri,

Y : Zayıf Hiper-yükü,

g_s, g, g' : Ayar bağlanma sabitlerini,

f_s, f, f' : Serbest parametreleri,

temsil etmektedirler.

4.5. Bozunum Genişliği

Parçacık fiziği hesaplamalarında bozunum genişliği önemli bir yer tutmaktadır. Herhangi bir parçacığın bozunmasının birim zamandaki olasılığı bozunum genişliğini (Γ) verir. Bir parçacığın, birçok parçacığa bozunduğu varsayılırsa bozunum genişliği:

$$d\Gamma = |\mathcal{M}|^2 \frac{S}{2\hbar m_1} \left\{ \left[\frac{c d^3 \mathbf{p}_2}{(2\pi)^3 2E_2} \right] \left[\frac{c d^3 \mathbf{p}_3}{(2\pi)^3 2E_3} \right] \cdots \left[\frac{c d^3 \mathbf{p}_n}{(2\pi)^3 2E_n} \right] \right\} \times (2\pi)^4 \delta^4(p_1 - p_2 - p_3 - \cdots - p_n) \quad (4.3)$$

formülü ile verilmektedir. Burada $p_n = (E_n/c, \mathbf{p}_n)$, n . parçacığın dört-momentumudur. Bozunan parçacığın durgun olduğu kabul edilmektedir; $p_1 = (m_1 c; 0)$, S ise istatistiksel faktörlerin bir çarpımıdır.

Son durumda sadece iki parçacık varsa bozunum genişliği:

$$\Gamma = \frac{S|\mathbf{p}|}{8\pi\hbar m_1^2 c} |\mathcal{M}|^2 \quad (4.4)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Burada $|\mathbf{p}|$ çıkan parçacıklardan herhangi birinin momentumunun büyüklüğüdür:

$$|\mathbf{p}| = \frac{c}{2m_1} \sqrt{m_1^4 + m_2^4 + m_3^4 - 2m_1^2 m_2^2 - 2m_1^2 m_3^2 - 2m_2^2 m_3^2} \quad (4.5)$$

Eğer çıkan parçacıklar kütleli ise $|\mathbf{p}| = m_1 c/2$ 'dir. Sonuç olarak bozunum genişliği:

$$\Gamma = \frac{S}{16\pi\hbar m_1} |\mathcal{M}|^2 \quad (4.6)$$

olarak bulunur.

Bir parçacık birkaç farklı yolla bozunabilir. Böyle durumlarda, toplam bozunum genişliği, ayrı ayrı bozunum genişliklerinin toplamıdır:

$$\Gamma_{\text{top}} = \sum_{i=1}^n \Gamma_i \quad (4.7)$$

Bir parçacığın toplam bozunum genişliğinin bulunabilmesi için, her bir kanala ait bozunum genişliği hesaplanmalıdır.

Çizelge 4.1. Uyarılmış u kuark ve d kuark için bozunma kanalları ve bunlara karşılık gelen bozunum genişliği denklemleri.

Bozunma Kanalları	Bozunum Genişliği Denklemleri
$u^* \rightarrow dW^+$	$\Gamma = \frac{1}{32\pi} g_W^2 f_W^2 \frac{m_{u^*}^3}{\Lambda^2} \left(1 - \frac{m_W^2}{m_{u^*}^2}\right)^2 \left(2 + \frac{m_W^2}{m_{u^*}^2}\right)$
$u^* \rightarrow uZ$	$\Gamma = \frac{1}{32\pi} g_Z^2 f_Z^2 \frac{m_{u^*}^3}{\Lambda^2} \left(1 - \frac{m_Z^2}{m_{u^*}^2}\right)^2 \left(2 + \frac{m_Z^2}{m_{u^*}^2}\right)$
$u^* \rightarrow ug$	$\Gamma = \frac{1}{3} \alpha_s f_s^2 \frac{m_{u^*}^3}{\Lambda^2}$
$u^* \rightarrow u\gamma$	$\Gamma = \frac{1}{4} \alpha f_\gamma^2 \frac{m_{u^*}^3}{\Lambda^2}$
$d^* \rightarrow uW^-$	$\Gamma = \frac{1}{32\pi} g_W^2 f_W^2 \frac{m_{d^*}^3}{\Lambda^2} \left(1 - \frac{m_W^2}{m_{d^*}^2}\right)^2 \left(2 + \frac{m_W^2}{m_{d^*}^2}\right)$
$d^* \rightarrow dZ$	$\Gamma = \frac{1}{32\pi} g_Z^2 f_Z^2 \frac{m_{d^*}^3}{\Lambda^2} \left(1 - \frac{m_Z^2}{m_{d^*}^2}\right)^2 \left(2 + \frac{m_Z^2}{m_{d^*}^2}\right)$
$d^* \rightarrow dg$	$\Gamma = \frac{1}{3} \alpha_s f_s^2 \frac{m_{d^*}^3}{\Lambda^2}$
$d^* \rightarrow d\gamma$	$\Gamma = \frac{1}{4} \alpha f_\gamma^2 \frac{m_{d^*}^3}{\Lambda^2}$

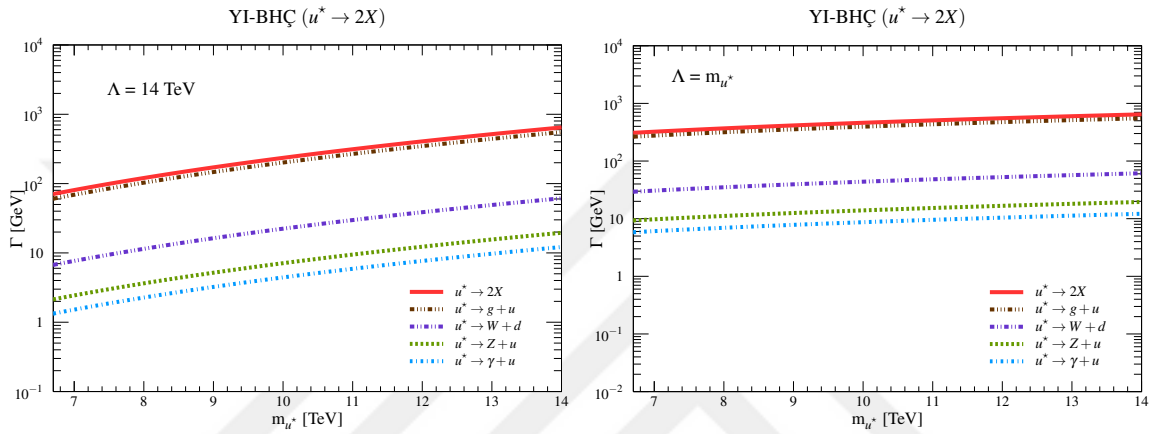
Çizelge 4.1'de u^* ve d^* için bozunma kanalları ve bozunum genişliği denklemleri verilmiştir. Çizelgeki bozunum genişliği denklemlerinde:

$f_\gamma = fT_3 + f'(Y/2)$, $f_Z = fT_3 \cos^2 \theta_W - f'(Y/2) \sin^2 \theta_W$, $f_W = f/\sqrt{2}$, $g_W = \sqrt{4\pi\alpha}/\sin \theta_W$, $g_Z = g_W/\cos \theta_W$ ve; W , W veya Z bozonlarını, T_3 zayıf izospin üçüncü bileşenini ve Y uyarılmış u ve d kuarkın zayıf hiper-yükünü temsil etmektedir.

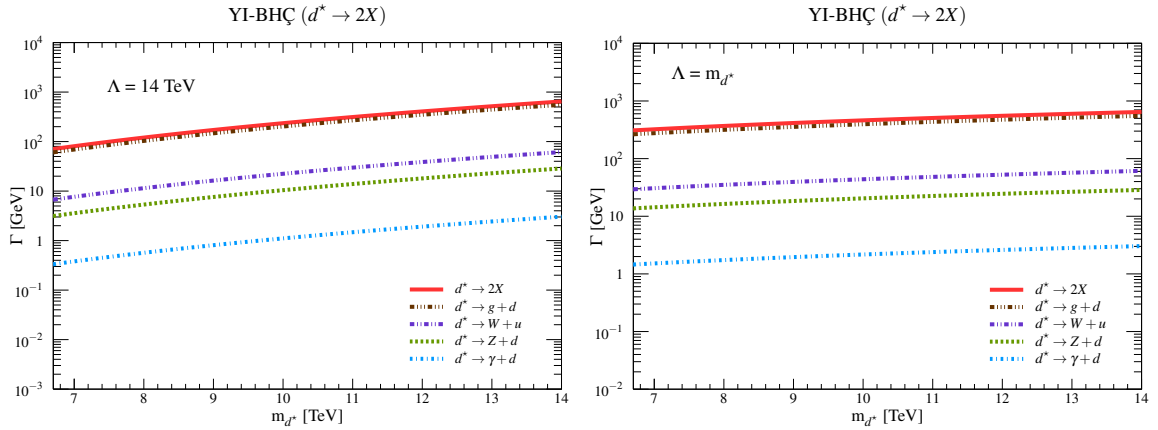
CalcHEP'te spin-1/2 u^* ve d^* 'ın bozunum genişliği dağılımları hesaplanırken, YI-BHÇ'de 6.7 TeV ile 14 TeV, YE-BHÇ'de 6.7 TeV ile 27 TeV kütle aralıklarına bakılmış f, f_s, f' 'in değeri 1 olarak ele alınmıştır.

YI-BHÇ’de uyarılmış u kuark (u^*) için $\Lambda = 14$ TeV ve $\Lambda = m_{u^*}$ kompozitlik ölçeklerinde bozunum genişliği grafiği Şekil 4.1’de, uyarılmış d kuark (d^*) için $\Lambda = 14$ TeV ve $\Lambda = m_{d^*}$ kompozitlik ölçeklerinde bozunum genişliği grafiği Şekil 4.2’de verilmiştir. YE-BHÇ’de uyarılmış u kuark (u^*) için $\Lambda = 27$ TeV ve $\Lambda = m_{u^*}$ kompozitlik ölçeklerinde bozunum genişliği grafiği Şekil 4.3’de, uyarılmış d kuark (d^*) için $\Lambda = 27$ TeV ve $\Lambda = m_{d^*}$ kompozitlik ölçeklerinde bozunum genişliği grafiği Şekil 4.4’de verilmiştir.

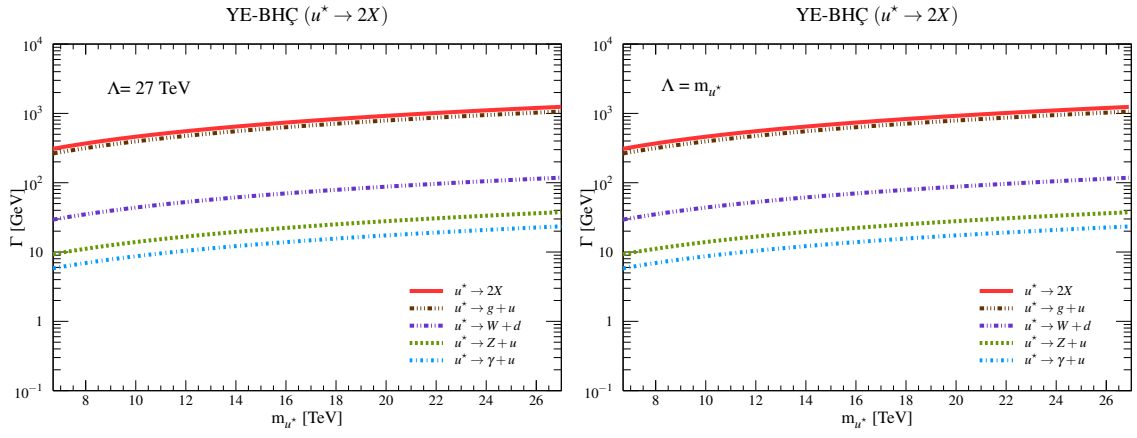
Bu grafiklerin hepsinde dört farklı bozunum kanalları ile bunların toplamalarının dağılımları gösterilmektedir. Bu grafiklerden de görüleceği gibi bozunum genişliğine en büyük katkıyı veren bu tezin konusu olan iki-jet son durumundaki bozunumdur.



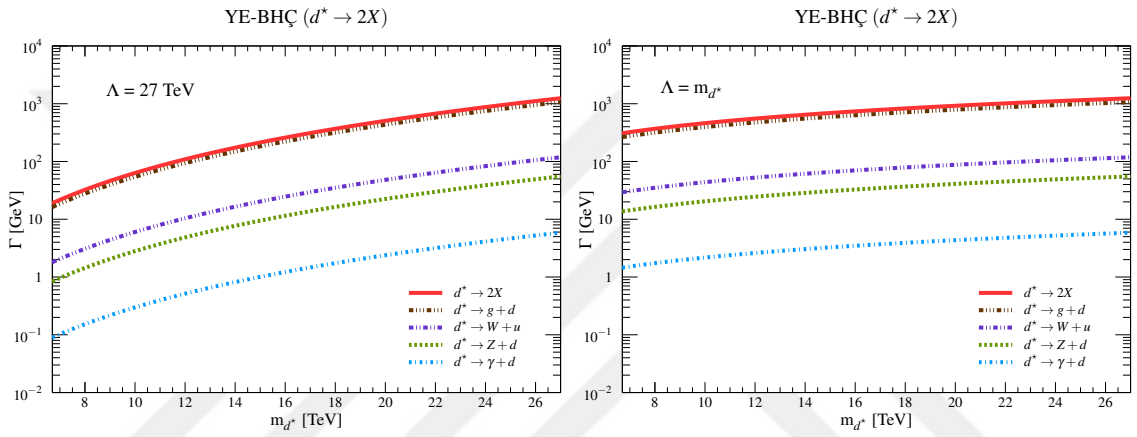
Şekil 4.1. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı’nda $\Lambda = 14$ TeV, $\Lambda = m_{u^*}$ kompozitlik ölçeklerinde ve $\sqrt{s} = 14$ TeV’de uyarılmış u kuark için bozunum genişliği grafikleri.



Şekil 4.2. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı’nda $\Lambda = 14$ TeV, $\Lambda = m_{d^*}$ kompozitlik ölçeklerinde ve $\sqrt{s} = 14$ TeV’de uyarılmış d kuark için bozunum genişliği grafikleri.



Şekil 4.3. Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\Lambda = 27$ TeV, $\Lambda = m_{u^*}$ kompozitlik ölçeklerinde ve $\sqrt{s} = 27$ TeV'de uyarılmış u kuark için bozunum genişliği grafikleri.



Şekil 4.4. Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\Lambda = 27$ TeV, $\Lambda = m_{d^*}$ kompozitlik ölçeklerinde ve $\sqrt{s} = 27$ TeV'de uyarılmış d kuark için bozunum genişliği grafikleri.

4.6. Tesir Kesiti

Tesir kesiti bir olayın meydana gelme olasılığının bir ölçüsüdür. Yani saçılma deneylerinde, gelen parçacıklar ile hedef parçacıkların etkileşime girmesi hedef parçacıkların tesir alanı içerisinde bulunmasıyla meydana gelebilir. Tesir kesiti (σ) sembolü ile gösterilir. Birimi ise *barn*'dır. Bir barn'ın metrik sistemdeki karşılığı Denklem 4.8'da verilmiştir.

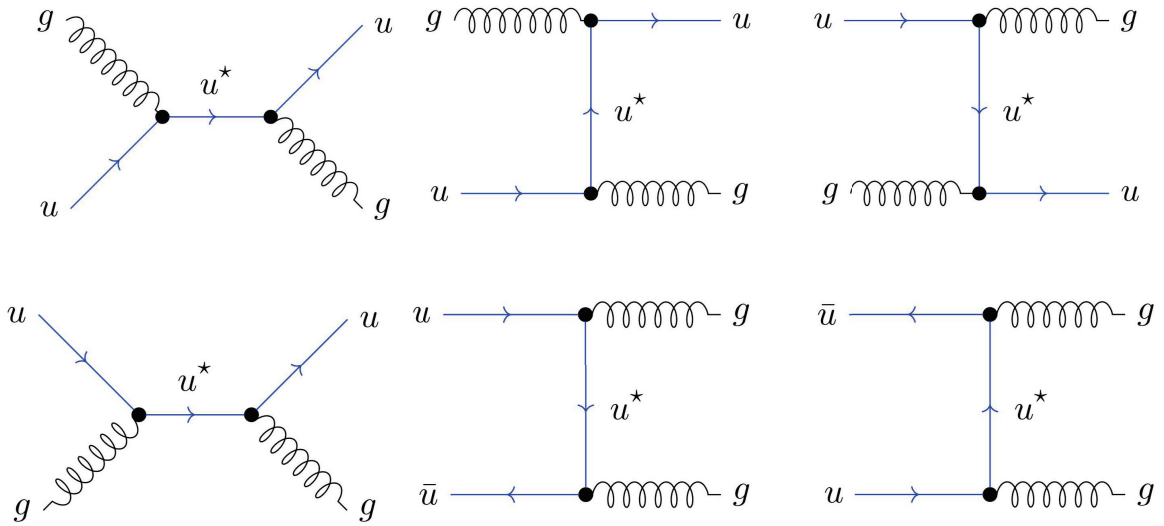
$$1b = 10^{-24} \text{cm}^2 \quad (4.8)$$

Daha önce bölüm 4.6'de anlatıldığı üzere belirli bir sonuç için saniyede ki olay sayısı Denklem 4.9 ile ifade edilmişti.

$$N = \mathcal{L} \cdot \sigma \quad (4.9)$$

Bu nedenle çarpışmadan istenilen olay sayısı ışınığa bağlı olduğu kadar tesir kesitine de bağlıdır. Yani tesir kesitinin büyük olması, birim zamanda etkileşen parçacık sayısı ve süreçte gözlenebilecek olası olayların ve ürünlerin fazla olması anlamını taşımaktadır.

