

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TÜRK HIZLANDIRICI MERKEZİ PROJESİNİN 3,56 GeV ENERJİLİ
DEPOLAMA HALKASINDA DEMET YAYINIMI VE ÖRGÜ
OPTİMİZASYONU**

Kahraman ZENGİN

FİZİK ANABİLİM DALI

ANKARA

2009

Her haklı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TÜRK HIZLANDIRICI MERKEZİ PROJESİNİN 3,56 GeV ENERJİLİ DEPOLAMA HALKASINDA DEMET YAYINIMI VE ÖRGÜ OPTİMİZASYONU

Kahraman ZENGİN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Abbas Kenan ÇİFTÇİ

Yüksek parlaklıkta ışınım elde etmek için, demetin yayınımlı, enerji yayılımlı ve dispersiyon değerleri oldukça önemlidir. Üçüncü nesil bir ışınım kaynağı olan depolama halkasında diğer demet parametrelerini bozmadan en düşük demet yayınımlı elde etmek için en uygun temel örgü tipinin optimizasyon çalışmaları yapıldı. Bu optimizasyonla yüksek parlaklıkta ışınım verebilecek, $4 \text{ nm-rad} < \varepsilon < 20 \text{ nm-rad}$ arasında bir yayınımlı değerine ulaşılmaya çalışıldı. Demetin enerji yayılımlı ve dispersiyon değerleri oldukça düşük değerlerde tutulmaya çalışıldı. Tasarım yapılırken simülasyon programları (BEAMOPTICS, WINAGILE, MAD-X) kullanıldı. Elde edilen ışınım değeri ile üçüncü nesil ışınım kaynakları mertebelerine ulaşıldı.

Ocak 2009, 45 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Depolama Halkası, Demet Yayınımlı, Enerji Yayılımlı, Sinkrotron Işınımlı

ABSTRACT

Master Thesis

BEAM EMITTANCE AND LATTICE OPTIMIZATION FOR STORAGE RING OF
TURKISH ACCELERATOR CENTER PROJECT WITH 3,56 GeV

Kahraman ZENGİN

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Abbas Kenan ÇİFTÇİ

Values of beam emittance, energy spread and dispersion are important to obtain high brightness for radiation. In this thesis, an optimization study to determine the most suitable elementary lattice structure in the storage ring of the third generation synchrotron radiation source is done without damaging other beam parameters. With this optimization, to reach an emittance value between $4 \text{ nm}\cdot\text{rad} < \varepsilon < 20 \text{ nm}\cdot\text{rad}$ has been tried. Beam energy spread and dispersion values have been tried to reach the lowest values. Simulation programs (BEAMOPTICS, WINAGILE, MAD-X) have been used for lattice design. Obtained light parameters have been reached to third generation light sources levels.

January 2009, 45 Pages

Key Words : Storage Ring, Beam Emittance, Energy Spread, Synchrotron Radiation

TEŐEKKÖR

Bu çalışmada bana her konuda destek olan değerli öğretmenim Prof. Dr. Abbas Kenan ÇİFTÇİ, değerli aileme ve niőanlıma çok teőekkör ederim.

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

Kahraman ZENGİN
Ankara, Ocak 2009

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	2
2.1. Elektromanyetik Alanda Parçacık Demet Dinamiği.....	2
2.1.1 Yatay ve dikey düzlemde hareket denklemleri.....	3
2.2 Parçacık Demeti ve Faz Uzayı.....	6
2.3 Periyodik Odaklama Sistemi.....	8
2.4 Akromatik Örgü Hücresi (Demet İletim Sistemi).....	11
2.5 Düşük Yayınım Örgü Dizaynları.....	12
2.5.1 Zayıf odaklama.....	12
2.5.2 Güçlü odaklama.....	12
2.5.3 FODO hücresi.....	13
2.5.4 Ayrık fonksiyonlu düşük yayınım hücresi.....	14
2.5.5 Birleşik fonksiyonlu düşük yayınım hücresi.....	14
2.5.6 Düşük yayınım FODO hücresi.....	15
2.5.7 Çift bükücü akromat (achromat).....	16
2.5.8 Üçlü bükücü akromat (achromat).....	16
2.5.9 Çift-çift bükücü akromat (achromat).....	18
2.6 Sinkrotron integralleri.....	19
2.7 Eklenti araçlarının sisteme etkileri.....	20
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	21
3.1 Çift Bükücü Akromat (Achromat).....	22
3.2 Üçlü Bükücü Akromat (Acromat).....	22
3.3 Çift-Çift Bükücü Akromat (Achromat).....	23
4. BULGULAR.....	24

4.1 Çift Bükücü Akromat (Achromat).....	24
4.2 Üçlü Bükücü Akromat (Achromat).....	27
4.3 Çift-Çift Bükücü Akromat (Achromat).....	30
4.4 Çift-Çift Bükücü Akromat (Acromat) Örgü İçin Eklenti Araçlarının Etkisi...33	
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	36
KAYNAKLAR.....	41
EKLER	
EK 1 Çift Bükücü Akromat (Achromat) MAD-X Dosyası.....	42
EK 2 Üçlü Bükücü Akromat (Achromat) MAD-X Dosyası.....	43
EK 3 Çift-Çift Bükücü Akromat (Achromat) MAD-X Dosyası.....	44
ÖZGEÇMİŞ.....	45

SİMGELER DİZİNİ

α, β, γ :	Elips Parametreleri, Betatron Fonksiyonları
C :	Depolama halkasının çevresi
D, η :	Dispersiyon
ε :	Yayınım
I :	Demet akısı
κ :	Lokal Bükülme Vektörü
k :	Manyetin Güç Parametresi
ξ_x, ξ_y :	Kromatiklik
Q_x, Q_y :	Ayar
ρ :	Bükülme yarıçapı
σ_x, σ_y :	Demet boyutları
σ_ε :	Enerji yayılımı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	Frenet-Serret koordinat sistemi.....	3
Şekil 2.2	Sapma düzlemi.....	4
Şekil 2.3	Faz uzay elipsi.....	7
Şekil 2.4	Bir faz uzay elipsinin hareket doğrultusu boyunca değişimi.....	8
Şekil 2.5	Bir akromatik örgüdeki dispersiyon etki.....	11
Şekil 2.6	Bir zayıf odaklayıcıda beta ve dispersiyon dağılımı.....	12
Şekil 2.7	Bir güçlü odaklayıcıda beta ve dispersiyon dağılımı.....	13
Şekil 2.8	Bir FODO hücresinde beta ve dispersiyon dağılımı.....	13
Şekil 2.9	Bir ayırık fonksiyonlu düşük yayınım hücresinde beta ve dispersiyon dağılımı.....	14
Şekil 2.10	Bir birleşik fonksiyonlu düşük yayınım hücresinde beta ve dispersiyon dağılımı.....	15
Şekil 2.11	Bir düşük yayınım FODO hücresinde beta ve dispersiyon dağılımı.....	15
Şekil 2.12	Bir çift bükücü akromat (achromat) hücresinde beta ve dispersiyon dağılımı.....	16
Şekil 2.13	Bir üçlü bükücü akromat (achromat) hücresinde beta ve dispersiyon dağılımı.....	17
Şekil 2.14	Bir çift-çift bükücü akromat hücresinde beta ve dispersiyon dağılımı.....	18
Şekil 4.1	Dört kutuplu manyetler için a) güç-dispersiyon b) güç-yayınım optimizasyonu.....	25
Şekil 4.2	23 periyotlu Çift Bükücü Akromat (Achromat) örgü için örgü fonksiyonları.....	26
Şekil 4.3	Çift bükücü akromat (achromat) için halkanın genel görünümü.....	26
Şekil 4.4	Çift bükücü akromat (achromat) için ayar diyagramı ve çalışma noktası.....	27
Şekil 4.5	28 periyotlu üçlü bükücü akromatik örgü için örgü fonksiyonları.....	28
Şekil 4.6	Üçlü bükücü akromat (achromat) için halkanın genel görünümü.....	29
Şekil 4.7	Üçlü bükücü akromat (achromat) için ayar diyagramı ve çalışma noktası.....	29
Şekil 4.8	12 periyotlu çift-çift bükücü akromatik örgü için örgü fonksiyonları.....	31
Şekil 4.9	12 periyotlu çift-çift bükücü örgünün tüm betatron fonksiyonları.....	31
Şekil 4.10	Çift-çift bükücü akromat (achromat) için halkanın genel görünümü.....	32

Şekil 4.11 Çift-çift bükücü akromat (achromat) için ayar diyagramı ve çalışma noktası.....	32
Şekil 4.12 Çift-çift bükücü akromat (achromat) örgüde salındırıcı manyet etkisi.....	33
Şekil 4.13 Salındırıcı manyetin demet yayılımı üzerindeki etkisi.....	34
Şekil 4.14 Salındırıcı manyetin demet enerjisi yayılımı üzerindeki etkisi.....	34
Şekil 4.15 185 mm dalga boylu salındırıcıdan elde edilen ışınımın parlaklığı.....	35
Şekil 4.16 Dünyada çalışmakta olan ışınım kaynaklarının parlaklık değerleri.....	35
Şekil 5.1 NSLS-II(Amerika); E=3 GeV, süper periyot=30, çevre=780 m, yayılım=0,55 nm·rad.....	39
Şekil 5.2 SPEAR3(Amerika); E=3 GeV, süper periyot=17, çevre=198,24 m, yayılım=18 nm·rad.....	39
Şekil 5.3 CLS(Kanada); E=2,9 GeV, süper periyot=12, çevre=170,88 m, yayılım=18,3 nm·rad.....	40
Şekil 5.4 Çift-çift bükücü akromat (achromat); E=3,56 GeV, süper periyot=12, çevre=370,56 m, yayılım= $4,13 < \varepsilon_x < 8,82$ nm·rad.....	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Çift bükücü akromat (achromat) için halka parametreleri.....	24
Çizelge 4.2 Üçlü bükücü akromat (achromat) için halka parametreleri.....	28
Çizelge 4.3 Çift-çift bükücü akromat (achromat) için halka parametreleri.....	30
Çizelge 5.1 Çift-çift bükücü akromat örgünün dünya merkezleri ile karşılaştırılması...	38

1. GİRİŞ

Üçüncü nesil ışınım kaynakları olarak kullanılan depolama halkaları yüksek parlaklıkta ışınım elde etmek için tasarlanır. Yüksek parlaklıkta ışınımına ulaşmak için asıl hedef, depolama halkasının dispersiyonsuz düz bölgelerinde parçacık demetinin faz uzayındaki yayılımını (ε) ve demetin enerji yayılımını mümkün mertebede en küçük değerlerde tutmaya çalışmaktır. Günümüzde üçüncü nesil olarak kullanılan depolama halkalarındaki demet yayılımını, $4 \text{ nm}\cdot\text{rad} < \varepsilon < 20 \text{ nm}\cdot\text{rad}$ arasında bir değerdedir. Demetin enerji yayılımını ise $5, 10^{-4} < \frac{\Delta E}{E} < 11, 10^{-4}$ arasında bir değerdedir.

Üçüncü nesil ışınım kaynakları, katihal fiziği, hücre biyolojisi, kimya, vb. gibi alanlarda araştırmalar için kullanılır. Bu araştırmaların sonuçları da birçok teknolojinin alt yapısını oluşturmada hizmet eder.

Bu çalışmada asıl hedef, Türk Hızlandırıcı Merkezi Projesinin 3,56 GeV enerjili pozitron depolama halkasında yüksek parlaklıkta ışınım elde etmek için demet yayılımını üçüncü nesil mertebesinde tutacak en uygun temel örgüyü belirlemek olacaktır. Ayrıca, bu pozitron depolama halkasından ışınım elde edilmesinin yanında temel parçacık fiziği için bir elektron pozitron çarpıştırıcısının pozitron halkası kısmını oluşturması da düşünülmektedir (Çiftçi vd. 2005).

