

**T.C.
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YÜKSEK ENERJİ VE PLAZMA FİZİĞİ ANABİLİM DALI**

**CERN LHCb DENEYİNDE LÜMINOSİTENİN
BELİRLENMESİ**

Meltem ORUÇOĞLU

**Danışman
Prof. Dr. Erhan PESEN**



MANİSA-2016

**Meltem
ORUÇOĞLU**

CERN LHCb DENEYİNDE LÜMINOSİTENİN BELİRLENMESİ

2016

TEZ ONAYI

Meltem ORUÇOĞLU tarafından hazırlanan "**CERN LHCb Deneyinde Lüminositenin Belirlenmesi**" adlı tez çalışması 06/01/2016 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman	Prof. Dr. Erhan PESEN Celal Bayar Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Tahsin BABACAN Celal Bayar Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Murat GERÇEKLİOĞLU Ege Üniversitesi	

Enstitü Müdürü	Prof.Dr. Kenan DOST	
-----------------------	----------------------------	-------

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Celal Bayar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Meltem ORUÇOĞLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	III
ŞEKİLLER DİZİNİ	IV
TABLO DİZİNİ.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ÖZET	VII
ABSTRACT	VIII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. CERN.....	2
2.2. Hızlandırma Aşamaları ve Prensipleri.....	3
2.2.1. Lineer Hızlandırıcı (LINAC 2)	3
2.2.2. Duoplasmatron İyon Kaynağı.....	4
2.2.3. Radyo Frekans Kuadropol.....	5
2.2.4. Proton Sinkrotron Booster (PSB).....	8
2.2.5. Proton Sinkrotron (PS).....	9
2.2.6. Süper Proton Sinkrotron (SPS).....	11
2.2.7. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC).....	12
2.2.8. Kriyojenik Magnetler	15
2.2.8.1. Kriyojenik Dipol Magnetler	16
2.2.8.2. Kriyojenik Kuadropol Magnetler	17
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER	19
3.1. Materyal	19
3.1.1. LHCb Deneyi.....	19
3.1.2. VELO Dedektörü	21
3.1.3. RICH	24
3.1.4. Magnet.....	25
3.1.5. Silikon ve Çubuk Tüp İzleyiciler	26
3.1.6. Kalorimetreler	27
3.1.7. Muon Sistemi	28
3.2. Yöntemler.....	30
3.2.1. Lüminosite	30
3.2.1.1. Tanımı ve Genel Lüminosite İfadesi	30
3.2.1.1.1. Geçiş Açısı.....	33
3.2.1.1.2. Ofset	35
3.2.1.1.3. Hourglass Etkisi	37
3.2.1.2. Lüminosite Ölçümleri. Demet Gaz Görüntüleme Metodu (BGI)	38
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	40
4.1. LHCb BGI Verisi	40
4.2. Verinin Ayıklanması.....	43
4.2.1. VELO Ekipmanındaki Hadronik Etkileşmeler	44
4.2.2. Verteks İz Sayısı	45
4.2.3. Geçiş Açısı Düzeltmeleri.....	46
4.3. Bulgular.....	49
4.3.1. Çarpışma Yoğunluğu.....	49
4.3.2. Hourglass Ölçümü.....	50
4.3.3. Toplam Lüminosite	51

5. SONUÇ VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	56

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CERN	Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
LHC	Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (Large Hadron Collider)
PSB	Proton Sinkrotron İtici
SPS	Süper Proton Sinkrotron
PS	Proton Sinkrotron
FODO	Odaklama-Odağı Dağıtma (Focusing-Defocusing)
LINAC	Lineer Hızlandırıcı
LEIR	Düşük İyon Enerji Halkası (The Low Energy Ion Ring)
SSS	Kısa Düz Bölüm (Short Straight Section)
RFQ	Radio Frekans Kuadropol (Radio Frequency Quadropole)
DTL	Lineer hızlandırıcı sürüklenme tüpü (Drift Tube Linac)
R.M.S.	Karekök ortalama (Root Mean Square)
LEP	Büyük Elektron Pozitron Çarpıştırıcı (The Large Electron-Positron Collider)
DS	Dispersiyon Baskıcısı (Dispersion Suppression)
LSS	Uzun Düz Bölüm (Long Straight Section)
LHCb	CERN’de yer alan b kuark deneyi
CMS	CERN’de yer alan genel amaçlı deney
ATLAS	CERN’de yer alan genel amaçlı deney
ALICE	CERN’de yer alan ağır iyon deneyi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Linac 2’de yer alan Alvarez tanklarının bir kısmı	3
Şekil 2.2. Duoplasmatron iyon kaynağının şematik gösterimi.....	4
Şekil 2.3. Kuadropol üzerinde oluşan elektrik ve manyetik alanlar	6
Şekil 2.4. Odacık üzerindeki açıklık ve modülasyona bağlı parametreler	7
Şekil 2.5. Parçacık için faz odaklaması.....	7
Şekil 2.6. Yığın halinde gelen demetlerin Booster’a girişi	8
Şekil 2.7. Proton Sinkrotron düzeneği	9
Şekil 2.8. $h=7,14$ ve 21 harmonik voltajı ve parçacıkların boylamsal faz dağılımı ...	10
Şekil 2.9. Süper Proton Sinkrotron ve demet transfer hattı T12 ve T18.....	12
Şekil 2.10. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı yapısı	13
Şekil 2.11. LHC’de ek ve düz kısımların gösterimi	14
Şekil 2.12. FODO sisteminin içeriği.....	14
Şekil 2.13. FODO hücresinin proton demeti üzerindeki etkisi	15
Şekil 2.14. Dipol magnetin iç yapısı.....	16
Şekil 2.15. Dipol magnette üretilen manyetik alan ve süper iletken bloklar	17
Şekil 2.16. Kuadropol magnet	17
Şekil 2.17. Gelen yüklü parçacığın 1 ve 2. kuadropoldeki odaklanma biçimleri.....	18
Şekil 3.1. LHCb deney düzeneği.....	20
Şekil 3.2. VELO görüş açısı.....	21
Şekil 3.3. VELO’da istasyonların açık ve kapalı olma durumları.....	22
Şekil 3.4. VELO istasyonları ve görüş açıları	22
Şekil 3.5. R ve Phi sensörlerin yapısı	23
Şekil 3.6. RICH dedektörü	24
Şekil 3.7. LHCb deneyinde yer alan dipol magnet	25
Şekil 3.8. TT ve T1-T3 izleyicilerinin konumları	26
Şekil 3.9. Elektromanyetik Kalorimetre	27
Şekil 3.10. Hadronik Kalorimetre.....	27
Şekil 3.11. LHCb deneyindeki muon sistemi.....	28
Şekil 3.12. Proton demetlerinin çarpışması.....	31
Şekil 3.13. Proton demetlerinin geçiş açısı ile çarpışma noktasına doğru hareketi....	33
Şekil 3.14. Proton demetlerinin olası d_1 ve d_2 ofsetleri	36
Şekil 3.15. Farklı β * parametreleri için enine demet yayılımı	38
Şekil 4.1. Sırasıyla demet 1 (sol) ve demet 2 (sağ) için kesme yapılmadan önceki verteks dağılımları.....	44
Şekil 4.2. Sırasıyla demet 1 (sol) ve demet 2 (sağ) için kesme yapılarak dışlanan veriler.....	45
Şekil 4.3. Sırasıyla demet 1 (sol) ve demet 2 (sağ), birincil çarpışmalar (üst) ve hadronik etkileşmeler (alt) için, vertekslere ait iz sayısı	46
Şekil 4.4. Demet 1 ve demet 2’ye ait verteks dağılımları. Kırmızı noktalar (sol) demet 1’i ve mavi noktalar (sağ) demet 2’yi göstermektedir.	47
Şekil 4.5. Demet 1 (üst) ve demet 2 (alt) için, geçiş açısı düzeltilmesi sonrası verteks dağılımları.....	48
Şekil 4.6. Demet 1 (üst) ve demet 2 (alt) için x ve y -eksenlerindeki verteks dağılımları.....	49
Şekil 4.7. Demet 1 (sol) ve demet 2 (sağ) için x ve y -eksenlerindeki yayılım oranlarının z^2 ’ye göre değişimi.....	51

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 4.1. Kullanılan LHC dolumunun temel parametreleri	40
Tablo 4.2. Her demet için oluşturulan metin dosyasından, demet 1 ve demet 2 için örnek bir satır	42
Tablo 4.3. Demet 1 ve demet 2 için uygulanan kesme değerleri	45
Tablo 4.4. Demet 1 ve demet 2 için ölçülen yarım açısı değerleri.....	48
Tablo 4.5. Demet 1 ve demet 2 için ölçülen yayılım parametreleri.....	50
Tablo 4.6. Demet 1 ve demet 2 için ölçülen β * değerleri.....	51

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, lisansüstü öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi her yönden yardımlarını esirgemeyen ve tecrübeleri ile beni aydınlatan, desteğini hiç eksik etmeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Erhan PESEN'e, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim. Ayrıca verdiği proje destekleriyle LHCb deneyine katılımı mümkün kılan ve bu çalışma verilerinin elde edilmesine sebep olan CBÜ BAP ekibine şükranlarımı sunarım. Bu tez, BAP 2012-114 numaralı proje desteği ile yapılmıştır.

Meltem ORUÇOĞLU
Manisa, 2016

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CERN LHCb Deneyinde Lüminositenin Belirlenmesi

Meltem ORUÇOĞLU

Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Erhan PESEN

Bu çalışmada, LHCb deneyindeki LHC hızlandırıcısı demet-gaz etkileşmelerinden elde edilen deneysel veriler kullanıldı. Etkileşme vertexleri, LHCb VELO alt dedektörü tarafından kaydedildi. Bu vertexleri kullanarak, demet proton yoğunluğu ve demet şekli parametreleri belirlendi. Bunlara ek olarak, demet geçiş açısı ve hourglass etkisi çalışıldı. Son olarak, elde edilen ve LHC nominal verilerini kullanarak, 2012 yılı ve LHCb dedektörü için, toplam lüminosite hesabı yapıldı. Elde edilen sonuçlar demet proton dağılımının kabaca gaussian olduğunu göstermiştir. Demet yayınımları ise x ve y eksenini için $50 \mu m$ civarında çıkmıştır. Hourglass β^* parametresi ise $1 m$ olarak ölçülmüştür. LHCb deneyi için 2012 yılı toplam lüminositesi $L_0 = 4.0 fb^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Bu değer, LHCb deneyinin, LHC tarafından sağlanan lüminositenin az bir kısmını kullandığı bilgisini dışlayarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: CERN, LHC, LHCb, Lüminosite, Demet–Gaz Görüntüleme

2016, 56 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

**Determination of Luminosity at CERN
LHCb Experiment**

Meltem ORUÇOĞLU

**Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of High Energy and Plasma Physics**

Supervisor: Prof. Dr. Erhan PESEN

The experimental data from LHC beam-gas interactions at LHCb detector is used in this study. The interaction vertices are recorded by LHCb VELO sub-detector. Using these vertices, beam proton density and beam shape parameters are determined. Moreover, beam crossing angle and hourglass effects are studied. Finally a total luminosity calculation for year 2012 is carried out for LHCb detector by using the obtained parameters and by using the nominal LHC beam parameters. Results show that the beam proton distributions are roughly Gaussian. The beam emittances are determined to be around $50 \mu m$ for x and y axes. The hourglass β^* parameter is measured to be around $1 m$. The total luminosity in 2012 is determined to be $L_0 = 4.0 fb^{-1}$ at LHCb experiment. This value excludes the information that LHCb is using less luminosity from the delivered luminosity by LHC.

Keywords: CERN, LHC, LHCb, Luminosity, Beam-Gas Imaging

2016, 56 pages

1. GİRİŞ

LHC’de hızlandırılan demetlerin içerisinde yer alan protonların üretimi ilk olarak duoplasmatron iyon kaynağında başlamaktadır. Buradan 92 kV enerjiyle çıkan protonlar odaklanarak demet haline getirilebilmek için radyo frekans kuadropole giriş yaparlar. Radyo frekans kuadropolde gördüğü manyetik ve elektrik alan sayesinde demet haline gelen yapılar kuadropolden 750 keV enerji ile ayrılırlar. Daha sonra Linac 2’ye giriş yaparak hız kazanırlar ve enerjileri 50 MeV’e çıkartılır. Hız kazanan proton demetleri Booster’a gelir ve 4 halkalı hızlandırıcıdan 1.4 GeV enerji ile çift yığın transferi yaparak sinkrotrona giriş yapar. Sinkrotrondan 26 GeV enerjiyle ayrılan demetler süper proton sinkrotronda yer alan RF sistem ile LHC’ye enjekte edilmeden önce talep edilen boyutlarda uzunlamasına sıkıştırılır. 450 GeV enerjiyle SPS’den çıkan proton demetleri, LHC’de yer alan deneylerde kullanılmak üzere demet yapısı haline gelmiş ve istenilen hızlara ulaşılmıştır.

CERN’de yer alan 4 büyük deneyden biri olan LHCb deneyinde, 2012 yılında gerçekleştirilen deney esnasında, Demet Gaz Görüntüleme yöntemi (BGI) ile LHC’den gelen dolum numarası 2520 olan proton demetleri, VELO alt dedektörüne gelerek demet gaz etkileşimleri meydana getirmiştir. Bu esnada kaydedilen ve demetlerin zaman, demet numarası, iz sayısı, birincil verteks sayısı gibi bilgilerini içeren veriler, bu çalışmada analiz edilmiştir. Analiz edilen bilgiler altında demetlerin çarpışma yoğunluğu ve hourglass faktörü elde edilerek, lüminosite kısmında açıklanacak olan parametrelerinin hesaplanması hedeflenmiştir. Bu parametreler ile birlikte, 1 saniyedeki lüminosite değeri elde edilmiş ve buradan yola çıkarak dedektörün 1 yıllık toplam lüminosite değeri hesaplanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. CERN

Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi (CERN), Nükleer Araştırmalar için Avrupa Konseyi anlamına gelen Fransızca “Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire” sözcüklerinin kısaltmasıdır. 1954 yılında kurulmuştur. Dünyanın en büyük, yüksek enerjilerde çalışan parçacık fiziği araştırma laboratuvarıdır. Fransa ve İsviçre toprakları arasında bulunan CERN’in 1954 yılında ilk kurulduğunda 12 adet üyesi bulunmaktaydı. Fakat günümüzde 21 üyesi bulunan CERN’in Türkiye’nin de içlerinde yer aldığı 3 adet de ortak üyesi bulunmaktadır. CERN’in kuruluş amacı üye ülkelerin kendi bütçe olanakları ile gerçekleştiremeyeceği araştırmaları ortak bir yapı altında toplayarak yapmaktır.

CERN konseyinin verdiği karara göre elektron pozitron hızlandırmak için kurulan LEP tünelinin yerine Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC – Large Hadron Collider) yerleştirilmiştir. LHC üzerinde 1 ve 5. noktalarda bulunan ATLAS ve CMS deneylerinin bulunduğu kısımlar LHC inşasıyla yapılmışken, 2 ve 8. noktalarda yer alan ALICE ve LHCb deneylerinin konumlandırıldığı bölgeler LEP tüneline kalmıştır.

CERN kompleksinin temel amacı maddenin temel yapısını anlamak ve dolayısıyla temel yapıyı oluşturan parçacıkları ve onları bir arada tutan kuvvetleri araştırmaktır. Temel parçacıkların yüksek enerjilerde hızlandırılması esasına dayanan deneyler parçacıkları çarpıştırarak deneylerin bulunduğu bölgelerde yer alan dedektörler sayesinde ölçüm yaparak yeni bulgulara olanak sağlamaktadır.

CERN’de parçacıkların hızlandırılma aşamaları ve yer alan yapılar aşağıda sırasıyla anlatılmıştır.

2.2. Hızlandırma Aşamaları ve Prensipleri

2.2.1. Lineer Hızlandırıcı (LINAC 2)

LHC içerisinde günümüzde de geçerli olan hızlandırıcı zinciri sırasıyla Linac 2, Booster, Proton Sinkrotron ve Süper Proton Sinkrotron şeklindedir.

Linac 2, LHC’de protonların kullanılmaya başlandığı ilk yerdir. 1978 yılında çalıştırılmaya başlanan Linac 2 hızlandırıcısının öncesinde, 1993’de radyo frekans kuadropol ile değiştirilmiş, 750 kV Cockcroft – Walton jeneratörü bulunmaktaydı. Cockcroft – Walton jeneratöründe hızlandırılan protonların enerjisi 750 keV’dir. Değiştirildiği kuadropol teknolojisine sahip radyo frekans kuadropol’den çıkan protonların enerjisi yine 750 keV olmuştur [1].

Linac 2 sistemi 92 keV enerjiye sahip duoplasmatron iyon kaynağı, 750 keV’a sahip radyo frekans kuadropolden ve proton demeti yapılarını 50 MeV enerjiyle hızlandırmak için 3 adet Alvarez tanklarından oluşmaktadır. Normal şartlarda gerçekleştirilen bir hızlandırma işleminde 170 mA’lık bir proton demeti Linac 2’den sonra gelen Booster dairesel hızlandırıcısı içerisinde 0.8 Hz tekrarlama oranında 150 μ s’lik puls uzunluğu ile enjekte edilir.



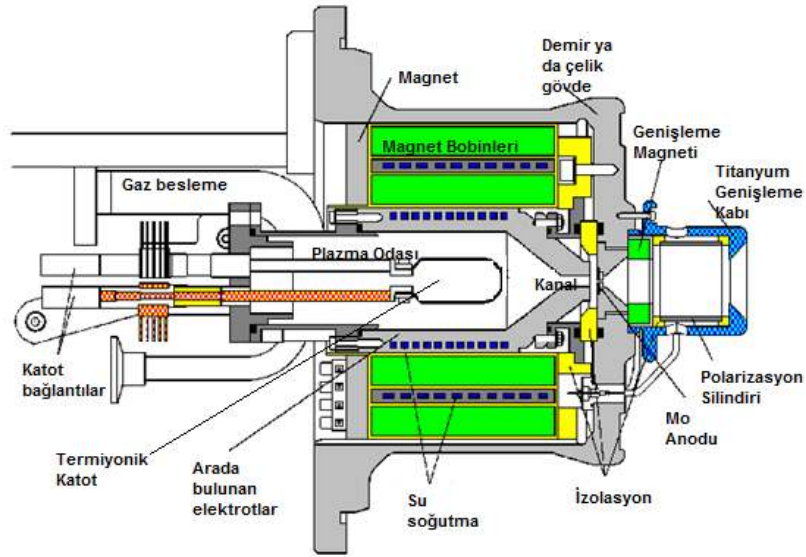
Şekil 2.1. Linac 2’de yer alan Alvarez tanklarının bir kısmı

Linac 2 lineer hızlandırıcı içerisinde yer alan Alvarez tankları genliğin ve radyo frekans fazının bir fonksiyonu olarak proton demeti yapılarının boylamsal

hareketini ölçmek için kurulmuştur. Alvarez standartlarını taşıyan Drift Tube Linac (DTL) protonları 10.3 MeV, 30.5 MeV ve 50 MeV'e kadar çıkartır.

