

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda Yukarı Tipli Ağır Kuarkların Anormal Bağlaşımlarının Araştırılması

İlkay TÜRK ÇAKIR*

Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, TAEK, Kazan, ANKARA

Received: 25.04.2012; Accepted: 02.05.2013

Özet. Parçacık fiziğinin üç aileli Standart Modeli, evrendeki baryon asimetrisine, yük-parite ihlaline, karanlık madde olgusuna, hiyerarşi problemine ve etkileşmelerin birleştirilebilmesine yeteri kadar bilgi sağlayamamaktadır. Bundan dolayı Standart Modele yeni ağır fermiyonlar eklenerek genişletilmesine ilişkin çalışmalar yapılmaktadır. Son zamanlarda hadron çarpıştırıcı deneylerinden ağır kuarkların kütlelerine gelen sınırlamalar düşünüldüğünde, bu kuarkların kütlelerinin üst kuark kütlelerinden daha büyük olmaları beklenmektedir. Yeni ağır kuarkların beklenen büyük kütleleri nedeni ile Standart Model kuarklarından farklı bir dinamiğe sahip olmaları öngörülmektedir. Bu çalışmada güncel kütle sınırlamaları göz önüne alınarak, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda yukarı tipli ağır kuarkların anormal etkileşmeler ile rezonans üretimi ve bozunum modları incelenerek kütle ve bağlaşım parametreleri üzerine sınırlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: LHC, anormal bağlaşım, ağır kuark, CKM matrisi.

Search for anomalous couplings of the up type heavy quarks at the Large Hadron Collider

Abstract. The Standard Model with three families of particle physics doesn't provide enough information to charge-parity violation, dark matter, hierarchy problem, baryon asymmetry in the universe and unification of interactions. For that reason, studies related to the extension of the Standard Model by adding new heavy fermions. Recently considering the limits to heavy quark masses from hadron collider experiments, the heavy quark masses are expected to be greater than the top quark mass. Due to the consideration of high mass new heavy quarks are expected to have different dynamics than the quarks within Standard Model. In this work, taking into account updated mass limits, the resonant production and decay modes of up type heavy quarks through the anomalous interactions at the Large Hadron Collider have been investigated, and the bounds on the mass and coupling parameters are obtained.

Key words: LHC, anomalous coupling, heavy quark, CKM matrix.

1. GİRİŞ

Temel parçacıkların ve temel kuvvetlerin betimlemesini sağlayan parçacık fiziğinin Standart Modeli'nde (SM) temel fermiyonlar (kuarklar ve leptonlar), fermiyon aileleri şeklinde gruplanır ve bu ailelerin sayısı SM çerçevesinde doğrudan öngörülmemiştir. Yaşadığımız evrenin görünür kısmı birinci SM ailesi fermiyonlarından (u-kuark, d-kuark, elektron ve elektron nötrinosu) oluşmaktadır. Diğer taraftan evrenin maddeden oluşumunun sağlanabilmesi için en azından üç SM ailesi gerekmektedir.

* Corresponding author. *Email address:* ilkayturkcakir@hotmail.com

SM'de fermiyon aile sayısı üzerinde kesin bir sınırlama olmamasından dolayı aile sayısı bu modelin çözülmemiş problemlerinden biridir. Ek bir ağır fermiyon ailesi aile çeşni yapısını anlamamızda önemli bir rol oynayabilir. Bu ek aile, 500-800 GeV aralığında kütleleri olabilecek kuark ikilisi (t' , b') içerir. ATLAS Deneyi işbirliği $BR(t \rightarrow W^+b) = 1$ varsayımı ile kütle merkezi enerjisi 7 TeV ve toplanmış ışınlık 4.7 fb^{-1} olacak şekilde lepton+jet son durumu için yapılan çalışmalarda, dördüncü aile yukarı tip kuark kütlelerine ($m_{t'}$) getirilen alt sınır 656 GeV [1] olarak belirlenmiştir. CMS Deneyi işbirliği ise aynı son durumda toplanmış ışınlık 5 fb^{-1} iken $m_{t'} > 570$ GeV [2] olarak belirlemiştir. Aynı zamanda dördüncü aile kuarklarına Tevatron'da ve LHC'de Higgs bozonu üretim sürecinden [3-6] sınırlamalar getirilmiştir. Dördüncü aile fermiyonları ilmek diyagramındaki katkısı nedeniyle Higgs'in fenomenolojisini $\Gamma(H \rightarrow VV)$ yoluyla etkiler. Standart Modelde Higgs sektörü, iki Higgs ikilisi modeli (2HDM) gibi modellere genişletildiği zaman dördüncü aile fermiyonları içeren bir modele gelen sınırlamalar daha da esnek olabilir.