Bu örgünün belirlenmesinde, hızlandırıcı tasarımında kullanılan MAD-X, BEAMOPTICS ve WINAGILE simülasyon programları kullanılacaktır. Yapılan çalışmanın, günümüzde çalışmakta olan depolama halkalarının demet parametreleri ve elde edilen ışınım değerleri ile karşılaştırılması yapılacaktır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Elektromanyetik Alanda Parçacık Demet Dinamiği

Elektromanyetik alanda bir parçacık demeti üzerine etki eden net kuvvet, Lorentz kuvvetidir. Yüklü parçacıklar üzerinde doğrudan etkisi olan bu kuvvet, demeti oluşturan parçacıkları ideal yörüngede tutmak için oldukça etkilidir.

$$\vec{F} = e\vec{E} + e[\vec{v} \times \vec{B}] \quad (2.1)$$

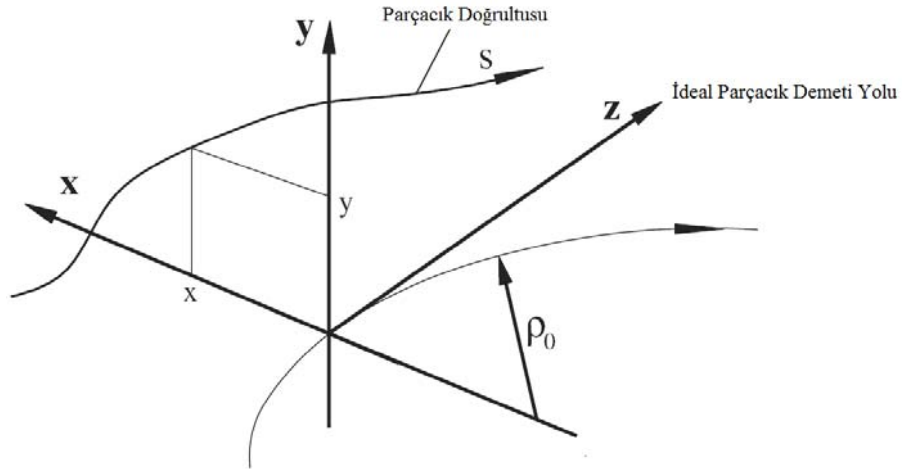
Burada, e elektronun temel yükü, \vec{v} parçacığın hız vektörü ve \vec{E} elektrik alan, \vec{B} de manyetik alan vektörleridir. Lorentz kuvvetinin etkisi altında parçacık doğrultusunun değişimi, demet dinamiği ya da demet optiği olarak adlandırılır.

Bir manyetik alana giren bir parçacık demetinde sapan parçacığın dinamiğini, bu parçacık üzerinde oluşan merkezkaç kuvveti ile Lorentz kuvvetinin dengesi belirler.

$$m\gamma v^2 \vec{\kappa} + e[\vec{v} \times \vec{B}] = 0 \quad (2.2)$$

$$\vec{\kappa} = (\kappa_x, \kappa_y, 0); \kappa_{x,y} = \frac{1}{\rho_{x,y}} \quad (2.3)$$

Burada, γ görelî Lorentz faktörü, $\vec{\kappa}$ parçacık doğrultusunun lokal bükülme vektörü ve $\rho_{x,y}$ doğrultunun lokal bükülme yarıçapıdır.



Şekil 2.1 Frenet-Serret koordinat sistemi

Frenet-Serret koordinat sistemi ideal yörünge ile parçacık yörüngesi arasındaki ilişkiyi temsil eden yeni bir koordinat sistemi olarak karşımıza çıkar.

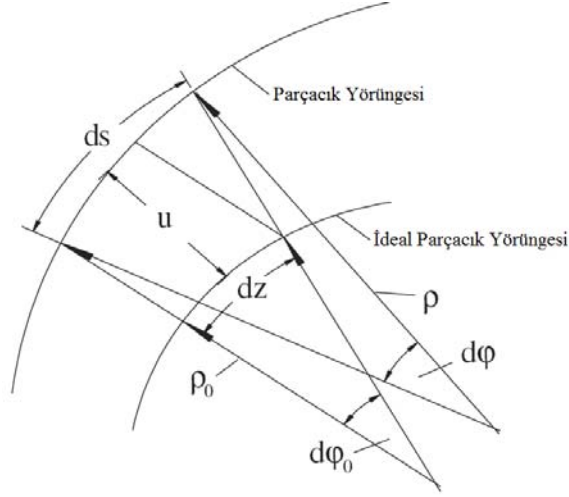
Böylece, (2.2) denklemi ve $p = m\gamma v$ lineer momentum bağıntısının ilişkilendirilmesi, bir manyetik alanda parçacığın doğrultusu için bükülme yarıçapını verir.

$$\frac{1}{\rho} = \left| \frac{e}{p} B \right| = \left| \frac{ec}{\beta E} B \right| \quad (2.4)$$

Burada, β parçacığın görelî hızı, c ışığın boşluktaki hızıdır.

2.1.1 Yatay ve dikey düzlemde hareket denklemleri

Manyetik alanda sapmaya uğrayan parçacık demetinin, ideal yörüngeye göre nasıl bir yörünge izlediği sapma düzlemi üzerinde incelenir.



Şekil 2.2 Sapma düzlemi

Yörünge yay uzunlukları ile sapma açıları arasındaki bağıntılar aşağıdaki gibi verilir.

$$d\varphi_0 = dz/\rho_0$$

$$d\varphi_0 = \kappa_0 dz$$

$$d\varphi = \kappa ds$$

$$ds = (1 + \kappa_0 u) dz + \mathcal{O}(2) \quad (2.5)$$

Böylece, bir parçacığın ideal yörüngeden sapması aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$u = u(x, y); u'' = -(d\varphi/dz - d\varphi_0/dz)$$

$$u'' = -(1 + \kappa_0 u)\kappa + \kappa_0 \quad (2.6)$$

Gerçek parçacık demeti asla monokromatik olmadığı için küçük momentum hataları da hesaba katılmalıdır. Bu nedenle ideal momentum civarında parçacık momentumu genişletilmelidir.

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{p_0(1+\delta)} \approx \frac{1}{p_0}(1 - \delta + \dots) \quad (2.7)$$

Yatay- düzlemdeki hareket denklemi

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

$$u = x, \kappa = \kappa_x,$$

$$x'' + (k + \kappa_{0x}^2)x = \kappa_{0x}(\delta - \delta^2) + (k + \kappa_{0x}^2)x\delta - \frac{1}{2}mx^2 - k\kappa_0x^2 + \mathcal{G}(3) \quad (2.8)$$

Dikey- düzlemdeki hareket denklemi ise

$$\kappa_y = -\frac{e}{p}B_x = [+ \kappa_{0y} - ky + mxy - \dots],$$

$$u = y, \kappa = \kappa_y,$$

$$y'' + (k + \kappa_{0y}^2)y = \kappa_{0y}\delta - (k - \kappa_{0y}^2)y\delta + mxy + k\kappa_{0y}y^2 + \mathcal{G}(3) \quad (2.9)$$

şeklinde belirlenir (Wiedemann 2007).

2.2 Parçacık Demeti ve Faz Uzayı

Parçacık demeti hareketinin lineer çözümleri, birbiri ardına dizilmiş manyetik elemanların içinde hareket eden bir yüklü parçacığın hareketini gösterir. Yalnız, parçacıkların toplu hareketleri hakkında daha fazla bilgi sahibi olmak için onların faz uzayındaki davranışı da düşünülmelidir.

Demetin iletim hattı boyunca herhangi bir noktasında her bir parçacık, altı boyutlu faz uzayında bir noktada temsil edilir. Bu altı boyutlu faz uzayının koordinatı $(x, p_x, y, p_y, \sigma, E)$, enine momentumlar $p_x \approx p_0 x'$, $p_y \approx p_0 y'$, doğrultu boyunca koordinat temsili σ , ideal parçacık enerjisi E_0 ve parçacık enerjisi E' yi içerir.

Ardışık dizilmiş manyetik elemanlar içinde hareket eden parçacık demetinin faz uzayındaki hareketinin değişimini belirlemek için dönüşüm matrisleri kullanılır.

$$\begin{pmatrix} u(z) \\ u'(z) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C(z) & S(z) \\ C'(z) & S'(z) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_0 \\ u'_0 \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

$$\begin{pmatrix} x(z) \\ x'(z) \\ y(z) \\ y'(z) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_x(z) & S_x(z) & 0 & 0 \\ C'_x(z) & S'_x(z) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_y(z) & S_y(z) \\ 0 & 0 & C'_y(z) & S'_y(z) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x'_0 \\ y_0 \\ y'_0 \end{pmatrix} \quad (2.11)$$

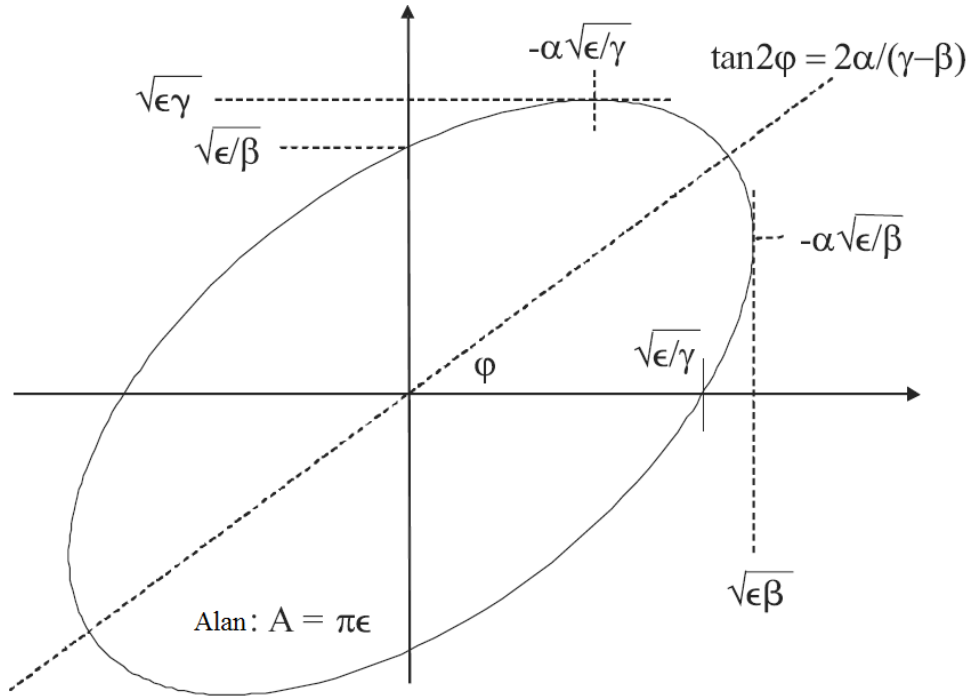
Demeti oluşturan parçacıklar faz uzayında bir faz uzay elipsi oluştururlar.

$$\gamma x^2 + 2\alpha x x' + \beta x'^2 = \varepsilon \quad (2.12)$$

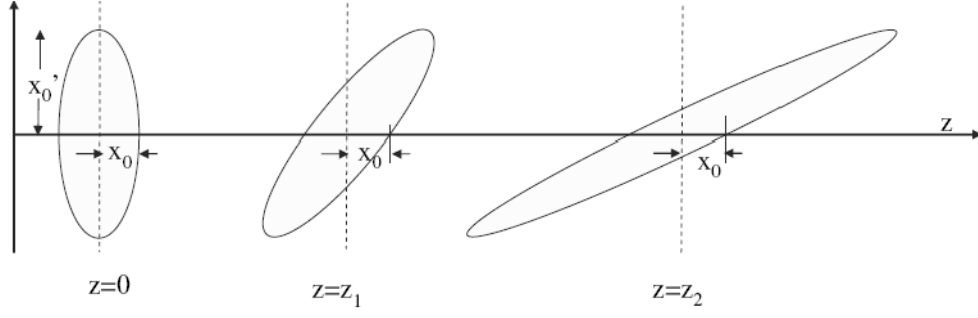
Burada α , β , γ , ve ε elips parametreleridir. Elips tarafından kapsanan bu alan demet yayını olarak adlandırılır. Demet yayını ε ile ifade edilir.

$$\int dx dx' = \pi\varepsilon \quad (2.13)$$

$$\begin{pmatrix} \beta(z) \\ \alpha(z) \\ \gamma(z) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C^2 & -2CS & S^2 \\ -CC' & CS' + C'S & -SS' \\ C'^2 & -2C'S' & S'^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \alpha_0 \\ \gamma_0 \end{pmatrix} \quad (2.14)$$



Şekil 2.3 Faz uzay elipsi



Şekil 2.4 Bir faz uzay elipsinin hareket doğrultusu boyunca değişimi

2.3 Periyodik Odaklama Sistemi

Periyodik bir sistemde parçacık demet dinamiği hareket denklemi ile belirlenir.

$$u'' + K(z)u = 0 \quad (2.15)$$

$$K(z) = K(z + L_p) \quad (2.16)$$

Burada $K(z)$ periyodik olma durumu, L_p ise depolama halkasının temel örgü uzunluğu ya da depolama halkasının çevresi boyunca birkaç kez tekrar eden süper periyot uzunluğudur.