2.2.2. Duoplasmatron İyon Kaynağı

Duoplasmatron iyon kaynağı LHC'ye proton demeti akışını sağlayan, adını içerdiği iki farklı plazma bölgesinden alan bir sistemdir. 1956 yılında V. Ardenne tarafından tasarlanan duoplasmatron iyon kaynağının geliştirme çalışmaları Demirkanow (1962), Fröhlich (1969) ve Kistemaker (1965) tarafından yürütülmüştür. (Şekil 2.2)



Şekil 2.2. Duoplasmatron iyon kaynağının şematik gösterimi

Duoplasmatrona iyon akışı sağlayan besleme kanalından çıkan hidrojen gazı enjektör valfi yardımıyla duoplasmatron içerisine sızdırılır. Duoplasmatron kaynaқта dakikada 4 ml hidrojen tüketimi gerçekleşir ve buna karşılık olarak 350 mA'lık proton demeti üretilir. O sırada uygulanan voltajla ısınmaya başlayan termiyonik katottan elektron çıkışı başlar. Çıkan elektronlar negatif bias ile püskürtülerek hız kazanması sağlanır. Hızlanan elektronlar duoplasmatron ortamında bulunan hidrojen gazı ile etkileşmeye girer ve böylece ikincil iyonizasyon meydana gelir. Buna sebep olan elektronlar serbest hale geçer. Serbest elektronlar birinci plazma bölgesinde hidrojen atomlarıyla çarpışarak daha da hızlanırlar. Birinci plazma bölgesi

termiyonik katot ile ara bölge elektrodu arasında kalan, düşük basınçlı alana verilen isimdir [2].

Plazma odasında bulunan solenoid bobinler oluşturdıkları 10 A'lık akımla elektronları sıkıştırır ve böylece plazma oluşumu gerçekleşir. Plazma, çok yüksek sıcaklıklarda gaz halinde bulunan maddenin atomlarına ayrılması ve bu atomların dış yörünge elektronlarının kopması ile oluşan pozitif iyonlardır.

Plazma odası içerisinde manyetik alan çizgileri plazma odasına paralel olarak üretilir. Hız kazanan serbest elektronlar manyetik alan çizgileri ile sarmalanarak anot kanalına doğru ilerler. Plazma odasının anoda doğru olan yapısının daralması ile burada oluşan plazma daha yoğundur. Anot ile ara bölge elektrodu arasında kalan yüksek basınçlı bölge ikinci bölgedir. İkinci bölgede plazma ile elektronların etkileşimi daha da fazlalaşır.

Artan plazma yoğunluğundan dolayı plazma genişleme kabı içerisine alınır. Derin bir yapıya sahip olan genişleme kabı ile anot arasında bulunan küçük solenoid bobinler ile üretilen manyetik alan sayesinde plazma genişletilir. Genişleme kabında yer alan negatif elektrot sayesinde proton demetlerinin çıkış verimi artırılır. Negatif elektrot ikinci oluşan yoğun plazmaya geri dönüşün sebep olacağı nötralizasyonu önlemek amacıyla diğer elektroda göre pozitif yüklenir.

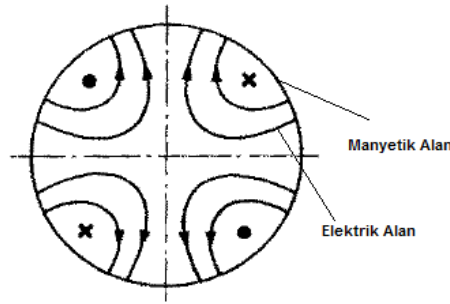
Oluşacak iyonların hızı çıkarma voltajına bağlı olarak değişir. Duoplasmatron iyon kaynağı için çıkarma voltajı 92 kV'dur.

2.2.3. Radyo Frekans Kuadropol

Duoplasmatron iyon kaynağından 92 keV enerji ile çıkan proton demetleri takip edeceği yol ile 1970'de Kapchinski ve Teplyakov tarafından tasarlanıp 1974'de üretilen radyo frekans kuadropole (RFQ) giriş yaparlar. Duoplasmatronda elde edilen proton demetleri kuadropolde verim ve emitansları korunarak hızlandırılırlar ve proton demeti (bunch) yapısına getirilerek odaklanırlar. Radyo frekans kuadropolün tasarımında en önemli unsur duoplasmatron iyon kaynağından çıkan proton demetlerinin enerjisinin düşük olmasıdır. Çünkü proton demetlerinin radyo frekans kuadropole giriş enerjisi ne kadar düşük olursa demet oluşumu o kadar çabuk olur.

Duoplasmatron iyon kaynağından sonra gelen 1.8 m uzunluğundaki radyo frekans kuadropolün temel yapısında 4 adet 175.2 cm uzunluğunda kanat bulunmaktadır. Bu kanatlar 178.5 cm uzunluğundaki kaviteler içerisinde yer alır. Kuadropol yapısının sağladığı radyo frekans boyu 202.56 MHz'dir [3].

Kuadropolde uygun faz ile sıkıştırılan yüklü parçacık demeti ayrışır ve ilerlerken hızlanır. Proton demeti yapısının oluşması, odaklama ve hızlandırma işlemleri, radyo frekans alan sayesinde gerçekleştirilir.



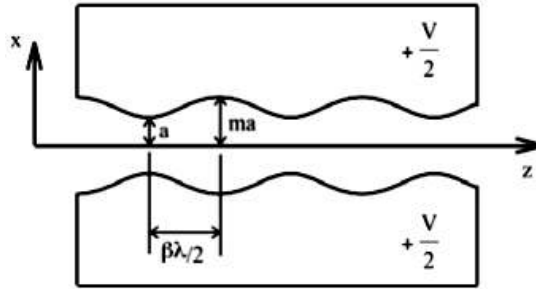
Şekil 2.3. Kuadropol üzerinde oluşan elektrik ve manyetik alanlar

Radyo frekans kuadropolde hem elektrik alan hem de manyetik alan vardır. (Şekil 2.3) Elektrik alan ile parçacıkların hızları artırılırken kullanılan manyetik alan sayesinde ise parçacıklar odaklanır ve bükülürler. Radyo frekans kuadropolde ana fikir, kanatların geometrisini değiştirerek odaklama özelliğini kaybetmeden boyuna ekseninde hızlandırma için elektrik alan elde etmektir.

Parçacıkları sıkıştırma işlemi radyo frekans kuadropol içerisinde iki türlü gerçekleştirilebilir. Bunlardan biri elektrik alanın yardımıyla diğeri ise manyetik alanın yardımıyla sağlanan sıkıştırmadır. Kuadropol içerisinde parçacıkları sıkıştırmak için ilk yol tercih edilir.

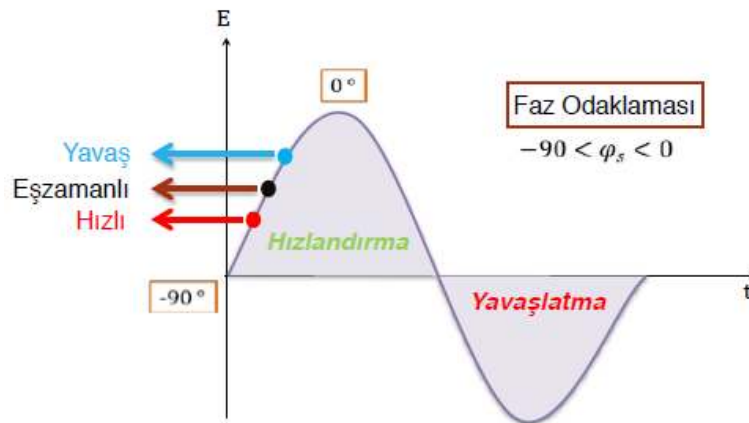
Maliyetinden dolayı radyo frekans kuadropolün uzunluğu mümkün oldukça kısa tutulmalıdır. Bu yüzden yüklü parçacıkların hızlandırılmasından önce demet yapısı haline getirilmek istenir. Bunu sağlayabilmek için düşük β 'ya sahip protonlar kullanılır. Bunun sebebi düşük β 'ya sahip protonların kolay odaklanması ve bundan

dolayı da daha çabuk demet yapısı haline getirilmesidir. Bu sebepten dolayı radyo frekans kuadropol düşük β 'da çalışır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Odacık üzerindeki açıklık ve modülasyona bağlı parametreler

Radyo frekans kuadropolde karşılıklı kanat uçlarının oluşturduğu 300 adet odacık bulunmaktadır. Kuadropolde yer alan her bir odacık, hareketlerini tanımlamak için 3 parametre kullanılmaktadır. Tanımlanan parametreler her bir odacığın kendisine özgü olup değiştirilebilir. Şekil 2.4'te görüldüğü üzere açıklık parametresi olan a odaklama gücünü tanımlar. Modülasyon faktörü m ise boylamsal alan bileşeninin şiddetini ifade etmekte kullanılır. Φ fazı, ideal modülasyon periyodu $\beta\lambda/2$ ile gerçek periyot arasındaki farktır ve hızlandırma hareketi ile demet oluşumunu tanımlar. Kanatlar $\beta\lambda$ ile boylamsal değişim yaparlar. Yani $\beta\lambda$, elektrik alanın boylamsal bileşenini oluşturur.

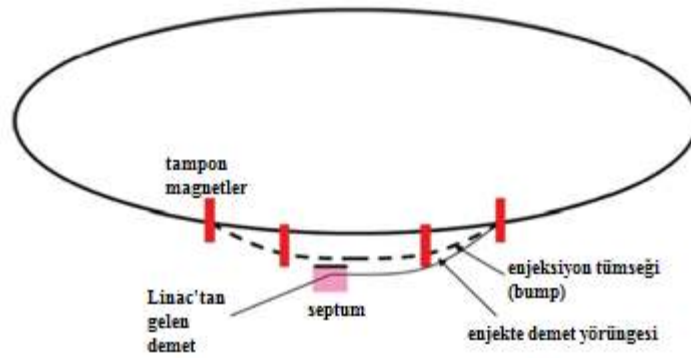


Şekil 2.5. Parçacık için faz odaklaması

Doğru evrede gelen parçacık, istenilen şekilde hızlandırılır. Daha önde giden parçacık yavaşlar. Daha geride kalan parçacık hızlanır. Bu sayede demet oluşum işlemi gerçekleşir (Şekil 2.5).

2.2.4. Proton Sinkrotron Booster (PSB)

Yüklü parçacıklar dairesel hızlandırıcılar içerisine enjekte edilirken 3 yöntem kullanılır. Bunlardan biri tekli dönüş enjeksiyonu, diğerleri ise çoklu dönüş enjeksiyon ve yük takas enjeksiyonudur.



Şekil 2.6. Yığın halinde gelen demetlerin Booster'a girişi

Linac 2 lineer hızlandırıcısından 50 MeV enerjiye sahip olarak çıkan proton demeti yapıları çevresi 157 m olan Booster'a çoklu dönüş enjeksiyonu yöntemi ile enjekte edilerek daha yüksek enerjilerde hızlandırılmaya devam ederler. Bu yöntem ile tek bir Booster halkasına enjeksiyon işlemi yapılmaktadır. Bunun için, 4 magnet tampon kullanılarak oluşturulan enjeksiyon tümseği Booster halkasında dönmekte olan proton demeti yapılarını bükerek halka içerisinde hızlandırmaya devam ederken, Linac 2'den gelen proton demeti yapıları septum tarafından saptırılır ve Booster halkasına dahil edilir (Şekil 2.6) [4].

Booster her biri 25 m yarıçapına sahip 4 daire şeklindeki hızlandırıcıdan oluşur. Booster içerisinde yer alan bu 4 dairesel hızlandırıcı yapısı üst üste koyularak düşük enerji döngüsünde alan yükün etkilerini azaltmak amacıyla bu şekilde dizayn edilmiştir. Booster içerisinde yer alan 32 dipol, 48 kuadropol magnet demetlerin yapısını korumaya ve dairesel hızlandırıcı içerisinde bükülerek yol almaya devam

etmeleri için kullanılmaktadır. Her bir dipol ve kuadropol magnet, bunların tek bir ana kaynak ile açılmasına izin veren ve magnetleri 4'lü yapılar halinde birleştirmeye izin veren kümelerden oluşmaktadır. Hızlandırma işlemi boyunca protonların momentum artışıyla doğru orantılı olarak protonları aynı yörüngede tutmak için kullanılan eğici dipol magnetlerin sağladığı manyetik alan şiddeti de artmaktadır.

Booster'da demetin hızlandırılabilmesi için RF frekansı, dolanım frekansının tam katı olmalıdır. Böylece eş zamanlılık koşulu sağlanır. Booster'ın dizayn harmonik numarası $h=5$ ve $h=10$ olmasına rağmen günümüzde kullanılan harmonik numarası $h=1$ ve $h=2$ 'dir. $h=2$ booster harmonik numarası halka başına iki proton demeti gerektirir ve Süper Proton Sinkrotron sabit hedef deneylerinde kullanılmak üzere üretilir. $h=1$ booster harmonik numarası kullanımı ise Booster halkası başına bir proton demeti gerektirir. Üretilen proton demeti yapısı LHC'de kullanılır.

2.2.5. Proton Sinkrotron (PS)

Booster'dan gelen 1.4 GeV enerjiye sahip proton demeti yapıları, çevresi 628 m olan PS içerisine girerek enerjilerini 26 GeV'e yükseltmek üzere hızlandırılırlar. 1959 yılından günümüze kadar kullanılmaya devam eden PS yapısı proton, antiproton, iyonlar ve pozitronları hızlandırmak ya da yavaşlatmak için kullanılan hızlandırıcı kompleksidir.

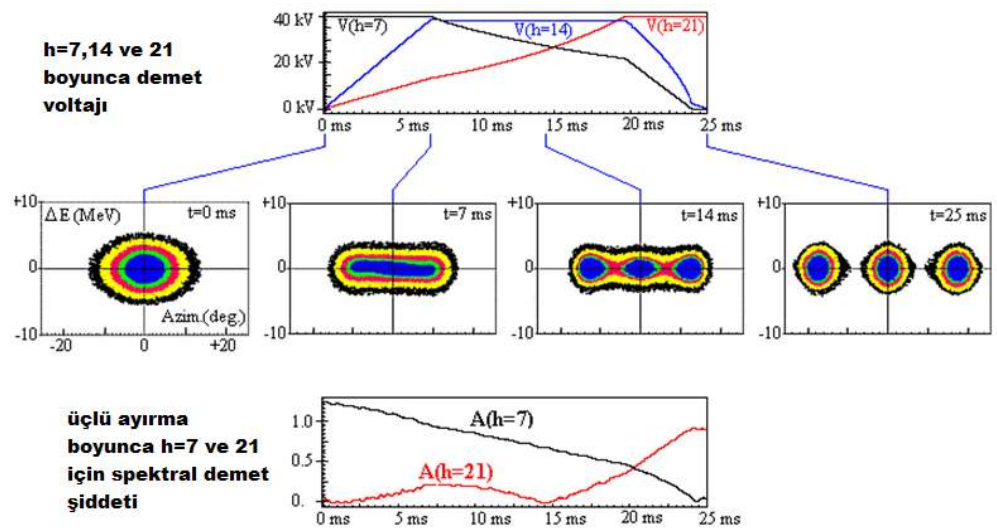


Şekil 2.7. Proton Sinkrotron düzeneği

İçerdiği çok değişken RF sistemi iki şekilde bulunmaktadır. Bunlardan biri 3.3 ve 10 MHz'lik hızlandırma kaviteleri iken diğeri “gymnastics” kaviteler adı verilen 20, 40, 80 ve 200 MHz'lik sistemlerdir. PS'nin içerisinde yer alan her bir bileşik 10 adet 4.4 m uzunluğuna sahip magnetten yapılmış olup 2 adet 3 m uzunluğunda, 8 adet ise 1.6 m uzunluğunda sürüklenme alanı ile iç içe geçmiş bir yapı oluşturur. 26 GeV enerjiye sahip proton demeti yapıları elde etmek için dipol magnetlerin sağladığı manyetik alan 1.26 T'dir [5].

Sinkrotron tipi hızlandırıcılarda yarıçap sabittir. Parçacıklar elektrik alan tarafından hızlandırılırlar. Hızlandırma işleminin gerçekleştirilmesi için parçacıkların her turdan sonra RF kaviteye gelerek uygulanacak elektrik alanın büyüklüğünün belirlenmesi gerekmektedir. Parçacıkların aldığı yolun sabit olması değiştirilemez olduğundan uygulanan RF frekansı ve bununla birlikte manyetik alan artırılmalıdır.

PS, Booster'dan 2 grup tarafından 6 proton demeti şeklinde aldığı demet yapılarını, Booster'dan gelen 2. grup proton demeti Sinkrotron'a giriş yapar yapmaz $h=7$ harmonik sayısı ile üçlü ayırma adı verilen işleme başlar ve $h=21$ 'de arka arkaya gelen 18 demet sağlar.



Şekil 2.8. $h=7,14$ ve 21 harmonik voltajı ve parçacıkların boylamsal faz dağılımı

Şekil 2.8’de gösterilmiş olan üçlü ayırma işlemi eş zamanlı RF harmonikler ($h=7, 14$ ve 21) gerektirir. PS aldığı proton demet yapılarını her 3.6 s’de 25 ns aralıklı 72 proton demeti grubu şeklinde SPS hızlandırıcı yapısına sunar. Proton demet yapıları 26 GeV üzerinde hızlandırıldıklarında harmonik sayısı da artarak $h=28$ ’e ulaşır ve her biri iki kez ayrılarak oluşturulan 72 proton demet yapısı meydana gelir.

