

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Türk Hızlandırıcı Merkezi Sinkrotron Işınım Kaynağında
Enerji Öteleyiciden (Booster) Ana Depolama Halkasına
Demet İletim Hattı Tasarımı

Cafer BAYAR

AĞUSTOS 2011

ÖZET

TÜRK HIZLANDIRICI MERKEZİ SİNKROTRON IŞINIM KAYNAĞINDA ENERJİ ÖTELEYİCİDEN (BOOSTER) ANA DEPOLAMA HALKASINA DEMET İLETİM HATTI TASARIMI

BAYAR, Cafer

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Abdullah AYDIN

Ortak Danışman: Prof. Dr. Abbas Kenan ÇİFTÇİ

Ağustos 2011, 67 sayfa

Enerji öteleyici halkada hızlandırılan parçacıkların ana depolama halkasına aktarımı demet iletim hattı vasıtasıyla yapılmaktadır. Hızlandırılan parçacıkların ana depolama halkasında amacına uygun şekilde kullanılabilmesi için uygun bir demet iletim hattıyla aktarılması gerekir. Bu tez çalışmasında Türk Hızlandırıcı Merkezi (THM) Sinkrotron Işınım Kaynağı için enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı tasarımı yapılmıştır. Enerji öteleyici tasarımında küçük (ana depolama halkası ile farklı tünelde) ve büyük yarıçaplı (ana depolama halka ile aynı tünelde) halka olmak üzere iki seçenek üzerinde durulmuştur. Buna bağlı olarak küçük ve büyük yarıçaplı enerji öteleyici çıkış ve ana depolama halkası giriş değerleri kullanılarak iki farklı demet iletim hattı tasarımı yapılmıştır. Demet iletim hattı boyunca beta fonksiyonlarının maksimum değerinin 60 metrenin altında

tutulması ve dispersiyon fonksiyonunun maksimum değerinin 1 metrenin altında kalması göz önünde bulundurulmuştur. Demet iletim hattı sonunda, ana depolama halkası giriş değerleri birebir eşleştirilmiştir. Demet iletim hattı boyunca demet boyu, diğer merkezlerle karşılaştırılmış ve THM demet iletim hattı için yapılan tasarımın gerçekliği gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Türk Hızlandırıcı Merkezi, Demet İletim Hattı, Enjeksiyon, Demet Boyu, Optik Fonksiyonlar, Enerji Öteleyici Halka, Ana Depolama Halkası, Septum Mıknatıs, Kicker Mıknatıs, Twiss Parametreleri,

ABSTRACT

DESIGN OF THE TRANSFER LINE FROM BOOSTER TO STORAGE RING AT
THE SYNCHROTRON RADIATION OF
TURKISH ACCELERATOR CENTER

BAYAR, Cafer

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics, M. Sc. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Abdullah AYDIN

Co-supervisor: Prof. Dr. Abbas Kenan ÇİFTÇİ

August 2011, 67 pages

The particles accelerated in energy booster ring are transferred to storage ring via beam transfer line which should be chosen according to usage purpose of accelerated particles. In this thesis, transfer line from booster to storage ring for Turkish Accelerator Center (TAC) synchrotron radiation source was designed. It is considered on two type design, the first one is compact booster, the second design is sharing same tunnel with the storage ring. In accordance with these two designs by using values for extraction point of compact booster and the larger booster, which shares the same tunnel with storage ring and, the values for injection point of storage ring, two transfer lines were designed. Through the transfer line the beta functions are kept below 60 meters and the maximum value of dispersion functions are kept 1 meter. At the end of the transfer line, the injection value of the storage ring was

matched exactly. During the transfer line, beam size was compared with some of the centers and the reability of the TAC transfer line design is seen.

Key Words: Turkish Accelerator Center, Transfer Line, Injection, Beam Size, Optic Functions, Booster, Storage Ring, Septum Magnet, Kicker Magnet, Twiss Parameters,

TEŐEKKÖR

Bu çalışmada bana her konuda destek olan ve eősiz yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Abbas Kenan ÇİFTÇİ'ye, danışman hocam Doç. Dr. Abdullah AYDIN'a, yardımları için değerli arkadaőım Kahraman ZENGİN'e ve değerli aileme çok teőekkÖr ederim.

Bu tez alıőması, DPT2006K-120470 No'lu "TÖrk Hızlandırıcı Merkezinin Teknik Tasarımı ve Test Laboratuvarları" isimli Yaygınlaőtırılmıő Ulusal ve Uluslararası Projesi (YUUP) tarafından desteklendi.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER DİZİNİ	xiii
1.GİRİŞ	1
2.KURAMSAL TEMELLER	2
2.1 Koordinat Sistemi	2
2.2. Parçacık Demetinin Yönlendirilmesi	3
2.3. Dipol Mıknatıslar	5
2.4. Kuadropol Mıknatıslar	7
2.5. Kicker Mıknatıslar	9
2.6. Septum Mıknatıslar	11
2.6.1. Elektrostatik Septum.....	12
2.6.2. Manyetik Septum.....	13
2.6.3. Septum Mıknatısında İzolasyon ve Soğutma.....	16
2.7. Hareket Denklemleri	17
2.8. Çizgisel Hareket Denklemi ve Çözümü.....	21
2.9. Dönüşüm Matrisleri	23
2.9.1. Düz Bölge	23
2.9.2. Kuadropol Mıknatıs	24
2.9.3. Dipol Mıknatıs	26

2.9.4. Demet İletim Hattı	28
2.10. Demet Yayını (Emitans) ve Twiss Parametreleri α, β, γ	29
2.11. Tedirginme (Perturbation) Terimleri	31
2.12. Dispersiyon Fonksiyonu	32
2.13. Demet Boyu	33
3. MATERYAL VE YÖNTEM	35
3.1. Türk Hızlandırıcı Merkezi Sinkrotron Işınım Kaynağı Ana Depolama Halkasına Genel Bakış	35
3.2. Türk Hızlandırıcı Merkezi Küçük ve Büyük Yarıçaplı Enerji Öteleyici Halkalarına Genel Bakış	37
3.2.1. Küçük Yarıçaplı Enerji Öteleyici Halka	37
3.2.2. Büyük Yarıçaplı Enerji Öteleyici Halka	39
3.3. Farklı Hızlandırıcı Merkezlerinde Demet İletim Hattı	41
3.3.1. CANDLE (Center for the Advancement of Natural Discoveries using Light Emission)	41
3.3.2. NSLS II (National Synchrotron Light Source II)	43
3.3.3. TPS (Taiwan Photon Source)	45
3.3.4. BESSY II	47
3.3.5. ALBA	48
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	50
4.1. Bulgular	50
4.1.1. Enerji Öteleyici-Ana Halka Arası Demet İletim Hattı Tasarımı	50
4.1.2. Küçük Yarıçaplı Enerji Öteleyici Halka Çıkış Parametreleri İçin Demet İletim Hattı Tasarımı	51
4.1.3. Büyük Yarıçaplı Enerji Öteleyici Halka Çıkış Parametreleri İçin Demet İletim Hattı Tasarımı	55
4.2. Tartışma	58
5. SONUÇLAR	60

KAYNAKLAR	62
EKLER	64
EK 1 TAC I Demet İletim Hattı OPA Dosyası	64
EK 2 TAC II Demet İletim Hattı OPA Dosyası	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Frenet-Serret koordinat sistemi	2
2.2. Bir dipol mıknatısın manyetik alanındaki parçacığın hareketi	4
2.3. Şematik olarak bir dipol mıknatısın görünümü.....	5
2.4. Uzunluğu l olan bir bükücü (dipol) mıknatıstaki parçacığın yörüngesi.....	6
2.5. Kuadrupol mıknatıstaki manyetik alan(sol) ve kuvvetler(sağ).....	7
2.6. Parçacıkların kuadrupoldaki kenar düzlem(sol) ve üstten (sağ) görüntüleri	8
2.7. Tipik C-tipi “kicker” mıknatıs	10
2.8. C-tipi (solda) ve “window frame” tipi (sağda) kicker mıknatıs aralığı.....	11
2.9. Elektrostatik septum.....	12
2.10. “Direc-drive DC septum” magnet.....	13
2.11. ”Direc drive pulse septum” mıknatıs	14
2.12. Eddy-current septum (sol) “return box” olmadığında , (sağ) “return box” varken.....	15
2.13. LHC (Large Hadron Collider) enjeksiyon demet iletim hattında kullanılan Lambertson Septum mıknatıs.....	16
2.14. İdeal septum mıknatıs; tek sarımlı bobin ile C-tipi kafes arası minimum boşluk	17
2.15. Sapma düzlemi.....	17
2.16. Parçacığın düz bölgede (sol) gerçek uzaydaki ve (sağ) faz uzayındaki hareketi	24
2.17. Parçacığın kuadrupolde (sol) gerçek uzaydaki ve (sağ) faz uzayındaki hareketi	26

2.18. Dikdörtgen dipol mıknatıs	27
2.19. Bir demet iletim hattı örneği	28
2.20. Faz uzayı elipsi.....	29
3.1. Türk hızlandırıcı merkezi ana depolama halkası	35
3.2. Türk Hızlandırıcı Merkezi küçük yarıçaplı enerji öteleyici halka	37
3.3. Türk Hızlandırıcı Merkezi büyük yarıçaplı enerji öteleyici halka	39
3.4. CANDLE enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı	41
3.5. CANDLE enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı optik fonksiyonları	42
3.6. CANDLE demet iletim hattı boyunca demet zarfı.....	43
3.7. NSLS II küçük yarıçaplı enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı.....	43
3.8. NSLS II büyük yarıçaplı enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı	44
3.9. NSLS II enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı optik fonksiyonları	44
3.10. NSLS II demet iletim hattı boyunca demet boyu.....	45
3.11. TPS enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı.....	45
3.12. TPS enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı optik fonksiyonları	46
3.13. TPS Demet iletim hattı boyunca demet boyu	46
3.14. BESSY II enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı	47
3.15. BESSY II enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı optik fonksiyonları	48
3.16. ALBA enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı.....	49
3.17. ALBA enerji öteleyici halkadan ana depolama halkasına demet iletim hattı optik fonksiyonları	49
3.18. ALBA demet iletim hattı boyunca demet boyu	49

4.1. Küçük yarıçaplı enerji öteleyici-ana halka arası demet iletim hattı şematik görünümü	51
4.2. Demet iletim hattı optik fonksiyonları	52
4.3. Küçük yarıçaplı enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı boyunca demet boyu	53
4.4. Büyük yarıçaplı enerji öteleyici-ana halka arası demet iletim hattı şematik görünümü	55
4.5. Demet iletim hattı optik fonksiyonları	55
4.6. Büyük yarıçaplı enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı boyunca demet boyu	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. THM Ana Depolama Halkası Parametreleri	36
3.2. Türk Hızlandırıcı Merkezi Küçük Yarıçaplı Enerji Öteleyici Halkası İçin Ana Parametreler	38
3.3. THM Büyük Yarıçaplı Enerji Öteleyici Halka İçin Ana Parametreler	40
3.4. CANDLE enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı başlangıç ve bitiş optik parametreleri	42
3.5. TPS enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı başlangıç, bitiş ve ana depolama halkası enjeksiyon noktası optik parametreleri... ..	47
4.1. Enerji öteleyici çıkış ve ana halka giriş değerleri	52
4.2. Enerji öteleyici-ana halka arası iletim hattı demet parametreleri	53
4.3. Demet iletim hattı optimize kuadropol güç değerleri	54
4.3. Demet iletim hattı kicker-septum-dipol mıknatıs değerleri	54
4.5. Enerji öteleyici çıkış ve ana halka giriş değerleri	56
4.6. Enerji öteleyici ana halka arası iletim hattı demet parametreleri.....	56
4.7. Demet iletim hattı optimize kuadropol güç değerleri	57
4.8. Demet iletim hattı kicker-septum-dipol mıknatıs değerleri	58
5.1. Demet iletim hattı çıkış ve ana halka giriş değerlerinin karşılaştırılması.....	60
5.2. TAC (Turkish Accelerator Center) Demet İletim Hattı Demet Boyunun Diğer Merkezlerle Karşılaştırılması	61

SİMGELER DİZİNİ

α, β, γ	Twiss parametreleri, optik fonksiyonlar
D, η	Dispersiyon fonksiyonu
ϵ	Emitans, yayınım
κ_x, κ_y	Yatay ve düşey eksenindeki eğrilik
σ	Demet boyu
κ	Parçacığın yerel eğrilik vektörü
k	Odaklama güç parametresi
ρ	Bükülme yarıçapı
θ	Bükme açısı
M	Dönüşüm matrisi
G	Green fonksiyonu
I	Mıknatısın akımı
Q_x, Q_y	Betatron ayarı
ξ_x, ξ_y	Doğal kromatiklik

1. GİRİŞ

Türk Hızlandırıcı Merkezi (THM) Sinkrotron Işınımı Halkasının ana görevlerinden biri elektronu oluşturmak ve bu elektronları 3 GeV'lik enerjiye hızlandırarak hızlandırılan elektron demetini enerji öteleyici halkadan ana depolama halkasına transfer etmektir.

THM'nin Sinkrotron Işınımı enjektör kısmı 4 ana elemandan oluşur. Bunlar:

“Pre-injektör” kısmı; kaynak(gun) ve doğrusal hızlandırıcı (linak);

Doğrusal hızlandırıcıdan enerji öteleyici halkaya demet iletim hattı;

Enerji öteleyici halka;

Enerji öteleyici halkadan ana depolama halkasına demet iletim hattı.

Türk Hızlandırıcı Merkezi'nin enerji öteleyici halkası için iki farklı tasarım yapılmıştır. Bunlardan birincisi küçük yarıçaplı (kompakt) enerji öteleyici halka tasarımıdır. İkincisi ise; ana depolama halkası ile aynı tünel içerisinde kurulabilen büyük yarıçaplı enerji öteleyici halka tasarımıdır.

Bu çalışmada; Türk Hızlandırıcı Merkezi Sinkrotron Işınımı enjektör kısmının son elemanı olan, enerji öteleyici halkadan ana depolama halkasına demet iletim hattı tasarımı yapılmıştır. Türk Hızlandırıcı Merkezi enerji öteleyici halkasının iki farklı tasarımından dolayı iki farklı iletim hattı tasarımı yapılmıştır. Bunlardan birincisinde küçük yarıçaplı enerji öteleyici çıkış parametreleri ve ana depolama halkası giriş parametreleri kullanılmıştır. İkincisinde ise; büyük yarıçaplı enerji öteleyici çıkış parametreleri ile ana depolama halkası giriş parametreleri kullanılmıştır. Enerji öteleyici halkalardan alınan çıkış parametreleri demet iletim hattı girişinde kullanılmıştır. Ana depolama halkasının girişinden alınan parametreler ise demet iletim hattı sonunda elde edilmeye çalışılmıştır. Buna ek olarak, demet iletim hattı boyunca demet boyunun kabul edilebilir ölçülerde kalması sağlanmıştır.

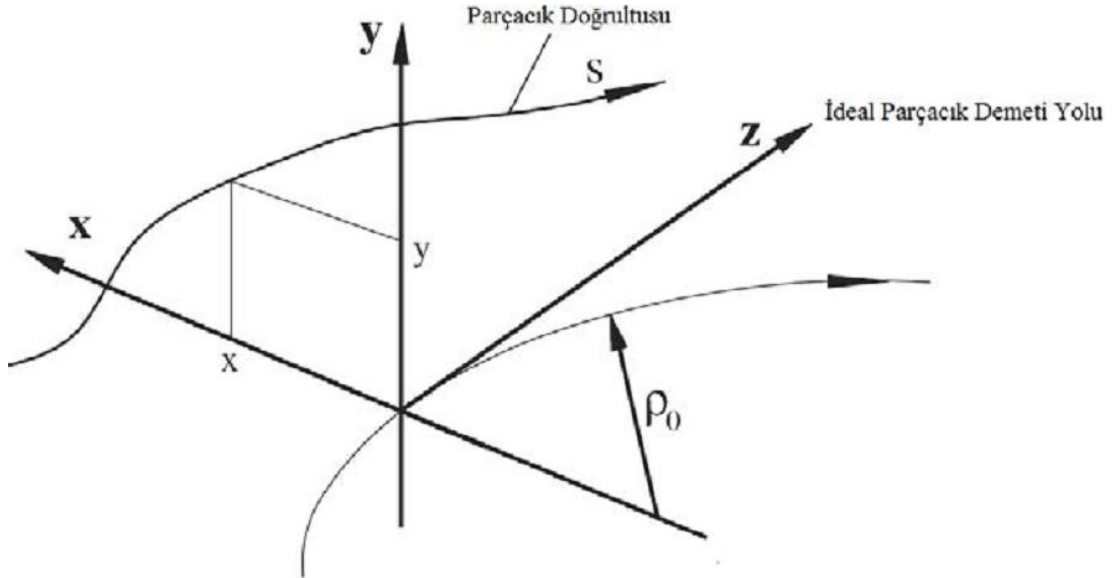
2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Koordinat Sistemi

Frenet-Serret koordinat sisteminde bir parçacığın yörüngesini şu şekilde tanımlayabiliriz:

$$\mathbf{r}(z) = \mathbf{r}_0(z) + \delta\mathbf{r}(z) \quad (2.1)$$

Burada; $\mathbf{r}_0(z)$ şekil 2.1 de gösterilen ideal parçacık demetinin izlediği yolu göstermektedir (Wiedemann, 2007). Sağdaki diğer terim ise parçacığın ideal yörüngeden ne kadar saptığını gösteren vektör olarak yorumlanabilir.



Şekil 2.1. Frenet-Serret koordinat sistemi (Wiedemann, 2007)

Frenet-Serret koordinat sistemi ideal yörünge ile parçacık yörüngesini temsil eden koordinat sistemidir. $\mathbf{r}_0(z)$ Yörüngesinde hareket eden parçacığın dik koordinat sistemini formalize etmek için üç tane vektör tanımlıyoruz.

$\mathbf{u}_x(z)$: Birim vektör; parçacık yörüngesi dik;

$\mathbf{u}_z(z) = \frac{dr_0(z)}{dz}$: Birim vektör; parçacık yörüngesine paralel;

$\mathbf{u}_y(z) = \mathbf{u}_z(z) \times \mathbf{u}_x(z)$: Birim “binormal” vektör;

Vektörlerin z 'ye göre değişimini $\mathbf{u}_z(z)$ 'ye bağlı olarak yazarsak;

$$\frac{d\mathbf{u}_x(z)}{dz} = \kappa_x \mathbf{u}_z(z) \quad (2.2)$$

ve

$$\frac{d\mathbf{u}_y(z)}{dz} = \kappa_y \mathbf{u}_z(z) \quad (2.3)$$

Burada; (κ_x, κ_y) sırasıyla yatay ve düşey eksenlerdeki eğriliktir. Parçacık yörüngesi;

$$\mathbf{r}(x, y, z) = \mathbf{r}_0(z) + x(z)\mathbf{u}_x(z) + y(z)\mathbf{u}_y(z) \quad (2.4)$$

İfadesi ile tanımlanır (Wiedemann, 2007).