Bir depolama halkasında toplam örgü periyodunun dönüşüm matrisi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$M(z + L_p | z) = \begin{pmatrix} C & S \\ C' & S' \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

Elips parametreleri olarak bildiğimiz betatron fonksiyonlarının dönüşüm matrisi de aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\begin{pmatrix} \beta(z) \\ \alpha(z) \\ \gamma(z) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C^2 & -2CS & S^2 \\ -CC' & CS' + C'S & -SS' \\ C'^2 & -2C'S' & S'^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \alpha_0 \\ \gamma_0 \end{pmatrix} = M_{\beta} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \alpha_0 \\ \gamma_0 \end{pmatrix} \quad (2.18)$$

Bu durumda herhangi bir örgü fonksiyonları kümesi $\beta(\beta, \alpha, \gamma)$ periyodik bir çözüm olur. Çünkü matris elemanlarının ikinci dereceden oluşları nedeniyle, her bir örgü için 180° faz ilerlemesi durumunda yine aynı sonuç bulunur.

Eğer en genel periyodiklik koşulunun dönüşüm matrisine, özvektör denklemi ile yeni bir yaklaşım yapılırsa, yeni ifade

$$(M_{\beta} - I)\beta = 0 \quad (2.19)$$

olur.

Böylece, 2.19 denkleminde aşağıdaki ifadeler sağlanılabilir.

$$(C^2 - 1)\beta - 2CS\alpha + S^2\gamma = 0,$$

$$CC'\beta - (S'C + CS' - 1)\alpha + SS'\gamma = 0,$$

$$C'^2\beta - 2S'C'\alpha + (S'^2 + 1)\gamma = 0 \quad (2.20)$$

Bu durumda, periyodik örgünün başlangıcı olarak seçilen $\alpha = 0$ simetri noktasında betatron fonksiyonları arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi olur.

$$\beta^2 = \frac{S^2}{1-C^2}, \quad \gamma = \frac{1}{\beta} \quad (2.21)$$

Böylece, bir süper periyodun ya da depolama halkasının toplam çevresinin dönüşüm matrisi

$$M = \begin{pmatrix} \cos\mu & \beta\sin\mu \\ -\frac{1}{\beta}\sin\mu & \cos\mu \end{pmatrix} \quad (2.22)$$

olur. Burada, μ tam örgü periyodu için faz ilerlemesidir. Periyodikliğin kararlı olabilmesi için bu dönüşüm matrisinin izi $TrM = |C + S'| < 2$ olmalı ya da n tam sayı olmak koşulu ile $\mu \neq n\pi$ olmalıdır.

2.4 Akromatik Örgü Hücresi (Demet İletim Sistemi)

Depolama halkasının temel örgüsü, örgünün giriş ve çıkışlarında parçacık demetinde dispersiyon etki yaratmıyorsa, $D(z_d) = 0$, $D'(z_d) = 0$, bu örgünün akromatikliğinden söz edilir. Bir örgünün akromatik oluşu aşağıdaki gibi verilir (Wiedemann 2007).

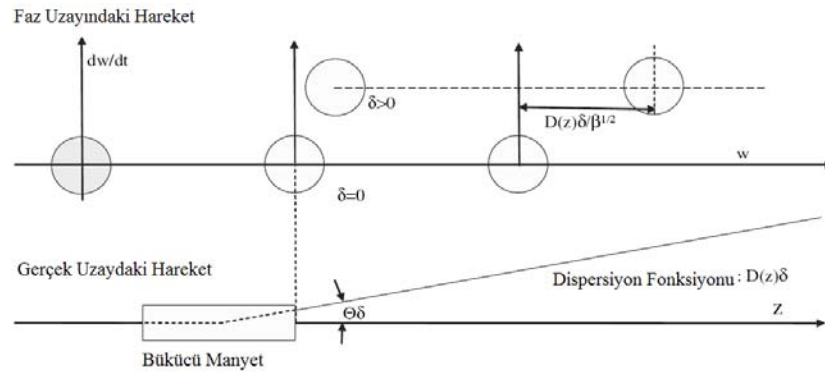
$$D(z) = S(z) \int_0^z \kappa_0(\tilde{z}) C(\tilde{z}) d\tilde{z} - C(z) \int_0^z \kappa_0(\tilde{z}) S(\tilde{z}) d\tilde{z} \quad (2.23)$$

$$I_c = \int_0^{z_d} \kappa_0(\tilde{z}) C(\tilde{z}) d\tilde{z} = 0,$$

$$I_s = \int_0^{z_d} \kappa_0(\tilde{z}) S(\tilde{z}) d\tilde{z} = 0 \quad (2.24)$$

$$D(z_d) = 0 = -S(z_d)I_c + C(z_d)I_s,$$

$$D'(z_d) = 0 = -S'(z_d)I_c + C'(z_d)I_s \quad (2.25)$$

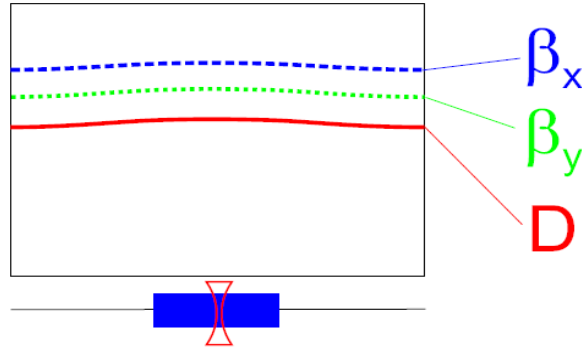


Şekil 2.5 Bir akromatik örgüdeki dispersiyon etki

2.5 Düşük Yayınım Örgü Dizaynları

2.5.1 Zayıf odaklama

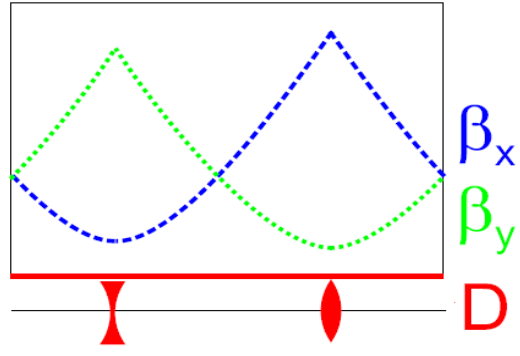
Zayıf odaklama, bir birleşik fonksiyonlu manyet olan en basit örgü hücresidir. Odaklama oldukça zayıftır. Beta ve dispersiyon fonksiyonları büyük değerler alır. Bu nedenle demetin yayınımları oldukça büyük değerler alır.



Şekil 2.6 Bir zayıf odaklayıcıda beta ve dispersiyon dağılımı (Streun 2003)

2.5.2 Güçlü odaklama

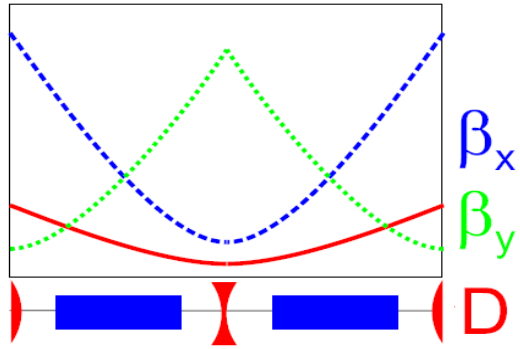
Güçlü odaklama, birbirlerini etkilemeyen iki dört kutupludan oluşan ve her iki düzlemde keskin odaklama yapabilen bir örgü hücresidir. Zayıf odaklamalı bir birleşik fonksiyonlu manyete kıyasla bu örgü türünde, odaklayıcı dört kutupluların güç parametreleri daha yüksek değerdedir.



Şekil 2.7 Bir güçlü odaklayıcıda beta ve dispersiyon dağılımı (Streun 2003)

2.5.3 FODO hücresi

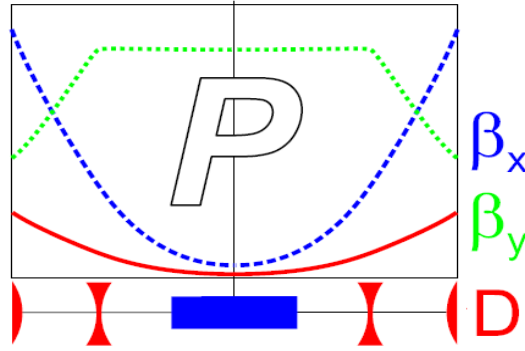
FODO hücresi düşük yayıma izin vermez. Yalnız, bu hücre büyük yayılım değeri verdiği için yüksek enerji fiziği araştırmaları ve enerji öteleyici (booster) sinkrotronlarında daha kullanışlıdır.



Şekil 2.8 Bir FODO hücresinde beta ve dispersiyon dağılımı (Streun 2003)

2.5.4 Ayrık fonksiyonlu düşük yayınım hücresi

Ayrık fonksiyonlu düşük yayınım hücresi, FODODOF yapısını taşıyan bir FODO hücresidir. Eğer en dış bölgedeki odaklayıcı dört kutuplular yeteri kadar güçlü seçilirse yayınım, çok düşük değerlere ulaşabilir.

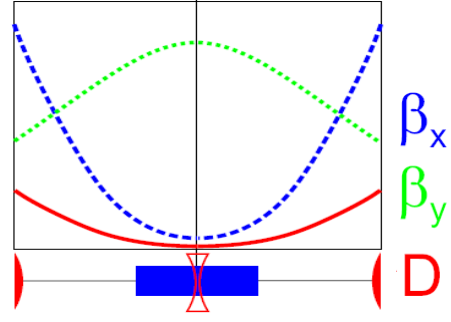


Şekil 2.9 Bir ayrık fonksiyonlu düşük yayınım hücresinde beta ve dispersiyon dağılımı (Streun 2003)

2.5.5 Birleşik fonksiyonlu düşük yayınım hücresi

Ayrık fonksiyonlu düşük yayınım hücresine alternatif olarak, birleşik fonksiyonlu düşük yayınım hücresinde dikey odaklama, bükücü manyet tarafından sağlanmaktadır. Böylece, bu hücre artık basit ve daha az elemana ihtiyaç duyan bir hücre haline gelir.

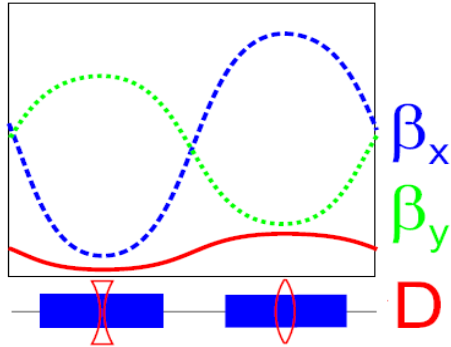
Demet yayınında düşürücü etkisi olan sönümün paylaşım sayısı (partition) J_x 1'den daha büyük değerler almaya başlar, böylece yayınının değeri azalan bir etki gösterir.



