

Karşıt Üst Kuarkın Lepton-Hadron Çarpıştırıcılarında Tek Üretimi

Hüsnü Aksakal^{1,*}, Vahide Akgül Çavga¹

¹Niğde Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 51240, Niğde, Türkiye
*yazışılan yazar e-posta: haksakal@nigde.edu.tr

Alınış: 27 Aralık 2013, Kabul: 20 Ekim 2015

Özet: Bu çalışmada, karşıt üst kuarkın Büyük Hadron elektron çarpıştırıcısında (LHeC' de) tek üretim $e + p \rightarrow \nu_e + \bar{t}$ süreci vasıtasıyla incelenmiştir. Diferansiyel tesir kesitinin kütleyle, hızlılığa, karşıt üst kuarkın enine momentumuna ve $e - \nu_e$ arasındaki açıya göre değişimi araştırılmıştır. Diferansiyel tesir kesiti CompHEP simülasyon programı kullanılarak elektron demeti enerjileri 60 GeV ve 140 GeV için incelenmiştir. Standart Model çerçevesinde incelenen süreçte protonun deniz kuarklarından \bar{b} , \bar{d} , \bar{s} kuarkları sürece katılır ve karşıt üst kuarkın tesir kesitine katkıda bulunur. Ayrıca farklı parton dağılım fonksiyonları (cteq6l ve cteq6m) kullanılarak tesir kesiti hesaplanmış ve aradaki fark vurgulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Karşıt üst kuark, hızlılık, diferansiyel tesir kesiti, CompHEP

Single Antitop Quark Production at Lepton Hadron Collider

Abstract: In this study, single antitop quark production at Large Hadron electron Collider (LHeC) is investigated via $e + p \rightarrow \nu_e + \bar{t}$ process. Dependencies of differential cross section with respect to mass, rapidity, transverse momentum of antitop quark and angle between $e - \nu_e$ have been investigated. Differential cross section has been investigated by CompHEP simulation code with e- beam energies at 60 and 140 GeV. In the examined process within the Standart Model, proton sea quarks \bar{b} , \bar{d} , \bar{s} have contribution to the cross section of antitop. Furthermore, differential cross section has been calculated using different parton distribution function (cteq6l and cteq6m) and difference has been emphasised.

Key words: Antitop quark, rapidity, differential cross section, CompHEP

1. Giriş

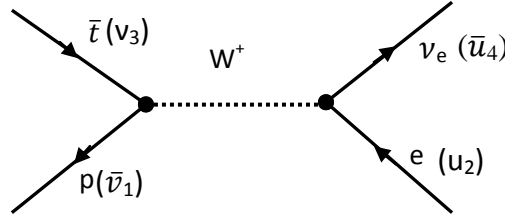
Büyük Hadron elektron (LHeC) çarpıştırıcısı ile lineer hızlandırıcıdan gelecek 60 ve 140 GeV'lik enerjiye sahip elektron demeti ile LHC' den gelecek olan proton demeti çarpıştırılması amaçlanmaktadır. LHeC' te $e^- + p \rightarrow \nu_e + \bar{t}$ süreci ile karşıt üst kuarkın tek üretimi gerçekleştirilmesi planlanmaktadır [1,2,3]. Protonun deniz kuarklarından \bar{s} , \bar{b} ve \bar{d} , W^+ ara parçacığı ile karşıt üst kuark üretimine katkıda bulunmaktadır. Karşıt üst kuarkın üretimi Feynmann diyagramı Şekil 1'de verildiği gibidir [1,4,5]. Burada \bar{v}_1 protonun deniz kuarklarından \bar{b} , \bar{d} , \bar{s} kuarklarından birini gösterir. u_2 elektronu, ν_3 karşıt üst kuarkı, \bar{u}_4 ise elektron nötrinosunu göstermektedir.

