



T.C.

HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GELECEK DAİRESEL ÇARPIŞTIRICISI TEMELİNDE ELEKTRON-
PROTON ÇARPIŞMALARINDA TEMAS ETKİLEŞMELERİ ile
BİLEŞİKLİK ÖLÇEĞİ ARAŞTIRILMASI**

NUR DAİF

**FİZİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HATAY
EYLÜL - 2022**



T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GELECEK DAİRESEL ÇARPIŞTIRICISI TEMELİNDE ELEKTRON-
PROTON ÇARPIŞMALARINDA TEMAS ETKİLEŞMELERİ ile
BİLEŞİKLİK ÖLÇEĞİ ARAŞTIRILMASI**

NUR DAİF
ORCID:0000-0003-3387-564X

FİZİK ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman
Doç.Dr. Gral AYDIN
ORCID: 0000-0002-4996-1174

HATAY
EYLÜL - 2022

07/09/2022

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

İmzası
NUR DAİF

ÖZET

GELECEK DAİRESEL ÇARPIŞTIRICISI TEMELİNDE ELEKTRON-PROTON ÇARPIŞMALARINDA TEMAS ETKİLEŞMELERİ İLE BİLEŞİKLİK ÖLÇEĞİ ARAŞTIRILMASI

Bu çalışmada, Gelecek Dairesel Çarpıştırıcısı temelinde elektron-proton çarpışmaları için 4-fermyon temas etkileşmelerinin varlığında bileşiklik ölçeği sınırları dışarlama, gözlem ve keşif duyarlılıklarında araştırılmıştır. Bu inceleme, Feynman diyagramlarının hesaplamasına ve çoklu-parçacık faz uzayı üzerinden integraline dayalı CalcHEP programı kullanılarak $\sqrt{s} = 31.6 \text{ TeV}$ kütle merkezi enerjisinde gerçekleştirilmiştir. Farklı helisite yapıları (sol-sol; sol-sağ; sağ-sol; sağ-sağ) ile temas etkileşimlerinin yapıcı ve yıkıcı girişimleri esas alınarak sekiz farklı etkileşim senaryosu için fermiyon bileşiklik ölçekleri hesaplanmıştır. Son durum parçacık dağılımları üzerinde farklı kinematik kesilimler uygulanarak elde edilen sınır değerleri karşılaştırılmıştır. Hesaplanan bileşiklik ölçeği sınır değerleri ışığında Gelecek Dairesel Çarpıştırıcısı Tabanlı ep çarpışmalarının belirtilen kütle merkezi enerjisinde temas etkileşmelerinin araştırılmasında çok önemli rol oynayacağı not edilmiştir.

2022, 67 sayfa

Anahtar Kelimeler: Gelecek Dairesel Çarpıştırıcısı, elektron-proton çarpıştırıcısı, temas etkileşimleri, bileşiklik ölçeği.

ABSTRACT

INVESTIGATION of COMPOSITENESS SCALE with CONTACT INTERACTIONS in ELECTRON-PROTON COLLISIONS BASED on the FUTURE CIRCULAR COLLIDER

In this study, compositeness scale limits in the presence of 4-fermion contact interactions for electron-proton collisions were investigated in exclusion, observation and discovery sensitivities on the basis of the Future Circular Collider. This investigation was carried out at $\sqrt{s} = 31.6 \text{ TeV}$ center of mass energy using the CalcHEP program based on the calculation of Feynman diagrams and their integral over the multiparticle phase space. Fermion compositeness scales were calculated for eight different interaction scenarios based on the constructive and destructive interference of contact interactions with different helicity structures (left-left; left-right; right-left; right-right). The limit values obtained by applying different kinematic cuts on the final state particle distributions were compared. Considering the calculated scale limits, it was noted that the Future Circular Collider Based ep collisions will play a very important role in the investigation of contact interactions at the specified center of mass energy.

2022, 67 pages

Key Words: Future Circular Collider, electron-proton collider, contact interactions, compositeness scale.

TEŞEKKÜR

Mesleki ve akademik hayatımda önemli kararlar almam gerektiğinde sürekli yanımda olan ve varlığı ile benim için önemli bir rol model oluşturan, gerek tez konumunun belirlenmesinde gerek araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmalarına ışık tutan ve yardımını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Gral AYDIN’a sonsuz saygı ve teŖekkrlerimi sunarım.

Tez alıŖmalarım sırasında tüm bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi (HMK) Fen Fakültesi Fizik Bölüm BaŖkanlıėı’na ve HMK Fen Enstitüsü Müdürlüėü alıŖanlarına teŖekkrlerimi sunarım.

Tez alıŖmalarım süresince yapmıŖ oldukları katkı ve yardımları nedeniyle Prof. Dr. Bünyamin ŖAHİN’e ok teŖekkr ederim.

Eėitim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen, güvenen ve daima yanımda olan canım eŖime sonsuz minnet ve Ŗkranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	VII
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Standart Model	3
1.2. Temas Etkileşmesi.....	6
1.3. Tesir Kesiti	8
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	10
2.1. Deneysel Çalışmalar	10
2.2. Kompozitlik Modelleri	19
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	24
3.1. Materyal.....	24
3.2. Yöntem	26
3.2.1. Kesilimlerin Belirlenmesi.....	27
3.2.2. Parton Dağılım Fonksiyonu.....	30
3.2.3. İstatistiksel Önem Hesabı	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	33
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	60
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Kuvvet Taşıyıcı parçacıklar ve özellikleri	3
Çizelge 1.2. Standart Model Kuarklar	4
Çizelge 1.3. Standart Model Leptonlar	4
Çizelge 3.1. Temas etkileşim modelleri η_{ij} ve parametreleri	29
Çizelge 4.1. Parçacık son durum dağılımlarına bakılarak belirlenen kesilim değerleri..	44
Çizelge 4.2. Λ_{LL}^+ ve Λ_{LL}^- için farklı önemlilik değerlerinde ulaşılabilecek bileşiklik ölçüğü değerleri.....	45
Çizelge 4.3. Λ_{LL}^+ ve Λ_{LL}^- için farklı önemlilik değerlerine karşı gelen sinyal olay sayıları	46
Çizelge 4.4. Λ_{LR}^+ ve Λ_{LR}^- için farklı önemlilik değerlerinde ulaşılabilecek bileşiklik ölçüğü değerleri.....	49
Çizelge 4.5. Λ_{LR}^+ ve Λ_{LR}^- için farklı önemlilik değerlerine karşı gelen sinyal olay sayıları	50
Çizelge 4.6. Λ_{RL}^+ ve Λ_{RL}^- için farklı önemlilik değerlerinde ulaşılabilecek bileşiklik ölçüğü değerleri.....	53
Çizelge 4.7. Λ_{RL}^+ ve Λ_{RL}^- için farklı önemlilik değerlerine karşı gelen sinyal olay sayıları	54
Çizelge 4.8. Λ_{RR}^+ ve Λ_{RR}^- için farklı önemlilik değerlerinde ulaşılabilecek bileşiklik ölçüğü değerleri.....	56
Çizelge 4.9. Λ_{RR}^+ ve Λ_{RR}^- için farklı önemlilik değerlerine karşı gelen sinyal olay sayıları	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Diferansiyel tesir kesitinin açıklaması	9
Şekil 4.1. Elektron son durumları ve Λ^{+}_{LL} için enine momentum dağılımları.....	33
Şekil 4.2. Jet son durumları ve Λ^{+}_{LL} için psedorapidite dağılımları	34
Şekil 4.3. Elektron son durumları ve Λ^{+}_{LL} için psedorapidite dağılımları	35
Şekil 4.4. Elektron son durumları ve Λ^{-}_{LL} için enine momentum dağılımları	36
Şekil 4.5. Jet son durumları ve Λ^{-}_{LL} için psedorapidite dağılımları.....	36
Şekil 4.6. Elektron son durumları ve Λ^{+}_{LR} için enine momentum dağılımlar	37
Şekil 4.7. Jet son durumları ve Λ^{+}_{LR} için psedorapidite dağılımları	37
Şekil 4.8. Elektron son durumları ve Λ^{-}_{LR} için enine momentum dağılımlar	38
Şekil 4.9. Jet son durumları ve Λ^{-}_{LR} için psedorapidite dağılımları.....	38
Şekil 4.10. Elektron son durumları ve Λ^{+}_{RL} için enine momentum dağılımları	39
Şekil 4.11. Jet son durumları ve Λ^{-}_{RL} için psedorapidite dağılımları.....	39
Şekil 4.12. Elektron son durumları ve Λ^{-}_{RL} için enine momentum dağılımları	40
Şekil 4.13. Jet son durumları ve Λ^{-}_{RL} için psedorapidite dağılımları.....	40
Şekil 4.14. Elektron son durumları ve Λ^{+}_{RR} için enine momentum dağılımları	41
Şekil 4.15. Jet son durumları ve Λ^{+}_{RR} için psedorapidite dağılımları.....	41
Şekil 4.16. Elektron son durumları ve Λ^{-}_{RR} için enine momentum dağılımları.....	42
Şekil 4.17. Jet son durumları ve Λ^{-}_{RR} için psedorapidite dağılımları	43
Şekil 4.18. Λ^{+}_{LL} ve 5σ için P_t kesilimine bağlı olarak bileşiklik ölçeği ve sinyal olay sayıları	47
Şekil 4.19. Λ^{-}_{LL} ve 5σ için P_t kesilimine bağlı olarak bileşiklik ölçeği ve sinyal olay sayıları	48
Şekil 4.20. Λ^{+}_{LR} ve 5σ için P_t kesilimine bağlı olarak bileşiklik ölçeği ve sinyal olay sayıları	51
Şekil 4.21. Λ^{-}_{LR} ve 5σ için P_t kesilimine bağlı olarak bileşiklik ölçeği ve sinyal olay sayıları	52
Şekil 4.22. Λ^{+}_{RL} ve 5σ için P_t kesilimine bağlı olarak bileşiklik ölçeği ve sinyal olay sayıları	55
Şekil 4.23. Λ^{-}_{RL} ve 5σ için P_t kesilimine bağlı olarak bileşiklik ölçeği ve sinyal olay sayıları	55
Şekil 4.24. Λ^{+}_{RR} ve 5σ için P_t kesilimine bağlı olarak bileşiklik ölçeği ve sinyal olay sayıları	58
Şekil 4.25. Λ^{-}_{RR} ve 5σ için P_t kesilimine bağlı olarak bileşiklik ölçeği ve sinyal olay sayıları	59
Şekil 5.1. Gelecek Dairesel Çarpıştırıcısı (GDC-FCC) Tabanlı ep Çarpıştırıcısı için Temas Etkileşmesi Bileşiklik Ölçeği Sınır Değerleri	61

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

s	: Acayip kuark
L	: Açısal momentum
b	: Alt kuark
$\bar{q}$	: Anti-kuark
d	: Aşağı kuark
B	: Baryon numarası
$D\sigma$	: Diferansiyel tesir kesiti
ν_e	: Elektron nötrinosu
E	: Enerji
p_t	: Enine momentum
$\mathcal{L}$	: Etkin lagranjiyen
γ	: Foton
g	: Gluon
H	: Higgs
$\mathcal{L}$	: Işınlık
σ_s	: İstatistiksel önemi
I_3	: İzospin'in üçüncü bileşeni
q	: Kuark
$\sqrt{s}$	: Kütle-Merkezi Enerjisi
P	: Momentum
Q^2	: Momentum transferi
μ^-	: Muon
ν_μ	: Muon nötrinosu
η	: Psedorapidite
τ^-	: Tau
ν_τ	: Tau nötrinosu
Λ	: Temas etkileşim bileşiklik ölçeği
σ	: Tesir Kesiti
c	: Tılsım kuark
t	: Üst kuark
u	: Yukarı kuark
Λ_c	: Kuark bileşiklik ölçek parametresi

KISALTMALAR

CERN	: Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
LEP	: Büyük Elektron Pozitron Çarpıştırıcısı
CalcHEP	: Calculation in High Energy Physics
CompHEP	: Compute in High Energy Physics
DİS	: Derin İnelastik Saçılma
EZ	: Elektrozayıf
GDC	: Gelecek Dairesel Çarpıştırıcısı
BHÇ	: Büyük Hadron Çarpıştırıcı
GS	: Güvenirlilik Seviyesi
HERA	: Hadron-Elektron Halka Tesisi Hızlandırıcı
KM	: Karanlık Madde
KED	: Kuantum Elektrodinamiği
KRD	: Kuantum Renk Dinamiği
BHÇ	: Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
PDF	: Parton Dağılım Fonksiyonu
SM	: Standart Model
SppC	: Super Proton Proton Collider
SUSY	: Supersimetri
VBÜ	: Vektör Bozon Üretimi

1. GİRİŞ

TeV ölçeği etrafındaki yeni fizik sinyallerinin anlaşılmasının zor olduğunun görülmesi daha yüksek enerjili çarpıştırıcıların yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. 100 km'lik bir tünelde inşa edilecek olan gelecek dairesel çarpıştırıcısı (GDÇ), önceki dairesel çarpıştırıcıların, LEP (Büyük Elektron Pozitron), HERA (Hadron-Elektron Halka Tesisi Hızlandırıcı), Tevatron, ve Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ)'nin deneyimlerini temel almaktadır. GDÇ, kapsamlı bir parçacık fiziği programı için tasarlanmıştır. Bunlardan bazıları burada belirtilecektir. GDÇ, Higgs ve Elektrozayıf (EZ) ayar bozonlarının özelliklerini ve etkileşimlerine ait bilgileri daha iyi bir doğruluk derecesi ile belirlemek amaçındadır. Bing Bang'den sonraki 10^{-12} s ile 10^{-15} s zaman aralığına olan duyarlılığı arttırmak da ulaşılması planlanan bir hedeftir. Higgs bozonunun Standart Model (SM) ötesindeki etkileşimlerini araştırmak da GDÇ'nin ilgilendiği bir konudur. Bir diğer amacı, yeni parçacıkların keşif olasılığını arttırmak ve düşük kütlelerde anlaşılması zor olayların daha iyi anlaşılmasını sağlamaktır. Karanlık Madde (KM) evrendeki toplam enerji yoğunluğunun %26'sını ve toplam maddenin %80'inden fazlasını oluşturur (Ade ve ark., 2016). KM adaylarını ortaya çıkarmak veya bazı adayları kesin olarak dışlamak diğer bir fizik programıdır. Doğrudan kinematik erişimin ötesindeki enerji ölçeklerini SM davranışından küçük sapmalara duyarlı hassas ölçümler üzerinde kapsamlı bir çalışma yaparak araştırmak GDÇ'nin bir diğer konusudur (Abada ve ark., 2019). GDÇ için üç farklı çarpıştırıcı tasarlanmıştır: GDÇ-ee (elektron-elektron), GDÇ-eh (elektron-hadron) ve GDÇ-hh (hadron-hadron). Bu çarpıştırıcılar, Higgs çalışmalarına katkıda bulunacak ve yeni fizikler için keşif potansiyelini arttıracaktır. Ayrıca, daha önce yapılan SM ölçümlerinin hassaslığı arttırılabilecektir.

GDÇ-ee, daha önce yapılan e^-e^+ deneylerinde ulaşılan sonuçları oldukça ileri bir seviyeye taşıyacaktır. Daha yüksek hassasiyetle SM özellikleri test edilebilecektir. Süper iletken radyo frekans boşlukları gibi yeni hızlandırıcı teknolojiler ile birlikte demet enerjilerinin yüksek hassasiyet ile kontrol edilmesi W ve Z bozonlarının kütlelerinin daha ileri derecede doğruluk ile belirlenmesini sağlayacaktır. Bu çarpıştırıcıda, birkaç milyon mertebesinde Higgs bozonu üretilecektir ve bu sayede Higgs bozonun özellikleri daha iyi anlaşılacaktır.

GDC-hh, 100 TeV kütle merkezi enerjisinde yani BHÇ-nın yaklaşık 7 katı büyüklüğünde bir enerjiye sahip olacaktır. Bu çarpıştırıcıda, 10^{10} mertebesinde Higgs bozonu üretilmesi planlanmaktadır. Bu da, Higgs sinyallerinin daha güçlü bir şekilde ortaya çıkmasına olanak sağlayacaktır. Ayrıca, çarpıştırıcının yüksek enerjisi bazı teorilerin öngördüğü yüksek kütleli parçacıkların keşif olasılığını önemli ölçüde arttıracaktır. Diğer çarpıştırıcıların detektörlerinde yeteri kadar gözlemlenemeyecek Higgs üretim kanallarının tespit edilmesiyle farklı Higgs üretim mekanizmaları arasında ilişkiler kurulabilecektir. Nadir egzotik Higgs bozunumlarını içeren senaryolar da test edilebilecektir (Abada ve ark., 2019).

Elektron ve protonu yüksek enerjilerde çarpıştırmak kuarkların ve gluonların yapısı hakkında daha kesin bilgiler elde edilmesini sağlayabilir. Kuark altyapısı gibi yeni fiziklerin ortaya çıkarılması da bu çarpıştırıcı ile birlikte gerçekleştirilebilir. Yüksek enerjilerde bu çarpışmalar yeni parçacıkların ortaya çıkmasını sağlayabilir. Diğer çarpıştırıcılarda yapılan çalışmalar GDC-eh çarpıştırıcısı ile birlikte daha ileriye götürülebilir. . Bu çarpıştırıcı, Higgs çalışmalarına katkıda bulunabilir ve nötrinoların kütlelerinin kaynağı hakkında yeni keşiflere yardımcı olabilir. Parton dinamiğinin ve dolayısıyla çekirdek altyapısının daha iyi anlaşılmasına olanak sağlayacaktır. Burada elde edilecek proton parton dağılım fonksiyonlarının (PDF) GDC-hh'de kullanılmasıyla birlikte yeni fizik olaylarının belirsizlikler azaltılarak yorumlanması sağlanacaktır. Ayrıca bu çarpıştırıcının dedektörleri, kuark-gluon plazma yapısı hakkında yeni bilgilerin ortaya çıkmasını sağlayabilir. Bu çarpıştırıcıda diğer bir program ise geçmişteki lepton-çekirdek etkileşimlerinin kinematik menzilini yaklaşık 4 kat arttırabilecek elektron-iyon saçılma deneyidir.

Bu çalışmada, GDC-eh'de fenomenolojik olarak temas etkileşmelerinin olası etkileri araştırılmıştır. Elektron ve proton enerjileri olarak sırasıyla 5 TeV ve 50 TeV alınarak etkileşimler CalcHEP (Calculation in High Energy Physics) (Belyaev ve ark., 2013) aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Etkileşmeler sonucu ortaya çıkan parçacık son durum dağılımlarına bakılarak temas etkileşimin varlığında kinematik değişkenlerin dağılımındaki değişiklikler gözlemlenmiştir.

1.1 Standart Model

Temel parçacık fiziğinin standart modeli, elektrozayıf etkileşim ve Kuantum renk dinamiğinin (KRD) birleşik teorisini içerir. Doğada dört temel etkileşim vardır: güçlü etkileşim, zayıf etkileşim, elektromanyetik etkileşim ve kütle çekimi. Parçacık fiziğinin standart modeli ya da kısaca standart model, tüm temel parçacıkları ve dört temel etkileşimin üçünü (güçlü, zayıf ve elektromanyetik etkileşimi) bir araya getiren kuramdır. Bu etkileşimlere neden olan kuvvetlere vektör bozonlarının değiş tokuşu ile aracılık edilir. Her temel kuvvet bir kuvvet taşıyıcı parçacık ile taşınır. Kuvvet taşıyıcı parçacıklar ve özellikleri Çizelge 1.1’de verilmiştir (Walkman ve ark., 2022).

Çizelge 1.1. Kuvvet Taşıyıcı parçacıklar ve özellikleri

Ayar bozonları ve özellikleri			
<i>Bozon</i>	<i>Kütlesi</i>	<i>Elektrik Yükü</i>	<i>Spin</i>
<i>Foton (γ)</i>	$< 1 \times 10^{-18} \text{ eV}$	0	1
<i>W^+</i>	$80.377 \pm 0.012 \text{ GeV}$	+1	1
<i>W^-</i>	$80.377 \pm 0.012 \text{ GeV}$	-1	1
<i>Z</i>	$91.1876 \pm 0.0021 \text{ GeV}$	0	1
<i>Gluon (g)</i>	0 (teorik değer)	0	1
<i>Higgs(H^0)</i>	$< 125.25 \pm 0.17 \text{ GeV}$	0	0

Glüonlar renk taşır ve böylece birbirleriyle etkileşime girer. Zayıf etkileşimin bozonları da zayıf yük taşırlar ve birbirleriyle de bağlantı kurarlar. Ayar bozonlarının yanı sıra bilinen temel parçacıklar kuarklar ve leptonlardır. Bunlar, 1/2 spinli fermiyonlardır ve kütlelerine göre üç aile veya kuşak olarak gruplandırılırlar. Kuraklar ve özellikleri Çizelge 1.2’de leptonlar ise Çizelge 1.3’de verilmiştir (Walkman ve ark., 2022).

Çizelge 1.2. Standart Model Kuarklar

Kuark	Aile No	Kütlesi	Elektrik Yükü	Spin
u (yukarı)	1.	$2.16^{+0.49}_{-0.26}$ MeV	2/3	1/2
d (aşağı)		$4.67^{+0.48}_{-0.17}$ MeV	-1/3	1/2
c (tılsım)	2.	1.27 ± 0.02 GeV	2/3	1/2
s (acayip)		$93.4^{+8.6}_{-3.4}$ MeV	-1/3	1/2
t (üst)	3.	172.69 ± 0.30 GeV	2/3	1/2
b (alt)		$4.18^{+0.03}_{-0.02}$ GeV	-1/3	1/2

Çizelge 1.3. Standart Model Leptonlar

Leptonlar ve Özellikleri				
lepton	Aile No	Kütlesi	Elektrik Yükü	Spin
e	1.	0.511 ± 0.000 MeV	-1	1/2
ν_e		< 225 eV (95% GS)	0	1/2
μ^-	2.	105.658 ± 0.000 MeV	-1	1/2
ν_μ		< 0.19 MeV (90% GS)	0	1/2
τ^-	3.	1776.86 ± 0.12 MeV	-1	1/2
ν_τ		< 18.2 MeV (95% GS)	0	1/2

Bu bölümün kalan kısmında Standart Modelin temel özellikleri açıklanmıştır (Feynman, 1985; Povh ve ark., 2015).

Her fermiyon için bir anti-fermiyon vardır. Anti-fermiyon karşı gelen fermiyonla aynı kütleye sahip, ama elektrik yükü, rengi ve zayıf izospin üçüncü bileşeni fermiyonun tersidir. Standart model nötrinoları, kütlesiz olarak tahmin edilir. Bununla birlikte, nötrino salınımlarının gözlemi, bunların bir kütleye sahip olmaları gerektiğini göstermiştir. Ortaya çıkan lepton karışımı, standart modelden vazgeçmeden kuark sektöründeki karışmaya benzer şekilde tanımlanabilir.

Kuarklar çeşnilerini değiştirebilirler. Kuarklar kendi ailesi içindeki geçişleri tercih ederler. İkinci aileden birinci aileye geçişler büyüklük olarak bir merteye, üçüncüden birinciye geçişler ise iki merteye ile bastırılır. Leptonların geçişleri böyle bir hiyerarşi göstermez, neredeyse nesilden bağımsızdır.

Standart modelin tutarlılığı nötral bir spin-0 parçacığının varlığını gerektirir. Bu parçacıklar, kütleleriyle orantılı bir kuvvetle diğer temel parçacıklara bağlanır. Bu spin-0 parçacık kütlesi $125 \text{ GeV}/c^2$ olan Higgs bozonudur. Higgs bozonu, Standart Model'deki fermiyonlara kütle kazandıran ve spini 0 (sıfır) olan parçacıktır.

Fotonlar kütesiz olduğu için elektromanyetik etkileşim aralığı sonsuzdur. Zayıf etkileşimin ayar bozonlarının büyük kütlesi nedeniyle menzili 10^{-3} fm ile sınırlıdır. Gluonlar sıfır durgun kütleyle sahiptir. Yine de, güçlü etkileşimin etkili aralığı, gluonların karşılıklı etkileşimi ile sınırlıdır. Renk alanının enerjisi, artan mesafe ile artar. 1 fm'den büyük mesafelerde gerçek quark-antiquark çiftleri oluşturmak için yeterli genişliktedir. Serbest parçacıklar her zaman nötr renk olmak zorundadır.

Farklı etkileşimler için farklı korunma yasaları geçerlidir: Üç etkileşimde, enerji (E), momentum (p), açısal momentum (L), yük(Q), renk, baryon numarası (B) ve lepton sayısı (L) korunur. P ve C (Yük) pariteleri güçlü ve elektromanyetik etkileşimde korunur ancak zayıf etkileşimde korunmaz. Zayıf etkileşimin yüklü akımı için parite ihlali maksimumdur. Yüklü akım sadece sol-elli fermiyonlar ve sağ-elli antifermiyonlarla eşleştirir. Nötr zayıf akım, pariteyi kısmen ihlal eder. Sol ve sağ elli fermion ve antifermionlarla farklı şiddetlerle birleşebilir. Yük Parite (YP) paritesi zayıf etkileşimlerde korunmaz.

Yalnızca zayıf etkileşimin yüklü akımı bir tür kuarkı başka bir türe ve bir tür leptonu başka bir türe dönüştürür. Bu nedenle, kuark çeşni belirleyen kuantum numaraları (izospin'in üçüncü bileşeni I_3 , tuhaflik (S), tılsım (C) vb.) diğer tüm etkileşimlerde korunur. Güçlü etkileşimlerde izospin büyüklüğü korunur.

Özetle, deneyler, standart modelin varsayımlarıyla şaşırtıcı derecede iyi bir sayısal uyuma sahiptir. Bunlar arasında, fermiyonların sol-elli zayıf izospin çiftler ve sağ-elli zayıf izospin teklileri halinde gruplandırılması, Z^0 'ın sol-elli ve sağ-elli fermiyonlara bağlanmasının gücü, renk ve $W^\pm$ ve Z^0 kütlelerinin oranı nedeniyle quark ailelerinin üç katlı yapısı vardır. Böylece SM, maddenin temel yapı taşlarını ve bunların etkileşimlerini açıklar.