Bu çalışmada temel olarak üç farklı durum için analizler yapılmıştır. Bu durumlar; uyarılmış u kuarkın kütesinin uyarılmış d kuarkın kütesinden büyük olduğunu kabul ettiğim (a) $m_{u^*} > m_{d^*}$, bunun tam tersi kabul olan (b) $m_{d^*} > m_{u^*}$ ve uyarılmış u ve d kuarkların kütlelerinin eşit olarak alındığı (dejenere durum) (c) $m_{u^*} = m_{d^*}$ 'dir. Bu durumlara karşılık gelen süreçler ise sırasıyla, $pp \rightarrow u^* + X \rightarrow ug + X$, $pp \rightarrow d^* + X$ ve $pp \rightarrow q^* + X \rightarrow qg + X$ 'dir. Burada q^* dejenere durumu ifade etmekte olup hem u^* hem de d^* 'ı içermektedir. Her bir duruma karşılık gelen tesir kesiti hesaplamalarında kullanılan Feynman diyagramları vardır. Şekil 4.5'de verilen örnekleme amacıyla sadece uyarılmış u kuark içeren Feynman diyagramlarına yer verilmiştir. Aynı yapıda ve sayıda uyarılmış d kuark içeren Feynman diyagramları da vardır ve dejenere durumda u^* ve d^* 'ı içeren bütün diyagramların toplamı (12 adet) üzerinden hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 4.5. *proton – proton* çarpıştırıcılarda doğrudan ve dolaylı üretim için sinyal sürecinin Feynman diyagramı.

Daha öncede ifade edildiği gibi olay sayısını belirleyebilmek için tesir kesiti değerlerine bakılmalıdır. Yapacağım analizlerde çalışacağım aralıklarda, her iki çarpıştırıcı için en yüksek ışınlıkta olay sayısı en az 1 olmalıdır. Örneğin, Denklem 4.9'e göre 3500 fb^{-1} ışınlık değerinde olay sayısı;

$$\text{Işınlık} \cdot \text{Tesir Kesiti} = \text{Olay Sayısı}$$

$$3500 \text{ fb}^{-1} \cdot 10^{-1} \text{ fb} = 350 \text{ olay}$$

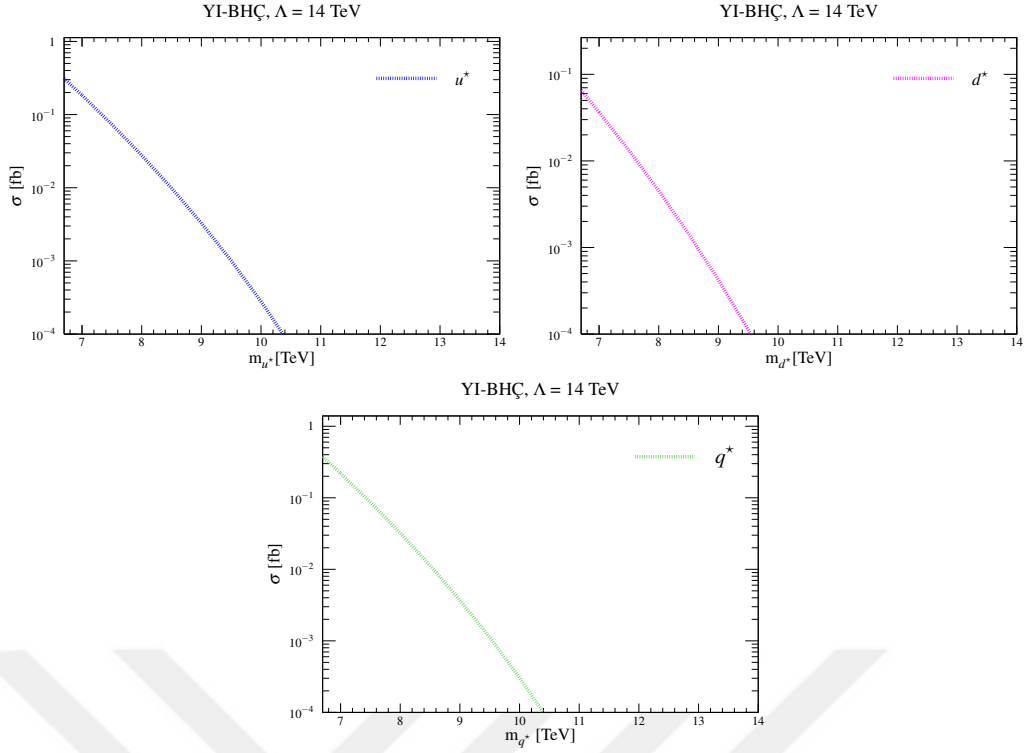
$$3500 \text{ fb}^{-1} \cdot 10^{-4} \text{ fb} = 0,35 \text{ olay}$$

Dolayısıyla 3500 fb^{-1} ışınlık değerinde 1 olay elde edilebilmesi için, tesir kesiti değeri en az 10^{-3} fb ile 10^{-4} fb arasında olmalıdır.

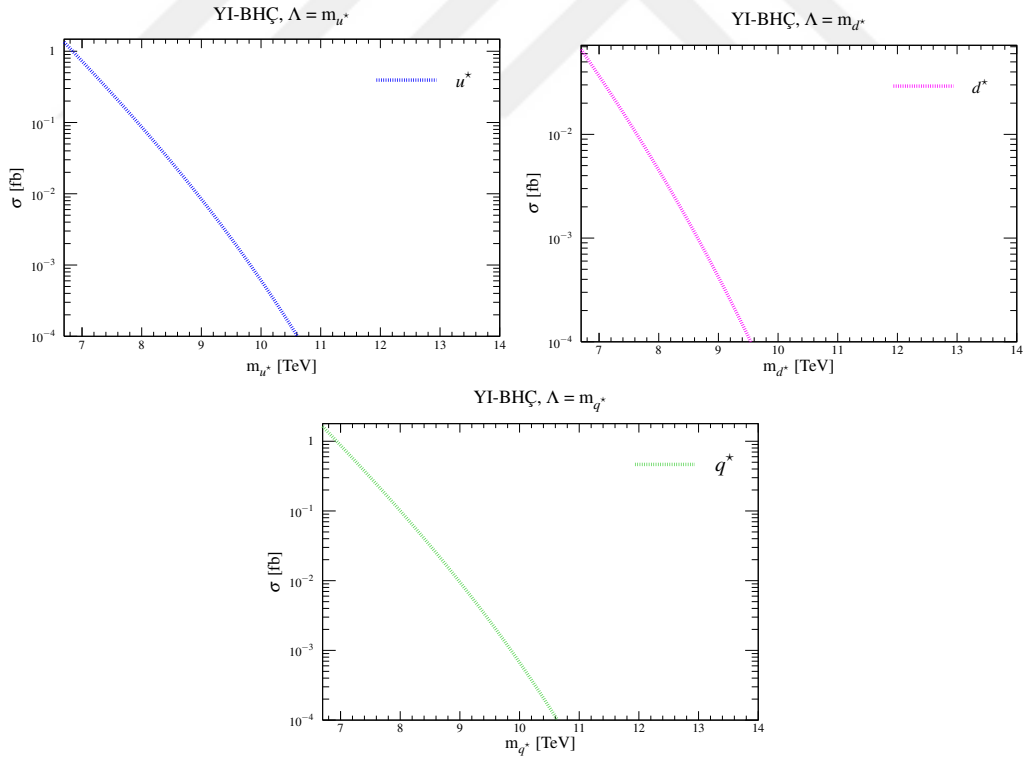
Süreçlerle ilgili 14 TeV ve 27 TeV kütle merkezi enerjili proton-proton çarpıştırıcıları için hiçbir sınırlama koymadan tesir kesiti grafikleri elde edilmiştir. YI-BHÇ'de $\Lambda=14 \text{ TeV}$ kompozitlik ölçeğinde Şekil 4.6'e göre olay gözlemlenebilecek aralık yaklaşık olarak; u^* için 6.7 TeV ile 10.4 TeV, d^* için 6.7 TeV ile 9.5 TeV, q^* için 6.7 TeV ile 10.4 TeV arasında olduğu, Şekil 4.7'e göre ise YI-BHÇ'de $\Lambda = m_{u^*}$, $\Lambda = m_{d^*}$ ve $\Lambda = m_{q^*}$ kompozitlik ölçeklerinde u^* için 6.7 TeV ile 10.6 TeV, d^* için 6.7 TeV ile 9.5 TeV, q^* için 6.7 TeV ile 10.6 TeV arasında olduğu görülmektedir.

YI-BHÇ için, $\Lambda = 14 \text{ TeV}$ ve $\Lambda = m_{d^*}$ kompozitlik ölçeklerinde sınırlandırma koymadan yapılan tesir kesiti taramalarında uyarılmış d kuark için olay gözleme ihtimali çok düşüktür. Sınırlama konulduktan sonra ise, neredeyse olay sayısı elde edilememektedir. Bu sebeple çalışmada YI-BHÇ için verilen sonuçlarda uyarılmış d kuark'a yer verilmemiştir.

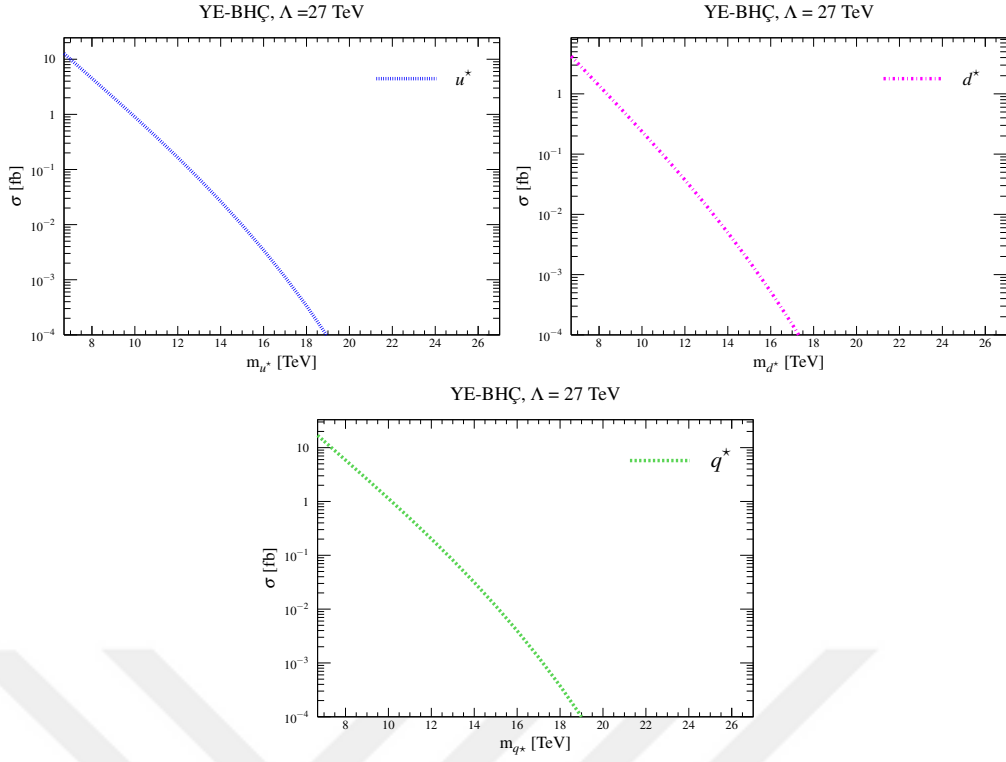
YE-BHÇ için, Şekil 4.8'e bakıldığında $\Lambda = 27 \text{ TeV}$ kompozitlik ölçeğinde olay aralığı için yaklaşık değer; u^* için 6.7 TeV ile 19 TeV, d^* için 6.7 TeV ile 17.5 TeV, q^* için 6.7 TeV ile 19 TeV arasında iken; Şekil 4.9'e bakıldığında ise $\Lambda = m_{u^*}$, $\Lambda = m_{d^*}$ ve $\Lambda = m_{q^*}$ kompozitlik ölçeklerinde olay gözlemlenebilme aralığı yaklaşık olarak; u^* için 6.7 TeV ile 19.5 TeV, d^* için 6.7 TeV ile 18.5 TeV, q^* için 6.7 TeV ile 19.5 TeV arasında olduğu görülmektedir.



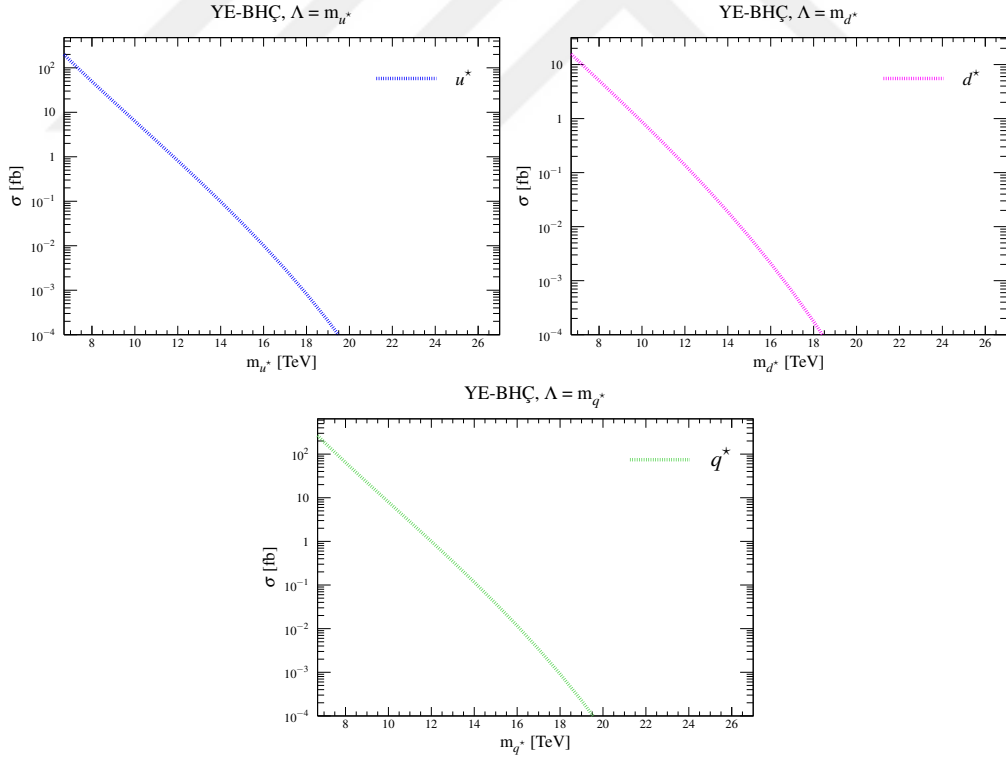
Şekil 4.6. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı için $\Lambda=14$ TeV ve $\sqrt{s}=14$ TeV'de uyarılmış u kuark, d kuark ve q kuark için tesir kesiti grafikleri.



Şekil 4.7. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı için $\Lambda = m_{Q^*}$ ve $\sqrt{s}=14$ TeV'de uyarılmış u kuark, d kuark ve q kuark için tesir kesiti grafikleri.



Şekil 4.8. Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı için $\Lambda=27$ TeV ve $\sqrt{s}=27$ TeV’de uyarılmış u kuark, d kuark ve q kuark için tesir kesiti grafikleri.



Şekil 4.9. Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı için $\Lambda = m_{Q^*}$ ve $\sqrt{s}=27$ TeV’de uyarılmış u kuark, d kuark ve q kuark için tesir kesiti grafikleri.

4.7. İstatistiki Önem Hesabı

Sigma (σ), istatistikte bir değişkenlik ölçüsü olan standart sapmayı ifade eder. Sigma düzeyinin yüksek olması, bir üretim veya hizmet sürecinde daha az sayıda hata olması anlamına gelmektedir. Çizelge 4.2 incelendiğinde sigma düzeyi ile hata sayısı arasında ters orantı bulunduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2. Basitleştirilmiş sigma dönüştürme tablosu.

Sigma (σ)	Başarı Oranı	Milyon Fırsatta Yanlış Olasılığı
2	69,2	308000
3	99,3	66800
5	99,98	320

İstatistiki hesaplamalar fizik deneyleri için de iyi bir kılavuzdur. Parçacık fizikçileri, CMS ve ATLAS deneylerinde elde edilen veriler arasında yeni parçacıklara dair bilgiler ararken, parçacıkların gözlemlenebileceği, keşfedilebileceği veya hiç bulunma olasılığının bulunmadığı kütle değerlerini bu istatistiki hesapla belirlemektedirler. Üzerinde çalıştığım konu ile ilgili kullanılan istatistiki önem hesap tekniklerinden biri Denklem 4.10 ile verilmiş olup σ_S 'in 2 değerine karşılık gelen dışarlama, 3 değerine karşılık gelen gözlem ve 5 değerine karşılık gelen keşif limitleri de bu denklem ile hesaplanmıştır.

Denklem ile yapılan istatistiki hesaplamalara göre, Yüksek Enerji Fiziği'nde 2σ değerinde dışarlama, 3σ değerinde gözlem, 5σ değerinde keşif limitlerine ulaşılacağı öngörülmektedir.

$$\sigma_S = \frac{S}{\sqrt{S+B}} * \sqrt{\mathcal{L}_{top}} \quad (4.10)$$

Burada,

- S: Sinyal Tesir Kesiti
- B: Ardalan tesir Kesiti
- \mathcal{L}_{top} : Toplam Işınlık

olarak tanımlanmıştır.

4.8. Enine Momentum, Psedö-rapidity ve Değişmez Kütle

Hadronik çarpışmaların kinematik süreçlerine bakıldığında eşit hızlarla birbirine yaklaşan iki proton için kütle merkezinde toplam momentum sıfırdır. Doğası gereği çok yüksek hızlarda gerçekleşen bu çarpışmalarda enerji ve momentum korunur.