2.2. Parçacık Demetinin Yönlendirilmesi

Yüklü bir parçacık eğer manyetik alan altında hareket ediyorsa ve bir \mathbf{v} hızına sahipse bu durumda parçacığın üzerine dış manyetik alan nedeniyle bir kuvvet etki eder. Bu kuvvet Lorentz kuvvetidir:

$$\mathbf{F} = e\mathbf{v} \times \mathbf{B} + e\mathbf{E} \quad (2.5)$$

Burada Lorentz kuvvetinin \mathbf{B} ve \mathbf{E} ye bağılı iki bileşeni vardır. Ancak bükme ve odaklama sadece manyetik alan ile yapılır.

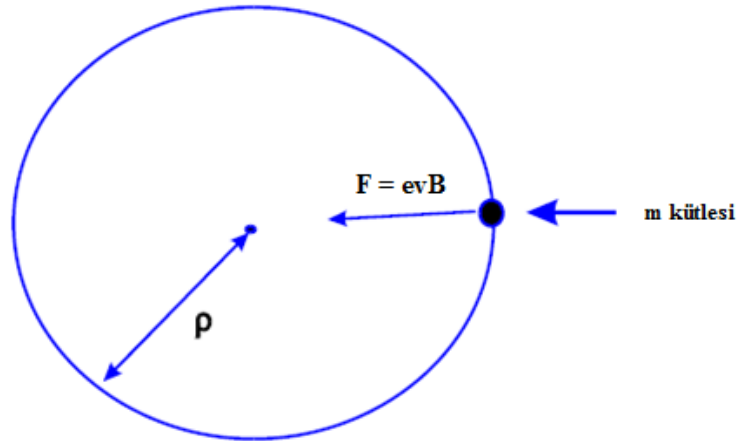
Bir cismin hız vektörüne bir dik kuvvet etki ettiğinde o cisim dairesel bir hareket yapar. Merkezci yörüngede hareket eden parçacığın üzerindeki kuvvet de şu şekildedir:

$$F = \frac{mv^2}{\rho} \quad (2.6)$$

Burada ρ yörüngenin bükme yarıçapıdır. Parçacığın hareketi, bu iki kuvvetin eşitliği ile tanımlanır.

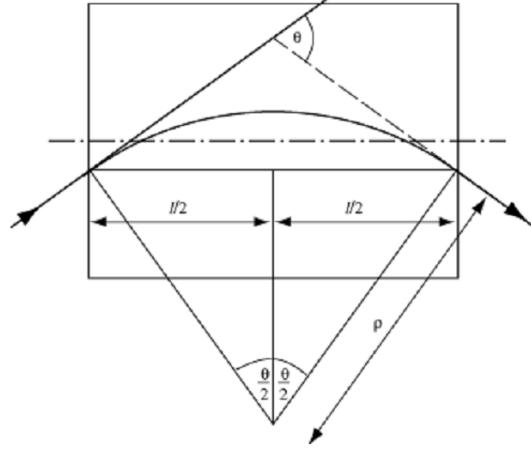
$$m\gamma v^2 \boldsymbol{\kappa} + e[\mathbf{v} \times \mathbf{B}] = 0 \quad (2.7)$$

Burada, γ görel Lorentz faktörü, $\boldsymbol{\kappa}$ parçacığın yerel eğrilik vektörüdür (Wiedemann,2007).



Şekil 2.2. Bir dipol mıknatısın manyetik alanındaki parçacığın hareketi (Baird, 2007)

Şekil 2.3 de bir dipol mıknatısın şematik olarak gösterilmiştir. Burada h boşluk yüksekliğidir. Homojen \mathbf{B}_0 manyetik alanı içerisinde geçen parçacık mıknatısın bükme açısına bağlı olarak yönlendirilir.



Şekil 2.4. Uzunluğu l olan bir bükücü (dipol) mıknatısındaki parçacığın yörüngesi
(Wilson,2003b)

Şekil 2.4 de görüldüğü gibi genellikle parçacığın geçtiği eğri yol simetriktir.

$$\sin(\theta/2) = \frac{l}{2\rho} = \frac{lB}{2(\rho B)} \quad (2.10)$$

Eğer;

$$\theta \ll \pi/2 \quad (2.11)$$

$$\theta \approx \frac{lB}{(\rho B)} \quad (2.12)$$

Mıknatısın bükme gücü $\kappa = (\kappa_x, \kappa_y, 0)$ ile tanımlanır. Dipol mıknatısta bu terim (bükme gücü) $1/\rho$ ya eşittir.

$$\kappa_{x,y} = \frac{1}{\rho_{x,y}} \quad (2.13)$$

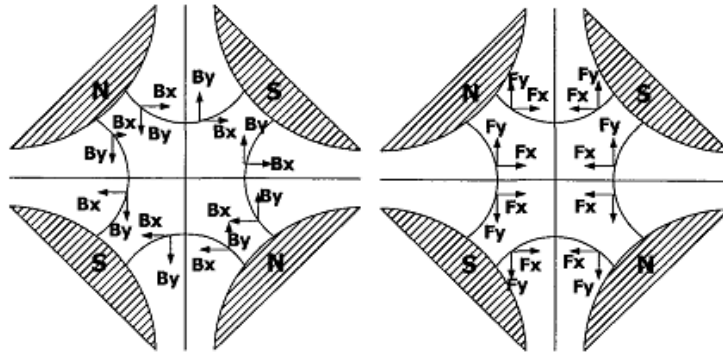
Manyetik alandaki parçacığın bükülme yarıçapı (2.7) denkleminde;

$$\frac{1}{\rho_{x,y}} = \left| \frac{e}{p} B \right| = \left| \frac{ec}{\beta E} B \right| \quad (2.14)$$

Burada, β parçacığın görelî hızı, c ışığın boşluktaki hızıdır (Wilson, 2003a).

2.4. Kuadrupol Mıknatıslar

Demeti yatay ve düşey eksenlerde odaklamak amacıyla kullanılan dört kutuplu mıknatıslara kuadrupol mıknatıslar denir.



Şekil 2.5. Kuadrupol mıknatıstaki manyetik alan(sol) ve kuvvetler(sağ)

Şekil 2.5 kuadrupol mıknatısın kutuplarını göstermektedir. Kuadrupolun manyetik alanı eksen mesafesi ile lineer olarak artış gösterir. Şekildeki kuadrupol negatif parçacıklar için sayfa düzlemine göre yatayda (x -ekseninde) odaklama yapmaktadır. Bu durumda da düşeyde (y -ekseninde) negatif parçacıklar dağıtılmış olur.

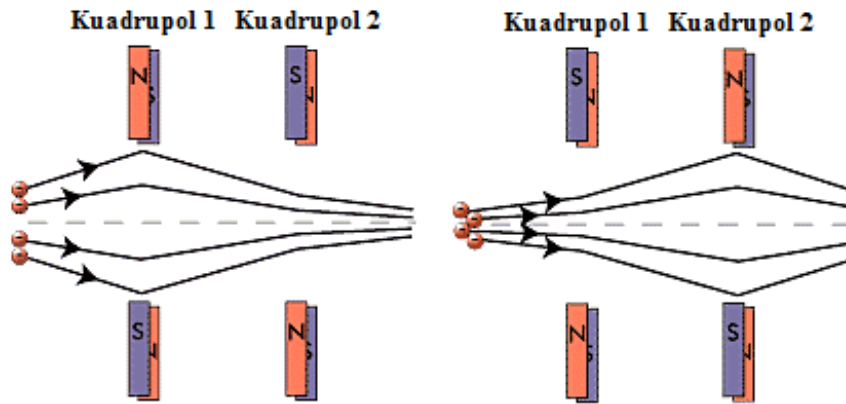
Kuadrupolun gücü şu şekilde ifade edilir.

$$k = \frac{1}{(B\rho)} \frac{dB_y}{dx} = \frac{g}{B\rho} \quad (2.15)$$

Burada g , manyetik alanın gradyanı olarak adlandırılır. Odaklayıcı bir kuadrupolun odaklama uzaklığı ise;

$$f = -\frac{1}{k.l} \quad (2.16)$$

İle ifade edilir.



Şekil 2.6. Parçacıkların kuadrupoldaki kenar düzlem(sol) ve üstten(sağ) görüntüleri

Şekil 2.6 da soldaki şekil kenar düzlemde baktığımızdaki parçacıkların görüntüsünü verir. Sağ taraftaki şekil ise parçacıkların üstten baktığımızdaki görüntüsünü verir. Bir düzlemde odaklama olurken diğer düzlemde dağılma olduğunu gösterir.

2.5. Kicker Mıknatıslar

Parçacık demetlerinin hızlandırıcıya giriş ve çıkış aşamasında “septum” ve “kicker” mıknatıslar kullanılır. Kicker mıknatıslar genellikle hızlı yükselme düşme zamanlı dikdörtgen atmalı alanlar üretirler. Fakat alan güçleri düşüktür. Bu düşük alan gücünü, nispeten telafi etmek için ise kicker mıknatıslar genellikle septum mıknatıslar ile birlikte kullanılır.

Giriş ve çıkış sistemlerinin tasarımında aşağıdakilerin sağlanması amaçlanır:

-Demet kaybını en aza indirmek.

-Yeni giriş ve çıkış yaptırılan parçacıkları uygun faz uzayı parametreleri ile doğru yörüngeye yerleştirmek.

Şekil 2.7. tipik bir C-tipi kicker mıknatısın kesitini gösteriyor. Hızlı kicker mıknatıslar genellikle demirden yapılmıştır. V_{ap} ve H_{ap} boyutlarındaki dikdörtgen demir yapılardan oluşur.

Kicker mıknatısın boş bölgedeki B_y yoğunluk akısı denklem (2.17) ile verilir:

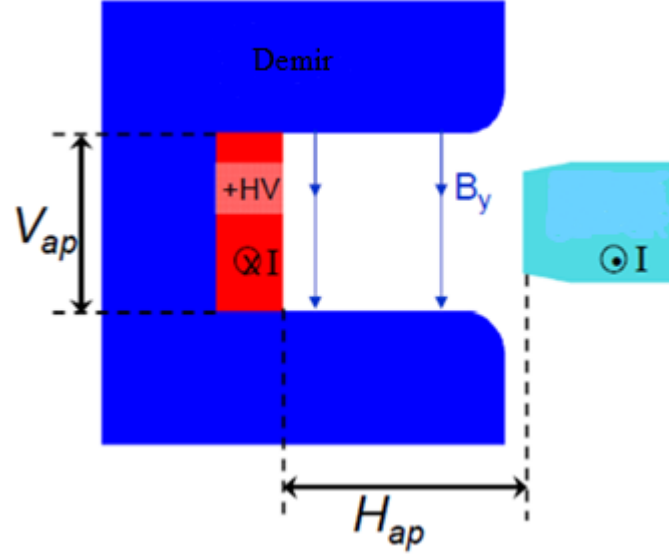
$$B_y \cong \mu_0 \left(\frac{NI}{V_{ap}} \right) \quad (2.17)$$

μ_0 : Serbest uzayın geçirgenliği

N: Bir kicker mıknatısındaki sarım sayısı

I: Mıknatısın akımı (A)

V_{ap} : Alt ve üst parçaların arasında kalan mesafe (m)



Şekil 2.7. Tipik C-tipi “kicker” mıknatıs

İndüktans (2.18) formülü ile verilir:

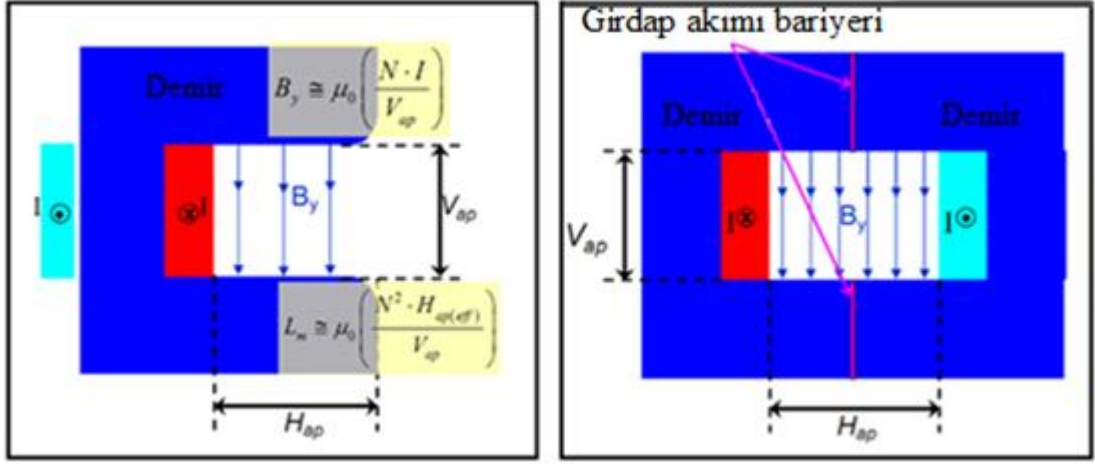
$$L_{m/m} \cong \mu_0 \left(\frac{N^2 \cdot H_{ap}}{V_{ap}} \right) \quad (2.18)$$

H_{ap} : iletken ile iç yüksek voltaj (HV) bölgesi arası mesafe

$L_{m/m}$: kicker mıknatısındaki metre başına indüktans (H/m)

Kicker mıknatısların genellikle hızlı olması gerekmektedir. Bu yüzden tek sarımlı bobinden oluşturulur. Çok sarımlı bobinler sadece yavaş kicker mıknatıslarda (lumped-inductance kicker) kullanılır.

Şekil 2.8. de C-tipi ve “window-frame” tipi iki kicker mıknatıs gösterilmektedir. “Window-frame” tipi kicker mıknatıs iki simetrik C-tipi mıknatıstan oluşmuş gibi düşünülebilir. “Window-frame” tipi mıknatısın dolun süresini (fill-time) azaltmak için iki güç kaynağı gerekir. Demet çiftlenme direncini azaltmak için iki C-tipi demir kafes arasına girdap akımı bariyeri (eddy current shields) gereklidir.



Şekil 2.8. C-tipi (solda) ve ‘window frame’ tipi (sağda) kicker mıknatıs aralığı

FNAL (Fermi National Accelerator Laboratory) ve KEK (Koh-Ene-Ken) gibi merkezlerde mıknatıs dolum süresini (fill-time) azaltmaya yönelik ‘window-frame’ tipi kicker mıknatıs kullanmışlardır. CERN de ise genellikle C-tipi kicker mıknatıslar kullanılmıştır (Barnes vd., 2009b).

2.6. Septum Mıknatıslar

Septum mıknatıslar yavaş alan yükseliş ve düşüşü sağlarlar. Bunun yanında septum mıknatıslar kicker mıknatıslardan daha güçlü alana sahiptirler. Septum mıknatıslar iki bölmeden oluşurlar. Septum mıknatısların önemli bir özelliği sapan demet homojen bir alan bölgesinden geçerken, hızlandırıcı içinde dolanan demet alansız bölgeden geçerek alandan etkilenmez. İki bölmeden oluşan septum mıknatısların ortasındaki bölgede alan sıfırlanarak halkada dolanan demetin alandan etkilenmemesi sağlanır.

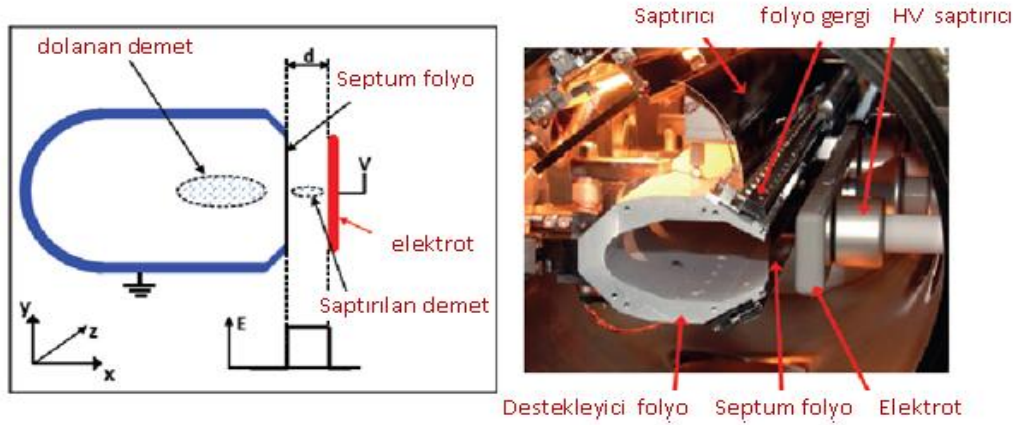
Septum mıknatıslar elektrostatik ve magnetik septum olmak üzere iki çeşittir.

-Elektrostatik septum; yüksek alan bölgesi ile alansız bölge arasındaki ayrımı çok ince (genellikle $< 100 \mu m$) olan bir DC (Direct Current) elektrostatik cihazdır.

-Magnetik septum; sıfır alan bölgesi ile alansız bölge arası mesafesi ince (genellikle 2 ile 20 mm arasında) olan bir DC veya atmalı dipol mıknatıs gibidir.

Septum tasarımındaki en önemli sorunlardan biri, demeti saptırmak için gerekli homojen alanı ve halkada dolanan demetin etkilenmemesi için gerekli alansız bölgeyi oluşturmaktır. Alansız bölgede, yüksek alanlı bölgeden kaynaklanan bir sızıntı alanı oluşmaması gerekmektedir. Demeti halkadan çıkarma işlemi (extraction) boyunca kayıpları en aza indirmek için mümkün olduğunca ince bir septum ile manyetik veya elektrostatik septum mıknatis oluşturulmalıdır. Demeti çıkarma işleminin verimini artıracak ince bir septum kullanmak, (kicker mıknatis gibi) çıkarma işlemi elemanları için gerekli gücü en aza indirir.

2.6.1. Elektrostatik Septum



Şekil 2.9. Elektrostatik septum

Şekil 2.9. bir septum folyo ile elektrostatik septumu göstermektedir. Yörüngede dolanan demet alansız bölgeden folyo destek sayesinde geçmektedir. Septum folyo ise saptırılan demeti yüksek homojen alan bölgesine aktarır. Elektrostatik septumda, septum folyo ile elektrot arasında yalıtkan olarak vakum kullanılır. Bu nedenden dolayı da bir vakum tankı vardır. Yörünge de dolanan demet ile septumun pozisyonunun tam eşleşmesi için genellikle dolanan demete paralel ve açısız olacak şekilde hareket sağlayan bir yer değiştirme sistemi vardır. Folyo gergi; engellenen demet parçacıklarının çarpmaları sonucunda oluşan ısı yükselmesinde demetin herhangi bir kayba uğramasını engellemeye yardımcı olur. Elektrostatik septum için güç kaynağı tipik bir DC “Cockroft-Walton” tipi yüksek voltaj jeneratörüdür.