Ancak bugün SM birçok açıdan tatmin edici değildir. Çok sayıda serbest parametre vardır: Etkileşimler için 3 birleşme sabiti, 6 kuark kütlesi, 3 yüklü lepton kütlesi, CKM karıştırma matrisinde 4 parametre ve Higgs bozonunun özelliklerini açıklayan 2 parametre. Nötrino kütlelerini varsayıldığında, PMNS matrisine 3 nötrino kütlesi ve 4

(veya 6) parametre eklenir. Bu parametreler SM'den ortaya çıkmamakla beraber, ancak deneysel olarak belirlenmelidir. Ayrıca, SM'de açıklanamayan etkiler ve gözlemler de mevcuttur. Örneğin, evrenin gelişmesi ve yapısına hâkim olan karanlık enerji veya karanlık madde bunlar arasındadır.

Birçok sorunun hâlihazırda cevabı yoktur. Bu sorulardan bazıları şunlardır. Neden tam olarak üç fermiyon ailesi var? Baryon sayısı ve lepton sayısı kesin olarak korunur mu? CP ihlalinin kaynağı nedir?

Pontecorvo Maki-Nakagawa-Sakata (PMNS) matrisi tarafından tanımlanan lepton ailelerinin karışımının kökeni araştırılmaktadır. Diğer bir soru Cabibbo Kobayashi-Maskawa (CKM) matrisinde tarif edilen kuark ailelerinin karışımının kaynağının ne olduğudur. Küçük nötrino kütlelerinin kaynağı ve neden sadece dört etkileşim olduğu cevap bekleyen sorulardır. Farklı etkileşimlerin birleşme sabitlerinin büyüklüklerini neyin belirlediği tam olarak bilinmek istenen bir konudur. Elektromanyetik ve zayıf etkileşimlerin birleştirildiği gibi, güçlü ve elektrozayıf etkileşimleri birleştirmenin mümkün olup olmadığı önemli bir konudur. Diğer bir araştırma konusu da tam birleşmeye yerçekimini eklemenin mümkün olup olmadığıdır.

1.2. Temas Etkileşmesi

Eğer kuarklar ve leptonlar bileşenlerden oluşuyorsa, o zaman bileşenlerin bağlanma enerjileri ölçeğinde (bileşiklik ölçeği) aralarında yeni etkileşimler ortaya çıkmalıdır. Kuarklar ve leptonlar Λ enerji ölçeğinde bileşikse, bileşenlerini bağlayan güçlü kuvvetler, Λ 'nın çok altındaki reaksiyon enerjilerinde önemli etkileri olan çeşni-diyagonal temas etkileşimlerini indükler. Bileşiklik ölçeğinin (Λ) çok altındaki enerjilerde, bu etkileşimler Λ 'nin ters güçleri tarafından bastırılır. Fermiyon bileşikliğinin baskın etkisi, dört fermiyonlu (temas terimleri) en düşük boyutlu etkileşimlerden gelmelidir. Bunun en genel çeşni-diyagonal renk-tekli kiral olarak değişmez formu şöyledir (Eichten ve ark., 1983; Eichten ve ark., 1984):

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{LL} + \mathcal{L}_{RR} + \mathcal{L}_{LR} + \mathcal{L}_{RL} \quad (1.1)$$

$$\mathcal{L}_{LL} = \frac{g^2_{contact}}{2\Lambda^2} \sum_{i,j} \eta_{LL}^{ij} (\bar{\psi}_L^i \gamma_\mu \psi_L^i) (\bar{\psi}_L^j \gamma^\mu \psi_L^j) \quad (1.2)$$

$$\mathcal{L}_{RR} = \frac{g^2_{contact}}{2\Lambda^2} \sum_{i,j} \eta_{RR}^{ij} (\bar{\psi}_R^i \gamma_\mu \psi_R^i) (\bar{\psi}_R^j \gamma^\mu \psi_R^j) \quad (1.3)$$

$$\mathcal{L}_{LR} = \frac{g^2 \text{ contact}}{2\Lambda^2} \sum_{i,j} \eta_{LR}^{ij} (\bar{\psi}_L^i \gamma_\mu \psi_L^i) (\bar{\psi}_R^j \gamma^\mu \psi_R^j) \quad (1.4)$$

$$\mathcal{L}_{RL} = \frac{g^2 \text{ contact}}{2\Lambda^2} \sum_{i,j} \eta_{RL}^{ij} (\bar{\psi}_R^i \gamma_\mu \psi_R^i) (\bar{\psi}_L^j \gamma^\mu \psi_L^j) \quad (1.5)$$

Burada, $\mathcal{L}$ etkin lagranjiyendir. Burada, i, j fermiyon çeşitlerine karşı gelen indislerdir. Renk ve diğer indisler bastırılır. Burada, $\eta_{\alpha\beta}^{ij} = \eta_{\beta\alpha}^{ji}$ olarak alınmıştır. Bu nedenle, aynı fermiyon türleri arasındaki temas etkileşimini ($i = j$) belirtmek için η_{LL}, η_{RR} ve η_{LR} kullanmak yeterlidir. Etkin etkileşimlerin yukarıdaki formunu kullanarak Λ ölçeğini açık bir şekilde belirleyebiliriz. Geleneksel yöntem, yeni güçlü etkileşim sabitini aşağıdaki gibi ayarlayarak ve $\eta_{\alpha\beta}$ katsayılarının maksimum büyüklüğünü bütün (unity) olarak ayarlayarak ölçeği sabitlemektir (Eichten ve ark., 1983).

$$\frac{g_{\text{temas}}^2}{4\pi} = \frac{g_{\text{temas}}^2(\Lambda)}{4\pi} = 1 \quad (1.6)$$

Temas etkileşimleri, fermiyonlar ortak bileşenlere sahip olduğunda bileşenlerin değiştirilmesiyle ve/veya kuantum çiftinin her iki parçacığının bileşenlerine bağlandığında bağlayıcı kuantumun değiştirilmesiyle ortaya çıkabilir.

Denklem 1.1'deki temas etkileşiminden kaynaklanan fermiyon saçılma genliği Standart Model (SM) genliği ile yıkıcı veya yapıcı bir şekilde girişim yapabilir (Eichten ve ark., 1984). Girişimin işareti $\eta_{\alpha\beta}$ 'nın işaretine bağlıdır. Örneğin, $\Lambda_{LL}^\pm$ modelindeki parton düzeyinde $qq \rightarrow qq$ saçılma tesir kesitinde, temas etkileşim genliği ve SM gluon değişim genliği $\eta_{LL} = +1$ için yıkıcı olarak girişimde bulunurken, $\eta_{LL} = -1$ için yapıcı olarak girişimde bulunurlar. Burada $\Lambda_{LL}^\pm$ ve diğer modeller şuna karşılık gelmektedir:

$$\Lambda = \Lambda_{LL}^\pm \quad (\eta_{LL}, \eta_{RR}, \eta_{LR}) = (\pm 1, 0, 0) \quad (1.7)$$

$$\Lambda = \Lambda_{RR}^\pm \quad (\eta_{LL}, \eta_{RR}, \eta_{LR}) = (0, \pm 1, 0) \quad (1.8)$$

$$\Lambda = \Lambda_{VV}^\pm \quad (\eta_{LL}, \eta_{RR}, \eta_{LR}) = (\pm 1, \pm 1, \pm 1) \quad (1.9)$$

$$\Lambda = \Lambda_{AA}^\pm \quad (\eta_{LL}, \eta_{RR}, \eta_{LR}) = (\pm 1, \pm 1, \mp 1) \quad (1.10)$$

$$\Lambda = \Lambda_{V-A}^\pm \quad (\eta_{LL}, \eta_{RR}, \eta_{LR}) = (0, 0, \pm 1) \quad (1.11)$$

Kuark bileşikliği modellerinde, temas etkileşimlerinden kaynaklanan kuark saçılımı kesitleri, oldukça büyük KRD ışımsal düzeltmeler alır.

Geçmiş 30 yıl boyunca, Cern (Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi) SppS, Fermilab Tevatron ve Cern BHÇ, 4-fermion etkin Lagranjiyen ile karakterize edilen kuark temas etkileşimlerini araştırmıştır. Burada jet son durumları kullanılmıştır. Bu araştırmalarda

temel olarak en yüksek iki enine momentumunun açısal dağılımı, jetler (dijetler), ve belirli jetlerin enine momentum spektrumları incelenmiştir.

$\chi = \exp(|(y_1 - y_2)|)$ değişkeni, dijet açısal dağılımını ölçmek için kullanılır, burada y_1 ve y_2 en yüksek enine momentuma sahip iki jetin rapiditeleridir. Pertürbatif KRD'de χ dağılımları nispeten tekdüzedir ve yalnızca yüksek dereceli KRD veya elektrozayıf düzeltmelerle hafifçe değiştirilir. Kuark temas etkileşimlerinin işaretleri, KRD'den daha fazla izotropik açısal dağılım gösterir. Bu durum, χ 'nin düşük değerlerinde fazlalık olarak tanımlanabilirler. Kapsayıcı jet tesir kesiti ölçümünde, kuark temas etkileşim etkileri, yüksek p_t jet spektrumunun kuyruklarında pertürbatif KRD tahminlerinden sapmalar olarak aranır (Chatrchyan ve ark., 2013).

1.3. Tesir Kesiti

Saçılma deneylerinde ölçülen reaksiyon hızları ve reaksiyon ürünlerinin enerji spektrumları ve açısal dağılımları demet ve hedef arasındaki etkileşimin dinamikleri hakkında, yani etkileşim potansiyelinin şekli ve bağlantı gücü hakkında bilgi verir. Bu reaksiyonların tanımlanması ve yorumlanması için en önemli büyüklük, çarpışan iki parçacık arasındaki reaksiyon olasılığının bir ölçüsü olan tesir kesitidir.

İki parçacık için reaksiyon olasılığı güçlü bir enerji bağımlılığı göstermektedir. Örneğin, uranyum tarafından termal nötronların yakalanması olayında reaksiyon hızı, küçük bir enerji aralığında bile birkaç büyüklük mertebesine göre değişir. Yalnızca zayıf etkileşimi hisseden nötrinoların saçılması için reaksiyon hızı, elektromanyetik etkileşimi hisseden elektronların saçılması için olandan çok daha küçüktür. Etkileşim potansiyelinin şekli, gücü ve aralığı öncelikle etkin kesit alanını belirler. Etkileşim, gelen demet parçacıklarının akısı ve saçılma merkezlerinin alan yoğunluğu biliniyorsa reaksiyon hızından belirlenebilir. Toplam tesir kesiti şöyle tanımlanır (Povh ve ark., 2015):

$$\sigma_{toplam} = \frac{\text{birim zamandaki reaksiyon sayısı}}{\text{birim zamandaki ışın parçacıkları} \times \text{birim alandaki saçılma merkezleri}} \quad (1.12)$$

Toplam tesir kesiti, elastik ve inelastik tesir kesitlerinin toplamıdır.

$$\sigma_{toplam} = \sigma_{el} + \sigma_{inel} \quad (1.13)$$

Tesir kesiti, boyutları alan olan fiziksel bir niceliktir ve belirli deney tasarımıyla bağımsızdır. Yaygın olarak kullanılan birimi barn'dır.

$$1 \text{ barn} = 1 b = 10^{-28} \text{ m}^2 = 10^{-24} \text{ cm}^2$$

Eğer gelen parçacık hedef etrafında sonsuz küçük $d\sigma$ alanı içerisinde geçtiğini varsayarsak buna karşı gelen $d\Omega$ katı açı içerisinde saçılacaktır. Burada, $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ oranına diferansiyel tesir kesiti denir. Burada, gelen parçacığın saçılma merkezini geçerken bu merkezden uzaklığını belirten etki parametresi b olarak tanımlanır. Etki parametresinin azalmasıyla saçılma açısının artacağını söyleyebilmekle beraber gerçek oran gelen parçacık ile saçılma merkezi arasındaki etkileşme potansiyeline bağlı olacaktır.

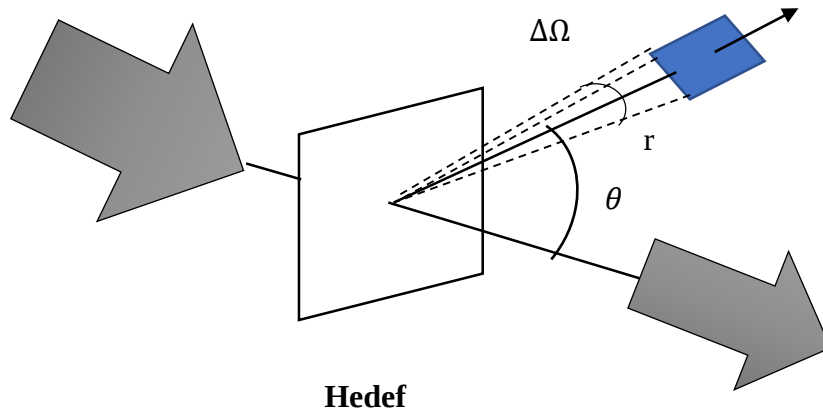
Işınlık $\mathcal{L}$, birim zamanda birim alandan geçen parçacık sayısı olarak tanımlanır. Dolayısıyla, birim zamanda $d\sigma$ alanından geçen parçacık sayısı ve aynı zamanda $d\Omega$ katı açı içerisinde saçılacak olan parçacık sayısı $dN = \mathcal{L}d\sigma$ olacaktır. Bu aynı zamanda şöyle yazılabilir (Griffiths, 1987):

$$dN = \mathcal{L} \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega \quad (1.14)$$

Bu denklemden diferansiyel tesir kesitini çekersek şunu elde ederiz:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{\mathcal{L}} \frac{dN}{d\Omega} \quad (1.15)$$

Bu formüle göre diferansiyel tesir kesiti birim zamanda $d\Omega$ katı açı içerisinde düşen parçacık sayısının bu katı açığa ($d\Omega$) ve parlaklığa bölümüdür. Ayrıca, bu formül olay oranının, $\frac{dN}{d\Omega}$, tesir kesiti ile parlaklığın çarpımı olduğunu ifade eder. Diğer bir ifade ile diferansiyel tesir kesiti birim ışınlık başına düşen olay oranıdır.



Şekil 1.1. Diferansiyel tesir kesitinin açıklaması

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. DeneySEL Çalışmalar

Appel ve ark. (1985) yaptıkları çalışmada büyük enine momentumlara (p_t) sahip hadron jetlerin üretimini Cern pp çarpıştırıcısında ölçmüştür ($\sqrt{s} = 630 \text{ GeV}$). Kütle merkezi enerjisi 546 GeV 'de geçmiş çarpıştırıcı verileri, kapsayıcı (inclusive) jet üretim tesir kesitinin p_t 'ye bağlı artışını göstermiştir. Bu artış, QCD hesaplamaları ve yaklaşık $x_T = 2p_T/\sqrt{s}$ ölçeği ile tanımlanabilir. Bu çalışmada büyük p_t değerlerinde, KRD tahminlerinden önemli ölçüde bir sapma gözlemlenmemiştir. Kuarkların içindeki preonların bağlanmasından sorumlu varsayımsal süper güçlü temas etkileşiminin karakteristik ölçeği (Λ_c) üzerinde bir limit değeri konmuştur. Bu değer, 95% güvenilirlik seviyesinde $\Lambda_c > 370 \text{ GeV}$ olarak belirlenmiştir.

Arnison ve ark. (1986) tarafından yapılan çalışmada Fermilab Tevatron $p\bar{p}$ çarpıştırıcısında CDF detektörü ile kapsayıcı jet üretimi 1.8 TeV kütle merkezi enerjisinde ölçülmüştür. 250 GeV enine enerjiye kadar jetler gözlemlenmiştir. Kapsayıcı jet tesir kesitlerinin enine enerji bağımlılığı, LO (leading-order) mertebesi kuantum kromodinamik hesaplamaları ile tutarlı olduğu görülmüştür. Daha düşük enerjili veriler ile karşılaştırma, ölçeklendirmeden sapmaların KRD ile tutarlı olduğunu göstermiştir. Etkin temas etkileşimi ile ilişkili kuark bileşiklik ölçek parametresi (Λ_c) üzerinde 95% güvenilirlik seviyesinde alt limit değeri olarak 700 GeV belirlenmiştir.

Abe ve ark. (1989) çalışmalarında Fermilab Tevatron $p\bar{p}$ çarpıştırıcısında CDF detektörü ile kapsayıcı jet üretimini 1.8 TeV kütle merkezi enerjisinde ölçmüşlerdir. 250 GeV enine enerjiye kadar jetler gözlemlenmiştir. Kapsayıcı jet tesir kesitlerinin enine enerji bağımlılığı, LO (leading-order) mertebesi kuantum kromodinamik hesaplamalar ile tutarlı olduğu görülmüştür. Daha düşük enerjili veriler ile karşılaştırma, ölçeklendirmeden sapmaların KRD ile tutarlı olduğunu göstermiştir. Etkin temas etkileşimi ile ilişkili kuark bileşiklik ölçek parametresi (Λ_c) üzerinde 95% güvenilirlik seviyesinde alt limit değeri olarak 700 GeV belirlenmiştir.

Abe ve ark. (1992) çalışmalarında Fermilab çarpıştırıcı detektöründe di-jet açılal dağılımını ölçmüşlerdir. Bu ölçümler, geçmiş çalışmalara oranla yüksek kütle aralığı ve daha geniş saçılma açılarını kapsamaktadır. LO (leading-order) ve NLO (next-to-leading

order) KRD hesaplamaları ile iyi bir uyum tespit etmişlerdir. Kuark bileşikliği üzerinde $\Lambda_c > 370 \text{ GeV}$ değeri elde edilmiştir.

Abe ve ark. (1996) tarafından yapılan çalışmada son durumda di-jetli olaylar için jet açısıl dağılımları ölçülmüştür. Fermilab çarpıştırıcı detektöründe elde edilen $\sqrt{s} = 1.8 \text{ TeV}$ enerjili $p\bar{p}$ çarpışmalarından elde edilen 106 pb^{-1} veri kullanılmıştır. Açısıl dağılımın, KRD'nin next-to-leading order tahminleri ile bütün di-jet değişmez kütle aralığında uyumlu olduğu belirtilmiştir. Veri, 95% güvenilirlik seviyesinde sadece yukarı ve aşağı kuark bileşikliğinin olduğu kuark altyapısını dışarlamıştır ve temas etkileşme ölçeğini $\Lambda_{ud}^+ \leq 1.6 \text{ TeV}$ veya $\Lambda_{ud}^- \leq 1.4 \text{ TeV}$ olarak belirlemiştir. Bütün kuarkların bileşik olduğu modelde ise dışarlama bölgesi olarak $\Lambda^+ \leq 1.8 \text{ TeV}$ ve $\Lambda^- \leq 1.6 \text{ TeV}$ belirlenmiştir.

Barger ve ark. (1997), $eeqq$ temas etkileşimlerini, HERA'daki H1 ve ZEUS işbirlikleri tarafından gözlemlenen yüksek Q^2 'de $e^+p \rightarrow e^+jet$ 'te Standart Model tahminlerinin üzerindeki olayların olası bir kaynağı olarak kabul etmişlerdir. HERA verileri, kiralite RL veya LR temas terimlerini tercih eder ve atom fiziği parite ihlali ölçümleri, parite-tek temas terimlerini ciddi şekilde sınırlar. 3 TeV mertebesinde etkili bir ölçekte eşit sol-sağ ve sağ-sol kiralite etkileşimleri ile HERA verilerinin ana özellikleri yeniden üretilmiştir.

Barger ve ark. (1998) tarafından yapılan çalışmada, ZEUS ve H1'den yüksek Q^2 'de derin elastik olmayan saçılma, JILA'dan sezyumda atomik fizik parite ihlali, SLAC, Mainz ve Bates'de çekirdek saçılma deneylerinde kutuplanmış e^- , Fermilab Tevatron'da Drell-Yan üretimi, Cern LEP'te toplam hadronik kesiti ve CCFR'den nötrino-nükleon saçılması verilerini içeren $eeqq$ temas etkileşimleriyle ilgili veri üzerinde küresel bir fit gerçekleştirilmiştir. HERA deneylerinde yüksek Q^2 'de gözlemlenen olayların fazlalığının temas etkileşimleri açısından anlaşılıp anlaşılmayacağını belirlemek için genel bir araştırma yapılmıştır. Özetle şu sonuçlara varılmıştır: DESY HERA yüksek Q^2 olayları $eeqq$ temas etkileşimlerinden kaynaklanıyorsa, verileri açıklamada en etkili olan η_{LR}^{eu} ve η_{RL}^{eu} terimleridir. Bununla birlikte, yüksek kütleli Drell-Yan lepton çifti üretimine ilişkin CDF verileri, kiralite yapılarından bağımsız olarak $eeuu$ temas etkileşimlerini güçlü bir şekilde kısıtlamaktadır. Yüksek enerjili veriler ve düşük enerjili elektrozayıf veriler birleştirildiğinde, tüm $eeqq$ temas etkileşimleri güçlü bir şekilde kısıtlanır ve DESY HERA yüksek Q^2 olaylarını temas etkileşimleriyle açıklama olasılığı sınırlıdır.

SM, DESY HERA yüksek Q^2 olayları da dâhil olmak üzere tüm elektron-hadron verilerinin oldukça iyi bir genel tanımını verir. Temas ölçeklerinde elde edilen limitler, daha önce elde edilenlerden daha kısıtlayıcıdır.”

Abbott ve ark. (1998) çalışmalarında D0 detektörü kullanarak di-jet açısallık dağılımlarını $\sqrt{s} = 1.8$ TeV enerjili $p\bar{p}$ çarpışmaları için ölçmüşlerdir. Verinin α_s^3 dereceli KRD tahminleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Veri, 95% güvenilirlik seviyesinde temas etkileşme ölçeğinin 2 TeV’in altında olduğu kuark bileşiklik modellerini dışlamıştır.

Abbott ve ark. (1999) tarafından yapılan çalışmada, D0 detektörü ile $\sqrt{s} = 1.8$ TeV enerjili $p\bar{p}$ çarpışmaları kullanılmıştır. Bu çalışmada, 200 GeV/c²’den büyük di-jet kütleleri için merkez psedorapidite bölgesinde $|\eta_{jet}| < 1.0$, inclusive (kapsayan) di-jet kütle spektrumu ölçülmüştür. $\sigma(|\eta_{jet}| < 0.5)/\sigma(0.5 < |\eta_{jet}| < 1.0)$ spektrum oranı ölçülmüştür. α_s^3 kuantum kromodinamik tahmin mertebesinin veri ile uyumlu olduğu görülmüştür. 95% güvenilirlik seviyesinde < 2.4 TeV temas etkileşmesi ölçeğinde bir kuark bileşiklik modeli çıkarılmıştır.

Zarnecki (1999) tarafından yapılan çalışmada, HERA, LEP ve Tevatron’dan ve ayrıca düşük enerji deneylerinden elde edilen veriler, olası elektron kuark temas etkileşimlerinin ölçeğini sınırlamak için kullanılmıştır. En genel olanı da dâhil olmak üzere, tüm yeni bağlaşımların (couplings) bağımsız olarak değişebileceği farklı modeller göz önünde bulundurulmuştur. Bağlaşımların ve kütle ölçekleri üzerindeki sınırlar çıkarılmıştır ve gelecekteki HERA, LEP ve Tevatron çalışmalarında gözlemlenecek olası etkilerin üst sınırları tahmin edilmiştir. LEP’deki toplam hadronik tesir kesiti ve HERA’daki e^-p saçılma tesir kesiti, mevcut veriler tarafından güçlü bir şekilde sınırlandırılmıştır. Aynı zamanda, Tevatron’da Drell-Yan lepton çifti üretimi için büyük tesir kesiti sapmalarının mümkün olduğu belirtilmiştir.

Adloff ve ark. (2000) tarafından, $e^+p \rightarrow e^+X$ reaksiyonu HERA’da H1 detektörü ile incelenmiştir. Veri, 200 GeV² ile 30000 GeV² arasındaki momentum transferini (Q^2) kapsamaktadır. Bu, 35.6 pb⁻¹ toplam ışınllığa karşılık gelmektedir. Diferansiyel tesir kesiti ($d\sigma/dQ^2$), nötral akım saçılmaları için Standart model beklentisi ile karşılaştırılmıştır ve $(\bar{e}e)(\bar{q}q)$ temas etkileşmelerinin araştırılması için analiz edilmiştir. Yeni fizik için bir kanıt gözlemlenmemiştir. Sonuçlar, elektron-kuark bileşikliği, kuark form faktörü ve sanal ağır leptokuark modelleri içinde ölçek üzerinde limit koymak için

kullanılmıştır. Geniş ek boyutlara yayılan sanal gravitonların değiş-tokuşu ile oluşan kütle çekimsel etkiler araştırılmıştır.

Acciarri ve ark. (2000) tarafından yapılan çalışmada yeni fizik modelleri için 130 ve 189 GeV kütle merkezi enerjilerinde L3 detektöründe elde edilen veriler ile hadron-lepton çift üretimi ve leptonik ileri-geri asimetri ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu yeni fizik modelleri şöyle sıralanabilir: temas etkileşmeleri, sanal leptokuarkların değiş-tokuşu, skaler kuarklar ve nötrinolar, büyük ekstra boyutlara sahip kuantum yerçekimi modellerinde TeV sicimlerinin etkileri ve fermiyonların sıfır olmayan boyutları. Leptonların çift üretim tesir kesitleri ve asimetrilere yapılan fitlerden bileşiklik ölçeği için 95% güvenilirlik seviyesinde alt limitler belirlenmiştir.

Adloff ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada, 30000 GeV²'ye kadar yüksek momentum transferinde Q² derin elastik olmayan $e^{\pm}p$ saçılımı, HERA kütle merkezi enerjisinin çok ötesindeki ölçeklerle ilişkili temas etkileşimlerini aramak için kullanılmıştır. $e^{-}p$ verisinin 16.4 pb⁻¹ ve $e^{+}p$ verisinin 100.8 pb⁻¹ toplam ışınlıklarına karşılık gelen nötral akım tesir kesiti ölçümleri ($d\sigma/dQ^2$), Standart Model tarafından iyi tanımlanmıştır ve yeni fenomenlere kısıtlamalar koymak için analiz edilmiştir. Konvansiyonel temas etkileşimleri için, 1.6–5.5 TeV arasında değişen bileşiklik ölçeklerinde alt limitler belirlenmiştir.