Bu çalışmada, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda (LHC) yukarı tipli yeni ağır kuarkın anormal bağlaşımlarla rezonans üretimi ($pp \rightarrow t'X$) ve zayıf etkileşme yoluyla bozunumu ($t' \rightarrow W^+b$) çalışılmıştır. Daha önce yapılmış çalışmalardan [7] farklı olarak, ağır kuarklar için güncel kütle sınırlamaları dikkate alınarak yeni bir parametrizasyon seti kullanılmış ve bu durumda yukarı tipli ağır kuarkların anormal bağlaşımları üzerine sınırlamalar getirilmiştir. Dördüncü aile kuarkların bozunumları, bazı yeni fizik etkileri ile veya genişletilmiş bir elektrozayıf simetri kırılması nedeniyle değişebilirse, dördüncü aile modeli üzerine sınırlamalar bir miktar esnek olabilir. Ayrıca bu sınırlar, Standart Modeldeki Higgs sektörü, iki Higgs ikilisi modeli (2HDM) gibi modellere genişletildiği zaman daha da esnek olabilir. Bu olasılıklar göz önüne alınarak, ağır fermiyon ailesi kuarklarının kütle alt sınırları 600 GeV civarında düşünülebilir. Dolayısıyla bu çalışmada, genel olarak efektif model çerçevesinde ağır kuarklar düşünüldüğü için 600 ve 700 GeV kütle değerlerine ait CKM'ler [8] kullanılarak hesaplar yapılmıştır.

2. MATERYAL ve METOT

Ağır bir fermiyon ailesine ait kuarkların (t', b') etkileşmeleri aşağıdaki Lagranjiyen ile verilir:

Büyük Hadron Çarpıştırıcı'sında Yukarı Tipli Ağır Kuark

$$\begin{aligned}
 L = & -g_e \sum_{Q_i=b',t'} \bar{Q}_i \gamma^\mu Q_i A_\mu - g_s \sum_{Q_i=b',t'} \bar{Q}_i T^a \gamma^\mu Q_i G_\mu^a \\
 & - \frac{g_e}{2 \cos \theta_W \sin \theta_W} \sum_{Q_i=b',t'} \bar{Q}_i \gamma^\mu (g_V^i - g_A^i \gamma^5) Q_i Z_\mu^0 \\
 & - \frac{g_e}{2\sqrt{2} \sin \theta_W} \sum_{Q_{i,j}=b',t'} V_{ij} \bar{Q}_i \gamma^\mu (1 - \gamma^5) q_j W_\mu^\pm + h.c.
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

g_e elektromanyetik bağlanma sabiti ve g_s kuvvetli bağlanma sabitidir. A_μ , G_μ , Z_μ ve W_μ sırasıyla fotonun, gluonun, Z bozonun ve W bozonun vektör alanlarıdır. Q_{ei} ek aile kuarklarının elektrik yükü ve T^a Gell-Mann matrisleridir.