Bu sürece ait diferansiyel tesir kesiti

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{\hbar c}{8\pi}\right)^2 \frac{S|M|^2}{(E_1 + E_2)^2} \frac{|p_f|}{|p_i|} \quad (1)$$

Burada \hbar indirgenmiş Planck sabiti, $|p_f|$ ve $|p_i|$ son ve ilk parçacıkların momentum büyüklükleri, E_1 ve E_2 ise 1 ve 2 nolu parçacığın enerjisini göstermektedir. S istatistiksel faktör (son durumda özdeş parçacık olmadığından 1 alınır), M^2 ise genliğin karesi olup aşağıdaki formdadır.

$$M^2 = [g_w^2 V_{ij}]^2 \frac{(p_1 p_4)(p_2 p_3)}{((p_1 - p_3)^2 - (m_w c)^2)} \quad (2)$$



Şekil 1. Karşıt (\bar{t}) üst kuarkın tek üretimi

Burada V_{ij} Kobayashi-Maskawa matrisi olup i sırasıyla $\bar{b}, \bar{d}, \bar{s}$ kuarklarını gösterirken j ise \bar{t} kuarkını göstermektedir. Ayrıca denklem (2) de, $g_w = \frac{\alpha_e}{\sin \theta_w}$ olup burada $\alpha_e \left(\frac{1}{137} \right)$, ince yapı sabiti, θ_w ise Wienberg açısı olup standart model sabitidir. Ayrıca p_1, p_2, p_3 ve p_4 ise sırasıyla 1., 2., 3. ve 4. parçacıkların momentumudur. Burada m, W^{+} ' nin kütesidir. $M^2(1)$ denkleminde yerine yazıldığında tesir kesiti için son ifade bulunmuş olur [1,6].

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{\hbar c}{8\pi} \right)^2 \frac{1}{(E_1 + E_2)^2} \left([g_w^2 (V_{ij})]^2 \frac{(p_1 p_4)(p_2 p_3)}{((p_1 - p_3)^2 - (m_w c)^2)} \right) \frac{|p_f|}{|p_i|} \quad (3)$$

Karşıt üst kuarkının tek üretimi ağır kütesinden dolayı hem Standart Model ötesi parçacıklara bozunma ihtimali içermesinden dolayı hemde çeşni değişimini içerdiğinden dolayı büyük öneme sahiptir. Karşıt üst kuark bozunumu Standart Model çerçevesinde %95 oranında $W\bar{b}(\bar{d}, \bar{s})$ olmaktadır [2]. Antitop (\bar{t}) üretiminin LHeC ile daha yüksek kütle merkezinde yapılacak olması protonun yapısını daha iyi anlamamızı sağlayacaktır [2,4,7,8,9].

2. Materyal ve Metot

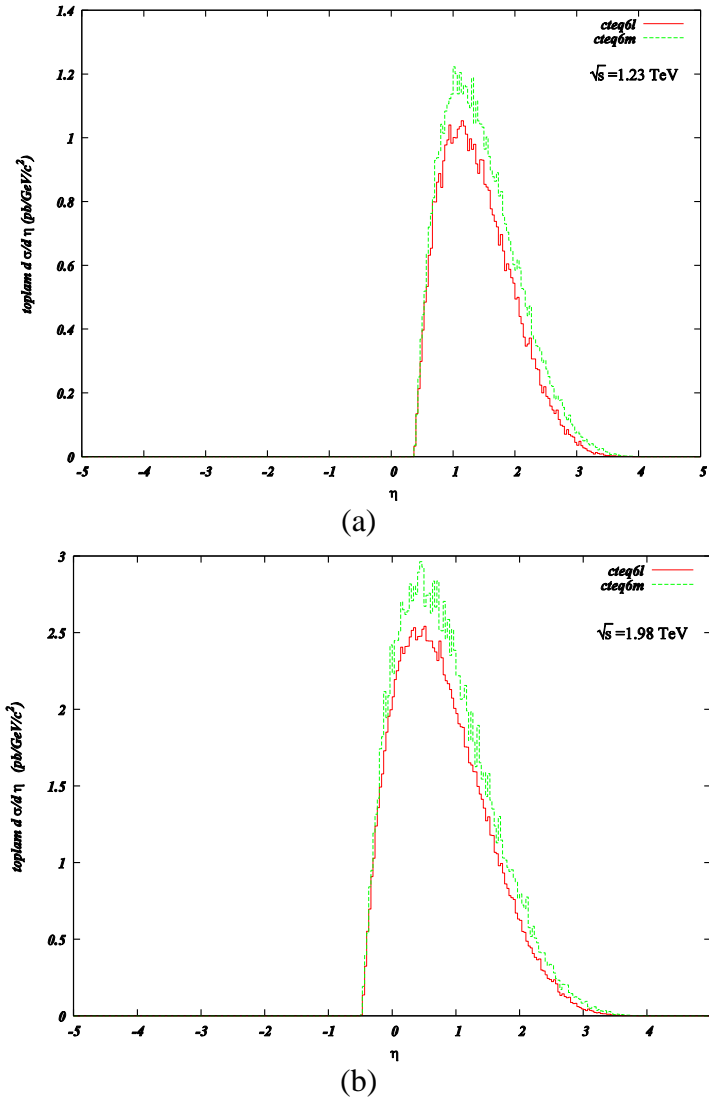
Bu çalışmada karşıt üst kuarkın tek üretimi Computation in High Energy Physics (CompHEP) 4.5.1 programı kullanılarak incelenmiştir. CompHEP Monte Carlo tekniğini kullanarak simülasyon yapan çoğunlukla Linux işletim sisteminde çalıştırılan ve C dilinde yazılmış bir programdır. Diferansiyel tesir kesitinin hızlık, enine momentum ve elektron-nötrino arasındaki açı ile ilgili değişimi CompHEP ile elde edilmiştir [10,11,12]. İlgili grafikler Gnuplot çizim programı yardımıyla elde edilmiştir [13]. Hesaplamalarda ışık hızı, $c=1$ olan doğal birim sistemi kullanılmıştır. Dolayısı ile bulgular ve tartışma bölümünde c yerine 1 konulabilir.

