



SERT ep SAÇILMASINDA χ_g 'UN ÇALIŞILMASI

Hatice DURAN YILDIZ

Dumlupınar University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics,
Main Campus, Kütahya, TURKEY, e-mail: hyildiz@dumlupinar.edu.tr

Alınış: 14 Mart 2008, Kabul: 04 Nisan 2008

Özet: Bu çalışmada ep ve γp çarpıştırıcısı, $\sqrt{s} = 1.4 \text{ TeV}$ kütle merkezi enerjisinde, proton-parton yapı fonksiyonu $G(\chi_g, Q^2)$, foton yapı fonksiyonu $f_\gamma(\chi, Q^2)$, küçük χ_g , χ ve Q^2 değerlerinin sert saçılma için elde edilen sonuçları sunulmaktadır. Bu sonuçlar, DESY Laboratuvarındaki HERA ve THERA Deneylerinde ep ve γp çarpıştırıcılarındaki saçılmaların sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Bu çalışma, saçılma çalışmaları için duyarlılıkların belirlenmesinde ve çarpışmanın temelindeki içeriği; gluon-kuark iç yapısını anlamada geniş görüş imkanı sağlar. χ_g bölgesinin araştırılması; ep 'de pp ve $p\bar{p}$ çarpıştırıcılarına göre daha büyük avantaja sahiptir. Burada $ep \rightarrow b\bar{b}Xe$ ve $ep \rightarrow c\bar{c}Xe$ bozunumlarındaki son durumlar PYTHIA programı kullanılarak çalışılmış ve bu parçacıkları için; tesir kesitleri ve bozunma genişlikleri elde edilmiştir. Ayrıca χ_g için bulunan optimum partonik düzey sonuçları verilmektedir.

Anahtar Kelimeler:Yapı fonksiyonu, sert saçılma, küçük χ_g , PYTHIA, partonik düzey

STUDY OF χ_g IN ep HARD SCATTERING

Abstract: This work presents the obtained values of proton-parton structure function $G(\chi_g, Q^2)$, photon structure function $f_\gamma(\chi, Q^2)$, small χ_g , χ , and Q^2 at $\sqrt{s} = 1.4 \text{ TeV}$ center of mass energies of ep and γp colliders in hard scattering. Results are compared with data, in which are obtained from scattering at DESY Laboratory HERA and THERA Experiments of ep and γp colliders. Study of this subject provides to understand experiment sensitivity of the scattering studies and supplies wide possibility of view for inner structure of gluon-quark plasma. Searching small χ_g region at ep colliders has some crucial advantages with respect to pp and $p\bar{p}$ colliders. In this study, final states of $ep \rightarrow b\bar{b}Xe$ and $ep \rightarrow c\bar{c}Xe$ decays are searched by using simulation program-PYTHIA and for final state particles, cross-sections and decay widths are obtained. In addition to above searches, calculated optimum partonic level results are given for small χ_g .

Keywords: Structure function, hard scattering, small χ_g , PYTHIA, partonic level

1. GİRİŞ

Kompakt Lineer Çarpıştırıcı (CLIC), Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi'nin (CERN) en önemli lineer çarpıştırıcı projelerinden birisidir (CLIC 2000). Çarpıştırılacak elektron ve pozitronların 5 TeV'lik kütle merkezi enerjisi ve $L = 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ışınlığa ulaşması beklenmektedir. Bu çalışmada, χ_g 'un bulunması için teoriksel yaklaşımlar kullanılarak matematiksel yöntemler verilmekte ve $ep \rightarrow c\bar{c}X$ kanalı için Feynman diagramlarından yararlanılarak; χ_g 'un hesaplanması için PYTHIA programı kullanılmakta olup elde edilen çıktılar sunulmaktadır. Ayrıca $ep \rightarrow c\bar{c}X$ ve $ep \rightarrow b\bar{b}X$ kanallarının analiziyle elde edilen sonuçlar, DESY'deki HERA ve THERA Deneylerinin sonuçlarıyla karşılaştırılmaktadır.