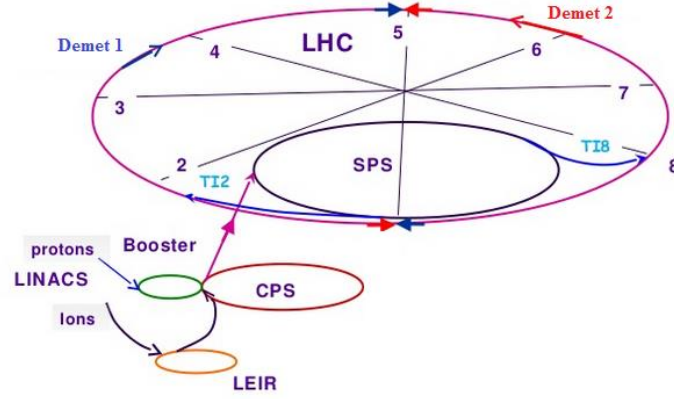
2.2.6. Süper Proton Sinkrotron (SPS)

SPS hızlandırıcı yapısı 1.1 km çapı ve 6.9 km çevresi ile LHC’den sonra gelen en büyük hızlandırıcıdır. PS’den 26 GeV enerji ile çıkan parçacıkları alarak 450 GeV enerjiye hızlandırarak ulaştırır ve LHC’ye iki demet transfer hattı kullanarak enjekte eder.

SPS yaklaşık 10 s’lik döndürmelere sahip bir yapıdır. Her SPS döngüsü 3 ’er grup şeklinde 81 demetten oluşur ve bunların her biri PS’den tek enjeksiyon ile sağlanır.

SPS’ye giren demet yapılarının enjeksiyon esnasında boyutları büyüktür ve hızlandırılmaya başladığında demet enerjisinin r.m.s’si ile azalma gösterir. Demet yapılarının sinkrotron içinde kullanımı için demet boyutunun genellikle 1 mm yani 0.5 ns olması istenilen bir özelliktir.

SPS’de yer alan RF sistem proton demet yapılarını LHC’ye enjekte edilmeden önce talep edilen boyutlarda uzunlamasına sıkıştırmak için kullanılır. RF sistemin çalışma değerleri 6 MV, 400.8 MHz’dir. SPS’de yer alan magnetler FODO kafes yapısına çok benzer olup yarım hücre başına 6.3 m uzunluğunda 1.8 T alan sağlayan 4 dipol magnet ile demetleri bükerken, 1.25 m uzunluğunda 60 T alan sağlayan kuadropol ile odaklama işlemini gerçekleştirir [6].



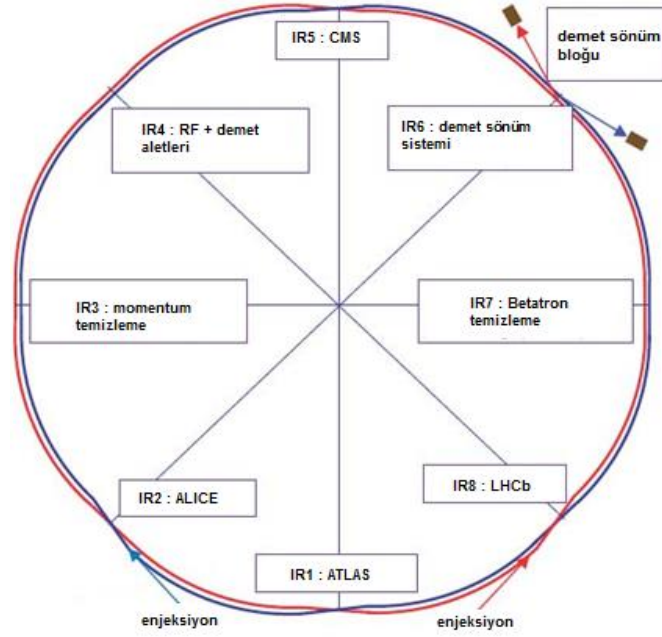
Şekil 2.9. Süper Proton Sinkrotron ve demet transfer hattı T12 ve T18

SPS'den 450 GeV enerji ile çıkan proton demetleri süper iletken olmayan magnetler ile transfer hattına sevk edilir (Şekil 2.9). T12 hattından giriş yapan proton demetleri saat yönünde hızlandırılırken, T18 hattından giriş yapan proton demetleri ise saat yönünün tersine doğru hızlandırma işlemi görürler. T12 ve T18 demet hatlarında sırasıyla 112 tane dipol, 82 tane kuadropol saat yönünde ve saat yönünün tersine 240 tane dipol, 76 tane kuadropol magnet vardır.

2.2.7. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC)

Parçacık hızlandırma halkasının son zinciri olan LHC 26659 m'lik çevresi ile dairesel hızlandırıcı yapılarının en büyüğüdür. LHC 1980'li yıllarda CERN'de elektron pozitron hızlandırmak için kurulan LEP adlı tünelin yerine daha kuvvetli dipol magnetler ve radyo frekans kaviteler kurularak inşa edilmiş halidir. Hızlandırıcının boyutu, temin edilen enerji ile doğrudan ilişkilidir. Çarpıştırıcı içerisinde yer alan magnetler, kaviteler ve diğer temel elemanlar proton demeti başına 7 TeV dizayn enerjisini gerektirir.

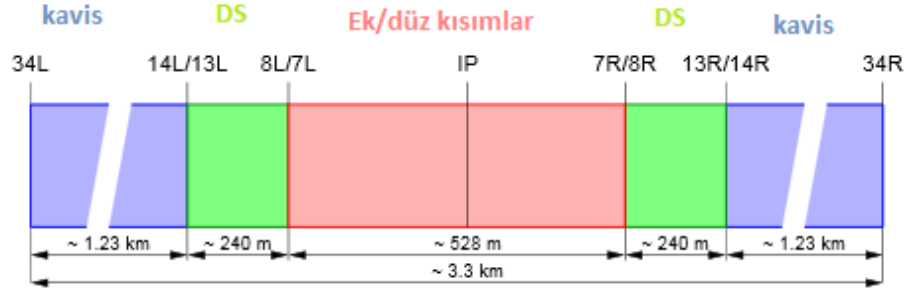
Çarpıştırıcı içerisinde yer alan 9593 tane magnetten 1232 tanesi kullanım sıcaklığı 1.9 K (-271.3° C) olan dipol magnetler iken 392 tane ana kuadropol magnetten oluşmaktadır. Ayrıca çarpıştırıcı içerisinde proton demeti başına 8 RF kavite bulunmaktadır [6].



Şekil 2.10. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı yapısı

LHC tam olarak dairesel şekle sahip değildir. Hızlandırıcı yapı içerisinde 8 düz ve 8 kavisli bölge bulunmaktadır. Yer alan her düz kısmın uzunluğu yaklaşık olarak 528 m'dir. Düz kısımlar yardımcı eklemeler ya da deneysel olarak fayda sağlamaktadır.

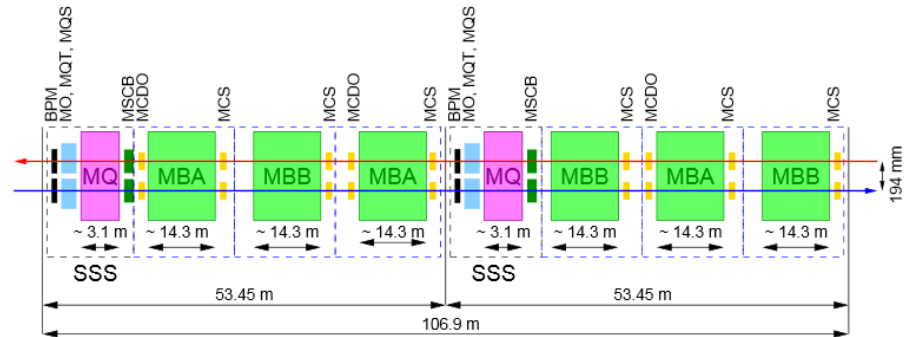
Düz kısımlar Şekil 2.11'de gösterilen uzun düz bölümlerden (LSS) ve bunlara ek olarak 2 geçiş bölgesinden oluşturulmuştur. Bu ek geçiş bölgelerine dispersiyon baskıcısı (DS) adı verilmektedir. LHC'de toplam 16 adet dispersiyon baskıcısı yer almaktadır. Dispersiyon baskıcıları; LEP tüneli geometrisine LHC'nin referans yörüngesini adapte etmeye, kavislerde ortaya çıkan yatay dağılımı ve dipol magnetler ile geçiş geçiş açısı darbesi tarafından üretilen ayrıştırma ve yeniden birleşmeyi iptal etmeye, kavislerin optik periyotlarına düz kısımların optiklerini eşleştirmeyi kolaylaştırmak amaçlarıyla kullanılan yapıdır.



Şekil 2.11. LHC’de ek ve düz kısımların gösterimi

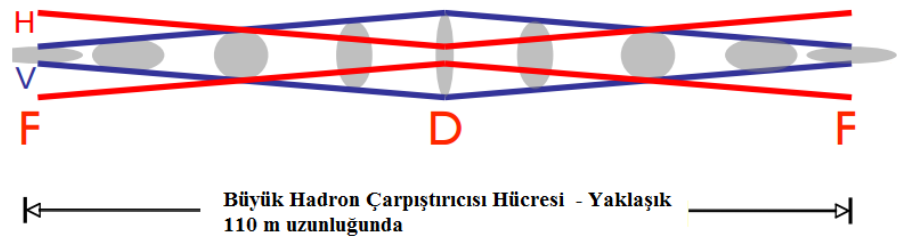
LHC düz kısımların yanı sıra 23 adet de kavisli kısımdan oluşmaktadır. Kavis hücreleri 106.9 m ve iki adet de 53.45 m uzunluğunda yarım hücreden oluşmaktadır. Yarım hücrelerden her birinde kısa düz bölüm derleyicisi (SSS) ve 3 adet 14.3 m uzunluğunda dipol magnet bulunmaktadır [6].

Deneylerde yüksek lüminosite değeri kullanan Nokta 1 deneyi olan ATLAS ve Nokta 5 deneyi olan CMS, LHC’nin iki zıt kutbunda yer alır. ALICE ve LHCb deneyleri demet enjeksiyon sistemlerini içeren, sırasıyla Nokta 2 ve Nokta 8 deneyleridir. Geriye kalan 4 düz bölümde demet geçişi yoktur. Nokta 3 ve Nokta 7 kısımları demet yönlendirme sistemleri içermektedir. Nokta 4 kısmı ise iki tane RF sistem içermektedir. Nokta 6’da yer alan düz kısım demet atık kısmıdır ve buradaki iki proton demeti yatay olan dışarı atıcı adı verilen hızlı darbeleri magnetlerle ve dikey saptırıcı magnetlerin kombinasyonundan oluşan makineler tarafından dikey olarak dışarı atılırlar.



Şekil 2.12. FODO sisteminin içeriği

LHC kavis hücreleri, kavis boyunca maksimum bileşik manyetik alan için az sayıda magnet bağlantısı ile mümkün olan en küçük şekilde demetleri optimize eder. Kavisli kısımlarda yer alan kuadropol ve dipol magnetler FODO adlı hücre yapıları oluşturmaktadır. FODO açılım olarak odaklanma (F – Focusing), sürüklenme (O – Drift) ve odağı dağıtma (D – Defocusing) kelimelerinin bir bütünüdür. Her bir FODO hücresi 6 dipol magnet (MB) ve 2 kuadropol magnet (MQ) içermektedir. FODO hücrelerinden geçen proton demetlerinin hareketi Şekil 2.13’de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.13. FODO hücresinin proton demeti üzerindeki etkisi

2.2.8. Kriyojenik Magnetler

Kriyogeni; çok düşük sıcaklıklarda üretim ve işlemler için fizik alanında kullanılan bir terimdir. LHC hızlandırıcısı günümüzde bulunan en büyük kriyojenik sistemlerden biridir. Çarpıştırıcının içerdiği tüm magnetler elektrik akımı ile üretilen manyetik alanda meydana gelmiş elektromagnetlerdir.

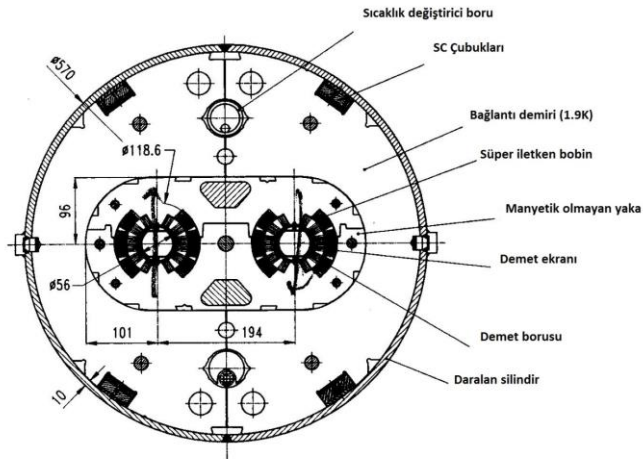
LHC’de yer alan ana magnetler 1.9 K (-271.3° C) sıcaklığındadır. Bu nedenle, hızlandırıcı içinde yer alan magnetlerin çoğu soğutucu sıvı helyum sistemleri ile bağlantılıdır. Magnetleri 1.9 K sıcaklıkta tutmak için LHC 120 ton helyum gerektirmektedir. Bu sistemi sağlayan süper iletken kablolar niobium titanyumdan imal edilmiştir. Çarpıştırıcı içinde kriyojenik sistem soğutma sıvısını dağıtan 5 kriyojenik adadan oluşur ve 3 farklı aşama içerir. Birinci aşamada helyum önce 80 K’e ve daha sonra 4.5 K’e soğutulur. Bu işlemin gerçekleşebilmesi için 10000 ton sıvı nitrojen içeren ısı değiştiriciler kullanılmaktadır. Sıvı nitrojen yer altı kaynakları içinde olası kaynak boğulmalarını önlemek amacıyla direkt olarak enjekte edilmez [6]. İkinci aşamada ise soğuk helyum magnetlere enjekte edilirken son aşama

helyumun 1.9 K sıcaklığa düşürülmesidir. Soğutma sistemleri 18 kW kapasite ile çalışmaktadır.

Kriyojenik magnetler proton demetlerini çarpıştırıcı etrafında tutabilmek için 8.33 T büyüklüğünde manyetik alan üretmektedir. Magnet içinde yer alan bobinlerde süper iletken malzemelerin kullanımı bobinleri aşırı ısınmadan korumak için önemli bir seçenektir. Bu yüzden süper iletkenlik kriyojenik sistemler olmadan sağlanamaz.

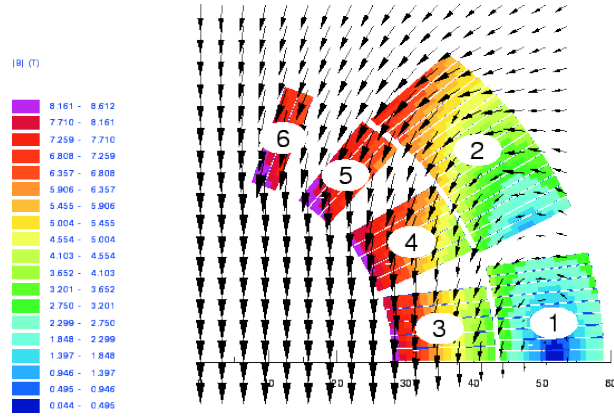
2.2.8.1. Kriyojenik Dipol Magnetler

LHC içerisinde yer alan 1232 tane ana dipol magnet proton demetlerini bükerek demet hattında ilerlemelerini sağlayan yapılardır.



Şekil 2.14. Dipol magnetin iç yapısı

Kriyojenik dipol magnetler 7 TeV enerjide yaklaşık 11700 A'lık akım ile 8.4 T'lık manyetik alan sağlayan, içerisinde yer alan bobinin yarı çapı 56 mm olan sistemlerdir. Açıklıklarının eksenleri arasındaki uzaklıkları ise 194 mm'dir. Çarpıştırıcı içerisinde yer alan kriyojenik dipol magnetlerin uzunluğu 14.3 m'dir (Şekil 2.14).



Şekil 2.15. Dipol magnette üretilen manyetik alan ve süper iletken bloklar

Şekil 2.15’de kriyojenik dipol magnetin çeyreğinin içerdiği süper iletken bloklar ve üretilen manyetik alan gösterilmektedir. Niobium titanyum kabloların oluşturduğu bobinler ayrı manyetik kanallarda fakat aynı fiziksel yapılarda ters dönen iki proton demetine yol gösterecek olan manyetik alanı oluşturmaktadır [6].

2.2.8.2. Kriyojenik Kuadropol Magnetler

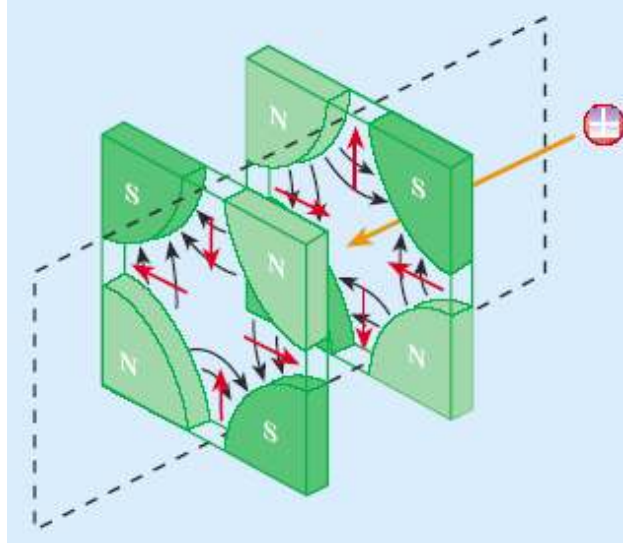
LHC’de hem odaklama hem de odak dağıtma çeşitlerinden oluşan 392 adet 6.87 T manyetik alan sağlayan ana kuadropol magnet bulunmaktadır. Bu magnetlerin çalışma akımı 11780 A’dır. Açıklıklarının merkezlerinden birbirlerine olan uzaklıkları 194 mm’dir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Kuadropol magnet

Kuadropol magnet sistemlerinde ilk magnet proton demetinin genişliğini kontrol altına alırken arkasından gelen magnet ise proton demetinin yüksekliğini

kontrol altına almakla görevlidir. Proton demetlerinin çarpışması sonucu oluşan çok sayıdaki parçacıkları bir arada tutarak demet haline getirmek için kuadropol magnetler kullanılmaktadır. Yatay düzlemde odaklayan kuadropol magnet QF ile gösterilirken, dikey düzlemde odaklayan kuadropol magnet ise QD ile gösterilmektedir. Şekil 2.17’de kuadropol magnet sisteminin proton demeti üzerindeki etkisi gösterilmektedir. LHC alternatif olarak iki kuadropol magnet yapısını da içererek proton demetlerini odaklamaktadır [6].