Ek bir aile ağır kuarkları için karışım matrisleri $m_t = 600$ GeV ve $m_t = 700$ GeV kütleleri için sırasıyla aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$|V_{600}| = \begin{pmatrix} 0.9741 & 0.2256 & 0.0035 & 0.00140 \\ -0.2258 & 0.9726 & 0.0414 & 0.0339 \\ 0.0089 & -0.0423 & 0.9924 & 0.1149 \\ -0.0058 & 0.0343 & -0.1155 & 0.9926 \end{pmatrix} \tag{2.2}$$

$$|V_{700}| = \begin{pmatrix} 0.9741 & 0.2256 & 0.0035 & 0.00130 \\ -0.2258 & 0.9727 & 0.0414 & 0.0309 \\ 0.0088 & -0.0423 & 0.9920 & 0.1179 \\ -0.0056 & 0.0309 & -0.1185 & 0.9924 \end{pmatrix} \tag{2.3}$$

Yeni ağır kuarkların anormal etkileşimleri için Lagranjiyen aşağıdaki gibi verilir:

$$\begin{aligned}
 L = & -g_e \sum_{Q_i=u,c,t} \frac{\kappa_\gamma^{q_i}}{\Lambda} Q_i g_e \bar{t}' \sigma_{\mu\nu} q_i' F_{\mu\nu} + \sum_{Q_i=u,c,t} \frac{\kappa_z^{q_i}}{2\Lambda} Q_i g_z \bar{t}' \sigma_{\mu\nu} q_i' Z^{\mu\nu} \\
 & + \sum_{Q_i=u,c,t} \frac{\kappa_g^{q_i}}{2\Lambda} g_s \bar{t}' \sigma_{\mu\nu} \lambda_a q_i' G_a^{\mu\nu} + h.c. \\
 & + \sum_{Q_i=d,s,b} \frac{\kappa_\gamma^{q_i}}{\Lambda} Q_i g_e \bar{t}' \sigma_{\mu\nu} q_i' F^{\mu\nu} + \sum_{q_i=d,s,b} \frac{\kappa_z^{q_i}}{2\Lambda} g_z \bar{b}' \sigma_{\mu\nu} q_i' Z^{\mu\nu} \\
 & + \sum_{q_i=d,s,b} \frac{\kappa_g^{q_i}}{2\Lambda} g_s \bar{b}' \sigma_{\mu\nu} \lambda_a q_i' G_a^{\mu\nu} + h.c.
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

Burada $F_{\mu\nu}$, $Z_{\mu\nu}$ ve $G_{\mu\nu}$ ayar alan tensörleridir. $\sigma_{\mu\nu} = (\gamma_\mu \gamma_\nu - \gamma_\nu \gamma_\mu)/2$, λ_a Gell-Mann matrisleri, Q_{qi} kuarkın elektrik yükü, g_e , g_z ve g_s sırasıyla elektromanyetik, yüksüz, zayıf ve kuvvetli bağlaşım sabitleridir. $g_z = g_e / \cos \theta_w \sin \theta_w$ ve θ_w zayıf karışım açısıdır. Anormal bağlaşım κ_z Z-bozonuna, κ_γ fotona ve κ_g ise gluona aittir. Λ ise yeni fizik ölçeğidir.

Tablo 1. $m_t=600$ GeV için farklı anormal bağlaşım parametrelerine göre dallanma oranları (%)

| κ/Λ (TeV ⁻¹) | 0.01 | 0.05 | 0.1 | 0.5 | 1 |
|---------------------------------------|--------|-------|------|-------|--------|
| W ⁺ d | 0.23 | 0.21 | 0.16 | 0.017 | 0.0046 |
| W ⁺ b | 91 | 82 | 62 | 6.9 | 1.8 |
| W ⁺ s | 8 | 7.2 | 5.4 | 0.61 | 0.16 |
| Zu | 0.011 | 0.25 | 0.74 | 2.1 | 2.2 |
| Zc | 0.011 | 0.25 | 0.74 | 2.1 | 2.2 |
| Zt | 0.0081 | 0.18 | 0.55 | 1.5 | 1.6 |
| γ u | 0.0036 | 0.081 | 0.24 | 0.68 | 0.72 |
| γ c | 0.0036 | 0.081 | 0.24 | 0.68 | 0.72 |
| γ t | 0.0028 | 0.062 | 0.19 | 0.52 | 0.55 |
| gu | 0.16 | 3.6 | 11 | 31 | 33 |
| gc | 0.16 | 3.6 | 11 | 31 | 33 |
| gt | 0.12 | 2.8 | 8.4 | 24 | 25 |