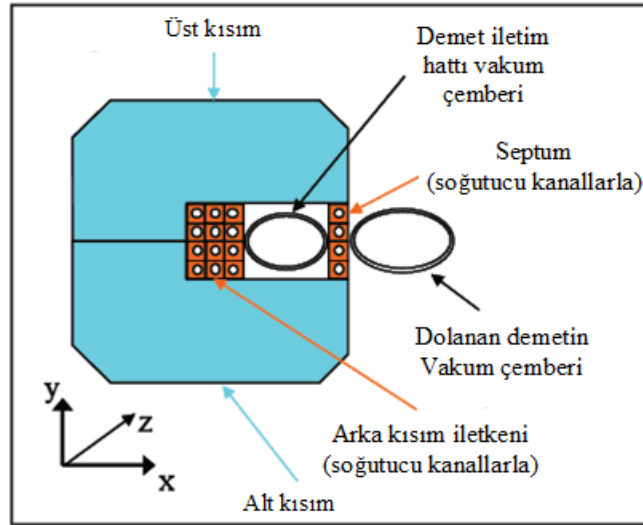
2.6.2. Manyetik Septum

Bir dipol mıknatıs ile manyetik septum mıknatıs arasındaki temel fark şudur: dipol mıknatıs sadece homojen bir alan bölgesine sahipken, manyetik septum mıknatıs ince bir septumla ayrılmış alansız bölge ve homojen bir dipol alanı bölgesine sahiptir.

Manyetik septum mıknatısların birkaç çeşidi vardır.

- “Direc-drive DC septum” mıknatıs
- “Direc drive pulsed septum” mıknatıs
- “Eddy-current septum” mıknatıs
- “Lambertson septum” mıknatıs

1-“Direc-Drive DC Septum” Mıknatıs:

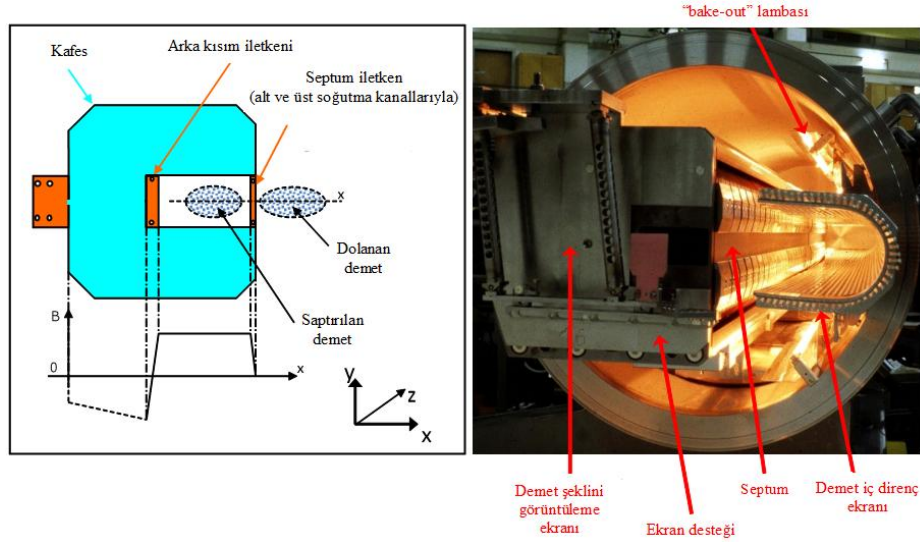


Şekil 2.10. “Direc-drive DC septum” mıknatıs

Şekil 2.10. “direc drive” DC manyetik septumu gösterir. Septum iletkenin kalınlığı genellikle 6 mm ile 200 mm arasındadır. Septum iletkenin akı yoğunluğu ise 85 A/mm²'ye kadar çıkabilir. Saptırılan demet yüksek homojen alanlı bölgedeki boşluktan geçer. Dolanan demet ise diğer tarafta bulunan iletken septumun

bulunduğu bölgeden geçer. Dolanan demet bölgesinde oluşacak sızıntı alanını azaltmaya yardımcı olacak bir manyetik ekran kullanılabilir.

2-“Direc-Drive Pulsed Septum” Mıknatısı:

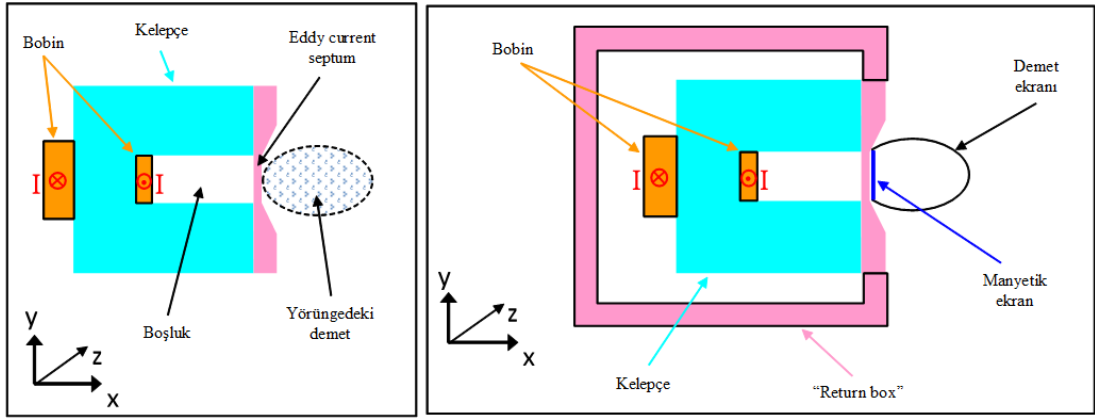


Şekil 2.11. "Direc drive pulse septum" mıknatısı

Şekil 2.11. "direc drive pulse septum" mıknatısı göstermektedir. Bu tip mıknatıslar genellikle saptırılan demet ile dolanan demet arasındaki mesafeyi en aza indirmek için vakum altında kullanılır. Mıknatıs genellikle, yörüngede dolanan demet ile septumun pozisyonunun tam olarak uyuşabilmesi için uzaktan yer değiştirme sistemi ile donatılmıştır. Yüksek yoğunluklu hızlandırıcılarda direnç bağlantısı demetin enine ve boyuna karşı oldukça duyarlıdır. Şekil 2.11. de demet direnç ekranı gösterilmiştir. Bu demet direnç ekranı, dolanan demetin akımının sürekli olarak gösterilmesini sağlar.

3-“Eddy-Current Septum” Mıknatısı:

Bir "eddy-current septum" genellikle 50 μ s periyotlu yarım veya tam sinüs dalgası akımı ile beslenir. Bobin, genellikle mıknatıs özindüktansını en aza indirmek için tek sarımlı oluşturulmuştur.



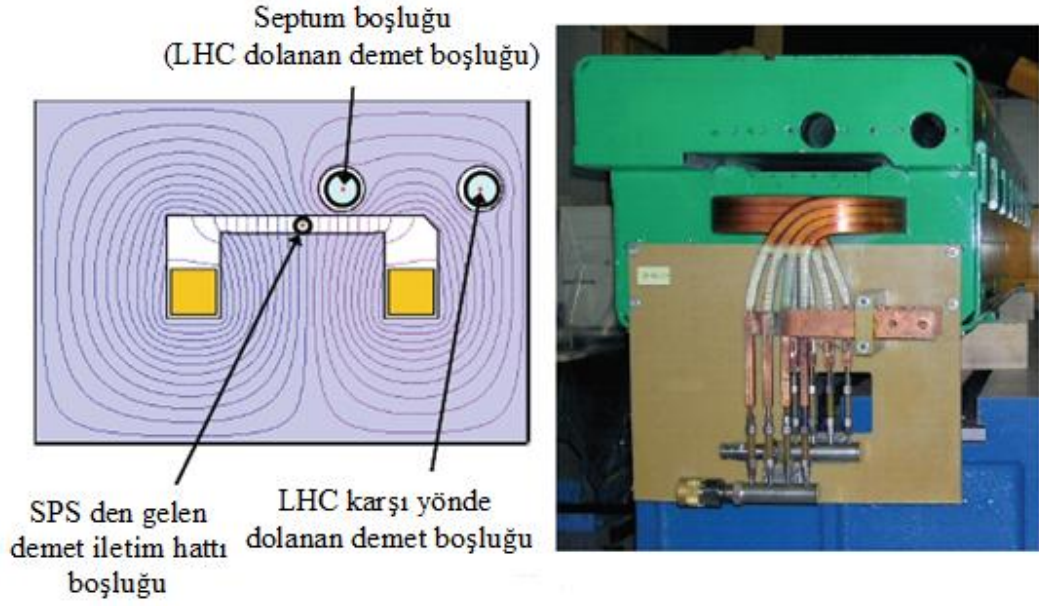
Şekil 2.12. Eddy-current septum (sol) “return box” olmadığına , (sağ) “return box” varken

Şekil 2.12 de bobin, C şeklindeki kafesin arka tarafı etrafında bulunmaktadır. Bu yüzden de genellikle bobinin boyutu önemli değildir. Mıknatıs darbeleri olduğunda, manyetik alandaki saçaklanma oluşumunu önlemeye çalışarak septumdaki girdap akımına sebep olur. Septum iletken “direct drive septum” için daha ince yapılabilir. Ama septumu soğutmak için kenarlarında soğutma devrelerine ihtiyaç olabilir.

Septum boşluğundaki alan, zamanın fonksiyonu olarak bobin akımını takip eder. Buna bağlı olarak septumdaki elektrik direnci düşük tutulur. Çünkü akım bir kere aktığında onun oluşturduğu etkinin azalması oldukça vakit alır. Şekil 2.12.nin sol kısmında manyetik ekran ve “return box” olmayan bir “eddy current septum” gösteriliyor. Genellikle kaçak alan, maksimum olarak boş bölgenin %10 unu oluşturacaktır. Şekil 2.12. nin sağ tarafında gösterildiği gibi alandaki saçaklanmayı azaltmak amacıyla girdap akımlı mıknatıs etrafında bakır bir kutu (return box) yer alabilir. Buna ek olarak septum iletken yanına bir manyetik ekran eklenebilir. Bu değişiklikler, dolanan demet bölgesindeki alanda oluşan saçaklanmanın boş alanın %0.01 inden daha azına inmesine olanak sağlar.

4-“Lambertson Septum” Mıknatıs:

Demir bir “Lambertson Septum” genellikle oldukça sağlam bir cihazdır. Çelik kafes, iletkenlerinin etrafını dışarıdan kuşatmış şekildedir.

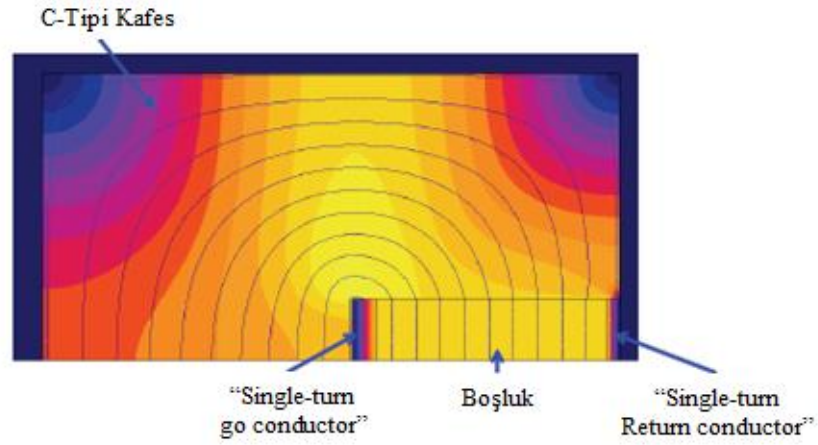


Şekil 2.13. LHC (Large Hadron Collider) enjeksiyon demet iletim hattında kullanılan Lambertson septum mıknatıs

Şekil 2.13. deki “Lambertson septum” LHC (Large Hadron Collider)’nin enjeksiyon demet hattında kullanılan bir mıknatıstır. Bu septum DC bir cihazdır. Fakat Lambertson septumdan oluşturulmuştur. LHC’nin aktarım (injection) kısmında SPS (the Super Proton Synchrotron) den gelen iletim hattındaki demet bu “Lambertson septum”dan geçer. LHC’de dolanan demetin geçtiği septum boşluk ile iletim hattından gelen demetin geçtiği Lambertson septum boşluğu arasında ince çelik bir kafes vardır. Şekil 2.13. de görüldüğü gibi septum iletim hattından gelen demeti LHC enjeksiyon bölgesine doğru sağa yatay olarak saptırır ve daha sonra da kicker mıknatıs yardımıyla dolanan demetin merkez yörüngesi üzerine oturması sağlanır.

2.6.3. Septum Mıknatısta İzolasyon ve Soğutma

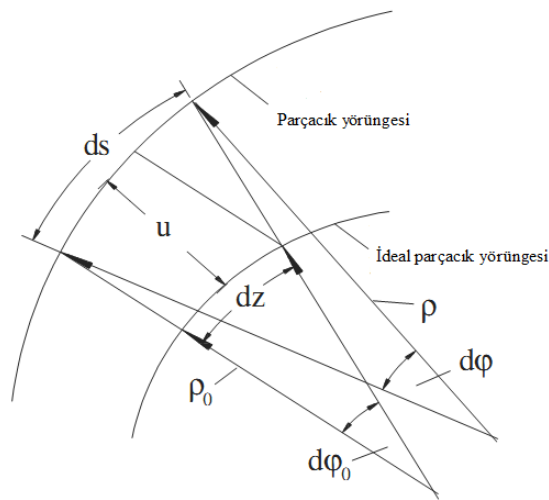
Tek sarımlı bobin, C–tipi bir mıknatısın kafesi dışına en az boşlukla takılmış olabilir. Eğer öz geçirgenlik yüksek olursa üzerinden akım geçen tabakanın akım yoğunluğu düzgün olur. Şekil 2.14. deki boşluğun dışından küçük bir sızıntı akımı oluşur fakat bu boş bölgede mükemmel bir homojen alan elde edilir.



Şekil 2.14. İdeal septum mıknatısı; tek sarımlı bobin ile C-tipi kafes arası minimum boşluk

Gerçekte bobin ile kafes tamamen iletkenle dolu olmayıp aralarında ufak bir boşluk bulunmaktadır. Çok sarımlı bir septumda sarımlar arasındaki yalıtımın tam olarak sağlanması gerektiğinden akım yoğunluğu düzgün olmayacaktır. Örneğin şekil 2.10. da görülen soğutma kanallarının varlığı akım yoğunluğunun düzgün olmasında etkindir. Yalıtım ve soğutma önlemleri alınmadığında kaçak alan bölgesi artar ve boş bölgenin yaklaşık %2 sine kadar çıkabilir (Barnes vd., 2009a) .

2.7. Hareket Denklemleri



Şekil 2.15. Sapma düzlemi (Wiedemann, 2007)

Parçacığın yol boyunca hareketini tanımlamakta en uygun koordinat sistemi Frenet-Serret koordinat sistemidir. Manyetik alanda sapmaya uğrayan parçacığın ideal yörüngeye göre hareketi şekil 2.15 deki sapma düzleminde ifade edilebilir.

Parçacığın ideal yörüngeden sapma açısı $d\varphi_0$ ile ifade edilir.

$$d\varphi_0 = dz/\rho_0 \quad (2.19)$$

$$d\varphi_0 = \kappa_0 dz \quad (2.20)$$

Keyfi bir yörüngedeki parçacığın sapma açısı ise $d\varphi$ ile ifade edilir.

$$d\varphi = \kappa ds \quad (2.21)$$

Çizgisel bir yaklaşıklıkla keyfi bir yörüngedeki parçacığın aldığı yol denklem (2.22) ile ifade edilir.

$$ds = (1 + \kappa_0 u)dz + \vartheta(2) \quad (2.22)$$

Burada u ; sapma düzleminde parçacığın yörüngesi ile ideal yörünge arasındaki mesafeyi göstermektedir. İdeal yörüngedeki ideal bir parçacık için $u=0$ 'dır. Parçacığın hareket denklemi sapma düzlemiyle ilişkili olarak yazılabilir.

$$u'' = -\left(\frac{d\varphi}{dz} - \frac{d\varphi_0}{dz}\right) \quad (2.23)$$

$$u'' = -(1 + \kappa_0 u)\kappa + \kappa_0 \quad (2.24)$$

Yatay düzlemde sapma yapan yüklü parçacık için;

$$\kappa = \kappa_x \quad (2.25)$$

Bu durumda;

$$\kappa_x = \frac{e}{p} B_y = \frac{e}{p} \left[B_{y0} + gx \frac{1}{2} sx^2 + \dots \right] \quad (2.26)$$

Dikey düzlem için de;

$$\kappa = \kappa_y \quad (2.27)$$

Bu durumda;

$$\kappa_y = -\frac{e}{p} B_x = +\kappa_{0y} - ky - mxy \quad (2.28)$$

Gerçek bir parçacık demeti asla monokromatik olmadığından dolayı momentum hatalarının etkisi de hesaba katılmalıdır. İdeal momentumu p_0 olan parçacığın momentumu ideal momentum etrafında genişletilmelidir.

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{p_0(1+\delta)} \approx \frac{1}{p_0}(1 - \delta + \dots) \quad (2.29)$$

Yatay düzlemde $u = x$ ve $\kappa = \kappa_x$ olduğundan dolayı hareket denklemi şu şekilde olacaktır.

$$x'' + (k + \kappa_{0x}^2) x = \kappa_{0x}(\delta - \delta^2) + (k + \kappa_{0x}^2) x \delta - \frac{1}{2}mx^2 + \vartheta(3) \quad (2.30)$$

Burada;

$(k + \kappa_{0x}^2) x$: Odaklama etkisi

Bu terim; kuadropol için odaklama etkisini tanımlar.

$\kappa_{0x}(\delta - \delta^2)$: “Dispersive” etki

Bu terim; ideal enerjiye sahip olmayan parçacıkların değişken sapma açısını yansıtır.

$(k + \kappa_{0x}^2) x \delta$: Kromatik “aberrations”

Bu terim; enerjideki sapmadan dolayı meydana gelen kromatik “aberrations” u tanımlar.