2. MATERYAL VE METOD

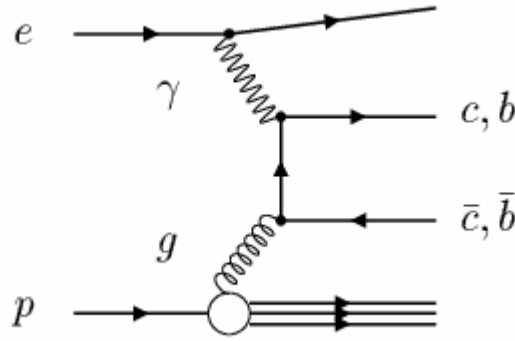
2.1 CLIC Deneyi ve QCD-Explorer

CLIC lineer ve LHC (Büyük Hadron Çarpıştırıcısı)-dairesel çarpıştırıcısının bir dalı; CLIC*LHC-QCD Explorer olarak tanımlanır ve e^-p çarpıştırıcılarının şu ana kadar ulaşılmış en yüksek kütle merkezi enerjisine sahip olacağı beklenmektedir (GROSSE-WIESMANN 1989). Elektron için 75 GeV ve proton için 7 TeV toplam demet enerjisi ise, kütle merkezi enerjisi $\sqrt{s} = 2\sqrt{(E_1 E_2)} = 1.4 \text{ TeV}$ şeklindedir.

Temel çarpıştırıcı parametreleri fizik çalışmalarında önemli rol oynarlar. Özellikle demet enerjisinin dağılımı, başlangıç radyasyonu ve temel parçacıkların Standard Modelinin ötesinde yeni parçacıkların üretimleri üzerine "Beamstrahlung" etkileri çalışılan bozunum ve üretim kanallarında içerilmelidir. Sinyal ve rezonans pikleri ışınlık ile yakından ilişkilidir. ışınlık- L ve tesir kesiti- σ , $R = L\sigma$, R olay oranıdır. QCD-Explorer için $L = 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 'dir. Lineer-halka tipli e^-p çarpıştırıcılarında $L_{ep} = N_e N_p f_c \gamma_p / 4\pi \epsilon_p \beta_p^*$, β demet aralığı ve $\epsilon \rightarrow \pi \text{ rad.m}$. Gerçek CLIC ve LHC demet parametreleriyle ışınlık $L = 10^{28} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ değerindedir fakat yenilemelerle $10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ değerinin başarılacağı beklenmektedir (SULTANSOY 2003). Bu ışınlık değeri ile, QCD Explorer'un sağlayacağı eşsiz bilgi, LHC datalarının uygun yorumlanmasında önemli rol oynayacaktır.

2.2 Elektron-Proton Saçılmasındaki Kinematik Nicelikler

Elektron-proton etkileşmelerinde, ağır kuarklar özelliklerini alt süreçlere yansıtırlar ve kütleleri Kuantum Renk Dinamiği-QCD'deki pertürbasyon metodunun uygulanmasına izin verir. Dik enerji gibi sert skalanın olmadığı bölgelerde teorinin test edilmesini sağlar. Maddenin yapısının detayına inildiğinde, gluonik içerikte ağır kuarklar elde edilebilir. Şekil 1'de e^-p saçılmasında $c\bar{c}$ ve $b\bar{b}$ üretimlerinin Feynman diagramı görülmektedir. Yapı fonksiyonları $G(\chi_g, Q^2)$ ve $f_\gamma(\chi, Q^2)$ 'deki ayar ihlallerinin logaritmik şeklinin gözlenebilmesinden dolayı QCD'nin gelişiminde sert inelastik saçılma önemli rol oynamaktadır. Yapı fonksiyonlarının ölçümündeki kesinlikler ve son durum karakteristiklerinin belirlenebilmesi, sert inelastik bölgede Bjorken Skalasının $\chi = (Q^2/2p.q) = (-q^2/2p.q)$ şeklinde elde edilebilir olmasıyla mümkündür.



Şekil 1. $ep \rightarrow c\bar{c}Xe$ ve $ep \rightarrow b\bar{b}Xe$ kanalları için Bozon Gluon füzyonu.

