



**CLIC (KOMPAKT DOĞRUSAL ÇARPIŞTIRICI)  
DEMET TAŞINIM HATTINDA  
POLARIZASYON ÇALIŞMASI**

**Ayőegöl UŞUN SİMİTIOĞLU**



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CLIC (KOMPAKT DOĞRUSAL ÇARPIŞTIRICI) DEMET TAŞINIM  
HATTINDA POLARİZASYON ÇALIŞMASI**

**Ayşegül UŞUN SİMİTÇİOĞLU**

Dr. Öğr. Üyesi Zerrin KIRCA  
(Danışman)

DOKTORA TEZİ  
FİZİK ANABİLİM DALI

BURSA–2018

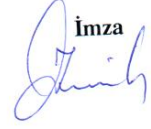
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

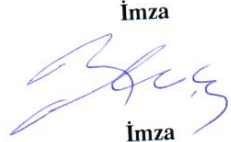
Ayşegül UŞUN SİMİTÇİOĞLU tarafından hazırlanan "CLIC (KOMPAKT DOGRUSAL ÇARPİSTİRİCİ) Demet Taşınım Hattında Polarizasyon Çalışması" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Zerrin KIRCA

**Başkan:** Dr. Öğr. Üyesi Zerrin KIRCA  
U. Ü. Fen Edebiyat Fakültesi  
Fizik Anabilim Dalı

İmza  


**Üye:** Prof. Dr. Ömer YAVAŞ  
Ankara Ü. Mühendislik Fakültesi  
Fizik Mühendisliği Bölümü

İmza  


**Üye:** Prof. Dr. Haluk DENİZLİ  
Abant İzzet Baysal Ü. Fen-  
Edebiyat Fakültesi Fizik An-  
abilim Dalı

İmza  


**Üye:** Doç. Dr. Musa DEMİRCİ  
U. Ü. Fen Edebiyat Fakültesi  
Matematik Anabilim Dalı

İmza  


**Üye:** Doç. Dr. Cem Salih ÜN  
U. Ü. Fen Edebiyat Fakültesi  
Fizik Anabilim Dalı

İmza  


  
Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Ali BAYRAM  
Enstitü Müdürü

12/2/2018

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**22/06/2018**

**Ayşegül UŞUN SİMİTÇİOĞLU**

## ÖZET

Doktora Tezi

### CLIC (Kompakt Doğrusal Çarpıştırıcı) DEMET TAŞINIM HATTINDA POLARİZASYON ÇALIŞMASI

**Ayşegül UŞUN SİMİTÇİOĞLU**

Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Zerrin KIRCA

Doğrusal çarpıştırıcılarda polarize demetlerin çarpıştırılmasıyla çarpışma noktasında elde edilen parçacıkların üretim oranları, polarize olmayan demetlerin kullanıldığı çarpıştırıcılara göre iki ya da üç kat arttırılmaktadır. Böylece çarpışmalarda elde edilen etkin ışınlılık değeri yükseltilmektedir. Bu sebeple Kompakt Doğrusal Çarpıştırıcı (CLIC)' sının 3 TeV' lik kütle merkezi enerjisinde çarpışma noktasında 80%' lik bir elektron demeti polarizasyonu ile çalışması planlanmaktadır.

Bu tez kapsamında, elektron demetini yüksek enerjili doğrusal hızlandırıcıların çıkışından, istenilen CLIC demet boyutlarına ve hedeflenen ışınlılık değerine ulaştırarak iletilmesini ve onların çarpışma bölgesine taşınmasını sağlayan Demet Taşınım Hattı (BDS) boyunca ilerleyen elektron demetinin polarizasyon dağılımı BMAD programı yardımı ile detaylı bir şekilde incelenmiştir.

BDS boyunca ilerleyen elektron demetinin spin takibinin tam anlamıyla anlaşılması, çarpışma noktasında ne kadar hassasiyette bir boyuna polarizasyon değerinin olacağını tahmin etmek için oldukça önemli olmaktadır. CLIC için de çarpışma noktasında 80%' lik boyuna polarizasyon ölçümü için öngörülen hassasiyet  $\leq 0.1\%$  olarak beklenmektedir. Bu sebeple de CLIC elektron demetine ve BDS boyunca sıralanan farklı demet hattı elemanlarına uygulanan yanlış hizalamalar ile çarpışma noktasında elde edilmek istenen 80%' lik polarizasyon değerinin ve öngörülen polarizasyon hassasiyetinin nasıl etkilendiği BMAD programı yardımıyla kapsamlı şekilde elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kompakt Doğrusal Çarpıştırıcı, CLIC, Demet Taşınım Hattı, Polarizasyon, Spin Takibi, Yanlış Hizalama, BMAD.  
**2018, xiii + 77 Sayfa**

## ABSTRACT

PhD Thesis

### POLARIZATION STUDIES ON CLIC (COMPACT LINEAR COLLIDER) BEAM DELIVERY SYSTEM

**Aysegul USUN SIMITCIOGLU**

Uludag University  
Graduate School of Natural and Applied Science  
Department of Physics

**Supervisor:** Dr. Lecturer Zerrin KIRCA

The scaling factors of particles obtained at the interaction point by collision of polarized beams in linear colliders are increased by two or three times compared to colliders using non-polarized beams. Thus, the effective luminosity value obtained in collisions is increased. For this reason, it is planned that the Compact Linear Collider (CLIC) will operate with an electron beam polarization of 80% at the collision point of 3 TeV center of mass energy.

Within the scope of this thesis, the polarization distribution of the electron beam travelling along the Beam Delivery System (BDS), which transports the electron-positron beams from the exit of the high energy linacs, focusing them to the sizes required to meet the CLIC luminosity goals and bringing them into collision, has been studied in detail with the BMAD program.

A detailed understanding of the spin transport of electron beam in the BDS is mandatory to estimate how precise the longitudinal polarization at the interaction point. For CLIC, the envisaged precision for longitudinal polarization measurement of 80% at the collision point is expected to be  $\leq 0.1\%$ . For this reason, offsets have been applied to the CLIC electron beam and the different beamline elements aligned along the BDS. The effect of the 80% polarization value desired to be obtained at the collision point and the predicted polarization sensitivity was comprehensively obtained by means of the BMAD program.

**Key words:** Compact Linear Collider, CLIC, Beam Delivery System, Polarization, Spin Tracking, Beam Offsets, BMAD.  
**2018, xiii + 77 Pages**

## TEŞEKKÜR

Tez süreci boyunca desteğini esirgemeyen tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Zerrin KIRCA'ya, yüksek lisans ve doktora eğitimlerim sırasında bana verdiği başarı bursu için TÜBİTAK' a, tez boyunca kullandığım simülasyon programlarının çalıştırılması ile kod yazım sürecinde karşılaştığım her türlü zorlukta yardımlarını esirgemeyen ve çalışmalarımı yönlendiren Uludağ Üniversitesi Hocalarım ve grup arkadaşlarım ile CERN çalışanları Dr. Rogelio TOMAS GARCIA ve Dr. Javier BARRANCO'ya, tez çalışmalarımın ilerlemesinde emeği geçen Prof. Dr. İlhan TAPAN' a, bu zorlu süreçte maddi ve manevi her zaman yanımda olup desteğini her zaman hissettiren aileme, can arkadaşlarım İpek ve Zeynep AKSANGÜR' e ve biricik eşim hayat arkadaşım Mümin SİMİTÇİOĞLU ile çalışmalarım süresince beraber geçireceğimiz zamanları istemeden çaldığım canım oğlum Aras Kaan SİMİTÇİOĞLU' na ayrı ayrı teşekkürü bir borç bilirim.

Ayşegül UŞUN SİMİTÇİOĞLU

22/06/2018

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET . . . . .	i
ABSTRACT . . . . .	ii
TEŞEKKÜR . . . . .	iii
İÇİNDEKİLER . . . . .	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ . . . . .	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ . . . . .	x
ÇİZELGELER DİZİNİ . . . . .	xiii
1 GİRİŞ . . . . .	1
2 KURAMSAL TEMELLER . . . . .	3
2.1 Kompakt Doğrusal Çarpıştırıcı (CLIC) . . . . .	3
2.1.1 CLIC demet taşınım hattı . . . . .	5
2.2 Koordinat Sistemi ve Notasyonlar . . . . .	7
2.2.1 Koordinat sistemleri . . . . .	7
2.2.2 Lokal referans koordinat sistemi . . . . .	8
2.2.3 Parçacık koordinatları . . . . .	8
2.2.4 Crab kavite açısı . . . . .	11
2.3 Polarizasyon . . . . .	12
2.3.1 Tesir kesidi ve polarizasyon ilişkisi . . . . .	14
2.3.2 Boyuna polarizasyon . . . . .	17
2.3.3 Lorentz dönüşümü altında polarizasyon değişimi . . . . .	17
2.4 Elektromanyetik Alanlar ile Etkileşim . . . . .	18
2.4.1 T-BMT süreci . . . . .	18
2.4.2 Spin yayılması . . . . .	20
2.5 CLIC $e^-$ Demeti Polarizasyonu . . . . .	21
2.6 Demet Polarizasyonunun Önemi ve Gerekliliği . . . . .	22
3 MATERYAL ve YÖNTEM . . . . .	27
3.1 GUINEA-PIG . . . . .	27
3.2 PLACET . . . . .	28
3.3 BMAD . . . . .	28
4 BULGULAR . . . . .	30
4.1 GUINEA-PIG ile Yapılan CLIC IP Çalışmaları . . . . .	30
4.2 PLACET ile Yapılan CLIC BDS Çalışmaları . . . . .	37
4.3 CLIC BDS' te Parçacık Takibi ve İletimi ile İlgili Simülasyonlar . . . . .	42
4.3.1 CLIC demet örgüsü ve başlangıç demet parametreleri . . . . .	42
4.3.2 CLIC $e^-$ demeti parçacık koordinatları . . . . .	43



4.3.3 Demet parametreleri . . . . .	47
4.3.4 CLIC BDS' e crab kavite etkisi . . . . .	49
4.3.5 CLIC $e^-$ demetinin spin takibi . . . . .	52
4.4 Yanlış Hizalamalar ve CLIC Demet Polarizasyonuna Etkisi . . . . .	56
4.4.1 Demet yanlış hizalaması ve polarizasyona etkisi . . . . .	57
4.4.2 Magnet yanlış hizalaması ve polarizasyona etkisi . . . . .	61
5 TARTIşMA ve SONUÇ . . . . .	70
KAYNAKLAR . . . . .	74
ÖZGEÇMİş . . . . .	76



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
$A_{LR}$	Sol sağ asimetrisi
$c$	Işık hızı
$E_0$	Referans enerji
$E_{CM}$	Kütle merkezi enerjisi
$e^-$	elektron
$e^+$	pozitron
$\varepsilon$	Emittans
$f_{rep}$	Tekrarlama hızı
$F_{LL}$	Sola yönelik helisite
$F_{RR}$	Sağa yönelik helisite
$h$	Higgs parçacığı
$k_b$	Puls başına parçacık sayısı
$J$	Toplam açısal momentum
$L$	Luminosite (Işınlık)
$L_0$	Referans parçacığın yörünge uzunluğu
$L_p$	Eleman boyunca geçen parçacığın yörünge uzunluğu
$L_{eff}$	Etkin luminosite
$m$	Parçacığın kütlesi
$N$	Parçacık sayısı
$N_b$	Demet başına parçacık sayısı
$N_e^{macro}$	Makroparçacık
$N_R$	Sağa yönelimli parçacık sayısı
$N_L$	Sola yönelimli parçacık sayısı
$\vec{P}$	Polarizasyon vektörü
$p_x$	x yönündeki faz uzay momentumu
$p_y$	y yönündeki faz uzay momentumu
$p_z$	Boyuna faz uzay momentumu
$P_x$	x momentumu
$P_y$	y momentumu
$P_0$	Referans momentum
$P_{e^-}$	Elektron demetinin polarizasyonu

**Simgeler****Açıklama**

$P_{eff}$	Etkin polarizasyon
$q$	Elektron yükü
$r(s)$	Parçacığın faz uzay koordinatları
$s$	konum
$\vec{S}$	Parçacığın klasik spin vektörü
$t$	Zaman
$t(s)$	Parçacığın s konumunda bulunduğu zaman
$t_0(s)$	Referans parçacığın s konumunda bulunduğu zaman
$\vec{T}$	Parçacığın anlık spin vektörü
$\vec{U}$	Parçacığın hareket ettiği sistemdeki spin vektörü
$\vec{V}$	Parçacığın hızı
$V_{cc}$	Hızlandırma voltajı
$x$	Enine koordinat
$x'$	x yönündeki eğim
$y'$	y yönündeki eğim
$x(s)$	Enine koordinat
$y(s)$	Enine koordinat
$y$	Enine koordinat
$z$	Boyuna koordinat
$\alpha$	Gyro-manyetik mometteki kurlsızlık
$\lambda$	Spin yönelimi
$\mu^+$	Anti-müon
$\mu^-$	müon
$\sigma_x$	Demet boyu
$\sigma_y$	Demet boyu
$\sigma_z$	Demet uzunluğu
$\sigma_{RR}$	Tesir kesidi
$\sigma_{LL}$	Tesir kesidi
$\sigma_{RL}$	Sağa doğru polarize elektron demetinin tesir kesidi
$\sigma_{LR}$	Sola doğru polarize elektron demetinin tesir kesidi
$\sigma$	Demet boyu
$\sigma_0$	Polarizasyonun olmadığı tesir kesidi
$\sigma_{x'}, \sigma_{y'}$	Açısal diverjanslar
$\gamma$	Rölativistik Lorentz faktörü
$\gamma\epsilon_x$	Enine yatay emittans
$\gamma\epsilon_y$	Enine dikey emittans
$\beta_x^*$	Yatay IP beta fonksiyonu

## Simgeler

## Açıklama

$\beta_y^*$	Dikey IP beta fonksiyonu
$\beta$	Beta fonksiyonu
$\beta_{x,y}$	Yatay ve düşey betatron fonksiyonları
$\theta_x, \theta_y$	Açısal diverjansların gösterimi
$\zeta$	Elektron ve pozitron demet hattı arasındaki kesişim açısı
$\zeta_c$	Kavite tarafından uygulanacak itme
$\omega_{rf}$	Açısal frekans
$\vartheta_{crab}$	Crab kavitelere bağlı olarak çarpışma noktasındaki demetin dönme açısı
$\varepsilon_{N_{x,y}}$	Yatay ve düşey doğrultudaki normalize emittans
$\Delta E$	Parçacık enerjisinin referans enerjiden sapması
$\Delta \hat{p}_x(z)$	Demet parçacıklarına $z'$ ye bağlı olarak uygulanan itmenin gücü
$\xi_{spin}$	Spin dönme açısı
$\xi_{orbit}$	Bükülme açısı

**Kısaltmalar****Açıklama**

BC	Bunch Compressor (Demet Sıkıştırıcı)
BDS	Demet Taşınım Hattı
CDR	Conceptual Design Report
CLIC	Compact Linear Collider (Kompakt Doğrusal Çarpıştırıcı)
CR	Combiner Ring (Birleştirici Halka)
DR	Damping Ring (Depolama Halkası)
GeV	Giga Elektronvolt
ILC	International Linear Collider (Uluslararası doğrusal çarpıştırıcı)
IP	Interaction Point (Çarpışma Noktası)
LEP	Large Electron Positron (Büyük Elektron Pozitron Çarpıştırıcısı)
LHC	Large Hadron Collider (Büyük Hadron Çarpıştırıcısı)
LL	Left Left (Sol Sol Şekillenim)
PDR	Pre-Damping Ring (Ön Depolama Halkası)
POL2	Polarimetre
RR	Right Right (Sağ Sağ Şekillenim)
SLC	SLAC Linear Collider (Stanford Doğrusal Çarpıştırıcısı)
SUSY	Supersymmetry (Süper Simetri)
TA	Turnaround (dönüş)
T-BMT	Thomas-Bargmann-Micheal-Telegdi
TeV	Tera Elektronvolt

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. CLIC Hızlandırıcı Merkezi için planlanan konum . . . . .	3
Şekil 2.2. 3 TeV enerjideki CLIC planı . . . . .	5
Şekil 2.3. 3 TeV enerjideki CLIC Demet Taşınım Hattı planı . . . . .	6
Şekil 2.4. BMAD' te kullanılan lokal referans koordinat sistemi . . . . .	8
Şekil 2.5. Sabit hızda faz uzay gösterimi: A) Bir eleman uzunluğu boyunca $z'$ deki değişim $L_0, L_0 - L_P$ dir. B) Sabit bir zamanda, $z$ referans parçacık ile parçacık arasındaki uzunluktur . . . . .	10
Şekil 2.6. 12 hücreli crab kavite örneği . . . . .	11
Şekil 2.7. Crab kaviteilerin CLIC Demet Taşınım Hattı' ndaki yeri . . . . .	12
Şekil 2.8. CLIC Demet Taşınım Hattı' ndaki son quadropollerden önce yerleştirilen crab kaviteiler . . . . .	12
Şekil 2.9. Boyuna polarizasyon gösterimi. Soldaki şekilde sola yönelimli elektronlar gösterilirken, sağdaki şekilde sağa yönelimli elektronlar gösterilmektedir. . . . .	13
Şekil 2.10. CLIC çarpışma bölgesindeki ilk 10 parçacığın faz uzay koordinatları ve spin değerleri . . . . .	14
Şekil 2.11. Tesir kesidi ve polarizasyon ilişkisi . . . . .	15
Şekil 2.12. s kanalı diyagramlarında olası şekillenmeler . . . . .	15
Şekil 2.13. Çeşitli polarizasyon değerleri için hesaplanan etkin polarizasyon ve etkin ışınlılık değerleri . . . . .	16
Şekil 2.14. Yüklü bir parçacığın bir manyetik alan içerisindeki spin yönelimi. Spin vektörü ( $\Rightarrow$ ) ile gösterilmektedir. . . . .	20
Şekil 2.15. Kuadropol magnet içindeki spin vektörlerinin ( $\Rightarrow$ ) yayılmasının gösterimi	21
Şekil 2.16. $e^+ e^-$ yok oluşuyla $W$ çiftlerinin oluşumu . . . . .	24
Şekil 2.17. $(P_{e^-}, P_{e^+}) = (+80\%, -60\%)$ ' ın $(+80\%, 0\%)$ ile karşılaştırılmasında $W$ $W$ üretim oranları . . . . .	24
Şekil 2.18. $e^+ e^-$ yok oluşuyla tek $W$ üretimi . . . . .	25
Şekil 2.19. CLIC' te ki SM Higgs bozonunun ana üretim süreçleri . . . . .	26
Şekil 4.1. Elektron demetinin 500 GeV (solda) ve 3000 GeV (sağda) kütle merkezi enerjilerinde $x$ - $y$ eksenlerindeki konumlarının değişimleri . . . . .	32
Şekil 4.2. 3000 GeV kütle merkezi enerjisinde oluşan birinci ve ikinci demetin koherent çiftleri . . . . .	32
Şekil 4.3. İnkoherent çift oluşum süreçleri . . . . .	33
Şekil 4.4. İnkoherent çiftlerin enerjiye bağlı değişimleri . . . . .	34
Şekil 4.5. 500 GeV (solda) ve 3000 GeV (sağda) kütle merkezi enerjilerinde demet- teki parçacıkların $x$ ve $y$ eksenleri ile yaptıkları açılı değişimleri . . . . .	34

Şekil 4.6. 500 GeV (solda) ve 3000 GeV (sağda) kütle merkezi enerjilerinde oluşan fotonların $x$ ve $y$ eksenleri ile yaptıkları açı değişimleri . . . . .	35
Şekil 4.7. 500 GeV ve 3000 GeV (solda) kütle merkezi enerjilerinde oluşan fotonların enerji değişimleri ile farklı demet enerjilerinde (sağda) oluşan fotonların enerji değişimleri . . . . .	36
Şekil 4.8. 500 GeV (solda) ve 3000 GeV (sağda) kütle merkezi enerjilerindeki ışınlılık spektrumları . . . . .	36
Şekil 4.9. CLIC BDS için hazırlanan PLACET dosyası örneği . . . . .	37
Şekil 4.10. CLIC BDS için hazırlanan bir girdi dosyası örneği . . . . .	38
Şekil 4.11. CLIC BDS' de ki demetin $\beta$ fonksiyonu değişimi. (Solda) CLIC CDR verileri, (sağda) PLACET çizimleri . . . . .	39
Şekil 4.12. CLIC BDS Tanılama bölümündeki demetin $\beta$ fonksiyonu değişimi. (Solda) CLIC CDR verileri, (sağda) PLACET çizimleri . . . . .	39
Şekil 4.13. CLIC BDS Enerji Kolimatorü bölümündeki demetin $\beta$ fonksiyonu değişimi. (Solda) CLIC CDR verileri, (sağda) PLACET çizimleri . . . . .	40
Şekil 4.14. CLIC BDS Betatron Kolimatorü bölümündeki demetin $\beta$ fonksiyonu değişimi. (Solda) CLIC CDR verileri, (sağda) PLACET çizimleri . . . . .	40
Şekil 4.15. CLIC BDS Son Odaklama bölümündeki demetin $\beta$ fonksiyonu değişimi. (Solda) CLIC CDR verileri, (sağda) PLACET çizimleri . . . . .	41
Şekil 4.16. CLIC BDS için hazırlanan 'BDS.lat' örgü dosyasının bir kısmı . . . . .	42
Şekil 4.17. CLIC BDS elemanlarının özelliklerinin bir kısmı . . . . .	43
Şekil 4.18. Tüm CLIC demet hattı boyunca takip edilen 10,000 makroparçacıktan ilk 10 parçacığın $r(s) = (x, p_x, y, p_y, z, p_z)$ faz uzay koordinatı değerleri . . . . .	44
Şekil 4.19. Çarpışma noktasındaki demet boyutları $(y - x)$ . . . . .	44
Şekil 4.20. CLIC Demet Taşınım Hattı boyunca demetin yatay (üstte) ve düşey (altta) konumundaki değişim . . . . .	46
Şekil 4.21. CLIC Demet Taşınım Hattı boyunca demetin yatay (üstte) ve düşey (altta) eksenle yaptığı açıdaki değişim . . . . .	47
Şekil 4.22. CLIC Demet Taşınım Hattı' ndaki demet boyutlarının $(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z)$ polarimetre ve çarpışma noktasında okunan değerleri . . . . .	48
Şekil 4.23. Crab kavite etkisi altında demet rotasyonu şematığı . . . . .	50
Şekil 4.24. Hesaplanan crab_ açısı değeri . . . . .	51
Şekil 4.25. Kavite açısı uygulandıktan sonra çarpışma noktasında elde edilen demet profili . . . . .	51
Şekil 4.26. İlk elemandan polarimetreye kadar olan kısım için faz uzay koordinatları $(x, p_x, y, p_y, z, p_z)$ ile spin bileşenleri $S_x, S_y, S_z$ . . . . .	52
Şekil 4.27. Polarimetreden çarpışma noktasına kadar olan kısım için faz uzay koordinatları $(x, p_x, y, p_y, z, p_z)$ ile spin bileşenleri $S_x, S_y, S_z$ . . . . .	53
Şekil 4.28. CLIC Demet Taşınım Hattı boyunca polarizasyon vektörünün $x$ bileşenindeki (üstte) ve $y$ bileşenindeki (altta) değişim . . . . .	54

Şekil 4.29. CLIC Demet Taşınım Hattı boyunca polarizasyon vektörünün $z$ bileşenindeki değişim. Polarimetrenin (POL) ve çarpışma noktasının (IP) demet hattı üzerindeki konumu dikey mavi noktalar ile gösterilmektedir . . . . .	55
Şekil 4.30. Pitch, offset ve tilt davranışlarının geometrik gösterimi . . . . .	56
Şekil 4.31. Twiss parametrelerinin grafiksel gösterimi . . . . .	57
Şekil 4.32. Demete uygulanan farklı $\sigma_x$ ve $\sigma_y$ yanlış hizalama değerlerine karşılık çarpışma noktasında elde edilen polarizasyon değişimi . . . . .	60
Şekil 4.33. Demete uygulanan farklı $\sigma_{x'}$ ve $\sigma_{y'}$ yanlış hizalama değerlerine karşılık çarpışma noktasında elde edilen polarizasyon değişimi . . . . .	61
Şekil 4.34. Magnet yanlış hizalaması uygulamadan (solda) ve $10 \mu\text{m}$ magnet yanlış hizalaması uyguladıktan sonra (sağda) demetin yatay konumunda elde edilen değişim . . . . .	62
Şekil 4.35. Magnet yanlış hizalaması uygulamadan (solda) ve $10 \mu\text{m}$ magnet yanlış hizalaması uyguladıktan sonra (sağda) demetin düşey konumunda elde edilen değişim . . . . .	63
Şekil 4.36. Magnet yanlış hizalaması uygulamadan (solda) ve $10 \mu\text{m}$ magnet yanlış hizalaması uyguladıktan sonra (sağda) demetin polarizasyon vektörünün $x$ bileşenindeki değişim . . . . .	63
Şekil 4.37. Magnet yanlış hizalaması uygulamadan (solda) ve $10 \mu\text{m}$ magnet yanlış hizalaması uyguladıktan sonra (sağda) demetin polarizasyon vektörünün $y$ bileşenindeki değişim . . . . .	64
Şekil 4.38. Magnet yanlış hizalaması uygulamadan (üstte) ve $10 \mu\text{m}$ magnet yanlış hizalaması uyguladıktan sonra (altta) demetin polarizasyon vektörünün $z$ bileşenindeki değişim . . . . .	65
Şekil 4.39. CLIC Demet Taşınım Hattı boyunca kuadropollere uygulanan $1 \mu\text{m}'$ den $10 \mu\text{m}'$ ye kadar olan yanlış hizalamalar sonucunda polarizasyon vektörünün $x$ bileşenindeki değişim . . . . .	66
Şekil 4.40. CLIC Demet Taşınım Hattı boyunca kuadropollere uygulanan $1 \mu\text{m}'$ den $10 \mu\text{m}'$ ye kadar olan yanlış hizalamalar sonucunda polarizasyon vektörünün $y$ bileşenindeki değişim . . . . .	67
Şekil 4.41. CLIC Demet Taşınım Hattı boyunca kuadropollere uygulanan $1 \mu\text{m}'$ den $10 \mu\text{m}'$ ye kadar olan yanlış hizalamalar sonucunda polarizasyon vektörünün $z$ bileşenindeki değişim . . . . .	67
Şekil 4.42. Yanlış hizalama miktarlarına karşılık çarpışma noktasında elde edilen polarizasyon değerleri . . . . .	69



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. 500 GeV ve 3 TeV için CLIC ana parametreleri . . . . .	4
Çizelge 2.2. ILC ve CLIC demet taşınım hatlarının başlangıcında bulunan demetlerin parametreleri . . . . .	7
Çizelge 2.3. $\sqrt{s} = 500$ GeV' de polarize olmayan duruma göre farklı polarizasyon dağılımları için $W W$ üretim oranları . . . . .	25
Çizelge 2.4. Standart Model $\sqrt{s} = 500$ GeV' de polarize olmayan duruma göre Higgs üretim oranları . . . . .	26
Çizelge 4.1. CLIC 500 GeV için GUINEA-PIG girdi dosyası örneği . . . . .	31
Çizelge 4.2. Programda kullanılan CLIC parametreleri . . . . .	31
Çizelge 4.3. BDS girişinde demeti başlangıç durumuna getirmek için kullanılan demet parametreleri . . . . .	43
Çizelge 4.4. Demete uygulanan yanlış hizalama değerleri . . . . .	58
Çizelge 4.5. Demet yanlış hizalaması uygulamadan ve demet yanlış hizalaması uygulayarak çarpışma noktasında hesaplanan polarizasyon değerleri . . . . .	59
Çizelge 4.6. Uygulanan yanlış hizalama miktarlarına karşılık çarpışma noktasında elde edilen polarizasyon değerleri . . . . .	68

## 1. GİRİŞ

500 GeV veya daha fazla kütle merkezi enerjisi içeren elektron-pozitron çarpıştırıcıları hadron çarpıştırıcılarını tamamlayan fizik araştırmaları için kullanılmaktadır. elektron-pozitron çarpışmaları için TeV mertebesinde enerjiye sahip bir doğrusal çarpıştırıcı, yeni fizik araştırmaları ve altında yatan modellerin yapısını açığa çıkarmak için gerekli yüksek hassasiyete sahip olacaktır.

Yüksek enerjili elektron-pozitron dairesel çarpıştırıcılarındaki demet parçacıkları önemli ölçüde güç ile birlikte sinkrotron radyasyonu yaydığı için, çarpıştırıcı türü olarak dairesel çarpıştırıcılar yerine doğrusal çarpıştırıcıları kullanmak tercih sebebi olmaktadır. Bu yüzden de Kompakt Doğrusal Çarpıştırıcı (CLIC), yüksek enerjilerdeki hassas ölçüm kapasitesine bağlı olarak Büyük Hadron Çarpıştırıcı (LHC)' sında elde edilen ve Uluslararası Doğrusal Çarpıştırıcı (ILC)' da çalışılacak olan fizik araştırmalarının ötesinde önemli bir adımı temsil edecektir. Örneğin nadir bozunma modları da dahil olmak üzere Higgs bozununun tam olarak çalışılmasına, yeni ayar bozonlarının, kuarkların ya da leptonların daha derin bir şekilde incelenmesine olanak sağlayacaktır. Kısacası CLIC, LHC' nin keşfettiklerinin yanında deneysel parçacık fiziğine birçok katkı sağlayacak önemli bir adım olacaktır.

Bütün günümüz doğrusal çarpıştırıcıları polarize elektron demetleri ve bazıları da bunun yanında polarize pozitron demetleri de düşünülerek tasarlanmaktadır. Doğrusal çarpıştırıcılar polarizasyonu büyük ölçüde koruduğu için demet hattına polarize bir demet gönderildiğinde bu demet çarpışma noktasına polarizasyonda az bir kayıp ile ulaşmaktadır. Aynı zamanda yüksek bir polarizasyon değeri de ışınılıkta önemli bir kayıp olmadan elde edilmektedir. Bu, polarizasyonun demet enerjisiyle keskin bir şekilde düştüğu depolama halkalarına göre tam tersi bir durum oluşturmaktadır.

Polarize demetlerin kullanılması çarpışmaların fizik potansiyelini büyük ölçüde arttıracadı için CLIC' in 3 TeV' lik kütle merkezi enerjisinde elektron demetinin 80% polarize olması istenmekte ve başlangıçta pozitron demetinin polarizasyonu düşünülmemektedir.

CLIC' te kullanılacak polarize elektron demetinin temiz ve hassas doğasının, Standart Model ötesindeki fiziği keşfetmede ve bunun altında yatan fiziğin yapısını kesin olarak çözmeye önemli bir rol oynaması beklenmektedir. Böylece CLIC' te ki fizik getirisi elektron demetinin polarize olması ile büyük ölçüde arttırılacaktır.

Bu tez kapsamında ikinci bölümde CLIC ve CLIC Demet Taşınım Hattı hakkında bilgi verilmiştir. Tez boyunca kullanılan koordinat sistemleri ve notasyonlar anlatılmıştır. Polarizasyonun tanımı ve elektromanyetik alanlar altında polarizasyon değişimi detaylı olarak açıklanmış, CLIC' te kullanılacak elektron demetinin polarizasyonu, polarize demet kullanımının önemi ve gerekliliği hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir.