Şekil 2.17. Gelen yüklü parçacığın 1 ve 2. kuadropoldeki odaklanma biçimleri

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Materyal

3.1.1. LHCb Deneyi

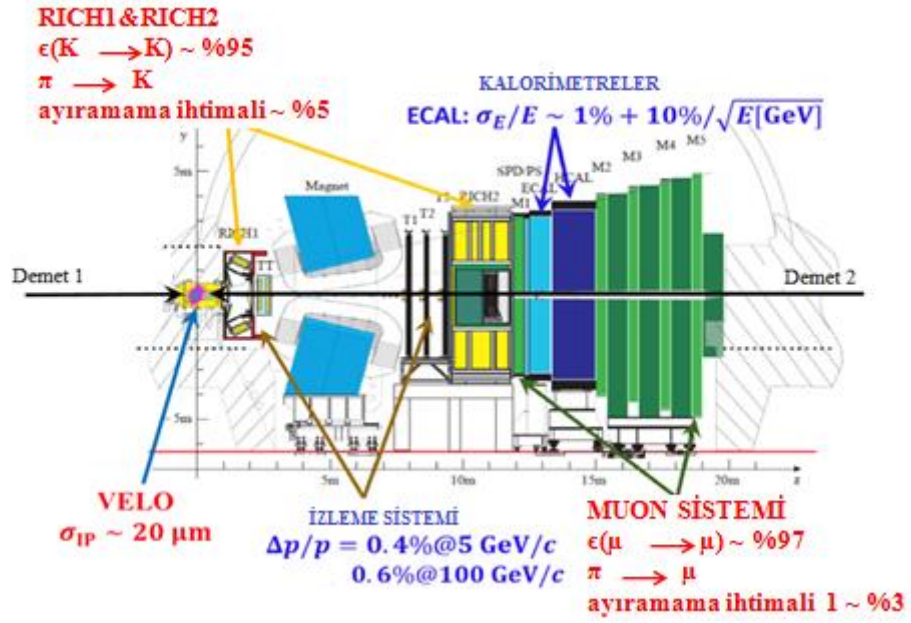
LHCb deneyi LHC üzerine kurulmuş ve amacı ağır kuark fiziği çalışmak olan 8. noktada yer alan deneydir. Amacını daha da detaylandıracak olursak CP (yük parite) kuralının dışına çıkan yeni fizik olaylarını, b ve c kuark bozunumlarını araştırmaktadır. CP kuralının dışına çıkma seviyesi, Standart Model'in öngördüğü şekilde, evrendeki madde miktarını açıklamakta yeterli olmadığı için yeni sebeplerin arayışı artmıştır. LHCb deneyinde elde edilecek sonuçlardan aranan yeni sebeplerin bulunabileceği düşünülmektedir. LHCb deneyi, 14 TeV proton enerjisindeki $\sim 500 \mu\text{b}$ 'lık $b\bar{b}$ tesir kesiti ile dünyanın şimdiye kadar ulaşılmamış en büyük b mezon kaynağıdır.

LHCb dedektör etkileşme noktası LEP boyunca DELPHI dedektörüyle oluşturulan yeraltında 8. noktada yer alır. Yeraltındaki dedektörün tam uzunluğu ile uyum sağlayan etkileşme noktası, 7. etkileşme noktası yönünde merkezden 11.25 m kaydırılmıştır. Dedektör 21 m uzunluğunda, 10 m yüksekliğinde 5,600 ton ağırlığında olup maliyeti 200 milyon dolar civarındadır.

LHCb dedektörü Şekil 3.1'de de gösterildiği gibi bükülmeyen alanda 10-250 mrad ve magnetin bükülen alanında 10-350 mrad açisal menzil ile faaliyet gösteren tek kollu bir spektrometreye benzetilir. Bu açisal menziller sırasıyla $1.7 < \eta < 5.3$ ve $2.1 < \eta < 5.3$ pseudorapidity kapsama alanına karşılık gelir. Dedektörün tek kollu spektrometreye benzetilmesinin sebebi araştırılan b ve $\bar{b}$ oluşumundan sonra protonların demet hattı geometrisine paralel hareket ettiği bilindiğinden deneyin tek bir geometrik kapsamda yürütülmesindendir. Böyle olmasında deney maliyetlerinin de azaltılması etkili olmuştur [7].

LHCb dedektöründe, meydana gelecek olan çoklu etkileşmelerden kaçınmak için etkileşme noktasından yukarıda konumlanmış bir dedektör ile çapraz geçiş reddedilir. Bu çoklu etkileşme olaylarına “pile up olaylar” denir.

Şekil 3.1’de LHCb içerisinde yer alan bütün alt dedektörler demet 1 geliş yönü baz alınarak sıralanmış ve açıklanmıştır.

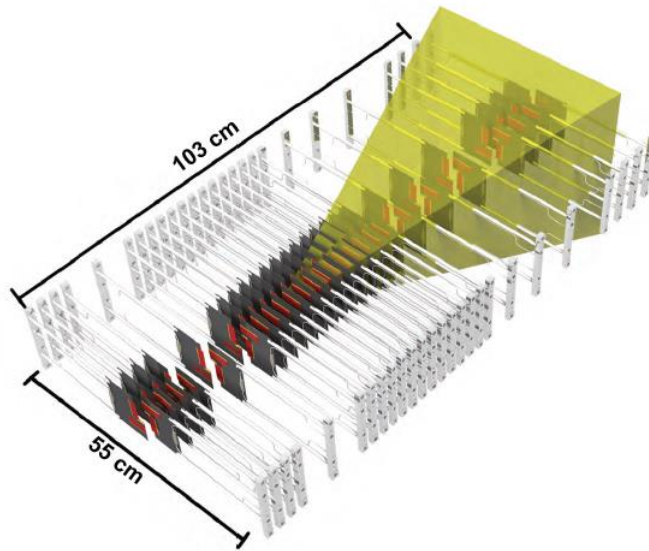


Şekil 3.1. LHCb deney düzeneği

LHCb deneyi içerisinde bulunan ana alt dedektörler sırasıyla VELO (Vertex Locator), RICH 1 (Ring Imaging Cherenkov), TT (Tracker Turicensis), Magnet, T1-T3 (Tracking Stations), RICH 2, SPD (Scintillating Pad Detector), PS (Pre-Shower Detector), ECAL ve HCAL (Electromagnetic and Hadronic Calorimeters), M1-M5 (Muon Stations)’dir.

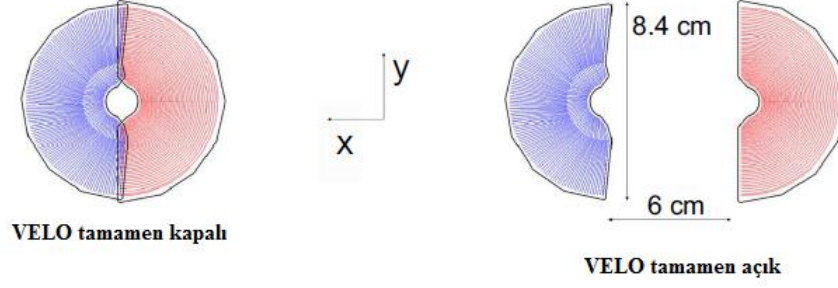
3.1.2. VELO Dedektörü

VELO dedektörü LHCb deneyi alt dedektörlerinden en önemlisidir. Adını protonların çarpışma noktasını bulma özelliğinden alan VELO, proton çarpışması sonucu çıkan parçacık izlerinin koordinatlarını büyük hassaslıkla ölçer. VELO dedektöründen geçen demetler, dedektör içerisinde proton-proton çarpışmaları yapmaktadır. Çarpışma sonucu çıkan parçacıklar VELO dedektörü sensörlerinden geçerken noktalar bırakmaktadır. Daha sonra çevrim dışı yazılımlar ile bu noktalar birleştirilerek parçacık izlerine dönüştürülmektedir. Aynı yazılımlar bu izleri de analiz ederek, geldikleri ortak noktaları belirlemekte ve ortak noktaları verteks olarak tanımlayarak, bu izleri o vertekslere bağlamaktadır. Bulunan verteks noktalarının hassasiyeti $20 \mu\text{m}$ civarındadır. Dedektör $1.6 < \eta < 4.9$ pseudorapidity bölgesinde bütün çarpışma ürünü parçacıkları görecektir şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.2) [7].



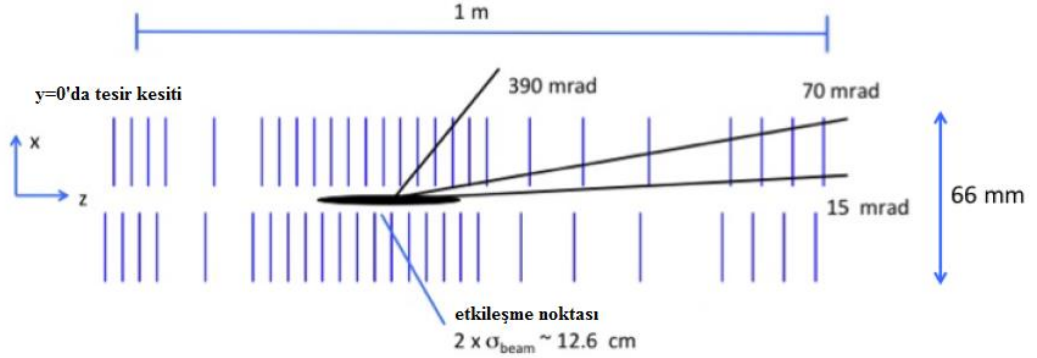
Şekil 3.2. VELO görüş açısı

VELO özel körük sistemi sayesinde 29 mm'lik uzaklıkla her iki VELO kısmının da geri çekilmesine olanak sağlayarak, olası hasarlardan kaçınılması hedeflenmiştir. VELO tamamen açık olduğunda iki istasyon arasındaki mesafe 6 cm'dir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. VELO'da istasyonların açık ve kapalı olma durumları

VELO her biri 0.03 mm kalınlığına sahip yarım ay şeklinde 2 sıradan oluşur. VELO'nun her 2 sırasında da 26 yarım istasyon bulunmaktadır. VELO'da her bir istasyon bir sağ modül, bir sol modülden oluşur. Her bir modül ise bir radyal bir de phi sensörden meydana gelmektedir. Sensörün merkezinde yer alan küçük bir oyuk LHC proton demetlerinin engelsiz bir şekilde geçmesine müsaade edecek genişlikte konumlandırılmıştır. VELO istasyonlarının alt ve üst kısımlarından 4'er adedi "Pile Up" dedektör olarak adlandırılan istasyonlardan oluşur ve "pile up" olayları engellemek için kurulmuştur (Şekil 3.4).

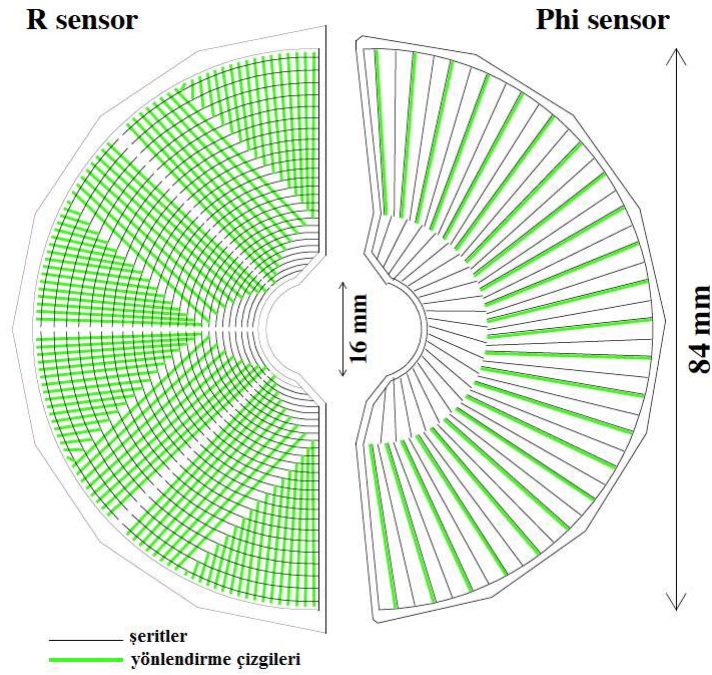


Şekil 3.4. VELO istasyonları ve görüş açıları

VELO'da yer alan radyal R sensörünün aşağıdaki şekilde de görüldüğü üzere etkileşme noktasından silikonun aktif alanına olan iç yarıçapı 8.2 mm iken dış yarıçapı ise 41.9 mm'dir. R modülü 4 ayrı 512 şeritlik kısımdan oluşmaktadır. Kısımlar 45 derecelik açılarla konumlandırılmıştır. Bunun sebebi gereksiz yer

kaplamanın önüne geçmektir. Şeritlerden en kısasının boyu 6.4 mm, en uzununun boyu 66.6 mm'dir.

Phi (ϕ) sensörünün etkileşme noktasından silikonun aktif alanına olan yarıçapı 7 mm iken dış aktif alanının yarıçapı 42 mm'dir (Şekil 3.5). Phi modülleri de şeritlerden meydana gelmiştir. İç şerit sayısı 683, dış şerit sayısı 1365'dir ve en kısa şerit boyu 9.2 mm iken en uzun şeridin boyu 24.4 mm'dir.



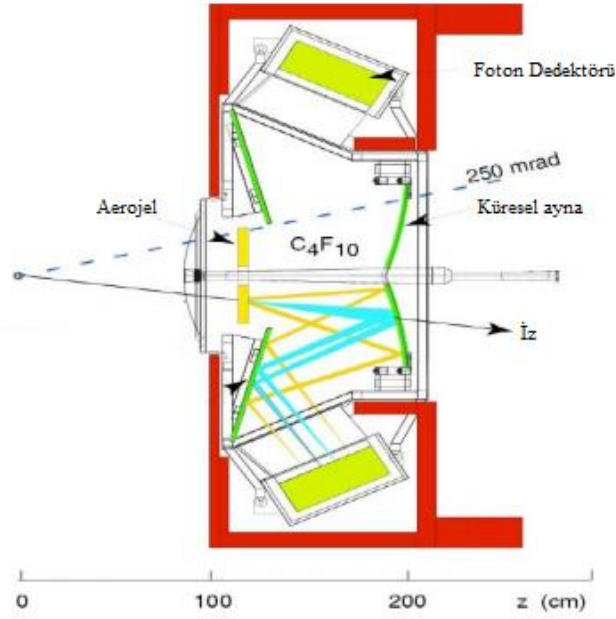
Şekil 3.5. R ve Phi sensörlerin yapısı

Sensörlerin protonun geçiş noktasına olan uzaklığı 8.2 mm olmasından dolayı yüksek radyasyona uzun süreli dayanarak çalışması gerekmektedir. Bunu sağlayabilmek için n-bulk teknolojisi ile oluşturulan sensör telleri, p-spray teknolojisi ile birbirinden izole edilmiştir. Bu teknoloji ile kalınlığı en fazla 32 μ m olan teller dizayn edilebilmektedir.

Phi ve R sensörlerin detayları haricinde kullanılan teknolojileri aynıdır. LHC'nin vakum sisteminin bütünlüğünü korumak için sensörler alüminyum kabuk kullanarak demet hattından ayrılmıştır. VELO, CO₂ tabanlı soğutma sistemi kullanarak elektronik aygıtları soğutur.

3.1.3. RICH

LHCb deneyinde yer alan RICH alt dedektörü de VELO dedektörü gibi çarpışma sonucu elde edilen parçacıkların tanımlanmasına yardımcı olur. Konumu, deney düzeneğinde bulunan güçlü magnetin öncesi ve sonrasındır. Magnetin öncesinde yer alan RICH, 1-60 GeV enerji aralığındaki parçacıkların tipini ayırt etmek için kullanılırken, sonrasında yer alan ise 1-15 GeV enerji aralığına sahip parçacıkların tipini ayırt etmekte kullanılır [7].



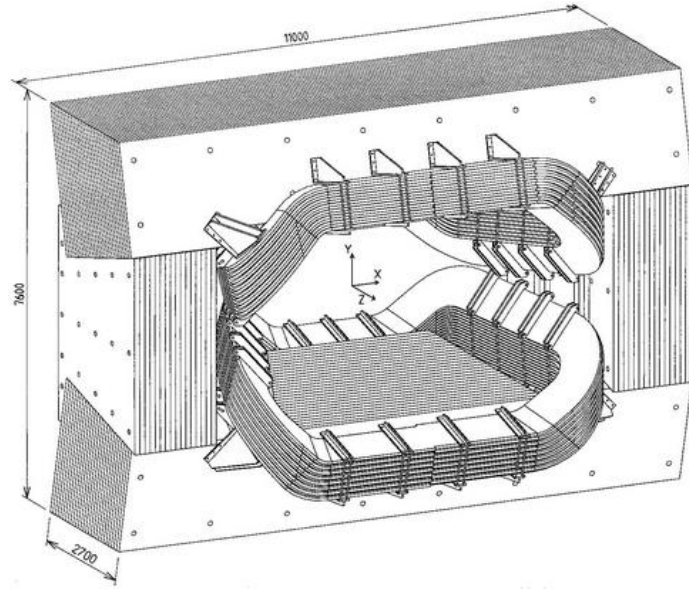
Şekil 3.6. RICH dedektörü

RICH, yansıtıcılığı çok büyük olan düz ve küresel aynalar sayesinde parçacıkları tanımlamaktadır. RICH 1 aerojel ve C₄F₁₀ radyatöründen oluşmuş ve düşük momentumlu parçacıkları tespit etmekte kullanılır. RICH 2 de CF₄ radyatöründen meydana gelmektedir ve daha yüksek momentuma sahip parçacıkları tespit eder. Cherenkov radyasyonunun emisyon ölçümü ile çalışır. Cherenkov radyasyonu elektrik yüklü bir parçacığın bir yalıtkan içerisinde bulunduğu ortama ışık hızından daha büyük bir hızda geçerken ortaya çıkan elektromanyetik ışımadır. Bu alt dedektörler içerisinde geçen yüklü parçacıklar radyatörlerle tepkimeye

girerek Cherenkov ışıması yapar. Bu ışıma da dedektör yüzeyinde bulunan fotodedektörler ile algılanarak parçacıkların cinsinin tayini yapılmaktadır.