Yüksek ışınlıkta kinematik değişkenler: momentum transferi $Q^2 (-q^2)$ ve gluon enerjisinin protonunkine oranının, $\chi_g = E_g/E_p$ bulunabilir olmaları QCD'nin detaylı öğrenilmesini, böylece protonun iç yapısındaki kuark-gluon denge oranını, temel parçacıkların birbiriyle olan ilişkilerini ve temel parçacıklara kütle kazandıran nesnenin-maddenin orijininin-ne olduğunun anlaşılmasını sağlar. $e^- p$ saçılmasının kinematik korunum ifadeleri:

$$\hat{S} = (p_\gamma + p_{gluon})^2 = (q + \chi_g p_{prot})^2 \quad (1)$$

$$s = (p_{prot} + p_{elek})^2 = \left(\frac{q}{\chi_\gamma} + \frac{p_{gluon}}{\chi_g} \right)^2 \quad (2)$$

\hat{S} burada altsürecin s ise ana sürecin kütle merkezi enerjisini vermektedir.

$$\hat{S} = \chi_g \chi_\gamma s \quad \text{ve} \quad \chi_g = \chi(1 + \hat{S}/Q^2) \quad (3)$$

$$Q^2 = \hat{S}/2 \quad (4)$$

burada Q^2 ise enerji transferidir.

$$\hat{S} = \tau s = y \chi s \quad (5)$$

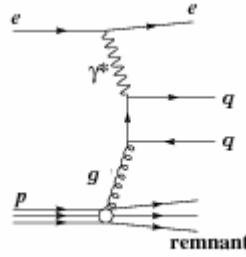
$$y = E_\gamma/E_e \quad (6)$$

$$\chi = Q^2/2p \cdot q \quad (7)$$

y burada inelastiklik ve χ 'te Bjorken Skalasıdır. İnelastik saçılma sürecinde, bütün son durumlar üzerinden toplam ifadesi:

$$\frac{d^2 \sigma_{ep \rightarrow eX}}{d\chi dQ^2} = \frac{4\pi\alpha_{em}^2}{\chi Q^4} [\chi y^2 F_1(\chi, Q^2) + (1-y)F_2(\chi, Q^2)] \quad (8)$$

şeklinde verilir. Burada F_1 ve F_2 , protonun yapı fonksiyonlarıdır, $2\chi F_1 = F_2$ 'dir ve α_{em} elektromagnetik bağlaşım sabitidir.



Şekil 2. Weiss-Zacker Williams fotonlarının oluşumu

Elektron-proton saçılmasında $e^- p \rightarrow q\bar{q}Xe$ (burada q ve \bar{q} kuark ve antikuarkları gösterir) fazla miktardaki sürüklenmeden kaynaklı çıkışta elektronlar görülmez. Onların yerine Şekil 2'deki gibi γ^* (sanal foton) görülür. Bunlar istenmeyen fonlardır. γ^* , Weiss-Zacker Williams fotonları olarak adlandırılır ve elektron alanındaki fotonlar olarak bilinir.

3. BULGULAR

3.1 Bozunum Kanalının Analizi ve Olayların Üretimi

$e^- p$ saçılmasında, $e^- p \rightarrow g\gamma$ ve $g\gamma \rightarrow q\bar{q}$ kanalları ($q=c, b$) üzerine işlem yapılmıştır çünkü deneysel olarak yalnızca b kuark'ı içeren hadronlar ve onların bozunan parçacıklarında b kuark tekil olarak gözlenebilir. Oldukça küçük $\chi_g=10^{-5}-10^{-6}$, yeterince büyük $Q^2=1-10 \text{ GeV}^2$ bölgeleri alınarak bu bölgelerde $c\bar{c}$ ve $b\bar{b}$ çiftlerinin üretimleri araştırılmıştır. χ_g (protondan gluona ne kadar enerji geçtiğinin ölçüsüdür), QCD ayar ihlallerini içerecek şekilde saçılma süreci için doğru tanımı verir. $e^- p \rightarrow g\gamma$ ve $g\gamma \rightarrow q\bar{q}$ kanallarında $q=c, b$ için yapılan modellemede Monte Carlo olay üretici programı olarak PYTHIA 6.4 kullanılmıştır (PYTHIA 2006). PYTHIA, yüksek-enerji fiziği modelleme programlarının en kuvvetlisidir. 100 GeV'den 1 TeV'e kadar bütün enerji bölgesinde olay üretir. Program, dedektör veriminin hesaplanmasını, verilen fiziksel bir süreç için kriterler konularak o süreçteki son durum parçacıklarının belirlenmesini sağlar. Böylece veri ve teorik hesaplama arasındaki kıyaslama mümkün olur. QCD-Explorer, ep çarpışmasında sonuç parçacıkları olarak $c\bar{c}$ ve $b\bar{b}$ yeniden elde edilirken uygulanan üretim kriterleri:

- γp ve $\gamma^* p$ olayları $\sqrt{s}=1.41 \text{ TeV}$ kütle merkezi enerjisinde üretildi,
- Programa başlangıç ve son durum radyasyonları dahil edildi,
- Seçilen süreçler: 'msub(54) = 1' $q\bar{q}$ üretimi için ($\gamma g \rightarrow q\bar{q}$)
'msub(135) = 1' $q\bar{q}$ üretimi için ($\gamma^*_T g \rightarrow q\bar{q}$) burada T dik sanal fotonu gösterir.
'msub(136) = 1' $q\bar{q}$ üretimi için ($\gamma^*_L g \rightarrow q\bar{q}$), L boyuna sanal fotondur.
- PYTHIA'da kütle merkezi çerçevesinde saçılan partonlardan oluşan süreçlerdeki son durum-sinyal parçacıkları yüksek-dik momentuma (p_T) sahip parçacıklardır.

Üretilen parçacıkların özelliklerini incelemek için 1600.000 olay üretilmiştir. Bunlardan ep çarpışması için kinematiksel değerler Tablo 1'de verilmektedir. Tablo 2'de elektrondan gelen foton ve protondan gelen gluon'un kinematik ve dinamiksel değerleri bulunmaktadır.

PYTHIA Programıyla CLIC*LHC çarpıştırıcısında $ep \rightarrow c\bar{c}Xe$ ve $ep \rightarrow b\bar{b}Xe$ (sanal foton durumunda) son durumları için $c\bar{c}$ ve $b\bar{b}$ üretiminin olay sayıları elde edilmiştir.

Tablo 1. PYTHIA ile üretilen olayların listesi.

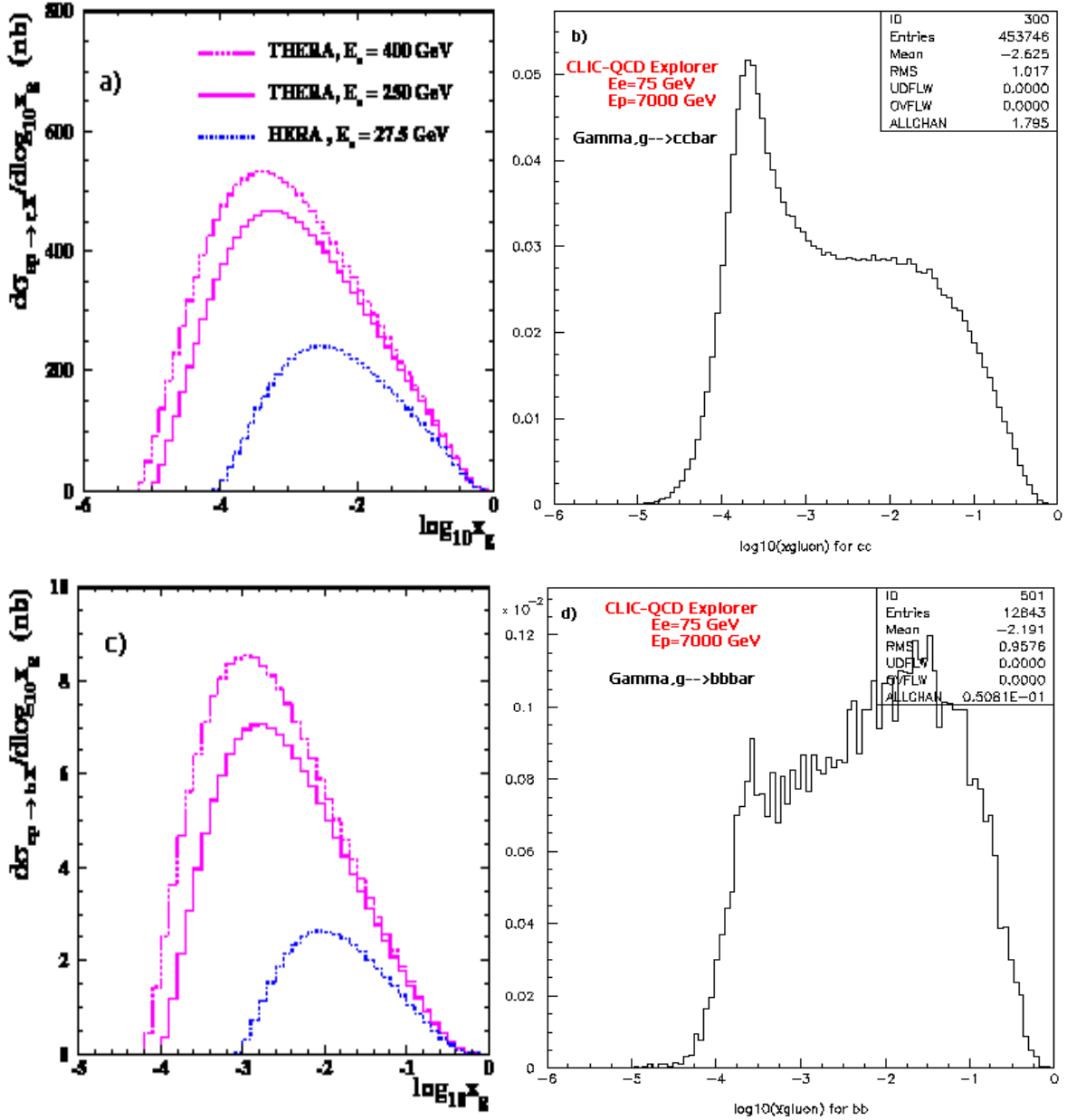
PYTHIA, 1410 GeV Kütle Merkezi Enerjisinde ve QCD-Explorer için, $L = 10^{31} cm^{-2} s^{-1}$ ışıklıkta $e^- p$ başlatılmıştır				
	p_x (GeV/c)	p_y (GeV/c)	p_z (GeV/c)	E (GeV)
e-	0.000	0.000	-75.000	75.000
P	0.000	0.000	7000.00	7000.00