Çarpıştırıcı çerçevesinde meydana gelen çarpışmalarda demetlere paralel z-ekseninde değişkenler, sadece enine bileşenleri içeren uzunlamasına takviyeler altında değişmezdir. Silindirik koordinatlar Denklem 4.11 ile ifade edilirse;

$$\frac{d^3\vec{P}}{E} = dP_x dP_y \frac{dP_z}{E} = P_T dP_T d\phi \frac{dP_z}{E} \quad (4.11)$$

Burada ϕ z-ekseni etrafındaki azimut açısıdır, ve

$$P_T = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} = P \sin \theta \quad (4.12)$$

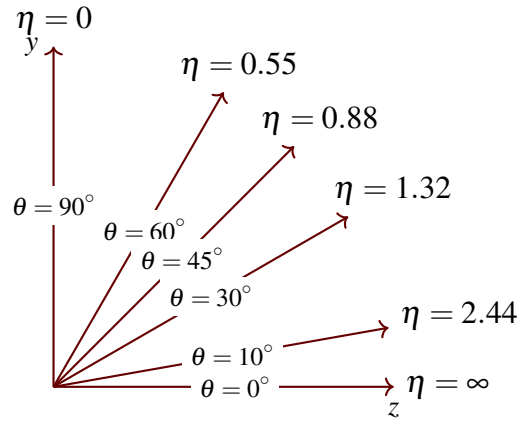
ise enine momentumdur. Denklem 4.11'ye göre z-ekseninde P_T ve ϕ değişmezdir.

Ortaya çıkan boylamsal açıyı ölçmek için psedö-rapidity denilen bir değişken kullanılır. Bir diğer ifadeyle psedö-rapidity, bir parçacığın ışın eksenine göre açısını tanımlayan bir uzaysal koordinattır ve η ile gösterilir. Denklem 4.13 yardımıyla η 'nin alabileceği değerler hesaplanır.

$$\eta = -\ln[(\tan(\theta)/2)] \quad (4.13)$$

Bu denkleme göre, ışına dik olan parçacık yörüngeleri için 0 değerini, ışın ile aynı açıda olanlar için pozitif veya negatif değerler alır. Şekil 4.10'de görüleceği üzere η , y-ekseninde 0 değerini almaktadır.

Hadronik çarpışmalarda dedektörlerdeki kalorimetreler $\eta - \phi$ düzlemindeki enerjiyi ölçer. Ölçülen noktanın küresel koordinatlarını belirleyebilmek için kullanılan kinematik değişkenler; enine momentum (P_T), psedö-rapidity (η) ve azimut açısı (ϕ)'dir. Saçılan parçacıklar belirli açılarda saçılacaklar ve bu aralıktaki parçacıkların jet-jet ayrılması



Şekil 4.10. (η)'nin kutup açısına bağlı değerleri.

uzunlamasına değişmez olacaktır. ΔR simgesi ile ifade edilen konik açı sınırlandırması ile son durumdaki iki jeti bir birinden ayırıştırma imkanımız vardır. Denklem 4.14 ile hesaplamalarında kullandığım konik açı sınırlandırmasının ifadesi verilmiştir.

$$\Delta R = \sqrt{\Delta\eta^2 + \Delta\phi^2} \quad (4.14)$$

Kütle bir parçacık için, Einstein'in teorisine göre hız ve referans çerçevesi ile değişmeyen bir niceliktir. Çarpışmalarda da kütle hiç bir koşulda değişmeyeceği için değişmez kütle adını almaktadır. Değişmez kütle veren ifade Denklem 4.15 ile verilmiştir;

$$m = \sqrt{E^2 - P^2} \quad (4.15)$$

denklemini ile ifade edilebilir. Bir parçacığın değişmez kütlelerini belirlemek için bozunma oranlarına bakmak gereklidir. Denklem 4.16'daki gibi bozunan her parçacığın enerji ve momentumu toplandığında sonuç yine değişmez kütle verecektir. Dolayısıyla bir parçacığa farklı olaylar çerçevesinde bakıldığında kütle daima aynı olmalıdır.

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots \quad (4.16)$$

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \dots$$

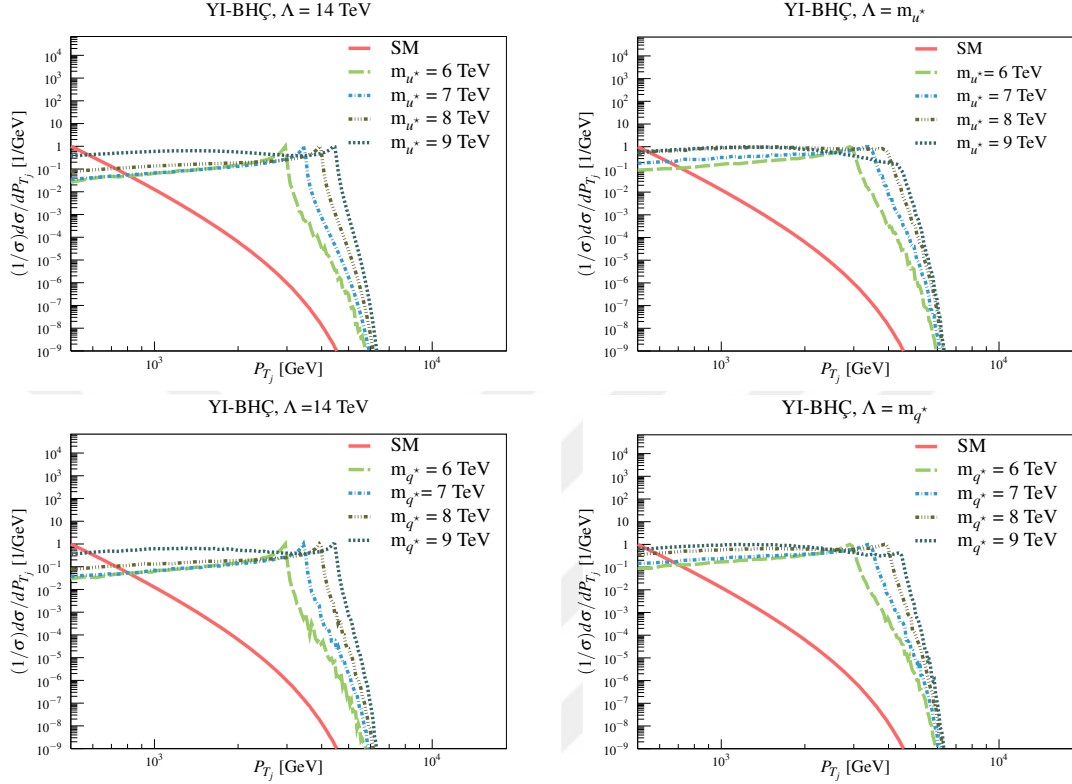
4.9. Sinyal-Ardalan Çözümlemesi

YI-BHÇ ve YE-BHÇ’de uyarılmış kuarkın kütlesinin ve kompozitlik ölçeği Λ ’nın ulaşabileceği değerleri net bir şekilde belirlemek için öncelikle sinyal-ardalan çözümlemesi yapılması gerekmektedir. Hesaplamalardaki ardalan sürecimiz $pp \rightarrow jj + X$ şeklindedir. Burada j ; $u, \bar{u}, d, \bar{d}, c, \bar{c}, s, \bar{s}, b, \bar{b}$ ve g olarak tanımlanmaktadır. Uyarılmış kuarkın sinyalini, Standart Model ardalan katkısından ayırıştırmak için enine momentum (P_T), psedö-rapidity (η_{jj}) ve değişmez-kütle (m_{jj}) niceliklerine bir sınırlandırma koymak gereklidir. Sınırlandırmaların belirlenebilmesi için u^*, d^*, q^* ve SM için belirli kütle değerlerine göre her bir çarpıştırıcı için dağılım grafikleri çizildi. Bu kütle değerleri YI-BHÇ için 6, 7, 8, 9 TeV alınırken, YE-BHÇ için 6, 9, 12, 15 TeV olarak alındı. Elde edilen dağılımların yardımı ile yapacağımız analizlerde bu parametrelere ne kadarlık bir sınırlandırma getirmem gerektiğini belirledim.

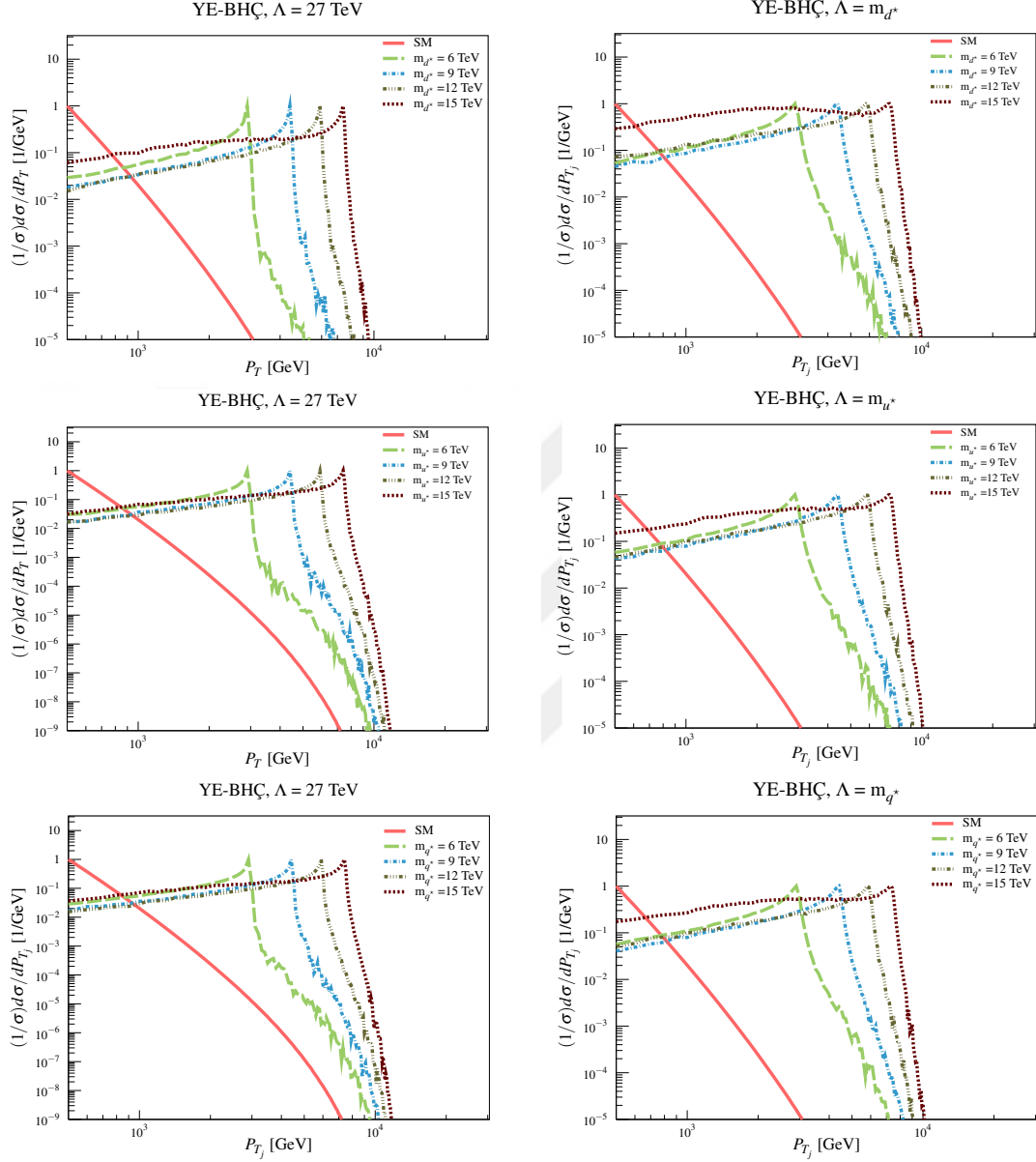
YI-BHÇ ve YE-BHÇ için belirlenen kütle değerlerine karşılık gelen normalize edilmiş diferansiyel tesir kesitlere bağlı enine momentum ve psedö-rapidity grafikleri çizildi. Şekil 4.11 ve 4.12’ye göre, YI-BHÇ’de $\Lambda = 14$ TeV ve $\Lambda = m_{Q^*}$ ve YE-BHÇ’de $\Lambda = 27$ TeV ve $\Lambda = m_{Q^*}$ kompozitlik ölçeklerinde $P_T > 2$ TeV’lik bir sınırlandırma sinyali ardalanına öne daha öne çıkarmaktadır. Aynı şekilde psedö-rapidity sınırlamasının Şekil 4.13 ve 4.14 incelendiğinde $-2.5 < \eta_j < 2.5$ olması gerektiği belirlenmiştir.

Değişmez kütle için belirlenecek sınırlandırma değerleri için YI-BHÇ $\Lambda = 14$ TeV ve $\Lambda = m_{Q^*}$ ve YE-BHÇ’de $\Lambda = 27$ TeV ve $\Lambda = m_{Q^*}$ kompozitlik ölçekleri için belirlenen kütle değerlerinde normalize edilmemiş diferansiyel kesite bağlı kütle değerlerine bağlı dağılım grafikleri çizildi. Şekil 4.15 ve 4.16 incelendiğinde grafiklerdeki sinyalin ulaştığı en yüksek noktaları hesaplamalarda öne çıkartıp ardalanın etkisini büyük oranda azaltmak için değişmez kütleyle $m_{Q^*} - 2\Gamma^* < m_{jj} < m_{Q^*} + 2\Gamma^*$ sınırlandırması getirildi. Burada m_{Q^*} uyarılmış kuark (u^*, d^*, q^*) kütlesi, Γ^* ise toplam bozunum genişliğidir.

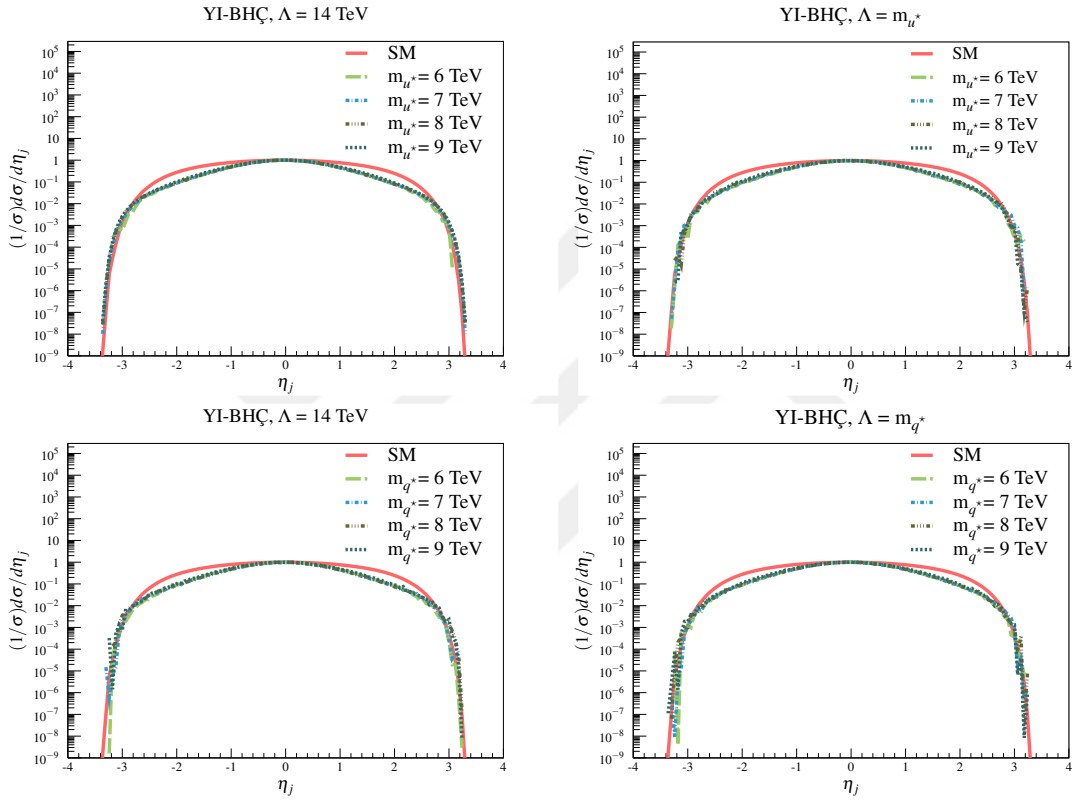
Bu sınırlandırmalar ile birlikte, son durumda iki jeti birbirinden ayırmak için konik açı ΔR 'ye de sınırlandırma koydum. Yaptığım hesaplamalarda $\Delta R > 0.5$ sınırlama değeri aldım.