Dikey düzlemde $u = y$ ve $\kappa = \kappa_y$ olduğundan dolayı hareket denklemi şu şekilde olacaktır (Wiedemann, 2007).

$$y'' - (k - \kappa_{0y}^2) y = \kappa_{0y} \delta - (k - \kappa_{0y}^2) y \delta + mxy^2 + \kappa_{0y}ky^2 + \vartheta(3) \quad (2.31)$$

2.8. Çizgisel Hareket Denklemi ve Çözümü

Yukarıdaki (2.30) ve (2.31) hareket denklemlerini homojen bir diferansiyel denklem olarak yazarsak;

$$u'' + K u = 0 \quad (2.32)$$

Burada K sabit olarak varsayıp x ve y için sırasıyla yazılırsa;

$$K = k + \kappa_{0x}^2 \quad (2.33)$$

$$K = - (k - \kappa_{0y}^2) \quad (2.34)$$

Denklemin çözümü;

$K > 0$ için;

$$C(z) = \cos(\sqrt{K}z) \quad \text{ve} \quad S(z) = \frac{1}{\sqrt{K}} \sin(\sqrt{K}z) \quad (2.35)$$

$K < 0$ için;

$$C(z) = \cosh(\sqrt{K}z) \quad \text{ve} \quad S(z) = \frac{1}{\sqrt{K}} \sinh(\sqrt{K}z) \quad (2.36)$$

Başlangıç sınır şartları;

$$C(0) = 1, \quad C'(0) = \frac{dC}{dz} = 0 \quad (2.37)$$

$$S(0) = 0, \quad S'(0) = \frac{dS}{dz} = 1 \quad (2.38)$$

Genel çözümü temel iki çözümün lineer birleşimi olarak ifade edersek;

$$u(z) = C(z) u_0 + S(z) u'_0 \quad (2.39)$$

$$u'(z) = C'(z) u_0 + S'(z) u'_0 \quad (2.40)$$

Burada u_0, u'_0 ; z bağımsız değişkeniyle verilen parçacığın yörüngesinin ve türevinin keyfi başlangıç sabitleridir. Bu ifadeyi matris formunda yazacak olursak;

$$\begin{pmatrix} u(z) \\ u'(z) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_u(z) & S_u(z) \\ C'_u(z) & S'_u(z) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_0 \\ u'_0 \end{pmatrix} \quad (2.41)$$

Bu matris ifadesindeki u ; x ve y bileşenlerini de içinde barındırmaktadır (Wiedemann, 2007). Bu matris ifadesini 4×4 lük bir matris şeklinde yazarsak;

$$\begin{pmatrix} x(z) \\ x'(z) \\ y(z) \\ y'(z) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_x(z) & S_x(z) & 0 & 0 \\ C'_x(z) & S'_x(z) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_y(z) & S_y(z) \\ 0 & 0 & C'_y(z) & S'_y(z) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x'_0 \\ y_0 \\ y'_0 \end{pmatrix} \quad (2.42)$$

2.9. Dönüşüm Matrisleri

2.9.1. Düz Bölge

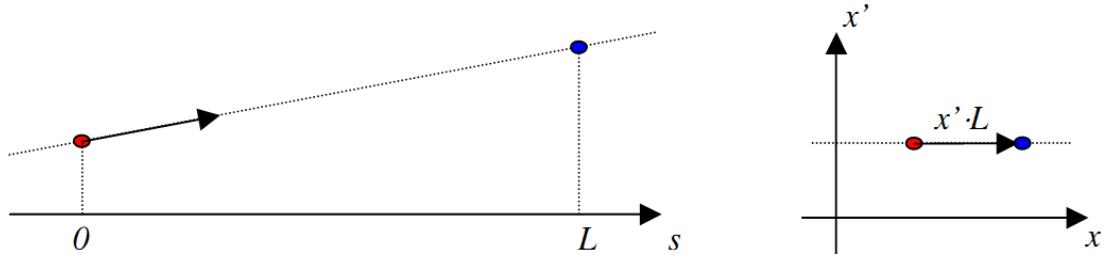
Uzunluğu l olan düz bir yoldaki parçacık çok zayıf bir bükücü mıknatıs içinden geçiyor gibi düşünülebilir. Bu durumda $k_{0x}^2 \ll 1$, $k_0 = 0$ ve odaklama parametresi $K = 0$ olacaktır. (2.32) denkleminin çözümü şu şekilde ifade edilecektir.

$$\begin{pmatrix} u(z) \\ u'(z) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & l \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_0 \\ u'_0 \end{pmatrix} \quad (2.43)$$

Düz bölge uzunluğu $l = z - z_0$ olarak tanımlanırsa dönüşüm matrisi şu şekilde ifade edilir.

$$M_d(l|0) = \begin{pmatrix} 1 & l \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.44)$$

Bu ifade; alansız düz bir bölgedeki parçacığın izlediği yolu tanımlar (Wiedemann, 2007).



Şekil 2.16: Parçacığın düz bölgede (sol) gerçek uzaydaki ve (sağ) faz uzayındaki hareketi (Lombardi, 2005)

2.9.2. Kuadrupol Miknatıs

Kuadrupol miknatısta sadece odaklama ve dağıtma olduğundan dolayı bükme terimi $k_{0x} = 0$ olacaktır. Kuadrupol güç parametresi $k(z) \neq 0$; pozitif veya negatif olacaktır. Bu durumda (2.32) denkleminin çözümü yapıp başlangıç şartlarına göre integral sabitleri tanımlanırsa; $k = |k| > 0$ için odaklayıcı kuadrupol dönüşüm matrisi şu şekilde olacaktır (Wiedemann, 2007).

$$\begin{pmatrix} u(z) \\ u'(z) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \psi & \frac{1}{\sqrt{k}} \sin \psi \\ -\sqrt{k} \sin \psi & \cos \psi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u(z_0) \\ u'(z_0) \end{pmatrix} \quad (2.45)$$

Burada;

$$\psi = \sqrt{k} (z - z_0) \quad (2.46)$$

(2.45) denklemi kuadropolun aktif uzunluğunun z ile z_0 arasında olması durumunda geçerlidir. Tüm uzunluğu l ve güç parametresi k olan kuadropol için $\varphi = \sqrt{k}l$ olarak tanımlanırsa; bu durumda kuadropolun odaklayıcı düzlemdeki dönüşüm matrisi;

$$M_{KO}(l|0) = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \frac{1}{\sqrt{k}} \sin \varphi \\ -\sqrt{k} \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \quad (2.47)$$

Benzer şekilde diğer düzlemde düşünersek; bu durumda $k = -|k|$ dağıtıcı kuadropol için dönüşüm matrisi;

$$\begin{pmatrix} u(z) \\ u'(z) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cosh \psi & \frac{1}{\sqrt{k}} \sinh \psi \\ -\sqrt{k} \sinh \psi & \cosh \psi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u(z_0) \\ u'(z_0) \end{pmatrix} \quad (2.48)$$

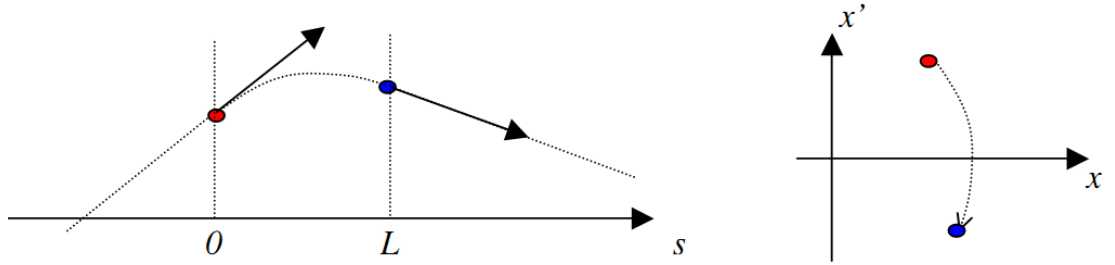
Burada;

$$\psi = \sqrt{k} (z - z_0) \quad (2.49)$$

Dağıtıcı düzlemdeki bir kuadropolun uzunluğuna l dersek ve $\varphi = \sqrt{k}l$ olarak ifade edersek; bu durumda kuadropolun dağıtıcı eksenindeki dönüşüm matrisi;

$$M_{KD}(l|0) = \begin{pmatrix} \cosh \varphi & \frac{1}{\sqrt{k}} \sinh \varphi \\ -\sqrt{k} \sinh \varphi & \cosh \varphi \end{pmatrix} \quad (2.50)$$

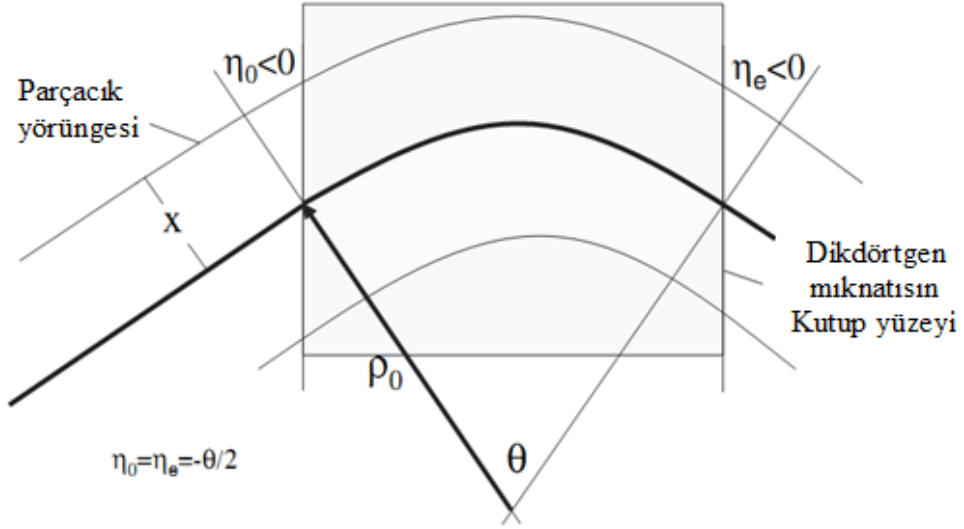
Böylece demet hattı üzerindeki parçacıkların takip edecekleri yol dönüşüm matrisleri yardımıyla tanımlanmış oldu (Wiedemann 2007).



Şekil 2.17: Parçacığın kuadropolde (sol) gerçek uzaydaki ve (sağ) faz uzayındaki hareketi (Lombardi, 2005)

2.9.3. Dipol Miknatıs

Dipol miknatısların geometrik yapılarına göre “sector”, “wedge” ve dikdörtgen olmak üzere çeşitleri vardır. Genelde tasarım kolaylığı açısından yaygın kullanılan dikdörtgen dipol miknatıstır (Wiedemann, 2011). Bu yüzden sadece dikdörtgen dipol miknatısın dönüşüm matrisinin yazılması yeterli olacaktır.



Şekil 2.18: Dikdörtgen dipol mıknatıs (Wiedemann, 2007)

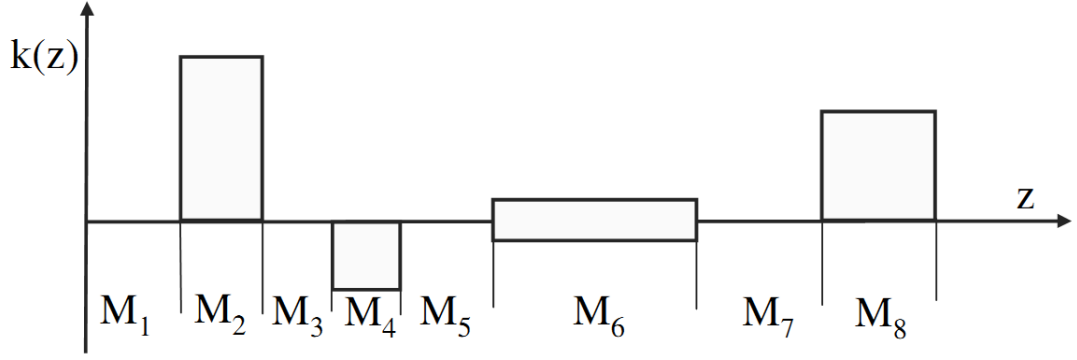
Dönme açısı θ ve kutup dönme açısı $\eta_0 = \eta_e = -\theta/2$ olan dikdörtgen dipol mıknatısın dönme düzlemindeki dönüşüm matrisi;

$$M_{dipol} = \begin{pmatrix} 1 & \rho_0 \sin\theta \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.51)$$

Şeklinde ifade edilir.

2.9.4. Demet İletim Hattı

Parçacığın düz bölge, bükücü (dipol) mıknatıs ve kuadropol mıknatıslar için tanımlanan dönüşüm matrislerini özel olarak M_i ile temsil edebiliriz.



Şekil 2.19: Bir demet iletim hattı örneği

Şekil 2.19 daki gibi demet hattı üzerine dizilmiş elemanların tüm dönüşüm matrislerini M gibi bir matrisle temsil edebiliriz. Örneğin; demet hattı boyunca 10 tane eleman kullanılmışsa bu durumda tüm dönüşüm matrisi şu şekilde ifade edilir.

$$M = M_{10} \dots M_5 M_4 M_3 M_2 M_1 \quad (2.52)$$

Bu durumda demet hattı boyunca parçacığın tüm dönüşüm matrisi şu şekilde ifade edilir.

$$\begin{pmatrix} u(z) \\ u'(z) \end{pmatrix} = M(z|z_0) \begin{pmatrix} u_0 \\ u'_0 \end{pmatrix} \quad (2.53)$$

Başlangıç noktası z_0 olarak alınmıştır. Başlangıçtaki düz bölge matrisi M_1 ve bitiş noktasındaki miknatisin matrisi M_{10} dur (Wiedemann,2007).

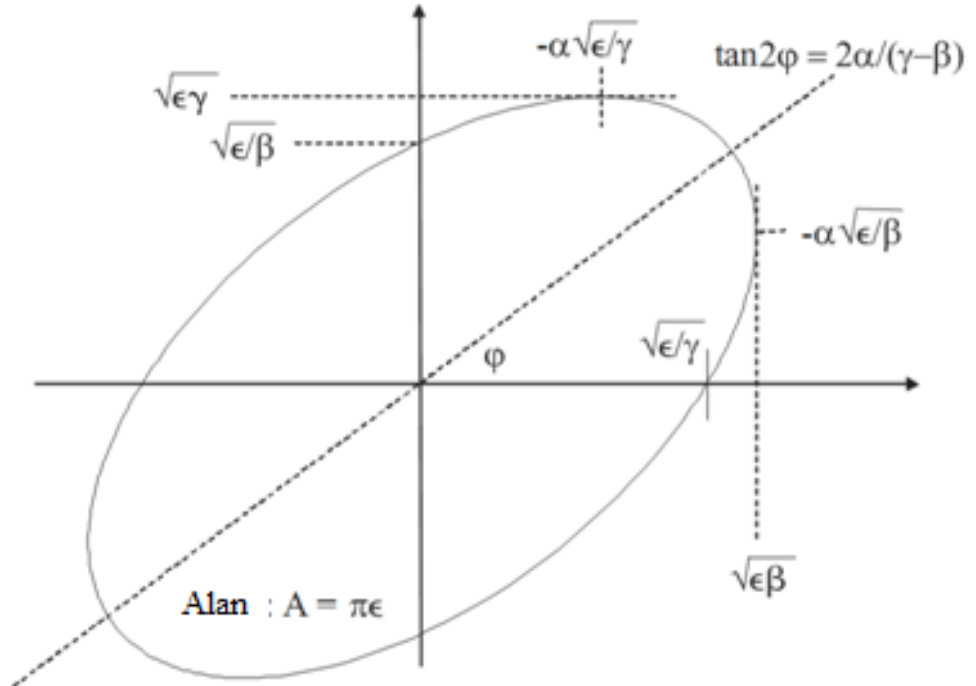
2.10. Demet Yayınımı (Emitans) ve Twiss Parametreleri α, β, γ

Bir demetteki parçacıkların faz uzayında kapladıkları alana demet yayını denir. Demet yayını ϵ ile gösterilir ve faz uzayında şu şekilde tanımlanır.

$$\epsilon = \gamma x^2 + 2\alpha x x' + \beta x'^2 \quad (2.54)$$

Başlangıç noktası $z = 0$ olan bir parçacığın $z \neq 0$ noktasındaki dönüşüm matrisini şu şekilde ifade edebiliriz.

$$\begin{pmatrix} x(z) \\ x'(z) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C(z) & S(z) \\ C'(z) & S'(z) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x'_0 \end{pmatrix} \quad (2.55)$$



Şekil 2.20. Faz uzayı elipsi (Wiedemann, 2007)

Demet yayınımmı ifadesini z' 'ye bağılı olarak yeniden ifade edersek;

$$\begin{aligned}
 \epsilon &= (C'^2\beta_0 - 2S'C'\alpha_0 + S'^2\gamma_0)x^2 \\
 &+ 2(-CC'\beta_0 + S'C\alpha_0 + SC'\alpha_0 - SS'\gamma_0)xx' \\
 &+ (C^2\beta_0 - 2SC\alpha_0 + S^2\gamma_0)x'^2
 \end{aligned} \tag{2.56}$$

Buradaki katsayılar;

$$\begin{aligned}
 \gamma &= C'^2\beta_0 - 2S'C'\alpha_0 + S'^2\gamma_0 \\
 \alpha &= -CC'\beta_0 + S'C\alpha_0 + SC'\alpha_0 - SS'\gamma_0 \\
 \beta &= C^2\beta_0 - 2SC\alpha_0 + S^2\gamma_0
 \end{aligned} \tag{2.57}$$

Demet yayınımmı tanımlayan bu γ, α, β elips parametreleri Twiss parametreleri olarak adlandırılır. Bu denklemler matris formunda da yazılabilir.

$$\begin{pmatrix} \beta(z) \\ \alpha(z) \\ \gamma(z) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C^2 & -2CS & S^2 \\ -CC' & CS' + C'S & -SS' \\ C'^2 & -2C'S' & S'^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \alpha_0 \\ \gamma_0 \end{pmatrix} \tag{5.58}$$

Elipsin geometrik özelliklerinden şu sonuç çıkartılabilir:

$$\beta \gamma - \alpha^2 = 1 \quad (2.59)$$

Şimdiye kadar sadece (x, x') -faz uzayı kullanıldığından, genel gösterimde buna bağlı olmaktadır. Fakat (2.58) denklemi (y, y') -faz uzayı içinde geçerlidir. (2.58) denklemi; başlangıç değerleri $\beta_0, \alpha_0, \gamma_0$ için parçacığın yol boyunca nerede olduğunun hesaplanmasını sağlar (Wiedemann, 2007).

2.11. Tedirginme (Perturbation) Terimleri

Buraya kadar homojen diferansiyel denklemin temel çözümleri üzerinde duruldu. Fakat parçacık hareketinde tedirginme terimleri de değerlendirilmelidir. (2.30) ve (2.31) hareket denklemleri tedirginme terimlerini de içermektedir. Homojen hareket denkleminin temel çözümleri homojen olmayan hareket denkleminin $P(z)$ çözümlerini bulmak için kullanılabilir.

$$P''(z) + K(z)P(z) = p(z) \quad (2.60)$$

Buradaki $p(z)$; (2.30) ve (2.31) denklemlerindeki bir veya birden fazla tedirginme terimini içermektedir. Bu denklemde $P(z)$ için bir çözüm bulunabilir.

$$P(z) = \int_0^z p(\tilde{z})G(z, \tilde{z})d\tilde{z} \quad (2.61)$$

Burada $G(z, \tilde{z})$; Green fonksiyonudur.

$$G(z, \tilde{z}) = S(z)C(\tilde{z}) - C(z)S(\tilde{z}) \quad (2.62)$$

Yukarıdaki denklemde yerine yazılırsa;

$$P(z) = S(z) \int_0^z p(\tilde{z})C(\tilde{z})d\tilde{z} - C(z) \int_0^z p(\tilde{z})S(\tilde{z})d\tilde{z} \quad (2.63)$$

(2.31) ve (2.33) hareket denklemlerinin genel çözümü; homojen olmayan diferansiyel denklemin özel çözümüyle homojen diferansiyel denklemin iki özel çözümünün birleşimi olarak verilebilir.

$$u(z) = aC_u(z) + bS_u(z) + P_u(z) \quad (2.64)$$

Burada a ve b yörünge'nin başlangıç parametreleri tarafından tanımlanmış sabitlerdir (Wiedemann, 2007).