PYTHIA programıyla, çarpışma özellikleri, parçacık-parton isimleri, parçacık kodları, parçacık orijin bilgileri (KF Kodu), bozunma tesir kesitleri, bozunma listesi, üretilen parçacıkların enerji, momentum, nominal kütleleri ve altsüreç tesir kesitleri elde edildi.

Tablo 2. Başlangıç parçacıklarından gelen ürün parçacıkların kinematiksel özellikleri.

I	Parçacık/j et	KS	KF	Orig	P_x	P_y	P_z	E	M
1	e-	21	11	0	0.000	0.000	-75.000	75.000	0.001
2	p+	21	2212	0	0.000	0.000	7000.00	7000.00	0.938
3	e-	21	11	1	0.000	0.000	-74.999	74.999	0.000
4	G	21	21	2	-0.041	-0.252	15.232	15.234	0.000
5	Gamma	21	22	3	-0.001	-0.001	-0.173	0.173	0.000
6	G	21	21	4	-0.041	-0.252	15.232	15.234	0.000
7	Cbar	21	-4	0	0.344	0.326	6.226	6.422	1.500
8	C	21	4	0	-0.386	-0.576	8.832	8.985	1.500
9	e-	1	11	3	0.001	-0.001	-74.826	74.826	0.001
10	Gamma	1	22	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	cbar A	12	-4	7	0.344	0.326	6.226	6.422	1.500
12	d V	11	1	2	0.309	-0.008	1394.51	1394.51	0.330
13	c A	12	4	8	-0.386	-0.576	8.832	8.985	1.500
14	Uu 1 V	11	2203	2	-0.268	0.259	5590.25	5590.25	0.771
15	String	11	92	11	0.652	0.318	1400.74	1400.93	23.403

PYTHIA Programına; $f_\gamma = (\chi, Q^2)$ ve $G(\chi_g, Q^2)$ 'de $\chi = E_\gamma/E_{e^-}$, $\chi_g = E_g/E_p$ ve Q^2 'nin girilmesi ile diferansiyel tesir kesitinin χ_g 'e göre çizdirilmesi, sonuçların diğer çalışmalarla karşılaştırılarak; CLIC*LHC deneyinde $ep \rightarrow c\bar{c}Xe$ ve $ep \rightarrow b\bar{b}Xe$ kanallarının data analizini yapmaya yönelik değerli bir sonuç olmasını sağlamıştır. Toplam diferansiyel tesir kesitinin χ_g 'e göre histogramları $b\bar{b}$ ve $c\bar{c}$ için CLIC*LHC, THERA ve HERA'daki değerlerle birlikte grafikleri Şekil 3 (a, b, c, d)'de gösterilmektedir (THERA TDR 2001).