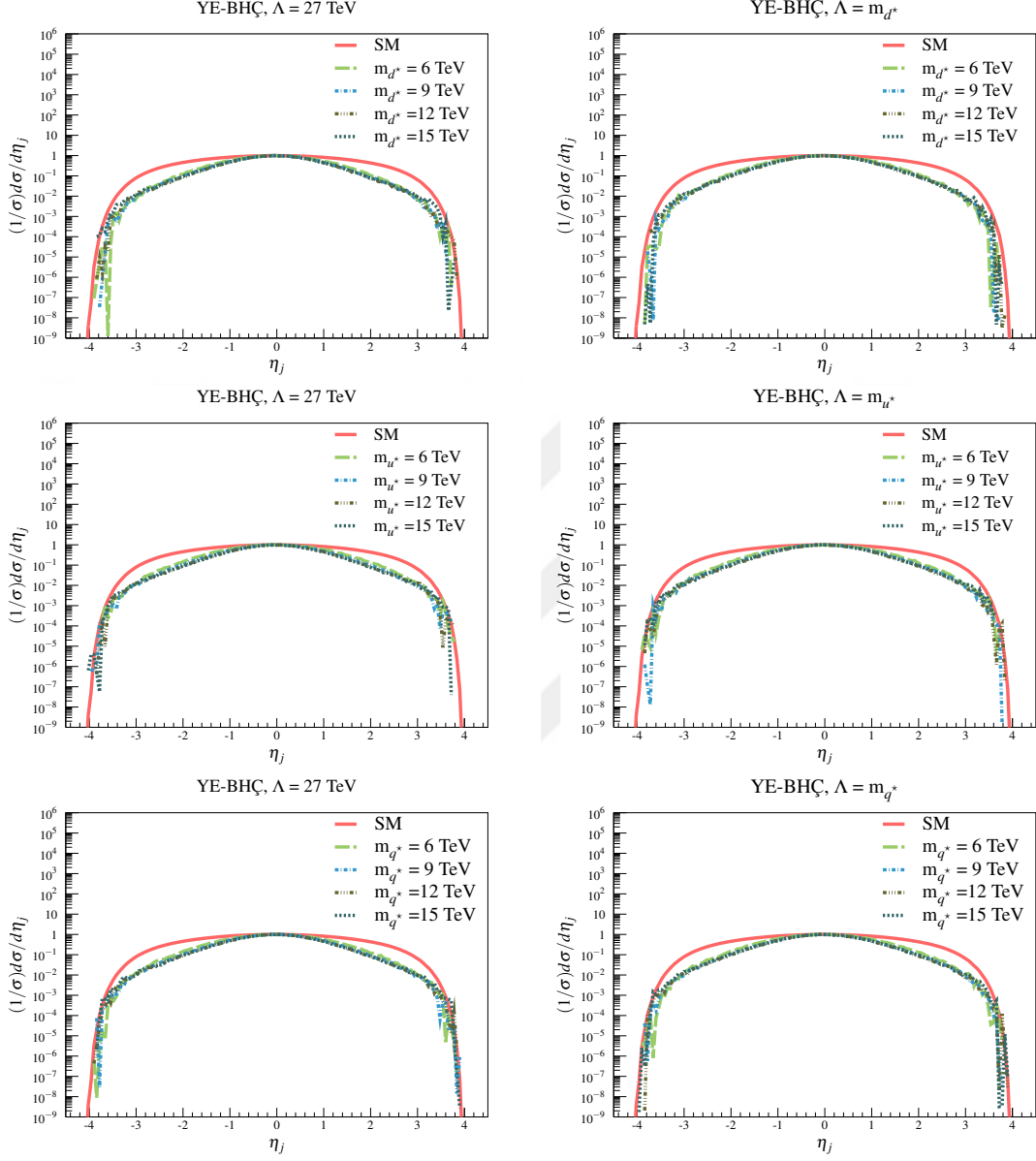
Şekil 4.11. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda ($\sqrt{s} = 14$ TeV) kompozitlik ölçeğinin 14 TeV (sol panel) değerine eşit ve uyarılmış kuarkın kütlesine eşit alındığı durumlardaki (sağ panel) u^* (üst sıra) ile q^* (alt sıra) için enine momentum dağılımları.



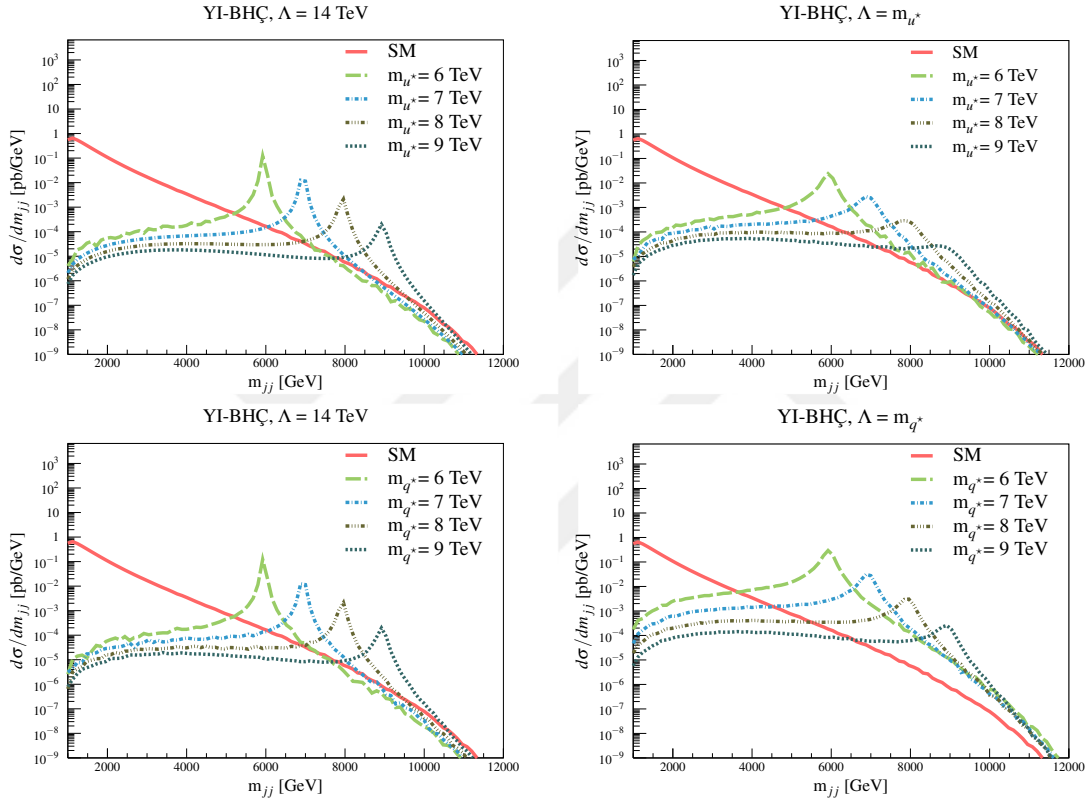
Şekil 4.12. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda ($\sqrt{s} = 27$ TeV) kompozitlik ölçeğinin 27 TeV (sol panel) değerine eşit ve uyarılmış kuarkın kütesine eşit alındığı durumlardaki (sağ panel) d^* (üst sıra), u^* (orta sıra) ile q^* (alt sıra) için enine momentum dağılımları.



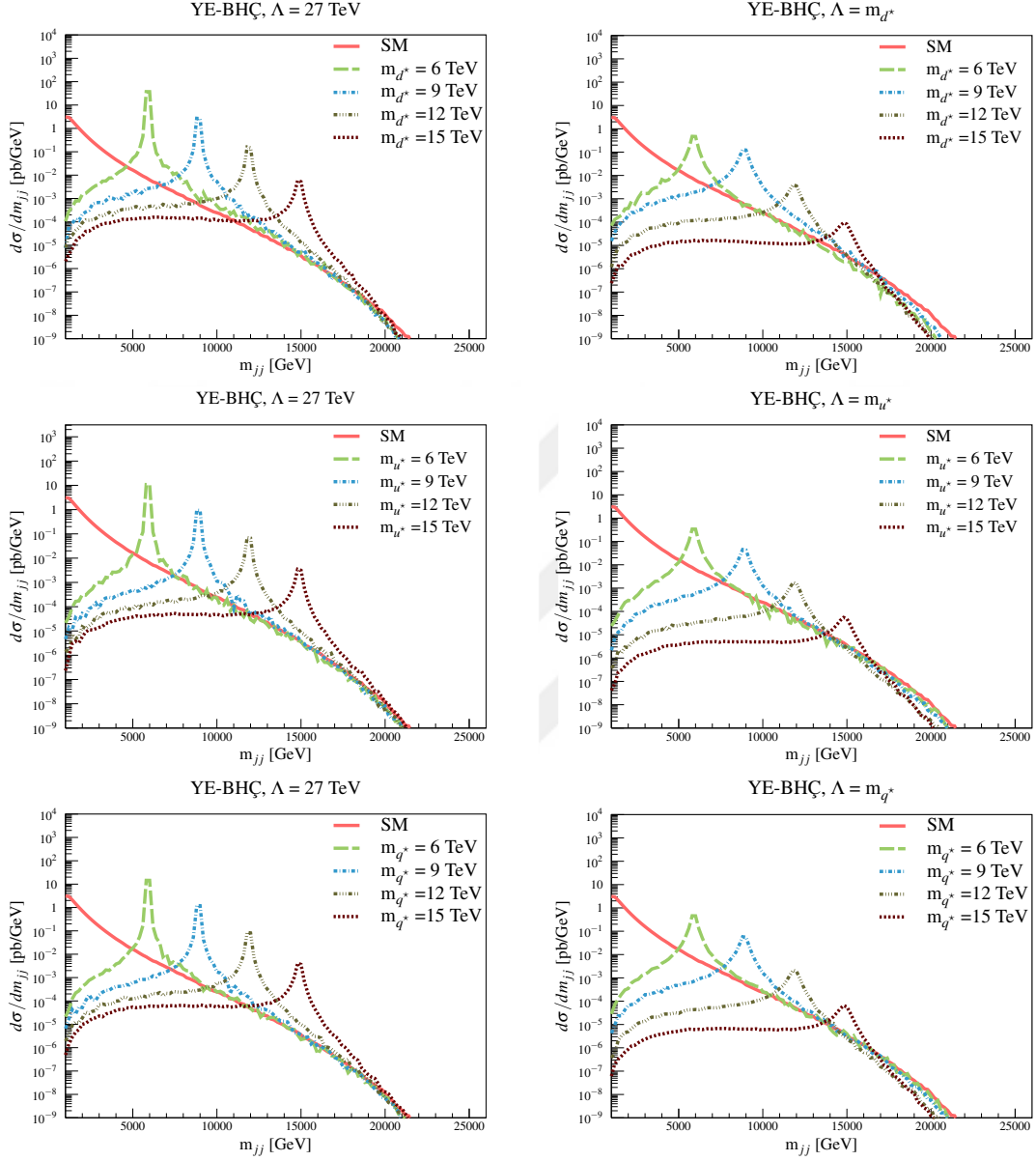
Şekil 4.13. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda ($\sqrt{s} = 14$ TeV) kompozitlik ölçeğinin 14 TeV (sol panel) değerine eşit ve uyarılmış kuarkın kütlesine eşit alındığı durumlardaki (sağ panel) u^* (üst sıra) ile q^* (alt sıra) için psedö-rapidity dağılımları.



Şekil 4.14. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda ($\sqrt{s} = 27$ TeV) kompozitlik ölçeğinin 27 TeV (sol panel) değerine eşit ve uyarılmış kuarkın kütlesine eşit alındığı durumlardaki (sağ panel) d^* (üst sıra), u^* (orta sıra) ile q^* (alt sıra) için psedö-rapidity dağılımları.



Şekil 4.15. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda ($\sqrt{s} = 14$ TeV) kompozitlik ölçeğinin 14 TeV (sol panel) değerine eşit ve uyarılmış kuarkın kütlesine eşit alındığı durumlardaki (sağ panel) u^* (üst sıra) ile q^* (alt sıra) için değişmez kütle dağılımları.



Şekil 4.16. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda ($\sqrt{s} = 27 \text{ TeV}$) kompozitlik ölçeğinin 27 TeV (sol panel) değerine eşit ve uyarılmış kuarkın kütlesine eşit alındığı durumlardaki (sağ panel) d^* (üst sıra), u^* (orta sıra) ile q^* (alt sıra) için değişmez kütle dağılımları.

5. SONUÇ VE BULGULAR

Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı ve Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda uyarılmış kuarkın dışarlama (2σ), gözlem (3σ) ve keşif (5σ) değerlerinin hangi ışınlık ve kompozitlik değerinde olabileceği, CalcHEP benzetim yazılımı kullanılarak ve daha önceki bölümlerde belirlenen sınırlandırmalar ile istatistiki önem hesabı kullanılarak belirlendi. Uyarılmış d kuark için YI-BHÇ'nin kinematik sınırları istatistiki önem değerlerinin hesaplanmasına izin vermemektedir. Bu sebeple d^* 'in YI-BHÇ'deki sonuçlarına yer verilmemiştir.

Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı için $\Lambda = 14$ TeV kompozitlik ölçeği ve $\sqrt{s} = 14$ TeV kütle merkezi enerjisinde u^* ve q^* için yapılan toplam ışınlık niceliklerine göre uyarılmış kuarkın ulaşılabilir kütle hesaplamaları sonucunda Çizelge 5.1 oluşturulmuştur. Çizelge 5.1'e göre u^* , 8.3 TeV'e kadar dışarlama, 8 TeV'e kadar gözlem ve 7.5 TeV'e kadar keşif limitlerine sahip iken, q^* 8.4 TeV'e kadar dışarlama, 8.1 TeV'e kadar gözlem ve 7.7 TeV'e kadar keşif limitlerine sahiptir.

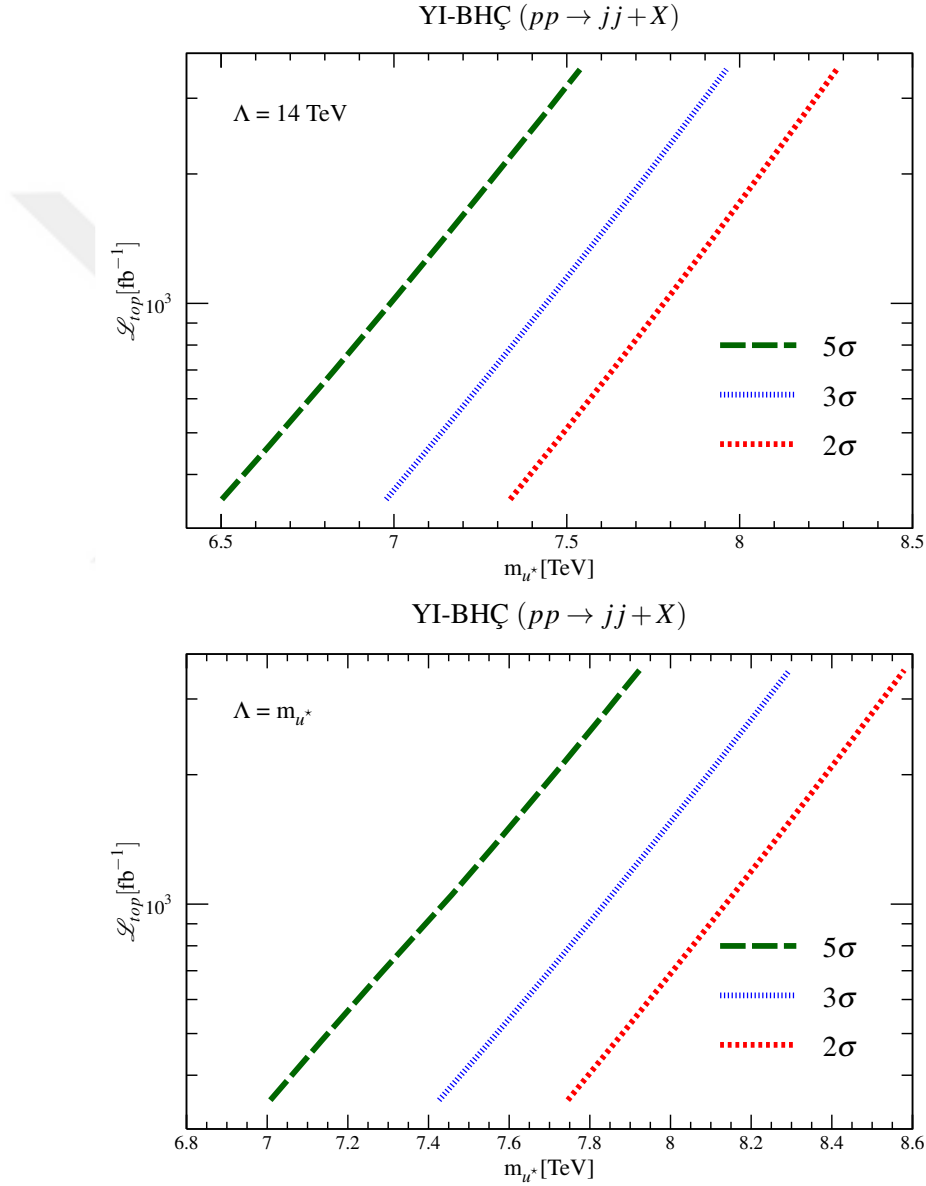
Çizelge 5.1. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\Lambda = 14$ TeV kompozitlik ölçeğine ve $\sqrt{s} = 14$ TeV kütle merkezi enerjisine sahip, en düşük ve en yüksek yıllık toplam ışınlık değerine göre u^* ve q^* 'in dışarlama (2σ), gözlem (3σ) ve keşif (5σ) limit değerleri.