3. Bulgular ve Tartışma

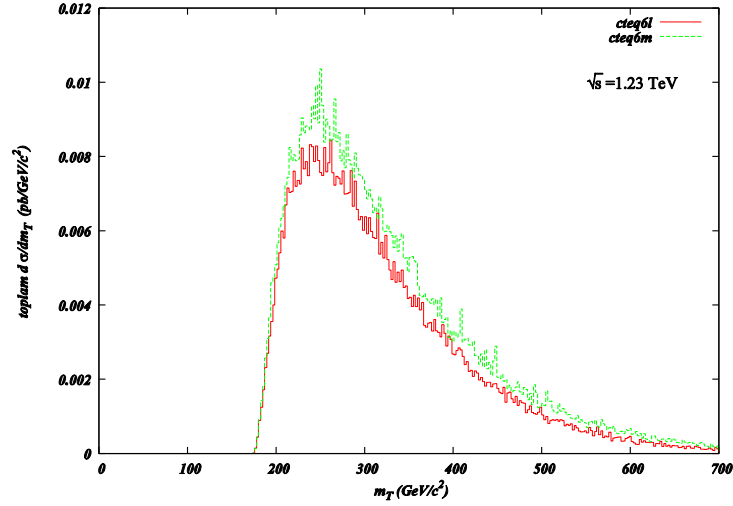
Bir sürecin tesir kesiti, o sürecin olay sayısı ile doğru orantılıdır. ($R = \sigma L$ burada R olay sayısı, σ tesir kesiti, L ise çarpıştırıcının toplam ışınlık-bir yıl süresince demetlerin birim zamanda birim cm^2 deki çarpışma sayısı- değeridir.) Toplam tesir kesiti ise diferansiyel tesir kesitinin integralidir. Bu kapsamda tesir kesitinin yüksek oluşu $e + \bar{b} \rightarrow e + \bar{t}$ sürecinde üretilecek karşıt üst kuark sayısının fazla olacağı anlamına gelmektedir. Diferansiyel tesir kesitinin değerinin önemi anlaşıldıktan sonra alacağı değerlerin nasıl değiştiği makalede anlatılmıştır.

Diferansiyel tesir kesitleri hesaplanırken süreçlerde kullanılan deniz kuarklarından gelen karşıt alt (\bar{b}), karşıt aşağı (\bar{d}) ve karşıt acaip (\bar{s}) kuarkları, karşıt üst kuark (\bar{t}) üretim sürecine katkıda bulunur.