3.1.4. Magnet

LHCb deneyinin muazzam büyüklükteki magneti her biri 27 ton ağırlığında 2 bobinden oluşup 1450 tonluk çelik çerçeve içerisine takılıdır. Her bir bobin 10 yassı sarımlı yaklaşık 3000 alüminyum kablodan inşa edilmiştir. Magnetin her birinin uzunluğu 7,5 m olan 2 bobinin kalınlığı 4.6 m ve yüksekliği 2.5 m'dir. LHCb proton çarpışmalarında kaynak yönünü kullanır ve enlemsel olarak ± 250 mrad, boylamsal olarak ± 300 mrad serbest açıklık ile dipol bir manyetik alan oluşturur (Şekil 3.7Şekil 3.7).

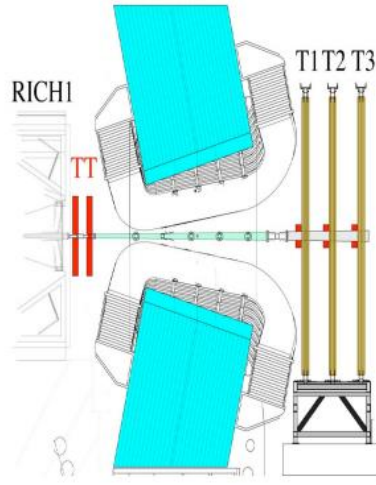


Şekil 3.7. LHCb deneyinde yer alan dipol magnet

Dipol magnet, başında ve sonundaki izleme dedektörleri ile 200 GeV/c momentuma kadar olan parçacıkların momentumlarını %0.4 hassaslık ile ölçer [7]. Birincil etkileşme noktasının yakınından kaynaklanan izler için 4 Tm büyüklüğünde alan talep edilir. RICH 1 alt dedektöründen geçen parçacıklar magnetten geçerken dikey koordinatta sapmaya uğrar. Bu sapmanın yönü incelenerek momentum hesaplanır ve parçacıkların elektrik yükleri belirlenir.

3.1.5. Silikon ve Çubuk Tüp İzleyiciler

Ana izleme sistemi 4 izleme istasyonundan oluşur. İlk istasyon TT (Target Tracker) RICH 1'in yanındadır. TT 500 μm kalınlığında p-in-n sensörler kullanan silikon mikro şerit dedektördür ve deneyin tüm açısal menziline kapsar. Diğer 3 istasyon (T1 – T3) magnet ve RICH 2 arasına 3'er metre aralıklarla konumlandırılmışlardır. LHCb izleyici sistemi her biri yaklaşık 40 m^2 'lik alan kaplayan 4 büyük dikdörtgen şeklinde seriden oluşur (Şekil 3.8). İzleyici sistemler üzerinde 2 farklı dedektör teknolojisi kullanılır. Bunlardan biri silikon izleyici iken diğeri çubuk tüplerden oluşan dış izleyicilerdir.



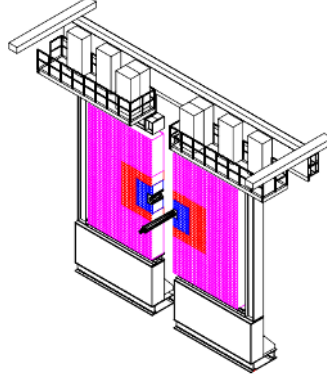
Şekil 3.8. TT ve T1-T3 izleyicilerinin konumları

Demet hattına yakın yerleştirilmiş olan silikon izleyici geçen parçacıkları tanımlayabilmek için silikon mikro şeritler kullanır. Silikon izleyicinin hassas alanı yaklaşık 11 m^2 'dir [7].

Demet hattından daha uzağa yerleştirilen dış izleyiciler ise sayısı binleri bulan gaz dolu çubuk tüplerden oluşmaktadır. Çarpışma sonucunda açığa çıkan yüklü parçacıklar bu gaz dolu çubuk tüplerden geçmeye başladığında gaz iyonları iyonlaşarak elektron üretirler. Oluşan izlerin pozisyonu üretilen elektronların ne kadar sürede her tüpün merkezinde bulunan anoda ulaştığı verisi kullanılarak belirlenir. Dış izleyicilerin en büyük istasyonu 600 $\text{cm} \times 490 \text{ cm}$ hassas alan ile kaplıdır.

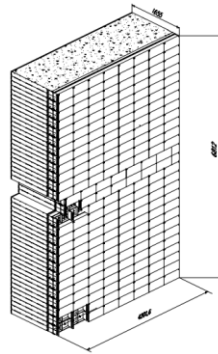
3.1.6. Kalorimetreler

LHCb’de bulunan kalorimetrenin iki ana amacı vardır; bunlardan biri donanım tetikleme seviyesine bilgi sağlamak iken diğer amaç da buraya ulaşan parçacıkların enerjisini ölçmek ve çevrimdışı analiz için parçacığın kimliğinin saptanmasını sağlamaktır.



Şekil 3.9. Elektromanyetik Kalorimetre

Kalorimetre sistemi birkaç katmandan oluşur. Bunlar SPD, PS, ECAL ve HCAL’dır. ECAL elektron ve foton gibi daha hafif parçacıkları durdurarak enerjisini ölçer. HCAL ise kuarkları içeren diğer parçacıkların yani hadronların (nötron, proton, pion, vb.) enerji ölçümünden sorumludur.



Şekil 3.10. Hadronik Kalorimetre

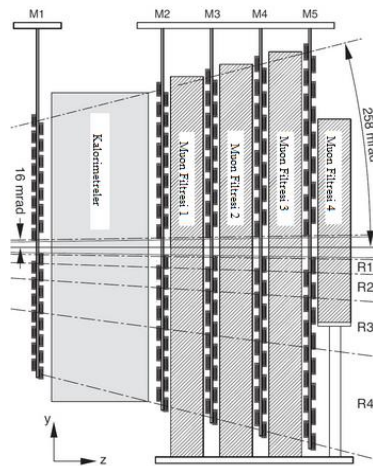
Her iki kalorimetre de plastik plakalar ve birbirini izleyen metal soğurucu tabakalarından dolayı sandviçe benzer bir yapıya sahiptir. ECAL’da soğurucu

materyal kurşun iken, HCAL'da demirdir. Çarpışan parçacıklar sonucunda elde edilen ikincil parçacıklar bu soğurucu materyallere çarptığı zaman parçacık duşları oluşur. Bu olay sonunda sırasıyla ultraviyole (UV) ışığı emen plastik plakalar ile birlikte polisitren molekülleri harekete geçirir ve bu moleküller UV ışınları görünür ışığa çevirir. UV ışınlar dedektör yüzeyinde bulunan fotoçoğaltıcı tüpler tarafından toplanır. Üretilen ışığın miktarı kalorimetreye giren parçacıkların enerjisi ile doğru orantılıdır.

SPD ve PS ek dedektörleri daha ötedeki parçacıkları tanımlayabilmek için ECAL'dan önce konumlandırılmıştır. SPD yüklü parçacıkların olduğu kısmı tarar ve fotonlardan elektronları ayırt etmek için ECAL ile birlikte kullanılır. SPD'den 15 mm kurşun tabaka ile ayrılan elektromanyetik duşlara sebep olan PS dedektörü ise hafif hadronlar, yüklü pionlar gibi parçacıkların fazla enerjisini depolar ve e/π ayrışımı için kullanır [7].

3.1.7. Muon Sistemi

Muon dedektörü birçok B mezon bozunumunun son kısmını gösteren LHCb deneyinde önemli bir yere sahip olan bir dedektördür. Bu alt dedektör yol üzerinde hiçbir dedektörde durdurulamayan muonların varlığının tespitinde kullanılmak üzere dizayn edilmiştir. Toplamda muon sistemi etrafında 1400 bölme ve 2.5 milyon tel bulunmaktadır.



Şekil 3.11. LHCb deneyindeki muon sistemi

LHCb genel dedektörünün en son kısmında konumlanmıştır ve 435 m² bileşik alanla kaplanmış ve boyutları azar azar artan 5 dikdörtgen istasyondan oluşur. Her bir istasyon karbondioksit, argon ve karbon tetraflorür gazlarının kombinasyonu ile dolu bölmeler içerir. Geçen muonlar bu karışımla tepkimeye girer ve tel elektrotlar tepkime sonucu elde edilen verileri algılar [7].

3.2. Yöntemler

3.2.1. Lüminosite

3.2.1.1. Tanımı ve Genel Lüminosite İfadesi

Lüminosite kelime olarak pırıltı anlamındadır. Pırıltı denildiği zaman ise akla, merkezde yoğun olarak ışık saçan ama merkezden uzaklaştıkça yoğunluğun azaldığı bir yapı gelmektedir. Yüksek enerji fiziği alanında kullanılan lüminosite kavramında proton demetleri içindeki proton yoğunluğu ele alınmaktadır. 2010-2012 yılları arasındaki veriye göre LHC içerisinde yer alan her demetin her birinin içerisinde yaklaşık 1.15×10^{11} proton bulunmaktadır [8]. Demetler içerisinde protonların yoğunluk dağılımının gaussian olduğu bilinmektedir. Gaussian dağılım içerisinde ise protonlar, tıpkı ışıpta olduğu gibi pırıltı şeklinde görülür; merkezde proton yoğunluğu daha fazla, demetin uç kısımlarına gidildikçe yoğunluk eksponansiyel olarak azalmaktadır.

Lüminosite ölçümü kullanılarak deneyde üretilen fiziksel olayların sayısı (3.1) bağıntısı ile bulunur [9];

$$N = L \cdot \sigma \quad (3.1)$$

Burada N deneyde gerçekleşen olay sayısı, σ ise incelenen fiziksel olayın tesir kesitidir. Tesir kesiti etkileşmede yer alan parçacıkların cinsine, özelliklerine ve etkileşmenin fiziğine bağlıdır. Tesir kesiti etkileşme ihtimali ile ilgilenir. Çünkü karşı karşıya gelen her proton, birbiriyle etkileşmek zorunda değildir. Karşı karşıya gelen protonların fiziksel olarak etkileşme olasılıkları tesir kesitidir. Denklemden yer alan lüminosite ifadesi ise birinci demet içerisinde yer alan protonların ikinci demet içerisindeki protonlarla karşı karşıya gelme ihtimalini söyler. Tesir kesiti ve lüminosite birbirinden tamamen bağımsız iki parametredir.

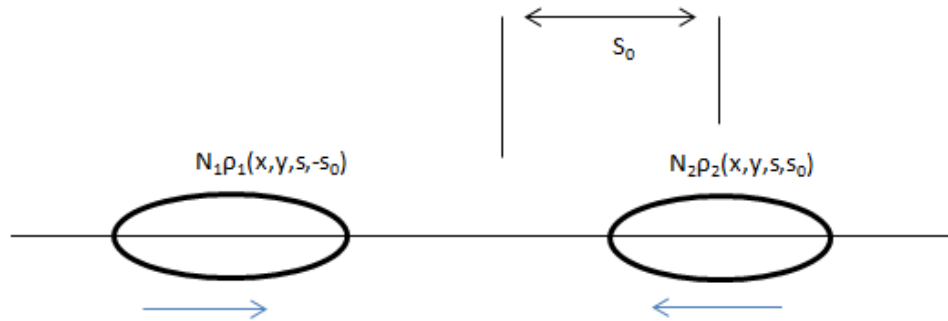
Ayrıca lüminosite hızlandırıcı performansını karakterize eder. Lüminositeyi arttırmak için sürekli hızlandırıcıların performanslarını iyileştirme yollarına gidilir. Çünkü lüminositenin artırılabilmesi için proton demetleri içindeki proton sayılarını

veya yoğunluğunu arttırmak gerekir. Bu iki parametrede iyileştirme sağlandığında iki demet karşı karşıya gelecek olursa demet içindeki çarpışan protonların sayısı artacaktır.

Çarpışan demetler her koordinatta ayrı ayrı gaussian dağılımına sahip olduğu varsayıldığında proton demetinin hareket ettiği yön s ve proton demetinin merkezi s_0 olmak üzere proton demeti yoğunluğu (3.2) bağıntısı ile formüle edilebilir;

$$\rho(x, y, s, s_0) = \rho_x(x)\rho_y(y)\rho_s(s - s_0) \quad (3.2)$$

Burada s , z koordinatına karşılık gelirken s_0 ise $s_0 = v \cdot t$ 'ye karşılık gelir. Relativistik durumda $s_0 = c \cdot t$ olarak ifade edilir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Proton demetlerinin çarpışması

Genel olarak lüminosite ifadesi proton demet yoğunluğunun örtüşme integrali ile ifade edilir [10];

$$L = A \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \rho_1(x, y, s, -s_0) \rho_2(x, y, s, s_0) dx dy ds ds_0 \quad (3.3)$$

Hesaplama kolaylığından dolayı $A \equiv N_1 N_2 N_b f K$ olarak tanımlanmıştır, ρ_1 ve ρ_2 ; 2 proton demetinin zamana bağlı dağılım fonksiyonu, N_1 ve N_2

demetlerdeki proton sayısı, f (11245) demetlerin hızlandırıcıda dolanma frekansı ve N_b ise çarpışan proton demeti sayısıdır. K , moller faktörüdür. İleriki bölümlerde açıklanan, çok küçük gelme açısı α ile relativistik hareket eden proton demeti için moller faktörü bağıntı (3.4) halini alır [11].

$$K = 2 \cdot \cos^2 \alpha \cong 2 \quad (3.4)$$

Her eksendeki dağılımların birbirinden bağımsız olduğunu varsayarsak gaussian dağılımı (3.5) bağıntısındaki gibi alınabilir;

$$\rho_{iu} = \frac{1}{\sigma_{iu}\sqrt{2\pi}} \exp \frac{-u^2}{2\sigma_{iu}^2} \quad i=1,2 \text{ ve } u=x,y \quad (3.5)$$

$$\rho_{is} = \frac{1}{\sigma_{is}\sqrt{2\pi}} \exp \frac{-(s \pm s_0)^2}{2\sigma_{is}^2} \quad (3.6)$$

Farklı ($\sigma_{1x} \neq \sigma_{2x}$, $\sigma_{1y} \neq \sigma_{2y}$ ve $\sigma_{s1} \approx \sigma_{s2}$) Gaussian dağılımındaki proton demetlerinin, kafa kafaya çarpışmasının lüminosite değeri en genel hali şu şekildedir;

$$L = \frac{A}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \exp \frac{-x^2(\sigma_{1x}^2 + \sigma_{2x}^2)}{2\sigma_{x1}^2\sigma_{x2}^2} dx \int_{-\infty}^{\infty} \exp \frac{-y^2(\sigma_{1y}^2 + \sigma_{2y}^2)}{2\sigma_{y1}^2\sigma_{y2}^2} dy \int_{-\infty}^{\infty} \exp \frac{-s^2}{\sigma_s^2} ds \int_{-\infty}^{\infty} \exp \frac{-s_0^2}{\sigma_s^2} ds_0 \quad (3.7)$$

$$L = \frac{A}{4\pi \sqrt{(\sigma_{x1}^2 + \sigma_{x2}^2)(\sigma_{y1}^2 + \sigma_{y2}^2)}} \quad (3.8)$$

$\sigma_{1x} = \sigma_{2x}$ ve $\sigma_{1y} = \sigma_{2y}$ olması durumunda ise,

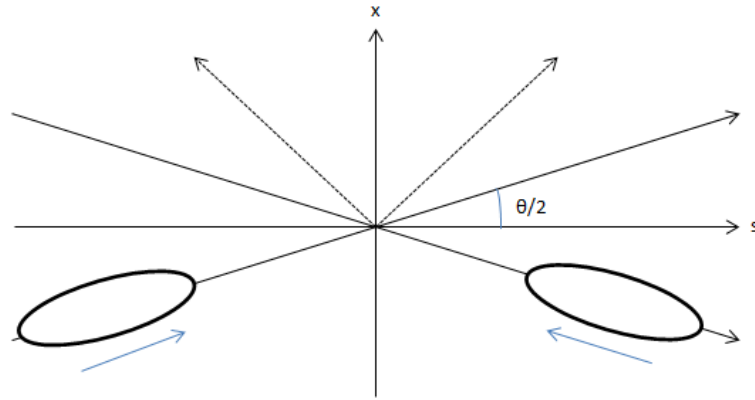
$$L = \frac{N_1 N_2 N_b f}{4\pi \sigma_x \sigma_y} = L_0 \quad (3.9)$$

Bu lüminosite değeri, proton demetinin boylamsal dağılımına (σ_s) bağlı değildir.

3.2.1.1.1. Geçiş Açısı

LHC’de oluşan 2808 tane proton demetinin her biri, elektromanyetik kaplar halinde 10’lu yapıdan oluşmaktadır. Bu elektromanyetik kapların ilki, yani kullanılan demet, yaklaşık olarak 1.15×10^{11} proton ile doluyken takip eden kaplar içerisinde bu sayı 10’un katları olarak azalmaktadır. Kafa kafaya çarpışmalarda $\theta = 0$ geçiş açısıyla etkileşme noktasına doğru gelen proton demetleri birbirleri içinden geçerken karşı karşıya gelen protonların çarpışmasıyla yeni parçacıklar ve fizik olayları meydana getirirler. Arkadan gelen demetlerin oluşturacağı çarpışmalar istenilmeyen çarpışmalardır. Zaman olarak birbirlerine çok yakın olduklarından ($\sim 2.5 \text{ ns}$), ilk demetten gelen çarpışma verilerine dahil olmakta ve oluşan çarpışmalar birbirine karışmaktadır. Açılı sayesinde birincil demetlerin, arkadan gelen demetlerle çarpışması engellenmektedir.