$\mathcal{L}_{top}(\text{fb}^{-1})$	350			3500		
Anlamlılık	2σ	3σ	5σ	2σ	3σ	5σ
m_{u^*} (TeV)	7.4	7	6.5	8.3	8	7.5
m_{q^*} (TeV)	7.5	7.2	6.7	8.4	8.1	7.7

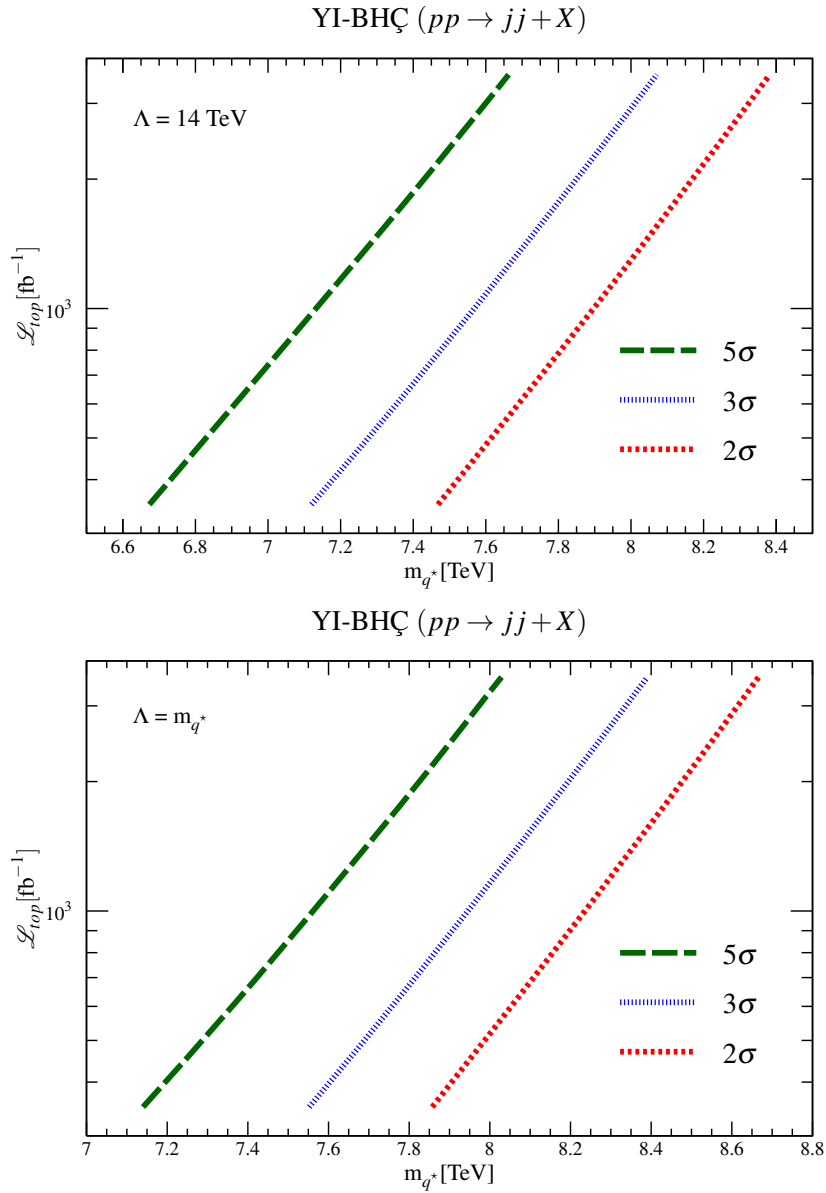
Çizelge 5.2 ise Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın $\Lambda = m_{u^*}$, $\Lambda = m_{q^*}$ kompozitlik ölçeği ve $\sqrt{s} = 14$ TeV kütle merkezi enerjisinde u^* ve q^* için yapılan toplam ışınlık niceliklerine göre uyarılmış kuarkın ulaşılabilir kütle hesaplamalar sonucunda elde edilmiştir. Bu çizelgede verilen değerlere göre, u^* 'in 8.5 TeV'e kadar dışarlama, 8.3 TeV'e kadar gözlem, 8 TeV'e kadar keşif, q^* 'in ise 8.4 TeV'e kadar dışarlama, 8.1 TeV'e kadar gözlem, 7.7 TeV'e kadar keşif limitlerine sahiptir. Işınlık değerindeki gelişmenin yıllık bazdaki süreci her iki kompozitlik ölçeğinde u^* için Şekil 5.1'de ve q^* için Şekil 5.2'de verilmektedir.

Çizelge 5.2. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\Lambda = m_{u^*}$, $\Lambda = m_{q^*}$ kompozitlik ölçeğine ve $\sqrt{s} = 14$ TeV kütle merkezi enerjisine sahip, en düşük ve en yüksek yıllık toplam ışınlık değerine göre u^* ve q^* 'in dışarlama (2σ), gözlem (3σ) ve keşif (5σ) limit değerleri.

$\mathcal{L}_{top}(\text{fb}^{-1})$	350			3500		
Anlamlılık	2σ	3σ	5σ	2σ	3σ	5σ
m_{u^*} (TeV)	7.8	7.5	7	8.5	8.3	8
m_{q^*} (TeV)	7.9	7.6	7.2	8.7	8.4	8.1



Şekil 5.1. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\Lambda = 14 \text{ TeV}$, $\Lambda = m_{u^*}$ kompozitlik ölçeği ve $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$ kütle merkezi enerjisinde, toplam ışınlığa karşılık gelen, uyarılmış u kuark için ulaşılabilir kütle değerleri grafikleri.



Şekil 5.2. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda, $\Lambda = 14$ TeV, $\Lambda = m_{q^*}$ kompozitlik ölçeği ve $\sqrt{s} = 14$ TeV kütle merkezi enerjisinde, ışınığa (\mathcal{L}_{top}) karşılık gelen, uyarılmış q kuark için ulaşılabilir kütle (m_{q^*}) değerleri grafikleri.

Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı için $\Lambda = 27$ TeV kompozitlik ölçeği ve $\sqrt{s} = 27$ TeV kütle merkezi enerjisinde yapılan toplam ışınık niceliklerine göre uyarılmış kuarkın ulaşılabilir kütle hesaplamaları d^* , u^* ve q^* için dışarlama (2σ), gözlem (3σ) ve keşif (5σ) limit değerlerine ulaşılmış ve bu değerlerden Çizelge 5.3 oluşturulmuştur. Çizelgeye göre d^* ; 12.7 TeV dışarlama, 12 TeV gözlem, 11.3 TeV keşif limitlerine, u^* ; 15.1 TeV dışarlama, 14.5 TeV gözlem, 13.7 TeV keşif limitlerine, q^* ; 15.3 TeV dışarlama, 14.7 TeV gözlem, 14 TeV keşif limitlerine sahiptir.

Çizelge 5.3. Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\Lambda = 27$ TeV kompozitlik ölçeği ve $\sqrt{s} = 27$ TeV kütle merkezi enerjisine sahip en düşük ve en yüksek yıllık toplam ışınlık değerine göre d^* , u^* ve q^* 'ın dışarlama (2σ), gözlem (3σ) ve keşif (5σ) limit değerleri.

$\mathcal{L}_{top}(\text{fb}^{-1})$	750			15000		
Anlamlılık	2σ	3σ	5σ	2σ	3σ	5σ
m_{d^*} (TeV)	10.3	9.7	8.8	12.7	12	11.3
m_{u^*} (TeV)	12.7	11.9	11.1	15.1	14.5	13.7
m_{q^*} (TeV)	13	12.3	11.5	15.3	14.7	14

$\sqrt{s} = 27$ TeV kütle merkezi enerjisi ve $\Lambda = m_{Q^*}$ ($Q = d^*, u^*, q^*$) kompozitlik ölçeğinde, Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı için yapılan taramalarda en düşük ve en yüksek ışınlık değerlerine göre d^* , u^* ve q^* 'ın dışarlama (2σ), gözlem (3σ) ve keşif (5σ) limit değerleri ile Çizelge 5.4 oluşmuştur. Çizelgeye göre d^* ; 12.6 TeV dışarlama, 12 TeV gözlem, 11.1 TeV keşif limitlerine, u^* ; 15.9 TeV dışarlama, 15.3 TeV gözlem, 14.6 TeV keşif limitlerine, q^* ; 16 TeV dışarlama, 15.5 TeV gözlem, 14.8 TeV keşif limitlerine sahiptir. Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda her iki kompozitlik ölçeğinde, ışınlık değerinin yıllık bazdaki süreci, d^* için Şekil 5.3, u^* için Şekil 5.4, q^* için Şekil 5.5'de görülmektedir.

Çizelge 5.4. YE-BHÇ'de $\Lambda = m_{d^*}$, $\Lambda = m_{u^*}$ ve $\Lambda = m_{q^*}$ kompozitlik ölçeğine sahip en düşük ve en yüksek yıllık toplam ışınlık değerine göre d^* , u^* ve q^* 'ın dışarlama (2σ), gözlem (3σ) ve keşif (5σ) limit değerleri.

$\mathcal{L}_{top}(\text{fb}^{-1})$	750			15000		
Anlamlılık	2σ	3σ	5σ	2σ	3σ	5σ
m_{d^*} (TeV)	10.1	9.3	8.4	12.6	12	11.1
m_{u^*} (TeV)	13.8	13.2	12.4	15.9	15.3	14.6
m_{q^*} (TeV)	14	13.5	12.7	16	15.5	14.8

Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı 14 TeV'lik kütle merkezi enerjisi ile 10 yıllık çalışma sonrasında, 350 fb^{-1} toplam ışınlık değerinden 3500 fb^{-1} toplam ışınlık değerine ulaştığında keşif limitleri;

- $\Lambda = 14 \text{ TeV}$ kompozitlik ölçeği için;
 - u^* , % 15.8'lik artışla 6.5 TeV'den 7.5 TeV'e
 - q^* , % 14.9'lik artışla 6.7 TeV'den 7.7 TeV'e
- $\Lambda = m_{Q^*}$ kompozitlik ölçeği için;
 - u^* , % 14.3'lik artışla 7.0 TeV'den 8.0 TeV'e
 - q^* , % 12.5'lik artışla 7.2 TeV'den 8.1 TeV'e

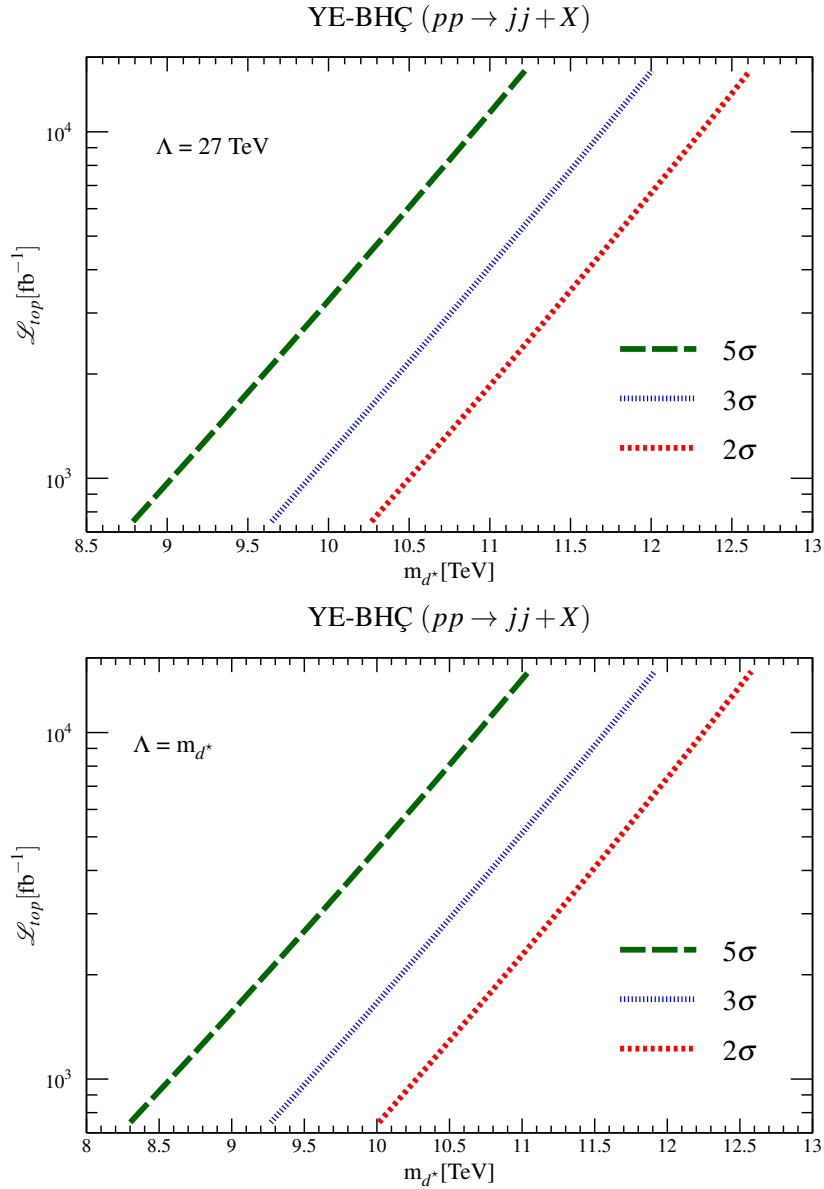
ulaşması öngörülmektedir.

Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı 27 TeV'lik kütle merkezi enerjisi ile 20 yıllık çalışma sonrasında, 750 fb^{-1} toplam ışınlık değerinden 15000 fb^{-1} toplam ışınlık değerine ulaştığında keşif limitleri;

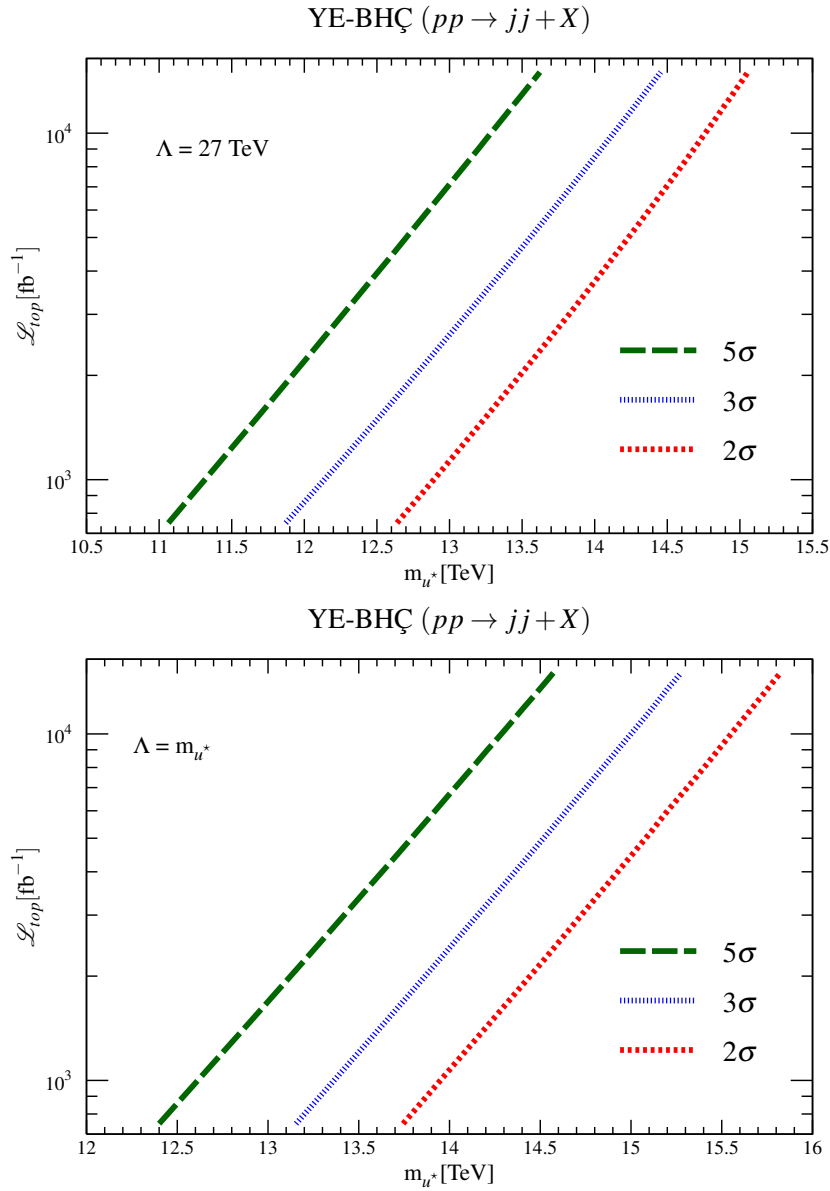
- $\Lambda = 27 \text{ TeV}$ kompozitlik ölçeği için;
 - d^* , % 28.4'lik artışla 8.8 TeV'den 11.3 TeV'e
 - u^* , % 23.4'lik artışla 11.1 TeV'den 13.7 TeV'e
 - q^* , % 21.7'lik artışla 11.5 TeV'den 14 TeV'e
- $\Lambda = m_{Q^*}$ kompozitlik ölçeği için;
 - d^* , % 32.1'lik artışla 8.4 TeV'den 11.1 TeV'e
 - u^* , % 17.7'lik artışla 12.4 TeV'den 14.6 TeV'e
 - q^* , % 16.5'lik artışla 12.7 TeV'den 14.8 TeV'e

ulaşması öngörülmektedir.

Öngörülen bu değerlerde, Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı için 10 yıllık çalışma sonrasında toplam ışınlık değeri 10 katına, Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı 20 yıllık çalışma sonrasında toplam ışınlık değeri 20 katına çıkarken, uyarılmış kuarkların keşif limitleri daha az yüzdelik değişim gösterdiği görülmektedir. Sebebi ise elde edilen verilerin, Bölüm 4’de İstatistikî Önem Hesabı başlığında verilen Denklem 4.10 ile hesaplanarak keşif limitlerine ulaşılmasıdır.