ZEUS Collaboration (2004), HERA'da ZEUS detektörü ile kaydedilen yüksek Q² nötr akım derin esnek olmayan saçılma olaylarıyla Standart Modelin ötesinde bir fizik araştırması gerçekleştirmiştir. 112 pb⁻¹ ve 16 pb⁻¹'lik toplam ışınlıklara sahip iki veri seti, $e^{+}p \rightarrow e^{+}X$ ve $e^{-}p \rightarrow e^{-}X$ analiz edilmiştir. Veriler 40000 GeV² kadar yüksek Q² değerlerine ulaşmıştır. Standart Model tahminlerinden önemli bir sapma gözlenmemiştir. eeqq temas etkileşimlerinde etkin kütle ölçeğinde sınırlar belirlenmiştir. Aynı zamanda, ağır leptokuark modelleri için leptokuark kütesinin Yukawa bağlaşımına oranı ve geniş ek boyutlara sahip modellerde kütle ölçeği parametresinde sınırlar türetilmiştir. Klasik form faktörü yaklaşımında kuark yük yarıçapındaki sınır 0.85×10^{-16} cm olarak belirlenmiştir.

Abbiendi ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada, hadronik ve Lepton-çift son durumları için tesir kesiti ve açısal dağılımlar, $e^{+}e^{-}$ etkileşmesinde 189 ve 209 GeV kütle merkezi enerjilerinde LEP'te OPAL detektörü ile ölçülmüştür ve sonuçlar SM tahminleri ile karşılaştırılmıştır. Etkin dört-fermion temas etkileşmesi veya ağır Z' bozonlarının

fazlalığı ile tanımlanan SM ötesi için sınırlamalar sunulmuştur. Temas etkileşmesinde bileşiklik enerji ölçeği, 3-13 TeV'den 5-16 TeV'e genişletilmiştir.

Schael ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmada, LEP deneyinde 189 ve 209 GeV kütle merkezli $e^+e^- \rightarrow f\bar{f}$ etkileşmesinde DELPHI detektörü tarafından ölçülen iki fermiyon olaylarına ait sonuçlar (tesir kesitleri, açısal dağılımlar ve ileri-geri asimetrisi) sunulmuştur. Yeni fizik senaryoları (4-fermion temas etkileşmesi, leptokuarklar, Z' bozons, TeV ölçeğinde kuantum kütle çekimi, R-paritesi ihlal eden skuarklar ve snötrinolar) üzerinde kısıtlamalar konulmuştur.

Abdallah ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmada, LEP deneyinde 130-207 GeV kütle merkezli e^+e^- etkileşmesinde ALEPH detektörü tarafından ölçülen Z rezonansının üzerindeki olaylara ait sonuçlar (tesir kesitleri, açısal dağılımlar ve ileri-geri asimetrisi) sunulmuştur. Ölçümler, standart modelin ötesinde yeni fiziklerin (fermionlar arasındaki temas etkileşmeleri, Z' bozonlarının değiş tokuşu, geniş ek boyutlarda gravitonların değiş tokuşu ve R-paritesini ihlal eden süper-simetri) incelenmesi için kullanılmıştır.

Abdallah ve ark. (2009) tarafından, e^+e^- etkileşmeleri için $\sqrt{s} = 130 - 207 \text{ GeV}$ enerjisinde $q\bar{q}$ tesir kesitinin $b\bar{b}$ tesir kesitine oranı ölçümleri ve ileri-geri asimetrisi sunulmuştur. Ölçümler, temas etkileşmelerini de içeren yeni fizik senaryoları üzerinde sınırlamalar konulmak üzere kullanılmıştır. Yeni fiziğin kiralite yapısına bağlı olarak temas etkileşim ölçeğinde 2-13 TeV aralığında uzanan limitler getirilmiştir.

Khachatryan ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada, proton-proton çarpışmalarında üretilen hadronik jet çiftlerine (dijetler) dayalı kuark temas etkileşimleri biçimindeki kuark bileşikliğinin araştırılması anlatılmaktadır. Çalışmanın veri örneği, BHÇ'de CMS detektörü ile toplanan 2.9 pb^{-1} 'lik toplam ışınığa karşılık gelir. Dijetlerin açısal dağılımını ölçen dijet merkezilik oranı, dijet sisteminin değişmez kütlelerinin bir fonksiyonu olarak ölçülmüş ve standart modelin tahminleriyle uyumlu olduğu bulunmuştur. Verilerin istatistiksel analizi, kuark temas etkileşimlerinin enerji ölçeğinde alt limit sağlar. Değişmez kütlede gözlenen yüksek merkezilik değeri beklentinin altında olduğundan, gözlenen sınır % 95 güven düzeyinde 4.0 TeV olarak elde edilmiştir.

Aaron ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada, HERA'da $e^\pm p$ çarpışmalarında yüksek negatif dört momentumlu transfer karesinde nötral akım derin elastik olmayan saçılmada Standart Modelin ötesinde bir fizik araştırması gerçekleştirilmiştir. 446 pb^{-1} toplam ışınığa karşılık gelen tam H1 veri örneği kullanılarak ölçülen diferansiyel tesir

kesiti ($d\sigma/dQ^2$), Standart Model tahmini ile karşılaştırılmıştır. Belirgin bir sapma gözlemlenmemiştir. Genel 4 fermiyon temas etkileşim modelleri ($eeqq$) için bileşiklik ölçeği üzerinde 3.6 TeV ile 7.2 TeV arasında alt limit konulmuştur.

Aad ve ark (2011a), ATLAS detektörü ile ölçülen pp çarpışmalarında $\sqrt{s} = 7$ TeV'de dijet açısall dağılımlarında kuark temas etkileşimlerini araştırmışlardır. Çalışmalarında kütle merkezi enerjisi $\sqrt{s} = 7$ TeV 'deki ilk BHÇ pp çarpışmalarından gelen dijet açısall dağılımları ATLAS detektörü ile ölçülmüştür. Bu analiz için kullanılan veri seti, 3.1 pb^{-1} 'lik toplam ışınlığı temsil eder. Dijet χ dağılımları ve merkezilik oranları, 2.8 TeV dijet kütlelerine kadar ölçülmüştür ve Standart Model tahminleriyle iyi bir uyum içinde olduğu bulunmuştur. χ dağılımlarının analizi, kuark temas etkileşimlerini 3.4 TeV'in altında bileşiklik ölçeği ile % 95 güven seviyesinde, önceki limitleri önemli ölçüde aşan oranda dışarlamıştır.

Aad ve ark (2011b), pp çarpışmalarında ATLAS detektörü ile ölçülen $\sqrt{s} = 7$ TeV'de dijet kütleleri ve açısall dağılımlar için yeni fizik araştırması yapmışlardır. ATLAS detektörü ile kütle merkezi enerjisi $\sqrt{s} = 7$ TeV'de BHÇ proton-proton (pp) çarpışmalarında üretilen yeni etkileşimler ve rezonanslar için bir araştırma yapılmıştır. 36 pb^{-1} toplam ışınlığa sahip bir veri kümesi kullanılarak, dijet kütleleri ve açısall dağılımlar ~ 3.5 TeV dijet kütlelerine kadar ölçülmüştür ve Standart Model tahminleriyle iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür. Bu analiz, % 95 güvenilirlik seviyesinde (CL) yeni fizik için çeşitli modellerde limitler belirlemiştir. Burada, 0.60 ile 2.64 TeV arasındaki kütle için uyarılmış kuark dışarlanmıştır. Aynı zamanda, 0.60 ile 2.10 TeV arasındaki aksigluon kütleleri için aksigluon hipotezi dışarlanmıştır ve kuantum kara delikleri, 0.75 ve 3.67 TeV arasındaki kuantum yerçekimi ölçekleri için altı ek (yer-zaman) boyutlarını içeren modellerde dışarlanmıştır. Dijet kütlelerinin bir fonksiyonu olarak üretim tesir kesiti sınırları, diğer hipotezlerle karşılaştırmaları kolaylaştırmak için basitleştirilmiş bir Gauss sinyal modeli kullanılarak belirlenmiştir. Dijet kütlelerini eşzamanlı olarak kullanan yeni bir teknik ile dijet açısall dağılımının analizi, 9.5 TeV'in altında bir bileşiklik ölçeği (Λ) ile kuark temas etkileşimlerini dışarlamıştır.

Khachatryan ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada, dijet açısall dağılımları, CERN BHÇ'de $\sqrt{s} = 7$ TeV'de pp çarpışmalarında geniş bir aralıkta dijet değişmez kütleleri üzerinden ölçülmüştür. CMS detektörü ile kaydedilen veri seti, 36 pb^{-1} 'lik toplam ışınlığa karşılık gelir. Verilerin, perturbatif KRD tahminleriyle iyi bir uyum içinde

olduğu ve kuark bileşikliğine dair hiçbir kanıt vermediği bulunmuştur. Değiştirilmiş bir frekans yaklaşımıyla, yıkıcı (yapıcı) girişim için sol elli kuarklar için temas etkileşim ölçeğinde % 95 güven düzeyinde $\Lambda^+ = 5.6 \text{ TeV}$ ($\Lambda^- = 6.7 \text{ TeV}$) alt sınırlar elde edilmiştir.

Khachatryan ve ark. (2012), $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ 'de pp çarpışmalarından dijet açısıl dağılımlarını kullanarak kuark bileşikliği için bir araştırma sunmuştur. Arama, BHÇ'de CMS deneyi tarafından kaydedilen 2.2 fb^{-1} 'lik toplam ışınlığa karşılık gelen bir veri örneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Normalleştirilmiş dijet açısıl dağılımları, 0.4 TeV'den 3 TeV'e kadar olan dijet değişmez kütleleri için ölçülmüştür. Bunlar, önde gelen sıraya göre NLO (next-to-leading order) KRD düzeltmelerinin etkilerini hesaba katanlar da dâhil olmak üzere çeşitli temas etkileşim modelleriyle karşılaştırılmıştır. Verilerin, perturbatif KRD tahminleriyle uyumlu olduğu bulunmuştur. Temas etkileşim ölçeğinde % 95 güven seviyesinde 7.5 ile 14.5 TeV arasında değişen alt sınırlar elde edilmiştir.

Aad ve ark. (2013a) tarafından yapılan çalışmada, BHÇ proton-proton çarpışmalarında kütle merkezi enerjisi $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ 'de üretilen dijetlerin kütle ve açısıl dağılımları, 4.8 fb^{-1} 'lik toplam ışınlık ile 2011 veri setinin tamamı kullanılarak ATLAS detektörü ile incelenmiştir. Yaklaşık 4.0 TeV 'e kadar dijet kütleleri araştırılmıştır. Dijet kütle spektrumunda rezonans benzeri özellikler gözlemlenmemiştir ve tüm açısıl dağılımlar KRD'nin tahminleriyle tutarlıdır. Yeni fenomenlerin altı hipotezi üzerindeki dışarlama limitleri, uygun olduğu şekilde, kütle veya enerji ölçeği açısından % 95 güvenilirlik seviyesinde belirlenmiştir. Bu hipotezler 2.83 TeV'in altındaki uyarılmış kuarkları, 1.86 TeV'in altındaki renkli oktet (sekizli) skalerleri, 1.68 TeV'in altındaki ağır W bozonları, 3.61 TeV'in altındaki sicim rezonansları, 4.11 TeV'in altındaki kuantum yerçekimi ölçekleri için altı ek yer-zaman boyutuna sahip kuantum kara delikleri ve yıkıcı girişim senaryosunda 7.6 TeV bileşiklik ölçeğinin altındaki kuark temas etkileşmelerini içermektedir.

Aad ve ark. (2013b) tarafından yapılan çalışmada, temas etkileşimlerinden veya büyük ek uzaysal boyutlardan kaynaklanan rezonansız yeni fenomenler için bir araştırma, iki izole elektron veya müon içeren olaylar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. GHÇ'de $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ 'de proton-proton çarpışmalarında üretilen bu olaylar ATLAS detektörü tarafından kaydedilmiştir. 2011 yılı boyunca toplanan veri örneği, e^+e^- ve $\mu^+\mu^-$ kanalları için sırasıyla 4.9 ve 5.0 fb^{-1} 'lik toplam ışınlıklarına karşılık gelir. Standart

Model beklentisinden önemli bir sapma gözlenmemiştir. Bayes yaklaşımı kullanılarak, sol-sol izoskalar modelde llqq temas etkileşimlerinin enerji ölçeğine 9.0 ile 13.9 TeV arasında değişen % 95 güven düzeyinde alt limitler yerleştirilmiştir. Büyük ek boyutlu modellerde sicim ölçeğinde 2.4 ila 3.9 TeV arasında değişen alt sınırlar da belirlenmiştir.

Aad ve ark. (2015), ATLAS detektörü ile 17.3 fb^{-1} 'lik bir toplam ışınlık kullanılarak $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ kütle merkezi enerjisinde BHÇ proton-proton çarpışmalarında yeni fenomenler(olaylar) için bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Açısal dağılımlar en az iki jetli olaylarda incelenmiştir; gözlenen en yüksek dijet kütlesi 5.5 TeV'dir. Tüm açısal dağılımlar, standart modelin tahminleriyle tutarlıdır. Kuark temas etkileşimlerinin kıyaslama (benchmark) modelinde, yıkıcı bir girişim senaryosunda 8.1 TeV'in ve yapıcı bir girişim senaryosunda 12.0 TeV'in altında bileşiklik ölçeği % 95 güvenilirlik seviyesinde dışarlanmıştır. Beklenen ortalama sınırlar, yıkıcı girişim senaryosu için 8.9 TeV ve yapıcı girişim senaryosu için 14.1 TeV'dir.

Khachatryan ve ark. (2015), dijet açısal dağılımları kullanarak $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ 'de proton-proton çarpışmalarında kuark temas etkileşimleri ve ekstra uzaysal boyutlar için bir arama yapmışlardır. Arama, CERN BHÇ'deki CMS detektörü tarafından toplanan 19.7 fb^{-1} 'lik toplam ışınlığa karşılık gelen bir veri setine dayanmaktadır. Dijet açısal dağılımlarının, elektrozayıf düzeltmeleri içeren perturbatif KRD tahminleriyle uyumlu olduğu bulunmuştur. NLO (next-to-leading order) OCD düzeltmelerinde çeşitli modellerden temas etkileşim ölçeğindeki sınırlar elde edilmiştir. Yalnızca sol elli (left-handed) kuarkların katıldığı bir kıyaslama (benchmark) modeli, %95 güven düzeyinde yıkıcı (yapıcı) girişim için 9.0 (11.7)TeV ölçeğine kadar dışarlanmıştır.

Aad ve ark. (2016), ATLAS detektörü ile $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ pp çarpışmalarından iki-jet kütlesinde ve açısal dağılımlarda yeni fenomenleri araştırmışlardır. Kütle merkezi enerjisi $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ olan ve 3.6 fb^{-1} proton-proton çarpışmalarında Standart Modelin ötesinde, rezonant ve rezonant olmayan fenomenler tarafından üretilen jet çiftleri (dijetler) için model-agnostik (bilinemezci) bir araştırmayı açıklar. Veriler Büyük Hadron Çarpıştırıcısında ATLAS detektörü tarafından kaydedilmiştir. İleri gelen iki jetin sabit kütlesinin dağılımı, Standart Modelin beklentisine düşen veriden türetilmiş bir tahmininin üzerindeki yerel fazlalıklar için incelenmiştir. Ayrıca iki jetin rapiditesi türetilen Standart Model açısal dağılımlarının bir Monte Carlo simülasyonu ile karşılaştırılmıştır. % 95 güven aralığında eşik kütleleri 8.3 TeV, 8.1 TeV veya 5.1 TeV'nin altında olan kuantum

kara deliklerini üç farklı kıyaslama (benchmark) senaryosunda dışarlamak için kullanılan verilerde anormal olaylara dair hiçbir ispat gözlenmemiştir. Bu üç senaryo şöyledir: uyarılmış kuarklar için 5.2 TeV'nin altında ve W' modelinde 2.6 TeV'in altında rezonans kütleleri, Z' modelinde $m_{Z'} = 1.5 \text{ TeV}$ 'den başlayan bir dizi kütle ve $g_q = 0.2$ 'den başlayan bağlaşımlar; ve yeni etkileşim ve KRD süreçleri arasındaki yıkıcı ve yapıcı girişim için sırasıyla 12.0 TeV ve 17.5 TeV'nin altında bir bileşiklik ölçeğine sahip temas etkileşimleri. Bu sonuçlar, 8 TeV verisinden elde edilen ATLAS limitlerini önemli ölçüde genişletir. Kütle dağılımına Gauss şeklindeki katkılar, etkin tesir kesit 2 TeV altındaki kütleler için yaklaşık 50 – 300 fb ile 4 TeV üzerindeki kütleler için 2 – 20 fb arasında aşarsa da hariç tutulur

Aaboud ve ark. (2017), ATLAS detektörü ile $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ 'de toplanan 37 fb^{-1} pp çarpışma verisini kullanarak dijet olaylarında yeni fenomenleri (görüngü) araştırmışlardır. Bu çalışmada, 2015 ve 2016 yıllarında Büyük Hadron Çarpıştırıcısında ATLAS detektörü ile $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ kütle merkezi enerjisinde toplanan proton-proton çarpışmasına ait veriler ile di-jet olayları incelenmiştir. Veriler, 3.5 fb^{-1} ve 33.5 fb^{-1} toplam ışınlık değerlerine karşılık gelmektedir. Değişmez kütle ve açısal dağılımlar, arkaplan tahminleri ile karşılaştırılmıştır ve önemli bir sapma gözlemlenmemiştir. Rezonans araştırmaları için, değişmez kütle dağılımlarının arkaplan bileşenini fit etmek için yeni bir yöntem uygulanmıştır. Daha sonra bu veriler, yeni fizik senaryoları kapsamında 95% güvenilirlik seviyesinde üst limitler koymak için kullanılmıştır. 6.0 TeV'in altındaki kütleli uyarılmış kuarklar dışarlanmıştır. Z' karanlık madde mediator (aracı) modeli içindeki bir dizi kütle ve bağlaşımlar (couplings), W^* bozonları, ağır W' bozonları ve kuantum kara delikler üzerine sınırlar konulmuştur. Gauss şekline sahip sinyallerde modelden bağımsız limitler konulmuştur. Bunun için, detektör etkilerini ve fiziği göz önüne alan yeni bir yaklaşım kullanılmıştır. Açısal dağılımlar kullanılarak, temas etkileşim modelleri içerisinde yeni fizik ölçeği, yapıcı ve yıkıcı girişim senaryoları için dışarlanmıştır. Bu sonuçlar, daha önce daha düşük toplam ışınlık ile elde edilen sonuçlara göre önemli bir miktarda gelişmeyi sunmuştur.

Sirunyan ve ark. (2017), $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ 'de proton-proton çarpışmalarında dijet açısal dağılımlarının ölçümlerinde ekstra uzaysal boyutlar, kuantum kara delikler ve kuark temas etkileşimleri için bir araştırma sunmuşlardır. Veriler, BHC'de CMS detektörü ile toplanmıştır ve 2.6 fb^{-1} 'lik toplam ışınlığa karşılık gelmektedir.

Dağılımların, elektrozayıf düzeltmeleri içeren pertürbatif kuantum kromodinamiğinden gelen tahminlerle uyumlu olduğu bulunmuştur. Farklı temas etkileşim modelleri için limitler elde edilmiştir. NLO (next-to-leading order) KRD düzeltmelerinin ve yalnızca sol elli kuarkların katıldığı bir kıyaslama modelinde, kuark temas etkileşimleri yıkıcı veya yapıcı girişim için sırasıyla 11.5 ve 14.7 TeV ölçeğine kadar dışarlanmıştır.

Sirunyan ve ark. (2018), proton-proton çarpışmalarında dijet açısız dağılımların ölçümlerine dayalı olarak standart modelin ötesinde fizik için $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ 'de bir araştırma sunmuşlardır. BHC'de CMS detektörü ile toplanan veriler, 35.9 fb^{-1} 'lik toplam ışınığa sahiptir. Parçacık düzeyine göre düzeltilmiş gözlenen dağılımların, elektrozayıf düzeltmeleri içeren pertürbatif kuantum kromodinamiğinden gelen tahminlerle uyumlu olduğu bulunmuştur. Detektör düzeyinde dağılımlar kullanılarak kuark temas etkileşimleri, ek uzaysal boyutlar, kuantum kara delikler veya karanlık madde içeren modellere kısıtlamalar getirilmiştir. Yalnızca sol-elli kuarkların katıldığı bir kıyaslama modelinde, yıkıcı veya yapıcı girişim için sırasıyla 12.8 veya 17.5 TeV ölçeğine kadar temas etkileşmelerinin % 95 güven düzeyinde dışarılandığı tespit edilmiştir.

2.2. Kompozitlik Modelleri

Pati ve Salam (1974) yaptıkları çalışmada, leptonların ve hadronların evrensel güçlü, zayıf ve elektromanyetik etkileşimleri, $SU(4)_L \times SU(4)_R \times SU(4')$ temel simetri yapısının Abelian olmayan yeniden normalleştirilebilir anomali içermeyen bir alt grubunun ölçülmesiyle üretildiğini belirtmişlerdir. Buna göre, üç "renkli" baryonik kuark dörtlüsü ve bilinen leptonlar dörtlüsü, lepton sayısı dördüncü "renk" kuantum sayısı olarak kabul edilen 16 katlı kiral fermiyonik multipletlerde birleştirilir. Bu şemanın deneysel sonuçları tartışılmıştır. Bunlar şöyle özetlenebilir: Özellikle semileptonik süreçlerde hem baryonik hem de leptonik kuantum sayıları taşıyan egzotik ayar mezonlarının ortaya çıkışı ve etkileri, yüksek enerjilerde leptonik ve semileptonik süreçler arasında anormal güçlü etkileşimlerin tezahürü, kuark ve proton bozunumlarında bağımsız baryon-lepton sayısı ihlali olasılığını öngörmüşlerdir.

Terazawa ve ark. (1977) tarafından yapılan çalışmada, Nambu-Jona-Lasinio tipinde doğrusal olmayan bir fermiyon Lagrange ile başlanmış ve vektör alanlarına Bjorken'in kütesizlik koşulları dayatılmıştır. Leptonların ve kuarkların zayıf ve elektromanyetik

etkileşimleri için Weinberg ve Salam'ın birleşik ayar (gauge) teorisini ve kuarkların güçlü etkileşimi için Gross, Wilczek ve Politzer'in asimptotik olarak serbest ayar teorisini birleştiren etkili bir Lagranjiyen inşa edilmiştir.

Harari (1979) tarafından yapılan çalışmada, tüm kuarkların ve leptonların, elektrik yükü $1/3$ ve 0 olan sadece iki tür spin $1/2$ temel parçacıkların bileşenleri olduğu bir şema düşünülmüştür. Renk ve çeşni kavramlarının ancak bileşik sistemler düzeyinde anlam kazandığı belirtilmiştir. Buna göre $W^{\pm}$ veya gluonlar gibi ayar bozonları yalnızca bileşik yapıya sahip durumları birbirine bağlar ve temel değildir. Şema, kuarkların ve leptonların gözlemlenen modelinin çeşitli düzenliliklerini hesaba katar. Ancak pek çok önemli soru yanıtsız bırakılarak ikna edici bir dinamik sunulmamıştır.

Shupe (1979), leptonları ve kuarkları $0 \mp e3$ yüklü spin $1/2$ alanlarının bileşenleri olarak ele alan bir buluşsal model sunmuştur. Buna göre, ayırt edilebilirlik varsayımı, üç kuark renginin ortaya çıkmasına neden olur. Model, kuvvete aracılık eden bozonları dikkate alacak şekilde genişletilmiştir.

Terazawa (1980), şimdiye kadar önerilen çeşitli alt kuark modellerini kısaca gözden geçirmiştir. Modellerdeki lepton ve kuarkların sınıflandırılması tartışılmış ve karşılaştırılmıştır. Lepton ve kuarkların spini $1/2$ olan üç alt-kuarkından oluştuğu lepton ve kuark spinor-altkuark modeli detaylı olarak tartışılmıştır. Ayar bozonlarının ve Higgs skalerlerinin de bir altkuark-karşı-altkuark çiftinden yapılmış olma olasılığı tartışılmıştır. Modelde leptonlar ve $3/2$ spinli kuarklar, egzotik fermiyonlar ve egzotik bozonlar gibi alt kuarkların egzotik durumları tahmin edilmektedir. Altkuark akımları ve cebiri önerilmiştir. Güçlü ve elektrozayıf etkileşimlerin iki birleşik alt kuark modeli tartışılmıştır: Biri ayar modelidir ve diğeri ise Nambu-Jona-Lasinio tipi bir modeldir. Bir alt kuark yerçekimi modeli ve onun süper büyük birleşmesi önerilmiştir. Son olarak, "renk-uzay uyuşması" üzerine bir spekülasyon yapılmıştır.

Fritzsch ve Mandelbaum (1981), leptonların, kuarkların ve zayıf bozonların alt yapısı için yeni bir model araştırmıştır. Zayıf etkileşimler, bileşiklikten kaynaklanan kalıntı etkilerdir. Bu modele göre, kütleler oluşturmak için kendiliğinden simetri kırılmasına gerek yoktur. Yüksek enerjilerdeki zayıf etkileşimlerin yapısının, standart $SU(2) \times U(1)$ teorisi tarafından tahmin edilenden önemli ölçüde sapması beklenir.

Eichten ve ark. (1983), kuarklar ve leptonlar Λ enerji ölçeğinde bileşik yapıya sahip ise, kuark ve leptonları oluşturan bileşenlerin bir birlerine bağlanmasını sağlayan güçlü

kuvvetlerin, bileşiklik enerji ölçeğinin çok altındaki reaksiyon enerjilerinde önemli etkileri olan çeşni-diyagonal temas etkileşimlerini oluşturduğunu belirtmişlerdir. Bhabha saçılması üzerindeki etkilerinin dikkate alınmasının, elektron bileşikliği ölçeğinde yeni, daha güçlü bir bağ (bound) üreteceği ($\Lambda > 750 \text{ GeV}$) belirtilmiştir. Yapılan çalışmanın yayınlandığı tarih itibarıyla planlanmakta olan çarpıştırıcı deneylerinin hem elektronlar hem de hafif kuarklar için $\Lambda \sim 1 - 5 \text{ TeV}$ 'e duyarlı olacağı belirtilmiştir.