Şekil 2.10 Bir birleşik fonksiyonlu düşük yayınım hücresinde beta ve dispersiyon dağılımı (Streun 2003)

2.5.6 Düşük yayınım FODO hücresi

Düşük yayınım FODO hücresi, birleşik fonksiyonlu düşük yayınım hücresinin genişletilmiş halidir. Bu örgü hücresinde her iki düzlemdeki odaklama, artık bükücü manyetler tarafından gerçekleşir. Yalnız, kutup profillerinin yeni düzenlemelere ayarlanamayışı bir dezavantajdır.



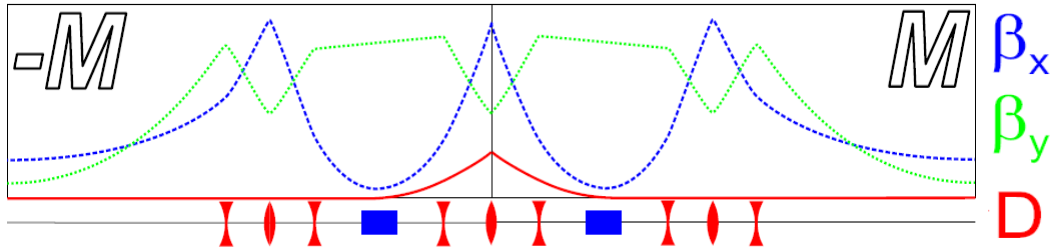
Şekil 2.11 Bir düşük yayınım FODO hücresinde beta ve dispersiyon dağılımı (Streun 2003)

2.5.7 Çift bükücü akromat (achromat)

İki adet bükücü manyet içeren bu yapı çift bükücü olarak adlandırılır. İlki, dispersiyon (dağınım) yaratırken diğeri toparlayıcı etki yaratır.

$C_q = 3,84 \times 10^{-13} m$, γ göreli Lorentz faktörü, θ_p bir periyottaki bükücü manyetlerin toplam bükme açısı, J_x sönümün paylaşım sayısı, olmak üzere bir çift bükücü akromat örgü hücresi için düşük yayının teorik değeri aşağıdaki gibi verilir (Lee 1996).

$$\varepsilon_{DBA} = C_q \frac{\gamma^2}{4\sqrt{15}} \frac{\theta_p^3}{J_x} \frac{1}{8} \quad (2.26)$$



Şekil 2.12 Bir çift bükücü akromat hücresinde beta ve dispersiyon dağılımı (Streun 2003)

2.5.8 Üçlü bükücü akromat (achromat)

Üç adet bükücü manyet içeren bu yapı üçlü bükücü olarak adlandırılır. Aynı yayınıma sahip çift bükücüye kıyasla daha sıkıştırılmış bir yapıya sahipken daha az “düz bölge” sağlar.

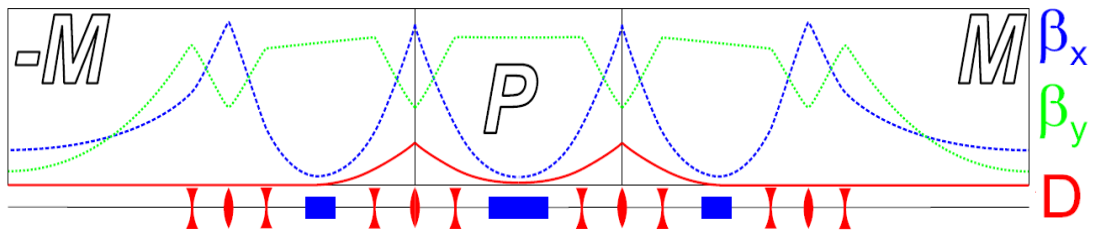
Bir üçlü bükücü akromat (achromat) örgü hücresinde düşük yayınıma ulaşmak için izlenen iki yol vardır (Lee 1996).

1. Hücrenin ortasındaki bükücü manyetin manyetik alan şiddeti, dışarıdaki bükücü manyetlerin alan şiddetine göre $\sqrt{3}$ daha büyüktür ve manyetlerin uzunlukları eşit seçilir.

2. Hücredeki bükücüler eşit manyetik alan şiddetli (izomanyetik) olup merkezdekinin uzunluğu dışarıdakilere göre $3^{1/3}$ daha uzun seçilir.

$C_q = 3,84 \times 10^{-13} m$, γ göreli Lorentz faktörü, θ_p bir periyottaki bükücü manyetlerin toplam bükme açısı, J_x sönümün paylaşım sayısı, olmak üzere bir üçlü bükücü akromat örgü hücresi için düşük yayınımin teorik değeri aşağıdaki gibi verilir (Lee 1996).

$$\varepsilon_{TBA} = C_q \frac{\gamma^2 \theta_p^3}{4\sqrt{15} J_x} \frac{1}{40.707} \quad (2.27)$$



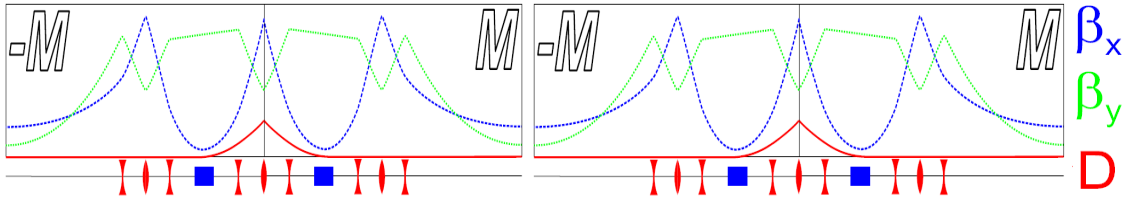
Şekil 2.13 Bir üçlü bükücü akromat hücresinde beta ve dispersiyon dağılımı (Streun 2003)

2.5.9 Çift-çift bükücü akromat (achromat)

Çift bükücü akromat temel alınarak oluşturulan bu yapı çift-çift bükücü olarak adlandırılır. Aynı yayınıma sahip çift bükücüye kıyasla daha fazla “düz bölge” sağlar.

$C_q = 3,84 \times 10^{-13} m$, γ görelî Lorentz faktörü, θ_p bir periyottaki bükücü manyetlerin toplam bükme açısı, J_x sönümün paylaşım sayısı, olmak üzere bir çift-çift bükücü akromat örgü hücresi için düşük yayınımin teorik değeri aşağıdaki gibi verilir.

$$\varepsilon_{DDBA} = C_q \frac{\gamma^2}{4\sqrt{15}} \frac{\theta_p^3}{J_x} \frac{1}{96} \quad (2.28)$$



Şekil 2.14 Bir çift-çift bükücü akromat hücresinde beta ve dispersiyon dağılımı

2.6 Sinkrotron İntegralleri

Işınım kaynakları literatüründe kullanılan, özel olarak tanımlanmış dispersiyon hareketlerinin bir sonucunu ifade eden beş adet integral vardır (Bryant 1993).

$$I_1 = \oint \frac{D(z)}{\rho(z)} dz, \quad I_2 = \oint \frac{1}{\rho^2(z)} dz, \quad I_3 = \oint \frac{1}{|\rho^3(z)|} dz,$$

$$I_4 = \oint \frac{D(z)}{\rho^3(z)} [\Lambda - 2 \rho_0^2(z) k(z)] dz$$

$$I_5 = \oint \frac{1}{|\rho^3(z)|} H(z) dz \quad (2.29)$$

Burada, $H(z) = \frac{1}{\beta_x} [D^2 + (\alpha_x D + \beta_x D')^2]$ dispersiyon hareketidir. Ayrıca, sektör dipol için $\Lambda=1$ dir. Bununla birlikte bu integraller yardımıyla parçacık demetinin yayılım ve enerji yayılım değerlerini de hesaplamak mümkündür.

$$\varepsilon_{x0} = C_q \gamma^2 \frac{I_5}{I_2 - I_4}, \quad \sigma_{\varepsilon 0}^2 = C_q \gamma^2 \frac{I_3}{2I_2 + I_4} \quad (2.30)$$

Burada, $C_q = 3,84 \times 10^{-13} m$, γ görelî Lorentz faktörü, $\sigma_{\varepsilon 0}$ demetin enerji yayılımıdır.

2.7 Eklenti Araçlarının Sisteme Etkileri

Depolama halkalarından ışınım elde etmek için halkadaki düz bölgelere yerleştirilen eklenti araçları, (salındırıcı, zikzaklayıcı ve bükücü manyetler) parçacık demetinin özelliklerinde bazı değişikliklere yol açabilecek etki yaratmaktadır. Bu etki en çok demetin yayılımında ve enerji yayılımında ortaya çıkmaktadır. Yayınım, enerji yayılımını ve sinkrotron integralleri üzerindeki bu etki aşağıdaki denklemlerle verilir.

$$I_2^{ID} = \frac{\lambda N}{2\rho^2} , \quad I_3^{ID} = \frac{4\lambda N}{3\pi\rho^3} , \quad I_4^{ID} = -\frac{3\lambda^3 N}{32\pi\rho^4}$$

$$I_5^{ID} = \frac{4\lambda N}{3\pi\rho^3} \frac{\eta_0^2}{\beta_0} + \frac{\lambda^3 N}{15\pi^3\rho^5} \beta_0 + \frac{\lambda^5 N}{32\pi^5\rho^5\beta_0} \quad (2.31)$$

Burada λ , eklentinin dalga boyu, N eklentinin periyot sayısıdır.

$$\varepsilon_x = \varepsilon_{x0} \frac{1 + \frac{I_5^{ID}}{I_5^0}}{1 + \frac{I_2^{ID} - I_4^{ID}}{I_2^0 - I_4^0}} , \quad \sigma_\varepsilon^2 = \sigma_{\varepsilon0}^2 \frac{1 + \frac{I_3^{ID}}{I_3^0}}{1 + \frac{2I_2^{ID} + I_4^{ID}}{2I_2^0 + I_4^0}} \quad (2.32)$$

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Üçüncü nesil ışınım kaynağı olarak kullanılan depolama halkalarında yüksek parlaklıkta ışınım elde etmek için düşük yayılım değerine ulaşmak oldukça önemlidir. Depolama halkalarında düşük yayıma ulaşmak için en temel örgü hücresinin nasıl dizayn edilmesi konusu bölüm 2.5’de detaylıca ifade edildi.

Bu çalışmada 3,56 GeV enerjili depolama halkasında düşük yayıma ulaşmak için çift bükücü, üçlü bükücü akromat ve çift-çift bükücü akromat örgü hücreleri seçildi. Depolama halkasında seçilen bu hücrelerin tasarımları yapmak için MAD-X, BEAMOPTICS ve WINAGILE simülasyon programları kullanıldı.

Bu programlarda kullanmak için en genel olarak, L örgü eleman uzunlukları, $K1$, $K2$ manyetlerde güç parametreleri, θ bükücü manyetin bükme açısı olmak üzere aşağıdaki örgü parametreleri kullanıldı.

QF1: DÖRT KUTUPLU, $L=0.3$, $K1=1.95$

QF2: DÖRT KUTUPLU, $L=0.15$, $K1=2.3$

QF3: DÖRT KUTUPLU, $L=0.2$, $K1=1.5$

SF1: ALTI KUTUPLU, $L=0.21$, $K2=10.5$

SD1: ALTI KUTUPLU, $L=0.15$, $K2=-7$

DR1: BOŞLUK, $L=2.4$

DR2: BOŞLUK, $L=0.45$

DR3: BOŞLUK, $L=0.1$

DR4: BOŞLUK, $L=0.10$

DR5: BOŞLUK, $L=0.15$

DR6: BOŞLUK, $L=0.2$

M1: BÜKÜCÜ, $L=2.2$, $AÇI(\theta)=\pi/23$, $K1=-0.39$

3.1 Çift Bükücü Akromat (Achromat)

Çift bükücü akromat örgüdeki bükücü manyetler, birleşik fonksiyonlu bükücü manyetlerden oluşturuldu. Birleşik fonksiyonlu bükücü manyet, birim örgü hücresinde bazı avantajlar sağlar (Einfeld et al. 1995).