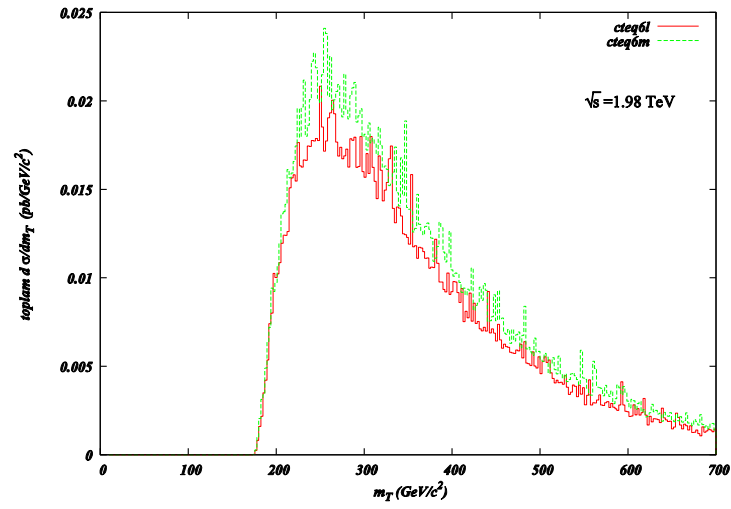
Toplam diferansiyel tesir kesitlerinin hızlılık (η -rapidity)'a göre değişimi Şekil 2'de verildiği gibidir. Şekil 2(a)'dan görüldüğü gibi tesir kesiti $\sqrt{s} = 1.23 \text{ TeV}$ de en yüksek pik değerini hızlılığın 1.3 değerinde almaktadır ve diferansiyel tesir kesiti değeri cteq6m için 1.2pb dolaylarında, cteq6l için ise 1.0pb dolaylarındadır. Şekil 2(b)'de ise bu diferansiyel tesir kesiti yaklaşık 2 kat artmaktadır. Elektron demeti enerjisinin 60 GeV'den 140 GeV'e artırıldığı durumdakı toplam diferansiyel tesir kesitinin pik konumu hızlılığın sıfır değerine yaklaşmakta ve diferansiyel tesir kesitindeki anti simetriklik azalmaktadır.



Şekil 2. (a) $\sqrt{s} = 1.23 \text{ TeV}$, (b) $\sqrt{s} = 1.98 \text{ TeV}$ de $e + p \rightarrow \nu_e + \bar{t}$ süreci toplam diferansiyel tesir kesitinin hızlılığa göre değişimi



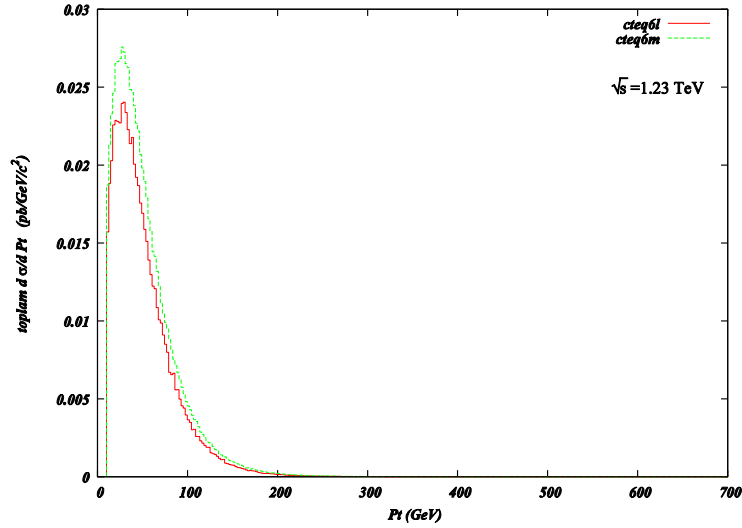
(a)