Proton demetlerinin nominal toplam geçiş açısı yaklaşık olarak 285 μrad ’dır [12].



Şekil 3.13. Proton demetlerinin geçiş açısı ile çarpışma noktasına doğru hareketi

Şekil 3.13’den anlaşılacağı üzere, proton demetleri, simetri göz önünde bulundurularak, toplam geçiş açısı birbirinden bağımsız olan iki proton demeti için saat yönünde $\theta/2$ ve saat yönünün tersi $-\theta/2$ kadar döndürüldüğü varsayılır. Bahsedilen döndürme, her iki demet için de, (3.10)’daki bağıntı ile formüle edilen koordinat transformasyonu ile mümkündür;

$$\begin{pmatrix} x'_1 \\ s'_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \frac{\theta}{2} & -\sin \frac{\theta}{2} \\ \sin \frac{\theta}{2} & \cos \frac{\theta}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ s \end{pmatrix} \quad (3.10)$$

Proton demetleri aynı doğrultuda gelmediklerinden dolayı moller faktörü de bağıntı (3.11)'de verildiği gibidir;

$$K = 2 \cos^2 \frac{\theta}{2} \quad (3.11)$$

$\sigma_{1x} = \sigma_{2x}$, $\sigma_{1y} = \sigma_{2y}$, $\sigma_{1s} = \sigma_{2s}$ olduğu varsayılarak ve geçiş açısı demetlerin sadece x ve s doğrultusunda etkisini gösterdiğinden, y ve s_0 üzerinden integral alındıktan sonra integral hesabının kolayca yapılabilmesi için bağıntı (3.12) uygulanır;

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-(at^2+bt+c)} dt = \sqrt{\frac{\pi}{a}} e^{\frac{b^2-ac}{4a}} \quad (3.12)$$

İntegrali almamızı kolaylaştıran bu formül lüminosite hesaplamasına uygulanırsa lüminosite, bağıntı (3.13)'deki gibi yazılır;

$$L = \frac{N_1 N_2 N_b f}{4\pi^3 \sigma_x^2 \sigma_y \sigma_s} \cos^2 \frac{\theta}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \exp \frac{-x^2 (\sigma_x^2 \sin^2 \frac{\theta}{2} + \sigma_s^2 \cos^2 \frac{\theta}{2})}{\sigma_x^2 \sigma_s^2} dx \int_{-\infty}^{\infty} \exp \frac{-s^2 (\sigma_x^2 \cos^2 \frac{\theta}{2} + \sigma_s^2 \sin^2 \frac{\theta}{2})}{\sigma_x^2 \sigma_s^2} ds \quad (3.13)$$

İntegral hesaplamaları yapıldıktan sonra geriye kalan exponansiyel ifade, geçiş açısından kaynaklı lüminosite azaltma faktörü olarak tanımlanır. Buna S faktörü dersek ve x'in s'ye göre çok küçük olduğu bilgisini kullanarak, lüminosite ifadesi aşağıdaki gibi olur.

$$S = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\sigma_x^2}{\sigma_s^2} \tan^2 \frac{\theta}{2}}} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\sigma_s^2}{\sigma_x^2} \tan^2 \frac{\theta}{2}}}$$

$$L = \frac{N_1 N_2 N_b f}{4\pi \sigma_x \sigma_y} \cdot S = L_0 S \quad (3.14)$$

Elde edilen lüminosite denklemi bize ilk bakışta karşılıklı hareket eden 2 proton demetinin kafa kafaya çarpışması sonucu elde edilen lüminosite denklemini sunmaktadır. Fakat integral hesaplamaları sonucu eklediğimiz S faktörü ile lüminosite değeri düşmektedir. S faktörü aynı zamanda lüminosite azaltma faktörü olarak adlandırılır. $\sigma_s \gg \sigma_{x,y}$ olduğunda S faktörü bağıntı (3.15) ile ifade edilir;

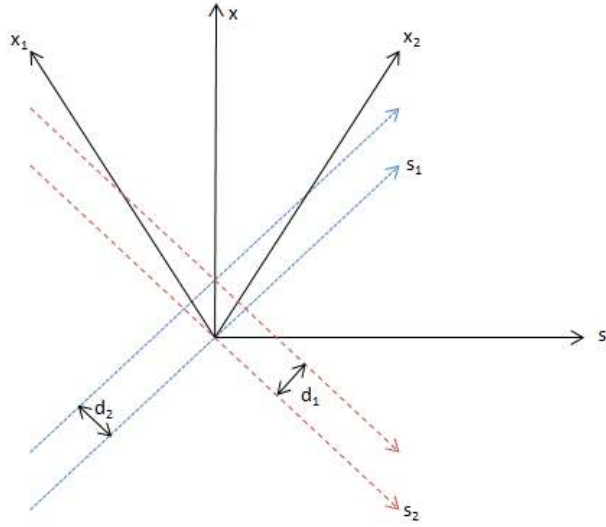
$$\tan^2 \frac{\theta}{2} \approx \left(\frac{\theta}{2}\right)^2 \quad \text{küçük açılar için } S = \sqrt{1 + \left(\frac{\theta \sigma_s}{2\sigma_x}\right)^2} \quad (3.15)$$

Bu durumda lüminosite değeri bağıntı (3.16) ile ifade edilir;

$$L = \frac{N_1 N_2 N_b f}{4\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1 + \left(\frac{\theta\sigma_s}{2\sigma_x}\right)^2}} \quad (3.16)$$

3.2.1.1.2. Ofset

Proton demetleri kafa kafaya çarpışmalarda aynı doğrultuda ya da küçük bir açıyla geldiklerinde oluşan lüminosite bir önceki bölümde hesaplanmıştır. Fakat proton demetleri çarpışma noktasına belli bir ofset ile geldiklerinde ofset miktarı lüminositeyi etkiler. Magnetlerde oluşan hatalı hizalamalar ve manyetik hatalar yörünge bozukluklarının ana nedenleridir. Şekil 3.14’de gösterildiği gibi, ana eksenden d_1 ve d_2 uzaklıkta gelen demetlerin çarpışma noktası, demetlerin en yoğun bölgelerinin az dışında gerçekleşmektedir. Bu da lüminositeyi etkilemektedir.



Şekil 3.14. Proton demetlerinin olası d_1 ve d_2 ofsetleri

Sadece yatay eksendeki x_1 ve x_2 ofseti göz önüne alınırsa koordinat transformasyonu bağıntı (3.17) ile verilir;

$$\begin{pmatrix} x'_1 \\ s'_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_1 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos \frac{\theta}{2} & -\sin \frac{\theta}{2} \\ \sin \frac{\theta}{2} & \cos \frac{\theta}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ s_1 \end{pmatrix} \quad (3.17)$$

Bu transformasyonları kullanarak lüminosite hesabını yaparsak bağıntı (3.18) elde edilir;

$$L = \frac{N_1 N_2 N_b f}{4\pi^2 \sigma_x^2 \sigma_y \sigma_s} \cos^2 \frac{\theta}{2} \exp \frac{-(d_1^2 + d_2^2)}{2\sigma_x^2}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp \frac{-\left[x^2 \left(\sigma_s^2 \cos^2 \frac{\theta}{2} + \sigma_x^2 \sin^2 \frac{\theta}{2} \right) + x \left(\sigma_s^2 (d_1 + d_2) \cos \frac{\theta}{2} \right) \right]}{\sigma_x^2 \sigma_s^2} dx$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp \frac{-\left[s^2 \left(\sigma_s^2 \sin^2 \frac{\theta}{2} + \sigma_x^2 \cos^2 \frac{\theta}{2} \right) + s \left(\sigma_s^2 (d_1 - d_2) \sin \frac{\theta}{2} \right) \right]}{\sigma_x^2 \sigma_s^2} ds$$

(3.18)

Ofset ve geçiş açısı faktörü eklendiğinde lüminosite hesaplaması aşağıda gösterildiği gibi olur.

$$L = \frac{N_1 N_2 N_b f \sigma_s}{4\pi\sigma_y \sqrt{\left(1 + \frac{\sigma_x^2}{\sigma_s^2} \tan^2 \frac{\theta}{2}\right) \left(1 + \frac{\sigma_s^2}{\sigma_x^2} \tan^2 \frac{\theta}{2}\right)}} \exp \left[\frac{-(d_1^2 + d_2^2)}{2\sigma_x^2} + \frac{(d_1 + d_2)^2}{\sigma_x^2 \left(1 + \frac{\sigma_x^2}{\sigma_s^2} \tan^2 \frac{\theta}{2}\right)} + \frac{\sigma_s^2 (d_1 - d_2)^2 \tan^2 \frac{\theta}{2}}{\sigma_x^4 \left(1 + \frac{\sigma_s^2}{\sigma_x^2} \tan^2 \frac{\theta}{2}\right)} \right] \quad (3.19)$$

Ofset ve geçiş açısında elde edilen S azaltma faktörleri lüminositede yerlerine koyulacak olursa bağıntı (3.20) elde edilir;

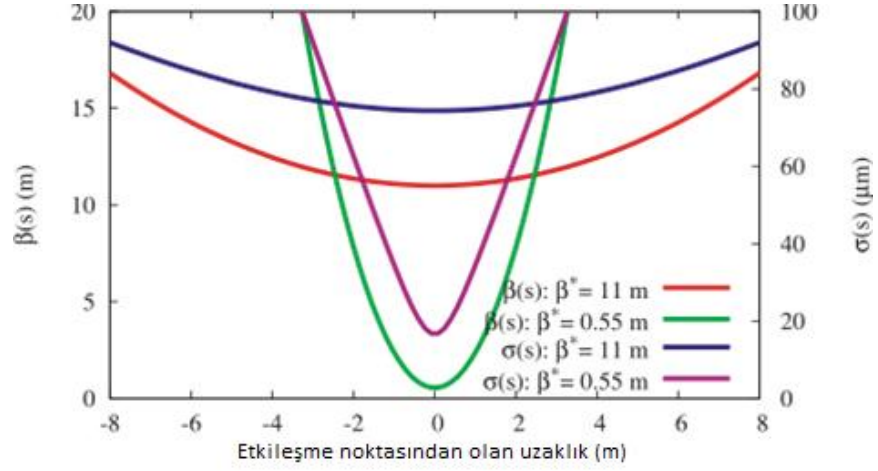
$$L = \frac{N_1 N_2 N_b f \sigma_s}{4\pi\sigma_y \sqrt{1 + \left(\frac{\theta\sigma_s}{2\sigma_x}\right)^2}} \exp \left[\frac{(d_1 + d_2)^2 + 2d_1 d_2}{2\sigma_x^2} + \frac{\sigma_s^2 \theta^2 (d_1 - d_2)^2}{4\sigma_x^4 \left(1 + \left(\frac{\theta\sigma_s}{2\sigma_x}\right)^2\right)} \right] \quad (3.20)$$

3.2.1.1.3. Hourglass Etkisi

LHC’de karşılıklı olarak hareket eden proton demetleri kullanılan kuadropol magnetler sayesinde odaklanır. Çarpışma noktasında karşı karşıya gelen iki demetin enine yayınımları, bu odaklama sayesinde mümkün olduğunca küçültülmeye çalışılır. Demet yayınınının küçültülmesinin sebebi, demet içerisindeki protonların, etkileşme noktasında sıkıştırılarak daha yoğun bir demet oluşturulması ve lüminositenin artırılmasıdır [13]. Odaklama yüzünden demetin yayınınının değişmesi şu şekildedir;

$$\sigma_{x,y} = \sigma_{x,y}^* \sqrt{\left(1 + \frac{z^2}{\beta^{*2}}\right)} \quad (3.21)$$

Burada $\sigma_{x,y}^*$ demetin odaklanmadan önceki yayınımlarıdır.



Şekil 3.15. Farklı β^* parametreleri için enine demet yayını

LHC’de yer alan her deney için farklı odaklama yapıldığından, her deneyin β^* değeri farklıdır.

3.2.1.2. Lüminosite Ölçümleri. Demet Gaz Görüntüleme Metodu (BGI)

Lüminosite ölçümleri dairesel hızlandırıcı için hem hızlandırıcının performansı hem de parçacık etkileşmelerinin tesir kesitinin belirlenmesi için gerekli ve önemlidir. LHC’de lüminosite ölçümleri direkt ve indirekt olmak üzere iki şekilde ölçülebilir.

İndirekt metotlar optik teorem kullanarak toplam ve elastik tesir kesitinin ölçülmesi veya tesir kesitinin teorik ya da ölçümlerinin bilinen bir etkileşme ile karşılaştırılması sonucu bulunmasıdır. Direkt ölçümler ise Van der Meer (VDM) ve demet gaz görüntüleme (BGI) metotlarıdır.

Demet Gaz Görüntüleme (BGI) metodu proton demetlerinin şeklinin belirlenebilmesi için, proton gaz çarpışma vertekslerinin tespitine dayalı olan bir metottur. Vertekslerin yoğunluğundan demetlerinin enlemsel proton yoğunluk bilgisini çıkarılabilir [14]. Bunun yanı sıra ofset ve geçiş açısı ölçümlerini yapmak mümkündür.

LHCb deneyinde demet demet etkileşimleri sonucu ortaya çıkan çarpışmaların vertekslerinin tespit edilebilmesini kolaylaştırmak için demet vakum hattı içerisinde demet görselleştirme aracı olarak atık gaz bulunmaktadır. Bu atık gaz neon gibi yüksek atom numarasına sahip bir gaz olabilir. Yüksek atom numarasına sahip bir gazın atık gaz olarak kullanılmasının sağlayacağı avantaj gazın enjeksiyonuyla birlikte yüksek oranda etkileşmeyle orantılı olarak oluşacak vertekslerin de çeşitlenmesidir. Bu sayede oluşacak birincil vertekslerin çözünürlüğü artacaktır.

VELO dedektörü içerisine gaz enjekte etmek için kullanılan sistem SMOG sistemidir. Bu sistem sayesinde VELO içerisine neon gazı enjekte edilir. Enjekte edilen gaz sayesinde VELO içerisindeki normal vakum basıncı 10^{-9} mbar'dan 10^{-7} mbar'a yükseltilir. Gaz basıncı yükseldikçe elde edilecek olan demet gaz oranı da doğru orantılı olarak yükselmektedir [15]. Gelen demet, gaz içerisinden geçerken gaz ile etkileşmeye girer.

Demet gaz etkileşimleri LHCb alt dedektörü olan VELO ile belirlenmektedir. BGI metodu ile proton demetleri içerisinde yer alan 10^{11} proton için yaklaşık 0.5 Hz demet gaz tetikleyici oranı üretilmektedir. BGI metodunun kullanımında ihtiyaç olunan en önemli iki parametre yeterli çarpışma oranının ve iyi bir çözünürlüğün sağlanmasıdır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu kısımda amacımız LHC'den gelen proton demeti içindeki protonların dağılımı hakkında bilgi edinmektir. Çarpışan demetlerdeki proton bilgisi direkt olarak elde edilemediğinden BGI yöntemi kullanılmaktadır (Bölüm 3.2.1.2.). Demet gaz etkileşmesi sonucunda elde edilen bilgiler kaydedilmektedir.

4.1. LHCb BGI Verisi

2012 yılında, lüminosite kalibrasyonu için kaydedilen, demet gaz etkileşme verileri kullanıldı. Demet gaz etkileşmesi için gereken deneysel koşullar ve çarpışma detayları, lüminosite ölçüm yöntemleri kısmında detaylı olarak açıklandı.

LHC hızlandırıcısına 4 TeV enerjideki protonlar, 2520 dolum numarası ile doldurulmuştur. Bu dolumda proton demetleri yaklaşık 6 saat boyunca stabil bir şekilde tutulabilmiştir. Dolumda her halka için 48 adet proton demeti bulunmaktadır. Ayrıca hızlandırıcı bölümünde anlatıldığı üzere, her demetin arkasından gelen ikincil hatta üçüncül demetler de vardır. 2520 dolum numarasına ait detaylar Tablo 4.1'da listelenmiştir.

Tablo 4.1. Kullanılan LHC dolumunun temel parametreleri

Dolum Numarası	2520
Dolum Tipi	Stabil
Stabil Demet Süresi	21307 s
Proton Demeti Sayısı	48
Çarpışan Demet Çifti Sayısı	6
Demetler arası zaman boşluğu	1000 ns
Hourglass Etkisi β^* Değeri	3 m
1. Halka İçin Toplam Proton Sayısı	29.2×10^{11}
2. Halka İçin Toplam Proton Sayısı	29.67×10^{11}

Demet gaz etkileşmesi üç değişik şekilde planlanmıştır. Her iki yöndeki 48 demetten, 6 tanesi gaz içinde birbiri ile çarpıştırılarak, demet-demet (bb) çarpışması sonuçları LHCb detektörü tarafından kaydedilmiştir. Demetlerdeki proton yoğunluğu, gaz içindeki nükleon yoğunluğundan çok daha yüksek olduğundan, proton-proton çarpışması, proton-gaz çarpışmasından çok daha etkindir.

Geri kalan 42 demet, demet-gaz (be) ve gaz-demet (eb) şeklinde gaz içinde bulunan nükleonlar ile çarpıştırılmıştır ve sonuçlar kaydedilmiştir. Kaydedilen veriler her demet için ve demetin her çarpışması için bütün detayları içermektedir. Hatta ikincil ve bütün arkadan gelen parazitik demetler için de bu kayıtlar mevcuttur.

Kaydedilen demet gaz etkileşme verileri bütün LHCb alt detektörler tarafından üretilen sinyalleri içermektedir. Ancak bu çalışma için gerekli olan veriler daha çok VELO alt dedektörü tarafından üretilmektedir. Bu yüzden bütün alt dedektör bilgilerini analiz için almak yerine, sadece bu çalışma için gerekli olanlar ayıklanmıştır.