- Akromat (achromat) başına manyet sayısı düşer,
- Sönümün paylaşım sayısı (partition) J_x , 1'den daha büyük olur böylece, yayının düşer,

$$J_x = 1 - \frac{I_4}{I_2} \quad (3.1)$$

- Birim örgü hücresinin uzunluğu küçülür böylece, depolama halkasının çevresinin uzunluğu düşer.

3.2 Üçlü Bükücü Akromat (Acromat)

Üçlü bükücü örgüdeki bükücü manyetler, boyca eşit uzunlukta tercih edildi. Ayrıca, ortadaki bükücü manyetin manyetik alan şiddeti, dışarıdaki bükücü manyetlerin alan şiddetine göre $\sqrt{3}$ daha büyük seçildi.

3.3 Çift-Çift Bükücü Akromat (Achromat)

Çift-çift bükücü akromat örgü, çift bükücü akromat temel alınarak oluşturuldu. Bükücü manyetler, çift bükücü akromatda olduğu gibi birleşik fonksiyonlu manyetler olarak tercih edildi.

Çift-çift bükücü akromat, sağladığı düz bölgelerin çokluğu ve uzunluklarının çeşitliliği ile depolama halkasında tercihen daha fazla avantajlar sunmaktadır.

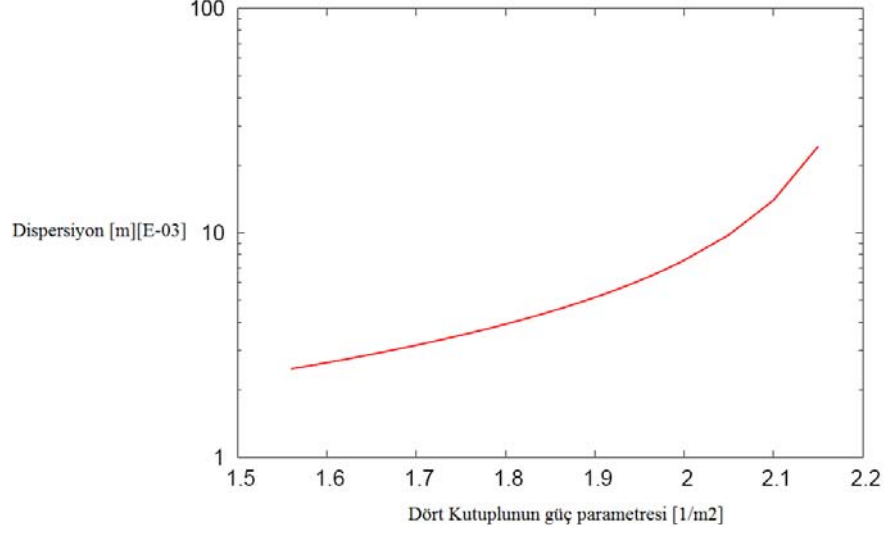
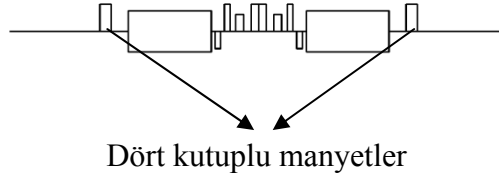
4. BULGULAR

4.1 Çift Bükücü Akromat (Achromat)

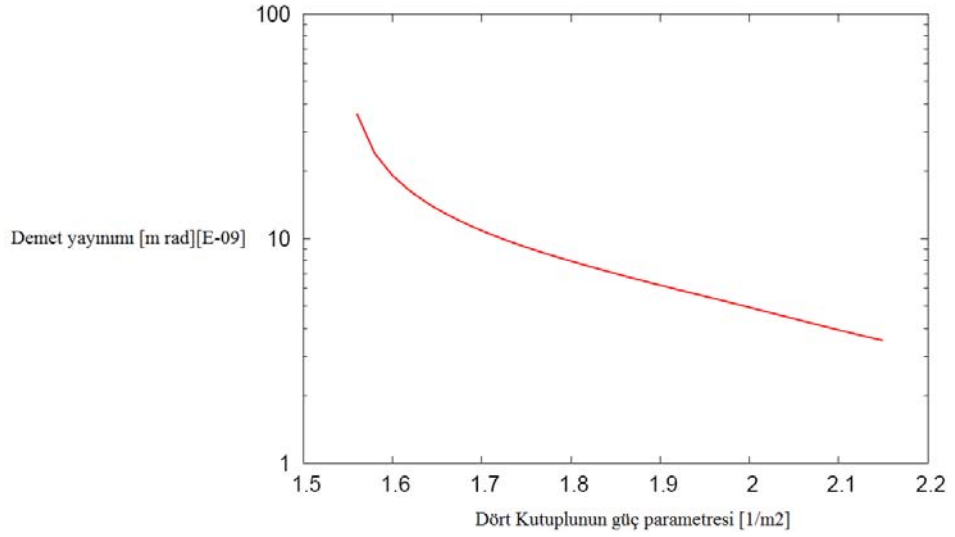
3,56 GeV enerjili depolama halkası için $C_q = 3,84 \times 10^{-13} m$, $\gamma = 6966$, $\theta_p = 0,2732 rad$, denklem (3.1)'den $J_x = 1,69$ olmak üzere çift bükücü akromat örgü hücresi için bu değerlerle ulaşılabilecek minimum teorik değer denklem (2.26)'dan $\varepsilon = 1,814 nm \cdot rad$ olarak hesaplandı. Örgü dizaynı ile ulaşılan minimum yayılım değeri ise $\varepsilon = 5,544 nm \cdot rad$ olarak hesaplandı.

Çizelge 4.1 Çift bükücü akromat (achromat) için halka parametreleri

	DBA	Global
Enerji [GeV]	3,56	1,5<E<8
Süper Periyot	23	
Çevre [m]	304,6	170<C<2304
Akım [mA]	400	100<I<500
Tur başına kaybedilen enerji [keV]	883,153	
Ayar [Q_x, Q_y]	18,9 – 7,6	
Yayılım [ε_x] [nm-rad]	5,544	0,2< ε_x <20
Enerji yayılımı [σ_ε] [%]	0,09	0,05< $\Delta E/E$ <0,11
Momentum sıkıştırma faktörü	0,0011	$\alpha \approx 0,001$
Kromatiklik [ξ_x, ξ_y]	-28,2 / -24,7	
Toplam düz bölge [m]	110,4	
Toplam düz bölge [%]	36,24	24,6<%<45,86
Eklenti bölgesinde [σ_x, σ_y] [mm]	0,24 – 0,0168	
Eklenti bölgesinde [β_x, β_y] [m]	10,393 – 5,115	
Eklenti bölgesinde [η_0] [m]	0,006	

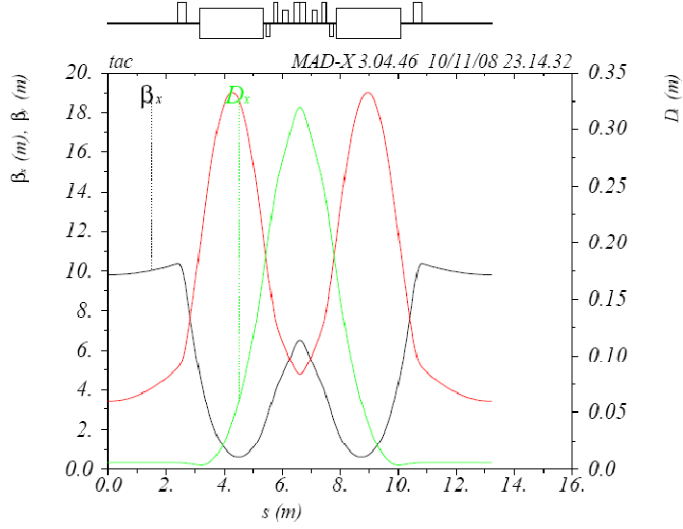


(a)

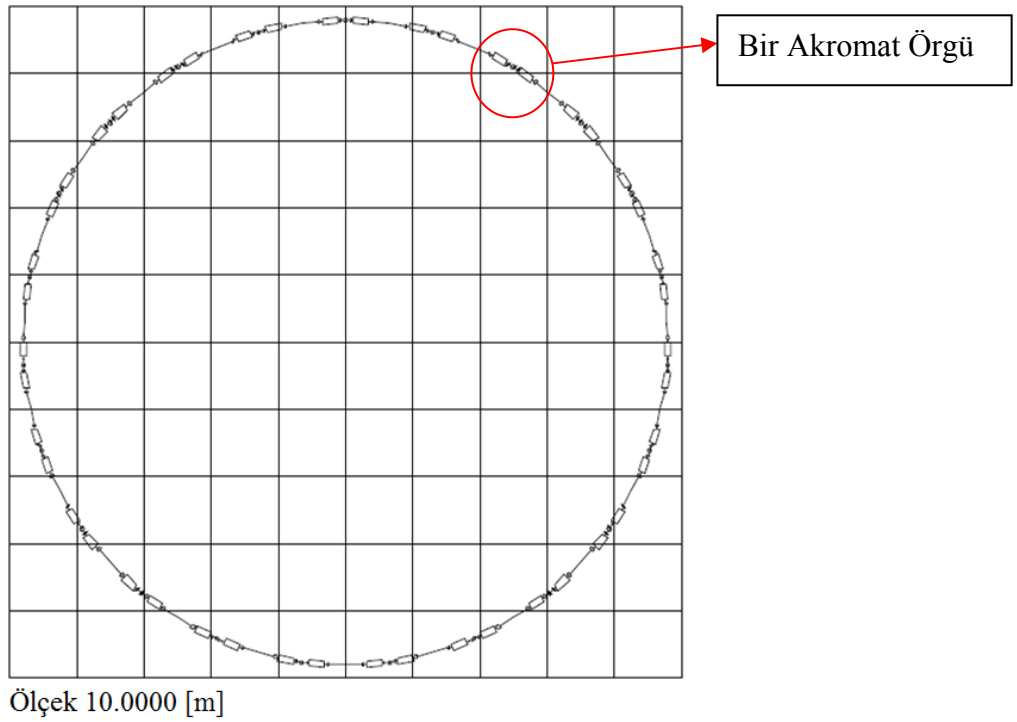


(b)

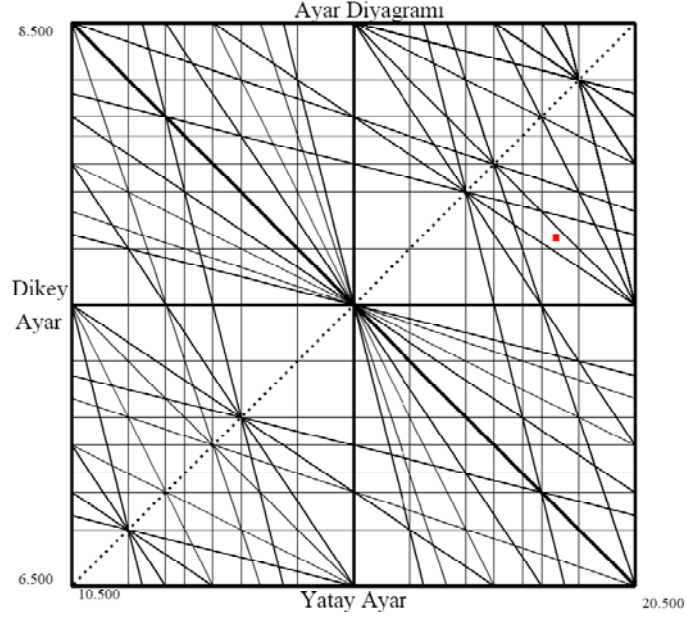
Şekil 4.1 Dört kutuplu manyetler için a) güç-dispersiyon, b) güç-yayınım optimizasyonu