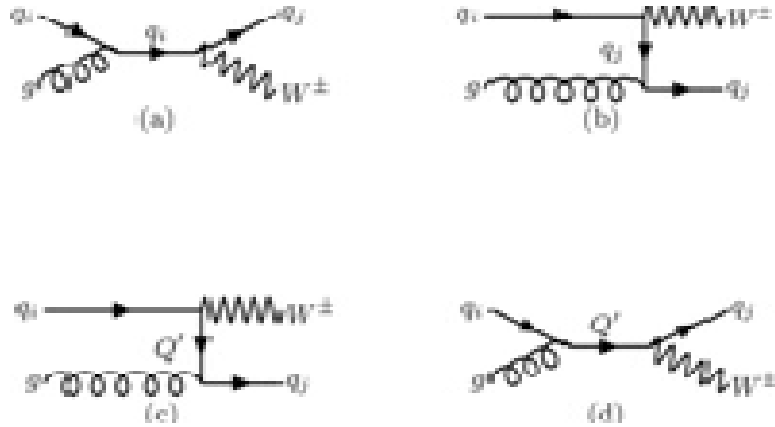
Tablo 1’de ağır kuark kütlesi $m_t'=600$ GeV için farklı anormal bağlaşım parametrelerine göre dallanma oranları (%), CompHEP programı kullanılarak hesaplanmıştır. Anormal bağlaşım küçük olduğunda dallanma oranları içerisinde en büyük katkı modu W⁺b kanalından gelmektedir. Bu durumda en küçük katkı foton ve kuark son durumlarından gelmektedir. Büyük anormal bağlaşımarda en büyük katkı gluon ve kuark anormal bağlaşımından gelmektedir. Tablo 2’de ise burada yapılan hesaplamaların benzeri 700 GeV kütle için yapılmış olup yine aynı kanallarda bozunumlar benzer sonuçları vermektedir.

Ek fermiyon ailesinin diğer parçacıklarla etkileşme terimleri CompHEP programına [9] yazılarak model dosyaları hazırlanmış ve hesaplamalar bu program kullanılarak yapılmıştır. Sayısal hesaplamalarda parton dağılım fonksiyonu (PDF) olarak CTEQ6M parametrizasyonu [10] kullanılmış ve $Q^2=m_t'^2$ olarak seçilmiştir.

Büyük Hadron Çarpıştırıcı'sında Yukarı Tipli Ağır Kuark

Tablo 2. $m_t=700$ GeV için farklı anormal bağlaşım parametrelerine göre dallanma oranları (%)

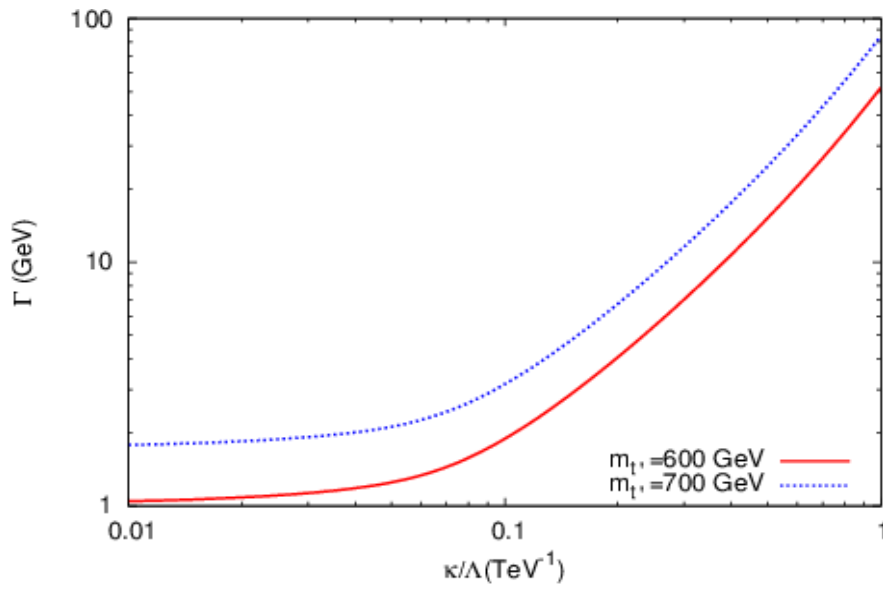
| κ/Λ (TeV^{-1}) | 0.01 | 0.05 | 0.1 | 0.5 | 1 |
|--|--------|-------|------|-------|--------|
| W^+d | 0.2 | 0.18 | 0.14 | 0.016 | 0.0042 |
| W^+b | 90 | 81 | 61 | 7.1 | 1.9 |
| W^+s | 9.7 | 8.7 | 6.6 | 0.77 | 0.2 |
| Zu | 0.01 | 0.23 | 0.71 | 2.1 | 2.2 |
| Zc | 0.01 | 0.23 | 0.71 | 2.1 | 2.2 |
| Zt | 0.0084 | 0.19 | 0.57 | 1.7 | 1.8 |
| γu | 0.0034 | 0.075 | 0.23 | 0.66 | 0.71 |
| γc | 0.0034 | 0.075 | 0.23 | 0.66 | 0.71 |
| γt | 0.0028 | 0.062 | 0.19 | 0.55 | 0.58 |
| G_u | 0.15 | 3.4 | 10 | 30 | 32 |
| G_c | 0.15 | 3.4 | 10 | 30 | 32 |
| G_t | 0.12 | 2.8 | 8.5 | 25 | 26 |