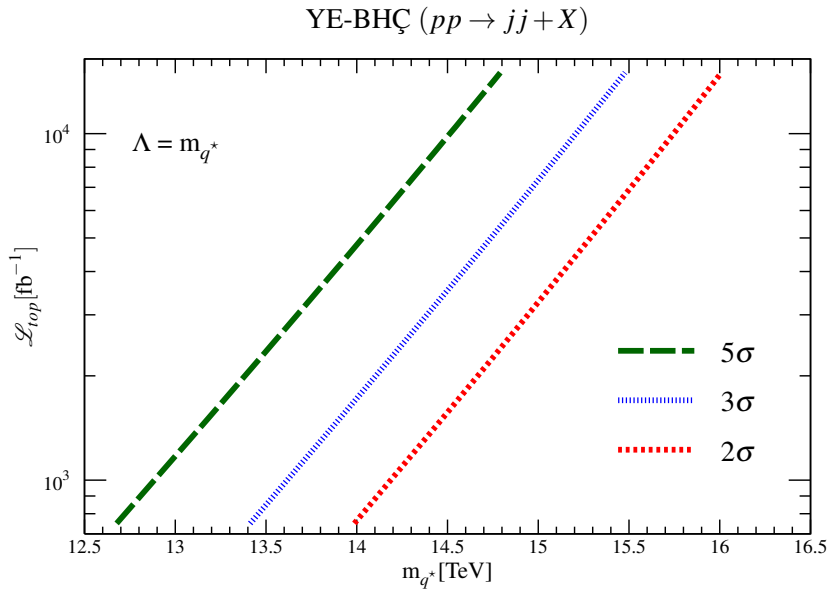
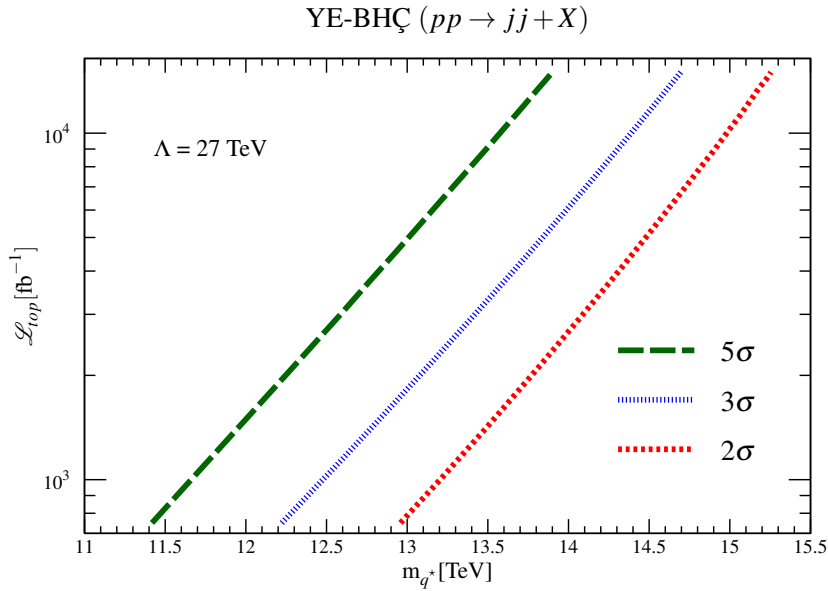


Şekil 5.3. Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı’nda $\Lambda = 27 \text{ TeV}$, $\Lambda = m_{d^*}$ kompozitlik ölçeği ve $\sqrt{s} = 27 \text{ TeV}$ için yıllık toplam ışınlığa karşılık gelen, uyarılmış d kuark için ulaşılabilir kütle değerleri grafiği.



Şekil 5.4. Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\Lambda = 27 \text{ TeV}$, $\Lambda = m_{u^*}$ kompozitlik ölçeği ve $\sqrt{s} = 27 \text{ TeV}$ için yıllık toplam ışınığa karşılık gelen, uyarılmış u kuark için ulaşılabilir kütle değerleri grafiği.

Yüksek Işınıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı için verilen sonuçlarda $\Lambda = 14$ kompozitlik ölçeğinde elde edilen ulaşılabilir kütle değerleri $\Lambda = m_{Q^*}$ kompozitlik ölçeğine göre daha küçüktür. Aynı sonuç Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı içinde geçerli olup, $\Lambda = 27 \text{ TeV}$ kompozitlik ölçeğinde elde edilen ulaşılabilir kütle değerleri $\Lambda = m_{Q^*}$ kompozitlik ölçeğine göre daha küçüktür. Denklem 4.2 ile verilen Lagranjiyen formülünde kompozitlik ölçeği parametresi bölendir ve değeri büyük oldukça tesir kesiti niceliklerini küçültecektir. Ulaşılabilir kütle limitleri hesaplamalarında da bu durum doğrudan etki



Şekil 5.5. Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\Lambda = 27 \text{ TeV}$, $\Lambda = m_{q^*}$ kompozitlik ölçeği ve $\sqrt{s} = 27 \text{ TeV}$ için yıllık toplam ışınlığa karşılık gelen, uyarılmış q kuark için ulaşılabilir kütle değerleri grafiği.

etmektedir. Bu sebeple uyarılmış kuark kütlesi Λ 'ya eşit alındığında daha büyük ulaşılabilir kütle değerleri elde edilmektedir.

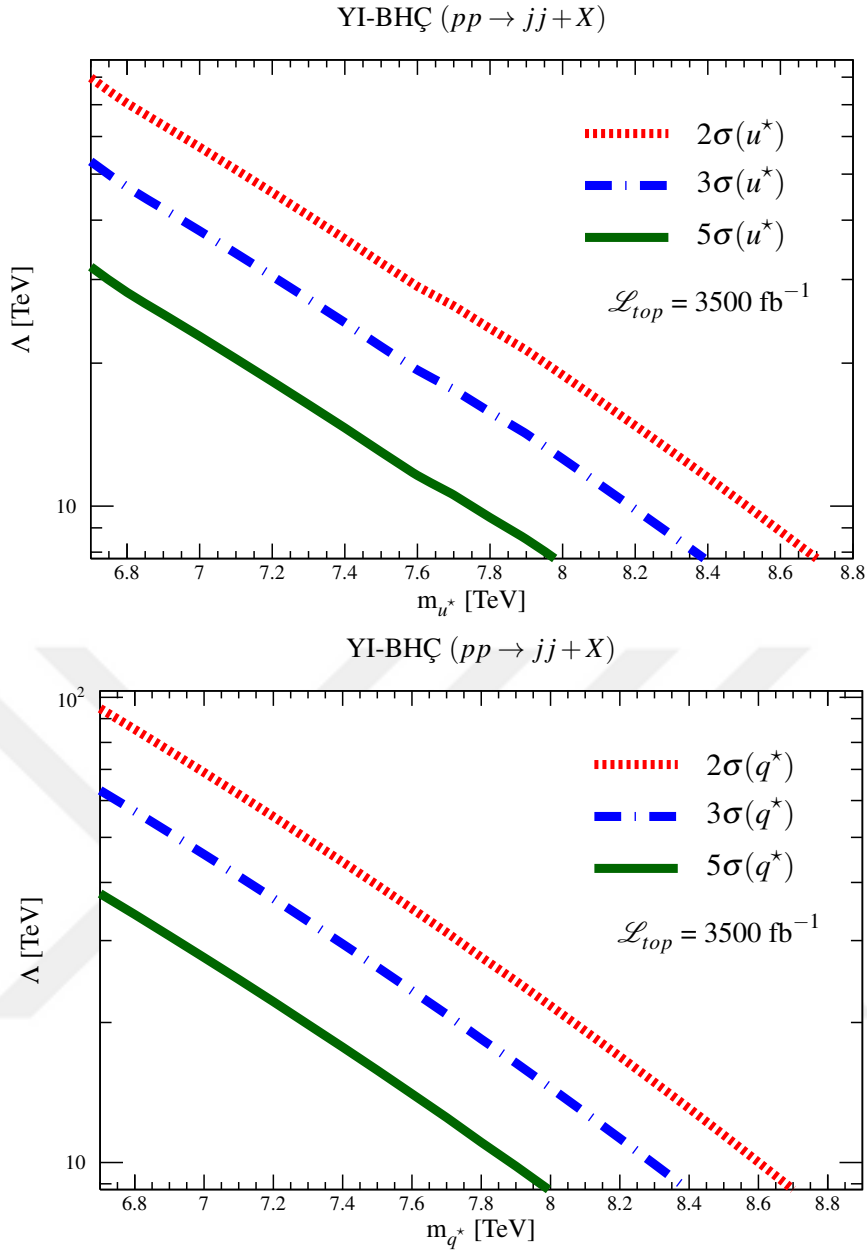
Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı için Şekil 5.1 ve Şekil 5.4'de verilen, Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı için Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'de verilen yıllık toplam ışınlığa karşılık gelen ulaşılabilir kütle grafikleri incelendiğinde q^* 'a ait olan limit değerlerinin d^* ve u^* 'a oranla daha büyük olduğu görülmektedir. q^* dejenere durum olup her iki kuarktan da katkı aldığı için d^* ve u^* 'a göre daha büyük limit değerlerine sahiptir.

Bu çalışmada yapılan diğer bir analiz YI-BHÇ ve YE-BHÇ’de kompozitlik ölçeğinin (Λ) keşif, gözlem ve dışarlama değerlerini, kinematik limitler içerisinde hesaplamaktır.

Her iki çarpıştırıcı için CalcHEP benzetim yazılımı ile yapılan kompozitlik ölçeği taraması sonucunda Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı’nın 10 yıllık ve Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı’nın 20 yıllık çalışma sonrasında ki en son yıllık ışınık değerine ulaştığında kompozitlik ölçeğinin, 2σ , 3σ ve 5σ ’daki değerleri d^* , u^* ve q^* için hesaplanmış olup belirli kütle değerlerine karşılık gelen kompozitlik ölçeği değerleri için Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6 oluşturuldu.

Çizelge 5.5. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı’nda $\sqrt{s} = 14$ TeV kütle merkezi enerjisinde 3500 fb^{-1} ışınık değeri için belirli kütle miktarlarına karşılık gelen kompozitlik ölçeği değerleri.

YI-BHÇ ($\mathcal{L}_{top} = 3500 \text{ fb}^{-1}$)						
Kütle (TeV)	Λ (TeV)					
	u^*			q^*		
	5σ	3σ	2σ	5σ	3σ	2σ
6.7	32	53.4	80	37.9	63	94.7
7	22.8	38	57	27.6	46	69
7.3	16.4	27.3	41	20	33	50
7.8	9.5	15.8	23.7	11	18.5	27.7



Şekil 5.6. Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda u^* ve q^* kütlelerine bağlı ulaşılabılır kompozitlik ölçeği grafiği.

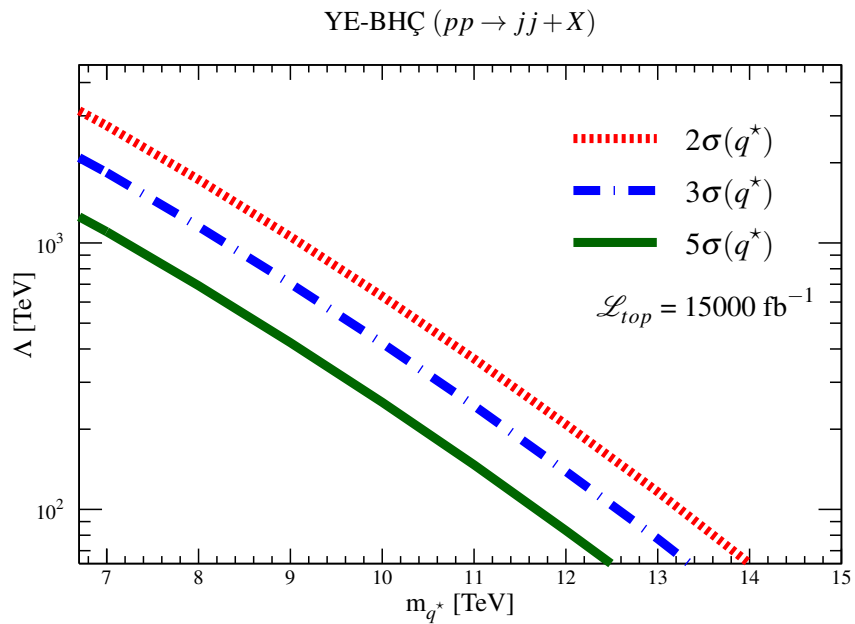
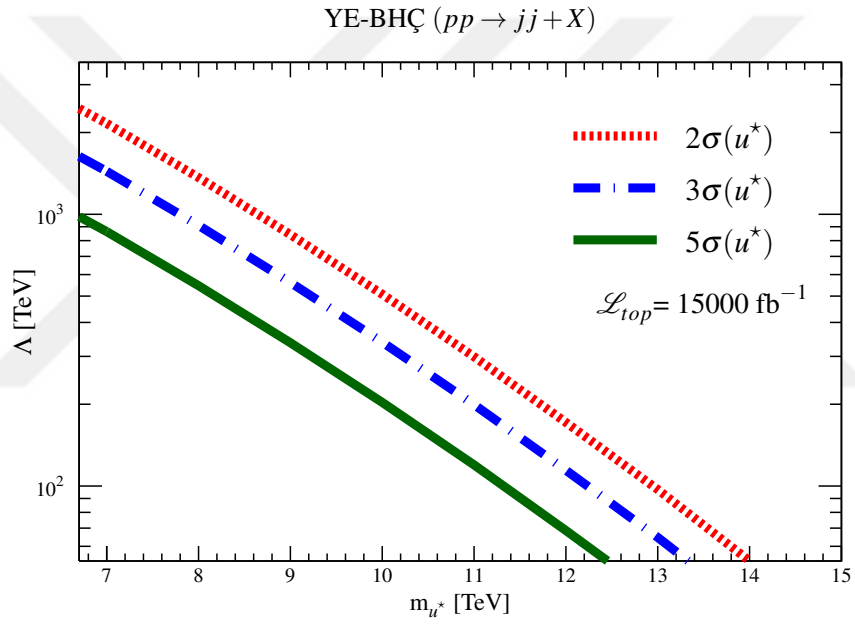
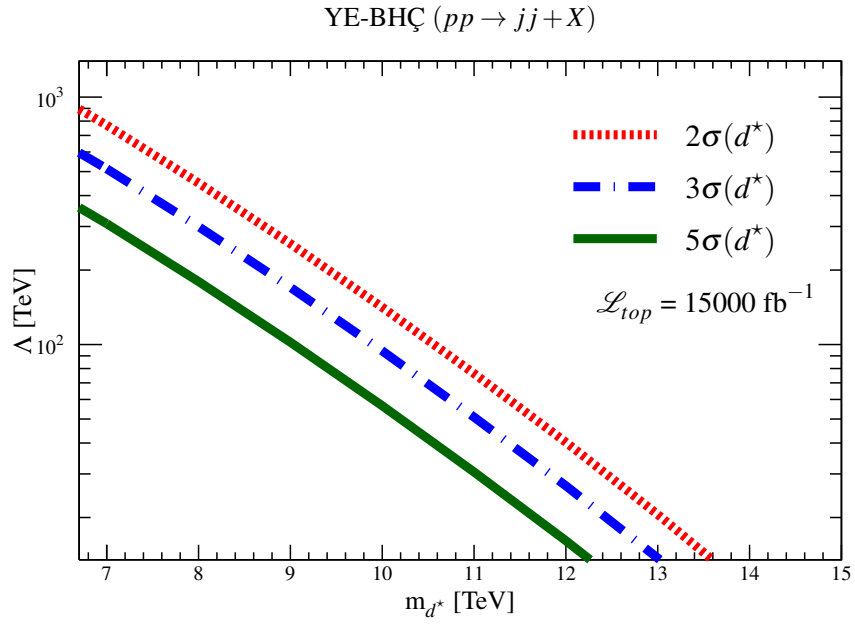
Şekil 5.6, Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda uyarılmış u ve q kuark için daha önce deneysel olarak belirlenen 6.7 TeV kütle limitinden başlayarak ulaşabileceği en yüksek yıllık toplam ışınlık değeri 3500 fb^{-1} için taramış olduğum kompozitlik ölçeğinin keşif, gözlem ve dışarlama değerlerini göstermektedir. YI-BHÇ uyarılmış u kuarkı için yaptığım hesaplamaya göre kompozitlik ölçeğinin dışarlama limitini yaklaşık 20 TeV ile 80 TeV aralığında, q kuark için yaklaşık 95 TeV ile 28 TeV aralığında belirleyebilmektedir. Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda uyarılmış d , u ve q kuark için 6.7 TeV'den

Çizelge 5.6. Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda $\sqrt{s} = 27$ TeV kütle merkezi enerjisinde 15000 fb^{-1} ışınlık değeri için belirli kütle miktarlarına karşılık gelen anlamlılık değerleri.

YE-BHÇ ($\mathcal{L}_{top}=15000 \text{ fb}^{-1}$)									
Kütle (TeV)	Λ (TeV)								
	d^*			u^*			q^*		
	5σ	3σ	2σ	5σ	3σ	2σ	5σ	3σ	2σ
6.7	368	614	290	1000	1668	2500	1280	2133	3200
8.7	126	210	314	400	666	999	503	839	1258
10.7	38.4	64	96	145	242	362	179	298	447
12.7	11	18	27	48	80	120	58	96	144

başlayarak ulaşabileceği en yüksek yıllık toplam ışınlık değeri 15000 fb^{-1} için yapılan hesaplamalarda ulaşılabilir kompozitlik ölçeğinin keşif, gözlem ve dışarlama değerleri Şekil 5.7'de verilmektedir. YE-BHÇ için yapılan hesaplama göre kompozitlik ölçeğinin dışarlama limiti d kuark için yaklaşık olarak 290 TeV ile 27 TeV, u kuark için 2500 TeV ile 120 TeV, q kuark için 3200 TeV ile 144 TeV aralığında belirleyebilmektedir.

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'ndan sonra faaliyete geçmesi beklenen Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı ile Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın Standart Model Ötesi fizik araştırmaları alanındaki potansiyeli, bu çalışmada kompozit modellerin doğrudan bir ispatı olacak olan, uyarılmış kuarkların ulaşılabilir kütle değerleri hesabı ve kompozit modelin önemli parametrelerinden biri olan kompozitlik ölçeği taraması ile ortaya konmuştur. Elde ettiğim sonuçlar, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda uyarılmış kuark için ortaya konulan dışarlama limitinin Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda daha önce Yüksek Işınlıklı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda dahi daha yüksek değerlere getirilebileceğini göstermektedir. Ayrıca, hesaplamalarıma göre her iki yeni çarpıştırıcının oldukça yüksek keşif potansiyelinin olduğunu ifade edebilirim.