Şekil 4.2 23 periyotlu Çift Bükücü Akromat (Achromat) örgü için örgü fonksiyonları



Şekil 4.3 Çift bükücü akromat (achromat) için halkanın genel görünümü



Şekil 4.4 Çift bükücü akromat (achromat) için ayar diyagramı ve çalışma noktası

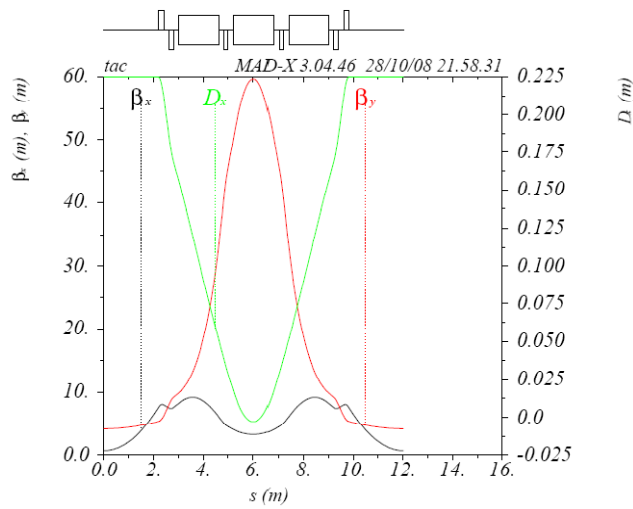
4.2 Üçlü Bükücü Akromat (Achromat)

3,56 GeV enerjili depolama halkası için $C_q = 3,84 \times 10^{-13} m$, $\gamma = 6966$, $\theta_p = 0,2244 rad$, denklem (3.1)'den $J_x = 1,68$ olmak üzere üçlü bükücü akromat örgü hücresi için bu değerlerle ulaşılabilecek minimum teorik değer denklem (2.27)'den $\varepsilon = 0,198 nm \cdot rad$ olarak hesaplandı. Örgü dizaynı ile ulaşılan minimum yayınım değeri ise $\varepsilon = 29,484 nm \cdot rad$ olarak hesaplandı.

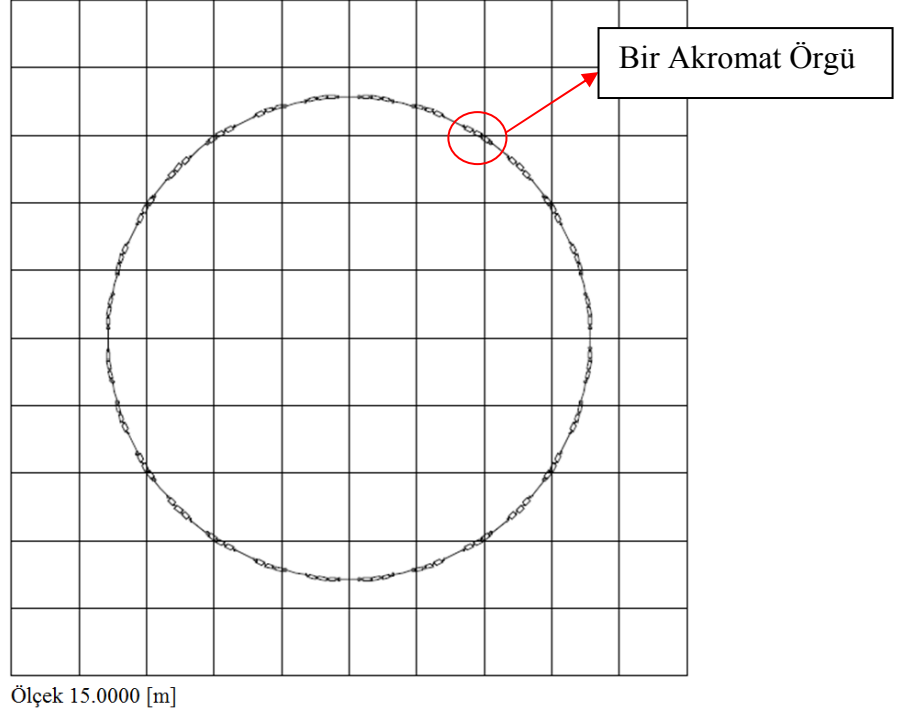
Ulaşılan bu demet yayınım değeri ile üçüncü nesil ışınım kaynakları için gerekli olan 20 nm·rad'nın altına inmek mümkün olmadı. Bu nedenle üçlü bükücü akromat (achromat) örgünün tasarımında, bir diğer alternatif olan, merkezdeki bükücü manyetin dışarıdaki manyetlere göre $3^{1/3}$ kat daha uzun olması tercih edilebilir.

Çizelge 4.2 Üçlü bükücü akromat (achromat) için halka parametreleri

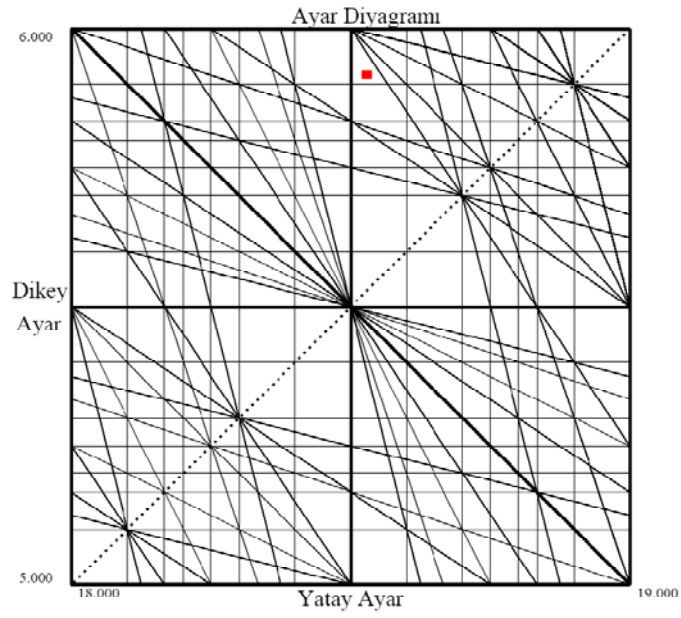
	TBA	Global
Enerji [GeV]	3,56	$1,5 < E < 8$
Süper Periyot	28	
Çevre [m]	342,16	$170 < C < 2304$
Akım [mA]	400	$100 < I < 500$
Tur başına kaybedilen enerji [keV]	716,352	
Ayar [Q_x, Q_y]	18,6 – 5,9	
Yayınım [ε_x] [nm·rad]	29,484	$0,2 < \varepsilon_x < 20$
Enerji yayılımı [%]	0,061	$0,05 < \Delta E/E < 0,11$
Momentum sıkıştırma faktörü	0,0006	$\alpha \approx 0,001$
Kromatiklik [ξ_x, ξ_y]	-21,7 / -55,6	
Toplam düz bölge [m]	123,2	
Toplam düz bölge [%]	36,01	$24,6 < \% < 45,86$
Eklenti bölgesinde [σ_x, σ_y] [mm]	0,46 – 0,041	
Eklenti bölgesinde [β_x, β_y] [m]	7,148 – 5,738	
Eklenti bölgesinde [η_0] [m]	0,210	



Şekil 4.5 28 periyotlu üçlü bükücü akromatik örgü için örgü fonksiyonları



Şekil 4.6 Üçlü bükücü akromat (achromat) için halkanın genel görünümü



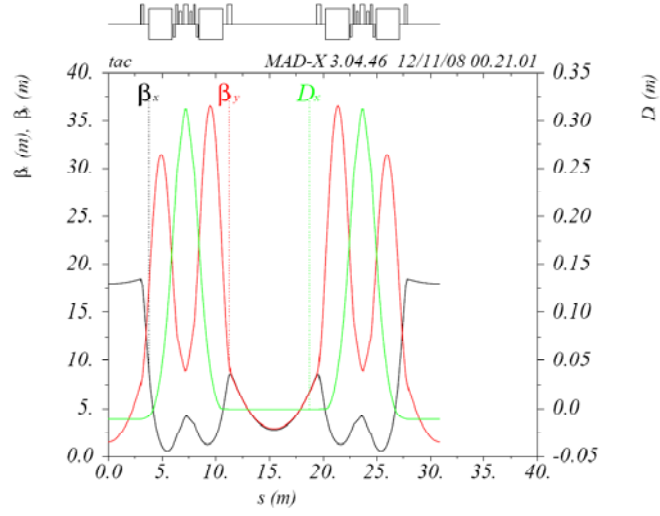
Şekil 4.7 Üçlü bükücü akromat (achromat) için ayar diyagramı ve çalışma noktası

4.3 Çift-Çift Bükücü Akromat (Achromat)

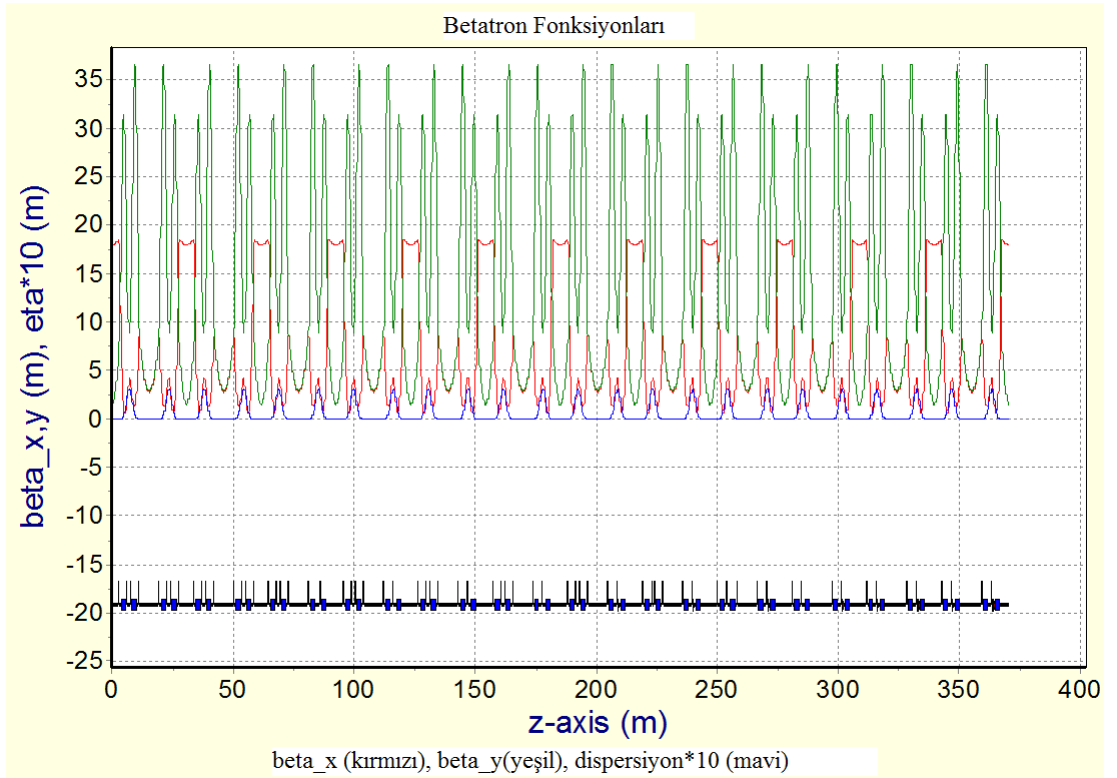
3,56 GeV enerjili depolama halkası için $C_q = 3,84 \times 10^{-13} m$, $\gamma = 6966$, $\theta_p = 0,5236 rad$, denklem (3.1)'den $J_x = 1,68$ olmak üzere çift-çift bükücü akromat örgü hücresi için bu değerlerle ulaşılabilecek minimum teorik değer denklem (2.28)'den $\varepsilon = 0,642 nm \cdot rad$ olarak hesaplandı. Örgü dizaynı ile ulaşılan minimum yayılım değeri ise $4,13 < \varepsilon < 8,83 nm \cdot rad$ olarak hesaplandı.