Şekil 1. $Q'q$ ($Q'=t$) köşesini içeren $q_i q_j \rightarrow W^+ q_j$ alt süreci için Feynman diyagramları

Tesir kesitinin sayısal hesaplanmasında Şekil 1'de verilen üretim diyagramları gözönüne alınmış ve rezonans durumu için t' kuarkın bozunma genişliği herbir kütle ve bağlaşım değeri için hesaplanarak modele eklenmiştir.

Şekil 2'de ise farklı anormal bağlaşım parametrelerine göre bozunma genişliği hesaplanmıştır. κ/Λ 'nın 0.1 TeV^{-1} değerinden itibaren bozunma genişliğinde önemli bir artış meydana gelmektedir. Ayrıca, 700 GeV kütledeki ağır kuarkın bozunma genişliğinin 600 GeV'dekine göre yaklaşık iki kat daha büyük olduğu gözlenmiştir.



Şekil 2. Farklı kütleler için bozunma genişliğinin anormal bağlaşım parametrelerine göre değişimi.

Tablo 3'de ise farklı anormal bağlaşım parametrelerine göre bozunma genişlikleri ve üretim tesir kesitleri (3. ve 4. sütunlar) hesaplarının sonuçları verilmiştir. Burada t' üretimi için hesaplanan tesir kesitlerinin, \bar{t}' üretimi için hesaplanan tesir kesitlerinden yaklaşık 4-5 kat büyük olduğu tespit edilmiştir.

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda Yukarı Tipli Ağır Kuark

Tablo 3. Kütle merkezi enerjisi $\sqrt{s}=14$ TeV'de $m_t=600$ GeV için ilgili sürecin tesir kesitleri (pb) ve aynı kütleyle karşı gelen ağır kuarkın farklı bağlaşım parametreleri için bozunma genişlikleri (GeV).