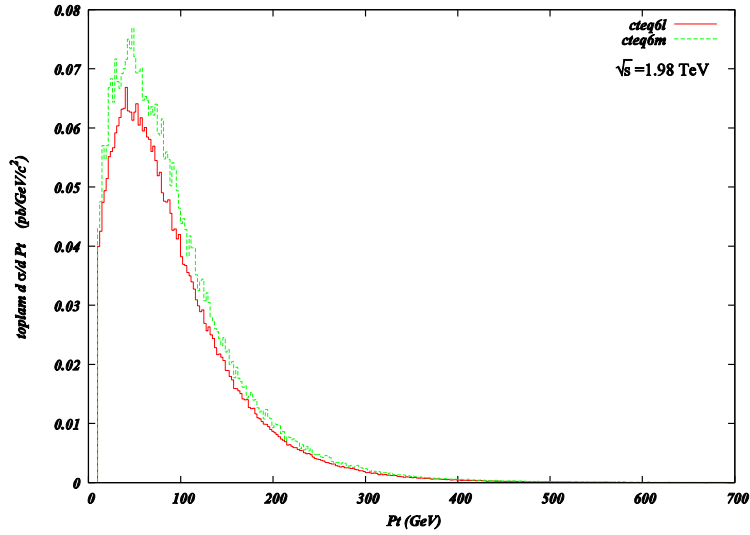
(b)

Şekil 3.(a) $\sqrt{s} = 1.23 \text{ TeV}$, (b) $\sqrt{s} = 1.98 \text{ TeV}$ ' de $e + p \rightarrow \nu_e + \bar{t}$ süreci diferansiyel tesir kesitinin enine \bar{t} kütesine (m_T) göre değişimi.

Şekil 3 (a) ve (b)' de toplam diferansiyel tesir kesitinin karşıt üst kuarkın enine kütesine ($m_T = \sqrt{m_{top}^2 + p_T^2}$) göre değişimi görülmekte olup $\sqrt{s} = 1.98 \text{ TeV}$ ' de $\sqrt{s} = 1.23 \text{ TeV}$ ' e göre daha büyük çıkmıştır. Elektron demeti enerjisinin 60 GeV' den 140 GeV' e artırıldığı durumda karşıt üst kuarkın kütesinin pik konumu 200 GeV/c² değerine yaklaşmakta ve diferansiyel tesir kesitindeki anti simetriklik azalmaktadır. Anti simetrikliğin sebebi çarpıştırıcının e ve p enerjilerinin farklı olması iken diferansiyel tesir kesitinin farklı çıkma sebebi ise kütle merkezi enerjisinin artmasıdır.



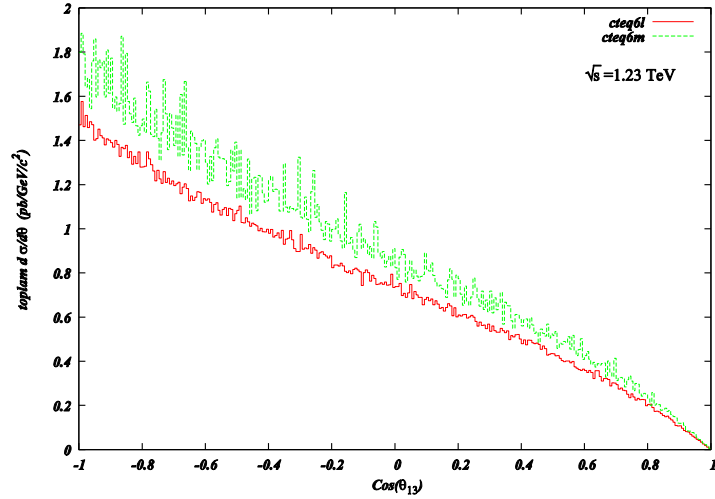
(a)



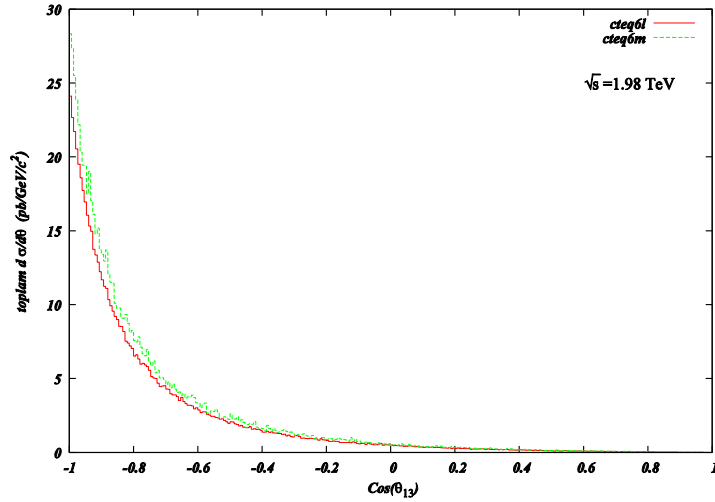
(b)