Terazawa (1983) tarafından bileşik parçacıkların ve alanların temel bir teorisi önerilmiştir. Bu teori, leptonların ve kuarkların güçlü ve elektrozayıf kuvvetlerinin ayar teorilerini yeniden üretir. Aynı zamanda düşük enerjilerde yerçekimi için genel göreliliği de etkin bir şekilde yeniden üretir ve bu teori şu bağıntıyı tahmin eder: $e^2 = 16\pi GM^2$, burada e ayar bağlaşım sabiti, G Newton kütle çekim sabiti ve M altkuark kütlesidir ($M \approx 10^{18} \text{ GeV}$).

Dugne ve ark. (2002), kuarklar, leptonlar ve ağır vektör bozonlarının, basit kurallara göre birleştirilmiş üç çeşnide bulunan kararlı spin-(1/2) preonlardan oluştuğunu ileri sürmüştür. Bu modele göre, bir $SU(3)$ preon-çeşni simetrisinin açık sonuçları şunlardır: Üç lepton sayısının korunması, bazı nötrinolar arasındaki salınımlar ve bozunumalar, d ve s kuarklarının yanı sıra W^0 ve B^0 vektör alanlarının karıştırılmasıdır. Bu çalışmada, Cabibbo ve Weinberg karışım açıları arasında bir ilişki öngörülüyor ve bazıları Fermilab Tevatron'da ve gelecekteki CERN BHC'de gözlemlenebilecek olan yeni (ağır) leptonların, kuarkların ve vektör bozonlarının varlığı tahmin ediyor. CERN LEP deneyinden alınan mevcut verilerde ağır bir nötrino bile görülebileceği belirtilmiştir.

Bilson-Thompson (2005), preonların bağlanmasının topolojik olarak temsil edildiği Shupe ve Harari'nin preon modeline dayanan basit bir model tanımlamıştır. Daha sonra bu model ile Standart Modelin bilinen fenomenolojisinin çoğu arasında doğrudan bir ilişki olduğu gösterilmiştir. Özellikle kuarkların, leptonların ve ayar bozonlarının altyapısı B_3 örgü grubunun elemanları ile tanımlanmaktadır. Daha da önemlisi, bu modelin preonik nesneleri Shupe/Harari modelinden daha az varsayılan özellik gerektirir. Yine de, sarmallık, hiper-yük (hyper-charge) ve benzeri gibi büyüklükler içerir. Basit topolojik süreçler, elektrozayıf etkileşimler ve korunma yasaları ile tanımlanır. Bu modelde preon rolü oynayan nesneler daha kapsamlı bir teoride topolojik yapılar olarak ortaya çıkabilir. Bu nesneler, temel alt bileşenlerden oluşan bileşik bir yapı olarak

görülebirlirler. Böylelikle, kuarklar ve leptonlar içinde tam olarak iki alt yapı seviyesini temsil ederler.

Yershov (2006), fermiyonların daha küçük varlıkların (kök yükler –preonlar) bağlı durumları olduğunu ileri sürmüştür. Preon, çift 3 boyutlu ikili bir manifold bir kayma ve birim kütlesi ve birim yükü dışında hiçbir özelliği olmayan topolojik bir nesne olarak kabul edilir. Bu manifoldun ikililiğinin, özellikleri bakımından temel fermiyonların üç ailesini andıran karmaşık yapıların hiyerarşisine yol açtığı gösterilmiştir. Sadece bir temel parçacık modeli oluşturmak için bir şema olmasına rağmen, bu açıklama kütleleri de dahil olmak üzere birçok gözlemlenebilir parçacık özelliğinin nicel bir açıklamasını vermektedir.

De Souza (2008) çalışmasında, parçacık veri grubundan elde edilen en son veriler göz önüne alındığında, hadronların leptonik, semileptonik ve leptonik olmayan zayıf bozunumlarının kuarkların bileşikliğini ortaya koyduğunu ve kuark bileşikliğinin görünen boş sonuçları için makul bir açıklama sağladığını belirtmiştir. Aslında primonların (prekuarkların) EMC, SMC, SLAC E143 ve HERMES gibi bazı önemli deneylerle zaten bulunduğu iddia edilmiştir.

Terazawa ve Yasue (2014) tarafından yapılan çalışmada, tüm temel parçacıkların ve kuvvetlerin birleşik alt kuark modelinde, standart elektrozayıf etkileşim modelinde (m_H) Higgs bozonunun kütlesinin yaklaşık $2\sqrt{6}m_W/3$ olduğu tahmin edilmiştir. Burada, m_W yüklü zayıf bozonun kütlesidir. Higgs kütlesinin, GHÇ'da ATLAS ve CMS deneylerinde bulunan 125 – 126 GeV deneysel değerleri ile uyum içerisinde olduğu belirtilmiştir. Higgs bozonunun, birleşik altkuark modeli tarafından iyi tanımlanan izo ikili (iso doublet) altkuark-anti-altkuark çiftlerinin bir bileşimi olduğu ileri sürülmüştür. Burada altkuark kütlelerinden birinin yok olduğu veya diğerine göre çok küçük olduğu ifade edilmiştir.

Fritzsch (2016) tarafından yapılan çalışmada, zayıf bozonların bileşik bir modelinde p-dalga bozonları incelenmiştir. Kütlesi en düşük olan durum, GHÇ'da keşfedilen bozon ile tanımlanır. Uyarılmış bozonların belirli özellikleri, özellikle zayıf bozonlara ve fotonlara bozunumları tartışılmıştır. Son zamanlarda, kütlesi yaklaşık 0.75 TeV olan nötr bir ağır bozonun bozunumundan gelebilecek iki fotonlu bir sinyal gözlemlendiği belirtilmiştir. Bu parçacığın, uyarılmış bir zayıf tensör bozonu olabileceği ifade edilmiştir.

Terazawa ve Yasue (2016) tarafından yapılan çalışmada, bileşik modelde, uyarılmış zayıf ayar bozonlarının (W^* ve Z^*) ve Higgs bozonlarının (H^*) yanı sıra uyarılmış kuarkların ve leptonların kütlelerinin hepsinin 1 TeV bileşik kütle ölçekleri düzeyinde olduğunun tahmin edildiği belirtilmiştir. Kütleler için şu ilişkinin geçerli olduğu ifade edilmiştir: $m_W m_{W^*} = m_Z m_{Z^*} \cos \theta_\omega$ (θ_ω , zayıf karışım (mixing) açısı). ATLAS İşbirliği tarafından yaklaşık 2 TeV'de yakın zamanda bulunan di-bozon rezonans olaylarının fazlalığının, zayıf ve Higgs bozonlarından birinin ilk uyarılmış durumlarının ve glueballs üretimleri ve bozunumları ile açıklanabileceği belirtilmiştir.

Kaya ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada, iki fermiyonik preon ve bir skaler preon içeren minimal bir fermiyon-skaler preonik model önerilmiştir. Bu şemanın, olağandışı elektrik yüklü leptonlar ve kuarklar gibi istenmeyen SM seviyesindeki parçacıkların oluşmasının önlenmesine olanak tanıdığı belirtilmiştir. Bileşiklik ölçeğinden çok daha düşük kütlelere sahip olması beklenen renkli sekizli leptonlar ve renkli altılı kuarklar tahmin edilmektedir. FCC/SppC pp seçeneğinin, nominal ışınılıkta 1 yıllık çalışma içinde 48/75 TeV'e kadar m_{q_6} ve 15/27 TeV'e kadar m_{l_8} 'i araştırma fırsatı vereceği belirtilmiştir. FCC/SppC tabanlı ep ve μp çarpıştırıcılarının kapsanan kütle bölgesini m_{e_8} 'i 23/27 TeV'e ve m_{μ_8} 'i 68/80 TeV'e kadar genişleteceği belirtilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

CalcHEP (Pukhov ve ark., 2012) temel parçacık çarpışmalarının otomatik olarak hesaplanması ve pertürbasyon teorisinin en düşük mertebesinde bozunumları için hazırlanmış bir pakettir. CalcHEP'in ana fikri, kullanıcının Lagranjiyen'den son dağılımlara yüksek düzeyde bir otomasyonla etkin bir şekilde geçebileceği etkileşimli bir ortam sağlamaktır. Benzer sorunları çözmek için oluşturulan diğer bazı paketler şunlardır: CompHEP (Pukhov ve ark., 1999; Boos, 2004), FeynArts / FormCalc (Kublbeck ve ark., 1990; Hahn, 2000; 2001), MADGRAPH (Maltoni ve Stelzer, 2003; Alwall ve ark., 2011).

CalcHEP'in etkileşimli oturumu grafiksel ve menülerle yönlendirilir ve kullanıcıya hesaplama boyunca hesaplamayı bir dizi adımlara ayırarak rehberlik eder. CalcHEP, her adımda kullanıcıya, hesaplamalarının ayrıntılarını sezgisel bir şekilde kontrol etmesini sağlayan mevcut seçenekleri sunar. Ayrıca, her menüde, mevcut seçeneklerin ayrıntılarını açıklayan bağlamsal yardım mevcuttur. CalcHEP'in komut-liste oturumu, ortak görevleri etkileşimli olmayan bir şekilde gerçekleştiren bir kaç komut dosyası tarafından kontrol edilir. İstenilen hesaplamayı başlattıktan sonra, kullanıcı arka planda komut dosyalarından birini çalıştırabilir. Birçok durumda paralelizasyon desteklenir. CalcHEP'de birçok parçacık etkileşimi modeli uygulanmıştır. Parçacık etkileşimlerinin yeni bir modeli, parçacıkların özellikleri, parametreleri dâhil olmak üzere modelin tüm ayrıntılarını içeren bir dizi metin modeli dosyası yazılarak CalcHEP'e uygulanabilir.

Bunu elle yapmak mümkün olsa da (özellikle basit modeller için), yeni modeller, Feynman kurallarının hesaplanması ve CalcHEP model dosyalarının yazılması sürecini otomatikleştiren LanHEP (Semenov, 2009) veya FeynRules (Christensen ve Duhr, 2009) gibi özel bir uygulama paketi kullanılarak uygulanır. Bu, çok sayıda yeni parçacık ve karışık Lagranjiyen'li modeller için özellikle önemli olabilir. LanHEP, kompakt bir biçimde yazılmış Lagranjiyeni okur. Lagranjiyen terimleri, kırılmış simetri endeksleri üzerinden toplanabilir. Kovaryant türevi ve ayar alanları için kuvvet tensörü gibi karmaşık ifadeler için özel semboller kullanılarak Lagranjiyen yazılabilir. Programın çıktısı, CompHEP model dosyaları biçiminde fiziksel alanlar ve bağımsız parametreler ile oluşturulmuş Feynman kurallarıdır. Bu çıktılar, yeni fiziksel modelde süreçlerin

hesaplamalarının başlatılmasını sağlar. LanHEP yeni modellerin tanıtılmasını kolaylaştırır. Program basit formatta Lagranjiyenin tanıtılmasından başlayarak yayıcılar (propagators) ve köşeler (vertices) için Feynman kurallarının üretilmesini sağlar. Süpersimetrik teoriler, süperpotansiyel formalizm ve 2-bileşenli fermiyon notasyonu ile tanımlanabilir. Bu program, C programlama dilinde yazılmıştır. Programın çıktı üretebilmesi için tüm Lagranjiyen terimlerinin bir metin dosyasında yazılmasına ihtiyaç duyar.

CalcHEP paketi sembolik, sayısal ve toplu hesaplamaları gerçekleştiren üç bölümden oluşur. İlk iki bölüm C programlama dilinde yazılmıştır. Sembolik kısım, daha sonra sayısal hesaplamalarda kullanılan kare matris elemanları için C kodları üretir. Son kısım Perl'de yazılmıştır. İlk iki parçanın rutinlerini çağırır ve modern çarpıştırıcı fiziğine özgü çok kanallı süreçler için tesir kesitleri ve olayları elde etmek için sonuçları toplar.

CalcHEP'in sembolik ve sayısal oturumları, kullanıcının etkileşimli olarak şunları yapmasını sağlar:

(1) Parçacık etkileşimlerinin yeni bir modelini yüklemek ve parçacık etkileşimlerinin bir modelini değiştirmek. Sözdizimi hataları için bir modeli kontrol etmek. SLHA dosyasından parametre bilgilerini okumak. Bağımlı parametreleri hesaplamak.

(2) Bozulma genişliklerini ve dallanma oranlarını hesaplamak. Feynman ve üniter ayar arasında seçim yapmak. Gelen ve giden parçacıkları belirterek bir çarpışma veya bozunma süreci seçmek. Diyagramlar için parçacık dışlamalarını belirtmek.

(3) Feynman diyagramları oluşturmak. Feynman diyagramlarını görüntülemek. Diyagramlar için LATEX çıktısı oluşturmak. Belirli diyagramları hesaplamadan çıkarmak. Kare Feynman diyagramlarını oluşturmak ve görüntülemek. Belirli kare diyagramları hesaplamadan çıkarmak.

(4) Yerleşik sembolik hesap makinesini kullanarak kare diyagramlar için analitik ifadeleri hesaplamak. Kare matris elemanları için optimize edilmiş C kodları oluşturmak.

(5) Yapı fonksiyonları ve ışın spektrumları ile kare matris elemanlarının dürülmesi. Sürece dâhil olan fiziksel parametreleri (toplam enerji, bağlantı sabitleri, kütleler vb.) değiştirmek.

(6) Gelen kütleli parçacıkların polarizasyonunu ayarlamak. KRD bağlaşım (coupling) sabitinin değeriendirilmesi ve parton dağılım fonksiyonları için KRD ölçeğini ayarlamak.

(7) Bir kare matris elemanın veya yapı fonksiyonlarının keskin tepe noktalarını yumuşatmak için bir faz uzayı eşlemesi tanıtmak. Vegas'ı kullanarak bir Monte Carlo faz uzay uyumu gerçekleştirmek. Ağırlıklı olmayan olaylar oluşturmak. Çeşitli kinematik değişkenler için dağılımları görüntüleme.

(8) Histogramlar için grafik ve LATEX çıktıları oluşturmak. Histogram verilerini daha fazla analiz için gnuplot, PAW veya Mathematica ile çizim için dosyaya kaydetmek.

(9) İnteraktif modda mevcut olan sembolik ve sayısal hesaplamaları gerçekleştirmek. Bir dizi html sayfası aracılığıyla hesaplamaların ilerlemesinin sonuçlarını görüntülemek ve hesaplamaları çok çekirdekli bir makinede veya bir bilgisayar kümesinde paralel olarak gerçekleştirmek.

(10) Sembolik ve sayısal oturumların özelliklerinin çoğu komut-liste oturumunda desteklenir. Toplu hesaplama için talimatlar bir metin dosyasına yazılır. Toplu iş arabirimi talimatları okur ve bunları etkileşimli olmayan bir şekilde arka planda gerçekleştirir. Toplu oturum, kullanıcının şunları yapmasını sağlar: Çoklu üretim ve bozulma olaylarından gelen olayları birleştirmek. Daha sonraki işlemler için son olayları bir LHE dosyasına yazmak. Çoklu fiziksel parametreler üzerinden taramalar gerçekleştirmek.

3.2. Yöntem

Parçacık fiziğinde istatistiksel önem hesabına göre bazı fizik olayları belirli limitler içerisinde dışarılanabilir, gözlemlenebilir veya keşfedilebilir. Bu çalışmada istatistiksel önem hesabı aşağıda Denklem 3.1 ile verilen formül ile yapılmıştır.

$$\sigma_s = \frac{(\sigma_{(SM+TE)} - \sigma_{SM})}{\sqrt{\sigma_{SM}}} \times \sqrt{\mathcal{L}} \quad (3.1)$$

Burada, σ_s istatistiksel önemi ifade etmektedir. Diğer taraftan $\sigma_{(SM+TE)}$ sinyal tesir kesitini, σ_{SM} ise tek başına arka planı tesir kesitini temsil etmektedir. Böylelikle, sinyal

tesir kesitinin hem SM'i hem de temas etkileşim modelini içerdiği anlaşılmaktadır. $\mathcal{L}$ ise bütünleşik ışınlık değerini belirtmektedir. Bu istatistiksel hesaba göre 2σ değerine kadar yeni bir fizik veya parçacık adına bir işaret olmadığı kabul edilmekte yani bu değere kadar yeni bir fizik dışarılanmıştır anlamına gelmektedir. Dahası, 3σ değerine ulaşıldığında yeni bir gözlem yapılabileceği diğer taraftan 5σ değerine ulaşıldığında ise yeni bir keşfin mümkün olabileceği anlaşılmaktadır. İstatistiksel önem hesabına geçilmeden önce ilgilenilen sürece ait parçacık son durumları için kinematik değişkenlerin dağılımları incelenmiştir.

3.2.1. Kesilimlerin Belirlenmesi

İstatistiksel önem hesabına geçilmeden önce elektronların ve jetlerin enine momentum (p_t) ve psedorapidite (η) dağılımları incelenmiştir. Detektör kabul edilebilirliği düşünülerek hem elektron hem de jetler için 25 GeV'den büyük olmak üzere enine momentum kesilimi uygulanmıştır. Atlas detektörü ile yapılan çalışmalarda 20 GeV'in üzerinde p_t değerine sahip jetler için tespit verimliliği hemen hemen 100% olarak belirtilmiştir (Aaboud ve ark., 2017). Gerçek deney koşulları gözönüne alınarak elektronlar için psedorapidite kesilimi olarak $|\eta| < 2.5$ uygulanmıştır (Aad ve ark., 2019). Jetler için η ve hem elektronlar hem de jetler için p_t kesilimlerini belirlemek amacıyla farklı bileşiklik ölçeklerinde temas etkileşim modelleri ve SM için parçacıkların son durum dağılımları elde edilmiştir. Tüm bu dağılımlar tek bir grafikte gösterilmiş ve dağılım farklılıkları incelenmiştir. Amaç, sinyalin arka plandan ayrıldığı en uygun değerlerde p_t ve η kesilimlerini belirlemektir. Başka bir deyişle, sinyal verimliliğini ve arka plan reddini arttırmak amacıyla son durum dağılımlarına uygun sınırlandırmalar getirmek gereklidir. Hesaplamalardaki temel etkileşim sürecimiz şöyledir:

$$e + p^* \rightarrow e + j \quad (3.2)$$

Burada, j ve p^* ifadesi jet ve protonun kısaltmasıdır ve şunları içermektedir: ($j: u, \bar{u}, d, \bar{d}, c, \bar{c}, s, \bar{s}, b, \bar{b}, g$). Uygulamada temas etkileşmesine ait etkin Lagranjiyen CalcHEP programına LanHEP aracılığı ile yüklenmiştir. Bu süreçte, $PWFA - LC \otimes FCC$ seçeneği ile elektronun enerjisi olarak 5 TeV kullanılmıştır ve protonun enerjisi olarak 50 TeV alınmıştır (Delahaye ve ark., 2014; Acar ve ark., 2016).

Böylelikle, KME olarak 31.6 TeV seçeneği kullanılmış olmaktadır. Işınlık değeri yıl başına 1 fb^{-1} olmak üzere 1'den 10 yıla kadar alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Calchep programında çoklu-parçacık faz uzayı integrasyonu Vegas Monte Carlo rutini (Lepage, 1978; Press ve ark., 1999) ile yapılır. Calchep programında son durum parçacıklarının kinematik dağılımları çıkarılırken oturum (session) sayısı 1000 çağrı (calls) sayısı ise 100000 olarak girilmiştir. Bu sayılar ve doldurulacak histogramlar Monte-Carlo simülasyon menüsünden girilmektedir. Böylelikle, programda integrasyon süreci kontrol edilmektedir. Her bir oturum sürecinde integrand, çağrı sayısı kadar hesaplanır. Integral hesaplama işlemi bittiğinde toplam integralin son tahmini, belirsizliği ve χ^2 hesabı yapılır. Son integral ve dağılımları hesaplamadan önce bu değerlerin tatmin edici olup olmadığı kontrol edilebilir ve daha sonra istatistik temizlenerek son hesaplamalar yapılabilir.

Hesaplama sürecinde, her biri alt süreç için elde edilen veriler üst üste toplanarak son durum dağılımları (elektron ve jetler için enine momentum ve psedorapidite dağılımları) elde edilmiştir. Elektron ve jetler için enine momentum dağılımları 25 ile 18025 GeV aralığında psedorapidite dağılımları ise -9, +9 aralığında elde edilmiştir. Hesaplamalar için unitary gauge seçimi yapılmıştır. Bahsedilen etkileşim için temas etkileşim modelinde 10 alt-sürece ait toplam 180 Feynman diyagramı elde edilmiştir ve bu alt-süreçler için 1710 kare diyagramlar üretilmiştir. Farklı bileşiklik ölçekleri (20, 30, 50, 100, ve 150 TeV) için süreçler yapıcı ve yıkıcı girişimler için ayrı olarak çalıştırılmıştır. Parçacık etkileşmelerinde farklı helisitiler (LL, LR, RL ve RR) ele alınmıştır. Burada, L ve R, sırasıyla sol ve sağ elli helisiteyi temsil etmektedir. Burada, örneğin LR, 1. Parçacığın sol helisitide ve 2. parçacığın sağ helisitide olduğunu ifade eder. Böylelikle, 8 farklı etkileşim için farklı bileşiklik değerlerinde hesaplamalar yapılmıştır. Calchep programında helisiti değerleri her bir çift için ayrı olarak girilebilmektedir. Hesaplama sürecinde, herhangi bir model için +1 veya -1 değeri η_{ij} ($i, j = L, R$) için sırasıyla yapıcı veya yıkıcı girişim olarak programa girilmiş olup diğer seçenekler için bu değer 0 olarak alınmıştır. Çalışan modeller Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Temas etkileşim modelleri η_{ij} ve parametreleri

Model	η_{LL}	η_{RR}	η_{LR}	η_{RL}
LL	± 1	0	0	0
RR	0	± 1	0	0
LR	0	0	± 1	0
RL	0	0	0	± 1

Standart model hesabı için temas etkileşim modeli içerisinde temas etkileşimlere ait Feynman diyagramları silinerek CalcHEP programı çalıştırılmıştır. Böylelikle, 10 alt süreç için üretilen 180 diyagramdan 160'ı silinmiş oldu ve toplam 30 kare diyagram üretildi.

Feynman diyagramlarında, gelen parçacıklar sol tarafta çıkan parçacıklar ise sağ tarafta gösterilir. CalcHEP programında skaler parçacıklar (spin 0) noktalı çizgiler ile diğer bozonik parçacıklar (spin 1 veya 2) kesikli çizgiler ile ve fermiyonik parçacıklar (spin 1/2 veya spin 3/2) düz çizgiler ile gösterilir. Yüklü parçacıklar oklar ile belirtilir ve okun yönü parçacık ilerlemesinin yönünü gösterir. Sanal olmayan parçacıkların isimleri çizgilerin sonuna yazılırken sanal parçacıkların isimleri çizgilerin ortasına yazılır. Özdeş çıkan parçacıklar içeren süreçlerde momentum halehazırda atanmadığı için sadece bir diyagram üretilir. Kare diyagramlar, A ve B Feynman diyagramlarını göstermek üzere AB^* 'nin grafiksel gösterimidir. CalcHEP, kare diyagramlarını üretir ve kare matris elementine katkısını $2\text{Re}(AB^*)$ şeklinde hesaplar. Burada, 2 sayısı BA^* 'ın katkısını da eklemek için hesaplamada yer alır. Feynman diyagramlarında olduğu gibi özdeş çıkan parçacıklar durumunda yalnızca bir kare diyagram üretilir ve bu daha küçük ve etkili bir yazılımın oluşması sağlanır. Her bir kare diyagram, fiziksel parçacıkların eşlenik hayalet parçacıklar (Goldstone bozonları ve yardımcı alanlar) ile yer değiştirdiği bir dizi diyagramı temsil etmektedir. Ayar teorileri, Faddeev-Popov hayaletleri (ghosts) ve Goldstone bozonları içermektedir (Bjorken ve Drell, 1964). Karmaşık renk yapıları ise özel tensör yardımcı alanlara ihtiyaç duymaktadır. Tüm bu alanlar CalcHEP tarafından otomatik olarak üretilmektedir. Bu hayalet parçacıklar ve karşıt parçacıkları gluon, W^+ ve W^- gibi her bir ayar vektör bozonları için üretilirler. Bu parçacıkların kullanılması, ayar bozonlarının fiziksel ve fiziksel olmayan kutuplanmaları üzerinden toplama yapılmasını sağlar ve bu hesaplamalarda hassasiyet kaybını azaltır. Bu hayalet parçacıkların varlığı aslında fiziksel olmayan kutuplanmaların ortadan kaldırılması için

gereklidir (Bjorken ve Drell, 1964). Goldstone parçacıkları, ayar bozonlarının kendiliğinden kırılma durumlarında Faddeev-Popov hayaletleri tarafından iptal edilen ayar bozonun uzunlamasına serbestlik derecesini yeniden eski haline getirir.

3.2.2. Parton Dağılım Fonksiyonu

Parton dağılım fonksiyonu (PDF), protonlar içinde bulunan partonların (kuarklar ve gluonlar) proton momentum oranına bağlı olarak bulunma olasılığını verir. Bu fonksiyon, partonların kısa mesafeli saçılma deneylerinin sonuçları ile belirlenir ve örgü KKD kullanılarak hesaplanabilir. Deneyleri fit etmek için proton içerisindeki her bir çeşit parton için bir dağılım fonksiyonu üretilir. Küresel fitin amacı geniş bir süreç aralığında teori ve deneyi uyumlu hale getirmek üzere parton dağılım fonksiyonlarını ayarlamaktır. PDFler operatör tanımlarından ileri gelen belirli çeşni ve momentum toplama kurallarına uyarlar (Soper, 1997). Dolayısıyla, parametrizasyonun bu kurallara uyum içinde olması gerekir. Başlangıç ölçeğinde deneme parametreleri ile işe başlanır ve diğer ölçeklere genişletilir. Daha sonra, her bir çeşit deney için teori eğrileri elde edilir ve bunlar gerçek veriler ile karşılaştırılır. Bu işlemler, iyi bir fit elde edilene kadar parametreler ayarlanarak devam ettirilir (Soper, 1997).