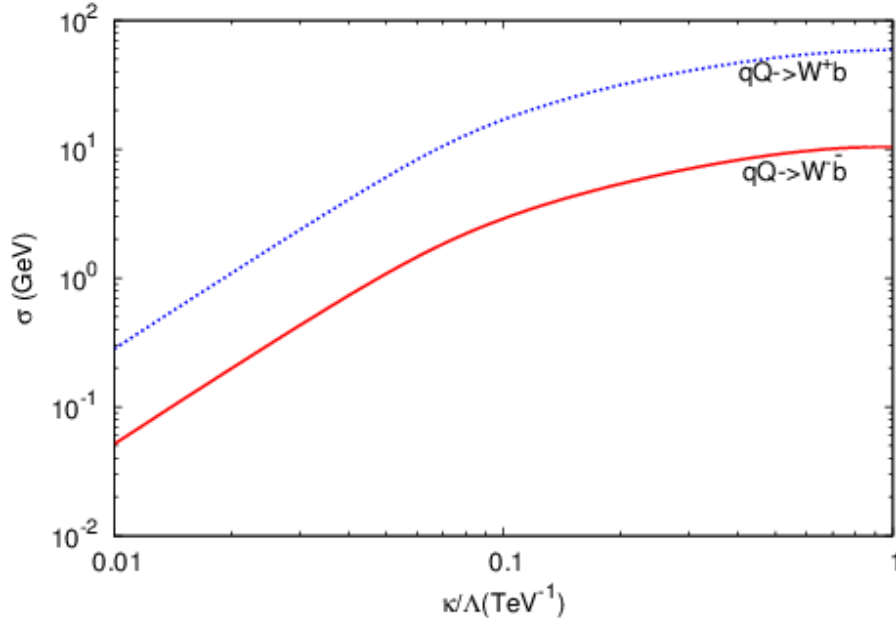
| κ/Λ (TeV ⁻¹) | Γ (GeV) | $\sigma(t')$ | $\sigma(\bar{t}')$ |
|---------------------------------------|----------------|--------------|--------------------|
| 0.01 | 1.043 | 0.339 | 0.078 |
| 0.03 | 1.083 | 3.4178 | 0.688 |
| 0.05 | 1.165 | 8.836 | 1.780 |
| 0.07 | 1.287 | 15.632 | 3.156 |
| 0.09 | 1.450 | 23.007 | 4.632 |
| 0.10 | 1.547 | 26.613 | 5.359 |
| 0.30 | 5.618 | 66.052 | 13.261 |
| 0.50 | 13.760 | 74.911 | 14.994 |
| 0.70 | 25.973 | 77.887 | 15.473 |
| 0.90 | 42.258 | 79.064 | 15.610 |
| 1.00 | 51.927 | 79.601 | 15.612 |

Tablo 4'de ise ağır kuark kütlesi $m_t=700$ GeV için farklı anormal bağlaşım parametrelerine göre bozunma genişlikleri ve üretim tesir kesitleri (3. ve 4. sütunlar) verilmiştir.

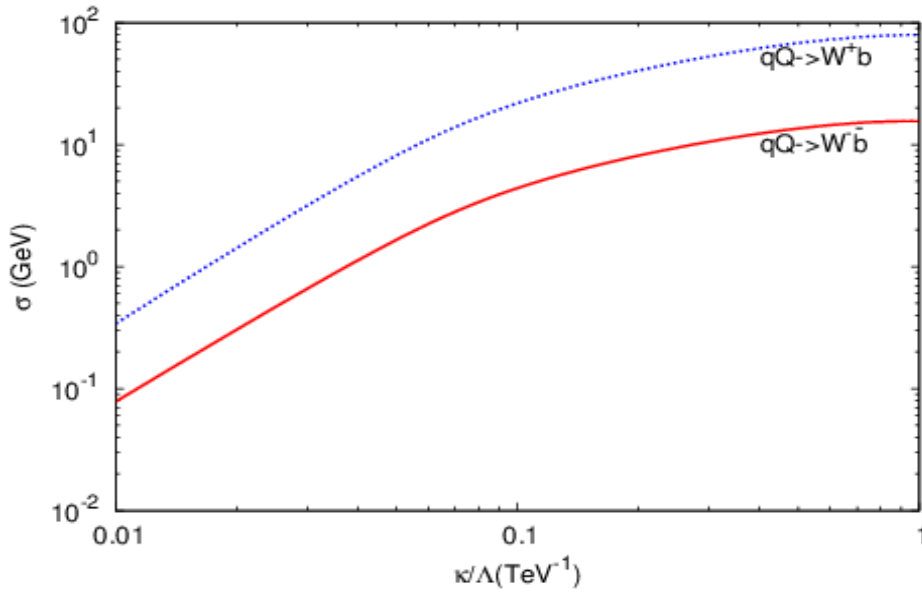
Tablo 4. Kütle merkezi enerjisi $\sqrt{s}=14$ TeV'de $m_t=700$ GeV için ilgili sürecin tesir kesitleri (pb) ve aynı kütleyle karşı gelen ağır kuarkın farklı bağlaşım parametreleri için bozunma genişlikleri (GeV).