Şekil 5.7. Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda d^* , u^* ve q^* kütlesine bağlı ulaşılabilir kompozitlik ölçeği grafiği.

KAYNAKLAR

- [1] Low, F.E., Heavy Electrons and Muons. *Phys. Rev. Lett.*, 14: 238–239, doi:10.1103/PhysRevLett.14.238 (1965), URL <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.14.238>.
- [2] Pati, J.C., Salam, A., Lepton Number as the Fourth Color. *Phys. Rev.*, D10: 275–289, doi:10.1103/PhysRevD.10.275;10.1103/PhysRevD.11.703.2, [Erratum: *Phys. Rev.* D11,703(1975)] (1974).
- [3] Terazawa, H., Akama, K., Chikashige, Y., Unified Model of the Nambu-Jona-Lasinio Type for All Elementary Particle Forces. *Phys. Rev.*, D15: 480, doi:10.1103/PhysRevD.15.480 (1977).
- [4] Yershov, V., Fermions as topological objects. *Prog. Phys.*, 2006 (1): 19–26 (2006), [physics/0207120](https://arxiv.org/abs/hep-th/0207120).
- [5] Abe, F., ve ark. (CDF), Search for new particles decaying to dijets in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV. *Phys. Rev. Lett.*, 74: 3538–3543, doi:10.1103/PhysRevLett.74.3538 (1995), [hep-ex/9501001](https://arxiv.org/abs/hep-ex/9501001).
- [6] Adloff, C., ve ark. (H1), A Search for excited fermions at HERA. *Eur. Phys. J.*, C17: 567–581, doi:10.1007/s100520000503 (2000), [hep-ex/0007035](https://arxiv.org/abs/hep-ex/0007035).
- [7] Chekanov, S., ve ark. (ZEUS), Searches for excited fermions in ep collisions at HERA. *Phys. Lett.*, B549: 32–47, doi:10.1016/S0370-2693(02)02863-0 (2002), [hep-ex/0109018](https://arxiv.org/abs/hep-ex/0109018).
- [8] Chatrchyan, S., ve ark. (CMS), Observation of a New Boson at a Mass of 125 GeV with the CMS Experiment at the LHC. *Phys. Lett.*, B716: 30–61, doi:10.1016/j.physletb.2012.08.021 (2012), [1207.7235](https://arxiv.org/abs/1207.7235).
- [9] Khachatryan, V., ve ark. (CMS), Search for excited quarks in the γ +jet final state in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV. *Phys. Lett.*, B738: 274–293, doi:10.1016/j.physletb.2014.09.048 (2014), [1406.5171](https://arxiv.org/abs/1406.5171).
- [10] Aaboud, M., ve ark. (ATLAS Collaboration), Search for new phenomena in dijet events using $37fb^{-1}$ of pp collision data collected at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector. *Phys. Rev. D*, 96: 052004, doi:10.1103/PhysRevD.96.052004 (2017), URL <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevD.96.052004>.
- [11] Çakır, O., Mehdiyev, R., Excited quark production at the CERN LHC. *Phys. Rev. D*, 60: 034004, doi:10.1103/PhysRevD.60.034004 (1999), URL <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevD.60.034004>.
- [12] Cakir, O., Leroy, C., Mehdiyev, R.R., Search for excited quarks with the ATLAS experiment at the CERN LHC: $W/Z +$ jet channel. *Phys. Rev.*, D63: 094014, doi:10.1103/PhysRevD.63.094014 (2001).

- [13] Çakır, O., Leroy, C., Mehdiyev, R., Search for excited quarks with the ATLAS experiment at the CERN LHC: W/Z+jet channel. *Phys. Rev. D*, 63: 094014, doi:10.1103/PhysRevD.63.094014 (2001), URL <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevD.63.094014>.
- [14] Eboli, O.J.P., Lietti, S.M., Mathews, P., Excited leptons at the CERN large hadron collider. *Phys. Rev.*, D65: 075003, doi:10.1103/PhysRevD.65.075003 (2002), hep-ph/0111001.
- [15] Çakır, O., Yılmaz, A., Sultansoy, S., Single production of excited electrons at future e^+e^- , ep and pp colliders. *Phys. Rev. D*, 70: 075011, doi:10.1103/PhysRevD.70.075011 (2004), URL <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevD.70.075011>.
- [16] Çakır, O., Ozansoy, A., Search for excited spin-3/2 and spin-1/2 leptons at linear colliders. *Phys. Rev. D*, 77: 035002, doi:10.1103/PhysRevD.77.035002 (2008), URL <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevD.77.035002>.
- [17] Caliskan, A., Kara, S.O., Ozansoy, A., Excited Muon Searches at the FCC-Based Muon-Hadron Colliders. *Advances in High Energy Physics*, 2017: 1–9, ISSN 1687-7365, doi:10.1155/2017/1540243 (2017), URL <http://dx.doi.org/10.1155/2017/1540243>.
- [18] Caliskan, A., Excited Neutrino Search Potential of the FCC-Based Electron-Hadron Colliders. *Advances in High Energy Physics*, 2017: 1–9, ISSN 1687-7365, doi:10.1155/2017/4726050 (2017), URL <http://dx.doi.org/10.1155/2017/4726050>.
- [19] Günaydin, Y.O., Sahin, M., Sultansoy, S., Resonance Production of Excited u Quark at FCC-based γp Colliders. *Acta Phys. Polon.*, B49: 1763, doi:10.5506/APhysPolB.49.1763 (2018), 1707.00056.
- [20] ATLAS Collaboration (ATLAS Collaboration), Search for New Phenomena in Dijet Events using 139 fb^{-1} of pp collisions at $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ collected with the ATLAS Detector. Technical report, CERN, Geneva (2019).
- [21] Sirunyan, A.M., ve ark. (CMS Collaboration), Search for massive resonances decaying into WW , WZ , ZZ , qW , and qZ with dijet final states at $\sqrt{s}=13 \text{ TeV}$. *Phys. Rev. D*, 97: 072006, doi:10.1103/PhysRevD.97.072006 (2018), URL <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevD.97.072006>.
- [22] Sirunyan, A.M., ve ark. (CMS Collaboration), Search for excited quarks of light and heavy flavor in γ +jet final states in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$. *Physics Letters B*, 781: 390–411, ISSN 0370-2693, doi:10.1016/j.physletb.2018.04.007 (2018), URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0370269318302910>.
- [23] Apollinari G., Béjar Alonso I., Brüning O., Fessia P., Lamont M., Rossi L. and Tavian L., High-Luminosity Large Hadron Collider (HL-LHC): Technical Design Report V. 0.1. CERN Yellow Reports: Monographs, CERN, Geneva, doi:10.23731/CYRM-2017-004 (2017), URL <https://cds.cern.ch/record/2284929>.

- [24] Benedikt, M., Schulte, D., Zimmermann, F., Optimizing integrated luminosity of future hadron colliders. *Phys. Rev. ST Accel. Beams*, 18: 101002, doi:10.1103/PhysRevSTAB.18.101002 (2015), URL <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevSTAB.18.101002>.
- [25] Abada, A., ve ark. (FCC Collaboration), Future Circular Collider: Vol. 4 The High-Energy LHC (HE-LHC) (2019).
- [26] Caliskan, A., Şahin, M., Oğur, S., Khanpour, H., Jean-Philippe, T., ve ark., HE-LHC: The High-Energy Large Hadron Collider. *The European Physical Journal Special Topics*, 228: 1109–1382, doi:10.1140/epjst/e2019-900088-6 (2019).
- [27] J. J. Thomson, XL. Cathode Rays. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 44 (269): 293–316, doi:10.1080/14786449708621070 (1897), URL <https://doi.org/10.1080%2F14786449708621070>.
- [28] Aad, G., ve ark. (ATLAS), Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC. *Phys. Lett.*, B716: 1–29, doi:10.1016/j.physletb.2012.08.020 (2012), 1207.7214.
- [29] Pati, J.C., Salam, A., Strathdee, J.A., Are Quarks Composite? *Phys. Lett.*, 59B: 265–268, doi:10.1016/0370-2693(75)90042-8 (1975).
- [30] D’Souza, I.A., Kalman, C.S., Preons: Models of leptons, quarks and gauge bosons as composite objects (1992).
- [31] Terazawa, H., Chikashige, Y., Akama, K., Unified model of the Nambu-Jona-Lasinio type for all elementary-particle forces. *Phys. Rev. D*, 15: 480–487, doi:10.1103/PhysRevD.15.480 (1977), URL <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevD.15.480>.
- [32] Harari, H., A schematic model of quarks and leptons. *Physics Letters B*, 86 (1): 83–86, ISSN 03702693, doi:10.1016/0370-2693(79)90626-9 (1979).
- [33] Fritzsche, H., Mandelbaum, G., Weak interactions as manifestations of the substructure of leptons and quarks. *Physics Letters B*, 102 (5): 319–322, ISSN 0370-2693, doi:10.1016/0370-2693(81)90626-2 (1981), URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0370269381906262>.
- [34] Dehmelt, H.G., Experiments with an isolated subatomic particle at rest. *Phys. Scripta*, T34: 47–51, doi:10.1088/0031-8949/1991/T34/006 (1991).
- [35] Dugne, J.J., Fredriksson, S., Hansson, J., Preon trinity: A Schematic model of leptons, quarks and heavy vector bosons. *Europhys. Lett.*, 57: 188–194, doi:10.1209/epl/i2002-00337-8 (2002), hep-ph/0208135.
- [36] Çelikel, A., Kantar, M., Sultansoy, S., A search for sextet quarks and leptogluons at the LHC. *Physics Letters B*, 443 (1): 359–364, ISSN 0370-2693, doi:10.1016/S0370-2693(98)01299-4 (1998), URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0370269398012994>.
- [37] Bilson-Thompson, S.O., A Topological model of composite preons. *Submitted to: Phys. Lett. B* (2005), hep-ph/0503213.

- [38] Evans, L., The Large Hadron Collider. *Ann. Rev. Nucl. Part. Sci.*, 61: 435–466, doi:10.1146/annurev-nucl-102010-130438 (2011).
- [39] Ferrario, M., Holzer, B.J., Introduction to Particle Accelerators and their Limitations. Technical Report arXiv:2007.04075, 26 pages, contribution to the CAS - CERN Accelerator School: High Gradient Wakefield Accelerators, 11-22 March 2019, Sesimbra, Portugal. arXiv admin note: substantial text overlap with arXiv:1705.09601 (2020), URL <https://cds.cern.ch/record/2729751>.
- [40] Weiler, T., Aberle, O., Assmann, R.W., Chamizo, R., Kadi, Y., ve ark., LHC Collimation System Hardware Commissioning. (LHC-PROJECT-Report-1036. CERN-LHC-PROJECT-Report-1036): 4 p, doi:10.1109/PAC.2007.4440844 (2007), URL <http://cds.cern.ch/record/1058823>.
- [41] Béjar, I., Brüning, O., Fessia, P., Rossi, L., Tomas, R., ve ark., The HL-LHC Machine. *Advanced Series on Directions in High Energy Physics*, pp. 31–44, ISSN 1793-1339, doi:10.1142/9789814675475_0003 (2015), URL http://dx.doi.org/10.1142/9789814675475_0003.
- [42] Fartoukh, S., Zimmermann, F., The HL-LHC accelerator physics challenges. *Adv. Ser. Direct. High Energy Phys.*, 24: 45–96, doi:10.1142/9789814675475_0004 (2015).
- [43] Zimmermann, F., Benedikt, M., Capeans Garrido, M., Cerutti, F., Goddard, B., ve ark., HE-LHC: The High-Energy Large Hadron Collider: Future Circular Collider Conceptual Design Report Volume 4. Future Circular Collider. (CERN-ACC-2018-0059), doi:10.1140/epjst/e2019-900088-6 (2018), URL <https://cds.cern.ch/record/2651305>.
- [44] Pukhov, A., Boos, E., Dubinin, M., Edneral, V., Ilyin, V., ve ark., CompHEP: A Package for evaluation of Feynman diagrams and integration over multiparticle phase space (1999), hep-ph/9908288.
- [45] Belyaev, A., Christensen, N.D., Pukhov, A., CalcHEP 3.4 for collider physics within and beyond the Standard Model. *Comput. Phys. Commun.*, 184: 1729–1769, doi:10.1016/j.cpc.2013.01.014 (2013), 1207.6082.
- [46] Baur, U., Hinchliffe, I., Zeppenfeld, D., Excited Quark Production at Hadron Colliders. *International Journal of Modern Physics A*, 02 (04): 1285–1297, ISSN 1793-656X, doi:10.1142/s0217751x87000661 (1987), URL <http://dx.doi.org/10.1142/S0217751X87000661>.

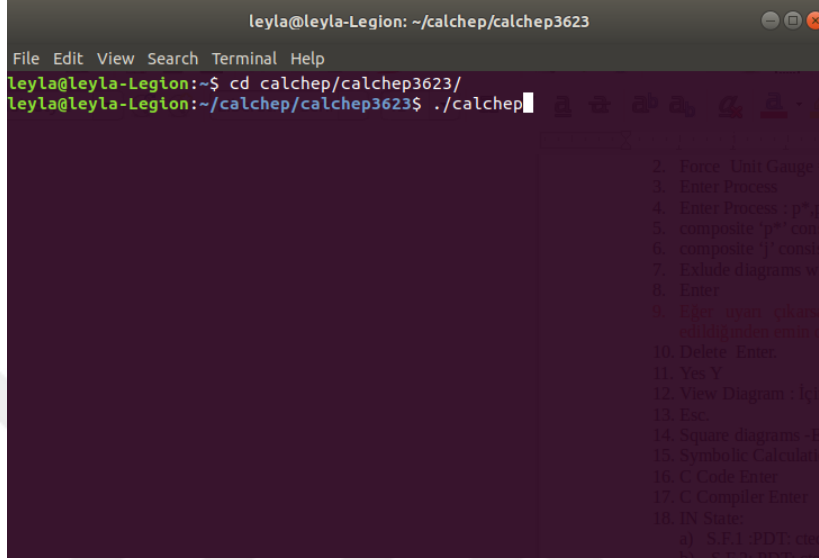


EKLER

EK-1.

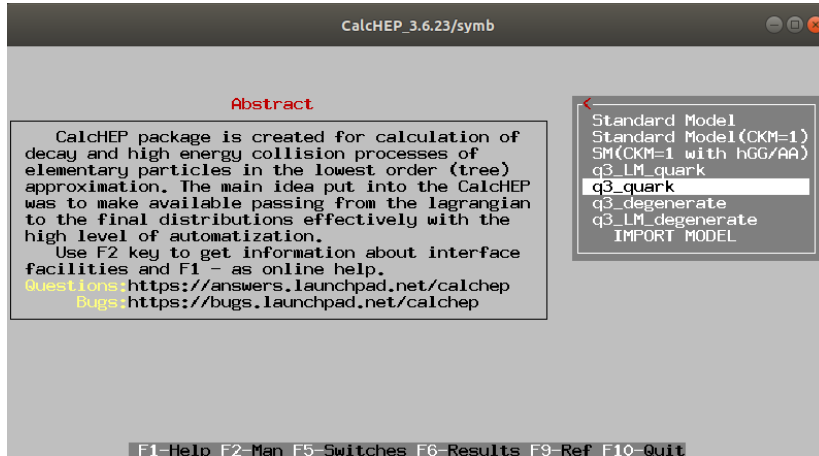
CalcHEP Programının Kullanımı

CalcHEP benzetim yazılımında "*Tesir Kesiti*" taramalarının şekiller ile gösterimi aşağıda verilmiştir.



```
leyla@leyla-Legion: ~/calchep/calchep3623
File Edit View Search Terminal Help
leyla@leyla-Legion:~$ cd calchep/calchep3623/
leyla@leyla-Legion:~/calchep/calchep3623$ ./calchep
```

Şekil EK-1.1. Terminalden Calcchep programına giriş yaparak *./calchep* komutu ile programın çalıştırılması.



```
CalcHEP_3.6.23/symb

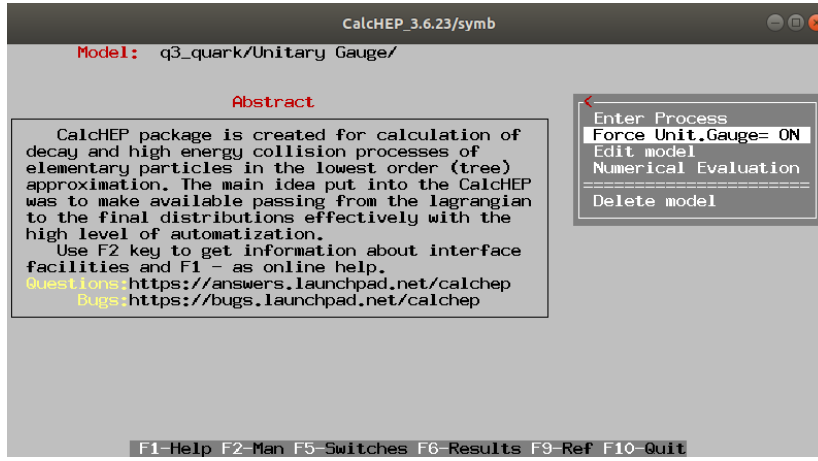
Abstract

CalcHEP package is created for calculation of
decay and high energy collision processes of
elementary particles in the lowest order (tree)
approximation. The main idea put into the CalcHEP
was to make available passing from the lagrangian
to the final distributions effectively with the
high level of automatization.
Use F2 key to get information about interface
facilities and F1 - as online help.
Questions:https://answers.launchpad.net/calchep
Bugs:https://bugs.launchpad.net/calchep

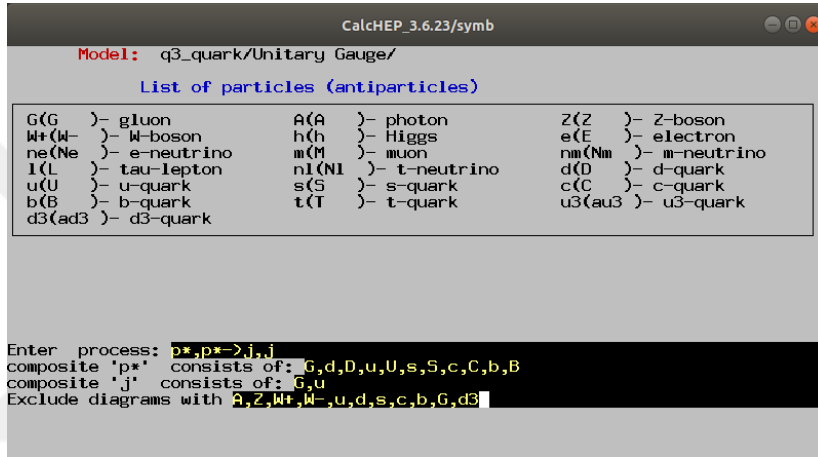
Standard Model
Standard Model(CKM=1)
SM(CKM=1 with hGG/AA)
q3_LM_quark
q3_quark
q3_degenerate
q3_LM_degenerate
IMPORT MODEL

F1-Help F2-Man F5-Switches F6-Results F9-Ref F10-Quit
```