2.12. Dispersiyon Fonksiyonu

Gerçekte parçacık demeti monokromatik değildir. Bükücü mıknatıs içindeki parçacıkların sapmalarındaki değişim Δp kromatik hataya sebep olur. Bu da δ/ρ_0 tedirginme (perturbation) terimini verir. Burada $\delta = \frac{\Delta p}{p_0} \ll 1$. Diğer kuadratik terimlerde ihmal edildiğinde;

$$u'' + K u = \kappa_{0u}(z)\delta \quad (2.65)$$

Bu hareket denkleminin genel çözümü;

$$u(z) = aC_u(z) + bS_u(z) + \delta D_u(z) \quad (2.66)$$

$$u'(z) = aC'_u(z) + bS'_u(z) + \delta D'_u(z) \quad (2.67)$$

Burada; $P_u(z) = \delta D_u(z)$ terimi kullanılırsa (2.63) denklemini elde edilir.

$$D_u(z) = \int_0^z \kappa_{0u}(\tilde{z}) [S_u(z)C_u(\tilde{z}) - C_u(z)S_u(\tilde{z})] d\tilde{z} \quad (2.68)$$

Buradaki $D_u(z)$; dispersiyon fonksiyonu olarak adlandırılır. Bu gösteriyor ki dispersiyon fonksiyonu bükücü mıknatıs tarafından üretilmektedir (wiedemann, 2007).

2.13. Demet Boyu

Demet boyu σ ile simgelenir ve şu şekilde ifade edilir:

$$\sigma(s) = \sqrt{\epsilon * \beta} \quad (2.69)$$

Demet boyunun türevi ise;

$$\sigma'(s) = \sqrt{\epsilon * \gamma} \quad (2.70)$$

İfade edilir. Burada;

$$\gamma = (1 + \alpha^2) / \beta \quad (2.71)$$

$\alpha = 0$ olduğu yerde demet boyu, yerel maksimum veya minimum duruma sahiptir. Bu durumda beta fonksiyonu demet boyunun ve türevinin birbirine oranına eşit olur (Holzer, 2003).

$$\beta(s) = \frac{\sigma(s)}{\sigma'(s)} \quad (2.72)$$

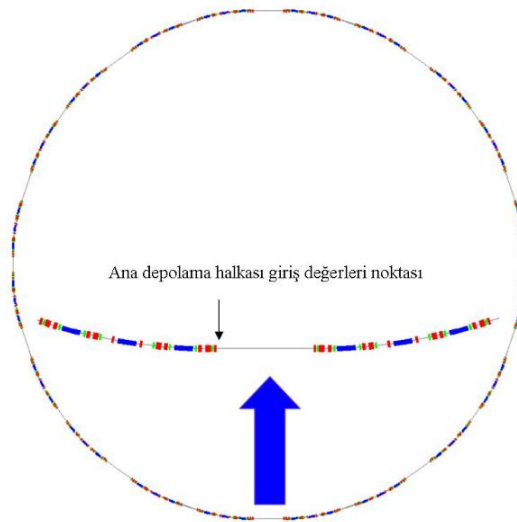
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bir hızlandırıcıda hızlandırılan parçacıkların amacına uygun şekilde kullanılabilmesi için demetin, iletim hattı vasıtasıyla ana depolama halkasına uygun parametrelerle aktarılması gerekmektedir.

Enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı tasarımında CANDLE, NSLS-II, TPS, SESAME, ALBA gibi birçok merkezin demet iletim hattı yapıları incelenmiştir. Benzer yapılar üzerinde yapılan çalışmalar, değerler üzerindeki değişimlere karşı esneklik sağlayabilecek yapının tespitini sağlamıştır. Bu çalışmada; demet iletim hattı tasarımı yapılırken OPA benzetim programı kullanılmıştır. OPA benzetim programı; ışınım kaynaklarının örgü tasarımı ve 2 boyutlu dinamik aralık hesabı gibi birçok özelliğe sahiptir. Bunun dışında demet iletim hattı gibi farklı örgü tasarımlarında da kullanılabilir (Streun, 2008).

3.1. Türk Hızlandırıcı Merkezi Sinkrotron Işınım Kaynağı Ana Depolama Halkasına Genel Bakış

Türk Hızlandırıcı Merkezi sinkrotron ışınım kaynağı ana depolama halkası çevresi 546,3 metredir.



Şekil 3.1. Türk hızlandırıcı merkezi ana depolama halkası

Şekil 3.1. de ana depolama halkası giriş değerleri noktası büyütülmüş haliyle birlikte gösterilmiştir. Ana depolama halkası düz bölgesindeki kuadropolun girişinden alınan demet parametreleri demet iletim hattının sonunda elde edilmeye çalışılmıştır.

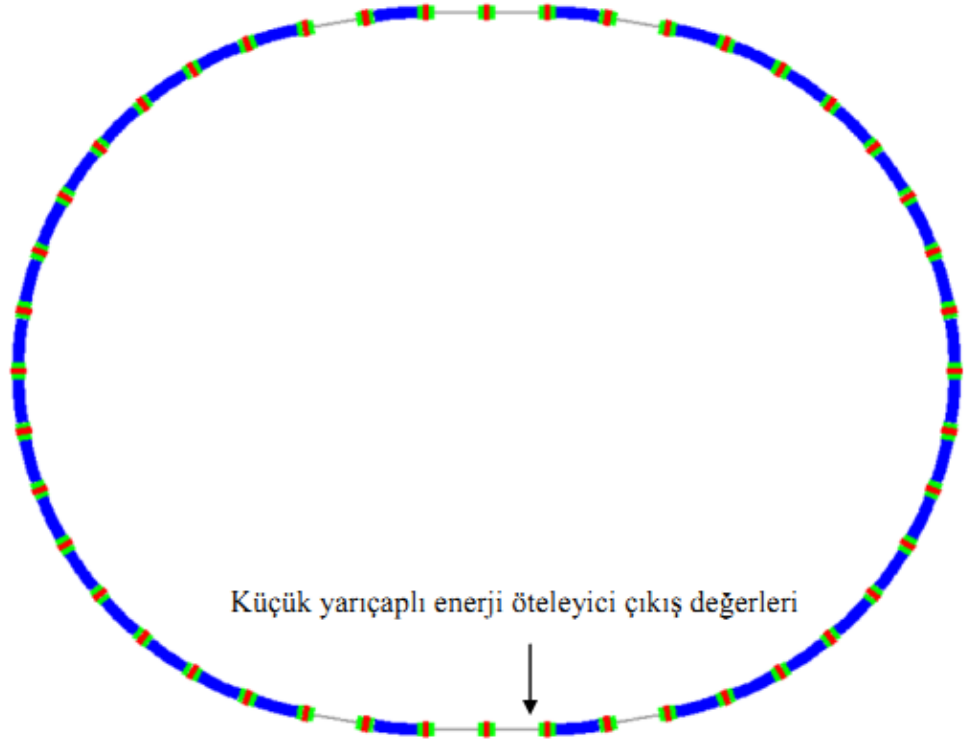
Çizelge 3.1. THM Ana Depolama Halkası Parametreleri (Yıldız vd., 2011)

Enerji	3 GeV
Çevre	546,360 m
Emittans ϵ_x / ϵ_y	1,18 nm.rad / 11,82 pm.rad
Enerji Yayınımı	0,00588 %
Tur Başına Enerji Kaybı	0,375 MeV
Betatron Ayarı, Q_x / Q_y	27,25 / 12,15
Doğal Kromatiklik ξ_x / ξ_y	-72,60 / -28,33
Mom. Comp. Faktör	0,000472
Süper Periyodiklik	10
Çiftlenim	1,0 %
Ana halka giriş değerleri	
β_x	18,768 m
β_y	4,726 m
η_x	0,12 m
Hücre Tipi	TBA

3.2. Türk Hızlandırıcı Merkezi Küçük ve Büyük Yarıçaplı Enerji Öteleyici Halkalarına Genel Bakış

3.2.1 Küçük Yarıçaplı Enerji Öteleyici Halka

Küçük yarıçaplı enerji öteleyici halkanın çevresi 123,75 metredir.



Şekil 3.2. Türk Hızlandırıcı Merkezi küçük yarıçaplı enerji öteleyici halka

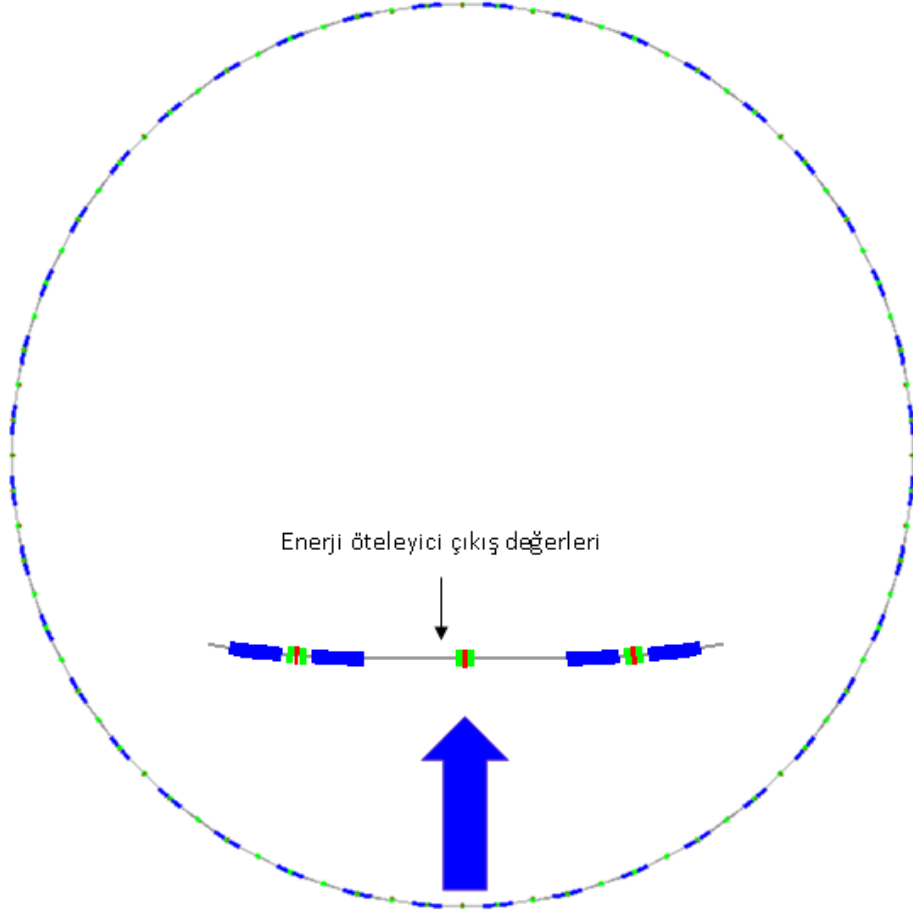
Şekil 3.2. de küçük yarıçaplı enerji öteleyici çıkış parametreleri noktası gösterilmektedir. Buradaki kuadrupol mıknatısın çıkış noktasındaki değerler alınarak demet iletim hattı girişinde kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. Türk Hızlandırıcı Merkezi küçük yarıçaplı enerji öteleyici halkası için ana parametreler (Etişken vd., 2011)

	Giriş Enerjisi	Çıkış Enerjisi
Enerji	0,15 GeV	3 GeV
Çevre	123,750 m	123,750 m
Emittans ϵ_x / ϵ_y	350,060 pm / 3,501pm	139,122 nm / 1,391 nm
Enerji Yayınımı	0,00380 %	0,076 %
Tur Başına Enerji Kaybı	4,037 eV	637,672 keV
Betatron Ayarı, Q_x / Q_y	6,75 / 5,86	
Doğal Kromatiklik ξ_x / ξ_y	-8,79 / -7,82	
Mom. Comp. Faktör	0,029284	
β_x	—	8,354 m
β_y	—	1,894 m
η_x	—	0,080 m
Periyodiklik	2	
Çiftlenim	1,0 %	
Yatay Sönüm Zamanı	32,442 s	4,095 ms
Dikey Sönüm Zamanı	30,778 s	3,885 ms
Sinkrotron Sönüm Zamanı	15,004 s	1,894 m
RF frekansı	499,04846 MHz	
Harmonik Sayısı	206	
Devir frekansı	3,42257 MHz	
Hücre Uzunluğu	-	
Hücre Tipi	FODO (Missing Dipol)	

3.2.2 Büyük Yarıçaplı Enerji Öteleyici Halka

Büyük yarıçaplı enerji öteleyici halkanın çevresi 528 metredir.



Şekil 3.3. Türk Hızlandırıcı Merkezi büyük yarıçaplı enerji öteleyici halka

Şekil 3.3. de büyük yarıçaplı enerji öteleyici çıkış parametreleri noktası gösterilmektedir. Buradaki kuadropol mıknatısın çıkış noktasındaki değerler alınarak demet iletim hattı girişinde kullanılmıştır.

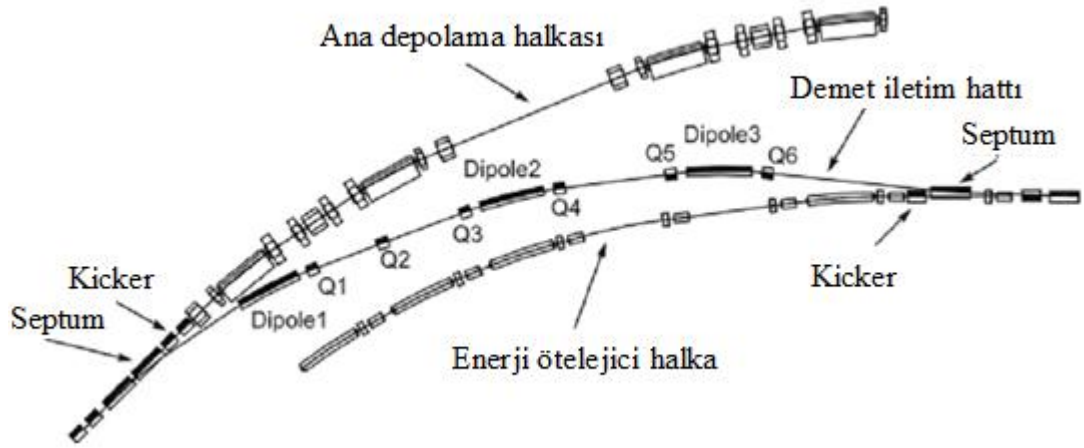
Çizelge 3.3. THM Büyük Yarıçaplı Enerji Öteleyeci Halka İçin Ana Parametreler
(Etişken vd., 20011)

	Giriş Enerjisi	Çıkış Enerjisi
Enerji	0,15 GeV	3 GeV
Çevre	528 m	528 m
Emittans ϵ_x / ϵ_y	24,652 pm/ 246,521 fm	9,863 nm / 98,634 pm
Enerji Yayınmı	0,00255 %	0,05092 %
Tur Başına Enerji Kaybı	1,783 eV	281,380 keV
Betatron Ayarı, Q_x / Q_y	14,26 / 8,12	
Doğal Kromatiklik ξ_x / ξ_y	-22,24 / -12,56	
Mom. Compc. faktör	0,003215	
β_x	—	6,538 m
β_y	—	14,573 m
η_x	—	0,343 m
Periyodiklik	40	
Çiftlenim	1,0 %	
Yatay Sönüm Zamanı	300,543 sec	37,555 msec
Dikey Sönüm Zamanı	297,393 sec	37,555 msec
Sinkrotron Sönüm Zamanı	147,921 sec	18,778 msec
RF frekansı	499,6541 MHz	
Harmonik Sayısı	880	
Devir frekansı	0,56779 MHz	
Hücre Uzunluğu	-	
Hücre Tipi	FODO	

3.3. Farklı Hızlandırıcı Merkezlerinde Demet İletim Hattı

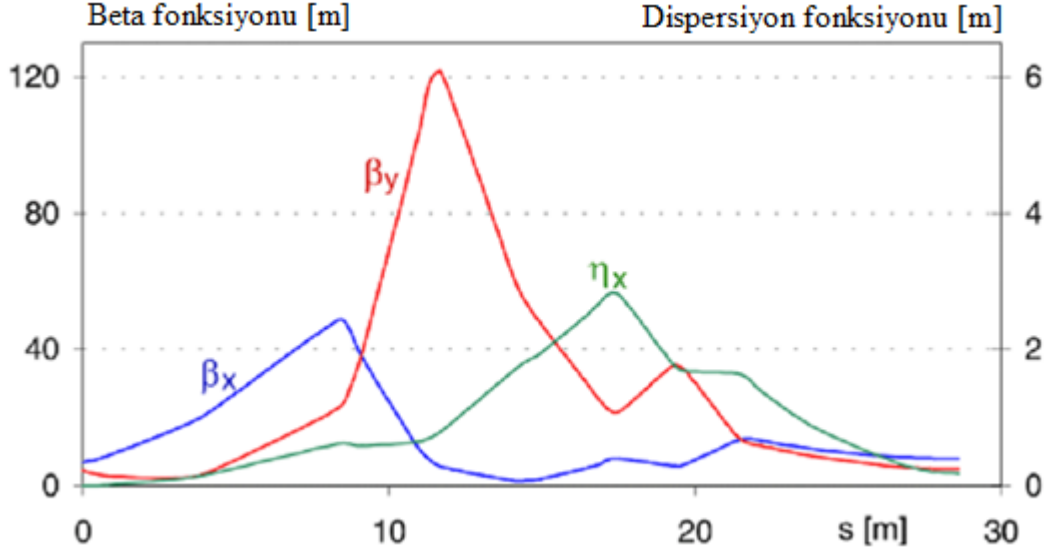
3.3.1.CANDLE (Center for the Advancement of Natural Discoveries using Light Emission)

Ermenistan da kurulan 3 GeV'lik elektron sinkrotron ışınım kaynağı enerji öteleyicisinin çevresi 192 metredir. Ana depolama halkası çevresi ise 216 metredir (Tsakanov, 2002). Ana depolama halkası ile enerji öteleyici halka aynı tünel içerisinde. Ana depolama halkası ile enerji öteleyici halka arası mesafe ise yaklaşık olarak 3,8 metredir.



Şekil 3.4. CANDLE enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı

Şekil 3.4. de demet iletim hattının şematik görünümü verilmiştir. Demet iletim hattının toplam uzunluğu 27,807 metredir. Buradaki yapıda Q1:Q3:Q4:Q6:dağıtıcı, Q2:Q5:odaklayıcı kuadropollerdir. Demet iletim hattında kullanılan septum mıknatısların tipi “Eddy Current Septum” mıknatıstır.