Şekil 3. a), c) THERA ve HERA DeneYlerinde; b), d) CLIC DeneYinde $c\bar{c}$ ve $b\bar{b}$ için diferansiyel tesir kesiti. Dikey eksen a) ve c)'de nb iken c) ve d)'de mb olarak verilmiştir.

Şekil 3'de a, c için $E_p=820-920$ TeV; b, d için 7 TeV'dir. Özellikle $c\bar{c}$ üretiminde proton ve elektronun varlığı şekilde ayırılım gösterir. Tepe civarı protonu, kuyruk kısmı elektronun varlığını ifade eder. QCD-Explorer son durum parçacıkları, olay sayıları Tablo 3, Feynman genliğiyle $\gamma g \rightarrow q\bar{q}$ altsüreçinden bulunan $q\bar{q}$ tesir kesitleri ($d\sigma$) Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 3. Kuark çeşitlerine göre elde edilen Monte Carlo olay sayıları.

Kuarklar	$u\bar{u}$	$d\bar{d}$	$s\bar{s}$	$c\bar{c}$	$b\bar{b}$
Olay sayıları	756135	188853	188423	453746	12843

Tablo 4. Üretilen Monte Carlo olayları ve tesir kesitlerinin istatistiği.

Altsüreç		Noktaların Sayısı		Sigma (mb)
No	Tip	Üretilen	Denenen	
0	İçerilen bütün altsüreçler	1600000	14438680	6.331×10^{-3}
54	$g + \gamma \rightarrow f + \bar{f}$	1600000	14438680	6.331×10^{-3}

QCD-Explorer'da $c\bar{c}$ ve $b\bar{b}$ üretimlerini karşılaştırabilmek için THERA ve HERA Deneyleindeki olay sayıları Tablo 5 (direk γ) ve 6'da (çözülmüş γ) verilmektedir.

Tablo 5. HERA ve THERA Deneyi, $E_p=820-920$ GeV, luminosity $L = 4.8 \times 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Collider	charm [μb]	beauty [nb]	top [fb]
HERA, $E_e = 27.5$ GeV	0.6	4.3	-
THERA, $E_e = 250$ GeV	1.6	17	6.9
THERA, $E_e = 400$ GeV	1.9	22	26
THERA, $E_e = 800$ GeV	2.4	32	$1.2 \cdot 10^2$