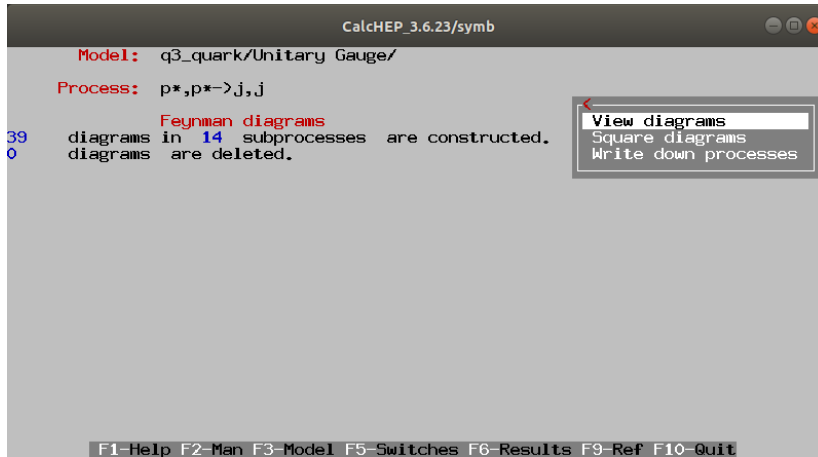
Şekil EK-1.2. CalcHEP 3.6.23/models dizini içerisinde yüklü *q3-quark* modelinin seçimi.



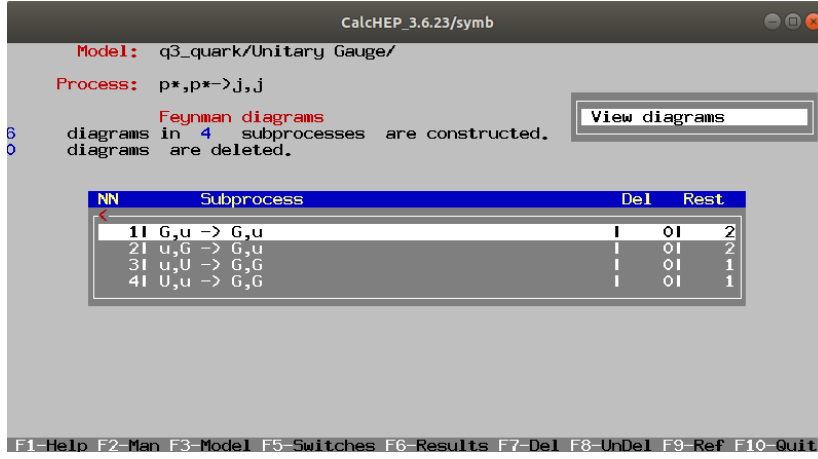
Şekil EK-1.3. Süreç tanımlaması için *Force Unit.Gauge=ON* konumuna getirilmesi ve *Enter Process* butonunun seçilmesi.



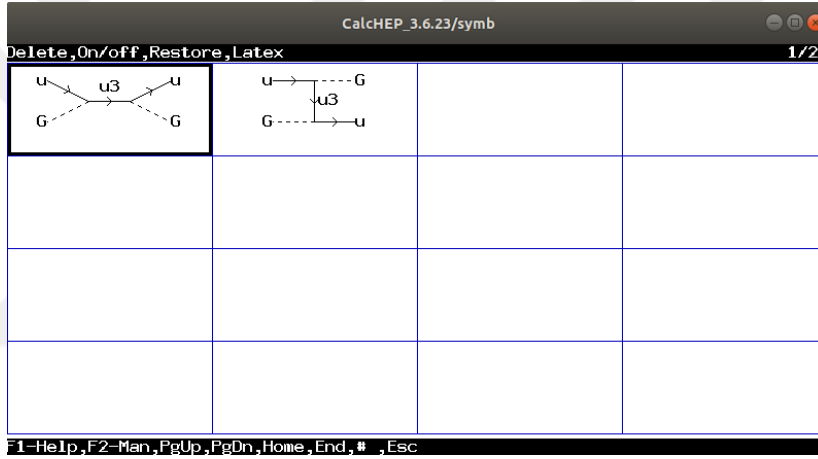
Şekil EK-1.4. $p^*, p^* \rightarrow j, j$ kanalı için parçacık tanımlamaları yapılması ve kompozit p parçacığı için olası tanımlı parçacıklar $u, U, d, D, c, C, s, S, b, B, G$ ve jet için u tanımlanması.



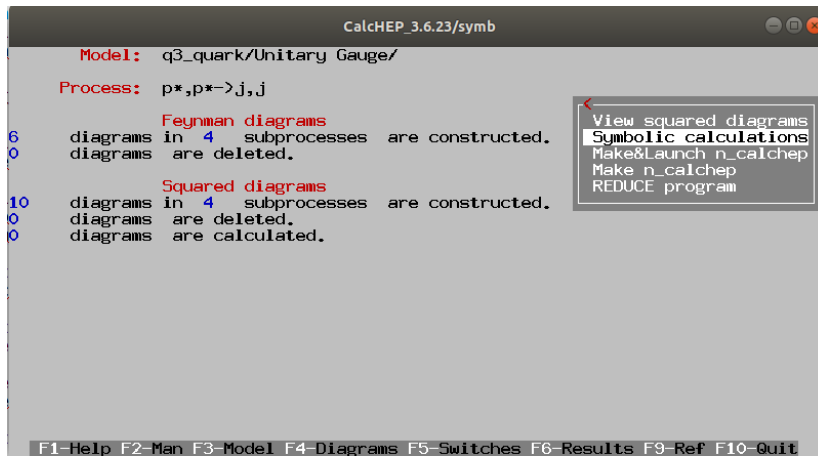
Şekil EK-1.5. $p^* \rightarrow j, j$ için tanımlanan Feynman diyagramları için *View Diagrams* butonunun seçilmesi.



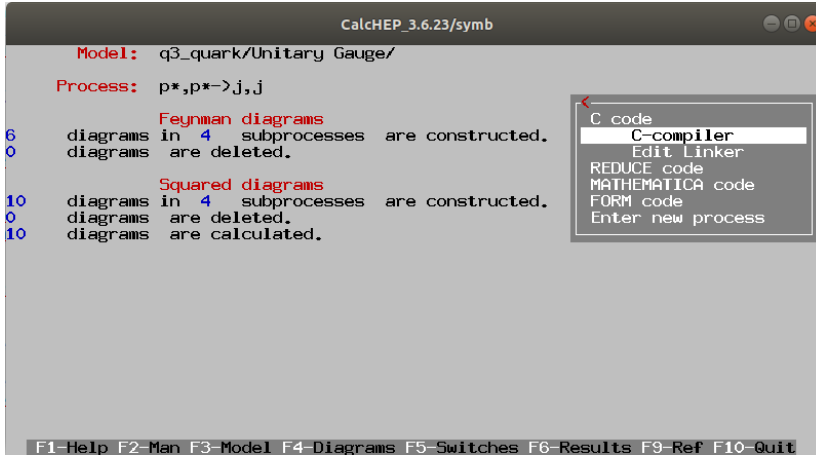
Şekil EK-1.6. $p^*, p^* \rightarrow j, j$ için belirlenen Feynman diyagramlarının alt süreçlerinin gösterimi.



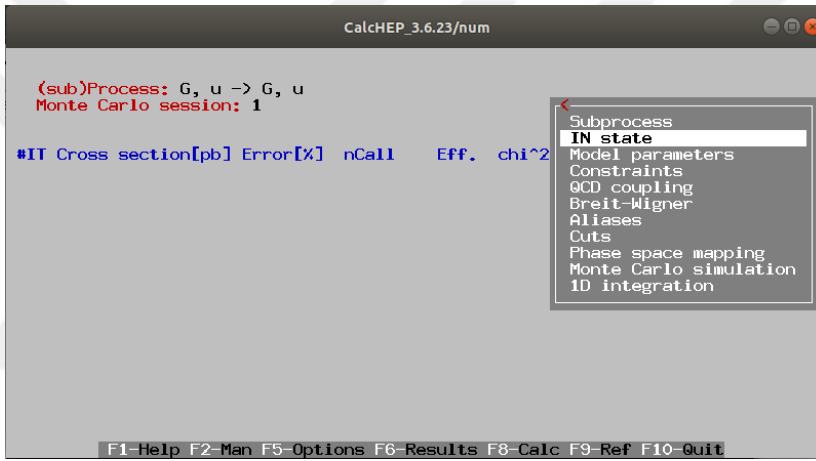
Şekil EK-1.7. $p^*, p^* \rightarrow j, j$ için belirlenen Feynman diyagramlarının gösterimi.



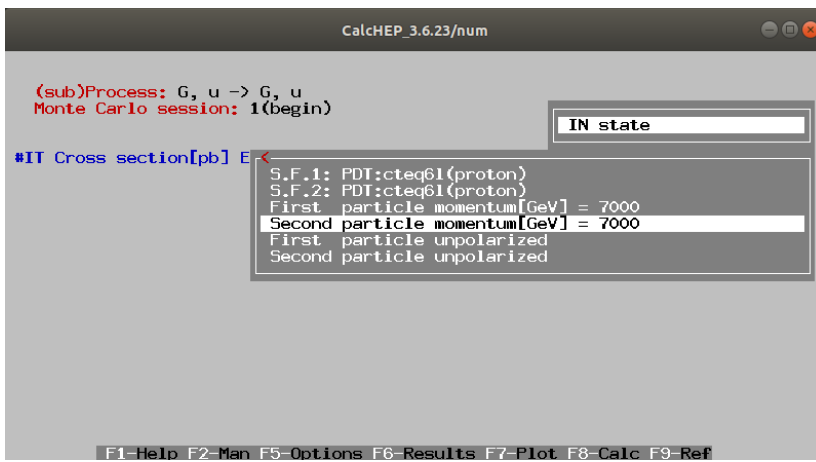
Şekil EK-1.8. Hesaplamalarda belirlenecek değerlerin girilmesi için Symbolic Calculations seçimi.



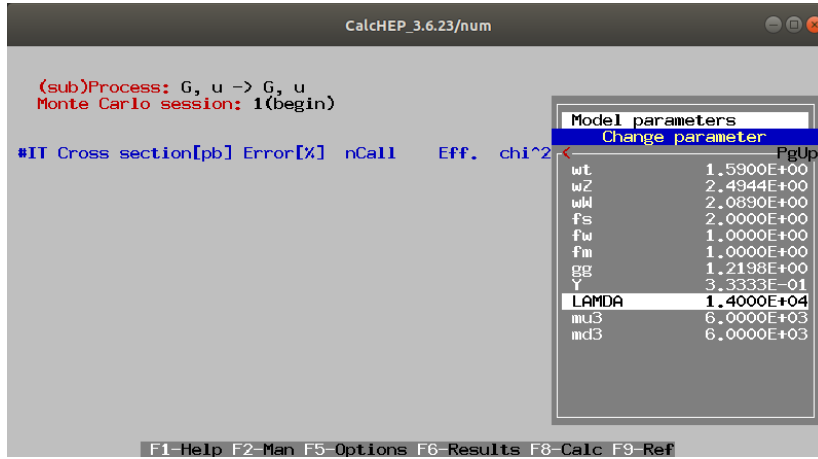
Şekil EK-1.9. Derleyici için C-Compiler seçimi.



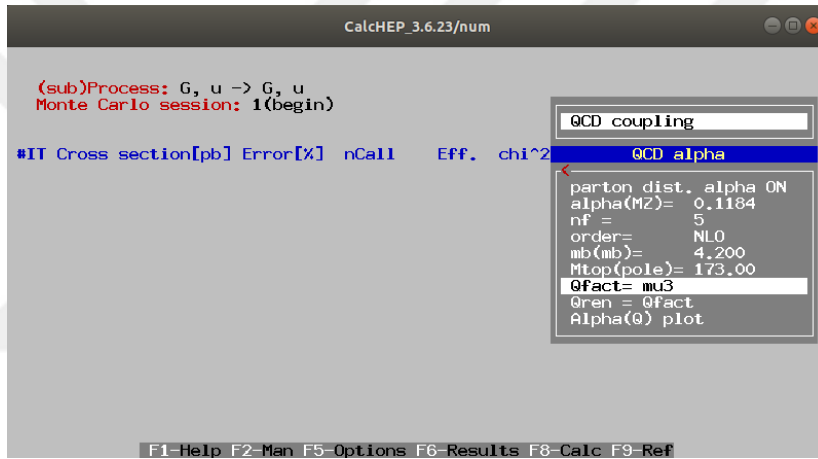
Şekil EK-1.10. Durum belirlenmesi için IN state seçimi.



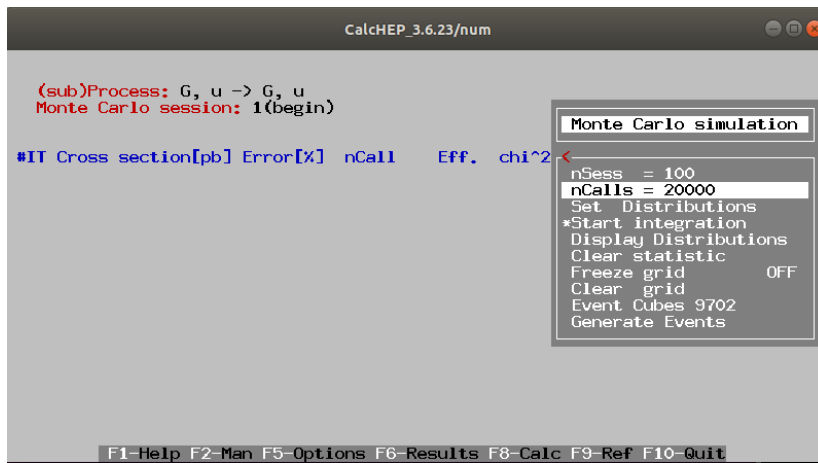
Şekil EK-1.11. CTEQ6L parton dağılımı fonksiyonu ve parçacık momentum değerlerinin belirlenmesi.



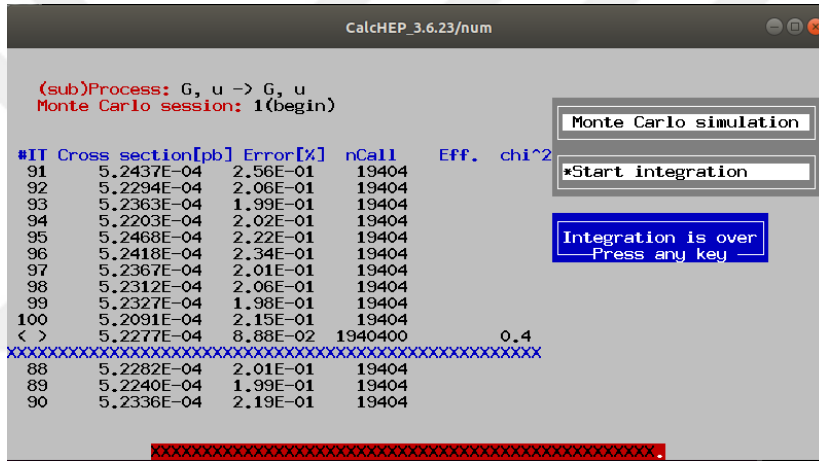
Şekil EK-1.12. Kompozitlik ölçęęi (Λ) ve uyarılmış kuark kütle değęerlerinin girilmesi.



Şekil EK-1.13. Tarama yapılacak uyarılmış kuark için Q faktörünün belirlenmesi.



Şekil EK-1.14. nSess ve nCalls değęerlerinin girilmesi.



Şekil EK-1.15. Start İntegration seçilerek sürecin tamamlanması.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, Soyadı : LEYLA AYDIN
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 01.09.1987 K.MARAŞ
e-mail : leylaydiin46@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı	2021
Lisans	Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü	2010

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015 -	Milli Eğitim Bakanlığı	Fizik Öğretmeni

Yayınlar

1. Aydın Leyla, Günaydın Yusuf Oğuzhan, Yüksek Enerjili Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda Uyarılmış Kuarkın Araştırılması, 3.Uluslararası Mardin Artuklu Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Poster Sunumu, 18-19 Ocak 2020