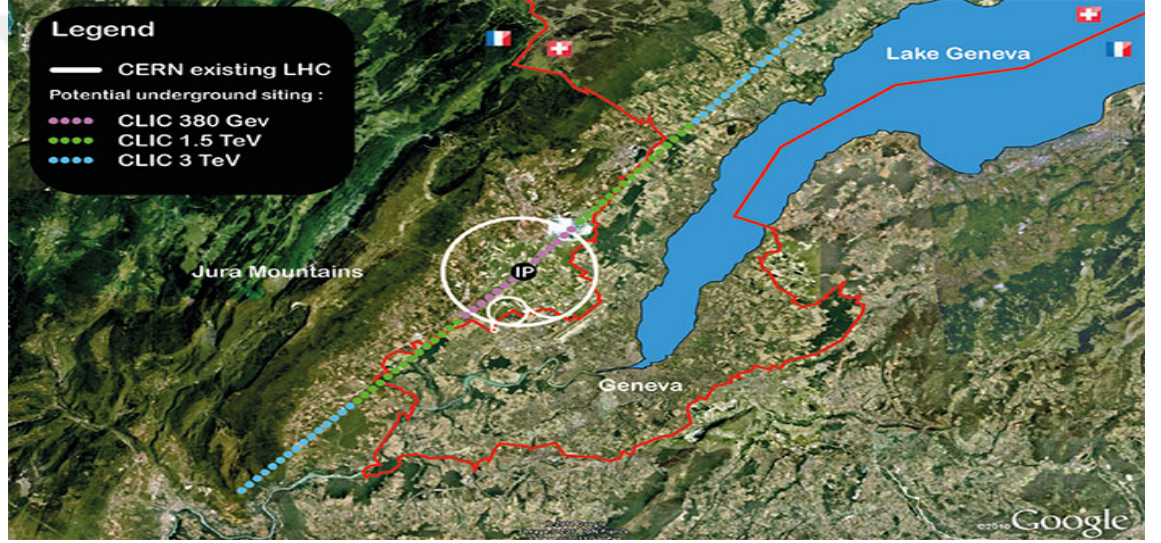
Tezin üçüncü bölümünde ise tez kapsamında kullanılan simülasyon programları olan GUI-NEA-PIG, PLACET ve BMAD programlarının yapılan çalışmalarda hangi amaçla kullanıldığı açıklanmıştır.

Son bölümde ise tez boyunca kullanılan ve üçüncü bölümde özellikleri anlatılan programlar kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçları detaylı olarak ele alınmıştır. CLIC' te kullanılacak elektron demetinin parametreleri, demetteki parçacık takibi ve iletimi ile ilgili yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Demetteki parçacıkların spin takibinin BMAD programı ile nasıl yapıldığı ve demet ile demet hattı elemanlarının yanlış hizalanmasının polarizasyona olan etkileri de yine bu bölümde anlatılmıştır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Kompakt Doğrusal Çarpıştırıcı (CLIC)

CLIC, fizikçilere multi TeV enerji bölgesini keşfetmek için olanak sağlayacak  $e^- - e^+$  doğrusal çarpıştırıcısıdır. CLIC' in 3 TeV' lik kütle merkezi enerjisinde ve  $\approx 2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ' lik bir ışınlılık değeri ile çalışması beklenmektedir (Aicheler ve ark. 2012, Linszen ve ark. 2012, Lebrun 2012).



Şekil 2.1. CLIC Hızlandırıcı Merkezi için planlanan konum

Şekil 2.1' de beyaz halka ile şuan ki LHC ve 2030' da Cenevre civarında kurulması planlanan CLIC merkezini gösteren harita görülmektedir. Mavi noktalar 3 TeV çarpışma enerjisi için gerekli tünel uzunluğunu; yeşil noktalar 1,5 TeV çarpışma enerjisi için gerekli tünel uzunluğunu gösterirken pembe noktalar ise 380 GeV başlangıç enerjisi için gerekli tünel uzunluğunu göstermektedir (Aicheler ve ark. 2012). Çizelge 2.1' de de planlanan bu enerjiler için gerekli ana parametreler ve değerleri verilmektedir.

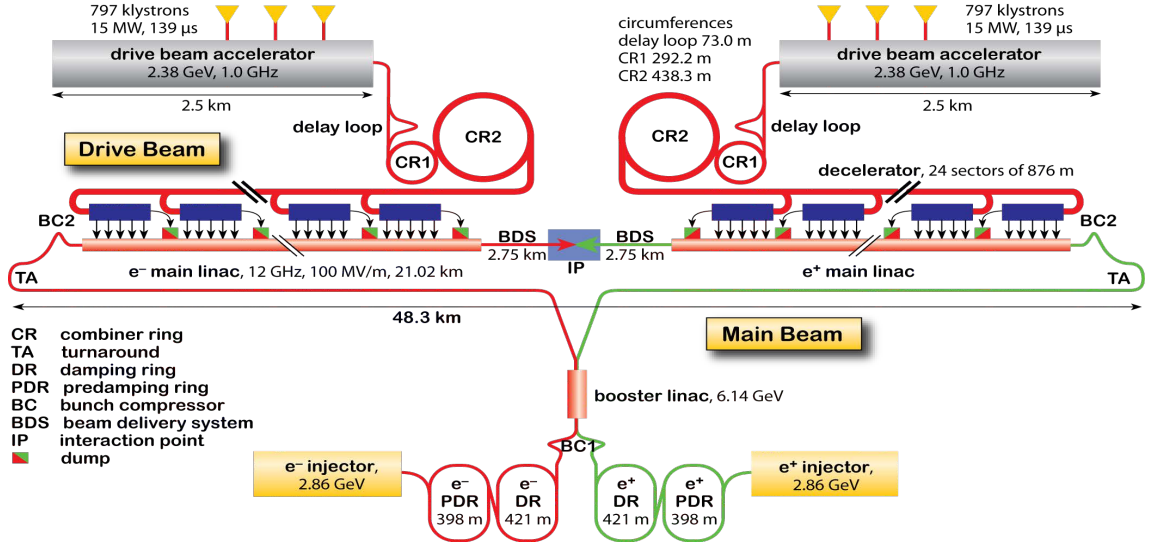
**Çizelge 2.1.** 500 GeV ve 3 TeV için CLIC ana parametreleri

Açıklama [Birimler]	500 GeV	3 TeV
Toplam ışınlılık	$1,4 \times 10^{34}$	$2 \times 10^{34}$
Toplam Alan Uzunluğu [km]	13,0	48,4
Hızlandırma Gradyeni [MV/m]	80	100
Ana Hızlandırıcı RF Frekansı [GHz]	12	12
Demet Gücü [MW]	4,9	14
Demet Yüğü [ $10^9 e^+ / e^-$ ]	6,8	3,72
Demet Uzunluğu [ $\mu\text{m}$ ]	72	44
Tekrarlama Hızı [Hz]	50	50
Yatay/Dikey Normalize Emittans [ $10^6/10^9$ ]m	2,4/25	0,66/20
Yatay/Dikey IP Demet Boyu [nm]	202/2,3	40/1

Yeni fizik ve dedektör çalışmaları için örneğin squark çift oluşumu  $m_s = 1116$  GeV; LHC' nin ulaştığının ötesinde fizikler için (LHC' yi tamamlamak için); Higgs fiziği SUSY çalışmaları için (Nadir görülen Higgs bozunumlarının gözlenmesi için  $h \rightarrow \mu^+ \mu^-$ ); daha kesin ölçümler alabilmek için; slepton, chargino, neutrolino araştırmaları için CLIC gibi yüksek enerjili bir çarpıştırıcıya ihtiyaç duyulmaktadır.

Şekil 2.2' de de 3 TeV kütle merkezi enerjisindeki CLIC planı görülmektedir. Buradaki ana demetler enjektör içerisinde üretilmekte ve ön hızlandırmaya tabi tutulmaktadır. Buradan sonra emittansı düşürmek için demetler 'Depolama Halkalarına (DR)' girmektedirler. Küçük emittanslı demetler, yükseltici (booster) doğrusal hızlandırıcıda biraz daha hızlandırılmaktadır. Ana demetler 100 MV/m hızlandırma gradyeni ile hızlandırıcılar içerisinde hızlandırılmaya başlanmaktadır. Klasik sistemlerde ana demetin hızlandırılması için kullanılan doğrusal hızlandırıcılar yüksek frekans jeneratörü (klystron) tarafından güçlendirilmektedir. Bu yeni tip hızlandırıcılarda ise bu klystron gücü ikinci bir 'Sürücü Demet (Drive Beam)' üretimi ile sağlanmaktadır.

Hızlandırıcılardaki 100 MV/m' lik yüksek gradyen değerine bağlı olarak hızlandırıcının adı 'kompakt' olarak adlandırılmaktadır. Elde edilmesi beklenen 3 TeV' lik kütle merkezi enerjisine, LHC' nin gradyen değeri olan 5 MV/m ile ulaşılmak istenirse 840 km' lik bir tünele; ya da 6 MV/m' lik gradyen değeri ile Büyük Elektron Pozitron (LEP2) Çarpıştırıcısı için 700 km' lik bir tünele ihtiyaç vardır. CLIC' te ise bu yüksek gradyen değerine  $\approx 21$  km' de ulaşılmaktadır (Anonim 2018a).



Şekil 2.2. 3 TeV enerjideki CLIC planı

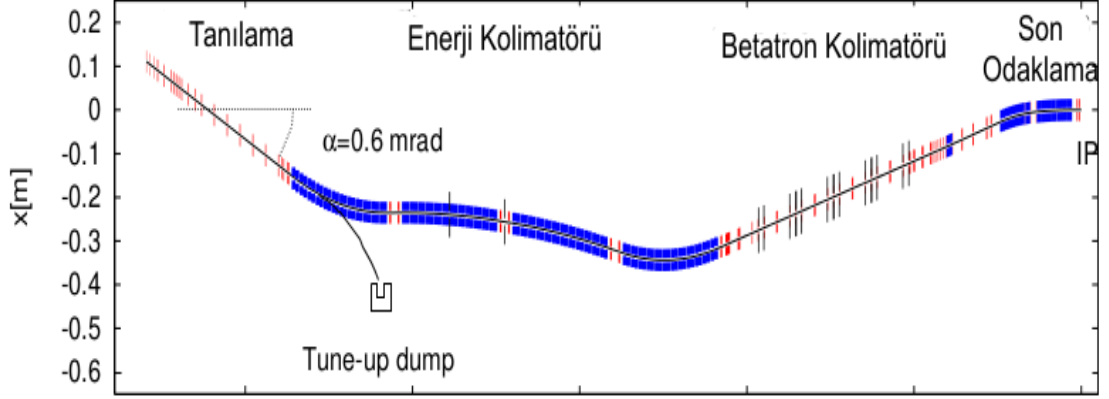
Şekil 2.2' nin üst kısmı iki ana hızlandırıcı için 'Sürücü Demet' üretimini ve 'Birleştirme Halkaları (Combiner Ring)' nı içermektedir. Sürücü demet hızlandırıcılı sistemlerde çok yüksek akıma ihtiyaç duyulmakta ve bu akım artırma işlemi de 'Birleştirme Halkaları' nda yapılmaktadır. Burada demet pulsları sıkıştırılıp frekans arttırılmaktadır. Son olarak da demetler 2,75 km uzunluklu 'Demet Taşınım Hattı (BDS)' içinde merkezin tam ortasındaki bir etkileşme noktasında (IP) çarpıştırılmaktadır (Aicheler ve ark. 2012).

### 2.1.1. CLIC demet taşınım hattı

CLIC Demet Taşınım Hattı,  $e^-$  ve  $e^+$  demetlerini yüksek enerjili doğrusal hızlandırıcıların çıkışından istenilen CLIC demet boyutlarına ( $\sigma_x = 45nm, \sigma_y = 1nm$ ) ve hedeflenen ışınlılık değerine ulaştırarak iletilmesini ve onların çarpışma bölgesine taşınmasını sağlamaktadır. BDS, bunların yanında birkaç kritik özelliğe de sahiptir:

- Doğrusal hızlandırıcıdan gelen demeti ölçmek ve bunu son odaklama bölgesindeki demet ile karşılaştırmak.
- Demet hattını ve detektörü ana doğrusal hızlandırıcıdan gelen yanlış hizalanmış demetlerden korumak.

- Doğrusal hızlandırıcıdan gelen herhangi yüksek genlikli ya da enerjisi olmayan demet halelerini yok ederek detektörlerdeki arka planı düşürmek.
- Enerji ve polarizasyon gibi önemli fizik parametrelerini ölçmek ve gözlemlemek (Aicheler ve ark. 2012).



**Şekil 2.3.** 3 TeV enerjideki CLIC Demet Taşınım Hattı planı

Şekil 2.3' te 3 TeV enerjideki CLIC Demet Taşınım Hattı planı görülmektedir. Burada dipol magnetler mavi; kuadrupol magnetler kırmızı ve kolimatörler de siyah ile gösterilmektedir.

CLIC Demet Taşınım Hattı, Şekil 2.3' te de görüldüğü gibi ana doğrusal hızlandırıcının çıkışından itibaren tanılama (diagnostik), kolimatör ve son odaklama bölgesi olmak üzere üç alt bölümden oluşmaktadır. Bu alt bölümlerden ilki 0-400 m. arasında, ana doğrusal hızlandırıcıların çıkışından kolimatör bölümünün girişine kadar olan ve demetin optik özelliklerinin ölçülüp son odaklama ve kolimatör bölümüne girmeden önce düzeltildiği 'Tanılama Bölümü' dür. İkinci bölüm ise ana doğrusal hızlandırıcıdan gelen istenmeyen demetlere karşı detektörü koruyan ve demet etrafındaki istenmeyen haleleri (parçacık bulutlarını) temizleyen 'Kolimatör Bölümü' dür. Kolimatör bölümü de 400-1100 m. arasındaki 'Enerji Kolimatör' ü ve 1100-2400 m. arasındaki 'Betatron Kolimatör' ü diye adlandırılan iki alt kısımdan oluşmaktadır. Demet Taşınım Hattı'nın son bölümü olan 'Son Odaklama Bölümü' ise 2400-2800 m. arasında yer almakta ve burada çarpışmadan önce demet istenilen boyutlarına ( $\sigma_x = 45nm, \sigma_y = 1nm$ ) ayarlanmaktadır (Aicheler ve ark. 2012).

**Çizelge 2.2.** ILC ve CLIC demet taşınım hatlarının başlangıcında bulunan demetlerin parametreleri

Parametre	sembol	ILC		CLIC	
		e <sup>-</sup> demeti	e <sup>+</sup> demeti	e <sup>-</sup> demeti	e <sup>+</sup> demeti
Varsayılan Demet Enerjisi	$E_0$ [GeV]	250		1500	
Parçacık Sayısı	$N_e$	$2 \times 10^{10}$		$3,72 \times 10^9$	
Yatay normalize emittans	$\gamma_0 \epsilon_x$ [um]	9,4		0,66	
Düşey normalize emittans	$\gamma_0 \epsilon_y$ [um]	0,04		0,02	
Demet Uzunluğu	$\sigma_z$ [um]	300		44	
Yatay polarizasyon	$P_x$ [%]	0		0	
Düşey polarizasyon	$P_y$ [%]	0		0	
Boyuna polarizasyon	$P_z$ [%]	+80	+30	+80	0
Twiss parameterleri	$\beta_x$ [m]	72		66,14	
Twiss parameterleri	$\beta_y$ [m]	40		17,924	

Yukarıda özellikleri ve bölümleri açıklanan CLIC doğrusal çarpıştırıcısına benzer olarak ILC isimli bir polarize elektron-pozitron çarpıştırıcısı projesi daha bulunmaktadır. ILC projesinde 200-500 GeV (1 TeV' e yükseltilebilir)' lik bir kütle merkezi enerjisinde elektron pozitron demetlerinin çarpıştırılması planlanmakta ve elektron demetinin polarizasyonu  $\geq 80\%$ , pozitron demetinin polarizasyonu ise  $\geq 30\%$  olarak düşünülmektedir (Beckmann 2013). CLIC ve ILC için demet taşınım hatlarının başlangıcındaki demetlerin sahip olduğu değerler Çizelge 2.2' de verilmektedir.

## 2.2. Koordinat Sistemi ve Notasyonlar

Bu bölümde bu tez boyunca kullanılan koordinat sistemleri ve notasyonlar anlatılmıştır.

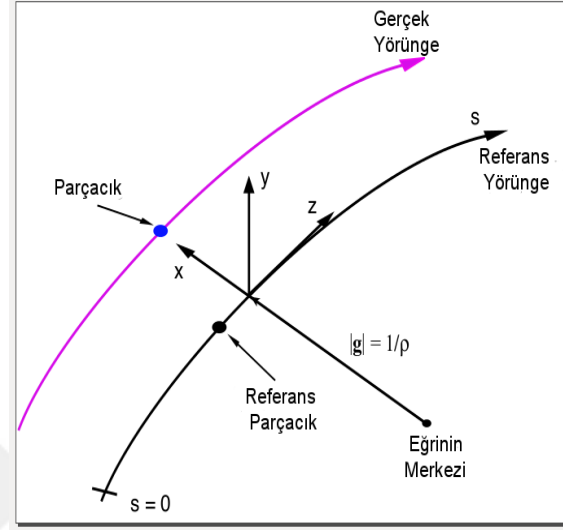
### 2.2.1. Koordinat sistemleri

Parçacık iletimi, demet hattı koordinat sistemi ve parçacık koordinatları ile tanımlanmaktadır. Tez kapsamında, parçacık takibinde ise BMAD' in koordinat sistemi kabul edilmiştir (Sagan 2014). Bu da simüle edilen parçacıkları parametrelmek için parçacık koordinatlarının yanında lokal referans koordinat sistemini içermektedir. BMAD programı ile ilgili detaylı bilgi Bölüm 4.3 de verilmektedir.



### 2.2.2. Lokal referans koordinat sistemi

Simüle edilen parçacığın konumunu tanımlamak için kullanılan lokal referans koordinat sisteminin şematize edilmiş hali Şekil 2.4' de verilmektedir.



Şekil 2.4. BMAD' te kullanılan lokal referans koordinat sistemi

Burada görülen referans yörünge (reference orbit), tüm demet hattı elemanlarının tam merkezinden geçen ve referans parçacık (reference particle) olarak adlandırılan sanal, mükemmel parçacığın yolu olarak tanımlanmaktadır.  $s$  koordinatı, referans yörünge boyunca hareket eden referans parçacığın uzaklığını ifade etmektedir. Bir örgünün başında  $s = 0$  olarak kabul edilmektedir.  $z$ -ekseni genelde  $s$ -eksenine paralel olmaktadır fakat tersine dönmüş elemanlar için bu antiparalel olacaktır.  $x$  ve  $y$  eksenleri referans yörüngeye diktir ve eğer örgü herhangi bir dikey bükülmeye sahip değilse  $y$  eksenini dikey doğrultuda,  $x$  eksenini ise yatay düzlem içinde bulunmaktadır (Sagan 2014).

### 2.2.3. Parçacık koordinatları

Yüklü parçacıklar için BMAD programı Eşitlik 2.1 ile verilen faz uzay koordinatlarını kullanmaktadır.

$$r(s) = (x, p_x, y, p_y, z, p_z) \quad (2.1)$$

Boyuna konum  $s$  zamandan bağımsız bir değişkendir.  $x$  ve  $y$  parçacığının Şekil 2.4' de gösterilen enine koordinatlarıdır ve referans parçacığının konumundan bağımsızdır.

Faz uzay momentumları  $p_x$  ve  $p_y$ , referans momentum  $P_0$  ile normalize edilmektedir.

$$p_x = \frac{P_x}{P_0} \quad (2.2)$$

$$p_y = \frac{P_y}{P_0} \quad (2.3)$$

Burada  $P_x$  ve  $P_y$ ,  $x$  ile  $y$  momentumlarıdır.

Boyuna koordinat olan faz uzay  $z$  koordinatı:

$$z(s) = -\beta(s)c(t(s) - t_0) \quad (2.4)$$

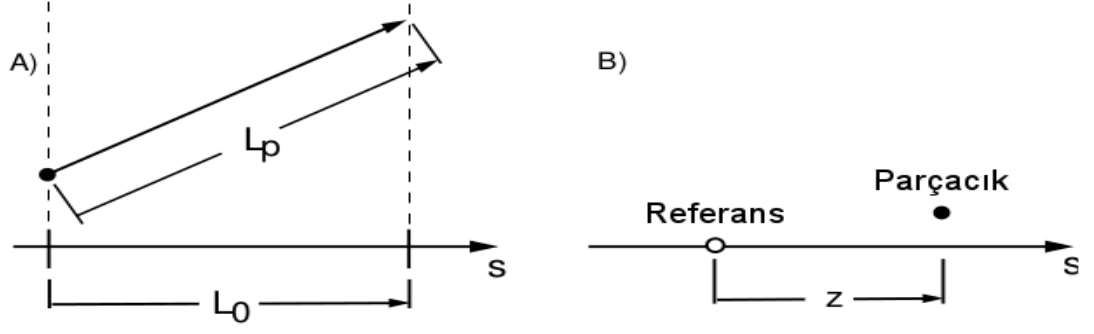
$t(s)$ , parçacığının  $s$  konumunda bulunduğu zaman;  $t_0(s)$  referans parçacığının  $s$  konumunda bulunduğu zaman ve  $\beta$  ise parçacığının hızı  $v$  olmak üzere  $v/c$  olarak ifade edilmektedir (Sagan 2014).

Eğer parçacığının hızı sabitse ve referans parçacığının hızı ile aynıysa (örneğin yüksek enerjilerde tüm parçacıklar için  $\beta = 1$  dir) o zaman  $\beta c t$  yörüngesinin uzunluğu olmaktadır. Bu durumda bir eleman boyunca  $z$ ' de oluşan değişim:

$$\Delta z = L_0 - L_P \quad (2.5)$$

ile verilmektedir ve bu durum Şekil 2.5' de gösterilmektedir. Şekil 2.5' de A kısmında,  $L_0$  referans parçacığının yörünge uzunluğu (aslında yörüngedeki elemanın uzunluğudur) ve eleman boyunca geçen parçacığının yörünge uzunluğu  $L_P$  ile gösterilmektedir. B kısmında ise sabit  $\beta$  ve sabit zamanda parçacık ve referans parçacık arasındaki boyuna uzunluk  $z$  ile gösterilmektedir.  $z > 0$  ise simüle edilen parçacık referans parçacığının önünde demektir (Sagan 2014).

Eğer referans yörünge bükülmüyorsa ve simüle edilen parçacık referans parçacığa yakın



**Şekil 2.5.** Sabit hızda faz uzay gösterimi: A) Bir eleman uzunluğu boyunca  $z'$  deki değişim  $L_0, L_0 - L_P$ ' dir. B) Sabit bir zamanda,  $z$  referans parçacık ile parçacık arasındaki uzunluktur

hareket etmiyorsa,  $z$  simüle edilen parçacık ile referans parçacık arasındaki boyuna uzaklık olarak kabul edilmektedir. Bu tez boyunca da  $z$  boyuna koordinat,  $x(s)$  ve  $y(s)$  ise enine koordinat olarak kullanılmıştır.

Boyuna faz uzay momentumu  $p_z$ :

$$p_z = \frac{\Delta P}{P_0} \equiv \frac{P - P_0}{P_0} \quad (2.6)$$

ile gösterilmektedir. Burada  $P$  parçacığın momentumudur. Ultra rölativistik parçacıklar için  $p_z$ :

$$p_z = \frac{\Delta E}{E_0} \quad (2.7)$$

olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada da rölativistik elektronlar kullanıldığı için parçacık takibinde Eşitlik 2.7 kullanılmıştır. Burada  $E_0$  referans enerjidir ve  $\Delta E = E - E_0$  ise parçacık enerjisinin referans enerjiden sapmasıdır (Sagan 2014).

Bu çalışmada kullanılan BMAD standart parçacık izleme metodu,  $p_x$  ve  $p_y \ll 1$  yaklaşımını kabul etmektedir. Bu yaklaşımda, faz uzay momentumları ve eğici magnetler dışındaki parçacık yörüngesinin eğimleri  $x'$  ile  $y'$  eğimleri arasındaki ilişki:

$$x' = \frac{dx}{ds} \approx \frac{p_x}{1 + p_z} = \frac{p_x}{|\vec{p}|} \quad (2.8)$$

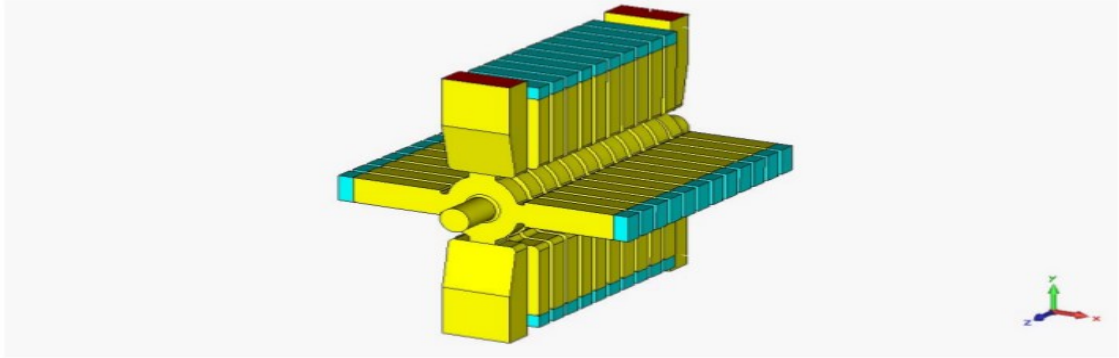
$$y' = \frac{dy}{ds} \approx \frac{p_y}{1 + p_z} = \frac{p_y}{|\vec{p}|} \quad (2.9)$$

eşitliği ile verilmektedir (Sagan 2014).

CLIC BDS boyunca takip edilen parçacıklar için ise elde edilen faz uzay koordinatları Bölüm 4.3.2' te bulunmaktadır.

#### 2.2.4. Crab kavite açısı

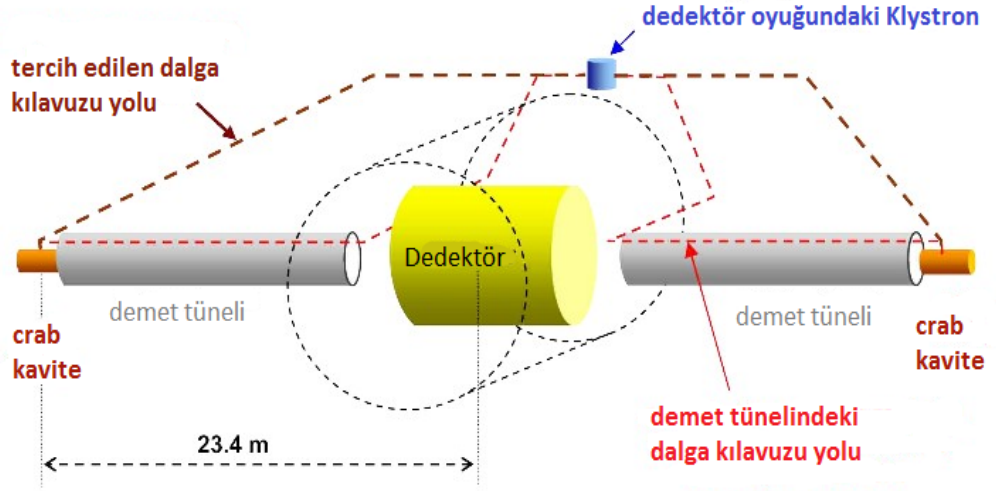
Elektron demetinin çarpışma noktasındaki koordinatlarını etkileyen faktörlerden biri demet hattı elemanlarından olan crab kavitelere dir. Crab kavite,  $z$  eksenine bağımlı olarak yatay doğrultuda demeti saptırmaya yarayan magnetlerdir. Şekil 2.6' da da görülen crab kavite,  $\zeta = 20$  mrad' lık kesişme açısı ile demetlerin çarpışma noktasında kafa kafaya çarpışması için demetleri döndürmektedir (Aicheler ve ark. 2012). Demetler bu şekilde çarpıştırıldığında etkileşen parçacık sayısı artacağı için ışınlının 95%' e kadar artması sağlanacaktır.



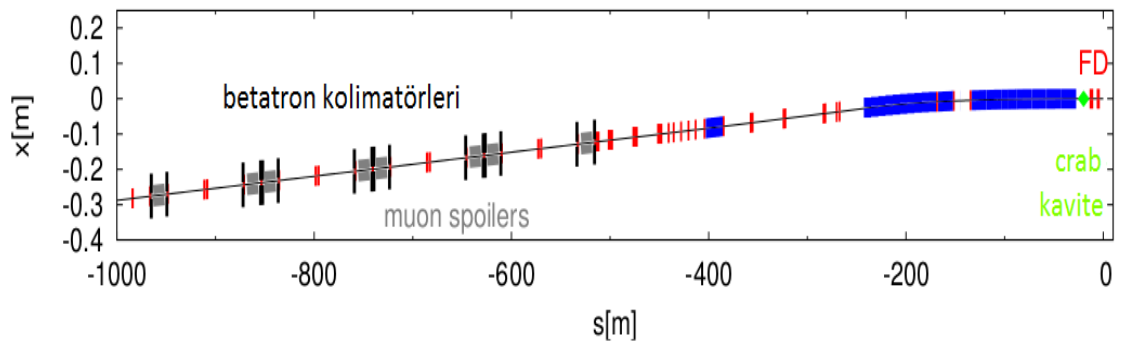
Şekil 2.6. 12 hücreli crab kavite örneği

Crab kavite, Şekil 2.7 ve Şekil 2.8' de görüldüğü gibi, demet taşıma hattı sisteminde bulunan ve son odaklanmanın yapıldığı güçlü kuadropollerden 23,4 m öncesine yerleştirilmesi planlanmaktadır (Aicheler ve ark. 2012).

CLIC BDS' e crab kavite ilavesi sonucu elde edilen demet profili grafiği Bölüm 4.3.4' te bulunmaktadır.



Şekil 2.7. Crab kavitelerin CLIC Demet Taşınım Hattı' ndaki yeri



Şekil 2.8. CLIC Demet Taşınım Hattı' ndaki son quadropollerden önce yerleştirilen crab kaviteler

### 2.3. Polarizasyon

Polarizasyon, bir parçacık topluluğunun ortalama spin yönelimi olarak tanımlanmaktadır ve  $N$  parçacıklı bir parçacık topluluğunun polarizasyon vektörü:

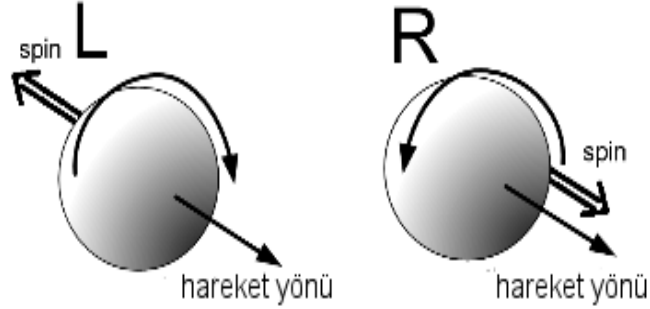
$$\vec{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \vec{S}_i = \langle \vec{S} \rangle_N \quad (2.10)$$

ile formüle edilmektedir. Bu eşitlikte,  $\vec{S}$  her bir parçacığın klasik spin vektörüdür ve  $|\vec{S}| = 1$ ' dir.

Demet polarizasyonu, polarizasyon vektörü cinsinden:

$$\vec{P} = \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{pmatrix} \quad (2.11)$$

ile gösterilmektedir. Burada,  $P_x$  ve  $P_y$  enine polarizasyonu;  $P_z$ , ise referans yörüngeye paralel bileşen olan boyuna polarizasyonu temsil etmektedir. Eğer  $\hat{p}_x = 0 = \hat{p}_y$  ise,  $P_z$  momentum vektörüne paralel bileşen olan helisiteye karşılık gelir. Yani  $P_z$ , hareket doğrultusundaki spin yönelimidir ve  $\lambda = -1/2$  sol ya da  $\lambda = +1/2$  sağa doğru spin yönelimine sahip olan parçacık grubu olarak tanımlanmaktadır (Burada  $\lambda$ =helisitedir).  $\hat{p}_x$  ve  $\hat{p}_y$  yeteri kadar küçük olduğu için “boyuna polarizasyon” ve “helisite” terimleri çoğu zaman eş anlamlı olarak kullanılmaktadır (Beckmann 2013).