Programda protonlara ait kuark dağılım fonksiyonu olarak CT10 (Lai ve ark., 2010) seçilmiştir. Parton dağılım fonksiyonları, yüksek enerji fiziğinde teorik tahminlerde bulunmak ve yeni fiziklerin keşfinde çok önemli bir yere sahiptir. PDF'lerin ve belirsizliklerinin global (küresel) analiz ile doğru bir şekilde belirlenmesi gereklidir. CT10 PDF 26 serbest parametre içermektedir ve dolayısıyla 26 özvektör yönü vardır. CT10 analizi ana saçılma süreçlerinde derin inelastik saçılma (DİS), vektör bozon üretimi (VBÜ) ve tekli dâhili jet üretimi) yeni deneysel verileri içerir. Fonksiyon temel olarak HERA'dan (Aaron ve ark., 2010) gelen DİS verileri içerir. Fonksiyon ayrıca, Tevatron'da Z^0 üretimine ait rapidite dağılımlarını içermekle beraber küresel (global) fit sürecine birçok iyileştirme gerçekleştirir. Fonksiyonunun en önemli teorik gelişmelerinden biri χ^2 'i minimize eden normalizasyon seçiminin (Stump ve ark., 2001; Pumplin ve ark., 2002)'deki yaklaşımlar takip edilerek cebirsel olarak belirlenmesidir. Bu yöntem, sayısal minimizasyon sürecinde her bir normalizasyon faktörüne bir parametre atama

gerekliliğini ortadan kaldırır ve böylece fit sürecini basitleştirilmiş olur. Ayrıca, bu yöntem ile PDF belirsizliklerinin tahmini geliştirilmiş olur.

Diğer tüm sistematik hata parametrelerinin ele alındığı gibi her bir veri setinde genel normalizasyon faktörü ile ilişkilendirilmiş sistematik belirsizliklere de aynı şekilde davranılır. Logaritmik olasılık yaklaşık olarak normalizasyon parametrelerinin kuadratik fonksiyonu olduğu için bunların en iyi fit değerleri diğer fit parametrelerinin herhangi bir değeri için cebirsel olarak hesap edilebilir. Bu yaklaşım fit sürecini oldukça basitleştirir. Bunun temel sebebi, deneysel normalizasyonun açık sayısal minimizasyonu artık gerekmemektedir. Bu yöntem, en aşırı uçta kabul edilebilir fitlerin bulunması sürecinde tahmin edilen normalizasyonların değişiklik göstermesine izin vererek belirsizliklerin tahminini geliştirir.

CTEQ6.6 ile karşılaştırıldığında CT10'un Tevatron Run II'de top kuark çifti üretimi için toplam tesir kesitinde daha küçük PDF kaynaklı belirsizlik tahmin ettiği belirtilmiştir (Lai ve ark., 2010). Fonksiyonun, küresel hadronik deneylerden gelen PDF'ler hakkında en güncel bilgilere dayandığı söylenebilir.

3.2.3. İstatistiksel Önem Hesabı

Programda, uygulanan kesilimlere bağlı olarak ve farklı bileşiklik değerleri (Λ) için elde edilen sinyal ve arkaplan tesir kesiti değerleri Denklem 1'de yerine konarak istatistiksel önem değerleri belirlenmiştir. Son durum parçacıklara ait p_t için kesilimler sinyalin arkaplandan ayrıldığı ilk değerden başlanarak ve daha sonra bu değerler arttırılarak oluşturulmuştur. Bu sayede farklı enine momentum kesilimleri için Λ taraması gerçekleştirilmiştir. Psedorapidite için ise sinyal ve arkaplan dağılımlarına bakılarak sinyalin arkaplandan ayrıldığı minimum değer belirlenmiştir. Maksimum değer olarak ise dağılımlarda dalgalanmanın başladığı ve tesir kesiti ile ışınlık değerleri beraber düşünüldüğünde elde edilebilecek olay sayısının azlığı göz önüne alınarak sınır belirlenmiştir.

Belirlenen kesilim değerleri ile birlikte geniş bir aralıkta Λ taraması yapılmıştır. Programda tesir kesiti değerleri pb (pikobarn) biriminde verilmektedir. Dolayısıyla, fb^{-1} biriminde verilen ışınlık değerleri pb^{-1} 'e çevrilmiştir. ($1 fb^{-1} = 1000 pb^{-1}$). Önem değerleri ve Λ değerleri iki sütun halinde her bir ışınlık değeri için dosyalara yazdırılmıştır. Daha sonra her bir ışınlık değeri için fit işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu fit

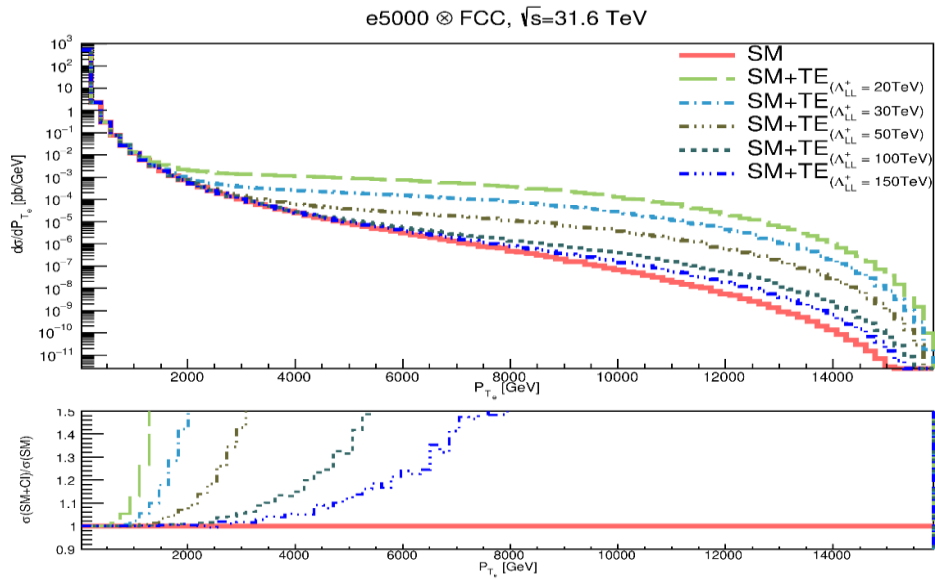
işlemi, önemlilik değerine karşılık gelen Λ dağılımı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu fit fonksiyonu kullanılarak 2, 3 ve 5 önemlilik değerlerine karşı gelen Λ değerleri belirlenmiştir. Bu işlemde kullanılan fit fonksiyonu Denklem 3.3 ile verilmektedir.

$$f(x = \text{önem})_{fit} = p_0 + p_1 x^{-0.6} + p_2 x^{-0.01} \quad (3.3)$$

Burada, p_0, p_1, p_2 fit parametreleridir. Her bir ışınlık için 2,3 ve 5 önem değerlerine karşı gelen Λ değerleri böylelikle belirlenmiş oldu. Dolayısıyla, 10 ışınlık değeri için toplam 30 Λ değeri ortaya çıkmıştır. Son olarak, farklı önemlilik değerleri (2, 3 ve 5) için Λ 'ya karşılık ışınlık dağılımları tek bir şekilde gösterilmiştir. Böylelikle, dışarlama, gözlem ve keşif potansiyeli için Λ sınır değerleri ışınlığa ve kinematik değişkenlere uygulanan kesilimlere bağlı olarak belirlenmiş oldu. Son olarak, kesilim değerlerine karşı gelen sınır değerleri en uygun seçeneği belirlemek için karşılaştırılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

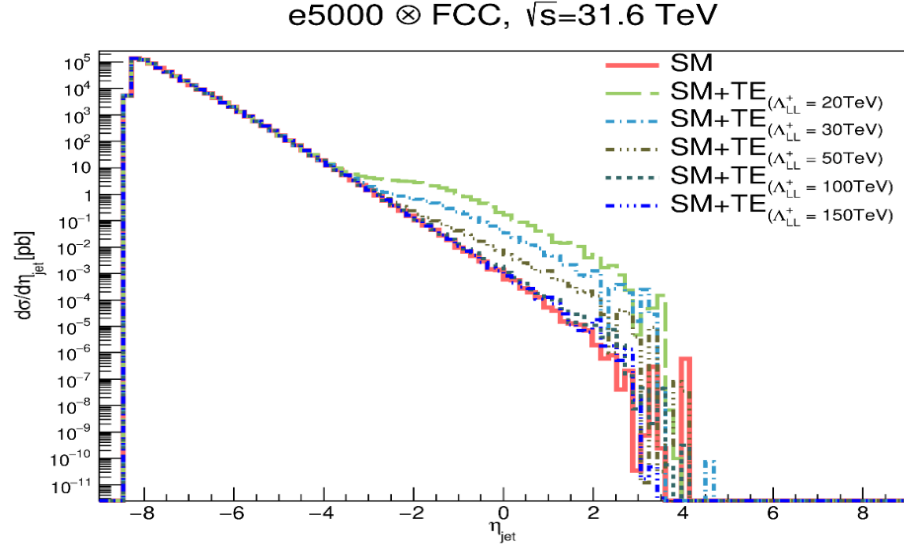
Kesilimlerin belirlenmesi 8 farklı etkileşim senaryosu için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Farklı bileşiklik değerlerine bağlı olarak temas etkileşimleri ve sadece SM için son durum parçacık dağılımları farklı etkileşim senaryolarına dayalı olarak Şekil 4.1-4.17’de gösterilmiştir. Bu dağılımlar, CalcHEP ile elde edilen tesir kesitine ait dosyaların ROOT grafik programında (Brun ve Rademakers, 1997) analiz edilmesi ile elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Elektron son durumları ve Λ_{LL}^+ için enine momentum dağılımları

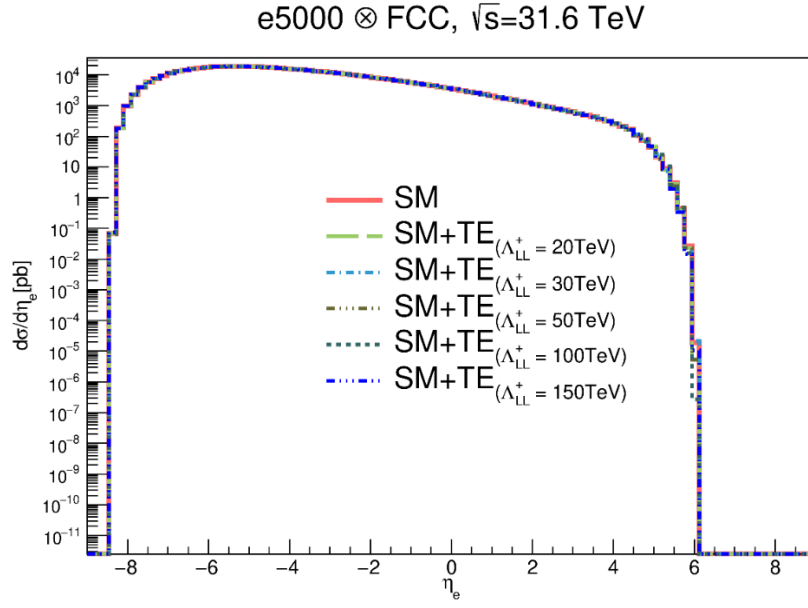
Üst panelde diferansiyel tesir kesitleri gösterilirken alt panelde ise tesir kesitleri SM’ye orantılı olarak gösterilmiştir. Alt panelde 1 değerine karşı gelen kalın kırmızı çizgi SM’yi temsil etmektedir. Şekil 4.1’e bakıldığında üst panelde enine momentuma bağlı olarak diferansiyel tesir kesiti gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde bileşiklik ölçeğinin artmasıyla SM’den sapmanın azaldığı görülmektedir. SM’den sapma en çok 20 TeV’de olmaktadır. Bileşiklik ölçeği 150 TeV’de ise SM’e en yakın durum ortaya çıkmaktadır. Bunun sebebi Lagranjiyenin bileşiklik ölçeğinin tersi ile orantılı olduğu içindir. Yani temas etkileşmesi bileşiklik ölçeğinin tersi ile bastırılmaktadır. Alt panelde ise her bir tesir kesiti SM’e orantılı olarak gösterilmiştir. Yani sinyal tesir kesitleri SM tesir kesitlerine bölünmüştür. Dolayısıyla SM 1 sayısı ile gösterilmektedir. Alt panele bakıldığında SM’den ilk sapmanın yaklaşık 600 GeV civarında başladığı söylenebilir.

Amaç, sinyal ve arka planı ayırmak için enine momentum üzerinde kesilimler uygulamaktır. Yani etkileşme sonucu ortaya çıkan parçacıkların enine momentumunu belli değerin üzerinde seçerek istatistiksel önem hesabı yapmaktır. Yani sinyalin arka plandan ne kadar ayrıldığını belirlemektir.



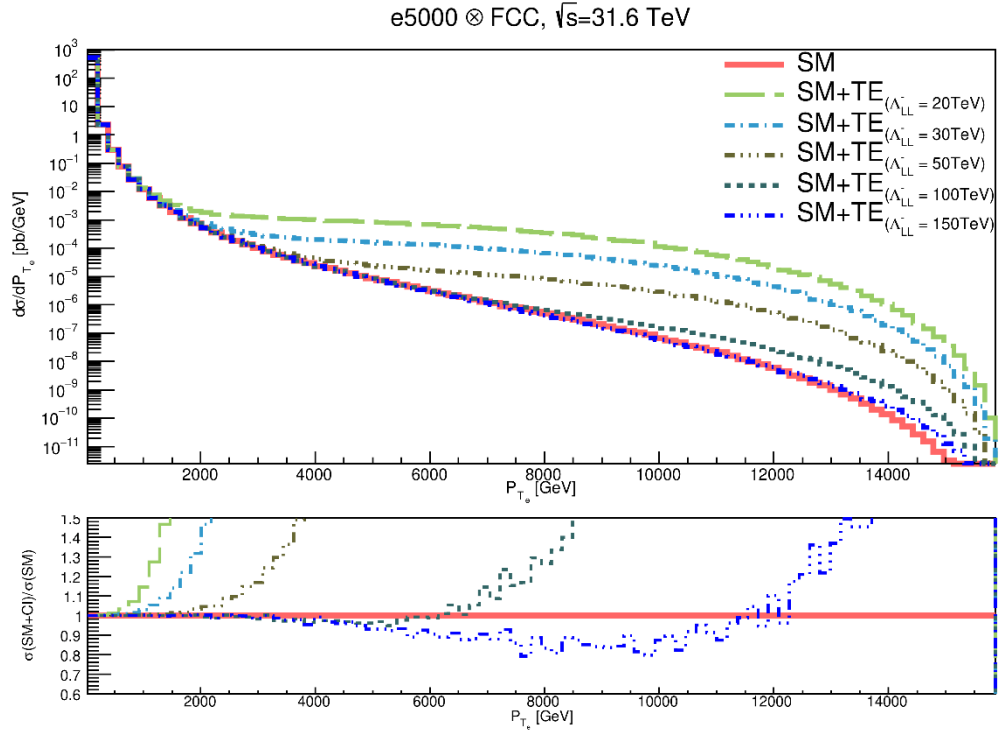
Şekil 4.2. Jet son durumları ve Λ_{LL}^+ için psedorapidite dağılımları

Şekil 4.2'ye bakıldığında SM'den en yüksek sapmanın 20 TeV'de, en düşük sapmanın ise 150 TeV'de olduğu görülmektedir. Grafiğe genel olarak bakıldığında SM'den sapmanın yaklaşık -4 psedorapidite değerinde başladığı görülmektedir. Psedorapidite değeri 1'e ulaştığında tesir kesitinin oldukça düştüğü ve dalgalanmaların başladığı söylenebilir. Dolayısıyla bu değerler arasında kesilimler uygulanmış ve istatistiksel önem hesabı yapılmıştır.



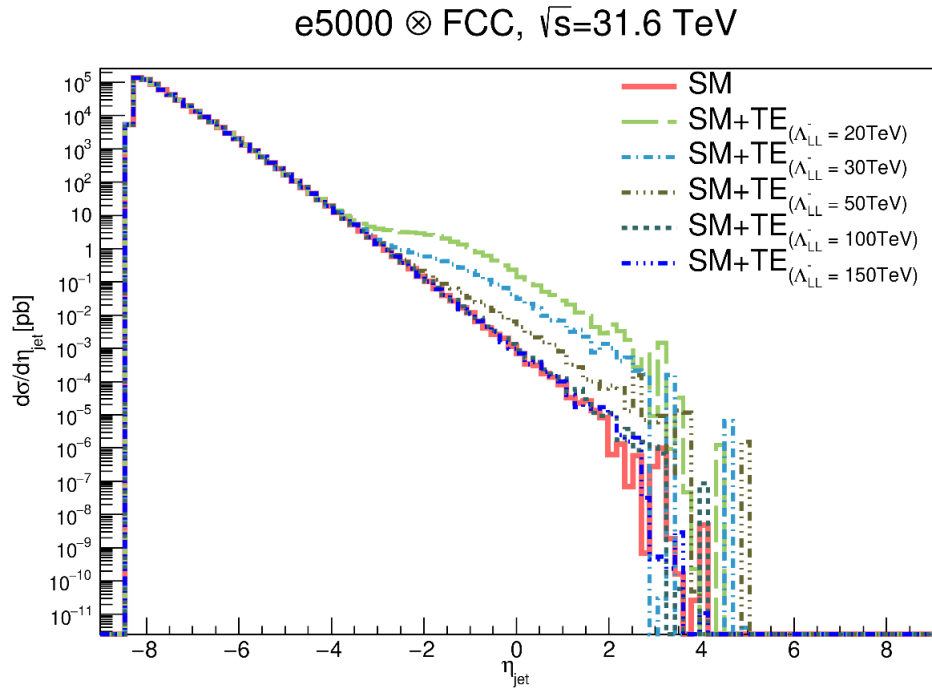
Şekil 4.3. Elektron son durumları ve Λ_{LL}^+ için psedorapidite dağılımları

Şekil 4.3'e bakıldığında elektron psedorapidite değerlerine bakıldığında temas etkileşmesi ile SM'den bir sapma olmadığı görülmektedir. CMS ve ATLAS deneyleri göz önüne alındığında ve detektör geometrisi hesaba katıldığında $|\eta| < 2.5$ psedorapidite aralığında kesilim uygulanması uygun olmaktadır. Bu aralıkta elektronları tespiti doğru bir şekilde yapılacaktır.

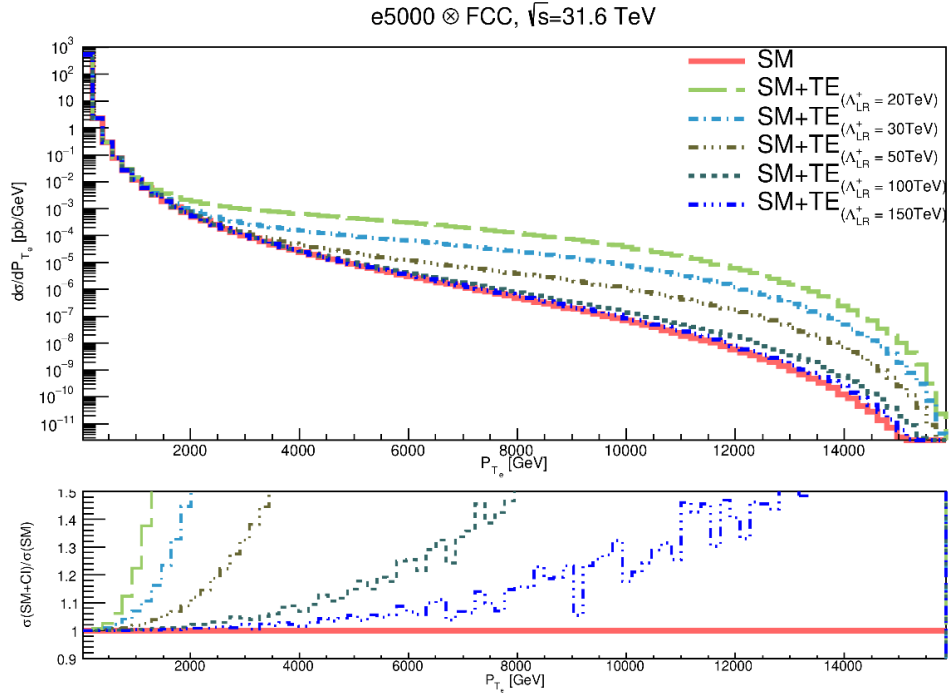


Şekil 4.4. Elektron son durumları ve Λ_{LL} için enine momentum dağılımları

Üst panelde diferansiyel tesir kesitleri gösterilirken alt panelde ise tesir kesitleri SM'ye orantılı olarak gösterilmiştir. Alt panelde 1 değerine karşı gelen kalın kırmızı çizgi SM'yi temsil etmektedir.

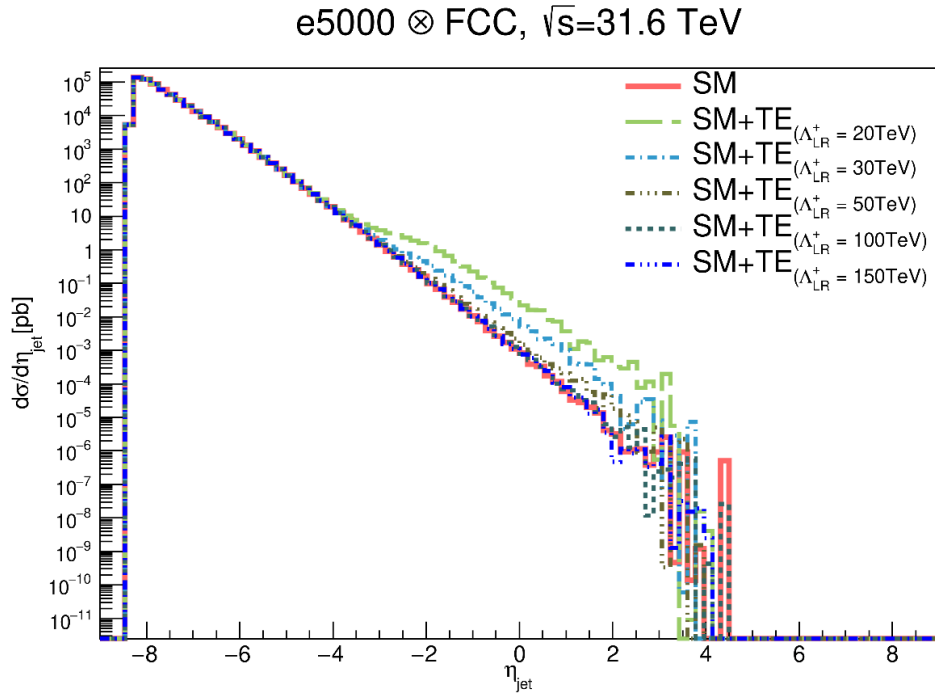


Şekil 4.5. Jet son durumları ve Λ_{LL} için psedorapidite dağılımları

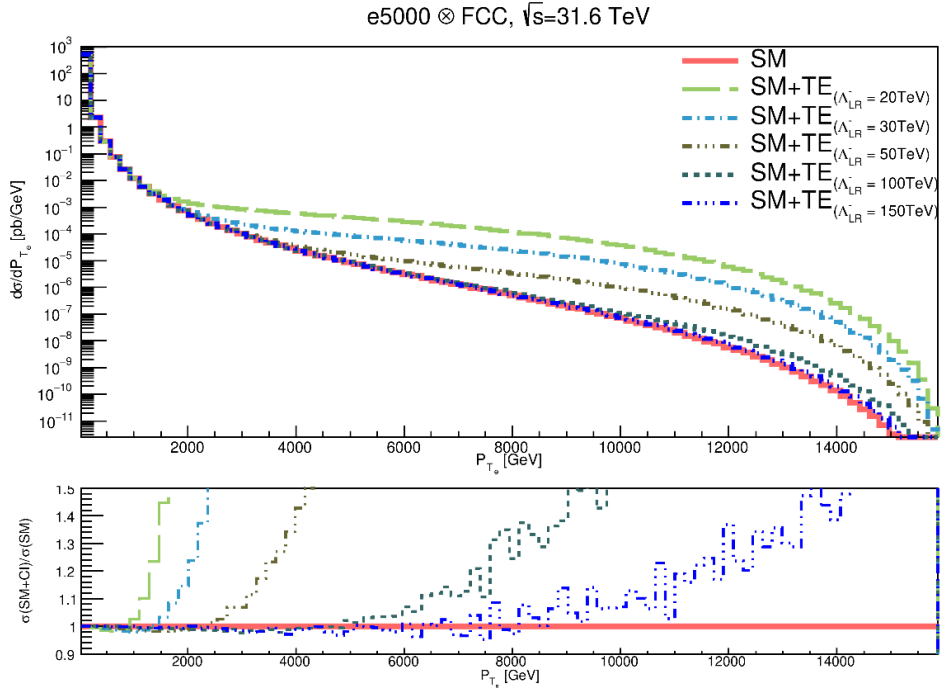


Şekil 4.6. Elektron son durumları ve Λ_{LR}^+ için enine momentum dağılımlar

Üst panelde diferansiyel tesir kesitleri gösterilirken alt panelde ise tesir kesitleri SM'ye orantılı olarak gösterilmiştir. Alt panelde 1 değerine karşı gelen kalın kırmızı çizgi SM'yi temsil etmektedir.