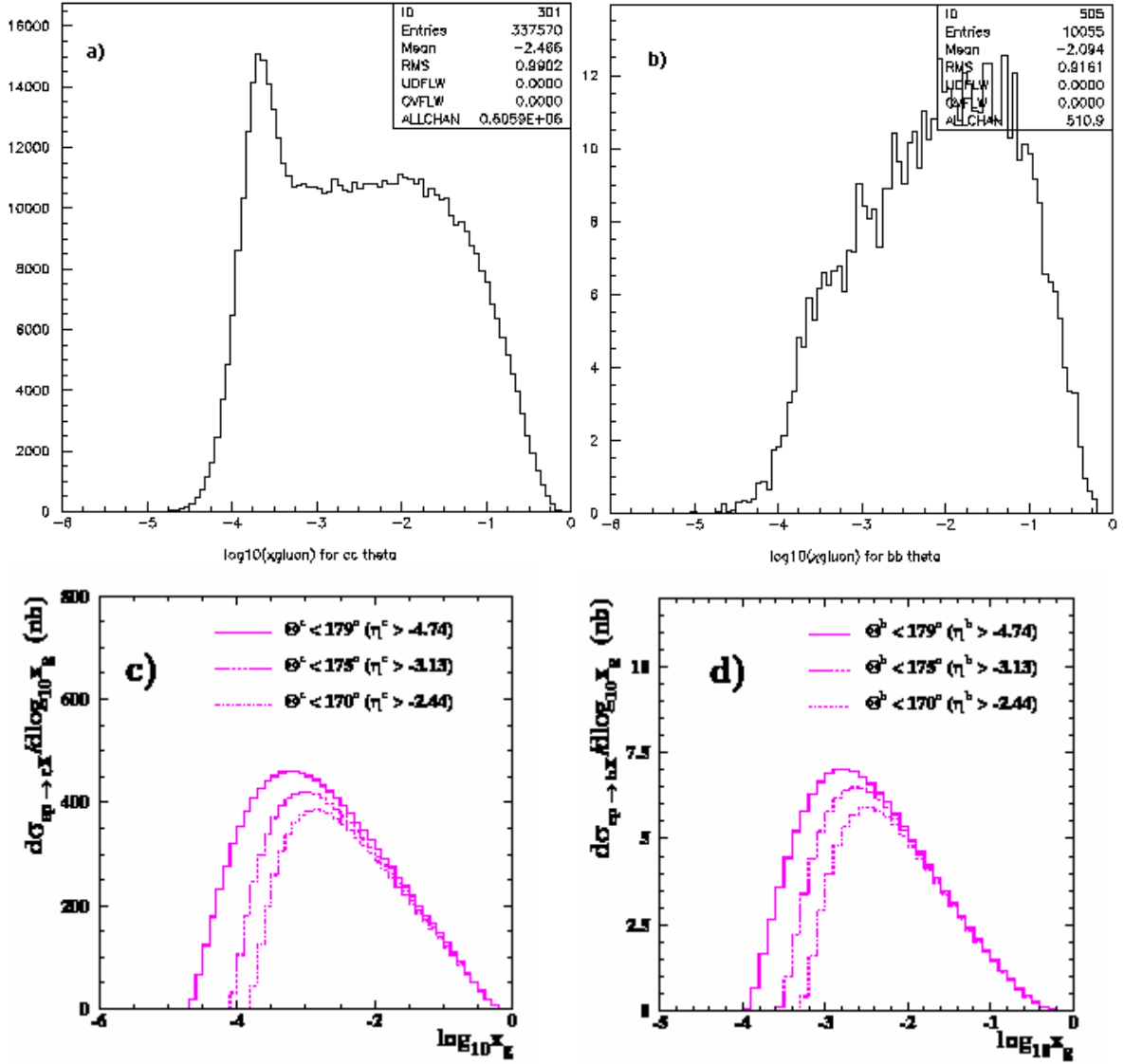
Tablo 6. Proton enerjisi 920 GeV'e yükseltildiğinde HERA ve THERA için tesir kesitleri.

Collider	charm [μb]	beauty [nb]	top [fb]
HERA, $E_e = 27.5$ GeV	0.3	1.4	-
THERA, $E_e = 250$ GeV	1.2	14	0.2
THERA, $E_e = 400$ GeV	1.6	21	0.6
THERA, $E_e = 800$ GeV	2.5	38	1.9

Bu çalışmada, üretilen 1600000 Monte Carlo olayıyla: $\phi = -0.096$ rad, $\phi = \text{ArcCos}(p_x / p_T)$; $\eta = 5.1711$ rad, $\eta = -\log(\tan(\theta/2))$ ve $\tan \theta = P_T / P_z$, $\theta(-)$ ise $\eta = \log(\tan(-\theta/2))$ şeklinde verilir, $p_T = 1.3381$ GeV, $P_T = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$ ve foton-gluon füzyonu için $\sigma = 6.32978 \times 10^{-3}$ mb değerinde elde edilmiştir. Programın optimizasyonu için uygulanan kriterler:

- $\theta < 170^\circ$ kriteri uygulandı ($\eta > -2.44$, $\theta < 170^\circ$ değerine karşı gelir $\eta = -\ln(\tan \theta/2)$)
- $Q^2 > 1 \text{ GeV}^2$ ve $p_{1^{c,b}} > 3 \text{ GeV}$
- $|\eta^{c,b}| < 5$, bu seçilen kriterlerde $c\bar{c}$ ve $b\bar{b}$ grafikleri Şekil 4 (a,b,c,d)'de verilmektedir.