**Şekil 2.9.** Boyuna polarizasyon gösterimi. Soldaki şekilde sola yönelimli elektronlar gösterilirken, sağdaki şekilde sağa yönelimli elektronlar gösterilmektedir.

Boyuna ve enine polarizasyonların her ikisi de kullanılan demet için mümkündür. Enine polarizasyonun kullanılmasına rağmen Standart Model ötesindeki fizik için özellikle CP etkileşimlerini incelerken odak nokta boyuna polarizasyondur. Boyuna polarizasyon hesaplaması genel bir şekilde:

$$P = \frac{N_R - N_L}{N_R + N_L} \quad (2.12)$$

ile verilmektedir. Burada  $N_R$  sağa yönelimli parçacık sayısını;  $N_L$  ise sola yönelimli parçacık sayısını göstermektedir. Örneğin, CLIC için çarpışma bölgesinde elektron polarizasyonu 80% olarak düşünülmektedir. Bu da demet içerisinde 100 tane elektron varsa

bunlardan 90 tanesi sağa yönelimli, 10 tanesi ise sola yönelimli anlamına gelmektedir. Bu değerler Eşitlik 2.12' de yerine konulursa istenilen polarizasyon değeri 0,8 olarak hesaplanmaktadır. Şekil 2.10' da son sütunda ( $S_z$ ), CLIC çarpışma bölgesindeki ilk 10 parçacıktan 9 tanesinin sağa yönelimli ve pozitif; 1 tanesinin de sola yönelimli ve negatif değere sahip olduğu görülmektedir.

$p_x$	$y$	$p_y$	$z$	$p_z$	$s_x$	$s_y$	$s_z$
1.3738449596E-05	1.5937401064E-09	3.0083386278E-06	2.3534439014E-07	3.6275884079E-03	6.0144966695E-03	1.0247678081E-02	9.9992940297E-01
-6.9517962282E-06	-1.2226647647E-09	-1.3131233491E-06	1.8812678300E-05	-4.7084874738E-03	9.6704603673E-03	-4.1971136388E-03	9.9994443167E-01
4.5245740949E-06	-8.2281798587E-10	1.0143513561E-05	-8.1313861239E-05	-3.8574889979E-03	2.4800648007E-02	3.7368107822E-02	9.9999376994E-01
-9.8352694235E-06	4.8317687716E-10	-1.0346188132E-05	-2.5301702808E-05	-1.7343829183E-03	-8.6174649031E-03	-3.8474584787E-02	9.9922242050E-01
-4.0603614629E-06	8.6112456077E-10	1.2037877572E-05	4.3723127782E-05	9.7868493501E-04	1.0528392478E-02	-4.4385547560E-02	-9.9895899622E-01
-4.2358960339E-06	-6.0211097730E-10	-2.6265050019E-06	6.8403513329E-05	-2.4805023308E-03	3.2674303411E-03	-9.3789873313E-03	9.9995067803E-01
9.2352037708E-06	1.8573890287E-09	-8.8889825950E-06	7.7652452224E-06	2.9622468072E-03	1.3298554117E-03	-3.2900343440E-02	9.9945775243E-01
1.2788877396E-05	-3.9639977520E-10	1.1877639717E-06	-6.9114167281E-05	3.5632415107E-03	4.6102180031E-03	4.4109766133E-03	9.9997964438E-01
5.4189873322E-06	5.9225273361E-10	-6.6139617934E-07	7.6689320590E-06	-5.1561359956E-05	9.0554483066E-03	-2.6486461314E-03	9.9995549077E-01
-2.6580765234E-06	-1.4615348716E-09	8.2377829036E-07	2.0304474566E-05	-2.5820016249E-03	6.9146127993E-03	3.7040061016E-03	9.9996923376E-01

**Şekil 2.10.** CLIC çarpışma bölgesindeki ilk 10 parçacığın faz uzay koordinatları ve spin değerleri

### 2.3.1. Tesir kesidi ve polarizasyon ilişkisi

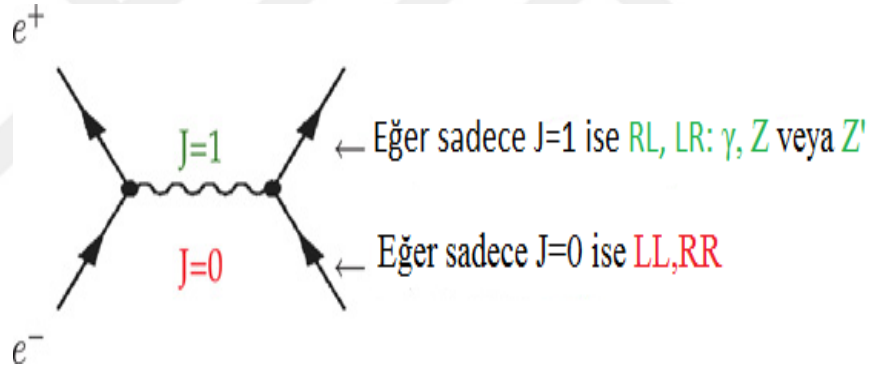
Şekil 2.11' de ilk sütun olası tesir kesitlerini, dördüncü sütun olası tesir kesidinin hesaplanmasını ve son sütun da  $e^-e^+$  yönündeki toplam spin gösterimini belirtmektedir. Burada  $\sigma_{RL}$ , sağa doğru polarize elektron demeti ve sola doğru polarize pozitron demetinin tesir kesidini sembolize etmektedir (Moortgat-Pick ve ark. 2008).

Standart Model içinde örneğin demetlerin zıt helisiteler ( $F_{LL} = F_{RR} = 0$ ) taşıdıkları durumda, sadece toplam açısal momentumu  $J=1$  olan bir vektör parçacığıyla yeniden etkileşme durumu mümkündür. Bu durum Şekil 2.12' de gösterilmektedir. Burada gelen  $e^-$  ve  $e^+$  demetlerinin helisiteleri doğrudan çiftlenmiştir. Yeni fizik modelleri  $J = 1$  ve aynı

	$e^-$	$e^+$		
$\sigma_{RR}$			$\frac{1+P_{e^-}}{2} \cdot \frac{1+P_{e^+}}{2}$	$J_z = 0$
$\sigma_{LL}$			$\frac{1-P_{e^-}}{2} \cdot \frac{1-P_{e^+}}{2}$	
$\sigma_{RL}$			$\frac{1+P_{e^-}}{2} \cdot \frac{1-P_{e^+}}{2}$	$J_z = 1$
$\sigma_{LR}$			$\frac{1-P_{e^-}}{2} \cdot \frac{1+P_{e^+}}{2}$	

Şekil 2.11. Tesir kesidi ve polarizasyon ilişkisi

zamanda  $J = 0$  durumlarına, LL veya RR şekillenmeleri dolayısıyla katkıda bulunabilir (Moortgat-Pick ve ark. 2008).



Şekil 2.12. s kanalı diyagramlarında olası şekillenmeler

Tesir kesidinin demet polarizasyonuna bağlılığı; polarizasyonun olmadığı tesir kesidi  $\sigma_0$ , sol-sağ asimetrisi  $A_{LR}$ , etkin polarizasyon  $P_{eff}$  ve etkin ışınılık  $L_{eff}$  ile gösterilmektedir (Moortgat-Pick ve ark. 2008). Polarizasyonun olmadığı durumda tesir kesidi:

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_{RL} + \sigma_{LR}}{4} \quad (2.13)$$

Eşitlik 2.13' de  $\sigma_{RL}$ , sağa doğru polarize elektron demeti ve sola doğru polarize pozitron demetinin tesir kesidi iken  $\sigma_{LR}$ , sola doğru polarize elektron demeti ve sağa doğru polarize pozitron demetinin tesir kesididir (Moortgat-Pick ve ark. 2008).



Etkin polarizasyon :

$$P_{eff} = [P_{e^-} - P_{e^+}] / [1 - P_{e^-} P_{e^+}] \quad (2.14)$$

Etkin ışınlılık:

$$L_{eff} = \frac{1}{2} [1 - P_{e^-} P_{e^+}] L \quad (2.15)$$

Etkileşen parçacık sayısı:

$$L_{eff}/L \quad (2.16)$$

Sol-sağ asimetrisi:

$$A_{LR} = \frac{\sigma_{LR} - \sigma_{RL}}{\sigma_{LR} + \sigma_{RL}} \quad (2.17)$$

Bunları birleştirirsek tesir kesidi:

$$\begin{aligned} \sigma_{P_{e^-} P_{e^+}} &= (1 - P_{e^-} P_{e^+}) \frac{\sigma_{RL} + \sigma_{LR}}{4} \left[ 1 - \frac{P_{e^-} - P_{e^+}}{1 - P_{e^+} P_{e^-}} \frac{\sigma_{LR} - \sigma_{RL}}{\sigma_{LR} + \sigma_{RL}} \right] \\ &= 2 L_{eff} \sigma_0 [1 - P_{eff} A_{LR}] \quad (2.18) \end{aligned}$$

Çeşitli polarizasyon değerleri için hesaplanan etkin polarizasyon ve etkin ışınlılık değerleri Şekil 2.13' de görülmektedir:

		$P_{eff}$	$\mathcal{L}_{eff}/\mathcal{L}$
$P_{e^-} = 0,$	$P_{e^+} = 0$	0%	0.50
$P_{e^-} = -100\%,$	$P_{e^+} = 0$	-100%	0.50
$P_{e^-} = -80\%,$	$P_{e^+} = 0$	-80%	0.50
$P_{e^-} = -80\%,$	$P_{e^+} = +60\%$	-95%	0.74

**Şekil 2.13.** Çeşitli polarizasyon değerleri için hesaplanan etkin polarizasyon ve etkin ışınlılık değerleri

Şekil 2.13' de de görüldüğü gibi etkin polarizasyon, iki demet polarizasyonunun zıt işaretli olması durumunda iki demet polarizasyonundan da daha büyük bir değerle 100%' e yaklaşmaktadır ( $P_{e^-} = -80, P_{e^+} = 60$  ise  $P_{eff} = -95$  olur)(Moortgat-Pick ve ark. 2008).

### 2.3.2. Boyuna polarizasyon

Boyuna ve enine polarizasyonların her ikisi de demet için mümkündür. Enine polarizasyonun kullanılabilirliğine rağmen Standart Model ötesindeki fizik için, özellikle CP etkileşimlerini incelerken odak nokta boyuna polarizasyondur ve  $e^-e^+$  çarpıştırıcılarında etkileşimlerin tesir kesidi çok büyük ölçüde boyuna polarizasyona bağlı olmaktadır.

Bir  $e^-e^+$  çarpıştırıcısında boyuna polarize demetlerin tesir kesidi:

$$\sigma_{P_{e^-}P_{e^+}} = \frac{1}{4}\{(1 + P_{e^-})(1 + P_{e^+})\sigma_{RR} + (1 - P_{e^-})(1 - P_{e^+})\sigma_{LL} + (1 + P_{e^-})(1 - P_{e^+})\sigma_{RL} + (1 - P_{e^-})(1 + P_{e^+})\sigma_{LR}\} \quad (2.19)$$

eşitliği ile verilmektedir (Moortgat-Pick ve ark. 2008). Burada  $\sigma_{RL}$ , eğer  $e^-$  demeti tamamen sağa yönelimli polarize ( $P_{e^-} = +1$ ) ve  $e^+$  demeti de tamamen sola yönelimli polarize ( $P_{e^+} = -1$ ) ise tesir kesidi için kalmaktadır.  $\sigma_{LR}$ ,  $\sigma_{RR}$  ve  $\sigma_{LL}$  tesir kesitleri de benzer şekilde tanımlanmaktadır.

### 2.3.3. Lorentz dönüşümü altında polarizasyon değişimi

Keyfi bir eylemsiz referans sisteminde polarizasyonu hesaplamak için, parçacığın Lorentz dönüşümü altındaki davranışının bilinmesi gerekmektedir.

Parçacığın durgun sistemdeki anlık spin vektörü  $\vec{T}$ :

$$\vec{T} = \frac{\hbar}{2}\vec{S} \quad (2.20)$$

ve parçacığın  $\vec{V}$  hızı ile hareket ettiği sistemdeki spin vektörü  $\vec{U}$ , birbirine şu şekilde bağlıdır (Beckmann 2013):

$$\vec{T} = \vec{U} - \frac{\gamma}{\gamma + 1} \frac{(\vec{v} \cdot \vec{U})\vec{v}}{c^2} = \vec{U} - \frac{\beta^2\gamma}{\gamma + 1} \cdot \vec{U}_{\parallel} \quad (2.21)$$

$$\vec{U} = \vec{T} + \frac{\gamma^2}{\gamma + 1} \frac{(\vec{v} \cdot \vec{T}) \vec{v}}{c^2} = \vec{T} + \frac{\beta^2 \gamma^2}{\gamma + 1} \vec{T}_{\parallel} = \vec{T} + (\gamma - 1) \vec{T}_{\parallel} \quad (2.22)$$

Burada  $c$ , ışık hızı ve  $\beta$  ile  $\gamma$ ' da rölativistik Lorentz faktörleridir.  $\vec{U}_{\parallel}$  ve  $\vec{T}_{\parallel}$ ,  $\vec{U}$  ve  $\vec{T}$ ' nin  $\vec{v}$  üzerindeki izdüşümleridir.

Polarizasyonu hesaplamak için, spin vektörleri uzunlukları üzerinden normalize olmalıdır. Bu da Eşitlik 2.23 ile verilmektedir.

$$|\vec{U}| = \sqrt{|\vec{T}|^2 + \left( \gamma \frac{\vec{v} \cdot \vec{T}}{c} \right)^2} = \sqrt{|\vec{T}|^2 + (\gamma - 1) \cdot |\vec{T}_{\parallel}|^2} \quad (2.23)$$

Parçacığın durgun çerçevesinde:

$$|\vec{T}| = \hbar/2 \quad (2.24)$$

alınmaktadır.

Yukarıda verilen formüller ile polarizasyonun Lorentz dönüşümü altında polarizasyon vektörüne tamamen paralel veya dik olduğunda değişmez olduğu görülmektedir (Beckmann 2013).

## 2.4. Elektromanyetik Alanlar ile Etkileşim

Spinler elektromanyetik alanlar ile etkileşime girmektedir. Elektromanyetik alanların spinler üzerindeki doğrudan etkisi T-BMT süreci ve spin dönmesine sebep olan elektromanyetik radyasyonun yayılımı ile tanımlanmaktadır.

### 2.4.1. T-BMT süreci

Bir manyetik alan varlığında spinler manyetik alan etrafında dönmektedir ve bu Thomas devinimi olarak adlandırılmaktadır. Kısaca T-BMT olarak adlandırılan Thomas-Bargmann-Michel-Telegdi eşitliği, aynı olayı laboratuvar çerçevesinde göstermektedir. Parçacık durgun ortamından laboratuvar ortamına geçerken, durgun ortamdaki manyetik alanın bir

kısmı, hareket yönüne dik olan elektrik alana çevrilmektedir. Bu yüzden, laboratuvar ortamındaki dikey elektrik alan spin değişimine katkıda bulunmaktadır. Laboratuvar çerçevesinde bir  $t$  zamanında bir parçacık için  $q$ ,  $m$ ,  $\vec{p}(t)$  ve  $\vec{r}(t)$  sırasıyla yük, kütle, momentum ve konum olarak alınırsa T-BMT eşitliği, zaman içinde elektromanyetik alanların  $\vec{B}(\vec{r}, t)$ ,  $\vec{E}(\vec{r}, t)$  etkisi altında parçacık spini  $\vec{S}$ ' nin değişimini vermektedir (Beckmann 2013).

$$\frac{d}{dt}\vec{S} = (\vec{\Omega}_B + \vec{\Omega}_E) \times \vec{S} \quad (2.25)$$

Eşitlik 2.25' de  $\vec{\Omega}_B(\vec{B}, \vec{r}, \vec{p}, t)$  ve  $\vec{\Omega}_E(\vec{E}, \vec{r}, \vec{p}, t)$  sırasıyla manyetik ve elektrik alanlardan gelen katkıyı göstermektedir.

Manyetik alan katkısı:

$$\vec{\Omega}_B(\vec{B}, \vec{r}, \vec{p}, t) = -\frac{q}{m\gamma} \left( (1 + a \cdot \gamma) \vec{B} - \frac{a\vec{p} \cdot \vec{B}}{(\gamma + 1)m^2 c^2} \vec{p} \right) \quad (2.26)$$

Eşitlik 2.26' da  $\gamma$  rölativistik Lorentz faktörü,  $c$  ışık hızı ve  $a \equiv (g - 2)/2$  jromanyetik momentteki anormallik (elektronlar için  $a \approx 0.001159652$ ) olarak adlandırılmaktadır.

Elektrik alan katkısı:

$$\vec{\Omega}_E(\vec{E}, \vec{r}, \vec{p}, t) = \frac{q}{m\gamma} \frac{1}{mc^2} \left( a + \frac{1}{1 + \gamma} \right) \vec{p} \times \vec{E} \quad (2.27)$$

CLIC BDS üzerinde herhangi bir hızlandırma kavitesi ve elektrik alan bulunmadığı için bu tez kapsamında sadece manyetik alandan gelen katkı gösterilecektir. Bu yüzden Eşitlik 2.26' da verilen  $\vec{\Omega}_B$  açılımı  $\vec{p}$  ye paralel olan  $\vec{B}_{\parallel}$  ve  $\vec{p}$  ye dik olan  $\vec{B}_{\perp}$  alan katkıları düşünülerek iki parçaya ayrılabilir:

$$\vec{\Omega}_B(\vec{B}, \vec{r}, \vec{p}, t) = -\frac{q}{m\gamma} \left( (1 + a\gamma) \vec{B}_{\perp} + (1 + a) \vec{B}_{\parallel} \right) \quad (2.28)$$

Sadece dik manyetik alan varlığında, momentum  $\vec{p}$  ve spin  $\vec{S}$  oldukça benzer davranmaktadır (Eğer  $\vec{B}_{\parallel} = \vec{E} = 0$  ise)(Beckmann 2013).

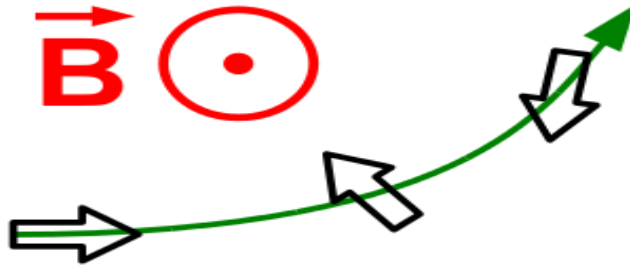
$$\frac{d}{dt}\vec{p} = -\frac{q}{m\gamma} (\vec{B}_{\perp}) \times \vec{p} \quad (2.29)$$

$$\frac{d}{dt}\vec{S} = -\frac{q}{m\gamma} \left( (1 + a\gamma)\vec{B}_{\perp} \right) \times \vec{S} \quad (2.30)$$

Bu yüzden, spin vektörü dik bir manyetik alan içinde Eşitlik 2.31 ile verilen  $\xi_{spin}$  açısıyla dönmektedir. Bu durum Şekil 2.14' te gösterilmektedir.

$$\xi_{spin} = (1 + a\gamma)\xi_{orbit} \quad (2.31)$$

Burada  $\xi_{orbit}$  ve  $\xi_{spin}$  sırasıyla bükülme ve spin dönme açıları olarak tanımlanmaktadır. 250 GeV enerjili bir elektron demeti için çoğaltma faktörü  $(1 + a \cdot \gamma) \approx 568$  iken 1,5 TeV enerjisi için ise bu değer  $\approx 3404$  e çıkmaktadır.

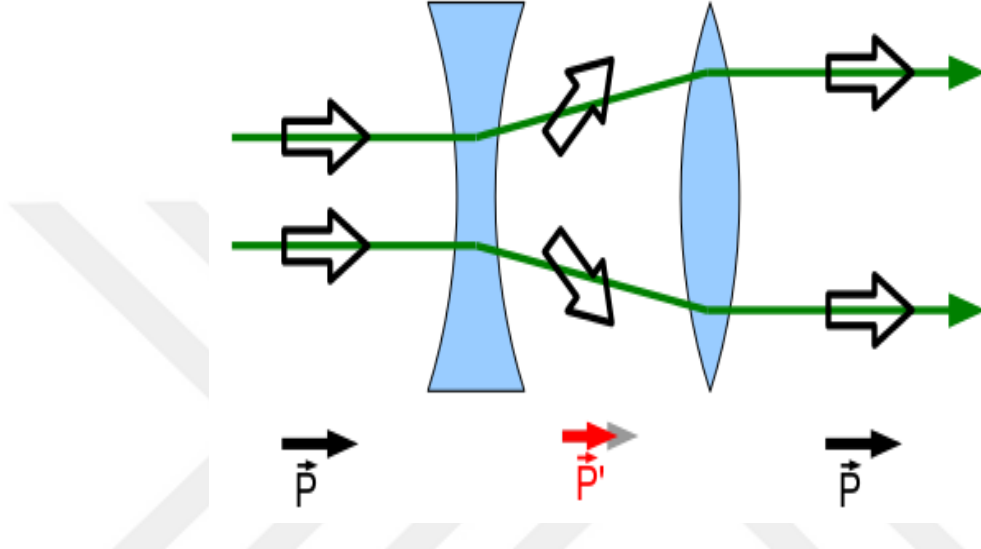


**Şekil 2.14.** Yüklü bir parçacığın bir manyetik alan içerisindeki spin yönelimi. Spin vektörü ( $\Rightarrow$ ) ile gösterilmektedir.

#### 2.4.2. Spin yayılması

Farklı şiddetlerin T-BMT süreci sebebiyle bir etki meydana getirmesi ‘spin yayılması’ olarak adlandırılmaktadır. Spin yayılması homojen olmayan manyetik alanlar içinde veya demet enerji yayılımı varlığında meydana gelmektedir. Şekil 2.15’ de iki parçacıklı bir demet örneğini kullanarak bir kuadropol üzerindeki spin yayılması gösterilmektedir. Her iki parçacık da ilk, odaktan uzaklaştıran kuadropolden farklı doğrultularda saptırılmakta

ve spin vektörleri de Eşitlik 2.31' e bağlı olarak yayılmaktadır. Böylece boyuna polarizasyon azalmakta ama iki spin vektörünün enine bileşenleri birbirini sıfırladığı için enine polarizasyon ise sıfır olarak kalmaktadır. Sonuç olarak tüm polarizasyon  $|\vec{P}'| < |\vec{P}|$  azalmaktadır. Bu olay Şekil 2.15' in ikinci yarısında da gösterildiği gibi spin vektörlerini orjinal dağılımına geri döndüren odaklayıcı bir kuadropol kullanılarak tersine çevrilmektedir (Beckmann 2013).



Şekil 2.15. Kuadropol magnet içindeki spin vektörlerinin ( $\Rightarrow$ ) yayılmasının gösterimi

## 2.5. CLIC $e^-$ Demeti Polarizasyonu

CLIC' te elektron demeti için boyuna polarizasyon değerinin  $P_{e^-} \geq 80\%$ ' e ulaşması beklenmektedir. Fiziksel sebeplerden dolayı gerekirse spin döndürücülerin demet hattına ilave edilmesi, enine polarize elektron demetlerinin de elde edilmesini mümkün kılacaktır. Ya undulator ışınımı ya da lazer-Compton geri saçılması ile polarize pozitron demetinin elde edilmesini sağlayacak şekilde yükseltme seçenekleri de mevcuttur. Polarizasyondan tam anlamıyla yararlanmak için demetin helisitesini döndürmek ve polarizasyonun değerini tam olarak ölçmek mümkündür. Compton polarimetresi ile yaklaşık  $\Delta P_{e^-}/P_{e^-} \leq 0,1\%$  olacak şekilde bir polarizasyon ölçümünün sağlanması beklenmektedir (Aichelers ve ark. 2012).

CLIC hızlandırıcı kavramsal tasarımı, polarize elektron demeti üretimi için bir kaynak ve demetin polarizasyon kaybı olmadan çarpışma noktasına taşınması için gerekli olan tüm demet hattı elemanlarını içermektedir. Şimdilik, polarize bir pozitron demeti CLIC tasarımının bir parçası değildir, fakat bu seçeneği daha sonraki aşamaya eklemek için gerekli provizyonlar yapılmıştır. Muhtemel olarak, böyle bir yükseltme aşamasından sonra 30%' luk bir pozitron polarizasyonuna ulaşılabacaktır.

CLIC  $e^-$  demetinin tüm BDS boyunca spin takibi yapılarak hat boyunca elde edilen polarizasyon değişimleri ile ilgili grafikler Bölüm 4.3.5' te verilmektedir.

## 2.6. Demet Polarizasyonunun Önemi ve Gerekliliği

Doğrusal çarpıştırıcılar polarizasyonu çok yüksek bir aşamaya kadar korunmaktadır. Polarize bir demet demet hattına gönderildiğinde, çarpışma noktasına çok az bir polarizasyon kaybı ile taşınmaktadır. Bu, polarizasyonun demet enerjisi ile keskin bir şekilde düştüğü depolama halkalarına tamamen zıttır. Örneğin 45 GeV demet enerjisine sahip LEP' te 57%'lik bir polarizasyon değeri ölçülmüştür. Bu enerjinin üstünde, polarizasyon güçlü bir şekilde bastırılmış ve 60 GeV üzerinde polarizasyon ölçülememiştir. Dolayısıyla doğrusal çarpıştırıcılar, LEP2' nin üzerindeki enerjilerdeki polarize  $e^- e^+$  çarpışmalarına olanak sağlayan tek yol olmaktadır. Mevcut tüm doğrusal çarpıştırıcı tasarımları polarize  $e^-$  demetlerini ve bazıları da polarize  $e^+$  demetlerini göz önüne alarak yapılmaktadır (Assmann ve Zimmermann 2001).

Elektrozayıf süreçlerin tesir kesiti gelen parçacığın polarizasyonuna bağlıdır. Bu sayede, demet polarizasyonu yeni gözlenebilirlerin oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Polarize demetlerin kullanıldığı bir çarpıştırıcıda önemli gözlenebilir olan polarize tesir kesitleri ayrı ayrı belirlenebilirken, demet polarizasyonu olmadan, sadece polarize olmayan tesir kesidi ölçülmektedir. Polarizasyonda tesir kesitlerine olan bağımlılık istenen süreçleri arttırmak ve istenmeyen süreçleri bastırarak etkin ışınliliği yükseltmek için kullanılmaktadır (Beckmann 2013).

Demet parçacıklarının polarizasyonu parçacık etkileşimlerinin spin bağımlılığını keşfetmek için de kullanılmaktadır. Etkileşen parçacıkların spin dağılımları hakkında herhangi bir bilgi hassas ölçümlerin doğruluğunu önemli ölçüde arttırmaktadır. Yani polarize demetlerin kullanımı, doğrusal bir çarpıştırıcının tüm fizik programlarında önemli bir rol oynamaktadır.

Demet polarizasyonunun önemini göstermek için tarihin önemli bir örneği, Stanford Doğrusal Çarpıştırıcı' sında (SLAC) elektrozayıf karışma açısının  $\sin^2\theta_w^{eff} = 0.00026$ ' lık eşsiz bir kesinlikle ölçülmesidir. LEP' te fizik çalışmaları için yüksek ışınlılığa rağmen polarize demetler olmadan  $\sin^2\theta_w^{eff} = 0.00029$ ' lik bir kesinliğe ulaşılmıştır (Assmann ve Zimmermann 2001).

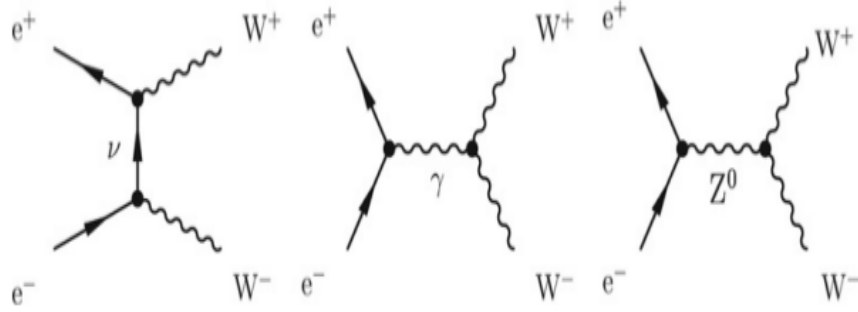
ILC' nin temel tasarımı için de elektron demetinin polarizasyonu düşünülmüştür. En azından 80% boyuna polarizasyon öngörülmekte olup, yeni sonuçlar ise 90%' a bile ulaşabileceğini göstermektedir. Ya undulatör ışınımı (ILC merkezi için tercih edilen seçenek) ya da lazer geri saçılması süreciyle (CLIC dizaynı için tercih edilen seçenek) polarize  $e^+$  üretimi için iki farklı kaynak düşünülmektedir. Her iki seçenek de ışınlılıkta herhangi bir kayıp olmadan  $e^+$  demeti için 60%' lık bir boyuna polarizasyon değeri sağlayacaktır. Fizik çalışmaları için spin döndürücülerle boyuna polarizasyon, enine polarize demetlerin de üretimi için döndürülebilir (Moortgat-Pick 2006).

ILC' de polarize  $e^-$  ve  $e^+$  demetlerinin kullanımı Standart Model ötesindeki fizik keşifleri ve bunun altında yatan fiziğin yapısını tam olarak çözebilmek için önemli bir rol oynamaktadır.  $\sqrt{s} = 500$  GeV' lik başlangıç enerji aşaması, her iki demetin de polarize olmasından güçlü bir şekilde yararlanmaktadır. Ama aynı zamanda 1 TeV' lik dizaynda da fizik getirisi demet polarizasyonu ile büyük ölçüde arttırılmaktadır. Üst kuark, Higgs, süpersimetri ve Standart Model ötesindeki diğer modellerin fizik çalışmaları için polarize  $e^-$  demeti yanında polarize  $e^+$  demeti kullanmanın da etkisinin büyük olması beklenmektedir.

Polarize demetlerle doğrusal çarpıştırıcıların fizik potansiyeli daha da arttırılmaktadır. Demet polarizasyonu ile daha etkili arka plan süreçlerinin kontrolü yapılmaktadır. Arka plandaki daha yüksek bir sinyal yeni bir fizikteki parçacıkların gösterilmesi ve onların

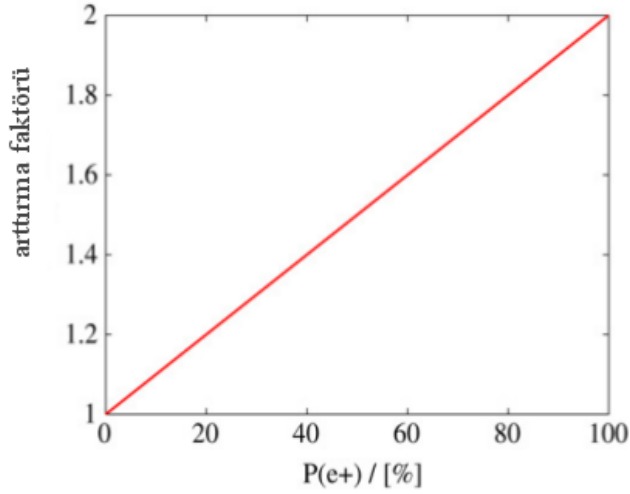


özelliklerinin bulunması için önemli olmaktadır. Örneğin  $W^+ W^-$  çift oluşumu, elektron demeti 80% polarize ise gerçekleşmektedir. Şekil 2.16' da  $e^+ e^-$  yok oluşuyla  $W$  çiftlerinin oluşum süreçleri görülmektedir.