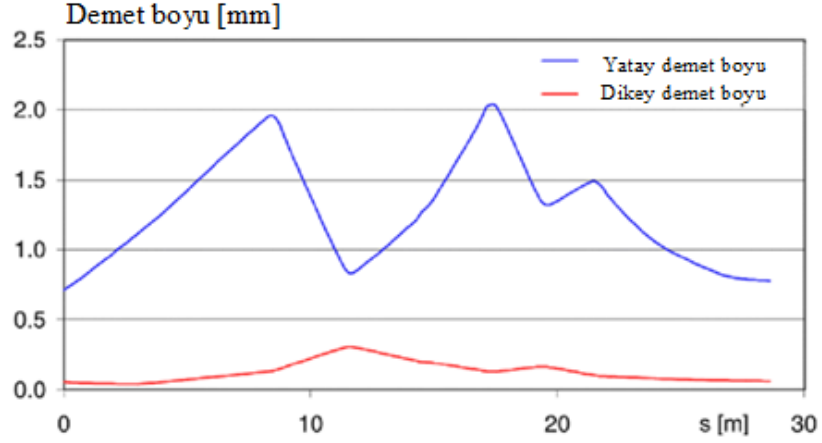


Şekil 3.5. CANDLE enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı optik fonksiyonları

Çizelge 3.4. CANDLE enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı başlangıç ve bitiş optik parametreleri

Optik fonksiyonları	Giriş değerleri	Çıkış değerleri
Beta x (m)	6,4	7,89
Beta y (m)	4,3	4,87
Alfa x	1,107	0,00
Alfa y	-1,170	0,00
Dispersiyon (m)	0,0	0,18
dD/ds (rad)	-0,044	0,00

Şekil 3.6. %1 “emittance coupling: ϵ_y/ϵ_x ” için demetin iletim hattı boyunca demet boyunu göstermektedir. Burada “emittance coupling” dikey ve yatay demet yayılımının birbirine oranı olarak tanımlanmıştır. CANDLE demet iletim hattı maksimum demet boyu yatay planda (x -ekseninde) 2 milimetredir (CANDLE Design Report, 2002).

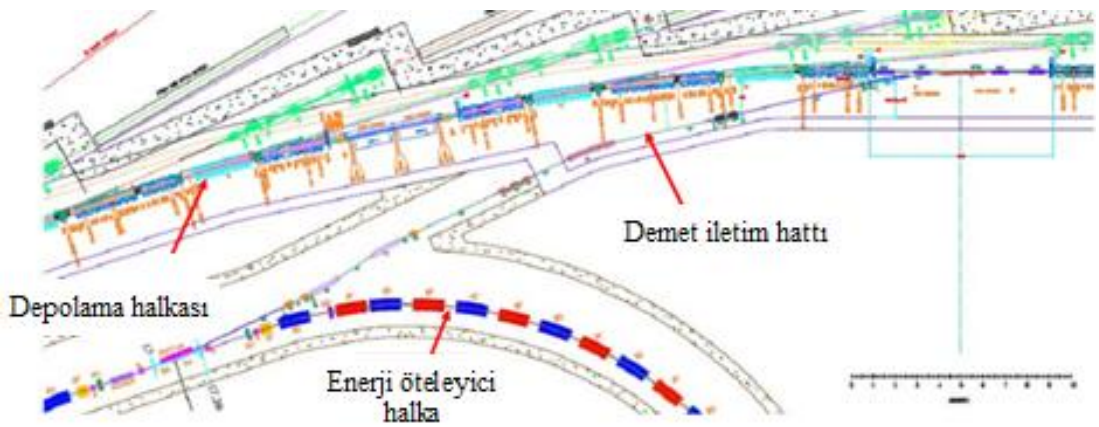


Şekil 3.6. CANDLE demet iletim hattı boyunca demet boyu

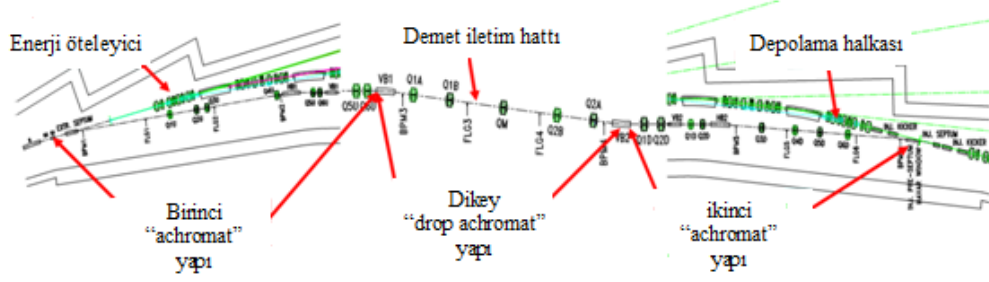
3.3.2.NSLS II (National Synchrotron Light Source II)

Amerikada kurulan 3 GeV'lik elektron sinkrotron ışınım kaynağıdır. Başlangıçta iki seçenek üzerinde durulmuştur. Küçük ve büyük yarıçaplı olmak üzere iki enerji öteleyici halka için iki ayrı çalışma yapılmıştır. Buna bağlı olarak da iki ayrı demet iletim hattı tasarımı yapılmıştır.

Şekil 3.7. de küçük yarıçaplı enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı gösterilmektedir. Burada enerji öteleyici ile ana depolama halkası farklı binalarda olacak şekilde düşünülmüştür.



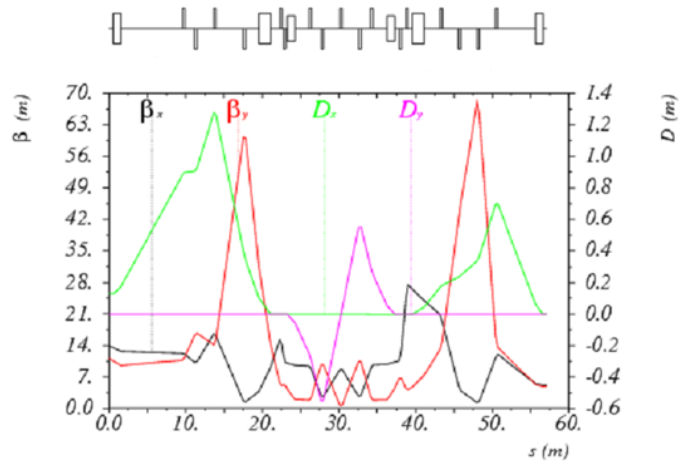
Şekil 3.7. NSLS II Küçük yarıçaplı enerji öteleyiciden ana depolama halkasının demet iletim hattı



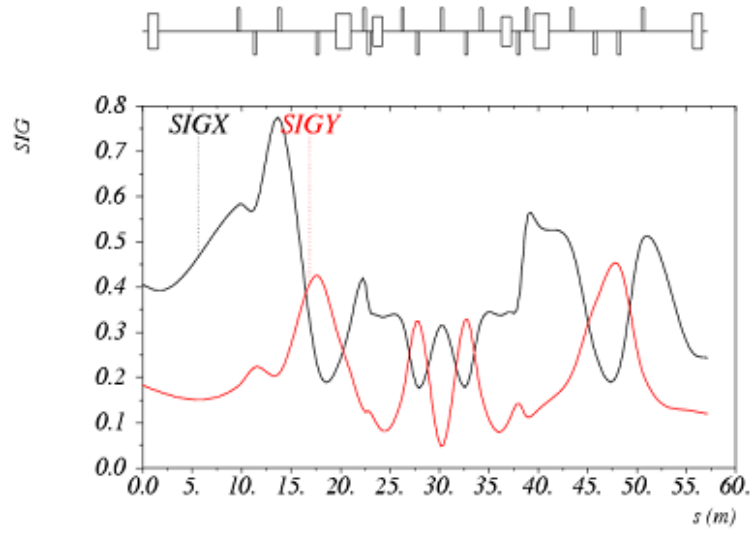
Şekil 3.8. NSLS II büyük yarıçaplı enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı (Tsoupas, 2007)

Şekil 3.8. de gösterilen NSLS II enerji öteleyici halka ile ana depolama halkası aynı tünel içindedir. NSLS II küçük yarıçaplı enerji öteleyici ile büyük yarıçaplı enerji öteleyicinin avantajları ve dezavantajları kıyaslanmıştır. Küçük enerji öteleyici için ayrı bir bina yapılmasının maliyeti göz önüne alınarak depolama halkası ile aynı tünelde olacak şekilde bir enerji öteleyici halkası yapılmasına karar verilmiştir. Enerji öteleyicisinin çevresi 650 metredir. Ana depolama halkası çevresi ise 780 metredir.

Türk hızlandırıcı merkezi enerji öteleyici tasarımında da buradaki gibi iki seçenek üzerinde durulmuştur. Buna bağlı olarak da küçük ve büyük yarıçaplı enerji öteleyici halkalar için iki ayrı demet iletim hattı tasarlanmıştır.



Şekil 3.9. NSLS II enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı optik fonksiyonları

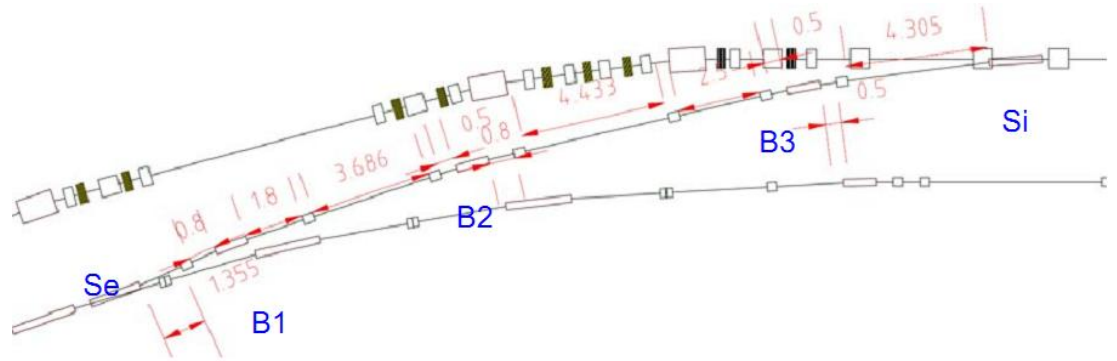


Şekil 3.10. NSLS II demet iletim hattı boyunca demet boyu

Şekilde 3.10. da görüldüğü gibi NSLS II demet iletim hattı boyunca maksimum demet boyu yaklaşık olarak 0,8 milimetredir (NSLS-II Conceptual Design Report, 2006).

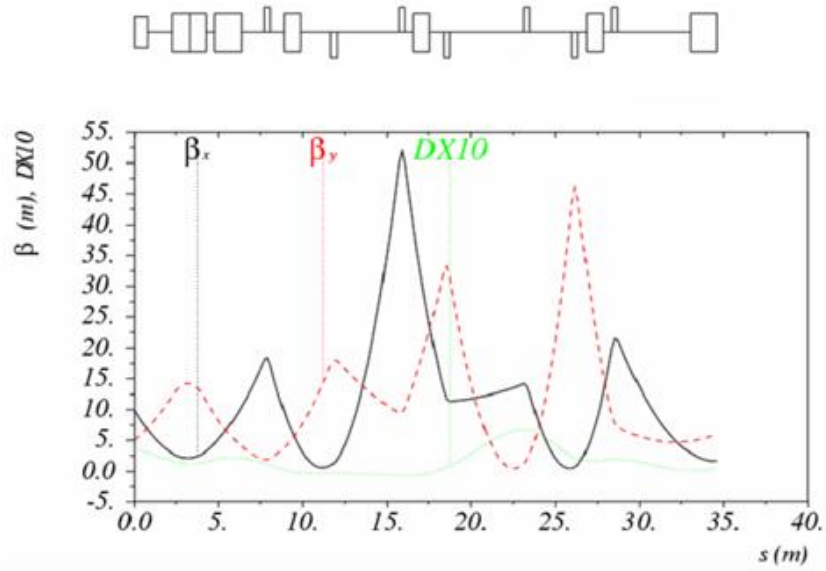
3.3.3. TPS (Taiwan Photon Source)

Taiwan da kurulan 3 GeV'lik elektron sinkrotron kaynağıdır. Bu merkezin enerji öteleyicisinin çevresi 496,8 metredir. Ana depolama halkası çevresi ise 518,4 metredir.

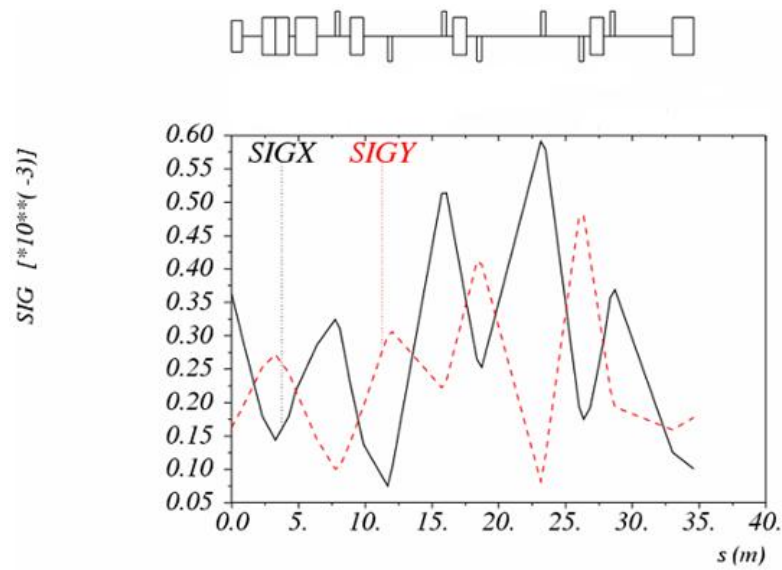


Şekil 3.11. TPS enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı

Sekil 3.11. de aynı tünelde bulunan enerji öteleyici ile ana depolama halkası arası demet iletim hattı gösterilmiştir. Aynı tünelde bulunan enerji öteleyici ile ana depolama halkası arasındaki mesafe yaklaşık 3 metredir. Demet iletim hattında kullanılan septum mıknatısların tipi “Eddy Current Septum “dur (Chang, 2009).



Şekil 3.12. TPS enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı optik fonksiyonları



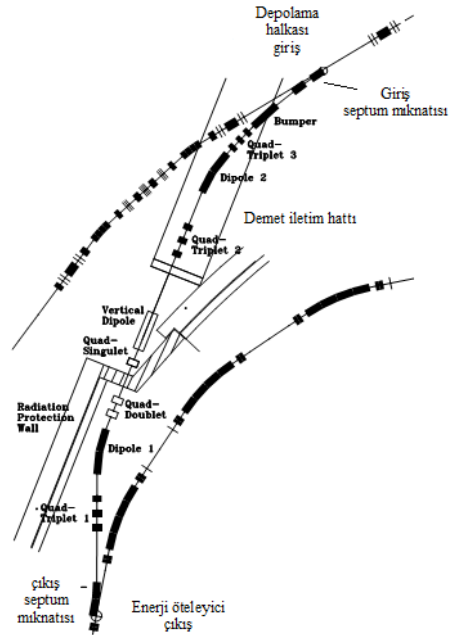
Şekil 3.13. TPS Demet iletim hattı boyunca demet boyu

Çizelge 3.5. TPS enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı başlangıç, bitiş ve çıkış ana depolama halkası enjeksiyon noktası optik parametreleri (TPS Design Handbook, 2008)

Optik fonksiyonlar	Enerji öteleyici çıkış	Ana depolama halkası giriş noktası	
		(ana halka giriş)	(iletim hattı sonu)
Beta x (m)	6,708	10,285	1,673
Beta y (m)	7,063	6,050	6,027
Alfa x	1,72	0,000	-0,060
Alfa y	-1,42	0,000	-0,534
Dispersiyon (m)	0,298	0,117	0,048
dD/ds (rad)	-0,084	0,000	0,082

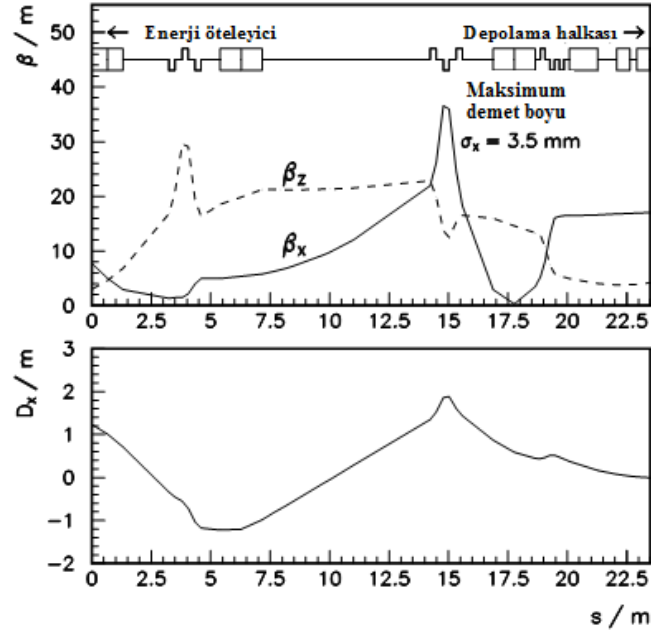
3.3.4.BESSY II

Almanya da kurulan 1,9 GeV elektron enerjine sahip bu merkezin enerji öteleyicisinin çevresi 96 metredir. Ana depolama halkasının çevresi ise 240 metredir (Weihreter, 2010).



Şekil 3.14. BESSY II enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı

Şekil 3.15. de BESSY II iletim hattı optik fonksiyonları gösterilmiştir. Beta fonksiyonlarının maksimum değerinin yaklaşık 40 metre civarında olduğu görülmektedir. Maksimum demet boyu ise 3,5 milimetredir. Demet iletim hattı uzunluğu ise 23,48 metredir. Demet boyunun diğer merkezlere kıyasla büyük olması bu merkezin demet enerjisinin 1,9 GeV olmasındandır.

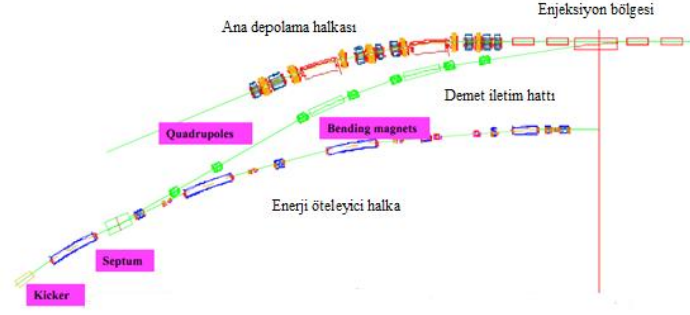


Şekil 3.15. BESSY II enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı optik fonksiyonları (Schirmer vd., 1995)

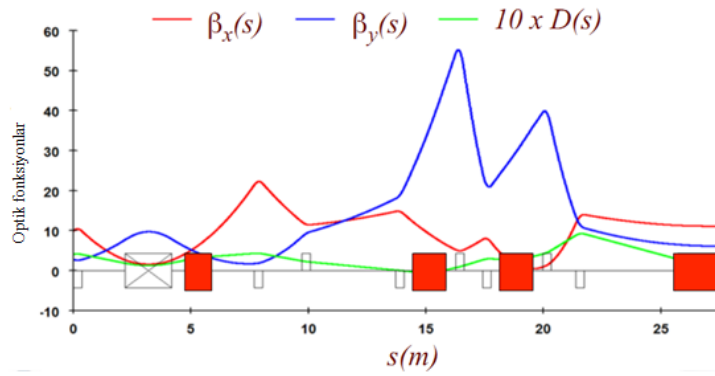
3.3.5.ALBA

İspanya da kurulan bir 3 GeV'lik elektron sinkrotron ışınım kaynağıdır. Enerji öteleyicisinin çevresi 249,6 metredir. Ana depolama halkası çevresi 268,8 metredir. Enerji öteleyici halka ile ana depolama halkası aynı tüneli paylaşmaktadırlar (Einfeld vd., 2005).