Çizelge 4.3 Çift-çift bükücü akromat (achromat) için halka parametreleri

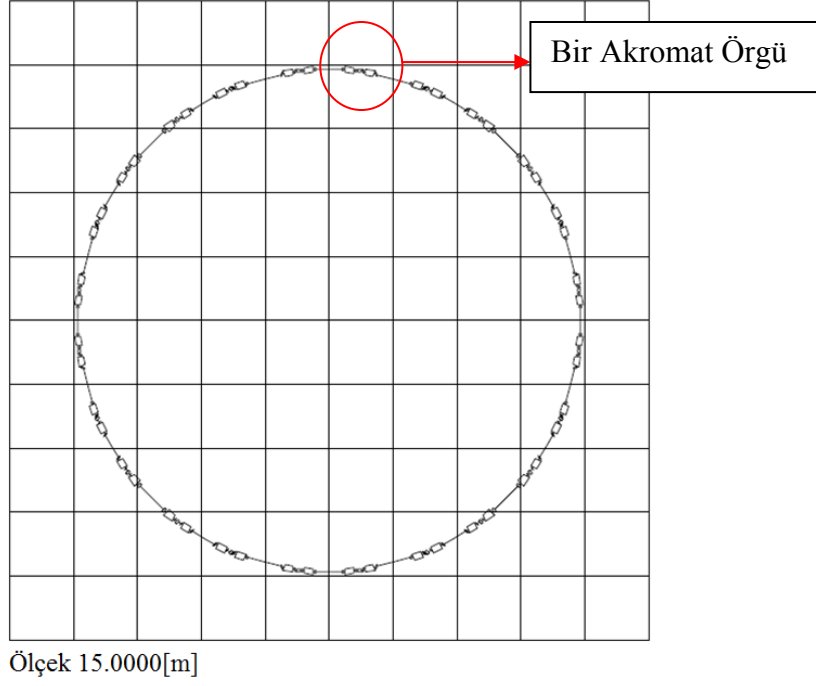
	DDBA	Global
Enerji [GeV]	3,56	1,5<E<8
Süper Periyot	12	
Çevre [m]	370,56	170<C<2304
Akım [mA]	400	100<I<500
Tur başına kaybedilen enerji [keV]	846,357	
Ayar [Q_x, Q_y]	20,2 – 9,7	
Yayılım [ε_x] [nm·rad]	4,13< ε_x <8,82	0,2< ε_x <20
Enerji yayılımı [%]	0,09	0,05< $\Delta E/E$ <0,11
Momentum sıkıştırma faktörü	0,0008	$\alpha \approx 0,001$
Kromatiklik [ξ_x, ξ_y]	-29,6 / -47,7	
Toplam düz bölge [m]	168	
Toplam düz bölge [%]	45,34	24,6<%<45,86
Eklenti bölgesinde [σ_x, σ_y] [mm]	0,156 – 0,016	
Eklenti bölgesinde [β_x, β_y] [m]	2,762 – 2,905	
Eklenti bölgesinde [η_0] [m]	0	



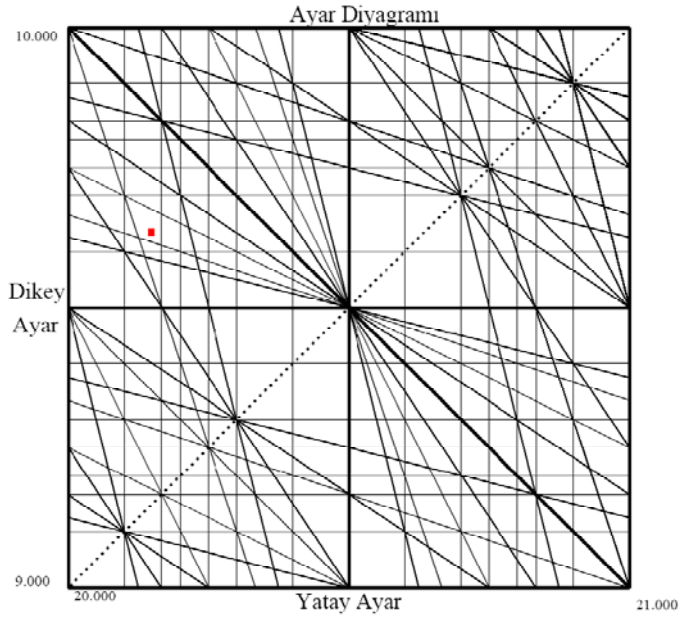
Şekil 4.8 12 periyotlu çift-çift bükücü akromatik örgü için örgü fonksiyonları



Şekil 4.9 12 periyotlu çift-çift bükücü örgünün tüm betatron fonksiyonları



Şekil 4.10 Çift-çift bükücü akromat (achromat) için halkanın genel görünümü

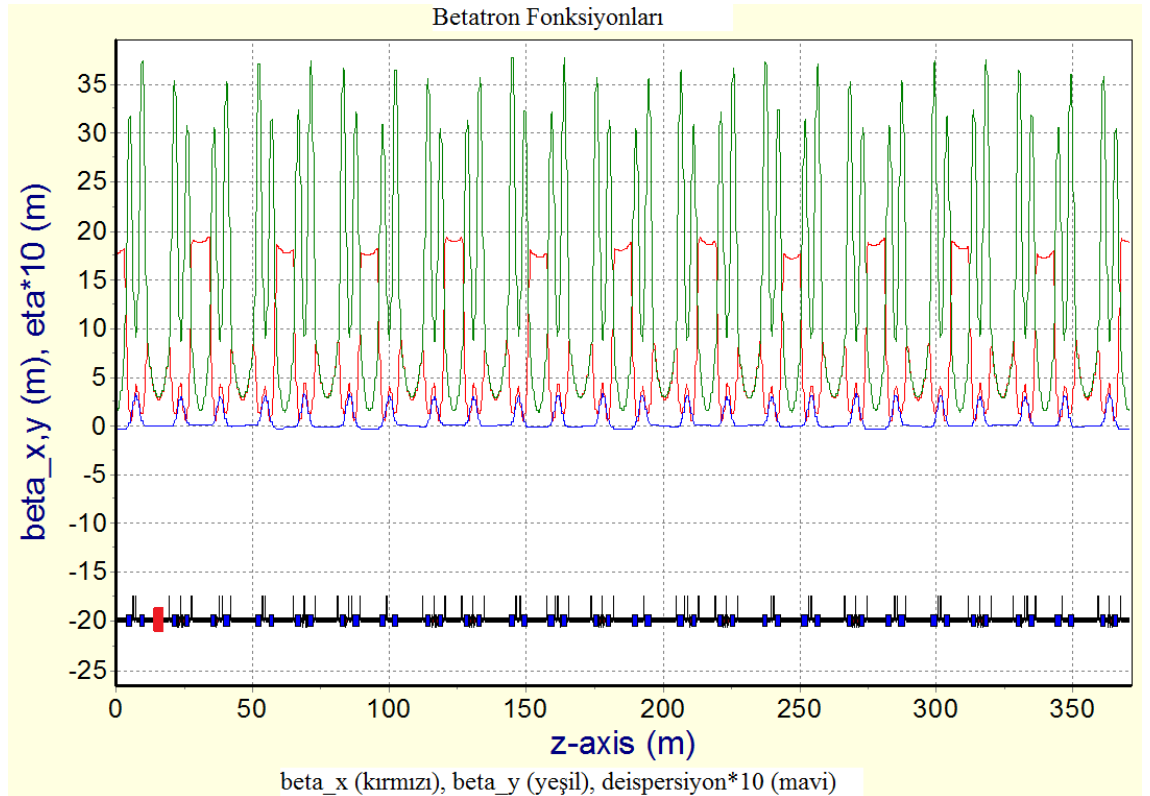


Şekil 4.11 Çift-çift bükücü akromat (achromat) için ayar diyagramı ve çalışma noktası

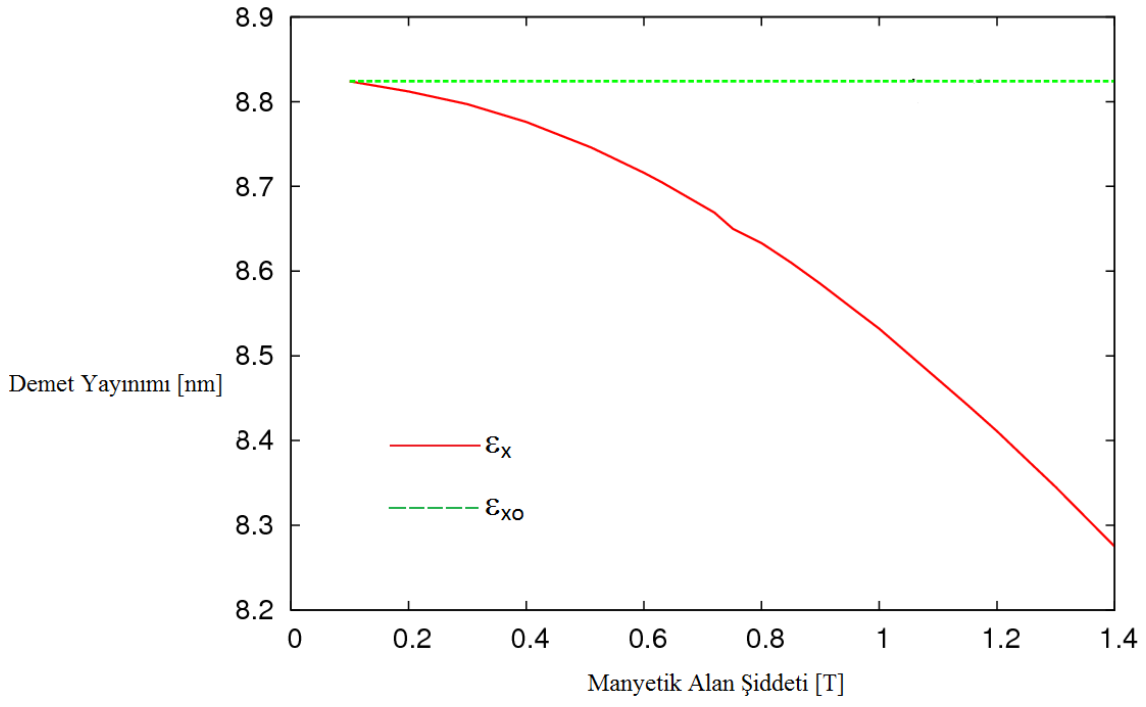
4.4 Çift-Çift Bükücü Akromat (Acromat) Örgü İçin Eklenti Araçlarının Etkisi

Eklenti araçlarının, çift-çift bükücü akromat örgü ile oluşturulan depolama halkasında demet yayınına ve enerji yayılımına etkilerini gözlemleyebilmek için 8 m'lik eklenti bölgelerinden birine 185 mm dalgaboylu salındırıcı bir manyet yerleştirildi. Salındırıcı manyetin maksimum manyetik alan şiddeti $B_x = 0,751$ [T] seçildi.