**Şekil 2.16.**  $e^+ e^-$  yok oluşuyla  $W$  çiftlerinin oluşumu

Sağa yönelimli elektron polarizasyonu,  $W W'$  dan oluşan arka planı çok etkili bir şekilde temizlemektedir. Bu temizleme, sadece sağa yönelimli polarize elektron demeti durumu ile karşılaştırıldığında eğer sola yönelimli polarize pozitron demeti de kullanılırsa iki kat fazla bir artırma faktörüne sebep olmaktadır. Bu durum Şekil 2.17' de görülmektedir (Moortgat-Pick ve ark. 2008).



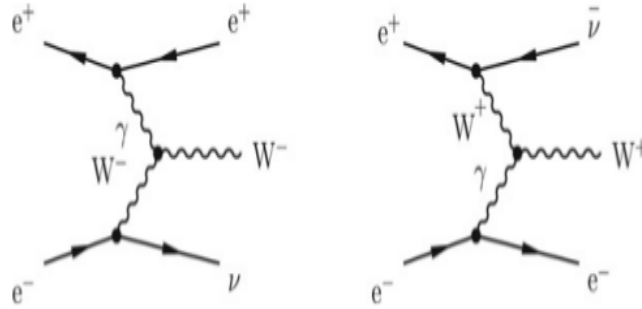
**Şekil 2.17.**  $(P_{e^-}, P_{e^+}) = (+80\%, -60\%)$ ' ın  $(+80\%, 0\%)$  ile karşılaştırılmasında  $W W$  üretim oranları

$\sqrt{s} = 500 \text{ GeV}$ ' de elektron polarizasyonuna ilave pozitron polarizasyonu ile (örneğin  $P_{e^-} = 80\%$  ve  $P_{e^+} = 60\%$ ) farklı  $W W$  üretim oranları Çizelge 2.3' de görülmektedir.

**Çizelge 2.3.**  $\sqrt{s} = 500$  GeV’ de polarize olmayan duruma göre farklı polarizasyon dağılımları için  $W W$  üretim oranları

Demet Polarizasyonu	$e^+ e^- \rightarrow W^+ W^-$
(+80%, 0)	0,20
(-80%, 0)	1,80
(+80%, -60%)	0,10
(-80%, +60%)	2,85

Aynı zamanda pozitron demeti polarizasyonu tek  $W$  üretiminden ( $e^+ e^- \rightarrow W^- e^+ \nu_e$  ve  $e^+ e^- \rightarrow W^+ e^- \bar{\nu}_e$ )  $W$  arkaplanını temizlemek için kullanılan güçlü bir araçtır. Bu süreçler Şekil 2.18’ de görülmektedir (Moortgat-Pick ve ark. 2008).



**Şekil 2.18.**  $e^+ e^-$  yokoluşuyla tek  $W$  üretimi

SUSY araştırmaları için de tesir kesidi üretimi polarize demetler kullanıldığında arttırılmaktadır. Tesir kesidinin yüksek olması polarize demetler ile sağlanmakta ve bu da olay sayısını arttırmaktadır. Böylelikle daha çok veri elde edilip istatistik arttırılmaktadır.

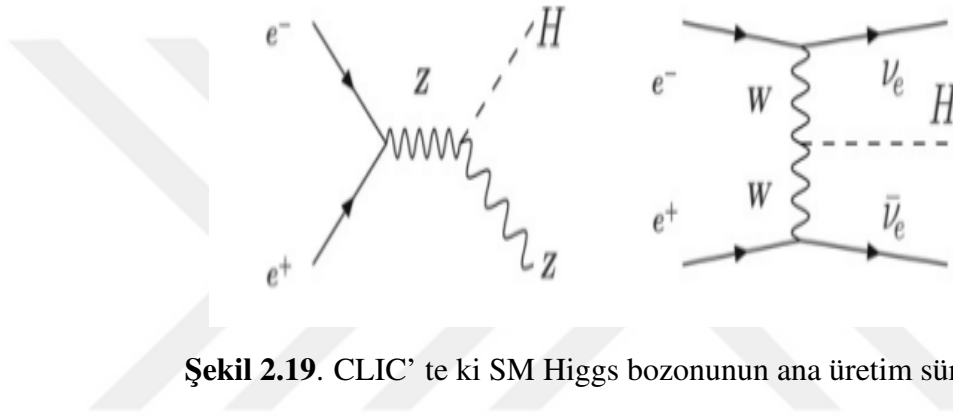
$$N = \sigma \cdot L_{int} \cdot \varepsilon \quad (2.32)$$

Burada  $N$ , olay sayısı;  $\sigma$ , tesir kesidi;  $L_{int}$ , ışınlılık ve  $\varepsilon$  da emittanstr.

Chargino ve neutralinoların da üretim oranları elektron demetinin polarize olmasıyla arttırılmaktadır. Örneğin 3 TeV enerjili CLIC’ te SUSY Benchmark model II’ nin chargino

ve neutralinoları için üretim oranları elektron 80% boyuna polarize olduğunda ikiye katlanmakta ve pozitronda aynı zamanda polarize olursa daha da artmaktadır (pozitron yaklaşık 60% polarize olduğunda polarize olmayan demetlere göre üç kat daha artmaktadır) (Moortgat-Pick ve ark. 2008).

Standart Model, Higgs bozonunun özelliklerini ölçmeye olanak sağlamaktadır. Şekil 2.19' da CLIC' te de gözlenmesi beklenen Higgs üretim süreçleri görülmektedir.  $\sqrt{s} \leq 500$  GeV' de Higgs-strahlung süreci  $e^+ e^- \rightarrow HZ$  baskınken,  $\sqrt{s} \geq 500$  GeV' de ise  $WW$  süreci  $e^+ e^- \rightarrow H\nu\bar{\nu}$  baskın olmaktadır (Moortgat-Pick ve ark. 2008).



Şekil 2.19. CLIC' te ki SM Higgs bozonunun ana üretim süreçleri

H bozonunun üretim süreçlerindeki olay sayısı polarize demetler kullanılarak artırılabilir. Üç örnek demet polarizasyonu için s kanalı ve t kanalı süreçlerindeki olay sayısındaki artış Çizelge 2.4' de görülmektedir. Demet polarizasyonu artırılarak bu süreçlerin oluşumu artırılabilir. Her iki demeti de polarize etmek hem sinyali arttırmakta hem de arkaplan sürecini temizlemektedir. Çizelge 2.4' de de görüldüğü gibi 80% sol el polarize elektron ve 30% sağ el polarize pozitron demeti ile sinyalin tesir kesidi önemli şekilde artmaktadır (Moortgat-Pick ve ark. 2008).

**Çizelge 2.4.** Standart Model  $\sqrt{s} = 500$  GeV' de polarize olmayan duruma göre Higgs üretim oranları

Polarizasyon	Arttırma Faktörü	Arttırma Faktörü
$P_{e^-} : P_{e^+}$	$e^+ e^- \rightarrow ZH$	$e^+ e^- \rightarrow H\nu_e\bar{\nu}_e$
polarize olmadan	1,00	1,00
-80%: 0%	1,13	1,80
-80%: +30%	1,41	2,34

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu tez kapsamında CLIC çarpışma bölgesindeki demeti ve özelliklerini incelemek için GUINEA-PIG; farklı demet hatlarındaki demeti izlemek ve demetin takibini yapabilmek için PLACET; demet taşınım hattındaki demetin spin takibini yaparak hat üzerindeki parçacıkların polarizasyon vektörünü elde edebilmek için de BMAD simülasyon programları kullanılmıştır.

#### 3.1. GUINEA-PIG

GUINEA-PIG, yüksek enerjili  $e^-e^+$  çarpıştırıcılarında demet-demet etkileşmelerinin benzetimi için kullanılan, D. Schulte tarafından C dilinde yazılmış bir programdır (Schulte 1997). GUINEA-PIG programı ile enerji spektrumu, ışınlılık spektrumu ve demet profili grafiklerini çizmek; çarpışma bölgesinde demet demet etkileşimlerini simüle etmek; olay üretimi için spektrum dosyalarını oluşturmak ve fizik süreçleri için en iyi parametreleri belirlemek mümkün olmaktadır (Çakır 2012).

Demet paketçisindeki parçacıklar  $\approx 10^{10}$  mertebesinde olmasından dolayı bu kadar çok sayıda parçacığın kullanılarak simülasyon yapılması zor olmaktadır. Bu nedenle parçacıklar eşit sayıda paylaştırılarak, makro parçacık denilen parçacıklarla temsil edilmektedir. Böylece paketçikteki parçacıkların birkaç yüz bine kadar olan makro parçacıklarla temsil edilmesi sağlanmış olmaktadır. Karşılıklı çarpışacak olan paketçikler dilim gibi parçalara ayrılmaktadır. Parçacıkların hareket ettikleri yörünge  $z$  olmak üzere sadece aynı  $z$  konumundaki paketçiklerin dilimleri birbirleri ile etkileşmektedir (Recepoğlu 2009).

Programın çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar Bölüm 4.1 de verilmektedir.

### 3.2. PLACET

PLACET, elektron-pozitron doğrusal çarpıştırıcılarında depolama halkalarından etkileşme noktasına (IP) kadar olan bölgede demet iletimini ve yörünge düzeltmelerini simüle eden bir programdır. Başlangıçtaki gerçek demet dağılımını vermektedir. Demetin başlangıç şartlarını temsil eden bir makroparçacık grubu oluşturulmaktadır. Herbir makro parçacık iletim hattı boyunca izlenmekte ve herhangi bir noktadaki demet dağılımı çalışılabilir. PLACET, elektron-pozitron doğrusal çarpıştırıcılarında depolama halkalarından etkileşme noktasına (IP) kadar olan bölgede demet iletimini ve yörünge düzeltmelerini simüle eden bir programdır. Başlangıçtaki gerçek demet dağılımını vermektedir. Demetin başlangıç şartlarını temsil eden bir makroparçacık grubu oluşturulmaktadır. Herbir makro parçacık iletim hattı boyunca izlenmekte ve herhangi bir noktadaki demet dağılımı çalışılabilir.

PLACET programı CLIC' teki farklı demet hatlarını simüle edebilmek için geliştirilmiştir. Bu sayede demet izlenebilmekte ve faz kaymaları, yer hareketleri, yerin manyetik alanı ve demet hattı elemanları olan drift, kuadropol, eğici magnet, multipol, kavite, yavaşlatma kavite, demet konum monitörleri, doğrultucu gibi elemanların takibi ile yanlış dizilim etkisi altında demet hizalamalarının yapılması sağlanmaktadır (Schulte 2000). Program '.tcl' tabanlı olarak yazılmıştır.

Programın çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar Bölüm 4.2 de verilmektedir.

### 3.3. BMAD

Bu tez kapsamında, CLIC BDS boyunca demet iletimi ve parçacık takibi simülasyonları için BMAD programı kullanılmıştır. BMAD, yüksek enerjili hızlandırıcılarda relativistik yüklü parçacıkların iletimini simüle etmek için Fortran alt programlarını kullanan bir kütüphanedir (Sagan 2014). Demetin sahip olduğu spin vektörlerinin takibi ile polarizasyonun bulunmasını ve demet hattı boyunca izlenmesini sağlamaktadır. Program modülerdir ve kişisel ihtiyaçlara göre düzenlenebilmektedir. Bunun için sadece ana programın yazılmasına ihtiyaç vardır.

Çalışmaların yapıldığı süre boyunca programın son sürümü olan ve spin takibi için 'spin-mod.f90' dosyasını kullanan 'bmad \_ dist \_ 2014 \_ 0218' versiyonu çalıştırılmıştır. Parçacık ve spin takibi için ise 'Bmad Standart İzlemesi' metodu kullanılmıştır. Programda girdi olarak kullanılan CLIC demet örgüsü dosyası ise (Anonim 2018b) adresinden "v10 \_

10\_11" klasörü içindeki "simple \_ twiss.madx", "job.madx" ve "Apertures4MAD.madx" dosyalarının BMAD içinde kullanılabilir hale getirilmesiyle oluşturulmuştur. Simülasyon verileri ise ROOT ile işlenmiştir (Brun ve Rademakers 1997).

Programın çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar Bölüm 4.3 de verilmektedir.



## 4. BULGULAR

### 4.1. GUINEA-PIG ile Yapılan CLIC IP Çalışmaları

GUINEA-PIG programı çalıştırılmadan önce hızlandırıcı(ACCELERATOR) ve hesaplama (PARAMETERS) parametrelerini içeren iki kısımlı “acc.dat” isimli bir girdi dosyası oluşturulmaktadır. Girdi dosyasının ‘ACCELERATOR’ kısmında enerji, parçacık sayısı, beta fonksiyonu, emittans, paketçik uzunluğu gibi değerler girilmektedir. PARAMETERS kısmında ise çarpışmada kullanılacak makro parçacık sayısı girilmekte ve çalıştırılmak istenen komutlar 1 veya 0 girilerek sırası ile açık veya kapalı yapılabilmektedir.

Bu tez kapsamında CLIC ile ilgili çalışmalara başlandıği zaman CLIC için planlanan başlangıç çarpışma enerjisi 500 GeV olarak belirlenmiş olduğu için GUINEA-PIG programı çalıştırılırken 500 GeV’ lik çarpışma enerjisi için geçerli demet parametreleri program kapsamında kullanılmıştır. Fakat 2016 yılında CLIC için yapılan düzenlemeler ve alınan kararlar sonucunda başlangıç çarpışma enerjisi 500 GeV’ den 380 GeV’ e düşürülmüştür (Boland ve ark. 2016).

CLIC için 500 GeV enerjideki örnek girdi dosyasından bir kısım Çizelge 4.1’ de verilmektedir.

CLIC için, bu girdi dosyasında tanımlanan 500 ve 3000 GeV kütle merkezi enerjilerine sahip elektron ve pozitron demetleri çarpıştırılarak, birinci ve ikinci demetteki parçacıkların  $x-y-z$  eksenlerindeki konum grafikleri; her iki demetteki parçacıkların enerji grafikleri ile demetlerin eksenlerle yaptıkları açı grafikleri; demet profili; çarpışma bölgesinde meydana gelen ve parçacık oluşumunu etkileyen fiziksel süreçler yani koherent ve inkoherent çiftlerin oluşum spektrumları, demet parçacıklarının açısal dağılımları; çarpışmadan sonra oluşan fotonların açısal dağılımları; çarpışmadan sonra oluşan fotonların enerjileri ve ışınılık ile ilgili grafikler ROOT programı kullanılarak çizdirilmiştir. Bu enerjilerdeki CLIC parametreleri ise Çizelge 4.2’ de verilmektedir.

**Çizelge 4.1.** CLIC 500 GeV için GUINEA-PIG girdi dosyası örneği

ACCELERATOR:: default	PARAMETERS:: default
{	{
energy=250,0;	$n_x = 128; n_y = 256; n_z = 25; n_t = 1; n_m = 150019;$
particles=0,68;	cut_x=400,0; cut_y=15,0; cut_z=3.0*sigma_z.1;
beta_x=8,0;	do_photons=1; store_photons=1;
beta_y=0,1;	do_pairs=1; track_pairs=1; store_pairs=1;
emitt_x=2,4;	do_compt=0; do_muons=0;
emitt_y=0,025;	track_muons=0;
sigma_z=72;	do_hadrons=0;
espread=0,001;	store_hadrons=0;
dist_z=0;	...
f_rep=50,0;	}
n_b=354;	
waist_y=0;	
}	

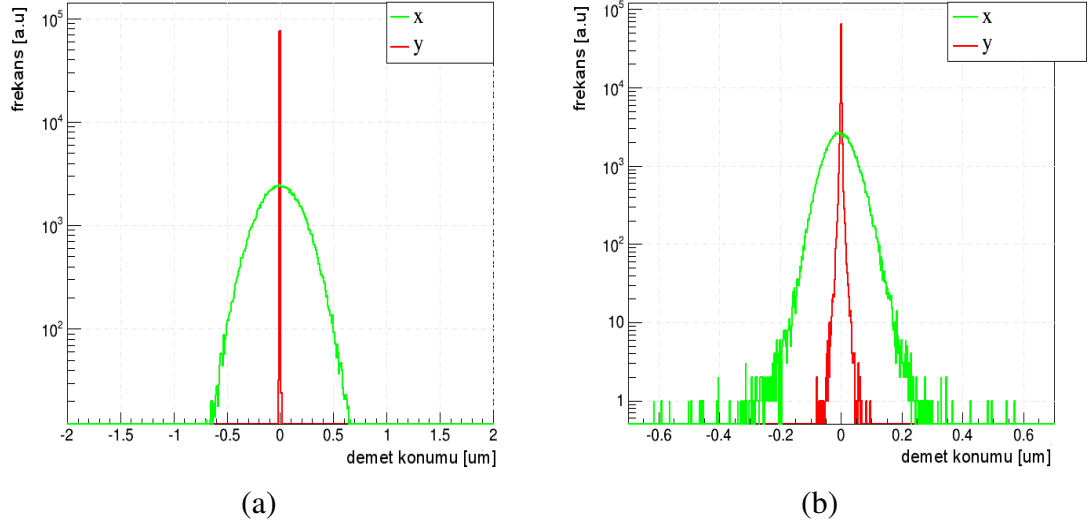
**Çizelge 4.2.** Programda kullanılan CLIC parametreleri

Parametreler				
<b>Kütle Merkezi Enerjisi</b>	$E_{cm}$	500	3000	GeV
<b>Işnılık</b>	L	2,3	5,9	$10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$
<b>Linak tekrarlama hızı</b>	$f_{rep}$	50	50	Hz
<b>Demet Başına Parçacık Sayısı</b>	$N_b$	6,8	3,72	$10^9$
<b>Puls Başına Parçacık Sayısı</b>	$k_b$	354	312	
<b>Enine Yatay Emittans</b>	$\gamma \epsilon_x$	2400	660	nm rad
<b>Enine Dikey Emittans</b>	$\gamma \epsilon_y$	25	20	nm rad
<b>Yatay IP beta fonksiyonu</b>	$\beta_x^*$	8	6,9	mm
<b>Dikey IP beta fonksiyonu</b>	$\beta_y^*$	0,1	0.068	mm
<b>Demet uzunluğu</b>	$\sigma_z$	72	44	$\mu m$

Çizelge 4.2' deki CLIC parametreleri kullanılarak, 500 ve 3000 GeV kütle merkezi enerjileri için GUINEA-PIG programına girdi olarak verilen demetlerdeki parçacıkların ilk dağılımlarını gösteren demet profili grafikleri Şekil 4.1' de görülmektedir (Usun Simitcioglu 2013).

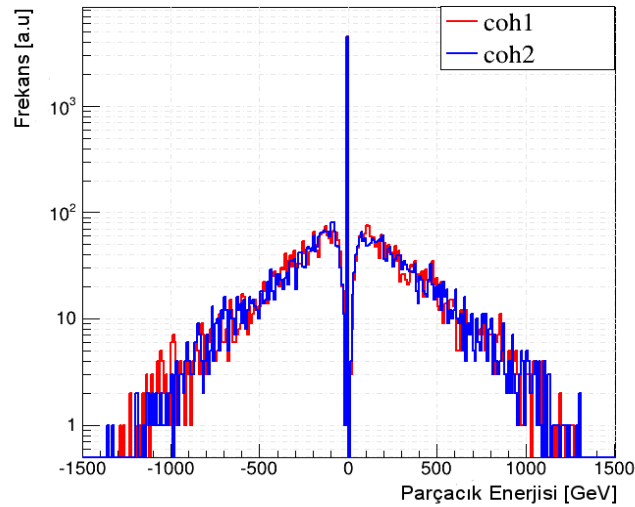
Etkileşme bölgesinde, demetlerin karşılıklı alanlardan etkileşmesiyle ortaya çıkan beamstrahlung (demet ışınması) fotonlarının yayınımla elektron-pozitron çiftleri hem koherent hem de koherent olmayan çift oluşumu süreciyle üretilmektedir. Koherent çift oluşumu sürecinde, güçlü bir foton diğer demetin güçlü elektromanyetik alanı ile etkileşerek elektron-pozitron çifti meydana getirmektedir. Koherent çift oluşumu ile oluşan parçacık





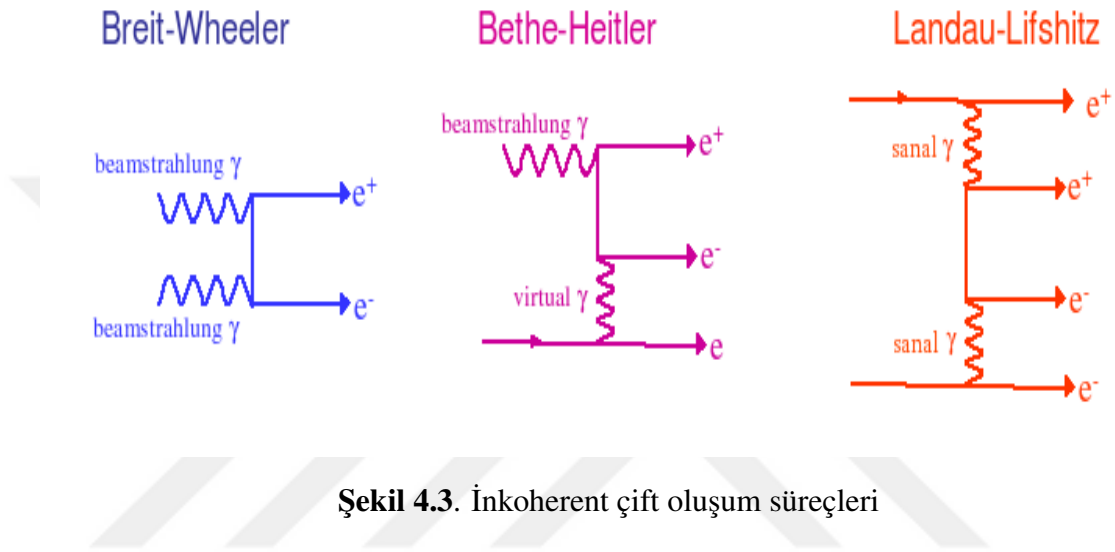
**Şekil 4.1.** Elektron demetinin 500 GeV (solda) ve 3000 GeV (sağda) kütle merkezi enerjilerinde  $x$ - $y$  eksenlerindeki konumlarının değişimleri

sayısı çarpışmadan sonra oluşan demet parçacıklarının önemli bir kısmını oluşturmaktadır ve 1 TeV' in altındaki enerjilerde koherent çiftlerin oluşma olasılığı düşük olmaktadır. Bu yüzden 500 GeV' lik CLIC enerjisinde koherent çift oluşumu gözlenmemiştir. CLIC' in 3 TeV' lik yüksek demet ışınması bölgesinde, bu süreçle meydana gelen parçacık sayısı oluşan demet parçacıklarının birkaç yüzlük kısmına eşittir. Şekil 4.2' de de 3000 GeV enerjide oluşan koherent çiftler görülmektedir (Usun Simitcioglu 2013).



**Şekil 4.2.** 3000 GeV kütle merkezi enerjisinde oluşan birinci ve ikinci demetın koherent çiftleri

İnkoherent çift oluşum sürecinde ise beamstrahlung ile oluşan iki gerçek foton çarpışarak elektron-pozitron çifti oluşturmaktadır. Elektron ya da pozitrona sanal fotonlar grubu eşlik etmekte ve bu fotonlar diğer demetin gerçek ya da sanal fotonları ile etkileşerek çift oluşturabilmektedir. İnkoherent çift oluşumu süreci “Breit-Wheeler”, “Bethe-Heitler” ve “Landau Lifshitz” süreçleri ile meydana gelmektedir. Şekil 4.3’ te bu süreçlerin oluşumları ile ilgili grafikler görülmektedir (Rimbault ve ark. 2005).

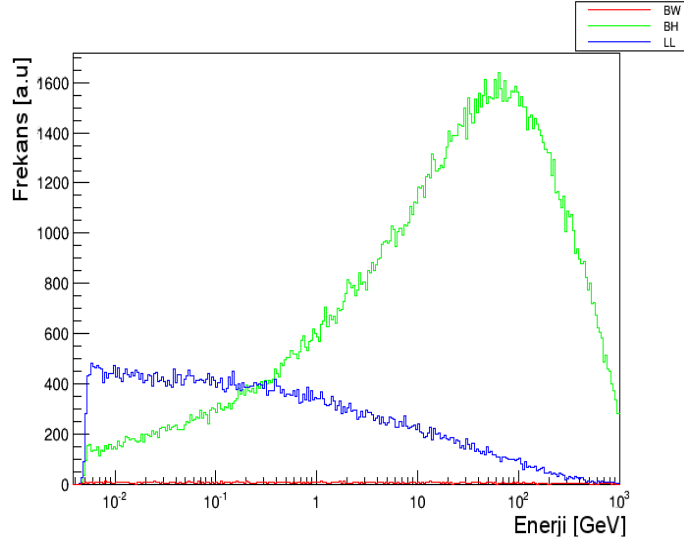


**Şekil 4.3.** İnkoherent çift oluşum süreçleri

Şekil 4.3’ te de görülen Breit-Wheeler sürecinde etkileşen iki foton da gerçektir; Bethe-Heitler sürecinde etkileşen iki fotondan biri gerçek, diğeri sanal; Landau-Lifshitz sürecinde ise etkileşen iki foton da sanaldır (Rimbault ve ark. 2005). Bu süreçle oluşan inkoherent çiftlerin enerjiye bağlı değişim grafikleri Şekil 4.4’ de görülmektedir (Usun Simitcioglu 2013).

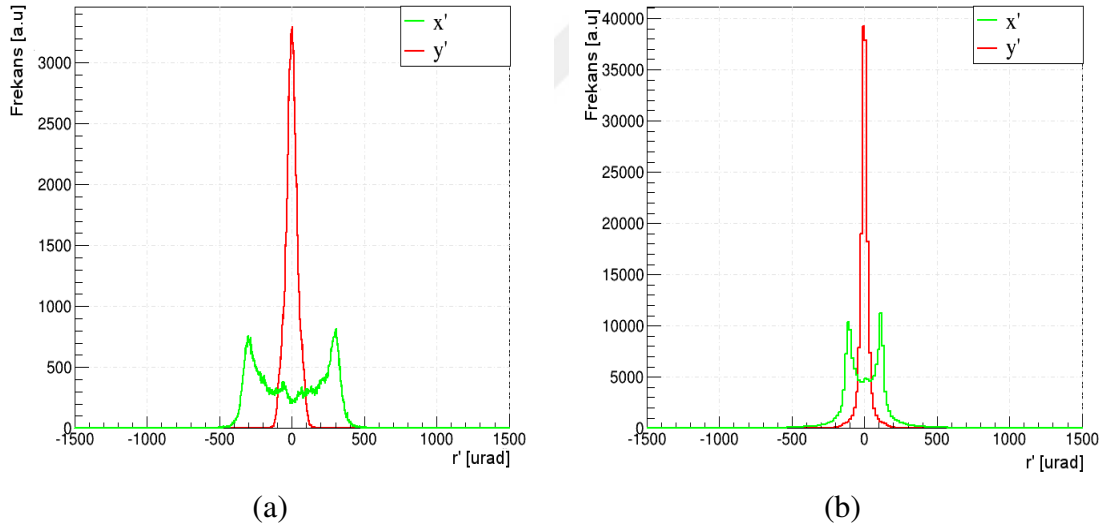
Şekil 4.4’ de de görüldüğü gibi Breit-Wheeler ve Landau-Lifshitz süreçlerinde parçacıkların büyük bir çoğunluğu düşük enerjilerde üretilmektedir. Breit-Wheeler süreci parçacıkların en küçük parçasını oluşturmaktadır. Bethe-Heitler sürecinin spektrumu diğerlerinden tamamen farklı bir dağılıma sahiptir ve çoğu parçacık birkaç yüz GeV enerji civarında üretilmektedir (Schulte 2007).

GUINEA-PIG programı ile program çalıştırılmadan önce elektron ve pozitron demetlerinin enerjileri, demetlerdeki parçacıkların  $x-y$  eksenlerindeki konumları ve  $x-y$  eksenleri ile yaptıkları açı verileri yüklenerek de çalıştırılıp çizdirilmiştir. Şekil 4.5’ te bunlarla



**Şekil 4.4.** İnkohherent çiftlerin enerjiye bağlı değişimleri

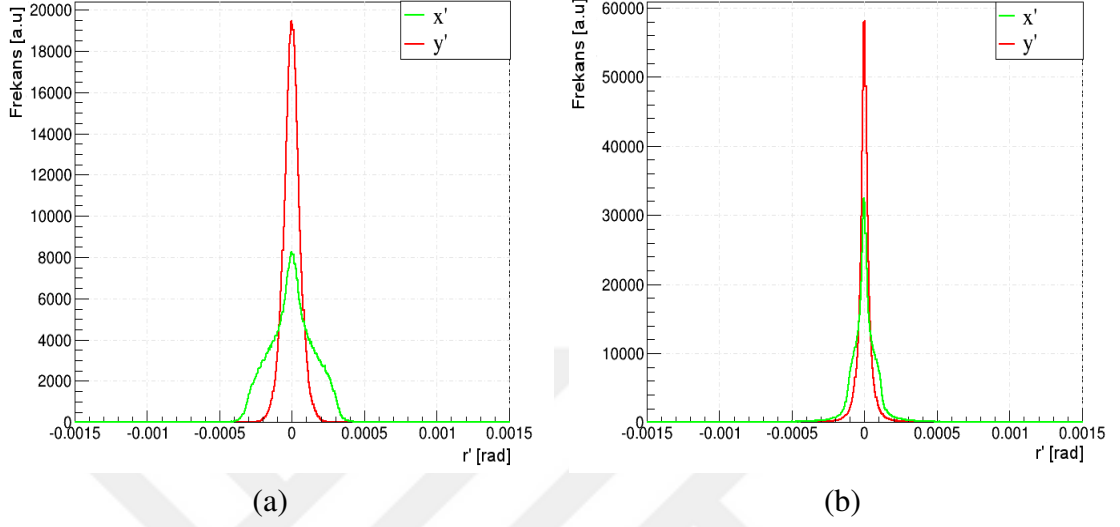
ilgili grafikler görülmektedir (Usun Simitcioglu 2013).



**Şekil 4.5.** 500 GeV (solda) ve 3000 GeV (sağda) kütle merkezi enerjilerinde demetteki parçacıkların  $x$  ve  $y$  eksenleri ile yaptıkları açı değişimleri

Şekil 4.5' te görülen parçacıklar, çarpışmadan sonra birinci demeti oluşturan parçacıklardır. Ve grafiklerde de  $x$  ile  $y$  eksenleriyle parçacıkların yaptıkları açılar  $\mu\text{rad}$  cinsinden gösterilmektedir.

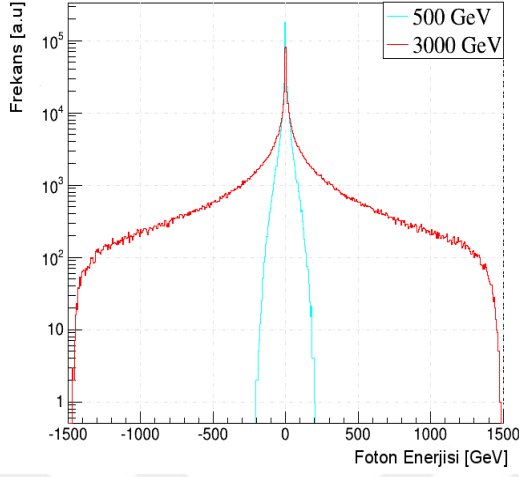
Demetlerin çarpıştırılmasından sonra oluşan fotonlar da incelenmiştir. Şekil 4.6' da bu fotonların açılal dağılımları görölmektedir (Usun Simitcioglu 2013). Grafiklerde  $x$  ve  $y$  eksenleriyle fotonların yaptıkları açılar rad cinsinden gösterilmektedir.