| κ/Λ (TeV ⁻¹) | Γ (GeV) | $\sigma(t')$ | $\sigma(\bar{t}')$ |
|---------------------------------------|----------------|--------------|--------------------|
| 0.01 | 1.775 | 0.281 | 0.051 |
| 0.03 | 1.842 | 2.446 | 0.445 |
| 0.05 | 1.974 | 6.342 | 1.153 |
| 0.07 | 2.172 | 11.301 | 2.056 |
| 0.09 | 2.436 | 18.677 | 3.034 |
| 0.10 | 2.593 | 23.075 | 3.518 |
| 0.30 | 9.198 | 49.032 | 8.897 |
| 0.50 | 22.408 | 55.820 | 10.081 |
| 0.70 | 42.223 | 57.968 | 10.386 |
| 0.90 | 68.644 | 58.790 | 10.428 |
| 1.00 | 84.330 | 59.040 | 10.402 |

Şekil 3 ve Şekil 4’ de sırası ile ağır kuark kütlesi 600 ve 700 GeV alınarak tesir kesitleri çizilmiştir. Bu şekillerde κ/Λ ’nın 0.06 TeV^{-1} değerine kadar tesir kesitinde hızlı artış gözleendiği ve bu değerden itibaren bu artışın yavaşladığı gözlenmiştir. Ayrıca, her iki şekilde t' üretimi tesir kesiti protonda baskın u-kuark dağılımından dolayı \bar{t}' üretimi tesir kesitinden büyük olduğu gözlenmektedir.



Şekil 3. $m_t = 600 \text{ GeV}$ için anormal bağlaşım parametresine göre tesir kesitleri



Şekil 4. $m_t = 700 \text{ GeV}$ için anormal bağlaşım parametresine göre tesir kesitleri

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda Yukarı Tipli Ağır Kuark

Arkaplan tesir kesitlerinin değerleri, W bozona eşlik eden jetin enine momentumuna $p_T > 50$ GeV sınırı konularak W^+b için 0.698 pb ve W^-b için ise 0.671 pb elde edilmiştir. Diğer arkaplan katkısı olarak W^+j ve W^-j son durumunda hafif jetlerin 100 dışarlama faktörü ile katkısı sırasıyla 53.7 pb ve 38.7 pb olarak hesaba katılmıştır.

Analiz kısmında hesaplanan sinyal ve arkaplan tesir kesitlerinden faydalanarak sinyal istatistik önem (S/\sqrt{B}) değeri hesaplanmıştır. Burada S sinyal olaylarını ve B ise arkaplan olaylarını temsil etmektedir. Hesaplamalar sırasında b-etiketlemesi (%60) ve toplanmış ışıklık $L=100 \text{ fb}^{-1}$ değerleri kullanılmıştır.

Tablo 5'de t' (\bar{t}') üretimi tesir kesitleri (pb) ve istatistik önem (S/\sqrt{B}) değerleri, ağır kuark kütlesi 600 GeV, kütle merkezi enerjisi 14 TeV ve toplanmış ışıklık 100 fb^{-1} için farklı anormal bağlaşım parametrelerine göre verilmiştir. Aynı hesaplamalar Tablo 6'da ağır kuark kütlesi 700 GeV için verilmiştir. Bu tablolardan S/\sqrt{B} 'nin, κ/Λ arttığı zaman büyük değerler aldığı görülmektedir. Anormal bağlaşım $\kappa/\Lambda=0.01 \text{ TeV}^{-1}$ olduğunda 600 GeV ve 700 GeV kütleli ağır kuarklar t' için istatistik önemin sırasıyla 5.28 ve 4.377 olduğu bulunmuştur. Ağır karşıt-kuark \bar{t}' bozunumu son durumdaki yüklü lepton işaretinden algılanabildiği için Tablo 5 ve Tablo 6'da ayrıca gösterilmiştir. Bu durumda istatistik önem, 600 GeV ve 700 GeV kütle değerleri için sırasıyla 1.428 ve 0.939 elde edilmiştir.