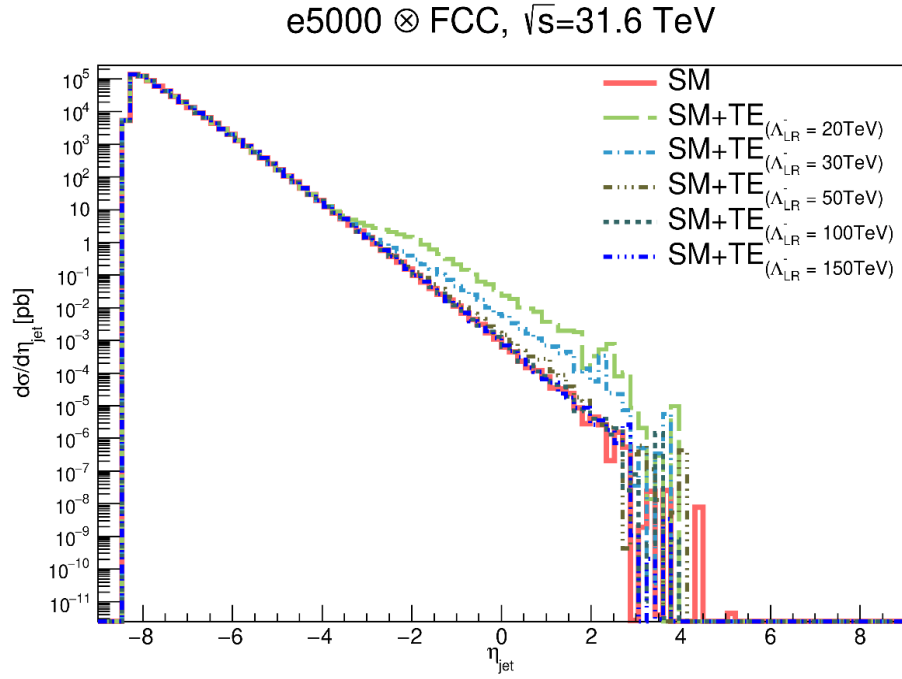


Şekil 4.7. Jet son durumları ve Λ_{LR}^+ için psedorapidite dağılımları

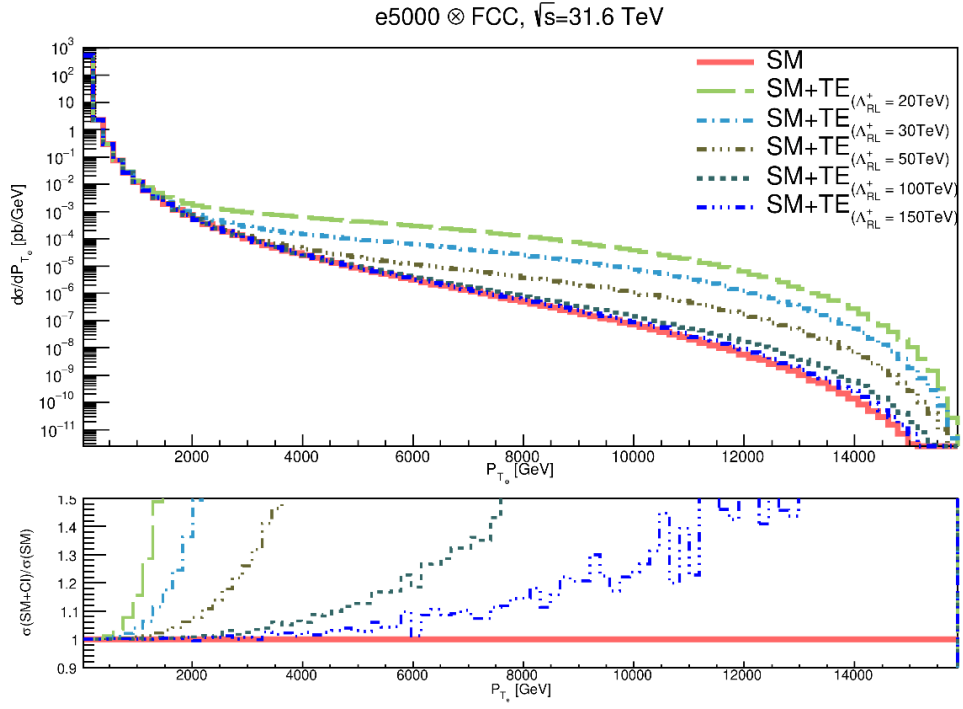


Şekil 4.8. Elektron son durumları ve Λ_{LR}^- için enine momentum dağılımlar

Üst panelde diferansiyel tesir kesitleri gösterilirken alt panelde ise tesir kesitleri SM'ye orantılı olarak gösterilmiştir. Alt panelde 1 değerine karşı gelen kalın kırmızı çizgi SM'yi temsil etmektedir

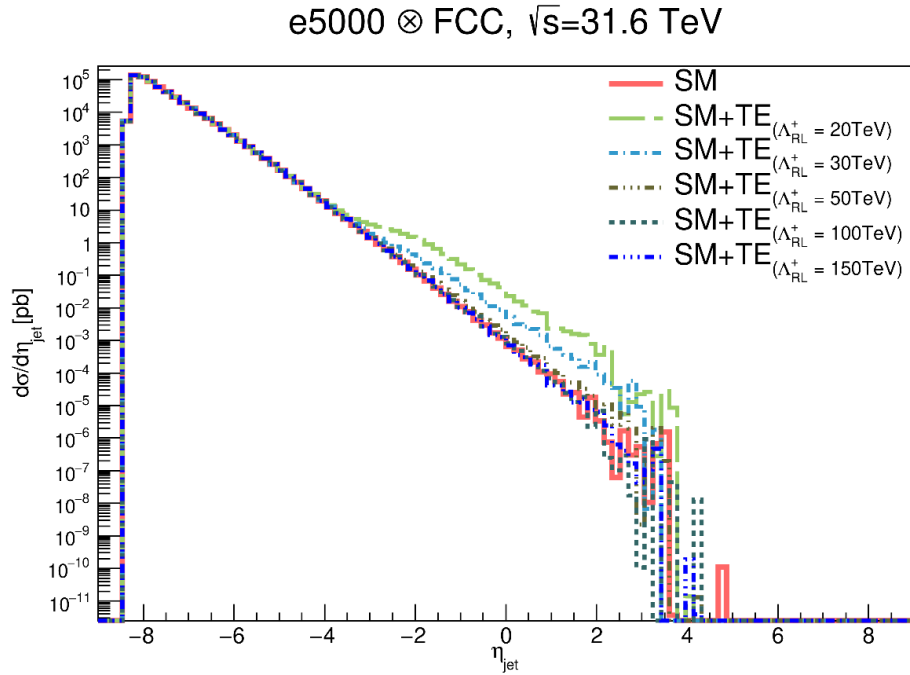


Şekil 4.9. Jet son durumları ve Λ_{LR}^- için psedorapidite dağılımları

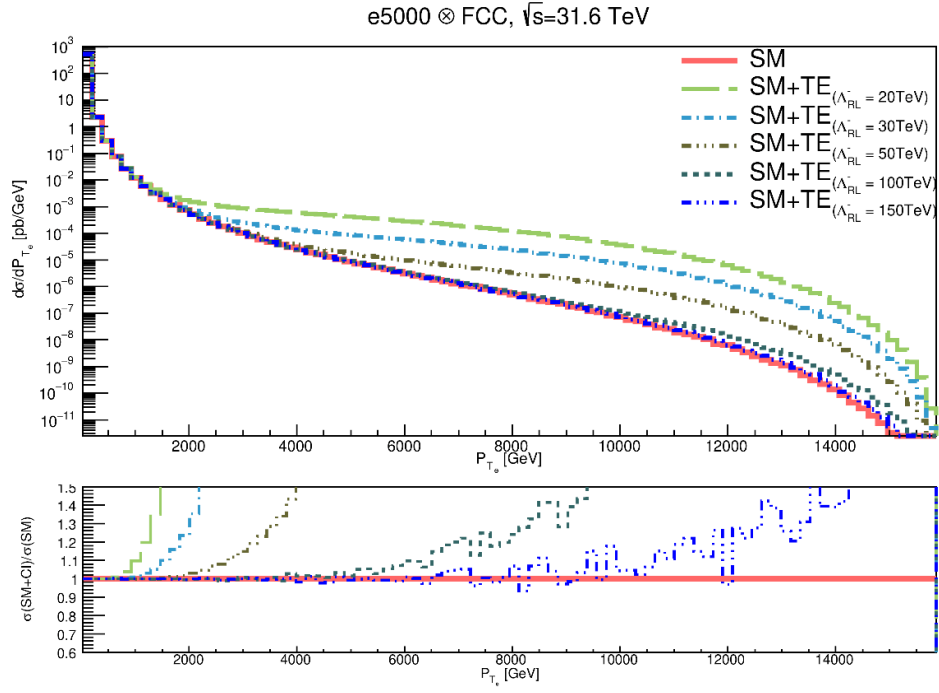


Şekil 4.10. Elektron son durumları ve Λ_{RL}^+ için enine momentum dağılımları

Üst panelde diferansiyel tesir kesitleri gösterilirken alt panelde ise tesir kesitleri SM'ye orantılı olarak gösterilmiştir. Alt panelde 1 değerine karşı gelen kalın kırmızı çizgi SM'yi temsil etmektedir.

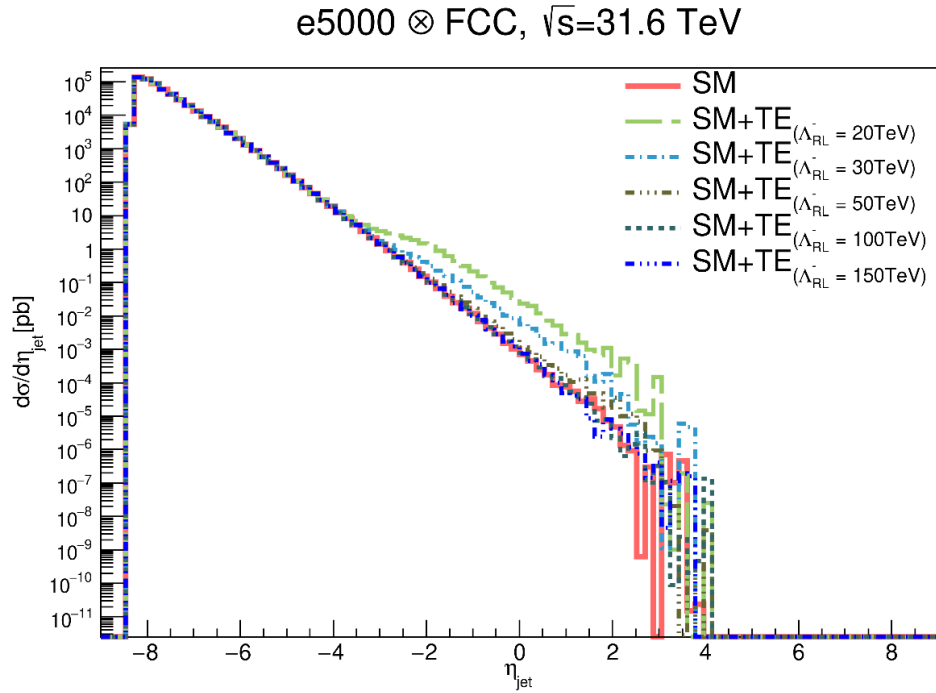


Şekil 4.11. Jet son durumları ve Λ_{RL}^- için psedorapidite dağılımları

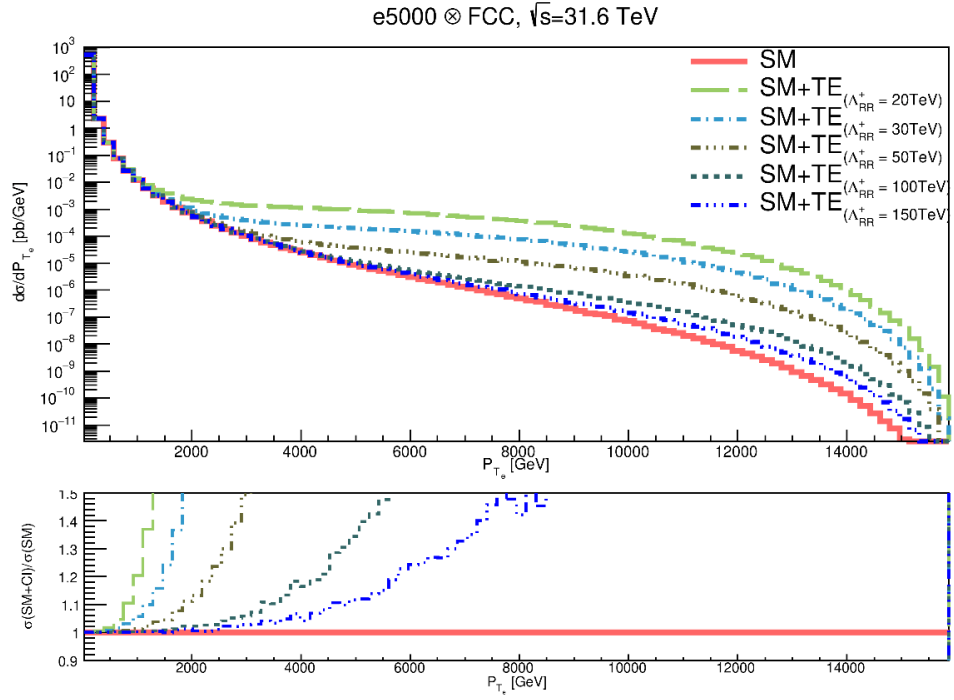


Şekil 4.12. Elektron son durumları ve Λ_{RL}^- için enine momentum dağılımları

Üst panelde diferansiyel tesir kesitleri gösterilirken alt panelde ise tesir kesitleri SM'ye orantılı olarak gösterilmiştir. Alt panelde 1 değerine karşı gelen kalın kırmızı çizgi SM'yi temsil etmektedir.

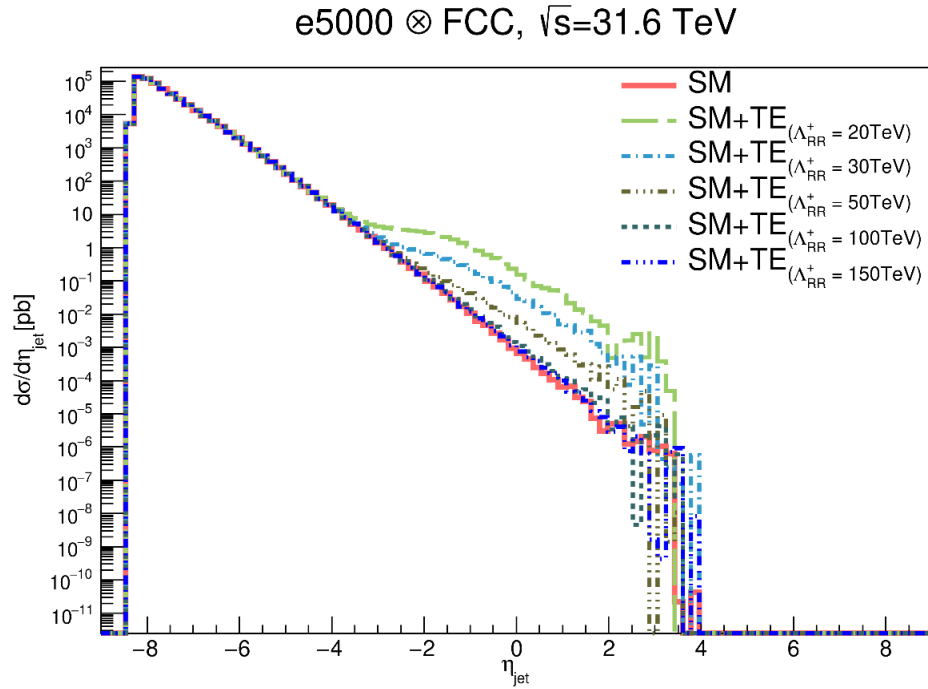


Şekil 4.13. Jet son durumları ve Λ_{RL}^- için psedorapidite dağılımları

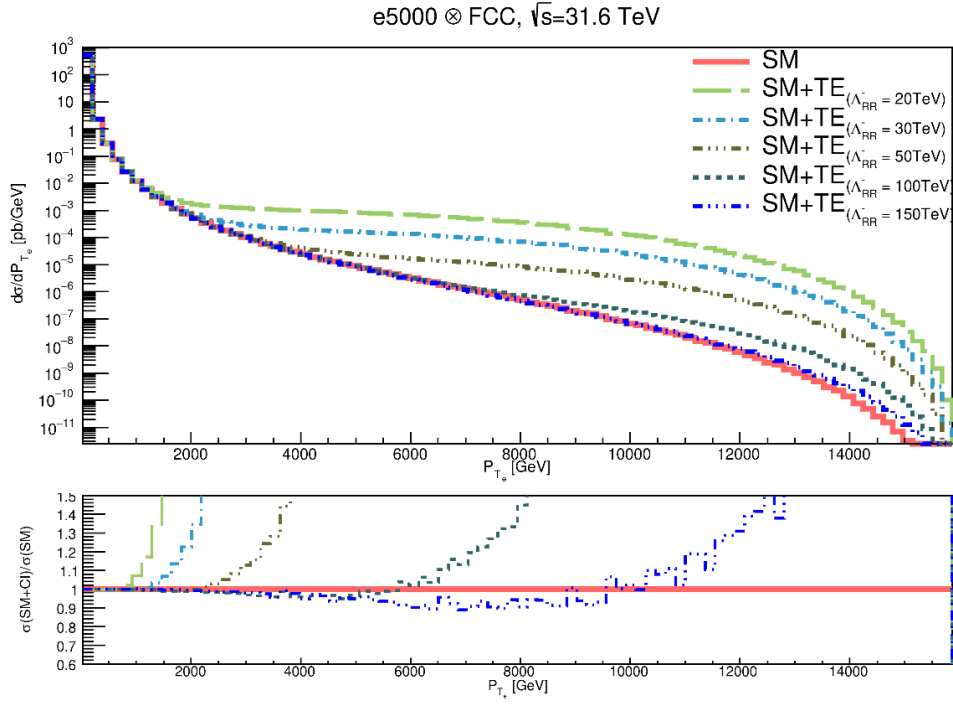


Şekil 4.14. Elektron son durumları ve Λ^+_{RR} için enine momentum dağılımları

Üst panelde diferansiyel tesir kesitleri gösterilirken alt panelde ise tesir kesitleri SM'ye orantılı olarak gösterilmiştir. Alt panelde 1 değerine karşı gelen kalın kırmızı çizgi SM'yi temsil etmektedir.

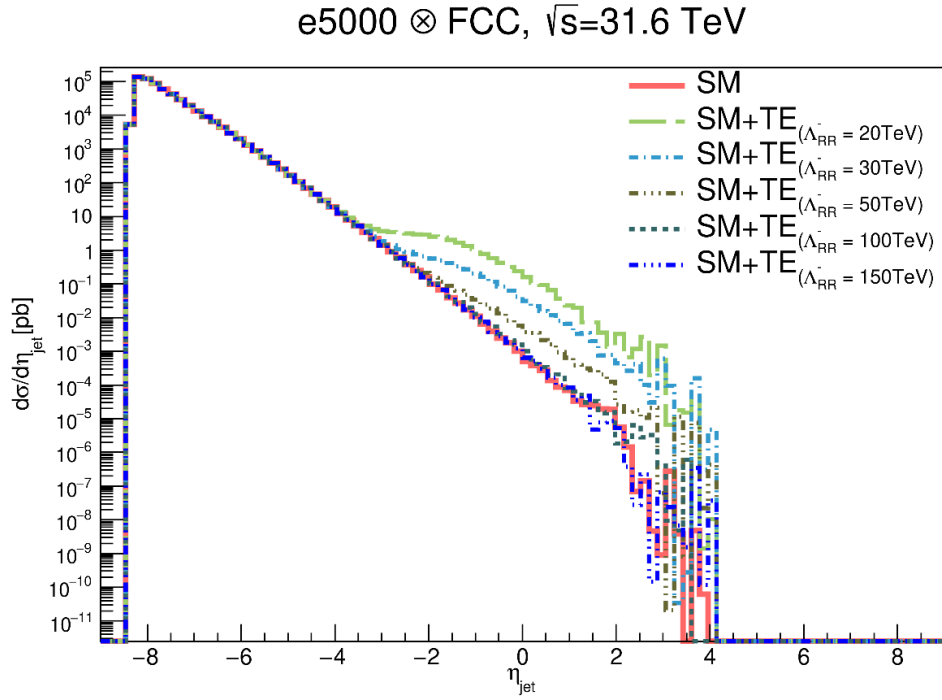


Şekil 4.15. Jet son durumları ve Λ^+_{RR} için psedorapidite dağılımları



Şekil 4.16. Elektron son durumları ve Λ_{RR}^- için enine momentum dağılımları

Üst panelde diferansiyel tesir kesitleri gösterilirken alt panelde ise tesir kesitleri SM'ye orantılı olarak gösterilmiştir. Alt panelde 1 değerine karşı gelen kalın kırmızı çizgi SM'yi temsil etmektedir.



Şekil 4.17. Jet son durumları ve Λ_{RR}^- için psedorapidite dağılımları

İlk olarak jetler için η kesiliminin belirlenmesi için parçacık son durum dağılımlarına bakılmış ve sinyalin arkaplandan ayrıldığı ilk değer ve dalgalanmaların başladığı değere kadar olan aralık belirlenmiştir. Bu aralıklar istatistiksel önem hesabı yapılırken kullanılmıştır. Elektronlar için ise bu aralık daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi detektör kabul edilirliliği ve geometrisi gözönüne alınarak $|\eta| < 2.5$ olarak alınmıştır. Elektron son durum psedorapidite dağılımlarına bakıldığında sinyal ile arkaplan arasında önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Diğer taraftan, elektronlar ve jetler için p_t dağılımlarına bakılarak sinyalin arkaplandan ayrıldığı ilk değerler belirlenmiştir. İstatistiksel önem hesabına bu değerler ile başlanmış daha sonra bu p_t kesilimleri belli aralıklar ile arttırılarak istatistiksel önem üzerindeki etkileri incelenmiştir. Farklı etkileşim senaryoları için başlangıç p_t değerleri ve tüm süreç boyunca uygulanan η aralıkları Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Parçacık son durum dağılımlarına bakılarak belirlenen kesilim değerleri

Model	$p_t(e, jet)[GeV]$	η_{jet}	$\eta_{elektron}$
Λ_{LL}^+	> 600	$-4 < \eta < 1$	$ \eta < 2.5$
Λ_{LL}^-	> 600	$-4.5 < \eta < 1$	$ \eta < 2.5$
Λ_{LR}^+	> 400	$-4.8 < \eta < 1$	$ \eta < 2.5$
Λ_{LR}^-	> 800	$-4 < \eta < 1$	$ \eta < 2.5$
Λ_{RL}^+	> 400	$-4.5 < \eta < 1$	$ \eta < 2.5$
Λ_{RL}^-	> 500	$-4.5 < \eta < 1$	$ \eta < 2.5$
Λ_{RR}^+	> 400	$-4.6 < \eta < 0.5$	$ \eta < 2.5$
Λ_{RR}^-	> 700	$-4 < \eta < 1$	$ \eta < 2.5$

Sonraki aşamada, p_t üzerindeki kesilim giderek arttırılarak sinyalin arkaplandan daha çok ayrışması sağlanmıştır. Bununla beraber, yüksek p_t kesiliminin ışınlıkla birlikte düşünüldüğünde olay sayısının azalmasına yol açacağı da not edilmelidir. İstatistiksel önem hesabı metot bölümünde anlatıldığı gibi gerçekleştirilmiştir. Her bir ışınlık değeri için 2σ , 3σ ve 5σ önemlilik değerlerine karşı gelen bileşiklik ölçekleri belirlenmiştir. Bu hesaplama farklı p_t kesilimleri için tekrarlanmıştır. 10 yıllık veriye karşı gelen $10 fb^{-1}$ yani $10000 pb^{-1}$ ışınlık değeri gözönüne alınarak farklı p_t kesilimleri için bileşiklik ölçekleri ve olay sayıları üzerinden karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu karşılaştırmaların sonuçları en uygun kesilim değerlerinin belirlenebilmesi için sunulmuştur. Bu karşılaştırmada ulaşılabilecek bileşiklik ölçeğinin yanı sıra ışınlık değeri ile birlikte ortaya çıkacak olay sayısı da not edilmiştir. Genel olarak, kesilimin belli bir değere kadar arttırılmasıyla bileşiklik ölçeğinin arttığı gözlemlenmekle beraber olay sayısının da ulaşılabilecek en yüksek ölçek değeri ile birlikte düştüğü görülmüştür. En uygun değerlerin belirlenebilmesi amacı ile kesilim değerleri, ulaşılabilecek bileşiklik ölçekleri ve olay sayıları $10 fb^{-1}$ ışınlık değeri için çizelgelerde gösterilmiştir. Çizelge 4.2-4.9 ile farklı kesilimler için ulaşılabilecek bileşiklik ölçeği değerleri ile her bir kesilime karşılık sinyal olay sayıları belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. Λ_{LL}^+ ve Λ_{LL}^- için farklı önemlilik değerlerinde ulaşılabilecek bileşiklik ölçęi değeri

<i>elektron 5 TeV + 50 TeV proton, $L_{büt} = 10 fb^{-1}$</i>						
Model	$\Lambda_{LL}^+(TeV)$			$\Lambda_{LL}^-(TeV)$		
p_t kesilim (GeV)	5σ	3σ	2σ	5σ	3σ	2σ
> 600	65.26	77.06	88.44	43.07	47.25	50.54
> 1000	65.25	77.06	88.45	-	-	-
> 2000	70.18	83.16	95.87	51.91	35.2	35.2
> 3000	81.09	96.25	111.11	58.90	63.94	67.75
> 4000	88.92	105.60	121.97	64.68	70.25	74.45
> 5000	94.20	111.66	128.74	69.52	75.64	80.31
> 5500	95.96	113.59	130.80	-	-	-
> 5750	96.56	114.19	131.35	-	-	-
> 6000	96.98	114.61	131.81	73.30	80.00	85.16
> 6500	97.35	114.82	131.77	74.62	81.60	87.01
> 7000	-	-	-	75.43	82.66	88.29