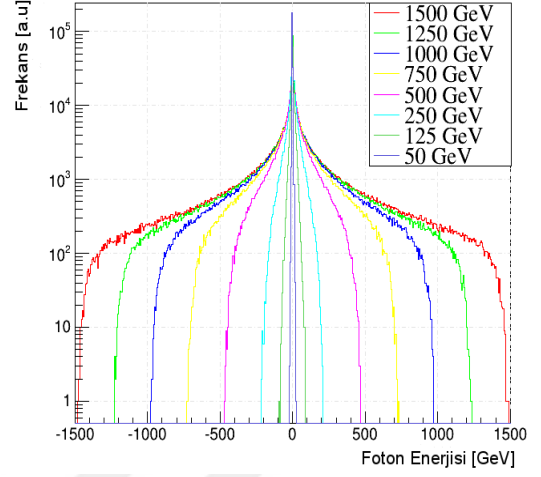
**Şekil 4.6.** 500 GeV (solda) ve 3000 GeV (sağda) kütle merkezi enerjilerinde oluşan fotonların  $x$  ve  $y$  eksenleri ile yaptıkları açıl değışimleri

Demetlerin çarpıştırılmasından sonra üretilen fotonların enerjilerini gösteren grafikler Şekil 4.7' de görölmektedir (Usun Simitcioglu 2013). Burada enerjinin negatif olduğu değerler, fotonun ikinci demetten geldiğini göstermektedir. Şekil 4.7' de sağdaki grafikte verilen renkler bu demet enerjilerinde oluşan fotonların enerjilerindeki değışimi göstermektedir.

Enerji ve ışınllık, parçacık fiziğinde hızlandırıcılardaki en önemli performans parametreleridir. Yüksek enerjiler, yeni ve daha ağır parçacıkların üretilmesine olanak sağlarken; yüksek ışınllık ise daha nadir görülen süreçlerin gözlenmesi ve kesin ölçüm yapılmasını sağlamaktadır (Gruppen ve Buvat 2012). Kafa kafaya olan çarpışmalarda ışınllık, birim yüzeyde etkileşen parçacık sayısı olarak tanımlanmaktadır. GUINEA-PIG programı ile de son olarak 500 GeV ve 3000 GeV kütle merkezi enerjilerindeki toplam ışınllık değışimleri incelenmiştir. Şekil 4.8' de de bu ışınllık değışimleri verilmektedir (Usun Simitcioglu 2013).

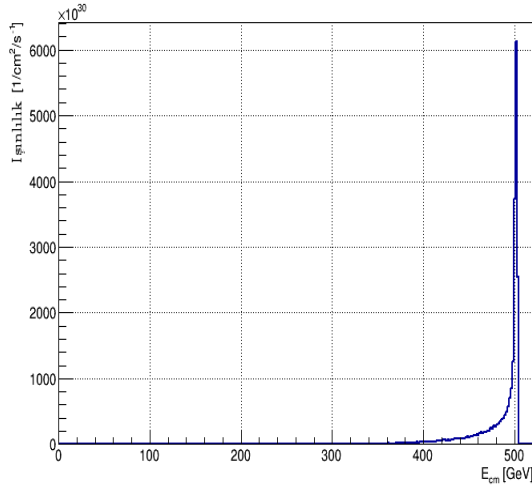


(a)

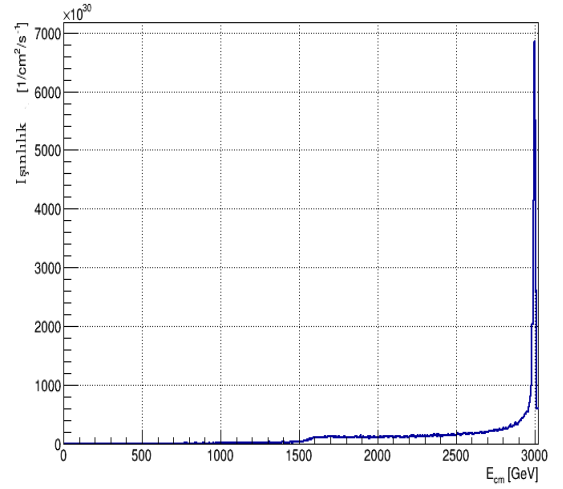


(b)

**Şekil 4.7.** 500 GeV ve 3000 GeV (solda) kütle merkezi enerjilerinde oluşan fotonların enerji değişimleri ile farklı demet enerjilerinde (sağda) oluşan fotonların enerji değişimleri



(a)



(b)

**Şekil 4.8.** 500 GeV (solda) ve 3000 GeV (sağda) kütle merkezi enerjilerindeki ışınllık spektrumları

## 4.2. PLACET ile Yapılan CLIC BDS Çalışmaları

Bu tez kapsamında CLIC BDS için PLACET ile Twiss parametreleri elde edilip, bunların grafikleri çizdirilerek CLIC CDR (Aicheler ve ark. 2012)' da bulunan grafikler ile karşılaştırılmıştır. Bunun için önce, CLIC örgü dizilimini ve başlangıç  $\beta$  ve  $\gamma$  fonksiyonlarını içeren dosya, MADX programının (Anonim 2002) çalıştırılıp PLACET için bunlarla ilgili çıktı vermesiyle elde edilmiştir. Örgüdeki demet elemanlarının özelliklerini içeren bu çıktı dosyası PLACET içinde kullanılmıştır. BDS için hazırlanan PLACET dosyası örneği Şekil 4.9' da verilmektedir.

```
1 set script_dir .
2
3 source $script_dir/clic_basic_single.tcl
4 source $script_dir/clic_beam.tcl
5
6 set e_initial 9.0
7 set e0 $e_initial
8
9 BeamlineNew
10 source $script_dir/clic_linac.tcl
11 BeamlineSet -name linac
12
13 array set match {beta_x 6.6868 beta_y 2.7269 alpha_x -1.7211 alpha_y 0.7851}
14
15 set match(emitt_x) 6.8
16 set match(emitt_y) 0.1
17 set match(e_spread) 2.0
18 set match(charge) 2.56e9
19 set charge $match(charge)
20 set match(sigma_z) 30.8
21
22 set n_slice 31
23 set n 9
24 set n_total 10000
25
26 #
27 # Create the beam
28 #
29
30 make_beam_slice beam0 $n_slice $n
31
32 TestNoCorrection -beam beam0 -emitt_file emitt.dat -survey Zero -machines 1
```

Şekil 4.9. CLIC BDS için hazırlanan PLACET dosyası örneği

Şekil 4.10' da da CLIC BDS üzerindeki demet elemanlarının (kuadropol, dipol, drift gücü, uzunluğu gibi) değerlerini içeren 'clibds.tcl' isimli girdi dosyasının bir bölümü görülmektedir.

```

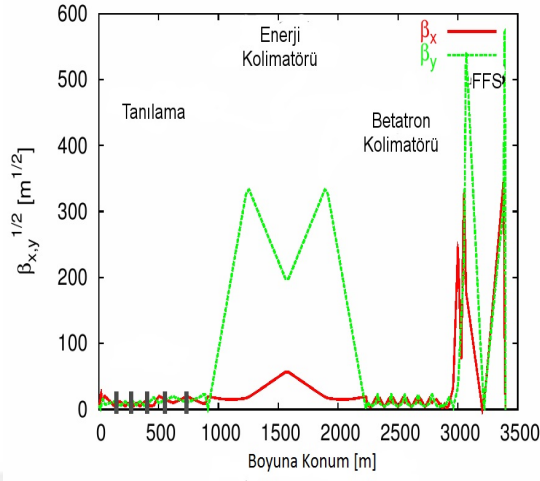
1 #Drift -name "NEWBDS$START" -length 0 -aperture_shape elliptic -aperture_x 0.008 -aperture_y 0.008
2
3 Girder
4 Quadrupole -name "FQF" -synrad $quad_synrad -length 1 -strength [expr 0.0367475361*$e0] -aperture_shape elliptic -aperture_x 0.008 -aperture_y
0.008
5 Girder
6 Drift -name "FDD" -length 10 -aperture_shape elliptic -aperture_x 0.008 -aperture_y 0.008
7 Girder
8 Quadrupole -name "FQD" -synrad $quad_synrad -length 1 -strength [expr -0.0406008999*$e0] -aperture_shape elliptic -aperture_x 0.008 -aperture_y
0.008
9 Girder
10 Drift -name "FDD" -length 10 -aperture_shape elliptic -aperture_x 0.008 -aperture_y 0.008
11 Girder
12 Quadrupole -name "FQF2" -synrad $quad_synrad -length 1 -strength [expr -0.0390222116*$e0] -aperture_shape elliptic -aperture_x 0.008 -aperture_y
0.008
13 Girder
14 Drift -name "FDD" -length 10 -aperture_shape elliptic -aperture_x 0.008 -aperture_y 0.008
15 Girder
16 Quadrupole -name "FQD2" -synrad $quad_synrad -length 1 -strength [expr 0.00644991447*$e0] -aperture_shape elliptic -aperture_x 0.008 -aperture_y
0.008
17 Girder
18 Quadrupole -name "TQF" -synrad $quad_synrad -length 1 -strength [expr 0.05749033421*$e0] -aperture_shape elliptic -aperture_x 0.008 -aperture_y
0.008
19 Girder
20 Drift -name "DD" -length 4.4375 -aperture_shape elliptic -aperture_x 0.008 -aperture_y 0.008
21 Girder
22 Drift -name "DD" -length 4.4375 -aperture_shape elliptic -aperture_x 0.008 -aperture_y 0.008

```

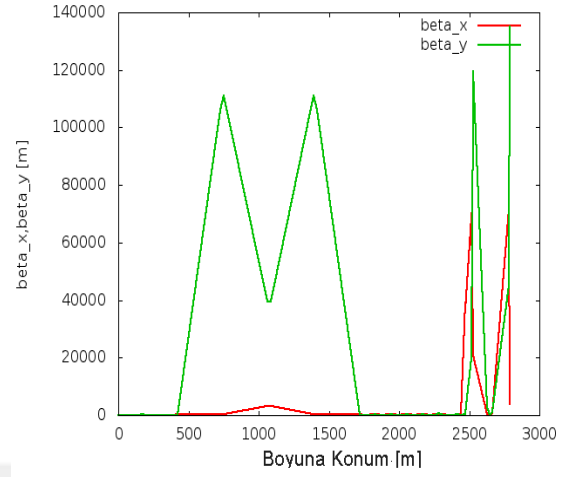
**Şekil 4.10.** CLIC BDS için hazırlanan bir girdi dosyası örneği

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’ da ki girdi dosyaları ile PLACET programı çalıştırılıp CLIC Demet Taşınım Hattı’ ndaki demetin optik özellikleri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar CLIC CDR (Aicheler ve ark. 2012)’ daki verilerle karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.11’ den itibaren verilen şekillerde solda verilen grafikler CLIC CDR (Aicheler ve ark. 2012)’ dan alınmış olup sağda verilenler ise PLACET ile çizdirilmiştir (Usun Simitcioglu 2013). Şekiller birbiriyle karşılaştırıldığında birbirleriyle uyumlu oldukları görülmüştür.

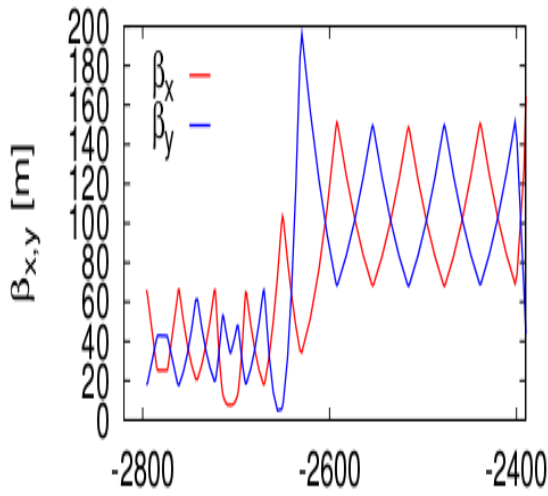


(a)

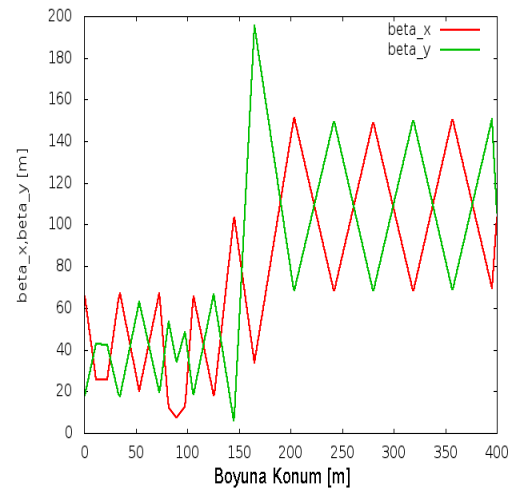


(b)

**Şekil 4.11.** CLIC BDS' de ki demetin  $\beta$  fonksiyonu değışimi. (Solda) CLIC CDR verileri, (sağda) PLACET çizimleri



(a)

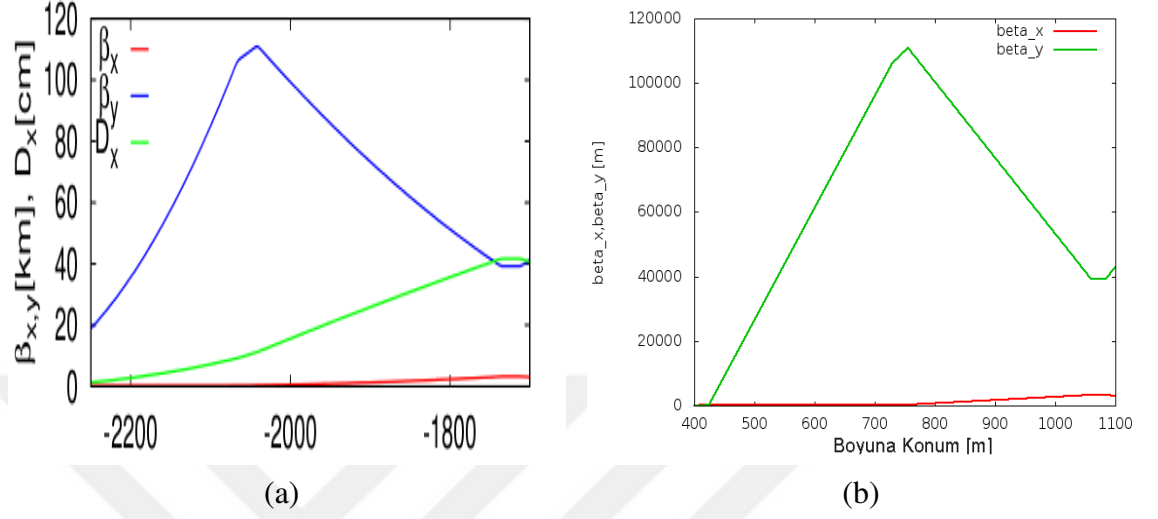


(b)

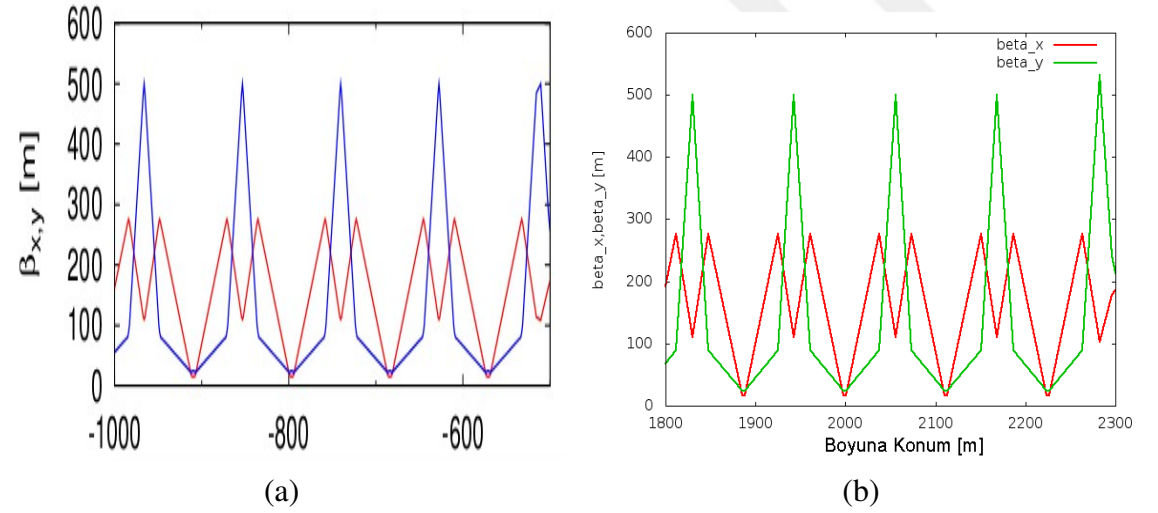
**Şekil 4.12.** CLIC BDS Tanilama bölümündeki demetin  $\beta$  fonksiyonu değışimi. (Solda) CLIC CDR verileri, (sağda) PLACET çizimleri



Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 de CLIC BDS' in kolimatör bölümünün alt kısımları olan Enerji ve Betatron Kolimatörü içerisindeki demetin optik özellikleri görülmektedir.

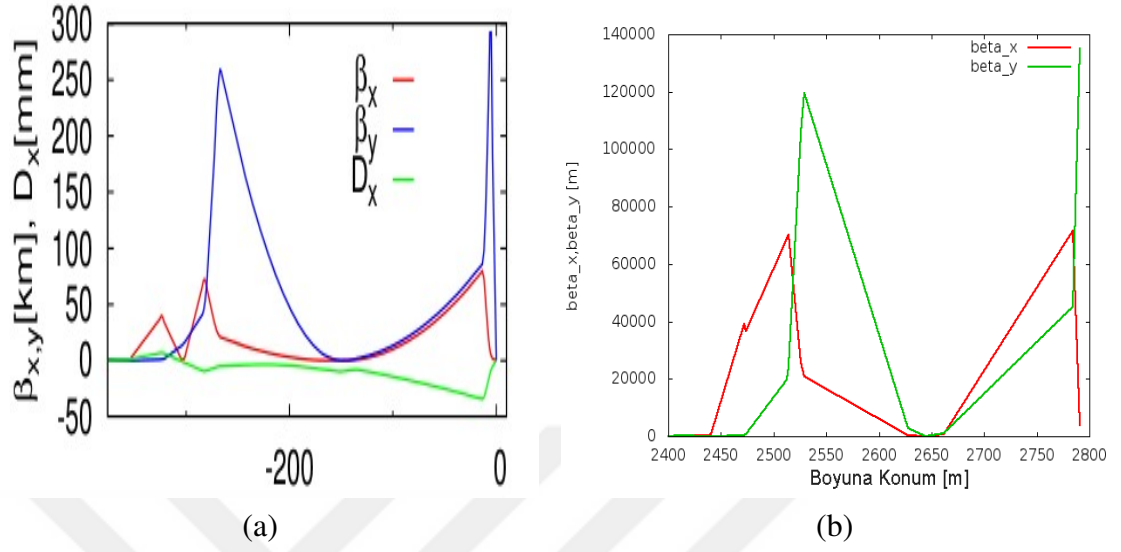


Şekil 4.13. CLIC BDS Enerji Kolimatör bölümündeki demetin  $\beta$  fonksiyonu değişimi. (Solda) CLIC CDR verileri, (sağda) PLACET çizimleri



Şekil 4.14. CLIC BDS Betatron Kolimatör bölümündeki demetin  $\beta$  fonksiyonu değişimi. (Solda) CLIC CDR verileri, (sağda) PLACET çizimleri

Şekil 4.15' de de çarpışma noktasından hemen önceki kısım olan Son Odaklama Bölüm'ünde ki demetin beta fonksiyonu değerleri görülmektedir.



Şekil 4.15. CLIC BDS Son Odaklama bölümündeki demetin  $\beta$  fonksiyonu değişimi. (Solda) CLIC CDR verileri, (sağda) PLACET çizimleri

### 4.3. CLIC BDS' te Parçacık Takibi ve İletimi ile İlgili Simülasyonlar

#### 4.3.1. CLIC demet örgüsü ve başlangıç demet parametreleri

Demet hattı, magnetler, kaviteler, kolimatörler vb. tüm demet hattı elemanlarının ve bu demet hattı elemanlarının parçacık takibi için önemli olan konum, uzunluk, hizalama, aralık, elektromanyetik alanlar vb. özelliklerinin sıralandığı bir demet örgüsü olarak tanımlanmaktadır (Beckmann 2013). Bu tez çalışması kapsamında kullanılan en önemli demet hattı elemanları demeti saptırmak için kullanılan dipol magnetler ve demeti odaklamak için kullanılan kuadropol magnetlerdir. Demet örgüsü içinde sıralanan kuadropol magnetler, parçacık demetini uzun mesafeler boyunca odaklayabilmek için tekrar tekrar sıralanmaktadır. Bu demet örgüsüne BMAD programında girdi olarak kullanılmak üzere crab kavite, polarimetre, drift gibi demet hattı elemanlarının ilavesi de yapılmıştır. Şekil 4.16' da da CLIC demet örgüsü 'BDS.lat' dosyasının bir kısmı görülmektedir.

```
.  
. .  
sd4: sextupole,l=lsc4 * lsd4 / 2.0 ,k2=ksd4d * tscal ,aperture=0.00415  
qd4a: quadrupole,l=lsc4 * lqd4a / 2.0 ,k1=1.0 / lsc4 / lsc4 * kqd4a ,aperture=0.00404  
sffb3: sbend,l=lsc4 * lffb3 / 2.0 / nbfac , angle=- 0.22699e-4 * disp scale, aperture=  
0.00364  
mbffb3: marker  
. .
```

**Şekil 4.16.** CLIC BDS için hazırlanan 'BDS.lat' örgü dosyasının bir kısmı

BMAD programında girdi olarak kullanılan ve Çizelge 4.3' de verilen CLIC elektron demeti parametreleri BMAD programı 'init\_beam\_distribution' ile üretilmektedir. Kullanılan bu parametreler CLIC CDR' dan alınmıştır (Aicheler ve ark. 2012).

Demet başlangıç parametreleri ve oluşturulan 'BDS.lat' örgü dosyasını girdi olarak kullanıp, demet hattını okuması ve hat üzerindeki elemanların özellikleri ile onlara ait beta

**Çizelge 4.3.** BDS girişinde demeti başlangıç durumuna getirmek için kullanılan demet parametreleri

Parametre	Sembol	$e^-$ Demeti
Demet Enerjisi	$E_0 [GeV]$	1500
Demet Başına Parçacık Sayısı	$N_e$	$6,8 \cdot 10^9$
Makroparçacık Sayısı	$N_e^{macro}$	1000
Enine Yatay Emittans	$\gamma\epsilon_x [nmrad]$	660
Enine Dikey Emittans	$\gamma\epsilon_y [nmrad]$	20
Yatay IP beta fonksiyonu	$\beta_x^* [mm]$	6,9
Dikey IP beta fonksiyonu	$\beta_y^* [mm]$	0.068
Demet uzunluğu	$\sigma_z [\mu m]$	44
Demet Enerji Yayınımı	$\sigma_E/E$	0.0035

fonksiyonu değerlerini vermesi için düzenlenen kod BMAD programı ile çalıştırıldığında elde edilen çıktı Şekil 4.17' de verilmektedir.

#	key	type	name	s[m]	s'[m]	length[m]	betax[m]	betay[m]	remarks	
14 #	0	28	BEGINNING_EL	BEGINNING	0.000	-2795.935	0.000	6.615E+01	1.792E+01	
16 #	1	3	QUADRUPOLE	FQF	1.000	-2794.935	1.000	6.376E+01	1.865E+01	
17 #	2	1	DRIFT	FDD	11.000	-2784.935	10.000	2.690E+01	4.153E+01	
18 #	3	3	QUADRUPOLE	FQD	12.000	-2783.935	1.000	2.538E+01	4.297E+01	
19 #	4	1	DRIFT	FDD	22.000	-2773.935	10.000	2.529E+01	4.275E+01	
20 #	5	3	QUADRUPOLE	FQF2	23.000	-2772.935	1.000	2.674E+01	4.134E+01	
21 #	6	1	DRIFT	FDD	33.000	-2762.935	10.000	6.196E+01	1.916E+01	
22 #	7	3	QUADRUPOLE	FQD2	34.000	-2761.935	1.000	6.615E+01	1.792E+01	
23 #	8	3	QUADRUPOLE	TQF	35.000	-2760.935	1.000	6.618E+01	1.797E+01	
24 #	9	1	DRIFT	DD	39.438	-2756.498	4.438	5.080E+01	2.440E+01	
25 #	10	1	DRIFT	DD	43.875	-2752.060	4.438	3.813E+01	3.372E+01	
26 #	11	1	DRIFT	DD	48.313	-2747.623	4.438	2.817E+01	4.593E+01	
27 #	12	1	DRIFT	DD	52.750	-2743.185	4.438	2.092E+01	6.102E+01	
28 #	13	3	QUADRUPOLE	TQD	54.750	-2741.185	2.000	2.090E+01	6.126E+01	
29 #	14	1	DRIFT	DD	59.188	-2736.748	4.438	2.807E+01	4.706E+01	
30 #	15	1	DRIFT	DD	63.625	-2732.310	4.438	3.793E+01	3.546E+01	
31 #	16	1	DRIFT	DD	68.063	-2727.873	4.438	5.048E+01	2.646E+01	
32 #	17	1	DRIFT	DD	72.500	-2723.435	4.438	6.573E+01	2.007E+01	
33 #	18	3	QUADRUPOLE	TQF2A	73.500	-2722.435	1.000	6.607E+01	2.001E+01	
34 #	19	3	QUADRUPOLE	TQF2B	74.500	-2721.435	1.000	5.980E+01	2.218E+01	
35 #	20	1	DRIFT	DD2	76.549	-2719.386	2.049	4.240E+01	2.987E+01	
36 #	21	1	DRIFT	DD2	78.598	-2717.337	2.049	2.816E+01	3.904E+01	
37 #	22	1	DRIFT	DD2	80.647	-2715.288	2.049	1.706E+01	4.967E+01	

**Şekil 4.17.** CLIC BDS elemanlarının özelliklerinin bir kısmı

### 4.3.2. CLIC $e^-$ demeti parçacık koordinatları

Bir parçacık demeti parçacıklar topluluğundan oluşmaktadır ve örneğin CLIC' te demet başına  $3.72 \times 10^9$  elektron kullanılacaktır. Bilgisayarlardaki sınırlı hesaplama kapasitelerine bağlı olarak simülasyonda parçacıklar  $N_e^{macro}$  ile gösterilen makroparçacıklar ile adlandırılmaktadır. Bir makroparçacık  $N_e/N_e^{macro}$  gerçek parçacık ile formülize edilmektedir. Demet izlemeleri için 10,000 makroparçacığın kullanılması yeterli olmaktadır. Bu

çalışma kapsamında da CLIC BDS için, BMAD programı kullanılarak, makroparçacıklara karşılık gelen 10,000 parçacık tüm hat boyunca takip edilmiş ve bu parçacıkların faz-uzay koordinatlarının çıktıları alınmıştır. CLIC BDS boyunca takip edilen 10,000 makroparçacık içindeki ilk 10 makroparçacığın faz-uzay koordinatlarını  $(x, p_x, y, p_y, z, p_z)$  sayısal değerler olarak veren çıktı, Şekil 4.18’ de görüldüğü gibi elde edilmiştir.

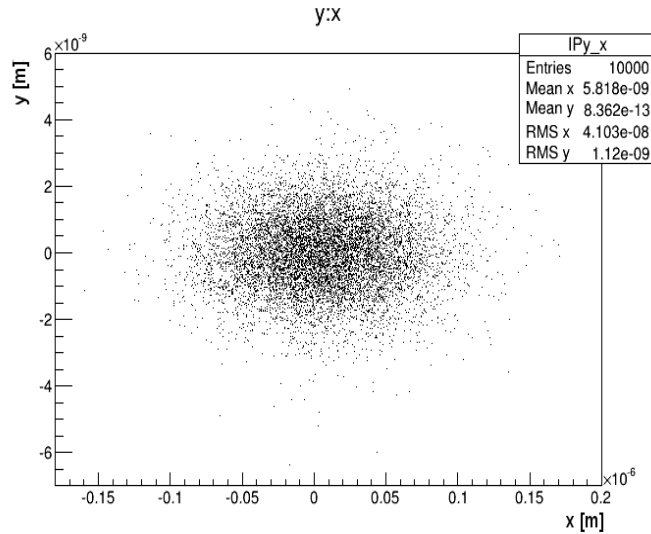
```

1 End coordinates
2 3.6038552591E-08 -8.9874194850E-07 7.9386907048E-10 -6.6083590600E-06 -5.9770854928E-11 0.0000000000E+00
3 1.5712048541E-09 -1.0091105511E-05 1.2164249394E-09 -4.2565470818E-06 -2.0678104360E-11 0.0000000000E+00
4 -8.5711368276E-08 3.5132452491E-06 -1.0148179959E-12 8.1529586251E-07 7.2067439121E-11 0.0000000000E+00
5 -2.0671186531E-08 5.6579834349E-06 -6.2333816476E-10 1.6896949766E-07 1.5585717473E-11 0.0000000000E+00
6 1.9698727125E-08 -5.3687652223E-06 -2.5607934359E-09 -6.5880947223E-06 -3.5010113796E-11 0.0000000000E+00
7 -5.8932746669E-10 -8.7357595777E-06 3.1598081817E-11 8.7385662887E-06 -1.1134220548E-11 0.0000000000E+00
8 4.9896208984E-08 5.6309557378E-06 1.2540746913E-10 -7.1869769651E-06 -8.0775352856E-11 0.0000000000E+00
9 3.6899450521E-08 2.5979815345E-06 -5.9518524451E-10 1.3915536988E-05 -6.0314495979E-11 0.0000000000E+00
10 -1.5817491132E-08 5.1760250390E-06 7.9339519396E-10 -3.1483909883E-06 1.1981443308E-11 0.0000000000E+00
11 4.3512910954E-08 1.9477791202E-06 9.8592399914E-10 4.1529507860E-06 -7.1220471600E-11 0.0000000000E+00

```

**Şekil 4.18.** Tüm CLIC demet hattı boyunca takip edilen 10,000 makroparçacıktan ilk 10 parçacığın  $r(s) = (x, p_x, y, p_y, z, p_z)$  faz uzay koordinatı değerleri

Çarpışma noktasında (IP), bu 10,000 makroparçacığın  $x$  ve  $y$  koordinatlarındaki dağılımları da Şekil 4.19’ da verilmektedir. Şekil 4.19’ da  $x$  ve  $y$  koordinatları metre cinsindedir

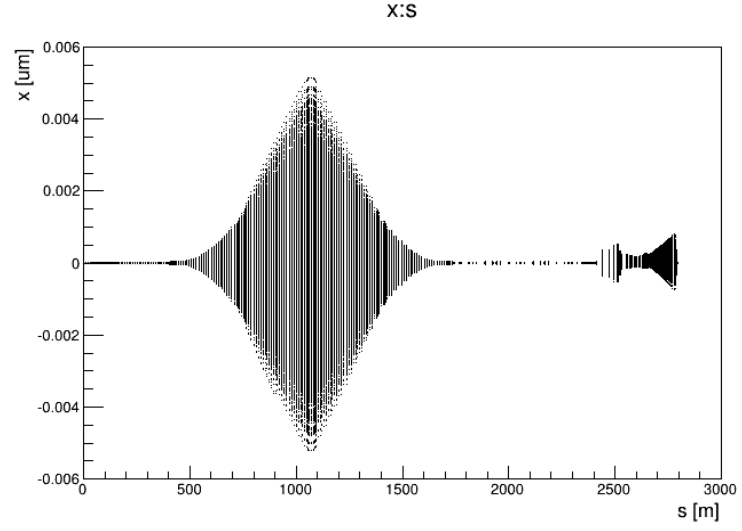


**Şekil 4.19.** Çarpışma noktasındaki demet boyutları ( $y - x$ )

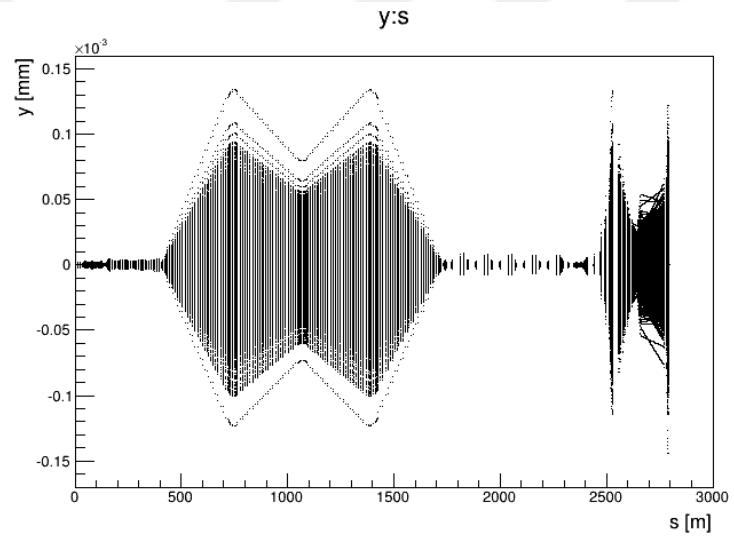
ve elde edilen RMS x ve RMS y değerleri, IP' de hedeflenen demet boyutları olan 40 nm ve 1 nm değerleri ile örtüşmektedir.