Kütle merkezi enerjisi $\sqrt{s} = 1.4 \text{ TeV}$ olan QCD-Explorer için $N = \sigma L$ ifadesi $b\bar{b}$ için: $N = (12843 \cdot 6.33 \times 10^{-3} \text{ mb}) / 1600000 = 50.8 \text{ nb}$ ve $c\bar{c}$ için $N = 1.79 \mu\text{b}$ değerlerinde elde edilir. Bu değerler Tablo 5 ve 6 ile kıyaslanırsa $c\bar{c}$ değeri HERA Deneyindeki değerden oldukça yüksek THERA ile yaklaşık aynı, $b\bar{b}$ ise her iki deneydekinden daha yüksek miktarda çıkmıştır. Bu durum QCD-Explorer'ın başarısını göstermektedir. QCD-Explorer'da foton için Q^2 histogramları THERA ve HERA Deneyleindeki histogramlara benzerdir ve burada başlangıçtaki elektronun enerjisinin çok büyük bir kısmı (≈ 0.83) fotona aktarılmaktadır.



Şekil 4. $c\bar{c}$ ve $b\bar{b}$ üretiminde etkili olan $\theta < 170^\circ$, $\eta > -2.44$ uygulandığında QCD-Explorer a), c) tılsımlı ve b), d) b–kuark için diferansiyel tesir kesitlerinin χ_g 'a göre histogramları.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çok karmaşık olan gluon-kuark iç yapısının anlaşılması ve evrende maddeye kütle kazandıran değerlerin ne olduğunun bulunması e^-p çarpışmasıyla mümkündür. $\chi_\gamma = E_\gamma/E_{e^-}$, ve $\chi_g = E_g/E_p$ denklemlerinden bulunan χ_g ve χ_γ 'un davranışları kuarkların ve gluonların özelliklerini yansıtır. Ağır kuarklar (c, b) sert alt-süreçlerin özelliklerini taşır. QCD, e^-p çarpışmasında, c ve b kuark üretimi bozon gluon füzyonu ile sağlanır (ADLO vd. 1995).

Bu çalışma ile küçük χ_g bölgesinin diferansiyel tesir kesitinde büyüme olduğu gözlenmiştir. $q\bar{q}$ üretimi olay sayısı, sürecin tesir kesiti ile doğru orantılı olduğundan $p_g \ll p_p$ bölgesinde çok miktarda olay bulunabileceğini gösterir. Böylece gluon dağılım fonksiyonlarının χ_g bölgesindeki davranışlarının belirlenmesine bu çalışma katkı sağlamıştır. Elde edilen olay

sayıları HERA ve THERA ile kıyaslandığında QCD-Explorer $b\bar{b}$ için daha yüksek ve $c\bar{c}$ için yaklaşık aynı değerde olay sayıları vermekte olduğu görülür. Bu çalışmayla $c\bar{c}$ ve $b\bar{b}$ üretiminde önem kazanan $\chi_g (<10^{-4})$ bölgesinde gluon dağılımındaki belirsizliğin ortadan kaldırılması ya da minimum düzeye indirilebilmesi mümkün olmuştur. γp çarpışmalarında, $\gamma\gamma$ füzyonu baskın olan üretim kanalıdır. ağır kuark ($m_q > 100$ GeV) çift üretimleri beklenen az fonlarla birlikte $ep(\gamma^*)$ ve γp çarpışmalarında $p\bar{p}$ çarpışmalarına göre daha avantajlıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK-105T442 ve DPT2006K-120470 ve “CERN Hızlandırıcıları ve Uygulamaları-TAEK” Projeleriyle desteklenmiştir.

5. KAYNAKLAR

- CLIC, 2000. The Compact Linear Collider Study, <http://cern.ch/CLIC-Study>
- ADLO C, et al, 1999. HERA, Measurement of Open Beauty Production at HERA, H1-Collaboration, Physics Letters. B467, 156.
- GROSSE-WIESMANN P, 1989. Colliding a Linear Electron Beam with a Storage-Ring Beam, Nuclear Instruments & Methods A 274, 21, SLAC-PUB-4545.
- PYTHIA, 2006. hep-ph/0603175, LU TP 06-13, FERMILAB-PUB-06-052-CD-T <http://www.thep.lu.se/~torbjorn/Pythia.html>.
- SULTANSOY S, 2003. Linac-Ring Type Colliders: Second Way to TeV Scale, European Physical Society International Europhysics Conference on HEP, HEP2003, Aachen.
- THERA TDR, 2001. http://tesla.desy.de/new_pages/TDR_CD/PartVI/chapter2.pdf, DESY 01-123F vol. 4, DESY-LC-REV-2001-062.