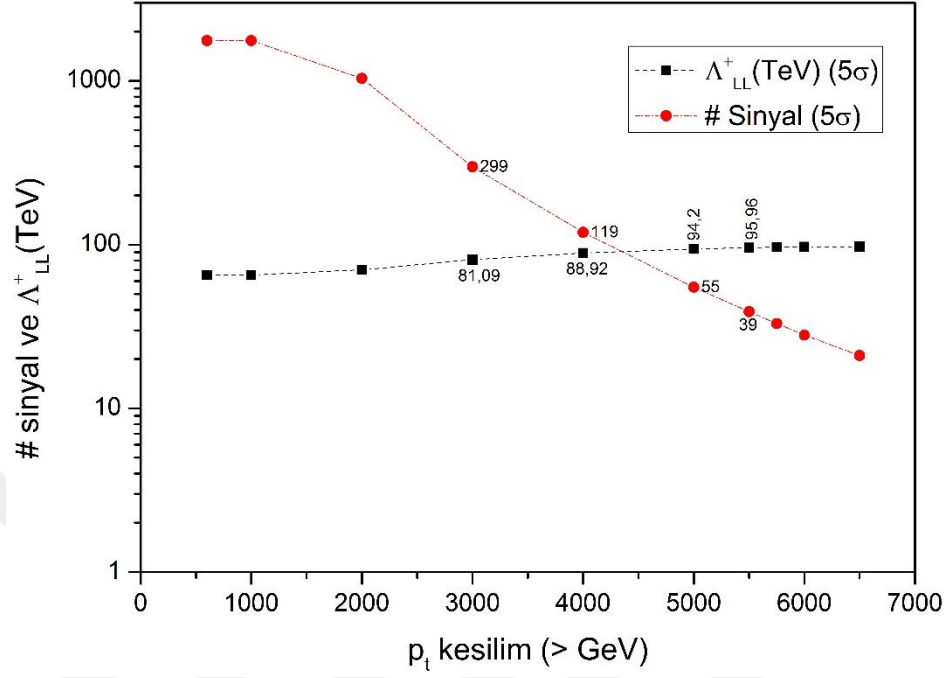
Çizelge 4.3. Λ_{LL}^+ ve Λ_{LL}^- için farklı önemlilik değerlerine karşı gelen sinyal olay sayıları

<i>elektron 5 TeV + 50 TeV proton, $L_{büt} = 10 fb^{-1}$</i>						
Model	Sinyal olay sayısı, Λ_{LL}^+			Sinyal olay sayısı, Λ_{LL}^-		
p_t kesilim (GeV)	5σ	3σ	2σ	5σ	3σ	2σ
> 600	1762	1683	1643	6767	6607	6527
> 1000	1762	1683	1643	-	-	-
> 2000	1036	976	946	1036	976	947
> 3000	299	269	254	299	269	254
> 4000	119	101	93	119	101	93
> 5000	55	45	39	55	45	39
> 5500	39	31	27	-	-	-
> 5750	33	26	22	-	-	-
> 6000	28	22	18	28	22	18
> 6500	21	15	13	21	15	13
> 7000	-	-	-	15	11	9

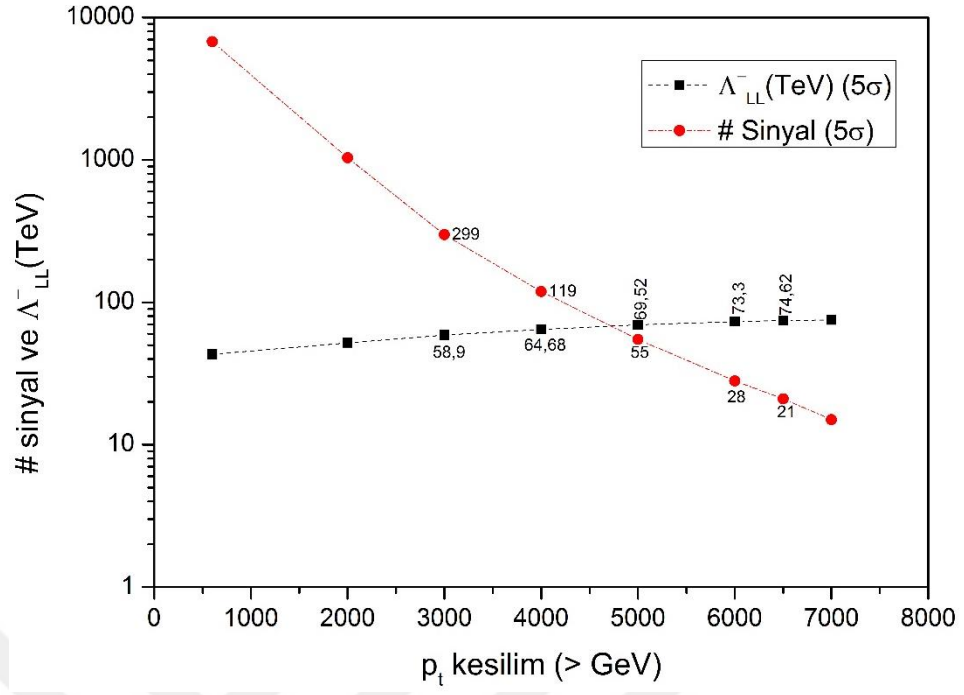
Çizelge 4.2 ve 4.3'e bakıldığında Λ_{LL}^+ ile ilgili şu değerlendirmeler yapılabilir. Ulaşılabilecek bileşiklik ölçeği $p_t > 5000$ kesilimine kadar sürekli olarak artmakla birlikte bu kesilimden itibaren bu artışın göreceli olarak oldukça düştüğü görülmektedir. Ancak artışın oldukça yavaşlayarak devam ettiği de görülmektedir. Öte yandan, sinyal olay sayılarının $p_t > 4000$ kesiliminden itibaren 100 değerinin altına düştüğü görülmektedir. Örneğin, 5σ önemlilik değeri için $p_t > 4000$ kesiliminde sinyal olay sayısı 119 iken bu sayı $p_t > 5000$ kesilimi ile birlikte 55'e düşmektedir.

Çizelge 4.2 ve 4.3'e bakıldığında Λ_{LL}^- ile ilgili şu değerlendirmeler yapılabilir. Ulaşılabilecek bileşiklik ölçeği $p_t > 6000$ kesilimine kadar sürekli olarak artmakla birlikte bu kesilimden itibaren bu artışın göreceli olarak oldukça düştüğü görülmektedir. Ancak artışın oldukça yavaşlayarak devam ettiği de görülmektedir. Öte yandan, sinyal olay sayılarının $p_t > 4000$ kesiliminden itibaren 100 değerinin altına düştüğü görülmektedir. Örneğin, 5σ önemlilik değeri için $p_t > 6000$ kesiliminde sinyal olay

sayısı 28 iken bu sayı $p_t > 6500$ kesilimi ile birlikte 21'e düşmektedir. Çizelge 4. 2 ve 4. 3 ile verilen değerlerin grafiksel gösterimi 5σ için Şekil 4.18 ve 4.19'da gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Λ_{LL}^+ ve 5σ için P_t kesilimine bağlı olarak bileşiklik ölççeği ve sinyal olay sayıları



Şekil 4.19. Λ_{LL}^- ve 5σ için P_t kesilimine bağlı olarak bileşiklik ölçeği ve sinyal olay sayıları

Çizelge 4.4. Λ_{LR}^+ ve Λ_{LR}^- için farklı önemlilik değerlerinde ulaşılabilecek bileşiklik ölçęi değeri

<i>elektron 5 TeV + 50 TeV proton, $L_{büt} = 10 fb^{-1}$</i>						
Model	$\Lambda_{LR}^+(TeV)$			$\Lambda_{LR}^-(TeV)$		
p_t kesilim (GeV)	5σ	3σ	2σ	5σ	3σ	2σ
> 400	47.51	56.55	65.41	-	-	-
> 800	-	-	-	43.20	47.11	50.13
> 2000	59.89	70.53	80.83	46.33	50.71	54.12
> 3000	64.89	75.71	86.00	53.62	59.21	63.70
> 4000	67.68	78.48	88.62	58.62	65.16	70.56
> 5000	68.76	79.32	89.11	61.69	68.91	74.98
> 5250	68.78	79.26	88.95	-	-	-
> 5500	68.77	79.17	88.76	-	-	-
> 6000	68.42	78.62	87.98	63.01	70.67	77.21
> 6500	-	-	-	63.10	70.88	77.54
> 6750	-	-	-	63.01	70.84	77.55

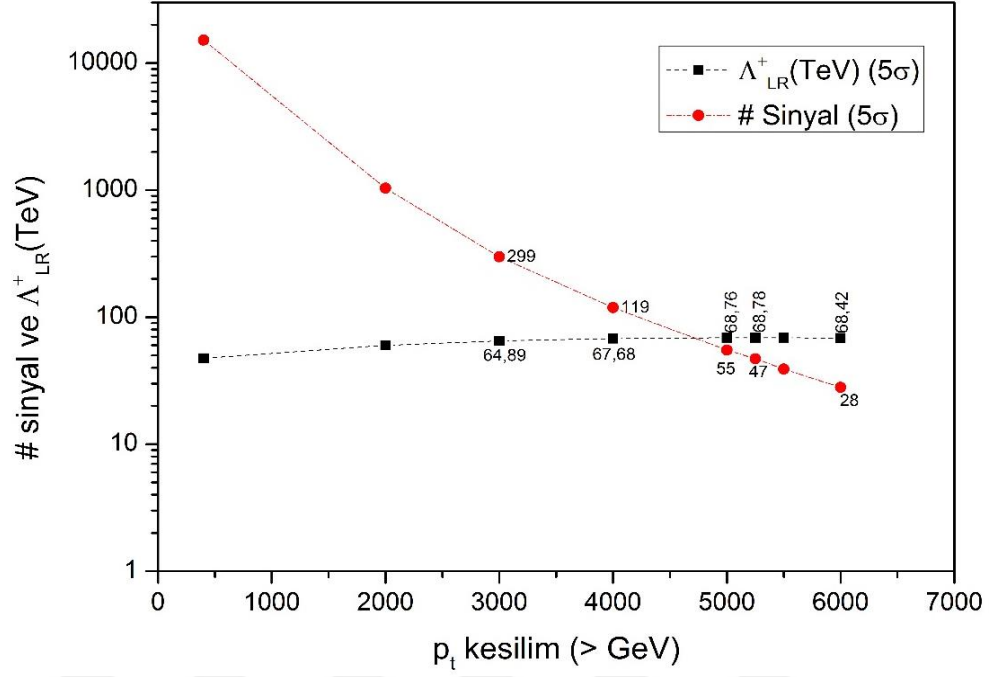
Çizelge 4.5. Λ_{LR}^+ ve Λ_{LR}^- için farklı önemlilik değerlerine karşı gelen sinyal olay sayıları

elektron 5 TeV + 50 TeV proton, $L_{büt} = 10\text{ fb}^{-1}$							
Model	Sinyal olay sayısı, Λ_{LR}^+				Sinyal olay sayısı, Λ_{LR}^-		
p_t kesilim (GeV)	5σ	3σ	2σ		5σ	3σ	2σ
> 400	15153	14911	14791		-	-	-
> 800					1762	1683	1643
> 2000	1036	976	946		1036	976	946
> 3000	299	269	254		299	269	254
> 4000	119	101	93		119	101	93
> 5000	55	45	39		55	45	39
> 5250	47	37	32				
> 5500	39	31	27				
> 6000	28	22	18	28	22	18	
> 6500	-	-	-	21	15	13	
> 6750	-	-	-	18	13	10	

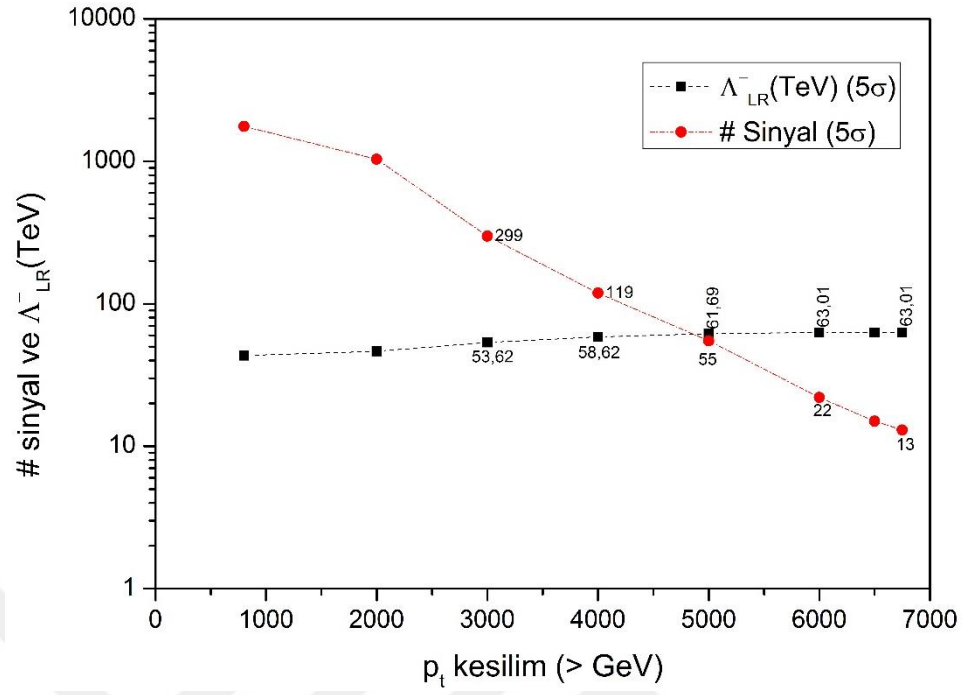
Çizelge 4.4 ve 4.5'e bakıldığında Λ_{LR}^+ ile ilgili şu değerlendirmeler yapılabilir. Ulaşılabilecek bileşiklik ölçeği $p_t > 4000$ kesilimine kadar sürekli olarak artmakla birlikte bu kesilimden itibaren bu artışın görece olarak oldukça düştüğü görülmektedir. Ayrıca, $p_t > 5250$ kesiliminden itibaren bileşiklik ölçeğinin düşmeye başladığı görülmektedir. Öte yandan sinyal olay sayısının $p_t > 4000$ kesiliminden itibaren 100'ün altına düştüğü ve bu sayının $p_t > 5250$ kesiliminde 5σ önemlilik değeri için 47 olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4 ve 4.5'e bakıldığında Λ_{LR}^- ile ilgili şu değerlendirmeler yapılabilir. Ulaşılabilecek bileşiklik ölçeği $p_t > 6000$ kesilimine kadar sürekli olarak artmakla birlikte bu kesilimden itibaren bu artışın görece olarak oldukça düştüğü görülmektedir. Ayrıca, $p_t > 6500$ kesiliminden itibaren bileşiklik ölçeğinin düşmeye başladığı görülmektedir. Öte yandan sinyal olay sayısının $p_t > 4000$ kesiliminden itibaren 100'ün altına düştüğü ve bu sayının $p_t > 6500$ kesiliminde 5σ önemlilik değeri için 21 olduğu

görülmektedir. . Çizelge 4.4 ve 4.5 ile verilen değerlerin grafiksel gösterimi 5σ için Şekil 20 ve 21’de gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Λ_{LR}^+ ve 5σ için P_t kesilimine bağlı olarak bileşiklik ölçeği ve sinyal olay sayıları



Şekil 4.21. Λ_{LR}^- ve 5σ için P_t kesilimine bağlı olarak bileşiklik ölçeği ve sinyal olay sayıları

Çizelge 4.6. Λ_{RL}^+ ve Λ_{RL}^- için farklı önemlilik değerlerinde ulaşılabilecek bileşiklik ölçęi değeri

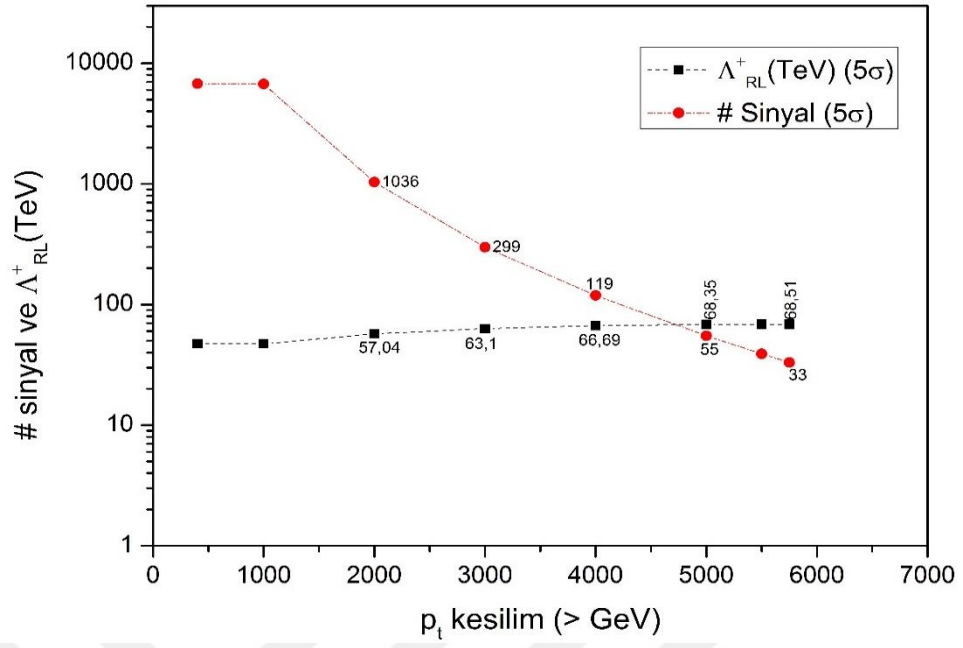
<i>elektron 5 TeV + 50 TeV proton, $L_{büt} = 10 fb^{-1}$</i>						
Model	$\Lambda_{RL}^+(TeV)$			$\Lambda_{RL}^-(TeV)$		
p_t kesilim (GeV)	5σ	3σ	2σ	5σ	3σ	2σ
> 400	47.11	54.88	62.29	-	-	-
> 500	-	-	-	39.23	43.36	46.70
> 1000	47.12	54.90	62.33	39.24	43.38	46.72
> 2000	57.04	66.30	75.05	48.64	53.92	58.25
> 3000	63.10	73.04	82.40	55.15	61.34	66.45
> 4000	66.69	77.00	86.58	59.48	66.39	72.19
> 5000	68.35	78.72	88.30	62.05	69.46	75.74
> 5500	68.56	78.87	88.35	62.74	70.32	76.76
> 5750	68.51	78.75	88.16	62.93	70.56	77.05
> 6000	-	-	-	63.05	70.72	77.29

Çizelge 4.7. Λ_{RL}^+ ve Λ_{RL}^- için farklı önemlilik değerlerine karşı gelen sinyal olay sayıları

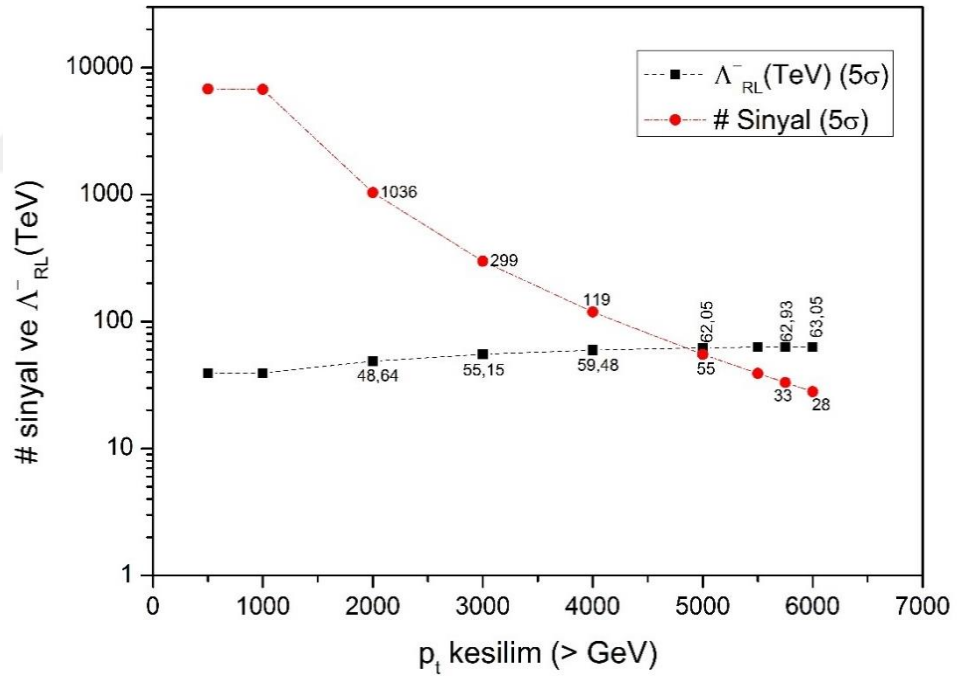
<i>elektron 5 TeV + 50 TeV proton, $L_{büt} = 10 fb^{-1}$</i>						
Model	Sinyal olay sayısı, Λ_{RL}^+			Sinyal olay sayısı, Λ_{RL}^-		
p_t kesilim (GeV)	5σ	3σ	2σ	5σ	3σ	2σ
> 400	6767	6607	6528	-	-	-
> 500	-	-	-	6767	6607	6528
> 1000	6740	6581	6501	6740	6581	6501
> 2000	1036	976	947	1036	976	947
> 3000	299	269	254	299	269	254
> 4000	119	101	93	119	101	93
> 5000	55	45	39	55	45	39
> 5500	39	31	27	39	31	27
> 5750	33	26	22	33	26	22
> 6000	-	-	-	28	22	18

Çizelge 4.6 ve 4.7'ye bakıldığında Λ_{RL}^+ ile ilgili şu değerlendirmeler yapılabilir. Ulaşılabilecek bileşiklik ölçeği $p_t > 5500$ kesilimine kadar sürekli olarak artmakla birlikte bu kesilimden itibaren düşmeye başladığı görülmektedir. Öte yandan sinyal olay sayısının $p_t > 4000$ kesiliminden itibaren 100'ün altına düştüğü ve bu sayının $p_t > 5500$ kesiliminde 5σ önemlilik değeri için 39 olduğu görülmektedir. Öte yandan sinyal olay sayısının $p_t > 4000$ kesiliminde 5σ önemlilik değeri için 119 olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.6 ve 4.7'ye bakıldığında Λ_{RL}^- ile ilgili şu değerlendirmeler yapılabilir. Ulaşılabilecek bileşiklik ölçeği $p_t > 5000$ kesilimine kadar sürekli olarak artmakla birlikte bu kesilimden itibaren kesilimin artmasıyla birlikte artışın oldukça yavaşladığı görülmektedir. Öte yandan sinyal olay sayısının $p_t > 4000$ kesiliminden itibaren 100'ün altına düştüğü ve bu sayının $p_t > 5500$ kesiliminde 5σ önemlilik değeri için 39 olduğu görülmektedir. Öte yandan sinyal olay sayısının $p_t > 6000$ kesiliminde 5σ önemlilik değeri için 28 olduğu belirlenmiştir. . Çizelge 4.6 ve 4.7 ile verilen değerlerin grafiksel gösterimi 5σ için Şekil 4.22 ve 4.23'de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Λ_{RL}^+ ve 5σ için P_t kesilimine bağlı olarak bileşiklik ölçeği ve sinyal olay sayıları



Şekil 4.23. Λ_{RL}^- ve 5σ için P_t kesilimine bağlı olarak bileşiklik ölçeği ve sinyal olay sayıları

Çizelge 4.8. Λ_{RR}^+ ve Λ_{RR}^- için farklı önemlilik değerlerinde ulaşılabilecek bileşiklik ölçęi değeri.