CLIC BDS boyunca takip edilen ve 10,000 makroparçacıktan oluşan demetin konumundaki değişim ile eksenlerle yaptığı açılardaki değişimler de Şekil 4.20 ve Şekil 4.21 de görülmektedir.



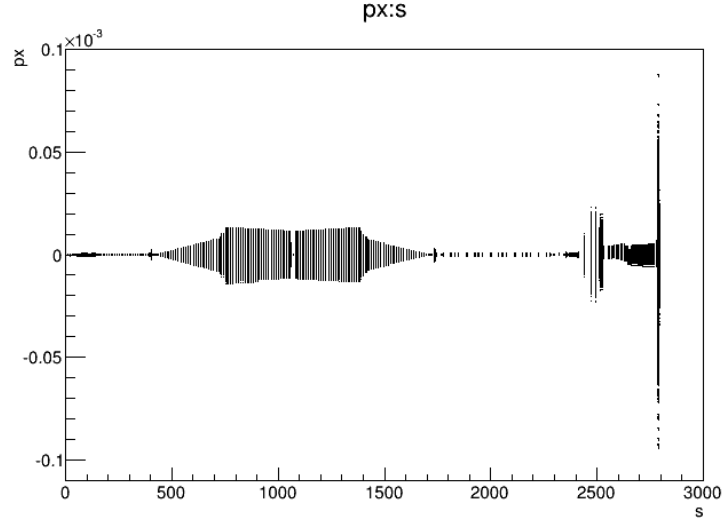


(a)

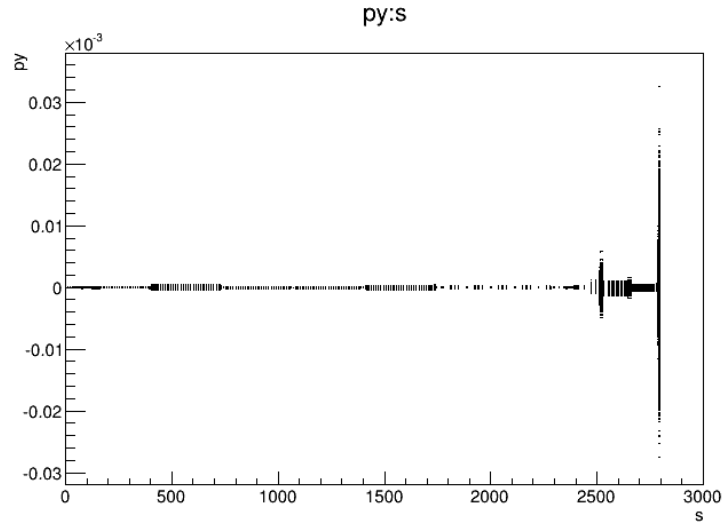


(b)

**Şekil 4.20.** CLIC Demet Taşıma Hattı boyunca demetin yatay (üstte) ve düşey (altta) konumundaki değişim



(a)



(b)

**Şekil 4.21.** CLIC Demet Taşınım Hattı boyunca demetin yatay (üstte) ve düşey (altta) eksenle yaptığı açıldaki değişim

### 4.3.3. Demet parametreleri

#### Konum ve büyüklük

Bir demet konumu, parçacık koordinatlarının aritmetik ortalamaları olan  $\langle x \rangle$ ,  $\langle y \rangle$ ,  $\langle z \rangle$  değerleri ve bunların standart dağılımlarının hesaplanması ile tanımlanmaktadır.



$$\begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{stddev } x \\ \text{stddev } y \\ \text{stddev } z \end{pmatrix} \quad \text{stddev } x = \sqrt{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} \quad (4.1)$$

Demetin izlenmesi yapılırken ilerlediği örgü boyunca boyutlarının nasıl değiştiğini görmek önemlidir. Bunun için de demet hattı boyunca belli noktalarda  $\sigma$  demet boyutunu ölçmek gerekmektedir. 10,000 makroparçacık içeren elektron demetinin  $\sigma$  değerleri takip edilmiş ve  $\sigma$ 'nın hat boyunca değişimi izlenmiştir. Demet hattı boyunca izlemeyi daha doğru yapabilmek için programda kullanılan demet hattı, hattın başından 153. demet hattı elemanı olan polarimetreye (POL2), polarimetreden de çarpışma noktasına kadar ikiye bölünerek parçacık takibi yapılmış ve hem polarimetredeki hem de çarpışma noktasındaki demet özellikleri incelenmiştir. Elde edilen  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  değerleri Şekil 4.22' de görüldüğü gibi hesaplanmıştır.

```

-----
POL2
Polarisation:  -1.03244711043185226E-002  4.80687436574797790E-007  0.799932524
01342485
polar angle of the polarisation vector:  -1.29059608907404200E-002
sigmax [m]:    1.02780122882938121E-004
sigmay [m]:    2.72300761554105691E-005
sigmaz [m]:    4.40000040773910726E-005
Written: BDS.out

Polarisation:  -2.40372237677619599E-005  -2.52252673793994947E-005  0.799714162
64137341
polar angle of the polarisation vector:  -3.00572690636498973E-005
sigmax [m]:    4.09591999802126624E-008
sigmay [m]:    1.13361292527757398E-009
sigmaz [m]:    4.40000090557552019E-005

```

**Şekil 4.22.** CLIC Demet Taşınım Hattı' ndaki demet boyutlarının ( $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ ) polarimetre ve çarpışma noktasında okunan değerleri

Şekil 4.22' de hesaplanan demet boyutları CLIC CDR' daki demet boyutu parametreleriyle karşılaştırılmıştır. Çarpışma noktasında hesaplanan  $\sigma_x = 4,09 \times 10^{-8}$  m ,  $\sigma_y = 1,13 \times 10^{-9}$  m,  $\sigma_z = 4,4 \times 10^{-5}$  m iken CLIC CDR (Aicheler ve ark. 2012)' da verilen  $\sigma_x = 41 \times 10^{-9}$  m ,  $\sigma_y = 1,1 \times 10^{-9}$  m,  $\sigma_z = 44 \times 10^{-6}$  m' dir. Görüldüğü gibi  $\sigma_x$  ve  $\sigma_y$  için hesaplanan değerler CDR' da verilen değerler ile birbirine çok yakinken,  $\sigma_z$  için hesaplanan değer ise CDR' da verilen değer ile aynıdır.

## Diverjans

Demet diverjansı, parçacık demetinin eksenlerle yaptığı eğim açısı olarak tanımlanmakta ve  $\sigma'_x$  ile  $\sigma'_y$  şeklinde gösterilmektedir.

$$\begin{pmatrix} \theta_x \\ \theta_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{stddev } x' \\ \text{stddev } y' \end{pmatrix} \quad (4.2)$$

Açısal diverjans  $\sigma'_x$  ve  $\sigma'_y$ , bazı kaynaklarda  $\theta_x$  ile  $\theta_y$  olarak adlandırılmaktadır.

10, 000 makroparçacık içeren elektron demetinin  $\sigma'_x$  ile  $\sigma'_y$  değerleri hat boyunca takip edilmiş ve  $\sigma'_x = 5,836 \times 10^{-6}$  rad,  $\sigma'_y = 6,8 \times 10^{-6}$  rad olarak elde edilmiştir. Bu değerler CLIC CDR (Aichelers ve ark. 2012)' da ise sırasıyla  $\sigma'_x = 7,7 \times 10^{-6}$  rad,  $\sigma'_y = 10,3 \times 10^{-6}$  rad olarak verilmektedir.

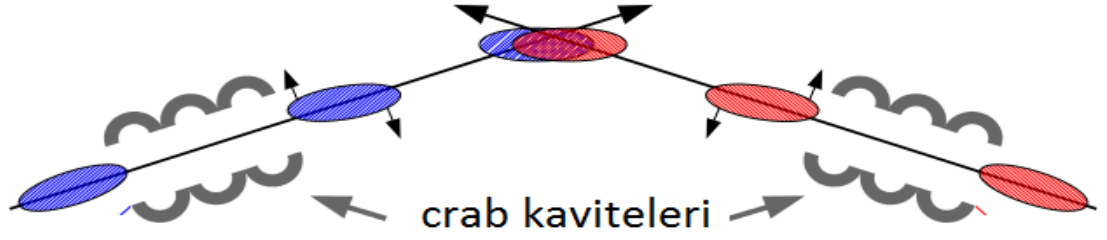
### 4.3.4. CLIC BDS' e crab kavite etkisi

Bölüm 2.2.4' de anlatılan crab kavite açısını hesaplamak için kullanılan, demet parçacıklarına  $z'$  ye bağlı olarak uygulanan itmenin gücü:

$$\Delta \hat{p}_x(z) = \frac{\Delta x(z)}{\Delta s} = \frac{\tan\left(\frac{\zeta}{2}\right) \cdot z}{\Delta s} \quad (4.3)$$

eşitliği ile verilmektedir.

CLIC için  $\zeta = 20$  mrad ve  $\Delta s = 23,4$  m olarak alınarak bu itme gücü  $4,27 \times 10^{-4} z/m$  olarak bulunmaktadır. Bu itme, ortamdaki elektromanyetik alanın manyetik alan bileşenine bağlı olarak uygulanmaktadır. Bu kavite operasyon modunda elektrik alan bileşeninin etkisi ihmal edilmektedir. Bu yüzden de BMAD programı çalıştırılırken kullanılacak örgü dosyasına, crab kavite  $z'$  ye bağımlı olarak itme uygulayan ve spinlerin dönmesine sebep olan düzeltici dipol magnetmiş gibi ilave edilmiştir. Bu magnetlerin  $z'$  ye bağımlı olarak uyguladıkları itme, spin dönmesine sebep olarak boyuna polarizasyonu etkilemektedir.



Şekil 4.23. Crab kavite etkisi altında demet rotasyonu şematığı

Bu kapsamda CLIC çarpışma bölgesindeki  $\theta_{crab}$  açısının değeri CLIC CDR (Aicheler ve ark. 2012)' da verildiği gibi  $\theta_{crab} = 20$  mrad olarak programda hesaplatılıp, demet profili grafikleri incelenmiştir. Bunun için (Barranco García ve ark. 2013), kavitenin son altı kutuplu magnetten 1,84 m önce bulunduğu, uzunluğunun 0,16 m, frekansının 11,942 GHz ve voltajının 2,6 MV olduğu öğrenilmiştir. Demet Taşınım Hattı için oluşturduğumuz ve programda girdi dosyası olarak kullanılan örgü dosyasına, BMAD formatında crab kavite ilavesi yapılamadığı için 0,16 m' lik crab kavite, 'marker' olarak eklenmiştir. Bu elementten önce bulunan 2 m uzunluğundaki driftin adı yeni bir drift ismi ile ve boyu da 1,84 m olarak değiştirilmiştir. Kavite tarafından uygulanacak itme (Barranco García ve ark. 2013):

$$\xi_c = \frac{\omega_{rf} q V_{cc}}{c E_0} \quad (4.4)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada  $\omega_{rf} = 2\pi \times 11,942 \times 10^9$  Hz,  $q = \text{elektron}$ ,  $V_{cc} = 2,6 \times 10^6$  V,  $c = 3 \times 10^8$  m/s ve  $E_0 = 1500 \times 10^9$  eV olarak alınmıştır. Bu işlem sonucunda  $\xi_c = 4,33028 \times 10^{-4}$  (1/m) olarak hesaplanmıştır.

Bu değer:

$$\Delta x'(z) = \xi_c z \quad (4.5)$$

eşitliğinde yerine konmuş ve girdi dosyasına da ilave edilmiştir. Koda crab kavitenin yapacağı itme  $\Delta x'(z)$ 'yi hesaplayıp demete uygulayan işlemler de eklenerek, sanki demet için de crab kavite varmış da demeti belli bir açı ile döndürüyormüş etkisi veren, polarimetreden çarpışma noktasına kadar metre başına  $z$  koordinatında  $4,33028 \times 10^{-4}$  lük bir itme uygulayan ve sonuçta demetin belli bir açıyla çarpışmasını sağlayan etki elde

edilmiştir. Bu itmeye bağlı olarak demetteki  $N$  tane parçacığın dönme açısı aşağıda belirtilen ifadeye bağlı olarak koda eklenmiştir.

$$\tan \theta_{crab} = \left( \sum_{i=1}^N (X_i + x'_i \cdot Z_i) \cdot \text{sign}(Z_i) \right) / \left( \sum_{i=1}^N |Z_i| \right) \quad (4.6)$$

Burada,

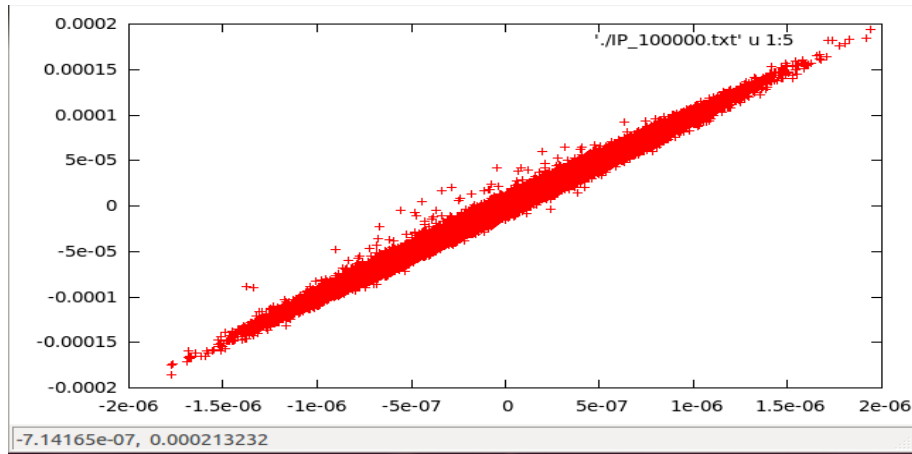
$$X_i = x_i - \langle x \rangle \quad Z_i = z_i - \langle z \rangle \quad (4.7)$$

Tüm bu ilaveler koda eklenip program çalıştırıldıktan sonra Şekil 4.24' da görülen crab açısı değeri,  $\text{crab\_angle} = 1,001 \times 10^{-2}$  rad olarak bulunmuştur. CLIC CDR (Aicheler ve ark. 2012)' da da bu değer 10 mrad' dır.

```
Beam energy at the IP : 150000000000.0872
Polarisation: -2.30454008373989076E-005 1.69480493509021636E-004 0.79969178470640745
polar angle of the polarisation vector: -2.88178536678104305E-005
sigmax [m]: 4.42103910174036700E-007
sigmay [m]: 1.22069992156304316E-009
sigmaz [m]: 4.39995088340562667E-005
crab angle [rad]: 1.00109675763196595E-002
```

Şekil 4.24. Hesaplanan crab\_açısı değeri

Uygulanan kavite açısı ile 100,000 parçacık için kod çalıştırılmış ve çarpışma noktasında Şekil 4.25' de görüldüğü gibi bir demet elde edilmiştir.



Şekil 4.25. Kavite açısı uygulandıktan sonra çarpışma noktasında elde edilen demet profili

### 4.3.5. CLIC $e^-$ demetinin spin takibi

Demet Taşınım Hattı' nda spin iletiminin tam anlamıyla anlaşılması, çarpışma noktasında ne kadar hassasiyette bir boyuna polarizasyon değerinin olacağını tahmin etmek için gerekli olmaktadır (Beckmann 2013).

Doğrusal çarpıştırıcılarda spin takibi ile hesaplanan demet polarizasyonu çok yüksek bir seviyede korunmaktadır. Demet hattına polarize bir demet gönderildiği zaman bu demet çarpışma noktasına polarizasyonda çok küçük bir kayıp ile ulaşmaktadır.

BMAD' de demet takibi sırasında polarizasyonda ve spin vektörlerinde meydana gelen değişimleri gözlemleyebilmek için, CLIC Demet Taşınım Hattı' ndaki elemanların dizilimini içeren örgü dosyasına CLIC CDR' da belirtildiği gibi, çarpışma noktasından önce 742,098 m' ye 153. eleman olarak polarimetre ilave edilmiştir. Parçacıklar ilk elemandan polarimetreye ve polarimetreden de çarpışma noktasına kadar ayrı ayrı takip edilerek demet içindeki on parçacık için Şekil 4.26' da görüldüğü gibi polarimetredeki ve Şekil 4.27' de görüldüğü gibi çarpışma noktasındaki faz uzay koordinatlarına  $(x, p_x, y, p_y, z, p_z)$  ek olarak spin bileşenleri  $S_x, S_y, S_z$  de elde edilmiştir.

1 End coordinates at the polarimeter										
2	-1.7481950406E-05	-8.2135560351E-08	-2.1515310460E-05	-1.9689895348E-08	5.7735735812E-09	0.0000000000E+00	-1.3287127381E-02	2.9085372357E-04	9.9991167992E-01	
3	-1.0364587097E-05	-2.2198342153E-08	-3.1403681607E-05	-2.8741598292E-08	6.1360922226E-09	0.0000000000E+00	-1.2802711449E-02	4.2401968609E-04	9.9991795203E-01	
4	-2.2946819546E-06	-1.3418085025E-08	3.6522446340E-05	3.3174583762E-08	4.8768515873E-10	0.0000000000E+00	-1.2995073467E-02	-5.1501840760E-04	9.9991542783E-01	
5	6.2184183327E-06	6.3522277113E-08	2.4755235980E-05	2.2364714742E-08	1.4517174320E-09	0.0000000000E+00	-1.2350076105E-02	-3.5944303321E-04	9.9992367030E-01	
6	8.3458168068E-06	1.6184210291E-08	-2.7811815916E-05	-2.5548391119E-08	-5.1208912155E-09	0.0000000000E+00	1.3022968754E-02	-3.6632455558E-04	-9.9991513044E-01	
7	1.1866258945E-05	1.4112594722E-08	-2.8535207487E-05	-2.5828089074E-08	-8.1961286947E-09	0.0000000000E+00	-1.3180879338E-02	4.1009291324E-04	9.9991304434E-01	
8	-9.2338798659E-07	1.9846955048E-08	-3.3668362874E-06	-2.3877435933E-09	2.7797618443E-09	0.0000000000E+00	-1.2629780307E-02	1.0668780268E-04	9.9992023545E-01	
9	-4.3566060270E-06	-5.9979861513E-08	4.8494071919E-05	4.4254291581E-08	-2.6150736159E-09	0.0000000000E+00	-1.3501129978E-02	-6.6577622024E-04	9.9990863394E-01	
10	5.0192682299E-06	1.4760525084E-08	-4.0449396221E-06	-3.7761290435E-09	-2.5635674626E-09	0.0000000000E+00	-1.2916226894E-02	4.7935075457E-05	9.9991658091E-01	
11	3.9698039356E-06	4.9216942948E-08	6.9060371398E-06	6.1782564072E-09	1.8138989738E-09	0.0000000000E+00	-1.2445122117E-02	-1.0567598696E-04	9.9992255088E-01	

**Şekil 4.26.** İlk elemandan polarimetreye kadar olan kısım için faz uzay koordinatları  $(x, p_x, y, p_y, z, p_z)$  ile spin bileşenleri  $S_x, S_y, S_z$

Yapılan çalışmalarda başlangıç polarizasyon değeri hedeflenen CLIC polarizasyon değeri olan 80% olarak alınmıştır. Demetteki 10,000 makroparçacığın tüm CLIC Demet Taşınım

```

12 End coordinates at the IP
13 -8.5575881972E-09 -1.1098982775E-05 -4.4477551254E-10 -5.6092281200E-06 -1.2902915164E-11 0.0000000000E+00 -1.6759899336E-02 -2.0654182556E-02
9.9964619267E-01
14 -5.0778557473E-08 -3.1483331883E-06 -9.3973618059E-10 -7.9295083980E-06 6.2908037341E-11 0.0000000000E+00 -4.5508545619E-03 -2.8995578170E-02
9.9956918028E-01
15 -1.1063409780E-09 -1.7653919332E-06 1.3825491124E-09 3.7077222904E-06 1.6889716306E-12 0.0000000000E+00 -2.8165429965E-03 1.3108176212E-02
9.9991011736E-01
16 -1.5910211271E-08 8.0584720878E-06 1.2627536981E-09 -5.0210249536E-07 9.2571439830E-13 0.0000000000E+00 1.3189853473E-02 -2.3440294930E-03
9.9991026262E-01
17 4.5638497419E-08 2.2999710758E-06 -5.4921685506E-11 -8.7275225494E-06 -7.5072785864E-11 0.0000000000E+00 -3.1107553908E-03 3.1877224659E-02
-9.9948695126E-01
18 7.5747815313E-08 2.1574769617E-06 -1.2329280734E-09 -6.7123610439E-07 -1.3483017065E-10 0.0000000000E+00 2.6911873996E-03 -1.9288675808E-03
9.9999451848E-01
19 -3.1280792478E-08 2.4504227395E-06 -2.1024372109E-09 1.4069769141E-05 3.4130626352E-11 0.0000000000E+00 3.9208738867E-03 5.2316177201E-02
9.9862287394E-01
20 4.9544185717E-08 -7.7696022331E-06 1.7744574722E-09 9.6689683378E-06 -9.7339202003E-11 0.0000000000E+00 -1.2516147329E-02 3.5287087966E-02
9.9929883793E-01
21 2.1910572065E-08 2.0116988431E-06 1.6910550708E-10 -2.5699768008E-06 -3.4132933152E-11 0.0000000000E+00 2.9442925241E-03 -9.4737517838E-03
9.9995078837E-01
22 -2.0915482008E-08 6.2356834021E-06 6.1085071960E-10 -1.4282297864E-06 1.3797806686E-11 0.0000000000E+00 1.0207639659E-02 -5.4210068681E-03
9.9993320616E-01

```

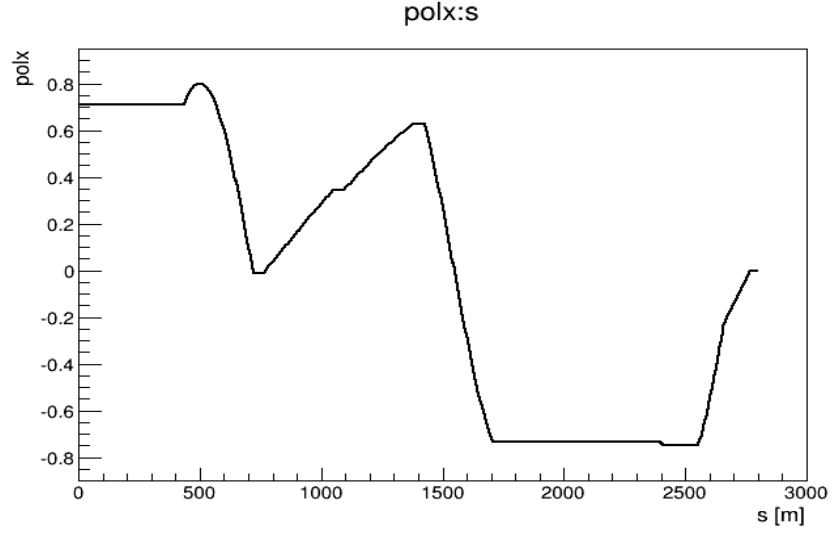
**Şekil 4.27.** Polarimetreden çarpışma noktasına kadar olan kısım için faz uzay koordinatları  $(x, p_x, y, p_y, z, p_z)$  ile spin bileşenleri  $S_x, S_y, S_z$

Hattı boyunca spinleri her eleman içinde takip edilerek, parçacıklar için elde edilen spin vektörleri parçacık sayısına bölünüp parçacığın polarizasyon vektörleri elde edilmiştir.

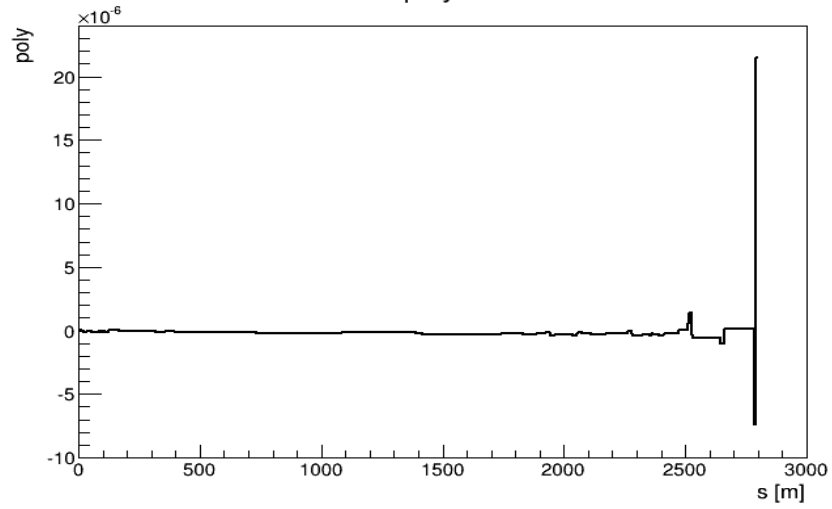
Şekil 4.28’ de parçacıkların tüm demet hattı boyunca sahip oldukları polarizasyon vektörünün enine bileşenlerindeki değişim görülmektedir. CLIC’ te yapılacak çalışmalar için boyuna polarize demet kullanılacağından dolayı elde ettiğimiz enine polarizasyon bileşenlerinin ya 0 ya da 0’ a çok yakın olması istenmektedir. CLIC Demet Taşınım Hattı’ nın şeklinden dolayı da enine polarizasyondaki değişim Şekil 4.28’ de görüldüğü gibi elde edilmektedir.

Şekil 4.29’ da da parçacıkların yaklaşık 2795 m. uzunluğundaki CLIC Demet Taşınım Hattı boyunca sahip oldukları polarizasyon vektörünün boyuna bileşenindeki değişim görülmektedir. Çarpışma noktasında elde edilen polarizasyon değeri  $P_z = 7,99698e^{-01}$ ’ dir. Çarpışma noktasından hemen önceki bölge olan enine boyutlandırma bölgesinde demetin polarizasyonunda düşme olmuş ve çarpışma noktasında bu değer yükseltilecek istenilen polarizasyon değerine ulaşılmıştır. Şekil 4.28 ve Şekil 4.29 çizdirilirken demete herhangi bir yanlış hizalama uygulanmamıştır.

Şekil 4.29’ da çarpışma noktasında 0,8’ e yakın bir boyuna polarizasyon değeri elde edilirken demet hattının başında ise programa başlangıç polarizasyon değeri 0,8 olarak girilmesine rağmen yaklaşık -0,37’ lik bir boyuna polarizasyon değeri elde edilmiştir. Bunun sebebi CLIC Demet Taşınım Hattı’ nın Şekil 2.3’ de de görülen yatay eksenle -0,6



(a)

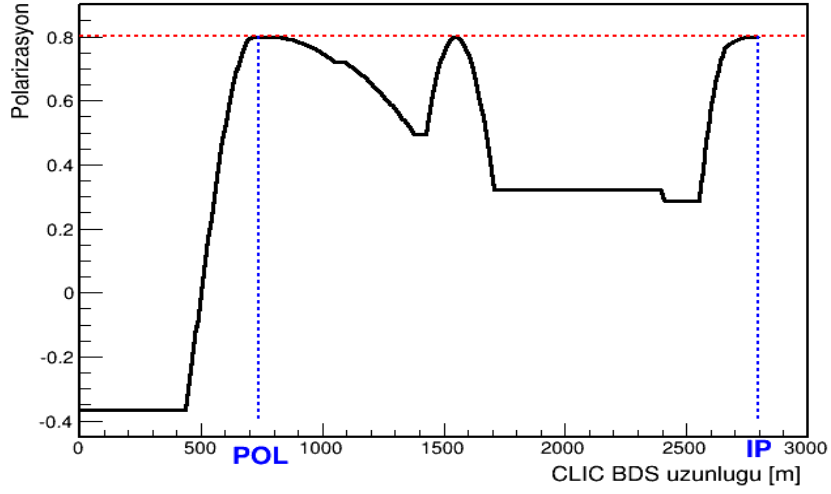


(b)

**Şekil 4.28.** CLIC Demet Taşınım Hattı boyunca polarizasyon vektörünün  $x$  bileşenindeki (üstte) ve  $y$  bileşenindeki (altta) değişim

mrad'lık bir açı yapmasıdır. Yani Eşitlik 2.31' de verilen  $\xi_{orbit} = 0,6$  mrad'dır.  $\xi_{orbit}$ ,  $\alpha$  ve  $\gamma$  değerleri Eşitlik 2.31' de yerine konulduğunda spindeki değişim açısı  $\xi_{spin} = -2,042$  rad =  $-117^\circ$  olarak hesaplanmaktadır. Buradan  $\xi_{spin}$  değeri Eşitlik 4.8' de kullanılarak polarizasyon vektörünün  $z$  bileşeni  $P_z = -0,3631924$  bulunmaktadır (Uşun Simitcioglu ve ark. 2018). Bu değer de Şekil 4.29' da demet hattı başlangıcında görülmektedir.

$$P_z = P \cdot \cos \xi_{spin} \quad (4.8)$$



**Şekil 4.29.** CLIC Demet Taşınım Hattı boyunca polarizasyon vektörünün z bileşenindeki değişim. Polarimetrenin (POL) ve çarpışma noktasının (IP) demet hattı üzerindeki konumu dikey mavi noktalar ile gösterilmektedir

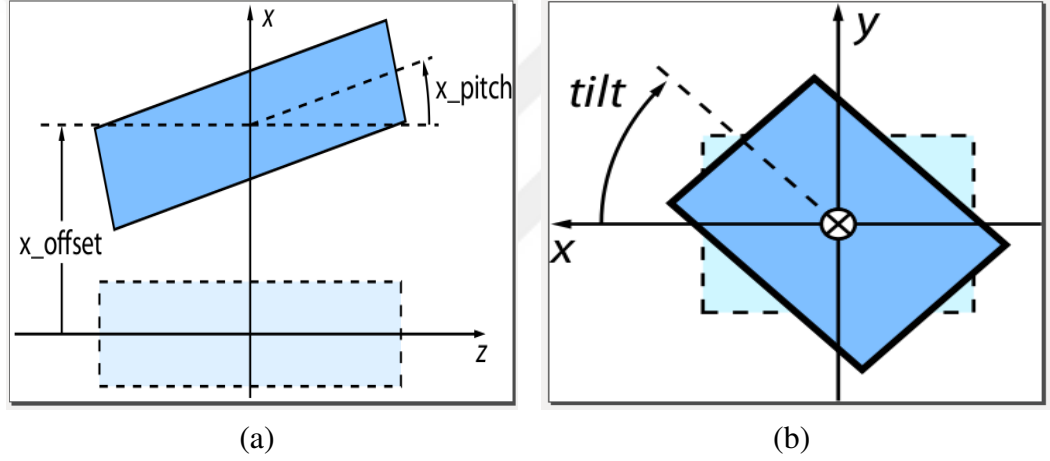
Ayrıca Şekil 4.29’ da yaklaşık 1100 ve 2400 m. arasında CLIC gibi yüksek enerjili çarpıştırıcılarda boyuna polarizasyonu etkileyen bazı dalgalanmalar görülmektedir. Bu dalgalanmalar demet hattı üzerinde bu bölgede bulunan ve spinlere olan etkilerinin Bölüm 2.4.2’ de anlatıldığı dipol ve kuadropol magnet dizilimlerinden kaynaklanmaktadır.