Şekil 4. (a) $\sqrt{s} = 1.23 \text{ TeV}$, (b) $\sqrt{s} = 1.98 \text{ TeV}$ $+ p \rightarrow \nu_e + \bar{t}$ süreci diferansiyel tesir kesitinin enine momentuma göre değişimi

Şekil 4(a) ve (b)' de toplam diferansiyel tesir kesitinin karşıt üst kuarkın enine momentumuna göre değişimi görülmekte olup $\sqrt{s} = 1.98 \text{ TeV}$ ' de $\sqrt{s} = 1.23 \text{ TeV}$ 'e göre daha büyük çıkmıştır ayrıca elektron demeti enerjisinin 60 GeV' den 140 GeV' e artırıldığı durumda enine momentumun pik konumu 30 GeV/c dolaylarından, 50 GeV/c dolaylarına doğru değeri artmaktadır. Şekil 4b' de görüldüğü gibi tesir kesiti en yüksek pik değerini karşıt üst kuarkın enine momentumun 40 GeV/c değerinde vermektedir ve bu tesir kesiti değeri cteq6m için 0.071 pb/GeV dolaylarında, cteq6l için ise 0.065 pb/GeV dolaylarındadır. Toplam diferansiyel tesir kesitleri Şekil 4a' da yaklaşık 3 kat düşük çıkmıştır.



(a)



(b)

Şekil 5. $\sqrt{s} = 1.23 \text{ TeV}$ (a), $\sqrt{s} = 1.98 \text{ TeV}$ (b)' de $e + p \rightarrow \nu_e + \bar{t}$ süreci diferansiyel tesir kesitinin e ve ν_e arasındaki açıya göre değişimi

$e + \bar{b} \rightarrow \nu_e + \bar{t}$ süreci, için 1 nolu parçacık elektron, 2 nolu parçacık \bar{b} , \bar{d} , \bar{s} kuarklarını, 3 nolu parçacık elektron nötrinosunu, 4 nolu parçacıkta \bar{t} kuarkını göstermektedir. Şekil 5 a' dan görüldüğü gibi 60 GeV' de diferansiyel tesir kesiti en yüksek değerini elektron ile elektron nötrinosu arasındaki açının $\cos\theta_{13} = \pi$ olduğu durumda açının kosinüsünün değeri -1' e yaklaşırken diferansiyel tesir kesiti maksimum değere sahiptir. $\cos\theta_{13} = 0$ olduğu durumda açının kosinüsünün değeri +1' e yaklaşırken diferansiyel tesir kesiti azalarak sıfıra yaklaşmaktadır. Bu tesir kesiti değeri cteq6m için 2.1pb iken, cteq6l için ise 2pb civarındadır. Şekil 5 (a)' da diferansiyel tesir kesiti 140 GeV' de en yüksek değerini açının $\cos\theta_{13} = \pi$ olduğu durumda açının kosinüsünün değeri -1'de vermektedir. $\cos\theta_{13} = 0$ olduğu durumda açının kosinüsünün değeri +1 değerine doğru yaklaşırken diferansiyel tesir kesiti azalarak sıfıra yaklaşmaktadır. Bu tesir kesiti değeri cteq6m için 28 pb dolaylarında, cteq6l için ise 24 pb dolaylarındadır. Şekil 5 (a)'dan görüldüğü gibi elektron demeti enerjisi 60 GeV' de toplam diferansiyel tesir kesiti değeri yaklaşık lineer azalmakta iken, Şekil 5(b)' de $E_e=140 \text{ GeV}$ ' de ise üstel şekilde azalmaktadır.