<i>elektron 5 TeV + 50 TeV proton, $L_{büt} = 10 fb^{-1}$</i>						
Model	$\Lambda_{RR}^+(TeV)$			$\Lambda_{RR}^-(TeV)$		
p_t kesilim (GeV)	5σ	3σ	2σ	5σ	3σ	2σ
> 400	56.15	66.97	77.52	-	-	-
> 700	-	-	-	47.70	51.60	54.54
> 1000	57.04	68.06	78.76	-	-	-
> 2000	71.77	85.49	99.04	50.75	54.94	58.06
> 3000	81.30	96.53	111.37	58.77	63.76	67.53
> 4000	88.09	104.35	120.23	65.29	71.07	75.51
> 5000	92.71	109.44	125.73	70.68	77.22	82.29
> 5500	94.19	110.96	127.23	72.92	79.83	85.23
> 5750	94.72	111.45	127.59	73.91	80.99	86.53
> 6000	95.08	111.77	127.90	74.78	82.04	87.76
> 6250	95.31	111.89	127.86	-	-	-

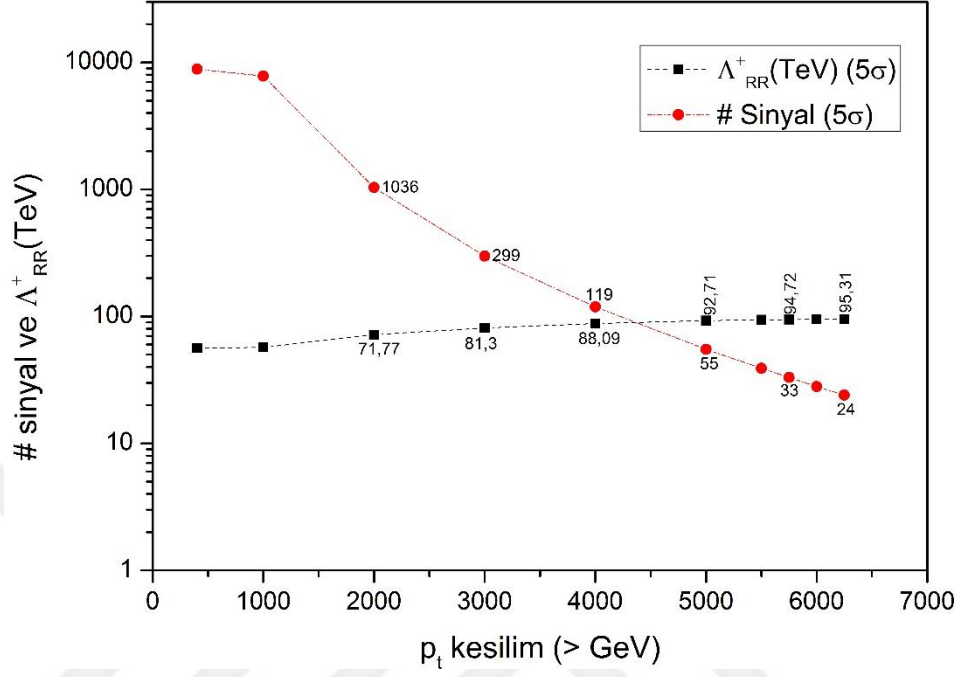
Çizelge 4.9. Λ_{RR}^+ ve Λ_{RR}^- için farklı önemlilik değerlerine karşı gelen sinyal olay sayıları

<i>elektron 5 TeV + 50 TeV proton, $L_{büt} = 10 fb^{-1}$</i>						
Model	Sinyal olay sayısı, Λ_{RR}^+			Sinyal olay sayısı, Λ_{RR}^-		
p_t kesilim (GeV)	5σ	3σ	2σ	5σ	3σ	2σ
> 400	8856	8673	8581	-	-	-
> 700	-	-	-	1762	1683	1643
> 1000	7817	7645	7559	-	-	-
> 2000	1036	976	946	1036	976	946
> 3000	299	269	254	299	269	254
> 4000	119	101	93	119	101	93
> 5000	55	45	39	55	45	39
> 5500	39	31	27	39	31	27
> 5750	33	26	22	33	26	22
> 6000	28	22	18	28	22	18
> 6250	24	18	15	-	-	-

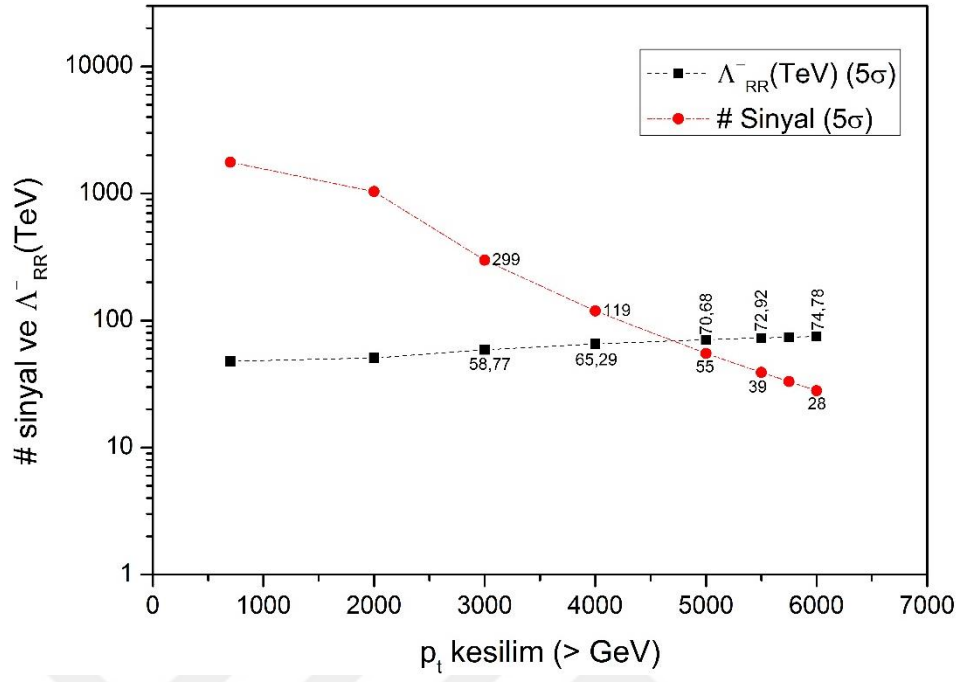
Çizelge 4.8 ve 4.9'a bakıldığında Λ_{RR}^+ için şu değerlendirmeler yapılabilir. Ulaşılabilecek bileşiklik ölçeği $p_t > 5500$ kesilimine kadar sürekli olarak artmakla birlikte bu kesilimden itibaren bu artışın görelisi olarak oldukça düştüğü görülmektedir. Kesilimin artması ile birlikte bileşiklik ölçeğindeki artışın giderek yavaşladığı görülmektedir. Öte yandan sinyal olay sayısının $p_t > 4000$ kesiliminden itibaren 100'ün altına düştüğü ve bu sayının $p_t > 6000$ ve $p_t > 6250$ kesiliminde 5σ önemlilik değeri için sırasıyla 28 ve 24 olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8 ve 4.9'a bakıldığında Λ_{RR}^- için şu değerlendirmeler yapılabilir. Ulaşılabilecek bileşiklik ölçeği $p_t > 5500$ kesilimine kadar sürekli olarak artmakla birlikte bu kesilimden itibaren bu artışın görelisi olarak oldukça düştüğü görülmektedir. Kesilimin artması ile birlikte bileşiklik ölçeğindeki artışın giderek yavaşladığı görülmektedir. Öte yandan sinyal olay sayısının $p_t > 4000$ kesiliminden itibaren 100'ün altına düştüğü ve bu sayının $p_t > 5500$ ve $p_t > 6000$ kesiliminde 5σ önemlilik değeri

için sırasıyla 39 ve 28 olduğu hesaplanmıştır. Çizelge 4.8 ve 4.9 ile verilen değerlerin grafiksel gösterimi 5σ için Şekil 4.24 ve 25’de gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Λ_{RR}^+ ve 5σ için P_t kesilimine bağlı olarak bileşiklik ölçeği ve sinyal olay sayıları

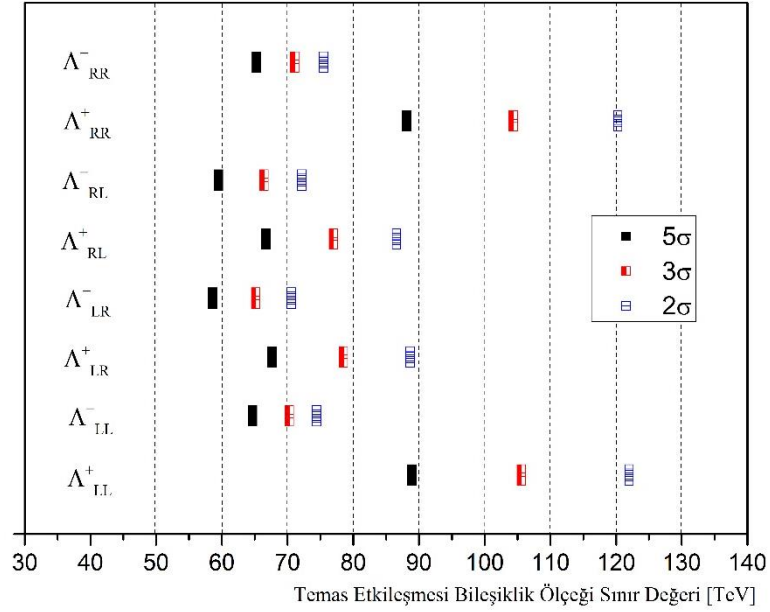


Şekil 4.25. Λ_{RR}^- ve 5σ için P_t kesilimine bağlı olarak bileşiklik ölçeği ve sinyal olay sayıları

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, Gelecek Dairesel Çarpıştırıcısında elektron-hadron etkileşimlerinde temas etkileşimlerinin işaretleri fenomolojik olarak CalcHEP programı kullanılarak araştırılmıştır. Elektron ve proton enerjileri olarak sırasıyla 5 TeV ve 50 TeV kullanılmıştır. Çarpışma sonucu ortaya çıkacak olan son durum parçacıklara (elektron ve jetler) ait kinematik dağılımlar elde edilmiştir. Bu dağılımlar, farklı bileşiklik ölçeklerinde temas etkileşmeleri ve sadece SM varlığında elde edilerek birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Sinyal ve arkaplanı birbirinden ayırmak için p_t ve η üzerinde kesilimler uygulanarak istatistiksel önem hesabı yapılmıştır. Farklı p_t kesilimlerinin istatistiksel önem ve sinyal olay sayıları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tüm bu hesaplamalar, aynı enerjide her biri yapıcı ve yıkıcı girişim olarak 4 farklı helisite birleşiminde olmak üzere toplam 8 farklı etkileşim için gerçekleştirilmiştir. Böylelikle, her bir etkileşim senaryosu için p_t kesilimlerine bağlı olarak 2σ , 3σ ve 5σ önemliliklerine karşı gelen sınır değerleri $10 fb^{-1}$ ışınlık değeri için elde edilmiştir. Tekrar hatırlatmak gerekirse, 2σ , 3σ ve 5σ sırasıyla dışarlama, gözlem ve keşif sınır değerlerine karşı gelmektedir. Bu değerler, Bulgular ve Tartışma bölümünde ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Doğal olarak, p_t kesiliminin artması ile beraber sinyal olay sayılarının azaldığı görülmektedir. Yaklaşık olarak $p_t > 4000 GeV$ kesiliminden daha büyük kesilimlerden itibaren sinyal olay sayılarının 100'ün altına düştüğü görülmektedir. Ayrıca, belli kesilim değerlerinden itibaren istatistiksel önem için sınır değerlerindeki artışın genel olarak oldukça yavaşladığı ve bazı durumlarda düşmeye başladığı görülmüştür. Sinyal olay sayıları ve önemliliklere ait sınır değerleri p_t kesilimlerine bağlı olarak birlikte verilerek okuyucunun değerlendirilmesine sunulmuştur. Burada, $p_t > 4000$ kesilimi uygulandığında sinyal olay sayısının 100 civarında olduğu durumda ortaya çıkan sınır değerleri Şekil 5.1'de tüm etkileşmeler ve üç farklı istatistiksel önemlilik için toplu olarak gösterilmektedir.

$$\sqrt{s} = 31.6 \text{ TeV} \quad L_{b\bar{u}t} = 10 \text{ fb}^{-1}$$



Şekil 5.1. Gelecek Dairesel Çarpıştırıcısı (GDÇ-FCC) Tabanlı $e\bar{p}$ Çarpıştırıcısı için Temas Etkileşmesi Bileşiklik Ölçeği Sınır Değerleri

Veriler incelendiğinde, Λ_{LL}^+ için 5σ , 3σ ve 2σ için sınır değerlerinin sırasıyla 88.92, 105.6 ve 121.97 TeV ve Λ_{RR}^+ için ise bu değerlerin 88.09, 104.35 ve 120.23 TeV olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, Λ_{LR}^+ için 5σ , 3σ ve 2σ için sınır değerlerinin sırasıyla 67.68, 78.48 ve 88.62 TeV ve Λ_{RL}^+ için ise bu değerlerin 66.69, 77.00 ve 86.58 TeV olduğu görülmektedir. Ayrıca, Λ_{LL}^- için 5σ , 3σ ve 2σ için sınır değerlerinin sırasıyla 64.68, 70.25 ve 74.45 TeV ve Λ_{RR}^- için ise bu değerlerin 65.29, 71.07 ve 75.51 TeV olduğu görülmektedir. Son olarak, Λ_{LR}^- için 5σ , 3σ ve 2σ için sınır değerlerinin sırasıyla 58.62, 65.16 ve 70.56 TeV ve Λ_{RL}^- için ise bu değerlerin 59.48, 66.39 ve 72.19 TeV olduğu görülmektedir. Sonuçlara bakıldığında, etkileşim senaryoları açısından ikili gruplar halinde sınır değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir (Λ_{LL}^+ ve Λ_{RR}^+ ; Λ_{LR}^+ ve Λ_{RL}^+ ; Λ_{LL}^- ve Λ_{RR}^- ; Λ_{LR}^- ve Λ_{RL}^-). Yapıcı girişim durumundaki etkileşim senaryolarında yıkıcı girişim durumundakilere göre bileşiklik sınır değerlerinin daha büyük olduğu görülmektedir. En yüksek sınır değerlerinin Λ_{LL}^+ ve Λ_{RR}^+ için gerçekleştiği ve bunu Λ_{LR}^+ ve Λ_{RL}^+ etkileşim senaryosunun takip ettiği ortaya çıkmıştır. Diğer taraftan, en düşük bileşiklik sınır değerlerinin Λ_{LR}^- ve Λ_{RL}^- etkileşim senaryolarında ortaya çıktığı anlaşılmaktadır.

Sonuçlara bakıldığında, GDÇ-FCC Tabanlı ep çarpıştırıcısının belirtilen kütle merkezi enerjisinde temas etkileşmelerinin araştırılmasında çok önemli rol oynayacağı değerlendirilmektedir. Sunulan sonuçlara göre, dışarlama duyarlılığı değerlendirildiğinde temas etkileşmelerinde bileşiklik ölçeği olarak yaklaşık 120 TeV'e ulaşılacağı görülmektedir.



KAYNAKLAR

- Aaboud, M. ve ark., (ATLAS Collaboration), 2017. Search for new phenomena in dijet events using 37 fb^{-1} of pp collision data collected at $\sqrt{s} = 13\text{ TeV}$ with the ATLAS detector. **Phys. Rev. D**, 96 (5), 052004, 1-26.
- Aad, G. ve ark., (ATLAS Collaboration), 2011a. Search for quark contact interactions in dijet angular distributions in pp collisions at $\sqrt{s} = 7\text{ TeV}$ measured with the ATLAS detector, **Physics Letters B**, 694 (4-5) : 327-345.
- Aad, G. ve ark., (ATLAS Collaboration), 2011b. A search for new physics in dijet mass and angular distributions in pp collisions at $\sqrt{s} = 7\text{ TeV}$ measured with the ATLAS detector. **New Journal of Physics**, 13, 053044, 1-45.
- Aad, G. ve ark., (Atlas Collaboration), 2013a. Search for new phenomena in dijet mass and angular distributions using pp collisions at $\sqrt{s} = 7\text{ TeV}$. **Journal of High Energy Physics**, 01, 29, 1-46.
- Aad, G. ve ark. (Atlas Collaboration), 2013b. Search for contact interactions and large extra dimensions in dilepton events from pp collisions at $\sqrt{s} = 7\text{ TeV}$ with the ATLAS detector. **Physical Review D** 87(1), 015010.
- Aad, G. ve ark., 2015. Search for New Phenomena in Dijet Angular Distributions in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 8\text{ TeV}$ Measured with the ATLAS Detector. **Physical Review Letters**, PRL 114, 221802.
- Aad, G. ve ark., 2016. Search for new phenomena in dijet mass and angular distributions from pp collisions at $\sqrt{s} = 13\text{ TeV}$ with the ATLAS detector, **Physics Letters B**, 754:302–322.
- Aad, G. ve ark. (Atlas Collaboration), 2019. Search for high-mass dilepton resonances using 139 fb^{-1} of pp collision data collected $\sqrt{s} = 13\text{ TeV}$ with the ATLAS detector. **Physics Letters B**, 796, 68-87.
- Aaron, F. ve ark. (H1 Collaboration), 2011. Search for contact interactions in $e^{\pm}p$ collisions at HERA. **Physics Letters B**, 705 (1-2), 52-58.
- Aaron, F.D. et al. (H1 Collaboration), 2010. Combined measurement and KRD analysis of the inclusive $e \pm p$ scattering cross sections at HERA. **JHEP**, 01, 109.
- Abada, A. ve ark, 2019. FCC Physics Opportunities. **Eur. Phys. J. ST**, 79(6), 474, 1-161.
- Abbiendi, G. ve ark. (OPAL Collaboration), 2004. Tests of the standard model and constraints on new physics from measurements of fermion-pair production at 189-209 GeV at LEP. **The European Physical Journal C**, 33(2), 173-212.
- Abbott, B. ve ark., 1998, Measurement of Dijet Angular Distributions and Search for Quark Compositeness, **Physical Review Letters**, 80, 666.
- Abbott, B. ve ark., 1999. Dijet Mass Spectrum and a Search for Quark Compositeness in $\bar{p}p$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8\text{ TeV}$. **Physical Review Letters**, 82, 2457.
- Abdallah, J. ve ark. (DELPHI Collaboration), 2006. Measurement and interpretation of fermion-pair production at LEP energies above the z resonance. **The European Physical Journal C**, 45, 589-632.
- Abdallah, J. ve ark. (DELPHI Collaboration), 2009. A study of $b\bar{b}$ production in e^+e^- collisions at $\sqrt{s} = 130 - 207\text{ GeV}$. **The European Physical Journal C**, 60 (1), 1-15.
- Abe, F. ve ark., 1989. Measurement of the Inclusive Jet Cross Section in $\bar{p}p$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8\text{ TeV}$. **Physical Review Letters**, 62, 613.

- Abe, F. ve ark., 1992. Dijet angular distribution in pp collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV. **Physical Review Letters**, 69, 2896.
- Abe, F. ve ark., 1996. Measurement of Dijet Angular Distributions by the Collider Detector at Fermilab. **Physical Review Letters**, 77, 5336.
- Acar, Y.C., Kaya, U., Oner, B.B and Sultansoy, S., 2016a. FCC based ep and μp colliders. **arXiv:1510.08284v2** [hep-ex].
- Acciarri, M. Ve ark. (L3 Collaboration), 2000. Search for manifestations of new physics in fermion-pair production at LEP. **Physics Letters B**, 489(1), 81-92.
- Ade, P.A.R. ve ark. (Planck Collaboration), 2016. Planck 2015 results. XIII. Cosmological parameters. **Astron. Astrophys.**, 594, A13, 1-63.
- Adloff, C. ve H1Collaboration, 2000. Search for compositeness, leptoquarks and large extra dimensions in eq contact interactions at HERA. **Physics Letters B**, 479: 358–370
- Adloff, C. ve H1Collaboration, 2003. Search for new physics in $e^{\pm}q$ contact interactions at HERA. **Physics Letters B** 568 : 35–47.
- Alwall, J., Herquet, M., Maltoni, F., Mattelaer, O. ve Stelzer, T., 2011. MadGraph 5: Going Beyond, **JHEP**, 06, 128(1-38).
- Appel, J.A. ve ark., 1985. Measurement of the s dependence of jet production at the CERN pp collider. [UA2 Collab.] **Physical Review Letters**, 69 (2896): B160-349.
- Arnison, G. ve ark., 1986. Angular distributions for high-mass jet pairs and a limit on the energy scale of compositeness for quarks from the CERN $p\bar{p}$ collider, **Physical Review Letters**, 69 (2896): B177-244.
- Barger, V. ve ark., 1997. Contact interactions and high Q^2 events in e^+p collisions at HERA. **Physics Letters B** 404:147-152.
- Barger, V. ve ark., 1998. Global study of electron-quark contact interactions, **Physical Review D** Volume 57, NUMBER 1, 1 JANUARY.
- Belyaev, A., Christensen, N.D. and Pukhov, A., 2013. CalcHEP 3.4 for collider physics within and beyond the Standard Model. **Comput. Phys. Commun.** 184, 1729-1769.
- Bilson-Thompson, S.O., 2005. A Topological model of composite preons. Submitted to: **Phys.Lett. B**.
- Bjorken, J. ve Drell, S., 1964. Relativistic quantum mechanics. in: **International Series in Pure and Applied Physics**. McGraw-Hill, New York, p. 315.
- Boos. E., 2004. Automatic computations from Lagrangians to events, **Nucl. Instrum. Meth. A**, 534, 250–259.
- Chatrchyan, S. Ve ark. [CMS Collab.], 2013. Search for contact interactions using the inclusive jet p_t spectrum in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV. **Phys. Rev. D**, 87, 052017.
- Christensen. N. D. ve Duhr, C., 2009. FeynRules - Feynman rules made easy, **Comput. Phys. Commun.**, 180, 1614–1641.
- Delahaye, J.P. ve ark., 2014. **A Beam Driven Plasma-Wakefield Linear Collider from Higgs Factory to Multi-TeV**. Proceedings of the Fifth International Particle Accelerator Conference, p.3791, Dresden, Germany.
- De Souza, M. E., 2008. Weak decays of hadrons reveal compositeness of quarks. **Scientia Plena**, 4(6), 1-10.
- Dugne, J.J., Fredriksson, S. and Hansson, J., 2002. A Schematic model of leptons, quarks and heavy vector bosons. **Europhys. Lett.**, 57, 188–194.

- Eichten, E.J., Lane, K.D. and Peskin, M.E., 1983. New Tests for Quark and Lepton Substructure. **Phys. Rev. Lett.**, 50, 811-814.
- Eichten, E.J., Hinchliffe, I., Lane, and C. Quigg, C., 1984. Supercollider physics, **Rev. Mod. Phys.**, 56(4), 579-707.
- Feynman, R.P., 1985. QED – The Strange Theory of Light and Matter. Princeton University Press, Princeton.
- Fritzsche, H. and Mandelbaum, G., 1981. Weak interactions as manifestations of the substructure of leptons and quarks. **Physics Letters B**, 102 (5): 319–322.
- Fritzsche, H., 2016. Composite Weak Bosons at the Large Hadronic Collider, **Mod. Phys. Lett. A**, 31(20), 1630019 (1-12).
- Griffiths, D.J., 1987. **Introduction to Elementary Particles**. John Wiley and Sons, 405 s, New York.
- Hahn, T., 2000. Automatic loop calculations with FeynArts, FormCalc, and LoopTools. **Nucl. Phys. Proc. Suppl.** 89, 231–236.
- Hahn, T., 2001. Generating Feynman diagrams and amplitudes with FeynArts 3. **Comput. Phys. Commun.**, 140, 418–431.
- Harari, H., 1979. A schematic model of quarks and leptons. **Physics Letters B**, 86 (1): 83–86.
- Kaya, U., Öner, B.B. ve Sultansoy, S., 2018. A Minimal Fermion-Scalar Preonic Model, **Turk. J. Phys.**, 42, 235-241.
- Khachatryan, V. ve ark., CMS Collaboration, 2010. Search for Quark Compositeness with the Dijet Centrality Ratio in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV, **PHYSICAL REVIEW LETTERS**, PRL 105, 262001.
- Khachatryan, V. ve ark. CMS Collaboration, 2011. Measurement of Dijet Angular Distributions and Search for Quark Compositeness in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV. **Physical Review Letters**, PRL 106, 201804.
- Khachatryan, V. ve ark. (CMS Collaboration), 2012. Search for quark compositeness in dijet angular distributions from pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV. **Journal of High Energy Physics**, 55, 05055, 1-29.
- Khachatryan, V. ve ark. (CMS Collaboration), 2015. Search for quark contact interactions and extra spatial dimensions using dijet angular distributions in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV. **Physics Letters B**, 746, 79–99.
- Kublbeck, J., Bohm, M. ve Denner., A., 1990. Feyn Arts: Computer Algebraic Generation of Feynman Graphs and Amplitudes, **Comput. Phys. Commun.**, 60 , 165–180.
- Lai, H.L., Guzzi, M., Huston, J., Li, Z., Nadolsky, P.M. and Pumplin, J., 2010. New parton distributions for collider physics. **Physical Review D**, 82 (7), 074024.
- Lepage, G.P., 1978. A New Algorithm for Adaptive Multidimensional Integration. **J. Comput. Phys.**, 27 (2), 192-203.
- Maltoni, F. ve Stelzer T., 2003. MadEvent: automatic event generation with MadGraph. **JHEP**, 02, 027.
- Pati, J.C., and Salam, A., 1974. Lepton number as the fourth "color", **Phys. Rev. D**, 10 (1), 275-289.
- Povh, B., Rith , K., Scholz , C., Zetsche, F., Rodejohann, W., 2015. **Particles and Nuclei**. Graduate Texts in Physics. Springer, Berlin. ISBN 978-3-662-46320-8.
- Press, W., Teukolsky, S., Vetterling, W., Flannery, B., 1999. **Numerical recipes in C: the art of scientific computing**, Cambridge University Press, p. 735.
- Pukhov. A., Boos, E., Dubinin, M., Edneral, V., Ilyin, V., Kovalenko, D., Kryukov, A., Savrin, V., Shichanin, S. ve Semeneov, A., 1999. **A package for evaluation of**

- Feynman diagrams and integration over multi-particle phase space.** User's manual for version 33, arXiv: hep-ph/9908288.
- Pukhov, A., Belyaev, A. ve Christensen, N., 2012. **Calculator for High Energy Physics A package for the evaluation of Feynman diagrams, integration over multi-particle phase space, and event generation**, User's manual for version 3.3.6, Based on Pukhov et al, hep-ph/9908288.
- Pumplin, J., Stump, D.R., Huston, J., Lai, H.L., Nadolsky, P. Ve Tung, W.K., 2002. **New Generation of Parton Distributions with Uncertainties from Global KRD Analysis**. JHEP, 07, 012.
- Brun, R. ve Rademakers, F., 1997. ROOT-An object oriented data analysis framework. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A**, 389(1-2), 81-86.
- Schael, S. ve ark. (ALEPH Collaboration), 2006. Fermion pair production in e^+e^- collisions at 189-209 GeV and constraints on physics beyond the standard model. **The European Physical Journal C**, 49(2), 411-437.
- Semenov, A., 2009. LanHEP - package for the automatic generation of Feynman rules in field theory. Version 3.0, **Comput. Phys. Commun.**, 180(3), 431-454.
- Shupe, M., 1979. A composite model of leptons and quarks, **Physics Letters B**, 86(1), 87-92.
- Soper, D.E., 1997. Parton distribution functions. **Nuclear Physics B - Proceedings Supplements**, 53(1-3), 69-80.
- Sirunyan, A.M. ve ark. (CMS Collaboration), 2017. Search for new physics with dijet angular distributions in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV. **JHEP**, 07, 013.
- Sirunyan, A.M. ve ark. (CMS Collaboration), 2018. Search for new physics in dijet angular distributions using proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV and constraints on dark matter and other models. **Eur. Phys. J. C**, 78, 789.
- Stump, D., Pumplin, J., Brock, R., Casey, D., Huston, J., Kalk, J., Lai, H.L. and Tung, W.K., 2001. Uncertainties of predictions from parton distribution functions. I. The Lagrange multiplier method. **Phys. Rev. D**, 65 (1), 014012.
- Terazawa, H., Chikashige, Y. and Akama, K., 1977. Unified model of the Nambu-Jona-Lasinio type for all elementary-particle forces. **Phys. Rev. D**, 15: 480-487.
- Terazawa, H., 1980. Subquark model of leptons and quarks, **Physical Review D**, 22(1), 184-199.
- Terazawa, H., 1983. A fundamental theory of composite particles and fields. **Physics Letters B**, 133(1-2), 57-60.
- Terazawa, H. and Yasue, M., 2014. Composite higgs boson in the unified subquark model of all fundamental particles and forces. **Journal of Modern Physics**, 5(5), 205-208.
- Terazawa, H. and Yasue, M., 2016. Excited Gauge and Higgs Bosons in the Unified Composite Model, **Nonlin. Phenom. Complex Syst.**, 19 (1), 1-16.
- Walkman, R.L. ve ark. (Particle Data Group), 2022. Prog. Theor. Exp. Phys. 083C01.
- Yershov, V., 2006. Fermions as topological objects. **Prog. Phys.**, (1): 19-26.
- Zarnecki, A.F., 1999. Global analysis of eeqq contact interactions and future prospects for high energy physics, **Eur. Phys. J. C**, 11: 539-557.
- ZEUS Collaboration, 2004. Search for contact interactions, large extra dimensions and finite quark radius in ep collisions at HERA, **Physics Letters**, B 591: 23-41.