LHCb deney verileri, ilk kaydedildiği anda ham veri olup, LHCb dedektör geometrisini içine alan ve verileri kalibrasyon verileri ile fiziksel bir büyüklük haline getiren deneye özel yazılım ile işlenmiştir. Ayrıca elde edilen bütün alt dedektör sinyalleri bu yazılım ile birleştirilip, her alt detektöre özel parçacık iz bilgileri elde edilmiştir. Bunlara ek olarak her iz için alt dedektörler tarafından sağlanan momentum, parçacığın yükü, enerjisi ve tipi gibi bilgiler bu yazılım tarafından işlenen ham veri sonucu ayrı bir veri formatında, kaydedilmiştir. Ham veri işleme, veri alımından çok sonra, ayrıca planlanan bir zaman diliminde çevrim dışı olarak yapılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan veri, çalışmaya özel ve c++, python karışımı bir yazılımla, çevrim dışı işlenen veriden, metin formatında dışarı alınmıştır. Daha önce de belirtildiği gibi sadece çalışma için gerekli olan ve çoğunluğu VELO alt dedektörü tarafından sağlanan verilerdir.

Her demet için farklı bir metin dosyası oluşturulmuştur. Metin dosyalarındaki her satır, o demet için tek geçişine ait çarpışma bilgilerini içerir. Bu dosyalar

ortalama olarak her demet için yaklaşık 700000 çarpışma verisini içermektedir. Ayrıca LHC hızlandırıcı tarafından deneye sağlanan, çarpışma zamanı, magnet parametreleri gibi bilgileri de içerir. Metin dosyasında sağlanan bilgilerin bazıları Tablo 4.2’de listelenmiştir.

Tablo 4.2. Her demet için oluşturulan metin dosyasından, demet 1 ve demet 2 için örnek bir satır

	Demet 1	Demet 2
Run	112867	112867
Zaman (μ s)	74971905	74971905
Olay Numarası	68939	52582
Demet Numarası	1	211
Verteks Sayısı	1	1
İz Sayısı	15	17
Birincil Verteks x	0.831426	0.773762
Birincil Verteks y	-0.020599	-0.006358
Birincil Verteks z	-681.077209	458.424563

Metin dosyalarında yer alan ilk bilgi run değeridir. Run değeri dedektör için özgün bir değerdir. Ne sebeple olursa olsun, dedektör durdurulup tekrar çalışmaya başladığında aynı run değeri ile çalışmaya devam etmemektedir. Run değeri her defasında bir artmaktadır. Metin dosyalarının tamamı analiz edildiğinde 2520 dolum numarasına ait verilerde 112867, 112868, 112870 olmak üzere 3 farklı run değerleri bulunmaktadır.

Metin dosyaları içerisinde yer alan ikinci bilgi ise GPS zaman bilgisidir. Bu bilgi, her halka için bulunan 48 adet demetin tam çarpışma noktasından geçtiğinde ölçülen süredir. Kaydedilen zamanın hassasiyeti nano saniye seviyesinde olmakla birlikte, dosyaya micro saniye mertebesindeki bir hassasiyetle aktarılmıştır.

Tablo 4.2’de yer alan üçüncü bilgi olan olay numarası, dedektör çalışmaya başladığında aldığı run değeri içerisinde olan her çarpışmanın aldığı numara bilgisidir. Olay numarası her run için 1 den başlayıp, birer birer artmaktadır. O run için olay numaraları özgündür.

Hızlandırıcı içerisindeki her demetin özgün demet numarası vardır. Bu çalışma için halka 1 ve halka 2’den birer tane olmak üzere, dolu olan ve birbiriyle çarpışmayan iki demet seçilmiştir. Saat yönünde hızlandırılan demetin numarası 1 iken, saat yönünün tersinde hızlandırılan demetin numarası 211’dir. Verinin ayıklanması bölümünde yapılacak olan incelemeler bu iki demet için geçerlidir.

Tablo 4.2’de verilen x , y ve z koordinatları, elde edilen verteksler içinde, birincil verteks olarak tanımlanan verteksin koordinatlarıdır.

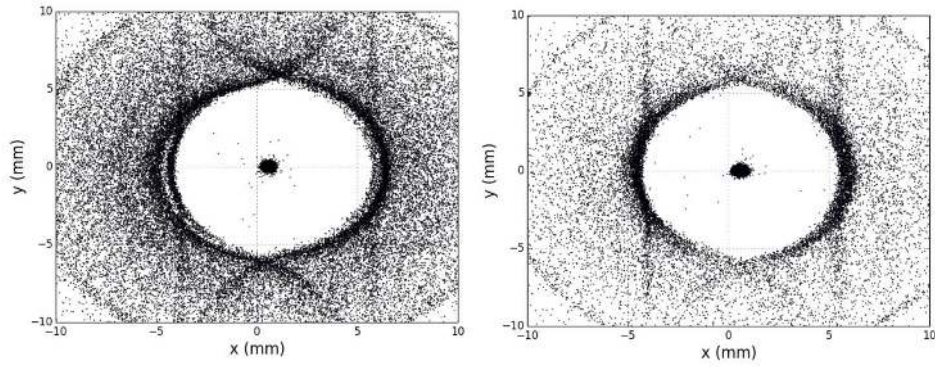
Bu tezde sadece dolum numarası 2520 olan proton demetleri incelenmiştir. Bunlara ek olarak, aynı test süresinde alınmış ve farklı dolum numaraları olan veriler de mevcuttur. Ancak hem 2520’deki verilerin bu çalışma kapsamı için yeterli olması, hem de bu büyüklükteki bir veriyi işleyebilmek için gereken bilgisayar kapasitesinin çok yüksek olması, diğer verilerin incelenmesini zor ve gereksiz kılmaktadır.

4.2. Verinin Ayıklanması

Birinci ve ikinci hızlandırıcı halkasından seçilen demetler birbirinden bağımsız olarak analize tabii tutuldu. Seçilen her iki demet de demet-gaz etkileşmesi yapan demetlerdir. Hızlandırıcı halkalarının her ikisi de birbirinden bağımsız magnet parametreleri kullandıkları için, her halkada oluşturulan demetler dolayısıyla farklı demet parametrelerine sahip olabilir ama değerlerin birbirine yakın olması beklenmektedir. Ayrıca LHCb deneyi çarpışma noktasına göre anti-simetrik şekilde tasarlanmıştır. Yani saat yönündeki halkadan gelen protonların gördüğü dedektör kısımları ile saat yönünün tersi yönden gelen protonların gördüğü dedektör kısımları farklıdır.

4.2.1. VELO Ekipmanındaki Hadronik Etkileşmeler

İlk olarak proton nükleon çarpışması sonucu oluştuğu varsayılan ve VELO alt dedektörü tarafından yeri bulunan birincil çarpışma vertekslerinin pozisyon dağılımı incelenmiştir. VELO tarafından yapılan verteks tanımında, bu vertekse ait minimum 5 parçacık izinin olması gerekmektedir. Oysa proton-gaz etkileşmelerinin küçük bir kısmında bu sayıda parçacık izi oluşturmamaktadır. Bu durumda ilk çarpışmadan çıkan hadronların VELO destek yapıları ile etkileşmesi birincil verteks gibi algılanabilmektedir. Veri alımı sırasında, zaman darlığı yüzünden veri ayıklamak mümkün olmadığından, bu tür veriler de kaydedilmektedir. Bu türden çarpışma bilgilerinin veri içindeki oranı yaklaşık %10 civarındadır.



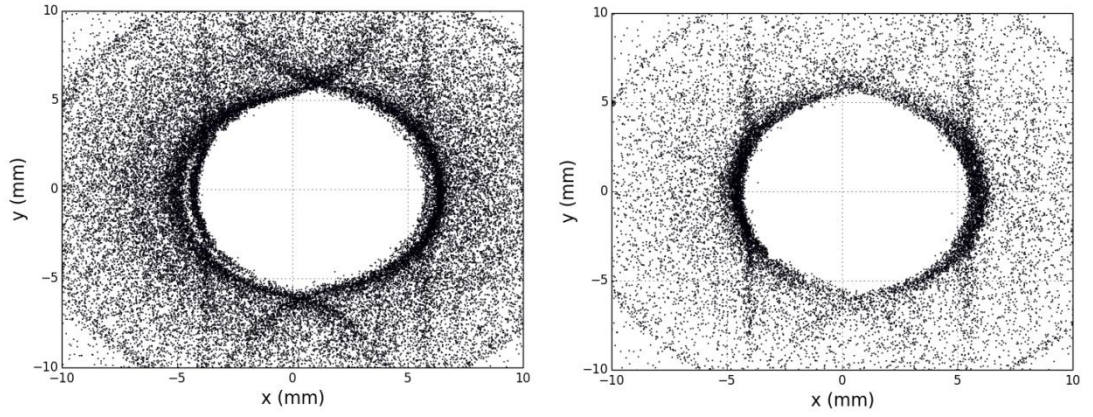
Şekil 4.1. Sırasıyla demet 1 (sol) ve demet 2 (sağ) için kesme yapılmadan önceki verteks dağılımları

Seçilen demetlerin verteks dağılımları Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Şeklin merkezinde oluşan çarpışmalar proton-gaz etkileşmeleridir. Diğer verteks noktaları, yukarıda bahsedilen hadronların VELO ekipmanlarıyla etkileşmesi sonucu oluşan vertekslerdir. Malzeme olarak yoğunluğu yüksek olan kısımlarda daha fazla hadron etkileşmesi kaydedilmiştir.

Bu türden veriler xy-düzleminde veri koordinatlarına kesme koyarak dışlanmıştır. Kesmenin boyutları bütün merkez etkileşmelerini içerecek şekilde ayarlanmıştır. Uygulan kesmeler Tablo 4.3’de gösterilmiştir. Yapılan kesmeler sonucu dışlanan veriler Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Bundan sonra yapılan bütün analizler, bu değerler ile sınırlanan veriler ile yapılmıştır.

Tablo 4.3. Demet 1 ve demet 2 için uygulanan kesme değerleri

Demet 1 (mm)	Demet 2 (mm)
$0.2 \leq x \leq 1.0$	$0.2 \leq x \leq 1.0$
$-0.4 \leq y \leq 0.4$	$-0.4 \leq y \leq 0.4$
$-1500 \leq z \leq 500$	$-150 \leq z \leq 2000$



Şekil 4.2. Sırasıyla demet 1 (sol) ve demet 2 (sağ) için kesme yapılararak dışlanan veriler

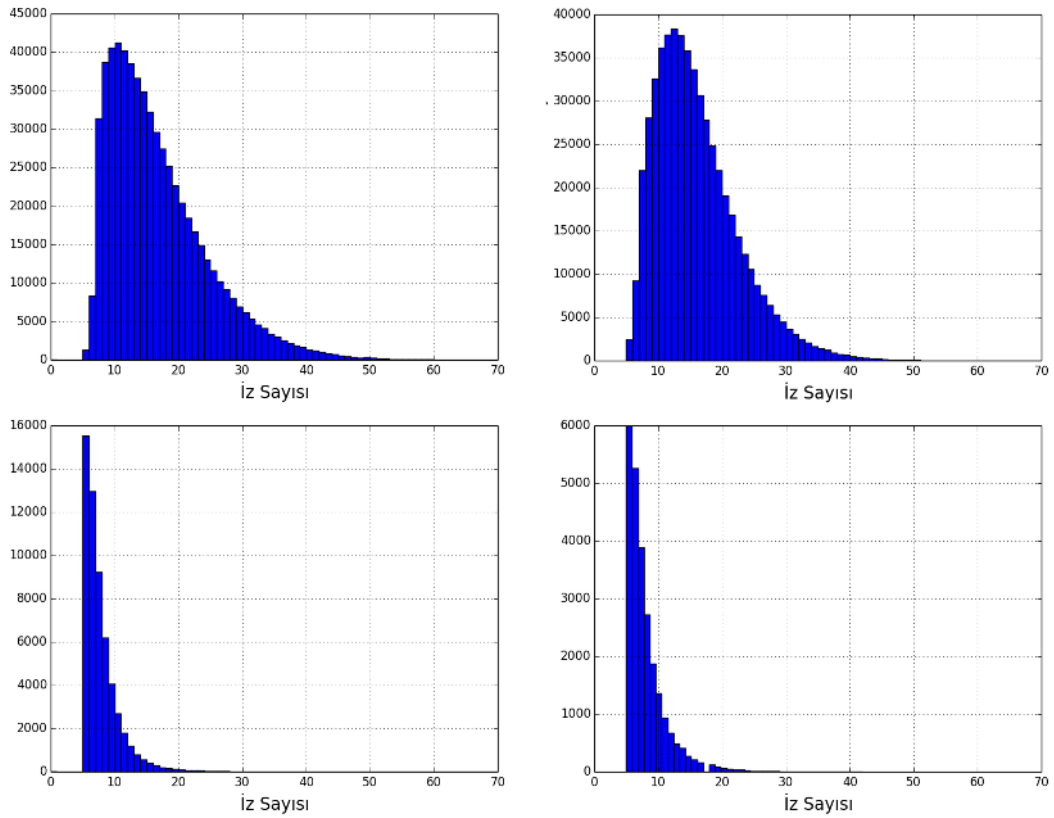
4.2.2. Verteks İz Sayısı

VELO ekipmanları ile çarpışan hadronların oluşturduğu ikincil parçacıkları ayıklamak için kesme değerleri kullanılmış ve bunun sonucunda demet hattındaki birincil çarpışmalar ile demet hattı dışında kalan hadronik çarpışmalar birbirinden ayrıştırılmıştır.

Kesme değerlerinin kullanım gerekliliğini destekleyen bir diğer unsur, birincil vertekse bağlı iz sayılarının incelenmesidir. VELO izlerini analiz eden yazılımda, bir verteksin oluşabilmesi için gereken toplam iz sayısı minimum 5 olarak tanımlanmıştır. Çünkü demetteki protonlar çok yüksek enerjilerde olduklarından,

proton-nükleon çarpışmalarından çıkan ikincil parçacıkların sayısı çoktur. Oysa bu çarpışmalardan çıkan ikincil hadronların enerjileri daha az olduğundan, VELO dedektör ekipmanı ile yapacağı çarpışma sonucu çıkan üçüncül parçacıkların sayısı, birincile göre çok daha düşüktür. Bu öngörü Şekil 4.3 tarafından desteklenmektedir.

Aynı zamanda, VELO dedektöründen kullanılan malzemelerin özellikle hafif olmasına dikkat edilerek, hadron VELO ekipmanı etkileşmesi minimuma indirilmiştir. Ayrıca hafif malzeme seçimi, ikincil parçacıkların çoklu saçılmaya uğrayarak yönünün değişmesi minimuma indirmiş ve dolayısı ile iz ve verteks oluşturma yazılımının verimli çalışmasına olanak tanımıştır.

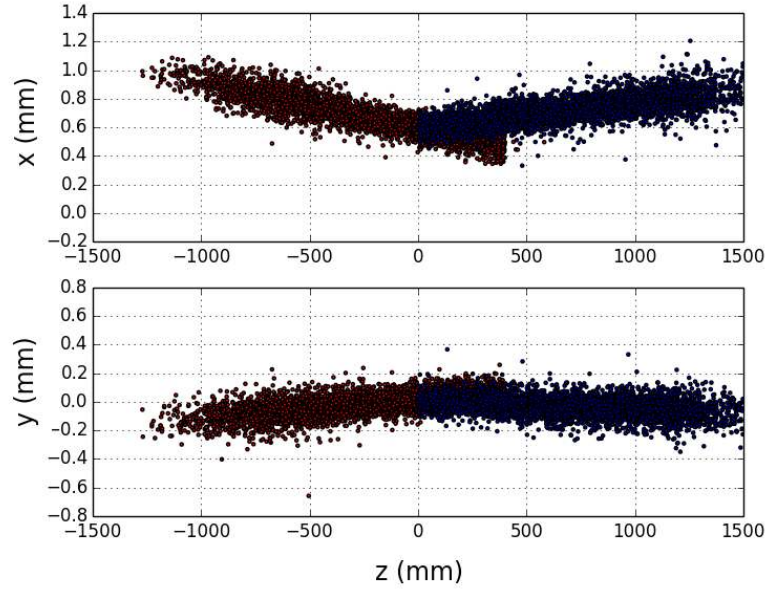


Şekil 4.3. Sırasıyla demet 1 (sol) ve demet 2 (sağ), birincil çarpışmalar (üst) ve hadronik etkileşmeler (alt) için, vertekslere ait iz sayısı

4.2.3. Geçiş Açısı Düzeltmeleri

LHCb dedektörüne saat yönünün tersinden giriş yapan demet 2 ilk olarak VELO alt dedektörü ile karşılaşmaktadır. Saat yönünde gelen demet 1 ise LHCb'nin

en sonundan başlayarak, merkezinde yer alan LHC tüpünün içinden, bütün dedektörü boydan boya geçmektedir. Yukarıda da bahsedildiği üzere, demet 1'in demet gaz etkileşmesi (be), demet 2'nin ise (eb) olarak adlandırılmıştır. Demet 1 ve demet 2 için analiz edilen metin dosyası içerisinde yer alan verteks dağılımları, yukarıdaki kesme değerleri uygulanarak Şekil 4.4'de birlikte gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Demet 1 ve demet 2'ye ait verteks dağılımları. Kırmızı noktalar (sol) demet 1'i ve mavi noktalar (sağ) demet 2'yi göstermektedir.

Şekil 4.4'de demet 1'e ait dağılımlar grafiğin sol tarafında kırmızı noktalar ile, demet 2'ye ait olanlar ise sağ tarafında, mavi noktalar ile gösterilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü üzere, hem demet 1 hem de demet 2 xz -düzleminde belirgin bir açı ile gelmektedir. Bu açı yz -düzleminde ise sıfıra yakındır. Demetlerin küçük açılarla çarpıştırılmasının arkasındaki sebepler, lüminosite bölümünde açıklanmıştır.