#### 4.4. Yanlış Hizalamalar ve CLIC Demet Polarizasyonuna Etkisi

Yanlış hizalama, demet hattı elemanlarının dizayn konumlarından yani gerçek pozisyonlarından sapması demektir. Bu sapsmalar simülasyonda,  $x, y, z$  koordinatlarından sapma ve ilgili eksenlerden dönme ile parametrize edilmektedir.

BMAD kodunda yanlış hizalamalar,  $x$ -ötelemesi ( $x$ -offset),  $y$ -ötelemesi ( $y$ -offset),  $z$ -ötelemesi ( $z$ -offset) olarak ve eksenler etrafında oluşabilecek dönmeler de  $x$  yönünde eğim verme ( $x$ -pitch),  $y$  yönünde eğim verme ( $y$ -pitch) ve iki boyutlu düzlemsel dönme (tilt) olarak tanımlanmaktadır (Sagan 2014). Şekil 4.30' da bu yanlış hizalamaların şekilsel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.30. Pitch, offset ve tilt davranışlarının geometrik gösterimi

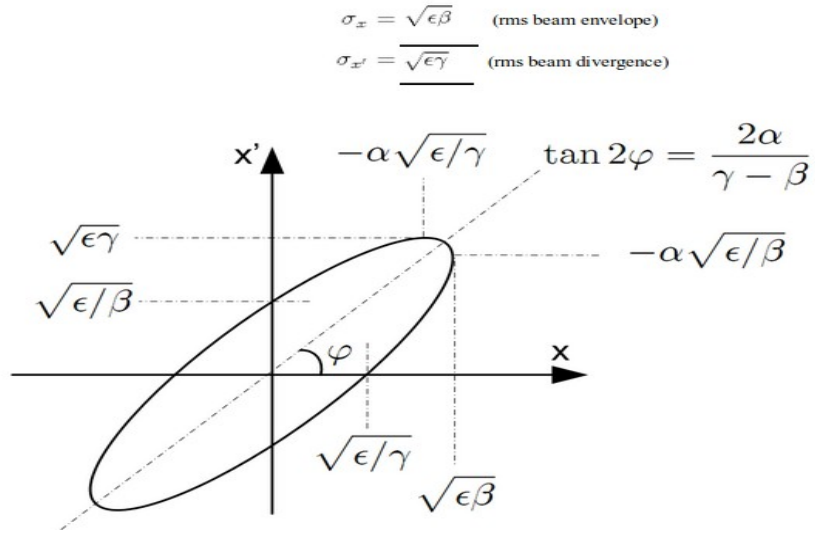
BMAD demet hattı elemanlarını yanlış hizalamamakta, fakat her demet hattı elemanı için demet parçacıklarını döndürmekte ve düzeltmektedir. Örnek olarak, yanlış hizalanan magnetler demetin yörüngesini etkilemekte ve bu da demet kayıplarına yol açmaktadır. Bundan kurtulmak için demet hattının yörünge düzeltmesinin yapılması gerekmektedir. Demet konum monitörleri ve düzeltici dipol magnetler demet hattı boyunca yörünge düzeltmesini yapmak için kullanılmaktadır. Bu düzeltici magnetler demete belli açılarda itme uygulayarak demetin yanlış hizalanmasını önlemektedirler (Sagan 2014).

#### 4.4.1. Demet yanlış hizalaması ve polarizasyona etkisi

Demet elemanlarının yanlış hizalanması konusuna geçmeden önce demet hattının başında demetin farklı yanlış hizalama değerleri ile demet hattına gönderilerek hat boyunca polarizasyonda meydana getirdiği değişiklikler ile ilgili grafikler çizdirilmiş ve hangi demet yanlış hizalaması değerinden sonra polarizasyon değerinin olası en düşük değeri olan 0,1%' in altına düştüğü tespit edilmiştir.

Burada amaç dizayn edilen yörüngeden demet yörüngesinin maksimum ne kadar dağılacığını bulmak ve bu yanlış demet hizalamasının tüm demet hattı boyunca olan boyuna polarizasyonda meydana getirdiği değişimi BMAD programını kullanarak göstermektir. Bunun için önce MADX kodu kullanılarak Twiss parametreleri elde edilmiştir ve bu parametreler ile CLIC için demet boyutu ( $\sigma_x, \sigma_y$ ) ile demet diverjansı ( $\sigma_{x'}, \sigma_{y'}$ ) değerleri hesaplanmıştır.

Doğrusal parçacık takibinde, Gauss şeklindeki demetin enine yayılımı Twiss parametreleri ve emittans ile hesaplanmaktadır. Şekil 4.31' de bu parametreler gösterilmiştir.



Şekil 4.31. Twiss parametrelerinin grafiksel gösterimi

Demet boyutu  $\sigma_x$  ve  $\sigma_y$  hesaplanırken:

$$\sigma_{x,y} = \sqrt{\frac{\epsilon_{N_{x,y}} \cdot \beta_{x,y}}{\gamma}} \quad (4.9)$$

eşitliği kullanılmaktadır. Burada  $\varepsilon_{N_{x,y}}$  sırasıyla yatay ve düşey doğrultudaki normalize emittans değerleri;  $\beta_{x,y}$  demetin enine odaklaması ile ilgili olan yatay ve düşey beatatron fonksiyonları ve  $\gamma$  Lorentz faktörü de  $\gamma = 2935427,005'$  tir (Braun 2008).

CLIC Demet Taşınım Hattı için  $\varepsilon_{N_x} = 6,60 \times 10^{-07}$  ve  $\varepsilon_{N_y} = 2,0 \times 10^{-08}$ , dir. Demetin örgü başlangıcındaki  $\beta$  değerleri de  $\beta_x = 66,14532014$  ve  $\beta_y = 17,92472388'$  dir. Bu değerler Eşitlik 4.9' da yerine konulursa demetin taşınım hattı başındaki demet boyutları  $\sigma_x = 3,86 \times 10^{-06}$  m ve  $\sigma_y = 3,49 \times 10^{-07}$  m olarak hesaplanmaktadır.

Benzer şekilde demetin örgü başında sahip olduğu  $\sigma_{x'}$  ve  $\sigma_{y'}$  değerleri hesaplanırken:

$$\sigma_{x',y'} = \sqrt{\frac{\varepsilon_{N_{x,y}}}{\beta_{x,y} \cdot \gamma}} \quad (4.10)$$

eşitliği kullanılmaktadır. Burada Twiss parametreleri  $\beta_x$  ve  $\beta_y$  relativistik hız faktörü  $\beta$  ile karıştırılmamalıdır.  $\varepsilon_{N_{x,y}}$  ve  $\beta_{x,y}$  değerleri Eşitlik 4.10' da yerine konulursa demetin eksenlerle yaptığı eğim değerleri  $\sigma_{x'} = 5,83 \times 10^{-08}$  rad ve  $\sigma_{y'} = 1,95 \times 10^{-08}$  rad olarak hesaplanmaktadır.

Demete örgü başlangıcında uygulanan farklı  $\sigma$  değerlerine karşılık gelen demet boyutu ( $\sigma_x, \sigma_y$ ) ve eksenler üzerinden verilen eğim değerleri ( $\sigma_{x'}, \sigma_{y'}$ ) Çizelge 4.4' de verilmektedir.

**Çizelge 4.4.** Demete uygulanan yanlış hizalama değerleri

$\sigma$	$\sigma_x$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\sigma_y$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\sigma_{x'}$ [ $\mu\text{rad}$ ]	$\sigma_{y'}$ [ $\mu\text{rad}$ ]
<b>0,2</b>	0,77	0,07	0,011	0,003
<b>1</b>	3,86	0,34	0,058	0,019
<b>2</b>	7,72	0,69	0,11	0,039
<b>3</b>	11,6	1,05	0,175	0,058
<b>4</b>	15,4	1,40	0,233	0,078
<b>5</b>	19,3	1,75	0,292	0,097
<b>6</b>	23,2	2,09	0,350	0,117
<b>7</b>	27,0	2,44	0,408	0,137
<b>8</b>	30,9	2,79	0,466	0,156

Çizelge 4.4' de verilen farklı yanlış hizalama değerleri BMAD programı kullanılarak

**Çizelge 4.5.** Demet yanlış hizalaması uygulamadan ve demet yanlış hizalaması uygulayarak çarpışma noktasında hesaplanan polarizasyon değerleri

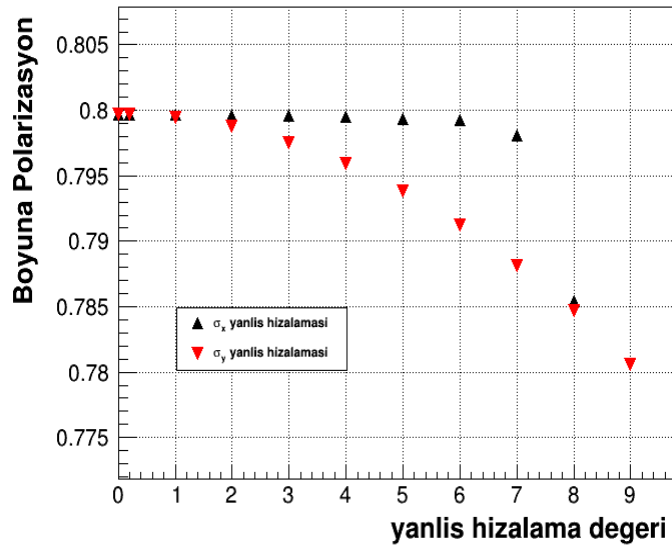
	x ötelemesi	y ötelemesi	$x'$ ötelemesi	$y'$ ötelemesi
	polz @IP	polz @IP	polz @IP	polz @IP
<b>yanlış hizalama olmadan</b>	0,799699	0,799699	0,799699	0,799699
<b>0,2 <math>\sigma</math></b>	0,799684	0,799679	0,799685	0,799695
<b>1 <math>\sigma</math></b>	0,799667	0,799459	0,799663	0,799681
<b>2 <math>\sigma</math></b>	0,799613	0,798726	0,799596	0,799634
<b>3 <math>\sigma</math></b>	0,799558	0,797528	0,799469	0,799560
<b>4 <math>\sigma</math></b>	0,799500	0,795872	0,799305	0,799462
<b>5 <math>\sigma</math></b>	0,799339	0,793795	0,799095	0,799329
<b>6 <math>\sigma</math></b>	0,799242	0,791168	0,798738	0,799175
<b>7 <math>\sigma</math></b>	0,798097	0,788080	0,796919	0,798981
<b>8 <math>\sigma</math></b>	0,785393	0,784623	0,781976	0,798775
<b>9 <math>\sigma</math></b>	0,735863	0,780574	0,726488	0,798534

demete ayrı ayrı uygulanmış ve bu yanlış hizalamalar referans yörüngeye ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Demet farklı yanlış hizalamalar ile başlangıç durumuna getirilmiş ve tüm demet taşınım hattı boyunca takip edilmiştir. Doğrusal çarpıştırıcılarda, uygulanan bu demet yanlış hizalamaları demet konum monitörleri, hizalama sistemleri ve enerji hatalarından kaynaklanabilmektedir. Burada uygulanan demet yanlış hizalamaları rasgele olmayıp amaç, dizayn edilen yörüngeden demet yörüngesinin maksimum ne kadar dağılacığını bulmaktır.

Demetteki 10,000 makroparçacık tüm CLIC Demet Taşınım Hattı boyunca takip edilmiş ve boyuna polarizasyondaki değişimler gözlenmiştir. Demet yanlış hizalaması uygulamadan ve demet yanlış hizalaması uygulayarak çarpışma noktasında hesaplanan polarizasyon değerleri ise Çizelge 4.5 verilmektedir (Usun Simitcioglu ve ark. 2018). Bu hesaplamalarda demet hattı üzerindeki elemanların mükemmel bir şekilde hizalandığı ve sadece demetin yanlış hizalandığı varsayılmaktadır.

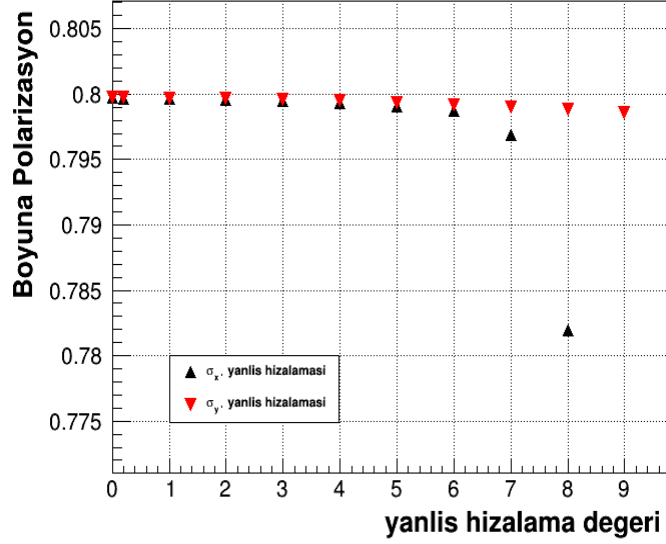
Çarpışma noktasında hedeflenen 0,8' lik polarizasyondaki değişimler Çizelge 4.5 de görüldüğü gibi çeşitli demet yanlış hizalamaları için elde edilmiştir. Buna göre  $7\sigma_x$  değerinde bir yanlış hizalama uygulandığında çarpışma noktasında elde edilen polarizasyon değeri olması istenen 0,8 değerinden 0,1%' in altına düşmekte;  $2\sigma_y$  değerinde bir yanlış hizalama uygulandığında çarpışma noktasında elde edilen polarizasyon değeri 0,1%' in

altına düşmekte;  $6\sigma_x$  değerinde bir yanlış hizalama uygulandığında çarpışma noktasında elde edilen polarizasyon değeri  $0,1\%$ ' in altına düşmekte ve son olarak  $7\sigma_y$  değerinde bir yanlış hizalama uygulandığında çarpışma noktasında elde edilen polarizasyon değeri  $0,1\%$ ' in altına düşmektedir (Usun Simitcioglu ve ark. 2018). Uygulanan bu yanlış hizalama değerlerine karşılık çarpışma noktasında elde edilen boyuna polarizasyon grafikleri Şekil 4.32 ve Şekil 4.33 de verilmektedir.



**Şekil 4.32.** Demete uygulanan farklı  $\sigma_x$  ve  $\sigma_y$  yanlış hizalama değerlerine karşılık çarpışma noktasında elde edilen polarizasyon değişimi

CLIC elektron demeti için demet taşınım hattı başlangıcında beklenen öteleme değerleri, çarpışma noktasında elde edilen polarizasyon değerinin olması istenen  $0,8$  değerinden  $0,1\%$ ' in altına düşmesini sağlayan ve Çizelge 4.5' de gösterilen değerlere göre daha küçüktür. Örneğin düşey demet konumunda Çizelge 4.5' de  $2\sigma_y$  demet ötelemesinde istenilen polarizasyon değerinin  $0,1\%$  kadar altına düşülüyorken, CLIC için bu değer  $0,2\sigma_y$  olarak beklenmektedir (Tomas 2009). Bu çalışmayla böylece CLIC elektron demeti için demet hattı başlangıcında demetin hangi değerlerde maksimum ötelenebileceği belirlenmiştir.



**Şekil 4.33.** Demete uygulanan farklı  $\sigma_x$  ve  $\sigma_y$  yanlış hizalama değerlerine karşılık çarpışma noktasında elde edilen polarizasyon değışimi

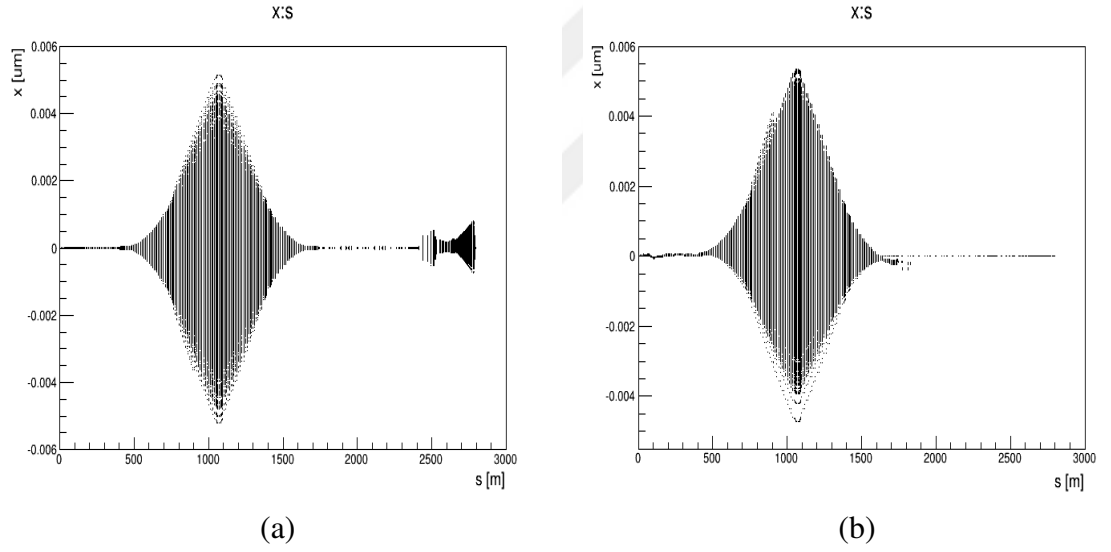
#### 4.4.2. Magnet yanlış hizalaması ve polarizasyona etkisi

Yanlış hizalanan magnetler demetin yörüngesini etkilemekte ve bu da düzeltilmezse demet kayıplarına sebep olmaktadır. Magnet yanlış hizalamasının, demet ötelemesi ya da odaklamanın ayarlanamamasının yanı sıra bir çok etkisi bulunmaktadır (Beckmann ve ark. 2014). Bir kuadropolün tam ortasında magnetik alanın kaybolması bu etkilere bir örnektir. Eğer bir kuadropol yanlış hizalanırsa, magnetik alan aşağı beslemesi spin dönmesine sebep olacaktır. Aşağı beslemeden kaynaklanan manyetik alandaki değışim polarizasyonu etkilemekte ve bu da istenilen polarizasyon değerinden önemli ölçüde sapmalara sebep olmaktadır. CLIC’ te de elektron demeti demet taşınım hattından geçtikten sonra büyük bir depolarizasyon beklenmektedir. Bu da beklenen polarize çarpışmaları engelleyecektir.

CLIC Demet Taşınım Hattı üzerinde 206 tane dipol magnet, 70 tane kuadropol magnet ve 18 tane de altı kutuplu magnet bulunmaktadır (Aicheler ve ark. 2012). CLIC’ in dizayn parametrelerine göre kuadropollerin hizalanma hassasiyeti  $10 \mu\text{m}$  olarak düşünölmektedir. Bu sebeple bu tez kapsamında demet hattı üzerindeki 70 kuadropolün tümü 10

$\mu\text{m}$  civarında gelişigüzel bir şekilde yanlış hizalanmıştır. Bunu gerçekleştirmek için de hatalar  $x$  ve  $y$  eksenleri üzerinde  $10 \mu\text{m}$  rms etrafında Gaussyen dağılıma uygun olarak dağıtılmıştır. Daha sonra bu hatalar CLIC Demet Taşınım Hattı üzerindeki tüm kuadro-pollere uygulanmıştır. Bu sırada demet, demet taşınım hattına herhangi bir yanlış hizalama olmadan gönderilmiştir. Altı kutuplu magnetlerin yanlış hizalaması yörünge ve polarizasyon üzerinde ikinci dereceden bir etki yarattığı için bu çalışma kapsamında incelenmemiştir.

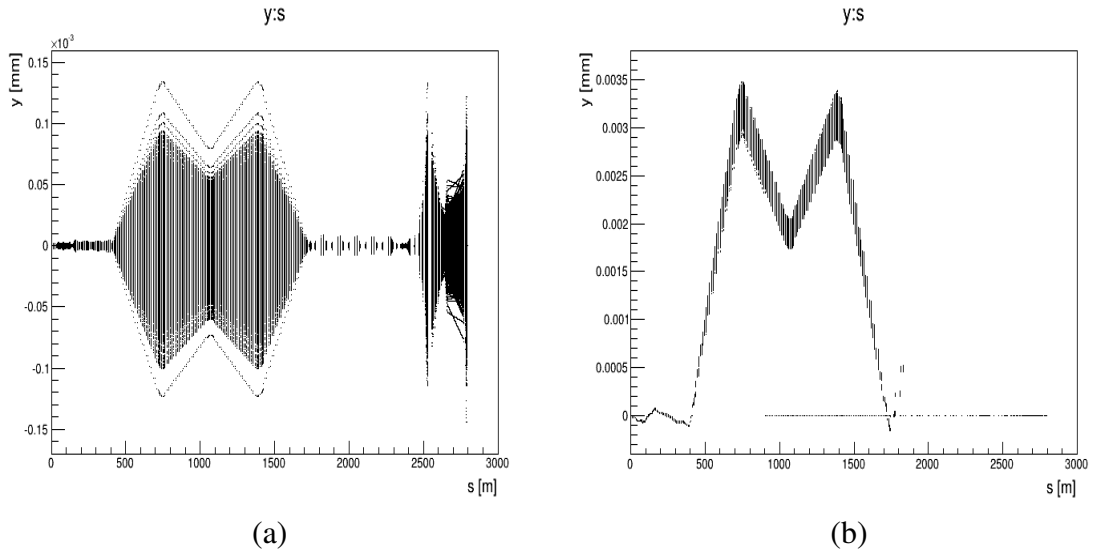
Elektron demetinin spinleri tüm CLIC Demet Taşınım Hattı boyunca takip edilerek demetin konumundaki ve polarizasyon dağılımındaki değişimler elde edilmiştir. Demet Taşınım Hattı boyunca demetin boyutlarında meydana gelen değişimler Şekil 4.34 ve Şekil 4.35 de verilmektedir.



**Şekil 4.34.** Magnet yanlış hizalaması uygulamadan (solda) ve  $10 \mu\text{m}$  magnet yanlış hizalaması uyguladıktan sonra (sağda) demetin yatay konumunda elde edilen değişim

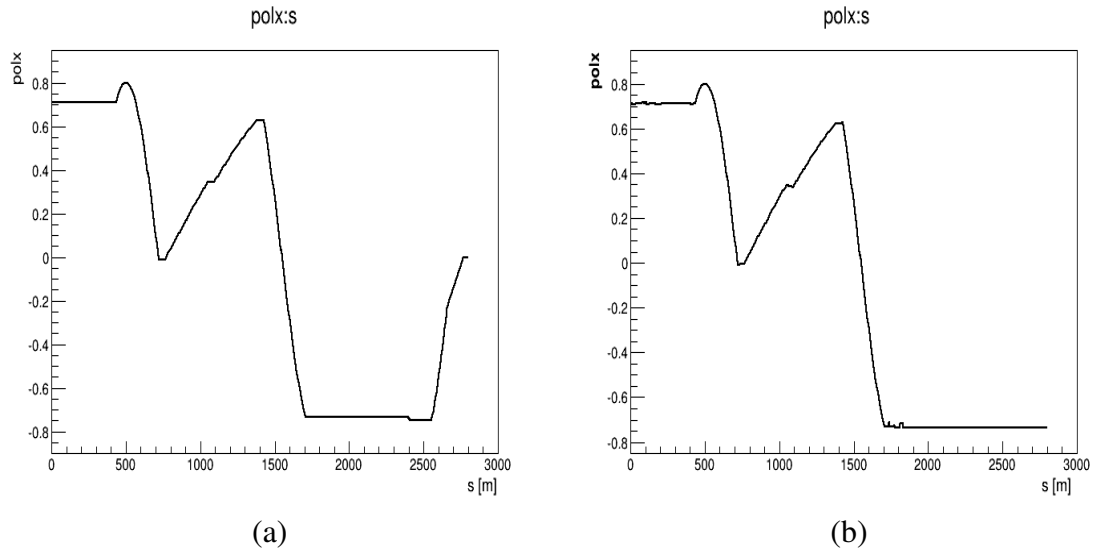
Şekil 4.34 ve Şekil 4.35 de görüldüğü gibi demet taşınım hattı boyunca bulunan 70 kuadropolün tamamına uygulanan  $10 \mu\text{m}$ ' lik yanlış hizalamadan sonra çarpışma noktasında  $x$  ve  $y$  eksenlerinde olması istenilen demet boyutlarından oldukça uzaklaşmıştır.

Demet taşınım hattı boyunca demetin enine polarizasyon bileşenlerinde meydana gelen değişimler Şekil 4.36 ve Şekil 4.37 de verilmektedir (Usun Simitcioglu ve ark. 2018). Şekil 4.36 ve Şekil 4.37 de görüldüğü gibi demet taşınım hattı boyunca bulunan 70



**Şekil 4.35.** Magnet yanlış hizalaması uygulamadan (solda) ve  $10 \mu\text{m}$  magnet yanlış hizalaması uyguladıktan sonra (sağda) demetin düşey konumunda elde edilen değişim

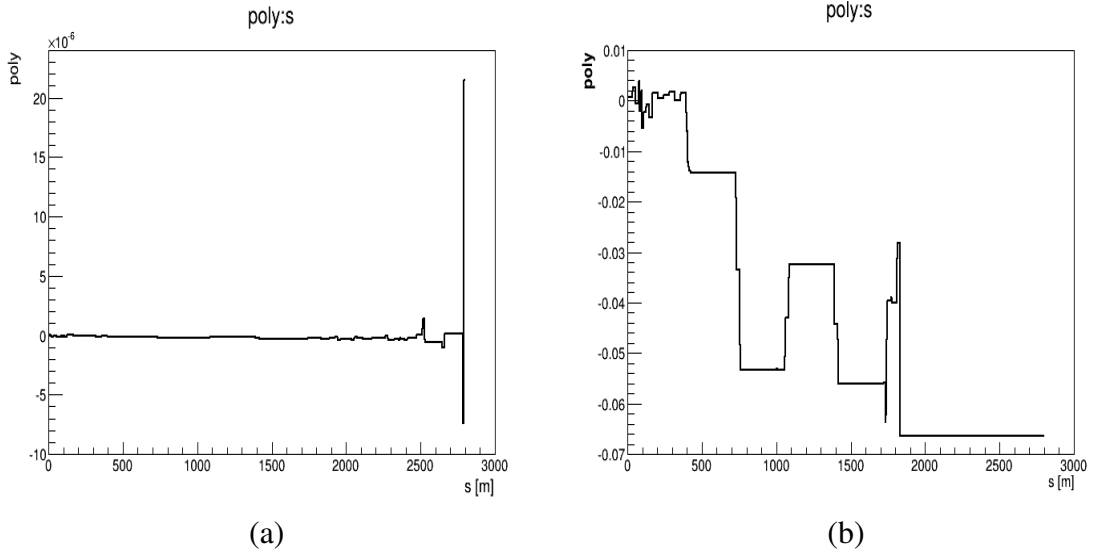
kuadropolün tamamına uygulanan  $10 \mu\text{m}$ ' lik yanlış hizalamadan sonra çarpışma noktasında ya  $0$  ya da  $0'$  a çok yakın olması istenen enine polarizasyon bileşenleri bu değerden oldukça uzaklaşmıştır. Yani enine polarize demette kayıplar meydana gelmiştir.



**Şekil 4.36.** Magnet yanlış hizalaması uygulamadan (solda) ve  $10 \mu\text{m}$  magnet yanlış hizalaması uyguladıktan sonra (sağda) demetin polarizasyon vektörünün  $x$  bileşenindeki değişim

Şekil 4.38 de demet taşınım hattı boyunca bulunan 70 kuadropolün tamamına uygulanan  $10 \mu\text{m}$ ' lik yanlış hizalamadan sonra demetin boyuna polarizasyonunda meydana gelen

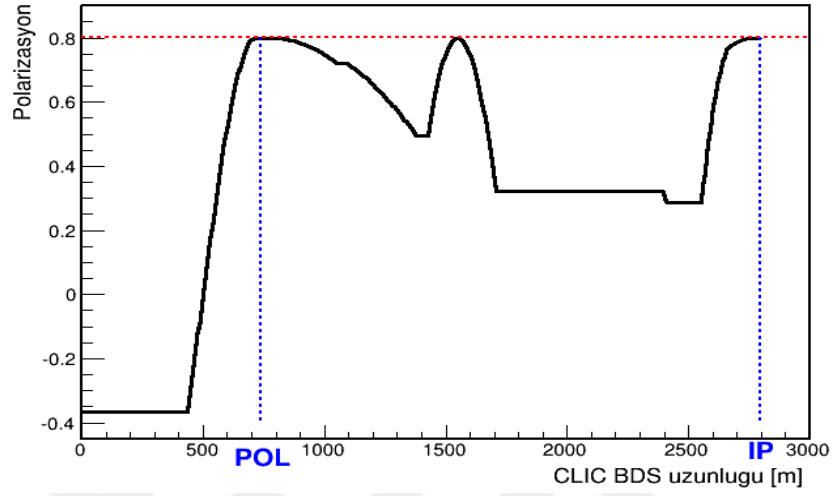




**Şekil 4.37.** Magnet yanlış hizalaması uygulamadan (solda) ve  $10 \mu\text{m}$  magnet yanlış hizalaması uyguladıktan sonra (sağda) demetin polarizasyon vektörünün  $y$  bileşenindeki değişim

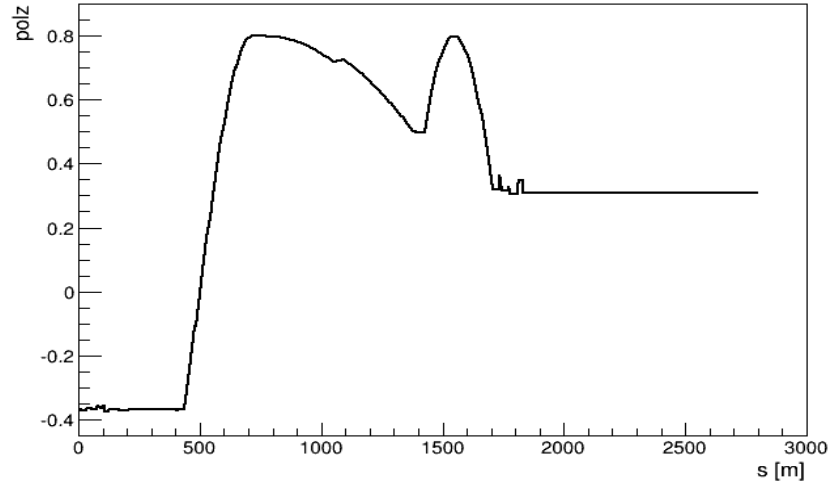
değişim görülmektedir (Uşun Simitcioglu ve ark. 2018).

Şekil 4.38' de görüldüğü gibi özellikle, demet taşınım hattının son bölümündeki kuadropol magnetlerin yanlış hizalanması ile parçacık spinleri dönmüş ve çarpışma noktasında elde edilen polarizasyon değeri beklenen 0,8 değerinden oldukça düşerek 0,309804687' lik bir polarizasyon değeri elde edilmiştir (Uşun Simitcioglu ve ark. 2018).