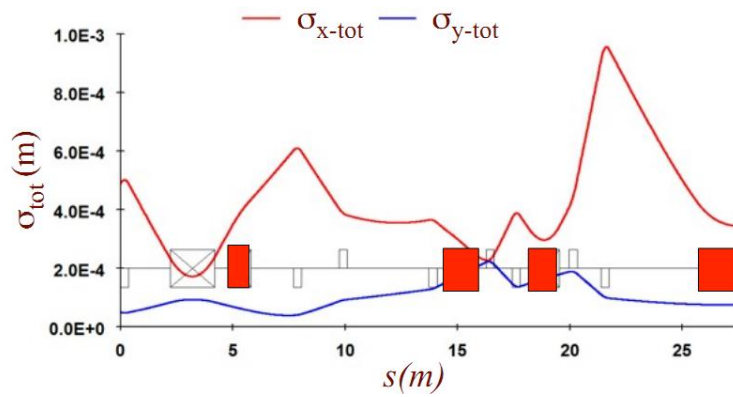
Şekil 3.16 da ALBA enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı şematik görünümü verilmiştir. Demet iletim hattı uzunluğu 26,8 metredir. 2 özdeş dipol (bending) ve 7 tane birbirinden farklı güçte kuadrupol mıknatıs kullanılmıştır (Benedetti vd., 2008).



Şekil 3.16. ALBA enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı



Şekil 3.17. ALBA enerji öteleyici halkadan ana depolama halkasına demet iletim hattı optik fonksiyonları



Şelik 3.18. ALBA demet iletim hattı boyunca demet boyu

Buradaki demet boyunda dikkat edilmesi gereken, kırmızı çizgiyle gösterilen x yönüdür. Yaklaşık olarak σ_x maksimum demet boyu 1 milimetredir (Bordas, 2010).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bulgular

4.1.1. Enerji Öteleyici-Ana Halka Arası Demet İletim Hattı Tasarımı

Bu çalışmada; enerji öteleyici-ana halka arası demet iletim hattı tasarımı yapılmıştır. Demet iletim hattı tasarımı yapılırken enerji öteleyici çıkış noktasındaki demet parametreleri iletim hattı giriş parametreleri olarak alınmıştır. Ana halkanın giriş noktasındaki demet parametreleri ise iletim hattı çıkış parametreleri olarak elde edilmiştir. $\beta_x, \beta_y, \alpha_x, \alpha_y, \eta_x$ ve η_x^1 demet parametrelerinin transfer hattı çıkışında ana halkanın giriş parametreleriyle birebir eşleştirilmesi sağlanmıştır.

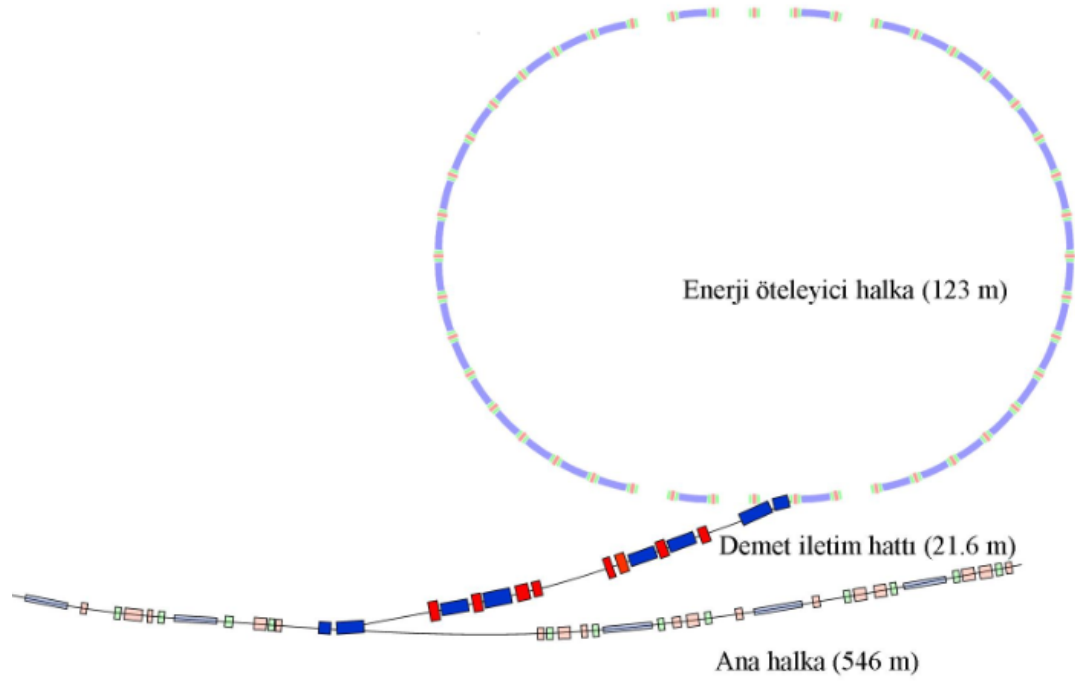
Burada iki farklı enerji öteleyici için çıkış değerleri alınarak iki farklı demet iletim hattı çalışması üzerinde yoğunlaşıldı. Başlangıçta; çevresi 123,75 metre olan küçük yarıçaplı enerji öteleyici halka için çıkış değerleri alınarak tasarım yapıldı. Daha sonra çevresi 528 metre olan büyük yarıçaplı enerji öteleyici halka için çıkış değerleri alınarak tasarım yapıldı.

Mıknatis aralıklarının sınırlı olması nedeniyle; tasarım yapılırken, beta fonksiyonlarının maksimum değerlerinin 60 metrenin altında tutulması ve dispersiyon fonksiyonunun maksimum değerinin 1 metrenin altında kalması göz önünde bulundurulmuştur (TPS Design Handbook, 2008).

Demet iletim hattının başında, halkada dolanmakta olan demetin bir kısmı kicker mıknatis yardımıyla anlık milisaniyelik darbelerle yönlendirilmiştir. Daha sonra kicker mıknatislerin devamında kullanılan septum mıknatisler yardımıyla da demetin tamamen halkadan ayrılması sağlanmıştır. Enerji öteleyici halka çıkış parametreleriyle iletim hattına giriş yaptırılan demet, iletim hattı boyunca ilerletilip kicker ve septum mıknatisler yardımıyla iletim hattı çıkış değerleriyle birlikte ana halkaya giriş yaptırılmıştır.

4.1.2. Küçük Yarıçaplı Enerji Öteleyici Halka Çıkış Parametreleri İçin Demet İletim Hattı Tasarımı

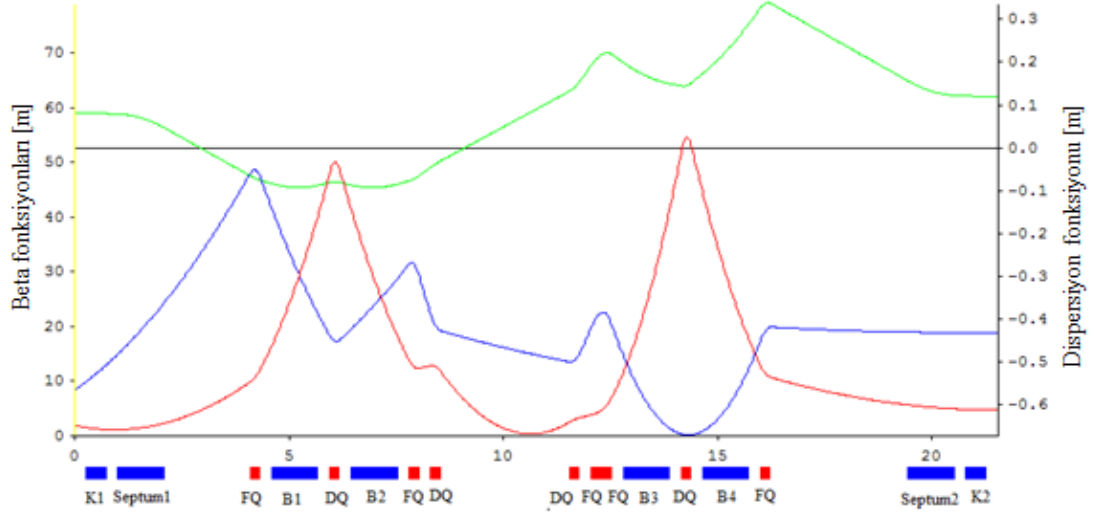
Küçük yarıçaplı enerji öteleyici halkanın enjeksiyon bölgesindeki kuadrupol mıknatıs çıkış parametreleri alınarak iletim hattı girişinde kullanılmıştır. Demet iletim hattı uzunluğu 21,6 metredir.



Şekil 4.1. Küçük yarıçaplı enerji öteleyici-ana halka arası demet iletim hattı şematik görünümü

Şekil 4.1. de küçük yarıçaplı enerji öteleyici-ana halka arası demet iletim hattı şematik olarak görünümü verilmiştir.

Şekil 4.2. de demet iletim hattı optik fonksiyonları beta-x (mavi), beta-y (kırmızı), dispersiyon (yeşil) gösterilmiştir. Demet iletim hattının giriş ve çıkışlarında kicker (K1,K2) mıknatıslar septum mıknatıslarla birlikte kullanılmıştır. Orta kısımda 4 adet dipol mıknatıs (B1,B2,B3,B4) kullanılmıştır. Bunun dışında 5 odaklayıcı (FQ), 4 dağıtıcı (DQ) olmak üzere toplam 9 adet kuadrupol mıknatıs kullanılmıştır.



Şekil 4.2. Demet iletim hattı optik fonksiyonları

Çizelge 4.1. Enerji öteleyici çıkış ve ana halka giriş değerleri

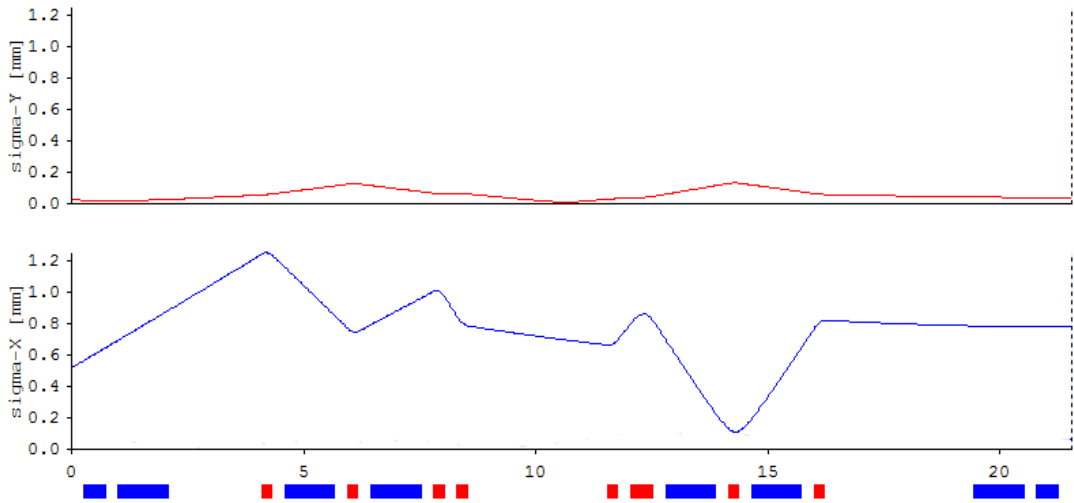
Optik fonksiyonları	Enerji öteleyici(123,75m) çıkış	Ana halka (546,35m) giriş
Beta x (m)	8,354	18,768
Beta y (m)	1,894	4,726
Alfa x	-2,763	0,000
Alfa y	0,805	0,000
Dispersiyon (m)	0,080	0,120
dD/ds (rad)	0,001	0,000

Çizelge 4.1. de enerji öteleyici çıkış değerleri ile ana halka giriş hedef değerleri gösterilmiştir. Burada gösterilen enerji öteleyici çıkış değerleri demet iletim hattı girişinde kullanılmıştır. Ana depolama halkası giriş değerleri ise demet iletim hattı sonunda birebir olarak elde edilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 4.2. iletim hattı giriş ve çıkış parametrelerini göstermektedir. Çizelge 4.1 ile kıyaslandığında demet iletim hattı sonunda gösterilen hedef değerlere ulaşıldığı görülecektir.

Çizelge 4.2. Enerji öteleyici-ana halka arası iletim hattı demet parametreleri

Demet iletim Hattı (21,6 m) Optik fonksiyonları	Demet iletim hattı Giriş parametreleri	Demet iletim hattı Çıkış parametreleri
Beta x (m)	8,354	18,798
Beta y (m)	1,894	4,735
Alfa x	-2,763	-0,002
Alfa y	0,805	0,001
Dispersiyon (m)	0,080	0,120
dD/ds (rad)	0,001	0,000



Şekil 4.3. Küçük yarıçaplı enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı boyunca demet boyu

Şekil 4.3. %1 “emittance coupling: ϵ_y/ϵ_x ” için demetin iletim hattı boyunca demet boyunu göstermektedir. Ortalama maksimum demet boyu yatay planda 1,2 milimetredir. Beta fonksiyonlarının yatay eksenindeki (x -ekseni) durumunda maksimum değer yaklaşık 50 metreye kadar çıkmıştır. Burada beta fonksiyonları için korunan limit değer, demet boyu içinde bir sınır oluşturmuştur. Beta fonksiyonunun maksimum olduğu noktada demet boyununda maksimum değerine ulaştığı görülmektedir.

Çizelge 4.3. Demet iletim hattı optimize kuadrupol güç değerleri

Kuadrupol	Uzunluk (metre)	k güç (strength) değerleri
Q1	0,25	1,495
Q2	0,25	-2,361
Q3	0,25	2,504
Q4	0,25	-2,083
Q5	0,25	-2,454
Q6	0,25	1,509
Q7	0,25	2,451
Q8	0,25	-2,790
Q9	0,25	2,279

Çizelge 4.3. de demet iletim hattında kullanılan odaklayıcı ve dağıtıcı kuadrupol mıknatısların güç parametreleri gösterilmiştir. İletim hattı boyunca bu k güç parametrelerinin değerleri değiştirilerek uygun çıkış değerleri elde edilmiştir.

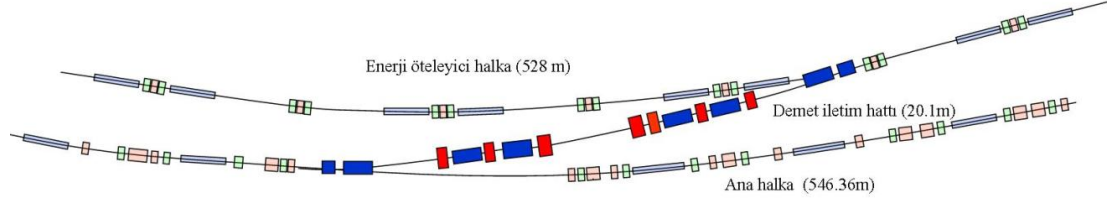
Çizelge 4.4. Demet iletim hattı kicker-septum-dipol mıknatıs değerleri

Mıknatıs tipi	Uzunluk(metre)	Bükme açısı (derece)
Kicker mıknatıs 1 (giriş)	0,5	-0,25
Kicker mıknatıs 2 (çıkış)	0,5	0,25
Septum mıknatıs 1 (giriş)	1,1	-3,00
Septum mıknatıs 2 (çıkış)	1,1	3,00
Dipol mıknatıs 1	1,1	3,00
Dipol mıknatıs 2	1,1	3,00
Dipol mıknatıs 3	1,1	3,00
Dipol mıknatıs 4	1,1	3,00

Çizelge 4.4. de demet iletim hattındaki kullanılan bükücü mıknatısların özelliklerini göstermektedir.

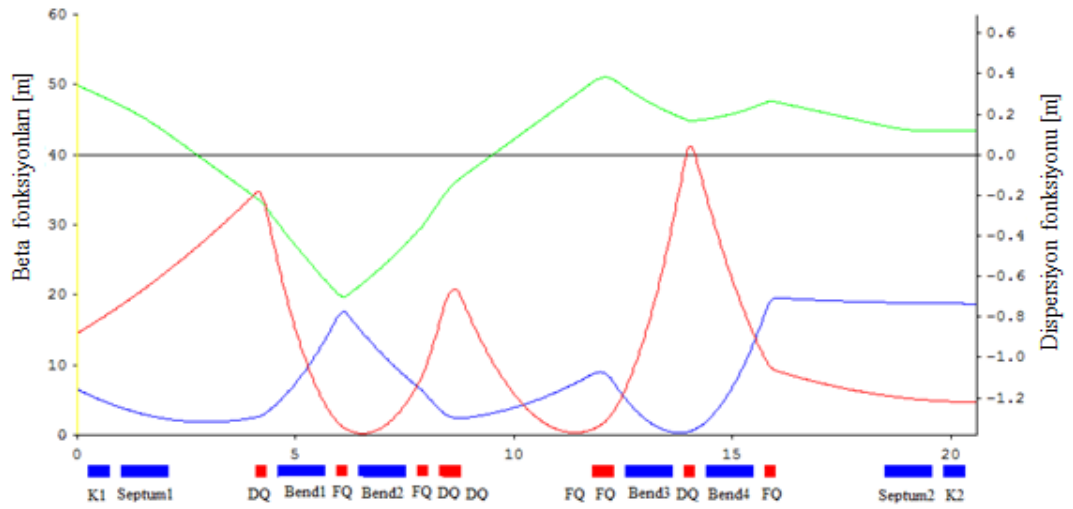
4.1.3. Büyük Yarıçaplı Enerji Öteleyici Halka Çıkış Parametreleri İçin Demet İletim Hattı Tasarımı

Büyük yarıçaplı enerji öteleyici halkanın enjeksiyon bölgesindeki kuadrupol mıknatis çıkış parametreleri alınarak iletim hattı girişinde kullanılmıştır. Demet iletim hattı uzunluğu 20,1 metredir.



Şekil 4.4. Büyük yarıçaplı enerji öteleyici-ana halka arası demet iletim hattı şematik görünümü

Şekil 4.4. de büyük yarıçaplı enerji öteleyici-ana halka arası demet iletim hattının şematik olarak görünümü verilmiştir. Burada enerji öteleyici ile ana depolama halkası aynı tünelde kurulacak şekilde düşünülmüştür. Enerji öteleyici ile ana depolama halkası, aralarındaki mesafe ortalama 3 metre olacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 4.5. Demet iletim hattı optik fonksiyonları

Şekil 4.5. de demet iletim hattı optik fonksiyonları beta- x (mavi), beta- y (kırmızı), dispersiyon (yeşil) gösterilmiştir. Demet iletim hattının giriş ve çıkışlarında kicker (K1,K2) mıknatıslar septum mıknatıslarla birlikte kullanılmıştır. Orta kısımda 4 adet dipol mıknatıs (Bend1,Bend2,Bend3,Bend4) kullanılmıştır. Bunun dışında 5 odaklayıcı (FQ), 4 dağıtıcı (DQ) olmak üzere toplam 9 adet kuadrupol mıknatıs kullanılmıştır.