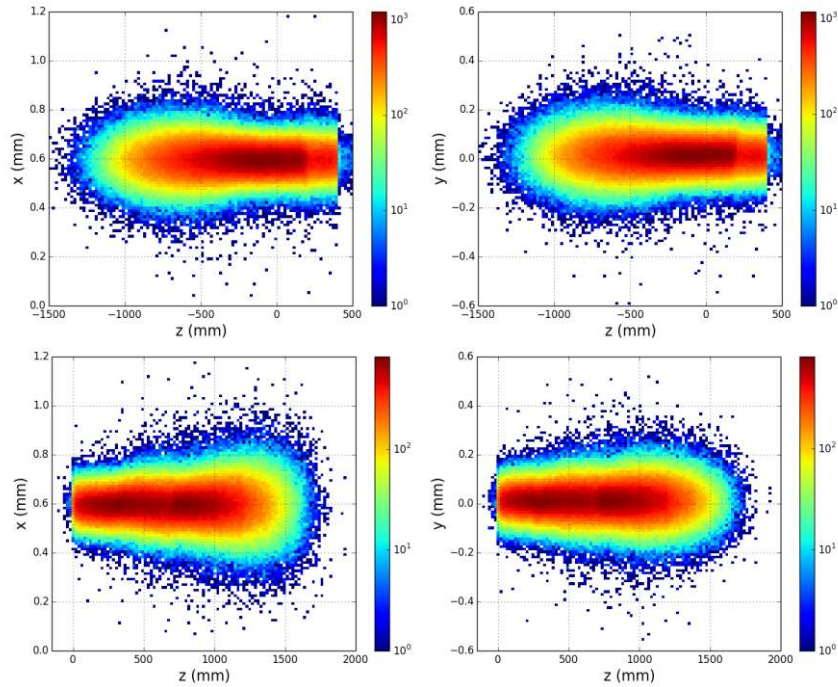
Demetlerin dedektör içerisine geliş açılarını hesaplayabilmek için Şekil 4.4'de yer alan demetler ayrı ayrı incelenmiştir. İncelenen demetin oluşturduğu verteks noktalarının yoğunluğunu dikkate alacak bir fonksiyon eğrisi bulmak için en küçük kareler metodu kullanılmıştır. Uygulanan metot sayesinde, verteks yoğunluk noktalarına en uygun lineer fit bulunarak demet geçiş açısının mümkün olduğunca en

doğru şekilde hesaplanması amaçlanmıştır. Hesaplanan eğim değeri demetlerin yarım geçiş açısına eşittir. Ölçülen yarım açı değerleri Tablo 4.4’de gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Demet 1 ve demet 2 için ölçülen yarım açı değerleri

Düzlem	Demet 1 (μRad)	Demet 2 (μRad)
xz	-324	175
yz	-137	-61

Ölçülen yarım açı değerleri kullanılarak, demet 1 ve 2’deki verteks koordinatlarında, bahsedilen düzlemler üzerinde döndürme uygulanarak düzeltme yapılmıştır. Düzeltmenin sebebi, proton demetlerinin xz ve yz -düzleminde yayılım bilgilerinin doğru olarak ölçülebilmesidir. Döndürme için uygulanan formüller lüminosite bölümünde detaylı olarak açıklanmıştır. Düzeltme sonrası verteks dağılımları Şekil 4.5’de gösterilmiştir.

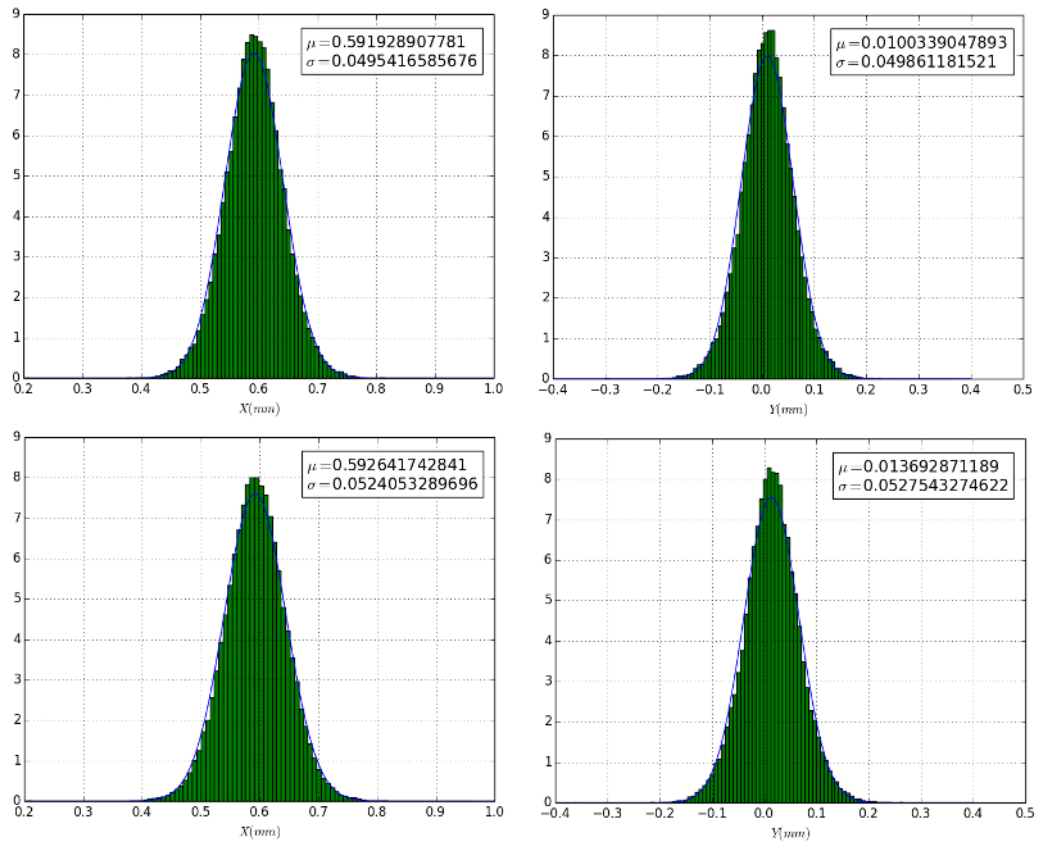


Şekil 4.5. Demet 1 (üst) ve demet 2 (alt) için, geçiş açısı düzeltmesi sonrası verteks dağılımları

4.3. Bulgular

4.3.1. Çarpışma Yoğunluğu

Daha önce de bahsedildiği gibi, protonların, gaz atomlarındaki nükleonlar ile çarpışma yoğunlukları, direkt olarak demetlerin içindeki proton yoğunlukları ile doğru orantılıdır. Demet içerisinde protonların dağılımının gaussian olduğu bilinmektedir. Bu yüzden örtüşme integralini kullanarak lüminosite hesabının yapılabilmesi için, demetlerin gaussian dağılım parametrelerine ihtiyaç vardır. Bu parametreler iki tanedir. Bunlardan biri ortalama (μ) değeri, diğeri varyansın karekök (σ) değeridir. Ortalama değeri ile demetin konum bilgisini, varyans değerinin karekökü ile demetin yayılımı bulunur.



Şekil 4.6. Demet 1 (üst) ve demet 2 (alt) için x ve y-eksenlerindeki verteks dağılımları

Şekil 4.6’da demet 1 ve 2’nin verteks dağılımları gösterilmiştir. Dağılımlar için sadece demetlerin çarpışma noktası yakınındaki verteksler kullanılmıştır. Hourglass etkisi yüzünden, çarpışma noktasından uzaklaştıkça yayılım artmaktadır.

Dağılımlar gaussian fonksiyonuna fit edilerek, aranan parametreler elde edilmiştir. Fit parametreleri Tablo 4.5’de listelenmiştir. Lüminosite bölümündeki varsayıma uygun olarak, her iki demet ve her iki düzlem için, hata payları göz önüne alındığında, yayınının varyans değerleri yaklaşık olarak birbirne eşittir.

Tablo 4.5. Demet 1 ve demet 2 için ölçülen yayılım parametreleri

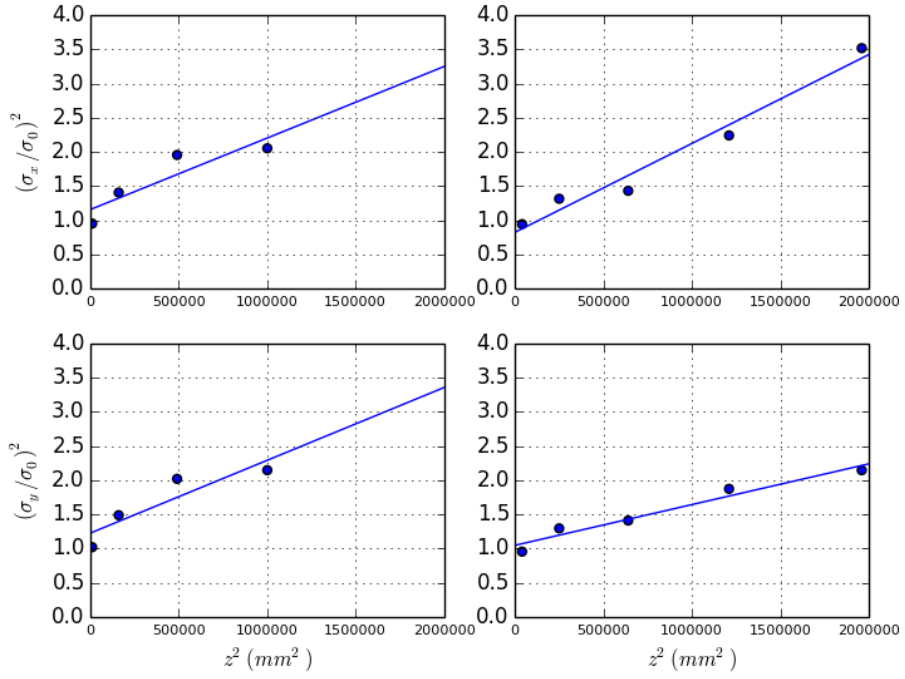
Eksen	Demet 1		Demet 2	
	μ (mm)	σ (μ m)	μ (mm)	σ (μ m)
x	0.59	50.0	0.59	52.0
y	0.01	50.0	0.013	53.0

4.3.2. Hourglass Ölçümü

Lüminosite başlığında yer alan hourglass etkisi bölümünde bahsedildiği üzere, çarpışma noktasına gelen demetlerin enlemsel yayınımları, çarpışma noktasına yaklaştıkça azalmaktadır. Odaklayıcı magnetler sayesinde demetler çarpışma noktasına odaklanarak içlerinde yer alan protonların yoğunluğu artırılır. Böylece demet boyutu küçültülmüş ve lüminosite arttırılmış olur.

Çarpışma yoğunluğunun hesaplanmasıyla elde edilen demetlerin x ve y -eksenlerindeki yayılım verileri hourglass hesaplamasında kullanılabilir. Bunun için (3.21) bağıntısı, (4.1) şekline dönüştürülmüştür. Dolayısıyla çizilecek olan yayılım oranına göre z^2 grafiğinin eğimi bize $(1/\beta^{*2})$ değerini verecektir.

$$\frac{\sigma_{x,y}^2}{\sigma_{x,y}^{2*}} = 1 + \left(\frac{1}{\beta^{*2}}\right) z^2 \quad (4.1)$$



Şekil 4.7. Demet 1 (sol) ve demet 2 (sağ) için x ve y -eksenlerindeki yayılım oranlarının z^2 'ye göre değişimi

Elde edilen grafikler Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Demet 2'den elde edilen grafikler, demet 1'e göre daha lineer bir tavır göstermektedir. Grafik eğimlerinden hesaplanan β^* değerleri Tablo 4.6'de listelenmiştir.

Tablo 4.6. Demet 1 ve demet 2 için ölçülen β^* değerleri

Eksen	Demet 1 $\beta^* (m)$	Demet 2 $\beta^* (m)$
x	1.0	1.0
y	1.0	1.3

4.3.3. Toplam Lüminosite

İlk olarak lüminosite bölümünde detayları gösterilen (3.9) numaralı denklem kullanılarak L_0 değeri hesaplandı. Demet yayılım değeri olarak, her iki demetin, her iki eksenindeki yayılım değerlerinin aynı olduğunu varsayarak $\sigma = 50 \mu m$ değeri

kullanıldı. Tablo 4.5'den de görüleceği üzeri, hata payları da göz önüne alındığında, bu varsayım kabul edilebilir durumdadır.

LHC istatistik değerlerine göre, 2012 yılı boyunca LHC hızlandırıcısının kesintisiz çalışma süresi 6395946 saniyedir. Ayrıca demet başına düşen ortalama proton miktarı, arkadan gelen parazitik demetlerdeki proton miktarları çıkarıldığında, yaklaşık 1.3×10^{11} olarak ölçülmüştür. LHCb deneyi için ortalama çarpışan demet sayısı da 1044'tür. LHC hızlandırıcısındaki demetlerin dolanım frekansı da nominal olarak 11245'tir. Bu değerler kullanıldığında,

$$L_0 = 4.0 \text{ fb}^{-1}$$

olarak hesaplanmıştır. S faktörü, Tablo 4.4'deki değerler ve denklem (3.14) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamada $\sigma_s \gg \sigma_{x,y}$ olduğu varsayılmış ve $\sigma_s = 7.7 \text{ cm}$ nominal LHC değeri [12] kullanılmıştır. İki demetin arasındaki açı $236 \mu\text{Rad}$ olduğu düşünüldüğünde, $S \cong 1$ olarak hesaplanmıştır. Demetlerin çarpışma açılarının düşük tutulmasının sebebi de lüminositede oluşacak kayıpları önlemektir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çarpışma yoğunluğu bölümünde yapılan çalışmalar, dağılımların Gaussian olduğu varsayımı üzerine kurgulanmıştır. Grafikler dikkatli bir şekilde analiz edildiğinde bu dağılımların tam Gaussian değil double-Gaussian olduğu gözlenebilir. Bu LHCb lüminosite grubu bünyesinde yapılan detaylı çalışmalar ile ispatlanmış ve literatürde yayınlanmıştır [15]. Bu gözlem yıllardır hızlandırıcı çevreleri tarafından kabul gören önemli bir ezberi değiştirmiştir. Double-Gaussian yaklaşımı lüminosite denklemlerini çok karmaşıklaştırdığı için bu çalışmanın dışında tutulmuştur. Ayrıca bu etkinin toplam lüminosite üzerine etkisi sınırlıdır.

Tablo 4.5’de elde edilen yayının değerleri, demet gaz etkileşmesi ölçümleri yapılırkenki LHC parametrelerini içermektedir. Bu parametreler her LHC dolumunda farklılıklar gösterebilmektedir. Ancak demet yoğunluğunun belirlenmesi ve şeklinin çıkarılması açısından önemlidir.

Hourglass etkisi hesaplamalarında kullandığımız yöntemle elde edilen β^* parametreleri Tablo 4.6’de listelenmiştir. Sonuçlar 1 m civarındadır. Oysa 2520 numaralı LHC dolum parametreleri, bu değeri LHCb deneyi için 3 m olarak vermektedir. Bu gerçek VELO dedektöründen elde edilen çarpışma yoğunluğunun, z koordinat bağımlılığının bu ölçüm için yeterince hassas olmadığını göstermiştir.

Hesaplanan toplam lüminosite değeri LHCb tarafından rapor edilen $L_0 = 2.2 \text{ fb}^{-1}$ değerinden çok yüksektir. Bunun sebeplerinden bir tanesi LHCb dedektörünün tasarım kapasitesi gereği düşük lüminosite ile çalışmasıdır. Başka bir deyişle LHCb deneyi, LHC tarafından sağlanan lüminositenin hepsini kullanmamaktadır. Bu koşul LHCb deneyine yaklaşan demetlerin yayınının değiştirilmesi ile gerçekleşmektedir. LHC istatistik sayfasından alınan ortalama $\sigma_x = 205 \mu\text{m}$, $\sigma_y = 87 \mu\text{m}$ değerleri kullanıldığında toplam lüminosite $L_0 = 0.6 \text{ fb}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Buradan da anlaşılacağı üzere lüminosite değeri demet parametrelerine çok hassas bir şekilde bağlıdır. Tam değer ancak bütün parametrelerin her saniye bilinmesi ile hesaplanabilir.

Ayrıca her LHC proton dolumunda yayının parametreleri değişebilmektedir. Bu parametreler, LHC hızlandırıcısındaki magnetlerin durumlarına göre de dolum dahilinde, zaman içinde de değişiklik gösterebilmektedir. Bunların yanı sıra demetlerdeki proton sayısı ve LHC hızlandırıcısındaki çarpışan demet sayısı gibi parametrelerde her dolumda değişebilmektedir. Bütün bunlar göz önüne alındığında, kesin bir toplam lüminosite hesabı ancak bu verilerin her saniye için elde edilmesi ile mümkündür. Bu da bu çalışmanın imkanları ve amacı dışındadır.

KAYNAKLAR

- [1] Bailey, R., An Application for Research – the Large Hadron Collider, CERN, Geneva, Switzerland, 2012.
- [2] Scrivens ve ark., Overview of The Status and Developments on Primary Ion, Proceedings of IPAC2011, San Sebastián, Spain, 2011.
- [3] Hill, E., Performance of the CERN Linac 2 with a high intensity proton RFQ, 17th International Linac Conference, Tsukuba, Japan, 1994.
- [4] Mikulec, B., Tune Spread Studies at Injection Energies for the CERN Proton Synchrotron Booster, Proceedings of HB2012, Beijing, China, 2012.
- [5] Manglunki, D., Fifty years of the CERN Proton Synchrotron Volume I, Creative Commons Attribution 3.0, Geneva, 2011.
- [6] T. L. S. Group, LHC Conceptual Design, CERN, Geneva, 1995.
- [7] L. Collaboration, The LHCb Detector at the LHC, JINST, p. 3, 2008.
- [8] Lamont, M., Status of the LHC, Kruger2012, CERN, Geneva, Switzerland, 2013.
- [9] White, M., First Luminosity Scans in the LHC, Proceedings of IPAC'10, Kyoto, Japan, 2010.
- [10] T. L. Collaboration, Absolute luminosity measurements with the LHCb detector at the LHC, JINST, 2012.
- [11] Furman, M., The Møller Luminosity Factor, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 2003.
- [12] Muratori, B., Concept of luminosity, CERN, Geneva, Switzerland, 2006.
- [13] Barschel, C., Precision luminosity measurement at LHCb with beam-gas imaging, Brockville, Kanada, 2014.
- [14] Hopchev, P., Absolute luminosity measurements at LHCb, CERN, 2011.
- [15] T. L. collaboration, Precision luminosity measurements at LHCb, JINST , no. 9, 2014.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Meltem ORUÇOĞLU

Doğum Yeri ve Yılı : Uşak, 1990

Medeni Hali : Bekâr

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : orucoglumeltem@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Uşak Yabancı Dil Ağırlıklı Anadolu Lisesi, 2004-2008

Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Fizik Bölümü, 2008-2012