(a)

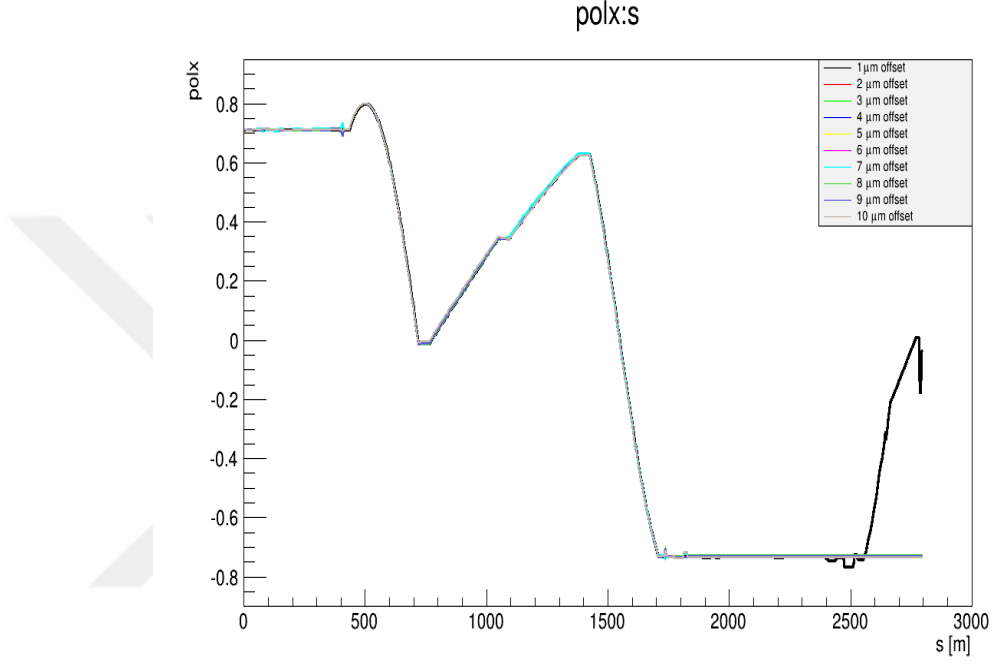
polz:s



(b)

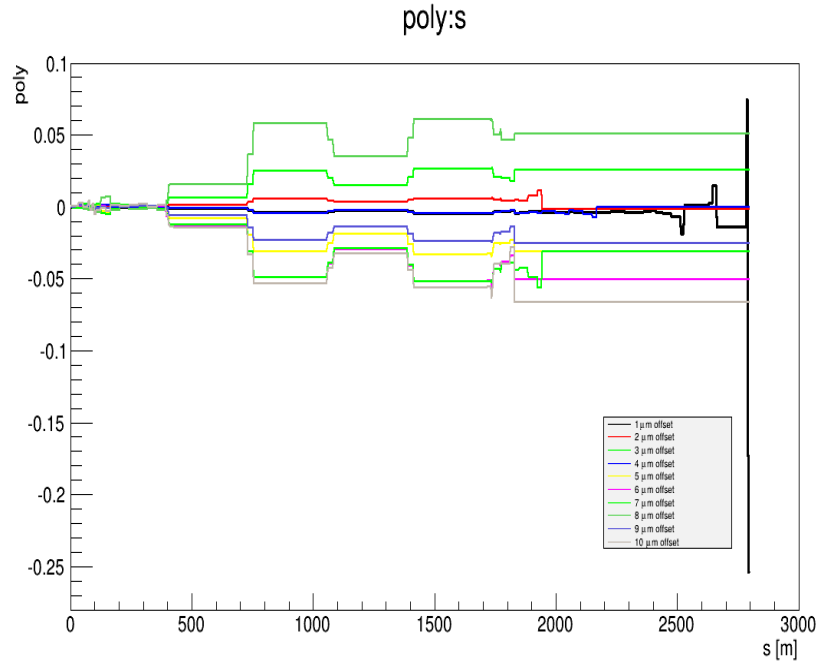
**Şekil 4.38.** Magnet yanlış hizalaması uygulamadan (üstte) ve  $10 \mu\text{m}$  magnet yanlış hizalaması uyguladıktan sonra (altta) demetin polarizasyon vektörünün  $z$  bileşenindeki değişim

Yukarıda yapılan çalışmalarda kullanılan kuadropollere uygulanan yanlış hizalamanın, demet polarizasyonuna olan etkisine daha detaylı bakabilmek için  $1 \mu\text{m}$ ' den başlayıp  $1 \mu\text{m}$  aralıklarla bu işlem  $10 \mu\text{m}$ ' ye kadar uygulanıp çıkan sonuçlar üst üste aynı grafik üzerinde çizdirilmiştir. Uygulanan bu yanlış hizalama değerlerinin sonucunda polarizasyon vektörlerinin bileşenlerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 4.39, Şekil 4.40 ve Şekil 4.41' de verilmektedir.

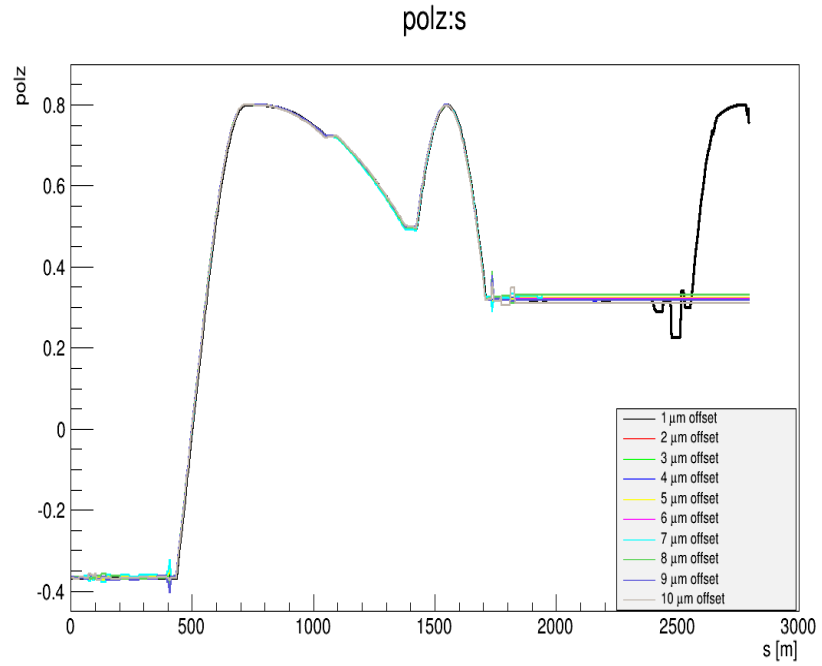


**Şekil 4.39.** CLIC Demet Taşınım Hattı boyunca kuadropollere uygulanan  $1 \mu\text{m}$ ' den  $10 \mu\text{m}$ ' ye kadar olan yanlış hizalamalar sonucunda polarizasyon vektörünün  $x$  bileşenindeki değişim

Böylece  $1 \mu\text{m}$ ' den  $10 \mu\text{m}$ ' ye kadar olan farklı yanlış hizalama değerleri için polarizasyon vektörlerinde meydana gelen değişimlere ayrıntılı olarak bakılmıştır. Çıkan sonuçlar neticesinde CLIC için düşünülen  $10 \mu\text{m}$ ' lik magnet yanlış hizalaması değerinin, çarpışma noktasında istenilen  $0,8$ ' lik boyuna polarizasyon değerini vermediği, buna karşılık  $10 \mu\text{m}$  yanlış hizalamasından daha düşük hizalama değerlerine inildikçe istenilen enine ve boyuna polarizasyon değerlerine yaklaşıldığı görülmüştür. Buna örnek olarak Şekil 4.41' e bakılırsa magnetlere  $1 \mu\text{m}$ ' lik yanlış hizalama uygulandığında çarpışma noktasında boyuna polarizasyon değeri istenilen  $0,8$  değerine yakın bir değer olan  $0,7570113368$  olarak elde edilmiştir.



**Şekil 4.40.** CLIC Demet Taşınım Hattı boyunca kuadropollere uygulanan  $1 \mu\text{m}'$  den  $10 \mu\text{m}'$  ye kadar olan yanlış hizalamalar sonucunda polarizasyon vektörünün  $y$  bileşenindeki değişim



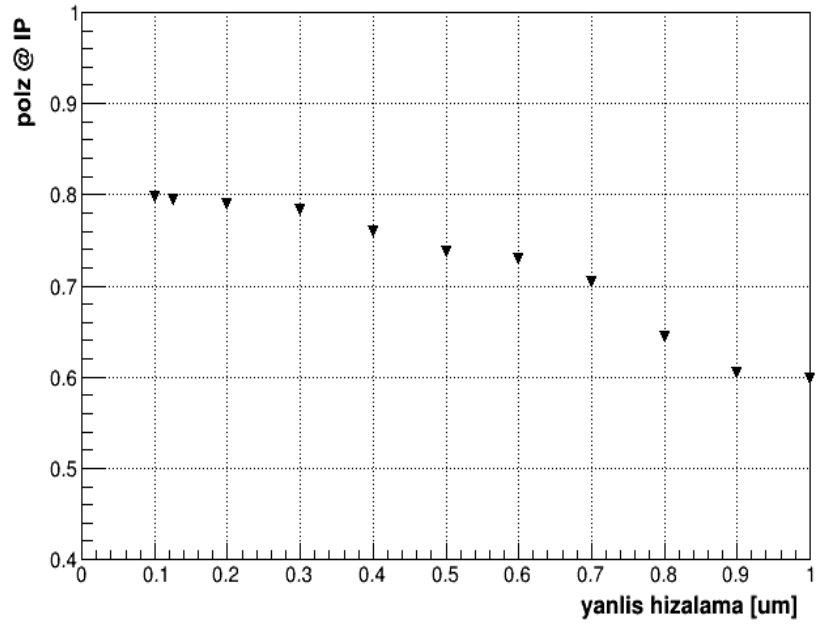
**Şekil 4.41.** CLIC Demet Taşınım Hattı boyunca kuadropollere uygulanan  $1 \mu\text{m}'$  den  $10 \mu\text{m}'$  ye kadar olan yanlış hizalamalar sonucunda polarizasyon vektörünün  $z$  bileşenindeki değişim

Yanlış hizalamayı  $1 \mu\text{m}$  değerinden arttırdıkça çarpışma noktasında istenilen polarizasyon değerinin %30' lara düştüğünün görülmesi sonucunda magnet yanlış hizalamaları için  $0,1 \mu\text{m}$ ' dan başlayıp  $0,1 \mu\text{m}$  aralıklarla  $1 \mu\text{m}$ ' ye kadar aynı çalışmalar tekrarlanmış ve polarizasyonda meydana gelen değişimlere de bakılmıştır. İstenilen polarizasyon değerlerine yaklaşmak ve çıkan sonuçları daha güvenilir hale getirmek için de BMAD programı 100 kez çalıştırılıp çıkan sonuçların ortalaması alınarak yapılacak çalışmalar için önemli olan çarpışma noktasındaki boyuna polarizasyon değerleri elde edilmiştir. Bu değerler Çizelge 4.6' da verilmektedir.

**Çizelge 4.6.** Uygulanan yanlış hizalama miktarlarına karşılık çarpışma noktasında elde edilen polarizasyon değerleri

Yanlış Hizalama Miktarı	Çarpışma Noktasındaki Polarizasyon
0,1 $\mu\text{m}$	0,796795
0,2 $\mu\text{m}$	0,789718
0,3 $\mu\text{m}$	0,783212
0,4 $\mu\text{m}$	0,759072
0,5 $\mu\text{m}$	0,736896
0,6 $\mu\text{m}$	0,728602
0,7 $\mu\text{m}$	0,704627
0,8 $\mu\text{m}$	0,643443
0,9 $\mu\text{m}$	0,604797

Yanlış hizalama miktarlarına karşılık çarpışma noktasında elde edilen polarizasyon değerleri de Şekil 4.42 de verilmektedir. Şekil 4.42' de de görüldüğü üzere  $0,1 \mu\text{m}$ ' lik yanlış hizalama değerinden daha da düşük değerlere gidildikçe çarpışma noktasında elde edilen polarizasyon değeri olması istenen %80' lik polarizasyon değerinin yaklaşık %0,1' ne ulaşmaktadır. Yani çarpışma noktasında istenilen boyuna polarizasyon değerine ulaşabilmek için demet hattı üzerinde bulunan tüm quadropollerin  $0,1 \mu\text{m}$ ' den daha düşük yanlış hizalanması gerekmektedir ki bu CLIC gibi yüksek enerjilerde çalışan çarpıştırıcılar için ulaşılması oldukça zordur.



**Şekil 4.42.** Yanlış hizalama miktarlarına karşılık çarpışma noktasında elde edilen polarizasyon değerleri

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bölüm 2.6' da da verilen örneklerde görüldüğü gibi polarize demetler kullanılarak çarpışmaların tesir kesitleri iki ile üç kat arasında arttırılmakta ve elde edilen olay sayısı da buna bağlı olarak artmaktadır. Bu sayede artan olay sayısı ile beraber elde edilen istatistiksel veriler de artmakta ve yeni fizik olayları elde edip bunların özelliklerini incelemek mümkün olmaktadır. Buna bağlı olarak da CLIC' in 3 TeV' lik kütle merkezi enerjisinde çarpışma noktasında 80%' lik bir elektron demeti polarizasyonu istenmektedir (Aicheler ve ark. 2012). Tez kapsamında da demet parçacıklarının 90%' nının sağa yönelimli ve pozitif, 10%' nunun ise sola yönelimli ve negatif olduğu gösterilerek CLIC elektron demeti için istenen 80%' lik polarizasyon değeri Şekil 2.10 da gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Elektromanyetik alanlar altında spin vektörlerinin değişimi T-BMT eşitliğine bağlı olarak gösterilmiş ve odaktan uzaklaştıran magnet içinden geçen demetin spin yayılması olayına bağlı olarak polarizasyonundaki azalma ile bu azalmanın odaklayıcı bir magnet kullanılarak yükseltip spin vektörlerinin tekrar eski haline dönmesi de Bölüm 2.4.2' de anlatılmıştır.

Elektron ve pozitron demetleri için kullanılan farklı demet polarizasyonu değerlerinin Higgs bozonu, chargino ile neutrolino ve WW üretim oranlarına olan etkisi de Bölüm 2.5' de ayrı ayrı verilmiştir.

GUINEA-PIG programı kullanılarak çalışmalara başlandığı sırada CLIC için başlangıç çarpışma enerjisi olan 500 GeV ve son enerji aşaması olan 3000 GeV kütle merkezi enerjilerine sahip elektron pozitron demetleri çarpıştırılarak birinci ve ikinci demetteki parçacıkların  $x-y-z$  eksenlerindeki konum grafikleri; her iki demetteki parçacıkların enerji grafikleri ile demetlerin eksenlerle yaptıkları açı grafikleri; demet profili; çarpışma bölgesinde meydana gelen ve parçacık oluşumunu etkileyen fiziksel süreçler yani koherent ve inkoherent çiftlerin oluşum spektrumları, demet parçacıklarının açısal dağılımları; çarpışmadan sonra oluşan fotonların açısal dağılımları; çarpışmadan sonra oluşan fotonların

enerji ve ışıklılık ile ilgili grafikleri ROOT programı kullanılarak çizdirilmiştir. 1 TeV 'in altındaki enerjilerde koherent çiftlerin oluşma olasılığı düşük olduğu için 500 GeV' lik CLIC başlangıç enerjisinde koherent çift oluşumu gözlenmemiştir.

PLACET programı kullanılarak CLIC BDS bölümleri olan Tanılama, Enerji Kolimatörü, Betatron Kolimatörü ve Son Odaklama Bölgesi üzerindeki demetin optik özellikleri incelenmiş ve elde edilen verilerin CLIC CDR' da verilen bilimsel değerler ile uyumlu olduğu görülmüştür.

CLIC BDS boyunca olan demet iletimi ve parçacık takibi simülasyonu için BMAD programı kullanılmıştır. Programda girdi dosyası olarak kullanılan ve CLIC BDS üzerinde bulunan demet hattı elemanları ile özelliklerini içeren bir örgü dosyası oluşturulmuştur. Demet hattı boyunca demetteki parçacıklar program ile takip edilerek çarpışma noktasındaki parçacıkların faz-uzay koordinatları elde edilmiştir. Demet hattı boyunca demetin yatay ve düşey konumundaki değişimi ile demetin bu eksenlerle yaptığı açılardaki değişim grafikleri çizdirilmiştir.

Demet izlemesi yapılırken ilerlenilen örgü boyunca demet boyutlarının nasıl değiştiğini görebilmek için demet hattı, hattın başından polarimetreye, polarimetreden de çarpışma noktasına kadar ikiye bölünerek parçacık takibi yapılmış ve hem polarimetredeki hem de çarpışma noktasındaki demet boyutları elde edilmiştir. Elde edilen demet boyutu değerlerinin CLIC CDR' da verilen ve çarpışma noktasında hedeflenen demet boyutları olan  $\sigma_x = 40$  nm ve  $\sigma_y = 1$  nm değerleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Parçacıklar ilk elemandan polarimetreye ve polarimetreden de çarpışma noktasına kadar ayrı ayrı takip edilerek polarimetrede ve çarpışma noktasındaki faz uzay koordinatlarına  $(x, p_x, y, p_y, z, p_z)$  ek olarak spin bileşenleri  $S_x, S_y, S_z$  de elde edilmiştir. Bu spin vektörleri de parçacık sayısına bölünerek parçacığın polarizasyon vektörleri elde edilmiştir. Polarizasyon vektörlerinin hat boyunca olan değişim grafikleri Bölüm 4.3.5' te ayrı ayrı çizdirilmiş ve enine polarizasyon bileşenlerinin çarpışma noktasında 0' a çok yakın olduğu Şekil 4.28' de gösterilmiştir. Böylece CLIC' te boyuna polarize demet istendiği için enine polarizasyon bileşenlerinin bu durumunun normal olduğu gösterilmiştir. Boyuna polarizasyon değeri ise çarpışma noktasında istenilen 0,8 değerine çok yakın olan  $P_z =$



$7,99698 \times 10^{-01}$  olarak elde edilmiştir. Demet hattının başında ise programa başlangıç polarizasyon değeri 0,8 olarak girilmesine rağmen yaklaşık -0,37' lik bir boyuna polarizasyon değeri elde edilmiştir. Bunun sebebinin Şekil 2.3' te de gösterilen CLIC Demet Taşınım Hattı' nın başlangıçta yatay eksenle -0,6 mrad' lık bir açı yapmasının olduğu Bölüm 4.3.5' te gösterilmiştir. CLIC BDS boyunca sıralanan dipol ve kuadropol magnet dizilimlerinin boyuna polarizasyonu etkileyen dalgalanmalar yarattığı da parçacık takibi ile anlaşılmiş ve bu dalgalanmaların etkisi de Şekil 4.29' da 1100 metre ile 2400 metreler arasında gösterilmiştir.

Tez kapsamında son olarak demet ve magnet yanlış hizalamalarının polarizasyona etkileri gösterilmiştir. Önce demet hattının başında demetin farklı yanlış hizalama değerleri ile demet hattına gönderilerek hat boyunca polarizasyonda meydana getirdiği değişiklikler ile ilgili grafikler çizdirilmiş ve hangi demet yanlış hizalaması değerinden sonra polarizasyon değerinin olası en düşük değeri olan 0,1%' in altına düştüğü tespit edilmiştir. Böylece dizayn edilen yörüngeden demet yörüngesinin maksimum ne kadar dağılacığı bulunmuş ve bu yanlış demet hizalamasının tüm demet hattı boyunca olan boyuna polarizasyonda meydana getirdiği değişim BMAD programını kullanılarak gösterilmiştir. Demet hattı başlangıcında demete uygulanan çeşitli demet yanlış hizalamalarına karşılık çarpışma noktasında elde edilen polarizasyon değerleri birbiri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre demete  $7\sigma_x$ ,  $2\sigma_y$ ,  $6\sigma_{x'}$  ve  $7\sigma_{y'}$  değerinde bir yanlış hizalama uygulandığında çarpışma noktasında elde edilmek istenen 80%' lik polarizasyon değerinin 0,1%' in altına düştüğü bulunmuştur. Bu sayede CLIC için BDS girişinde istenilen yanlış hizalama değerlerinin, program sonucunda elde edilen bu değerlerden çok küçük olduğu görülmüştür. Örneğin düşey demet konumunda  $2\sigma_y$  demet ötelemesinde istenilen polarizasyon değerinin 0,1% kadar altına düşülmüyorken, CLIC için bu değer  $0,2\sigma_y$  olarak beklenmektedir. Bu çalışmayla böylece CLIC elektron demeti için demet hattı başlangıcında demetin hangi değerlerde maksimum ötelenebileceği belirlenmiştir.

CLIC BDS üzerinde 70 tane kuadropol magnet bulunmaktadır. CLIC' in tasarım parametrelerine göre kuadropollerin hizalanma hassasiyeti  $10 \mu\text{m}$  olarak düşünülmektedir. Bu sebeple bu tez kapsamında demet hattı üzerindeki 70 kuadropolün tümü  $10 \mu\text{m}$  civarında

gelişigüzel bir şekilde yanlış hizalanmıştır ve bunun için de hatalar  $x$  ve  $y$  eksenleri üzerinde  $10 \mu\text{m}$  rms etrafında Gaussyen dağılıma uygun olarak dağıtılmıştır. Bu sırada demet, demet taşınım hattına herhangi bir yanlış hizalama olmadan gönderilmiştir. Elektron demetinin spinleri tüm CLIC BDS boyunca takip edilerek demetin konumundaki ve polarizasyon dağılımındaki değişimler elde edilmiştir. Uygulanan yanlış hizalamadan sonra çarpışma noktasında  $x$  ve  $y$  eksenlerinde olması istenilen demet boyutlarından ve polarizasyon değerlerinden oldukça uzaklaşmıştır. Özellikle BDS' in son bölümündeki kuadropol magnetlerin yanlış hizalanması ile parçacık spinleri dönmüş ve çarpışma noktasında elde edilen polarizasyon değeri beklenen 0,8 değerinden oldukça düşerek 0,309804687' lik bir polarizasyon değeri elde edilmiştir. Böylece BDS ve çarpışma noktası arasında büyük bir depolarizasyon olduğu görülmüş ve CLIC' te polarize çarpışmaları garanti etmek imkansız olmuştur. Bunu gidermek için de çarpışma noktasında ya da hemen öncesinde polarizasyonu ölçmek zorunlu kılınmıştır. Çarpışma noktasında istenilen polarizasyon değeri olan 80% ve demet boyutu değerleri olan  $\sigma_x = 40 \text{ nm}$  ve  $\sigma_y = 1 \text{ nm}$ ' ye ulaşabilmek için de ikinci aşama olarak çarpışmadan önce, hat üzerinde PLACET programı ya da demet tabanlı hizalama (BBA) gibi yöntemler kullanılarak yörünge düzeltmesinin yapılmasına karar verilmiştir. Magnetlere uygulanan yanlış hizalamanın demet polarizasyonuna etkisine daha ayrıntılı bakabilmek için de  $10 \mu\text{m}$ ' den farklı yanlış hizalama değerlerine karşılık gelen polarizasyon grafikleri üst üste çizdirilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak yapılan tüm bu çalışmalarla CLIC BDS üzerindeki elektron demetinin polarizasyon konusu ve BMAD programı ile elektron demetinin spin takibi konusu detaylı bir şekilde incelenmiştir.

## KAYNAKLAR

**Aicheler, M., Burrows, P., Draper, M., Garvey, T., Lebrun, P., Peach, K., Phinney, N., Schmickler, H., Schulte, D., Toge, N. 2012.** A Multi-TeV Linear Collider Based on CLIC Technology. CERN European Organization for Nuclear Research Kavramsal Dizayn Raporu, İsviçre.

**Anonim 2002.** MADX User' s Guide. İsviçre, [http://mad.web.cern.ch/mad/madx.old/madx\\_manual.pdf](http://mad.web.cern.ch/mad/madx.old/madx_manual.pdf)-(Erişim tarihi:01.03.2015).

**Anonim 2018a.** Compact Linear Collider. İsviçre, <http://clic-study.web.cern.ch/faq-page#n96>-(Erişim tarihi:07.03.2018).

**Anonim 2018b.** CLIC. İsviçre, [clic.web.cern.ch/CLICr/MainBeam/BDS-](http://clic.web.cern.ch/CLICr/MainBeam/BDS-)-(Erişim tarihi:01.03.2015).

**Assmann, R. W., Zimmermann, F. 2001.** Polarization issues at CLIC. *eConf*, C010630: E3014.

**Barranco García, J., Lacoma, E. M., García, R. T. 2013.** Luminosity studies in a traveling waist regime in the Compact Linear Collider. *Phys. Rev. ST Accel. Beams*, 16(4): 041001.

**Beckmann, M. 2013.** Spin Transport at the International Linear Collider and its Impact on the Measurement of Polarization. PhD thesis. Hamburg U., Germany.

**Beckmann, M., List, J., Vauth, A., Vormwald, B. 2014.** Spin Transport and Polarimetry in the Beam Delivery System of the International Linear Collider. *JINST*, 9: P07003.

**Boland, M. J., 2016.** Updated baseline for a staged Compact Linear Collider.

**Braun, H. 2008.** CAS Beam Diagnostic. Dourdan, <http://cas.web.cern.ch/cas/France-2008/Lectures/Braun-Emittance.pdf>-(Erişim tarihi:10.06.2016).

**Brun, R., Rademakers, F. 1997.** ROOT - An Object Oriented Data Analysis Framework. In Proceedings AIHENP'96 Workshop, Lausanne, Sep. 1996, Nucl. Inst. Meth. in Phys. Res. A 389. p. 81–86.

**Grupen, C., Buvat, I. 2012.** Handbook of particle detection and imaging, vol. 1 and vol.2. Springer. Berlin, Germany.

**Lebrun, Linssen, L.-T. S. S. T. W. W. 2012.** The CLIC programme: Towards a staged e+e linear collider exploring the terascale : CLIC conceptual design report.

**Linssen, L., Miyamoto, A., Stanitzki, M., Weerts, H. 2012.** Physics and Detectors at CLIC: CLIC Conceptual Design Report.

**Moortgat-Pick, G. 2006.** Physics aspects of polarized e+ at the linear collider. In 1st International Positron Source Workshop (POSIPOL 2006) Geneva, Switzerland, April 26-28, 2006.

**Moortgat-Pick, G., 2008.** The Role of polarized positrons and electrons in revealing fundamental interactions at the linear collider. *Phys. Rept.*, 460: 131–243.

**Recepoğlu, E. 2009.** GUINEA-PIG Programı ile Demet Demet Simülasyonu . Adana, <https://indico.cern.ch/event/45542/contributions/1121296/>

attachments/947007/1343468/guineapr.pdf-(Erişim tarihi:01.08.2013).

**Rimbault, C., Bambade, P., Monig, K., Schulte, D. 2005.** Study of Incoherent Pair Generation in the Beam-beam Interaction Simulation Program GUINEA-PIG. In Proceedings, 2005 International Linear Collider Physics and Detector Workshop and 2nd ILC Accelerator Workshop (Snowmass 2005).

**Sagan, D. 2014.** BMAD manual. Amerika, <https://www.classe.cornell.edu/bmad/manual.html>-(Erişim tarihi:01.02.2015).

**Schulte, D. 1997.** Study of Electromagnetic and Hadronic Background in the Interaction Region of the TESLA Collider. PhD thesis. DESY.

**Schulte, D. 2000.** PLACET: A program to simulate drive beams. In Particle accelerator. Proceedings, 7th European Conference, EPAC 2000, Vienna, Austria, June 26-30, 2000. Vol. 1-3. p. 1402–1404.

**Schulte, D. 2007.** Beam-beam interaction. CERN, [http://www-pnp.physics.ox.ac.uk/~jaiweb/slides/2007\\_Schulte.pdf](http://www-pnp.physics.ox.ac.uk/~jaiweb/slides/2007_Schulte.pdf)-(Erişim tarihi:10.09.2013).

**Tomas 2009.** Status of the CLIC Beam Delivery System. In Proceedings of PAC09, Vancouver, BC, Canada.

**Usun Simitcioglu, A. 2013.** Initial Works on GUINEA-PIG and PLACET. CLIC Beam Physics Meeting, [https://indico.cern.ch/event/278027/contributions/627713/attachments/507386/700453/CERN\\_presentation.pdf#search=Initial%20Works%20on%20GUINEA%20and%20PLACET](https://indico.cern.ch/event/278027/contributions/627713/attachments/507386/700453/CERN_presentation.pdf#search=Initial%20Works%20on%20GUINEA%20and%20PLACET)-(Erişim tarihi:06.11.2013).

**Usun Simitcioglu, A., Tapan, I., Tomas, R., Barranco, J., Beckmann, M. 2018.** Beam offsets impact on the polarization in the CLIC Beam Delivery System, <https://doi.org/10.1139/cjp-2017-0251>. *Canadian Journal of Physics*.

**Çakır, O. 2012.** GUINEA-PIG. Kars, [https://indico.cern.ch/event/149935/contributions/187514/attachments/151798/214827/OCakir\\_HPFBU12\\_GPig\\_SON.pdf](https://indico.cern.ch/event/149935/contributions/187514/attachments/151798/214827/OCakir_HPFBU12_GPig_SON.pdf)-(Erişim tarihi:01.08.2013).

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ayşegül UŞUN SİMİTÇİOĞIU  
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa, Türkiye – 27.11.1987  
Yabancı Dil : İngilizce  
İletişim : aysegulusun@gmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl) :

Lise : Bursa Anadolu Erkek Lisesi 2001-2005  
Lisans : Gazi Üniversitesi, Fizik Bölümü 2005-2009  
Yüksek Lisans : Gazi Üniversitesi, Fizik Bölümü 2009-2012  
Doktora : Uludağ Üniversitesi, Fizik Bölümü 2012-2018

### Yayınlar:

- U. Simitcioglu, A., Tapan, I., Tomas, R., Barranco, J., Beckmann, M. 2018.** Beam offsets impact on the polarization in the CLIC Beam Delivery System. *Canadian Journal of Physics*. <https://doi.org/10.1139/cjp-2017-0251>.
- Uşun, A., Arıkan, P. 2010.** IR SEL ile Pump-Probe Spektroskopisi ve Uygulamaları poster sunumu. IV. Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresi, 30 Ağustos-1 Eylül, Muğla.
- Uşun, A., Arıkan, P. 2010.** TAC IR FEL Based Pump Probe Spectroscopy and its Applications poster sunumu. TFD 27. Uluslararası Fizik Kongresi, 14-17 Eylül, İstanbul.
- Uşun, A. 2012.** TARLA Elektron Tabancası Etrafındaki Radyasyon Seviyesi sözlü sunumu. XI. Türk Hızlandırıcı Merkezi YUUP Çalıştayı, 30 Kasım-2 Aralık, Ankara.
- U. Simitçioğlu, A., Piliçer, E., Tapan, İ. 2013.** TARLA Elektron Tabancası Zırhlama Çalışması sözlü sunumu. TFD 30. Uluslararası Fizik Kongresi, 2-5 Eylül, İstanbul.
- Beckmann, M., U. Simitçioğlu, A. 2014.** Spin Tracking Studies at ILC and CLIC sözlü sunumu. CLIC Beam Physics Meeting, 21 Mayıs, CERN, İsviçre.
- U. Simitçioğlu, A., Tapan, İ., Tomas, R., Barranco, J. 2016.** Spin Tracking in the BDS sözlü sunumu. CLIC Workshop, 19 Ocak, CERN, İsviçre.

**U. Simitçioğlu, A. Tapan, İ. Tomas, R. Barranco, J. Beckmann, M., 2017.** Misalignments Effects to the Beam Polarization in the CLIC Beam Delivery System sözlü sunumu. TFD 33. Uluslararası Fizik Kongresi, 6-10 Eylül, Muğla.