Çizelge 4.5. Enerji öteleyici çıkış ve ana halka giriş değerleri

Optik fonksiyonları	Enerji öteleyici (528 m) çıkış	Ana halka (546.35m) giriş
Beta x (m)	6,538	18,768
Beta y (m)	14,573	4,726
Alfa x	1,581	0,000
Alfa y	-1,831	0,000
Dispersiyon (m)	0,343	0,120
dD/ds (rad)	-0,099	0,000

Çizelge 4.5. de enerji öteleyici çıkış değerleri ile ana halka giriş hedef değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Enerji öteleyici-ana halka arası iletim hattı demet parametreleri

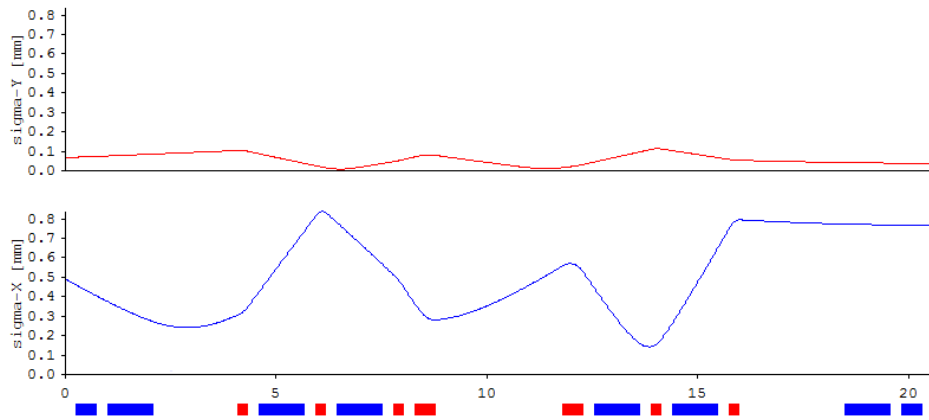
Demet iletim Hattı(20,1m) Optik fonksiyonları	İletim hattı giriş parametreleri	İletim hattı çıkış parametreleri
Beta x (m)	6,538	18,753
Beta y (m)	14,573	4,718
Alfa x	1,581	0,000
Alfa y	-1,831	0,000
Dispersiyon (m)	0,343	0,123
dD/ds (rad)	-0,099	0,008

Çizelge 4.6. da iletim hattı giriş ve çıkış parametrelerini göstermektedir. Çizelge 4.5 ile kıyaslandığında demet iletim hattı sonunda gösterilen hedef değerlere ulaşıldığı görülecektir.

Çizelge 4.7. Demet iletim hattı optimize kuadrupol güç değerleri

Kuadrupol	Uzunluk (metre)	k güç (strength) değerleri
Q1	0,25	-2,190
Q2	0,25	2,313
Q3	0,25	1,141
Q4	0,25	-1,825
Q5	0,25	-2,328
Q6	0,25	1,309
Q7	0,25	1,904
Q8	0,25	-2,902
Q9	0,25	1,973

Çizelge 4.7. de demet iletim hattında kullanılan odaklayıcı ve dağıtıcı kuadrupol mıknatısların güç parametreleri gösterilmiştir. İletim hattı boyunca bu k güç parametrelerinin değerleri değiştirilerek uygun çıkış değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.6. Büyük yarıçaplı enerji öteleyiciden ana depolama halkasına demet iletim hattı boyunca demet boyu

Şekil 4.6. %1 “emittance coupling: ϵ_y/ϵ_x ” için demetin iletim hattı boyunca demet boyunu göstermektedir. Ortalama maksimum demet boyu yatay planda 0,8 milimetredir. Beta fonksiyonları için göz önünde bulundurulmuş maksimum değer düşünüldüğünde bu, demet boyu içinde uygun bir limit oluşturmaktadır.

Çizelge 4.8. Demet iletim hattı kicker-septum-dipol mıknatıs değerleri

Mıknatıs tipi	Uzunluk(metre)	Bükme açısı (derece)
Kicker mıknatıs 1 (giriş)	0,5	-0,25
Kicker mıknatıs 2 (çıkış)	0,5	0,25
Septum mıknatıs 1 (giriş)	1,1	-3,00
Septum mıknatıs 2 (çıkış)	1,1	3,00
Dipol mıknatıs 1	1,1	3,00
Dipol mıknatıs 2	1,1	3,00
Dipol mıknatıs 3	1,1	3,00
Dipol mıknatıs 4	1,1	3,00

Çizelge 4.8. demet iletim hattındaki kullanılan bükücü mıknatısların özelliklerini göstermektedir.

4.2. Tartışma

THM demet iletim hattı tasarımı yapılırken beta fonksiyonlarının 60 metrenin altında kalması göz önünde bulundurulmuştur. Şekil 3.5. deki CANDLE demet iletim hattı β_y fonksiyonunun maksimum değerine odaklanacak olursak; orta kısımda 120 metreye kadar çıktığı görülmektedir. Denklem (2.69) hatırlanırsa; beta fonksiyonu ile emitansın karekök içinde çarpımı demet boyunu verecektir. CANDLE enerji öteleyici halkanın düşey emitansının yatay emitansına oranı (ϵ_y/ϵ_x) %1 dir. Bu orana “emittance coupling” denir. Buradan da görüldüğü gibi düşey emitans oldukça küçüktür. Bundan dolayı β_y değerinin büyük olması σ_y demet boyunu çok fazla etkilemeyecektir. Enerji öteleyici için genellikle yatay emitans büyüktür. Bu yüzden

σ_x demet boyunu etkileyecek olan β_x fonksiyonunun maksimum değeri olacaktır. Şekil 3.6. da grldği gibi CANDLE demet iletim hattı boyunca demet boyu x -ekseninde 2 milimetreye kadar çıkarken y -ekseninde oldukça küçüktür.

NSLS II büyük yarıçaplı enerji öteleyiciden alınan değerlerle yapılan demet iletim hattı tasarımı beta değerlerinin maksimum 60 metre civarında olduğu Şekil 3.9. dan görülmektedir. Şekil 3.10. da NSLS II demet iletim hattı boyunca demet boyunun maksimum 0,8 milimetre civarında olduğu görülmektedir. THM büyük yarıçaplı enerji öteleyiciden alınan değerlerle tasarlanan demet iletim hattı boyunca demet boyunun maksimum değerinin de 0,8 milimetre olması yapılan çalışmanın gerçekliğini vurgulamak açısından dikkat çekicidir.

THM demet iletim hattı tasarımı yapılırken üzerinde durulan bir diğer konu ise iletim hattı sonundaki demet parametrelerinin ana halka giriş parametreleri ile birebir eşleştirilmesi olmuştur. Çizelge 3.5. in sağ kısmında TPS ana halka giriş noktası demet parametreleri ile demet iletim hattı sonunda elde edilen değerler birlikte verilmiştir. Burada değerlerin birebir eşleşmediği görülmektedir. Demet iletim hattı tasarımı da birebir değerlerin tutturulması tercih edilmektedir. Fakat bunun her zaman birebir Şekilde sağlanması mümkün olmamaktadır. Beta değerlerinin demet iletim hattı sonunda hedeflenenin altında bir değere çekilmiş olması kabul edilebilmektedir. Halka içindeki demetin salınımıyla beraber, iletim hattından gelen demet genişleme yapacağından dolayı hedeflenenin altında bir değerle de giriş yapılabilir. Ama bu durumda demetin ana halkaya enjekte edilmesi işlemi ayrı bir önem kazanmış oluyor.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada THM sinkrotron ışınım kaynağının iki ayrı enerji öteleyici halkasının çıkış noktası değerleri için demet iletim hattı tasarımı yapılmıştır. Demet iletim hattı sonu demet parametreleriyle, ana depolama halkası giriş parametreleri birebir eşleştirilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 5.1. Demet iletim hattı çıkış ve ana halka giriş değerlerinin karşılaştırılması

Demet iletim hattı Optik fonksiyonları	(küçük booster) Demet iletim hattı çıkış	(büyük booster) Demet iletim hattı çıkış	Ana Depolama Halkası Giriş
Beta x (m)	18,798	18,753	18,768
Beta y (m)	4,735	4,718	4,726
Alfa x	-0,002	0,000	0,000
Alfa y	0,001	0,000	0,000
Dispersiyon (m)	0,120	0,123	0,120
dD/ds (rad)	0,000	0,008	0,000

Yukarıdaki çizelge 5.1 de iki ayrı demet iletim hattı çıkış parametreleri ile ana depolama halkası giriş parametreleri karşılaştırılmıştır. Burada her iki demet iletim hattı sonunda da ana depolama halkası giriş değerleri tam olarak elde edilmiştir. Demetin faz uzayındaki konumunu belirlemeye yarayan bu parametrelerin her birinin birebir olarak eşleşmiş olması demetin ana halkaya düzgün olarak iletimi açısından son derece önemlidir.

Demet parametrelerinin birebir eşleştirilmesi yapılırken kullanılan mıknatısların aralık boyları göz önünde bulundurularak beta fonksiyonları maksimum değerleri belli bir sınırdaki (60 metrenin altında) tutulmaya çalışılmıştır. Beta fonksiyonlarındaki bu sınır demet boyunun da kabul edilebilir sınırlarda kalmasını sağlamıştır. Çizelge 5.2. de THM; küçük ve büyük yarıçaplı iki ayrı enerji öteleyici ve buna bağlı iki ayrı demet iletim hattı tasarımından dolayı TAC(I) ve TAC(II) olarak gösterilmiştir.

Küçük ve büyük yarıçaplı enerji öteleyici halkaların çıkış noktasındaki değerler kullanılarak tasarlanan iletim hatları boyunca demet boylarının maksimum değerleri sırasıyla 1,2 ve 0,8 milimetredir.

Çizelge 5.2. TAC (Turkish Accelerator Center) Demet İletim Hattı Demet Boyunun Diğer Merkezlerle Karşılaştırılması

Merkez (demet iletim hattı)	Demet enerjisi (GeV)	Maksimum Demet Boyu (milimetre)
CANDLE	3,0	2,0
NLS II	3,0	0,8
TPS	3,0	0,6
BESSY II	1,9	3,5
ALBA	3,0	1,0
TAC (I)	3,0	1,2
TAC (II)	3,0	0,8

Sonuç olarak, Çizelge 5.2. ye bakıldığında bu tez çalışmasında elde edilen demet boylarının maksimum değerlerinin farklı merkezlerin demet iletim hatlarındaki demet boyları ile kıyaslığında kabul edilebilir boyutlarda olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Baird, S., "Accelerators for pedestrians", AB-Note-2007-014 OP, CERN, 2007.
- Barnes, M.J., Ducimetiere, L., Fowler, T., Senaj, V., Sermeus, L., Injection and extraction magnets: septa, CERN, 2009a.
- Barnes, M.J., Ducimetiere, L., Fowler, T., Senaj, V., Sermeus, L., Injection and extraction magnets: kicker magnets, CERN, 2009b.
- Benedetti, G., Einfeld, D., Huttel, E., Muñoz, M., Pont, M., Huttel, E., Proceedings of EPAC08, Genoa, Italy, WEPC068, "Injection into The ALBA Storage Ring", 2008.
- Bordas, J., "The ALBA Project II", Wednesday 24 Nov. 2010.
- CANDLE; 3 GeV Synchrotron Light Source Design Report, "4.5 Transfer Line " and "3.7 Storage Ring Magnet", July 2002.
- Chang, C.H., Proceeding of PAC09, Vancouver, BC, Canada, MO6PFP026, "Design Considerations for The TPS Pulsed Magnets System", 2009.
- Einfeld, D., Al-Dmour, E., Campmany, J., Muñoz, M., Perez, F. And Pont, M., CELLS, P.O., Box 68, 08193 Bellaterra, Spain "Progress with The Synchrotron Light" Source ALBA", 2005.
- Etişken, Ö., Çiftçi, A.K., Wiedemann, H., Zengin, K., Lattice Optimization and Design for Booster Ring of Turkish Accelerator Center (TAC) Project with 0.15-3 GeV, İstanbul, 2011.
- Holzer, B.J., Lattice Design in High-Energy Particle Accelerators, CERN Accelerator School Intermediate Accelerator Physics, DESY, Zeuthen, Germany, 2003.
- Lombardi, A., Transverse Dynamics I, Beam Lines CERN Accelerator School, 2005.
- NSLS-II Conceptual Design Report "chapter 4 or 5", December 2006.
- Roszbach, J., Schmüser, P., "Basic Course on Accelerator Optics", CERN Accelerator School, 1992.

Schirmer, D., Haotrott, M. v., Khan, S., Kramer, D., Weihreter, E.,”Beam Transport Lines at BESSY-II”,12489 Berlin, Germany, 1995.

Streun,A., OPA 3.0 version α - 153, PSI, Nov. 2008.

TPS Design Handbook, 3.3.Injector, June 2008.

Tsakanov, V., Status of 3 GeV Intermediate Energy Light Source Project Candle in Republic of Armenia, Proceedings of EPAC 2002, Paris, France, 2002.

Tsoupas, N., Proceedings of PAC07, Albuquerque, New Mexico, USA, MOPAS102, “Design of Beam Transfer Lines for The NSLS II”,2007.

Weihreter, E., Synchrotron Radiation Source R&D at BESSY II in Berlin, Congress on Particle Accelerators and Applications, Bodrum/Turkey, 2010.

Wiedemann, H., Particle Accelerator Physics, Springer-Verlag, Berlin, 2007.

Wiedemann, H., sözlü görüşme, Ankara, 2011.

Wilson, E., “Transverse Dynamics”, CERN Accelerator School, 2003a.

Wilson, E.J.N.,”Transverse Motion”, CERN,Switzerland,2003b.

Yıldız, H., Çiftçi, A.K., Çiftçi, R., Wiedemann, H., Zengin, K., Design, Dynamic Aperture and Undulator Issues in The Synchrotron Ring of Turkish Accelerator Center, TAC-SR, İstanbul, 2011.

EKLER

EK 1 TAC I Demet İletim Hattı OPA Dosyası

{----- Global parameters (units: GeV, m, rad) -----}

Title = TAC;

energy = 3.0;

betax = 8.3540; alphax = -2.763;

etax = 0.0800; etaxp = 0.0013;

betay = 1.8940; alphay = 0.8050;

{----- Table of elements (units: m, m⁻², deg) ----- }

{ Conventions: Quadrupole: k>0 horizontally focusing }

D1 : Drift, L = 0.2500;

D2 : Drift, L = 0.2500;

D3 : Drift, L = 2.0000;

D4 : Drift, L = 0.2500;

D5 : Drift, L = 0.2500;

D6 : Drift, L = 0.2500;

D7 : Drift, L = 0.2500;

D8 : Drift, L = 0.2500;

D9 : Drift, L = 3.0000;

D10 : Drift, L = 0.2500;

D11 : Drift, L = 0.2500;

D12 : Drift, L = 0.2500;

D13 : Drift, L = 0.2500;

D14 : Drift, L = 0.2500;

D15 : Drift, L = 3.2000;

D16 : Drift, L = 0.2500;

D17 : Drift, L = 0.2500;

Q1 : Quadrupole, L = 0.250000, K = 1.4950;
Q2 : Quadrupole, L = 0.250000, K = -2.3610;
Q3 : Quadrupole, L = 0.250000, K = 2.5040;
Q4 : Quadrupole, L = 0.250000, K = -2.0830;
Q5 : Quadrupole, L = 0.250000, K = -2.4540;
Q6 : Quadrupole, L = 0.250000, K = 1.5090;
Q7 : Quadrupole, L = 0.250000, K = 2.4510;
Q8 : Quadrupole, L = 0.250000, K = -2.7900;
Q9 : Quadrupole, L = 0.250000, K = 2.2790;

S1 : Bending, L = 1.10000, T = -3.0000;
B1 : Bending, L = 1.10000, T = 3.0000;
B2 : Bending, L = 1.10000, T = 3.0000;
B3 : Bending, L = 1.10000, T = 3.0000;
B4 : Bending, L = 1.10000, T = 3.0000;
S2 : Bending, L = 1.10000, T = 3.0000;
K1 : Bending, L = 0.50000, T = -0.250;
K2 : Bending, L = 0.50000, T = 0.250;

TLINE:

D1,K1,D2,S1,D3,Q1,D4,B1,D5,Q2,D6,B2,D7,Q3,D8,Q4,D9,Q5,D10,Q6,Q7,D11,
B3,D12,Q8,D13,B4,D14,Q9,D15,S2,D16,K2,D17;

EK 2 TAC II Demet İletim Hattı OPA Dosyası

{----- Global parameters (units: GeV, m, rad) -----}

Title = TAC;

energy = 3.0;

betax = 6.5380; alphax = 1.5815;

etax = 0.3430; etaxp = -0.0993;

betay = 14.573; alphas = -1.8317;

{----- Table of elements (units: m, m⁻², deg,-----) }

{ Conventions: Quadrupole: k>0 horizontally focusing }

D1 : Drift, L = 0.2500;

D2 : Drift, L = 0.2500;

D3 : Drift, L = 2.0000;

D4 : Drift, L = 0.2500;

D5 : Drift, L = 0.2500;

D6 : Drift, L = 0.2500;

D7 : Drift, L = 0.2500;

D8 : Drift, L = 0.2500;

D9 : Drift, L = 3.0000;

D10 : Drift, L = 0.2500;

D11 : Drift, L = 0.2500;

D12 : Drift, L = 0.2500;

D13 : Drift, L = 0.2500;

D14 : Drift, L = 2.5000;

D15 : Drift, L = 0.2500;

D16 : Drift, L = 0.2500;

Q1 : Quadrupole, L = 0.250000, K = -2.1900;
Q2 : Quadrupole, L = 0.250000, K = 2.3130;
Q3 : Quadrupole, L = 0.250000, K = 1.1410;
Q4 : Quadrupole, L = 0.250000, K = -1.8250;
Q5 : Quadrupole, L = 0.250000, K = -2.3280;
Q6 : Quadrupole, L = 0.250000, K = 1.3090;
Q7 : Quadrupole, L = 0.250000, K = 1.9040;
Q8 : Quadrupole, L = 0.250000, K = -2.9020;
Q9 : Quadrupole, L = 0.250000, K = 1.9730;

S1 : Bending, L = 1.10000, T = -3.0000;
B1 : Bending, L = 1.10000, T = 3.0000;
B2 : Bending, L = 1.10000, T = 3.0000;
B3 : Bending, L = 1.10000, T = 3.0000;
B4 : Bending, L = 1.10000, T = 3.0000;
S2 : Bending, L = 1.10000, T = 3.0000;
K1 : Bending, L = 0.50000, T = -0.250;
K2 : Bending, L = 0.50000, T = 0.250;

TLINE:

D1,K1,D2,S1,D3,Q1,D4,B1,D5,Q2,D6,B2,D7,Q3,D8,Q4,Q5,D9,Q6,Q7,D10,B3,
D11,Q8,D12,B4,D13,Q9,D14,S2,D15,K2,D16;