Tablo 5. Kütle merkezi enerjisi 14 TeV ve toplanmış ışıklık 100 fb^{-1} için farklı anormal bağlaşım parametrelerine göre $m_t=600 \text{ GeV}$ için t' (\bar{t}') üretimi tesir kesitleri (pb) ve istatistik önem (S/\sqrt{B}) değerleri.

| $\kappa/\Lambda \text{ (TeV}^{-1}\text{)}$ | $\sigma(t') \text{ (}\sigma(\bar{t}')\text{)}$ | S/\sqrt{B} |
|--|--|--------------------|
| 0.01 | 0.339 (0.078) | 5.280 (1.428) |
| 0.05 | 8.836 (1.780) | 137.642 (32.592) |
| 0.10 | 26.610 (5.359) | 414.561 (98.125) |
| 0.50 | 74.911 (14.994) | 1166.920 (274.546) |
| 1.00 | 79.601 (15.612) | 1239.978 (285.862) |

Tablo 6. Kütle merkezi enerjisi 14 TeV ve toplanmış ışınlık 100 fb⁻¹ için farklı anormal bağlaşım parametrelerine göre m_t=700 GeV için t' (t̄') üretimi tesir kesitleri (pb) ve istatistik önem (S/√B) değerleri.

| κ/Λ (TeV ⁻¹) | σ (t') (σ (t̄')) | S/√B |
|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| 0.01 | 0.281 (0.0513) | 4.377 (0.939) |
| 0.05 | 6.342 (1.1537) | 98.791 (21.124) |
| 0.10 | 23.075 (3.518) | 359.448 (64.427) |
| 0.50 | 55.820 (10.081) | 869.531 (184.587) |
| 1.00 | 59.040 (10.402) | 919.690 (190.465) |

3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Büyük hadron çarpıştırıcısının kütle merkezi enerjisi $\sqrt{s} = 14$ TeV ve toplanmış ışınlığı 100 fb⁻¹ alındığında yukarı tipli ağır kuarkların anormal rezonans üretimi ile κ/Λ 'nın 0.01 TeV⁻¹ değerine kadar ulaşılabilceği gösterilmiştir. Burada son durum olarak b-jet+lepton+E_T kanalı için sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar elde edilirken süreçte üretilen W bozonun leptonik bozunma kanalı (BR=0.22) dikkate alınmıştır ve b-etiketlemesi kullanılmıştır. Sonuç olarak, ağır kuarkların yüksek enerjili çarpıştırıcılarda araştırılması kütle ve çeşni üzerine bakış açısını genişletecektir.

KAYNAKLAR

- [1] G. Aad *et al.* ATLAS Collaboration, 2013. Phys.Lett. B 718, 1284-1302.
- [2] S. Chatchyan *et al.* CMS Colaboration, 2012. Phys.Lett. B718, 307-328.
- [3] TEVNPH, Tevatron New Phenomina and Higgs Working Group and CDF and D0 Collaborations), FERMILAB-CONF-12-065-E, CDF-NOTE-10806, D0-NOTE-6303 arXiv:1203.3774 [hep-ex].
- [4] G. Aad *et al.* ATLAS Collaboration, 2012. Phys. Lett. B716, 1.
- [5] S. Chatrchyan *et al.* CMS Collaboartion, 2012. Phys. Lett. B 716, 30.
- [6] G. C. Branco, P. M. Ferreira, L. Lavoura, M.N. Rebelo, M. Sher and J.P. Silva, 2012. Phys. Rept. 516, 1.

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda Yukarı Tipli Ağır Kuark

- [7] İ. T. Çakır, *et al.*, 2009. Phys. Rev. D 80, 095009.
- [8] G. Eilam, B. Melic and J. Trampetic, 2009. Phys. Rev. D. 80, 116003.
- [9] E. Boss *et al.* [CompHEP Collaboration], 2004. Nucl. Instrum. Meth. A 534, 250.
- [10] J. Pumplin, D. R. Stump, J. Huston, H.L. Lai, P. M. Madolsky and W. K. Tung, 2002. JHEP0207, 012.