4.Tartışma ve Sonuç

Toplam tesir kesiti deniz kuarklarından gelen $\bar{b}, \bar{d}, \bar{s}$ alt süreçleri için 3,06244 pb olarak bulunmuştur. Toplam tesir kesitine en büyük katkı sırasıyla \bar{b} (3,0488 pb) kuarkı, \bar{d} (3,0615 10^{-4} pb) kuarkı ve \bar{s} (1,1127 10^{-2} pb) kuarkından geldiği bulunmuştur. Çünkü CKM matris elemanı $V_{tb} > V_{ts} > V_{td}$ büyüklük sırasına sahiptirler ve diferansiyel tesir kesiti bu matris elemanı ile doğru orantılıdır. Farklı parton dağılım fonksiyonları (PDF) aynı sonucu vermesi gerekirken bu fark PDF'leri arasındaki $\bar{b}, \bar{d}, \bar{s}$ kuarkların dağılımındaki belirsizlikten kaynaklanmaktadır.

Karşıt üst kuark üretildikten sonra detektörde bırakacağı iz onun momentumu ile ilgilidir. Momentum korunumundan, gelen ve çıkan parçacıklardan birinin aralarındaki açı karşıt üst kuark doğrultusunda bilgi verecektir. Yukarıda tartışılan $\cos\theta_{13}$ durumundan anlaşılacağı üzere karşıt üst kuark protonun geliş doğrultusuna yakın bir doğrultuda üretilecektir

Son durumda sadece karşıt üst kuark detektör tarafından tespit edilecektir. İyi ölçülmüş bir karşıt üst kuark tesir kesiti ile patron dağılım fonksiyonlarının kuark bağımlılığı daha doğru belirlenmiş olacağından bu sürecin deneysel çalışılması ile cteq6l ve cteq6m arasındaki fark da ortadan kalkmış olacaktır.

Kaynaklar

- [1] Griffiths D., 1987. Introduction to elementary particles, *John Wiley & Sons, Inc.*, p. 262.
- [2] Abelleira J. L., Fernandez et al., 2012. Report on the Physics and Design Concepts for Machine and Detector, A Large Hadron Electron Collider at CERN, *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 39 (075001):1-630.
- [3] McMohan D., 2008. Quantum field theory, *The McGraw Hill*, p 83.
- [4] <http://www.ep.ph.bham.ac.uk/exp/LHeC/> (Erişim tarihi:06.06.2013).
- [5] Martin B.R., Shaw G., 1992, Particle physics, 2nd Ed., *John Wiley&SonsInc.*, p. 265.
- [6] Akgül Ç.V., 2014. Karşıt üst kuarkın LHeC'te tek üretimi, yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde Üniversitesi, Niğde, p. 27.
- [7] Aksakal H., 2007. CLIC-LHC'ye dayalı gama proton çarpıştırıcısının incelenmesi, doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara, p.34.
- [8] Krane K. S., 1988. Nükleer fizik, 2. Baskı, Çeviri Editörü: Başar Şarer, *John Wiley&Sons, USA*, p. 295.
- [9] Atag S., Cakir O., Dilek B., 2001. Anomalous Wtb coupling in ep collision, *Physics Letters B*, 522(1-2): 76-82.
- [10] Boos, E., Bunichev, V., Dubinin, M., Dudko, L., Ilyin, V., Kryukov, A., Edneral, V., Savrin, V., Semenov, A., Sherstnev, A., (theCompHEPcollaboration), 2004. CompHEP4.4: Automatic computations from Lagrangians to events, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 534: 250-259.
- [11] Pukhov A., Boos E., Dubinin M., Edneral V., Ilyin V., Kovalenko D., Kryukov A., Savrin V., Shichanin S., Semenov A., 2000. CompHEP-a package for evaluation of Feynman diagrams and integration over multi-particle phase space. User's manual for version 3.3, INP MSU report 98-41/542.
- [12] <http://comphep.sinp.msu.ru/> (Erişim tarihi 06.08.2013).
- [13] Williams T., Kelley, C. et al. [gnuplot development team] 2010. Gnuplot4.5: an interactive plotting program. <http://gnuplot.info> (Erişim tarihi 07.07.2011).

Vahide AKGÜL ÇAVGA e-posta: vahide_akgul@hotmail.com