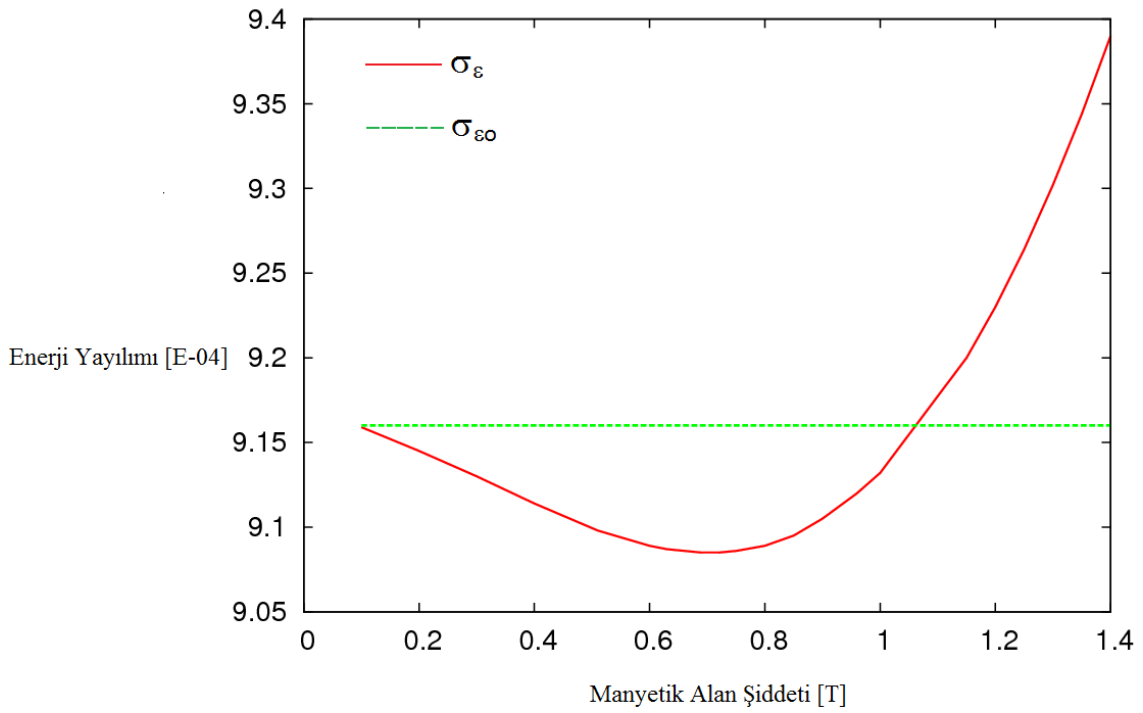
Seçilen salındırıcı manyetin, demet yayını ve enerji yayılımındaki etkilerinin optimizasyonu yapılarak manyetin alan şiddetinin hangi değerlerde olması gerektiği hesaplandı. Ayrıca, 185 mm dalgaboylu salındırıcıdan elde edilen ışının parlaklığının hangi değerde olduğu da hesaplandı.



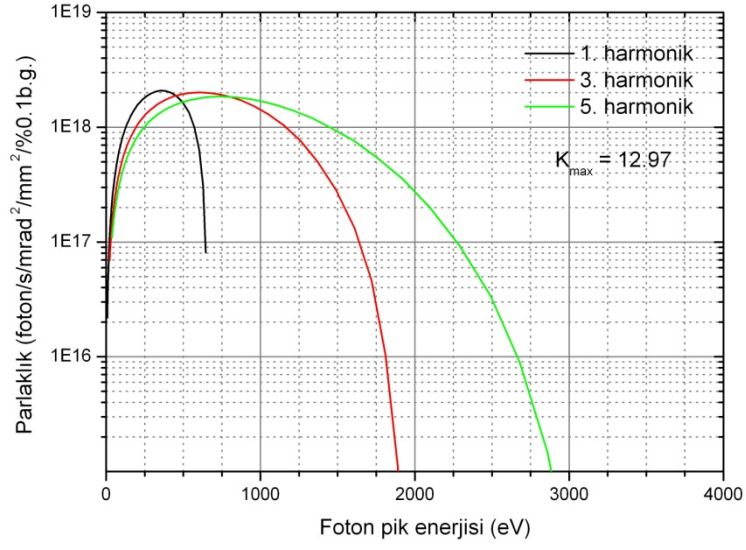
Şekil 4.12 Çift-çift bükücü akromat (achromat) örgüde salındırıcı manyet etkisi



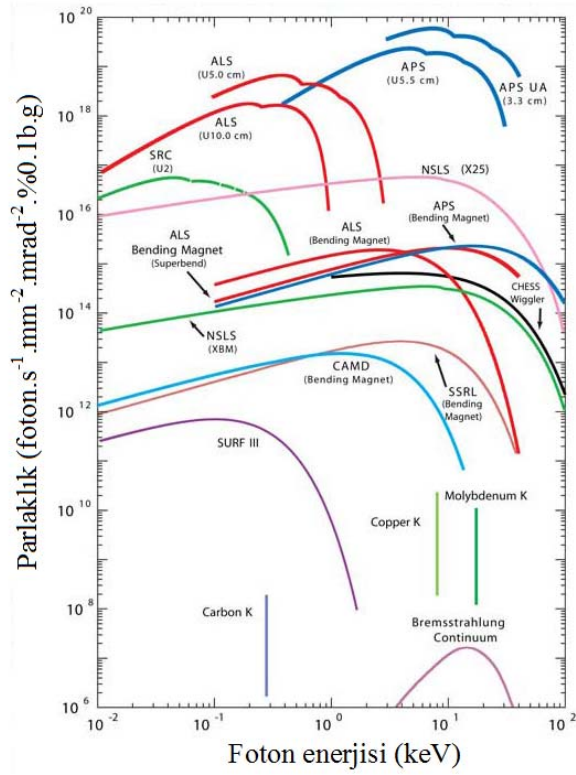
Şekil 4.13 Salındırıcı manyetin demet yayını üzerindeki etkisi



Şekil 4.14 Salındırıcı manyetin demet enerjisi yayılımı üzerindeki etkisi



Şekil 4.15 185 mm dalgaboylu salındırıcıdan elde edilen ışınımın parlaklığı (Çiftçi 2008)



Şekil 4.16 Dünyada çalışmakta olan ışınım kaynaklarının parlaklık değerleri

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışma, 3,56 GeV enerjili depolama halkasında yayınım ve örgü optimizasyonu için yapıldı. Yapılan bu optimizasyon sonucunda, yüksek parlaklıkta ışınım elde etmek için çift-çift bükücü akromat örgünün sağladığı sonuçların, diğer örgü çalışmaları ile elde edilen sonuçlardan daha iyi değerler olduğu tespit edildi.

Çift bükücü akromat örgü, sağladığı düz bölgelerin standart olması nedeniyle eklenti araçlarına yeteri kadar uzunlukta alanlar sağlamada güçlük yarattı. Üçlü bükücü akromat örgüde ise sağladığı yüksek demet yayınım değeri nedeniyle yüksek parlaklıkta ışınım verebilecek yayınım değerine ulaşamadı. Diğer bir neden ise üçlü bükücü akromat için bükücü manyetlerin birleşik fonksiyonlu seçilmesidir. Literatürde üçlü bükücü akromat örgüler için ayrı fonksiyonlu manyetler tercih edilmesine karşın, halkanın daha kısa ve etkili olması düşünüldüğünden birleşik fonksiyonlu manyetler tercih edildi.

Çift bükücü akromat örgüye yapılan optimizasyon ile ortaya çıkan çift-çift bükücü akromat örgüyle düz bölgelerin standartlığından kurtularak daha fazla sayıda ve çeşitlilikte düz bölgeler oluşturuldu. Üçlü bükücü akromat örgüde daha iyi sonuçlara ulaşmak için de izomanyet manyetlerden merkezdeki bükücü manyetin dışarıdaki manyetlere göre $3^{1/3}$ kat daha uzun olması tercih edilebilir. Yalnız, burada seçilen bükücü manyetlerde çeşitliliğin ortaya çıkması, hızlandırıcıda maliyet ve bakım açısından dezavantajlar yaratmaktadır.

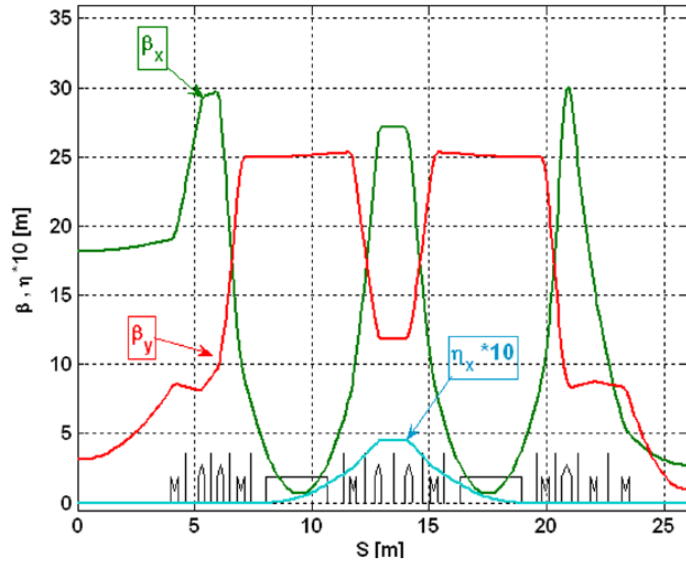
Depolama halkasının düz bölgelerine yerleştirilen eklenti araçlarından yüksek parlaklıkta ışınım elde etmek için parçacık demetinin parametreleri, eklenti araçlarının parametreleri ile uyum içinde olmalıdır. Salındırıcının manyetik alan şiddeti ile demetin enerji yayılımı arasında yapılan optimizasyonda seçilen bir salındırıcı periyot uzunluğu

ve sayısı için manyetin maksimum alan şiddetinin $B = 0,751$ [T] civarında olması gerektiği ortaya çıktı (Şekil 4.14). Salıncı manyetin manyetik alan şiddetindeki artış da demet yayımında bir düşürücü etki yaratmaktadır (Şekil 4.13).

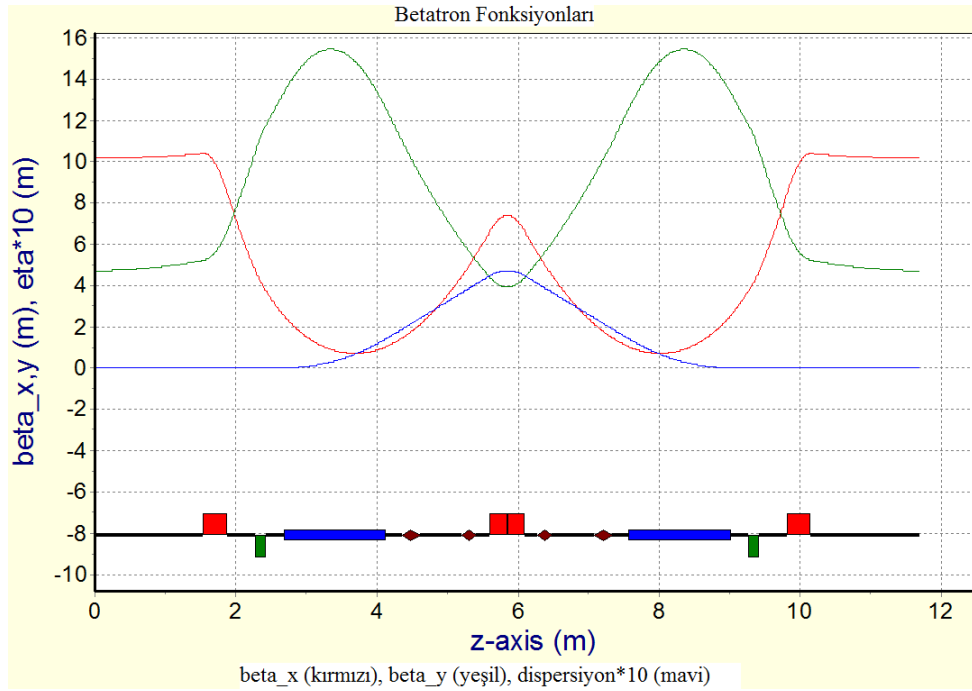
Halka üzerine yerleştirilen salıncıdan elde edilen ışınımın değeri, üçüncü nesil ışınım kaynaklarından alınan ışınımın değerine oldukça yakın veya birçoğundan yüksek sonuçlar verdi (Şekil 4.15).

Çizelge 5.1 Çift-çift bükücü akromat örgünün dünya merkezleri ile karşılaştırılması

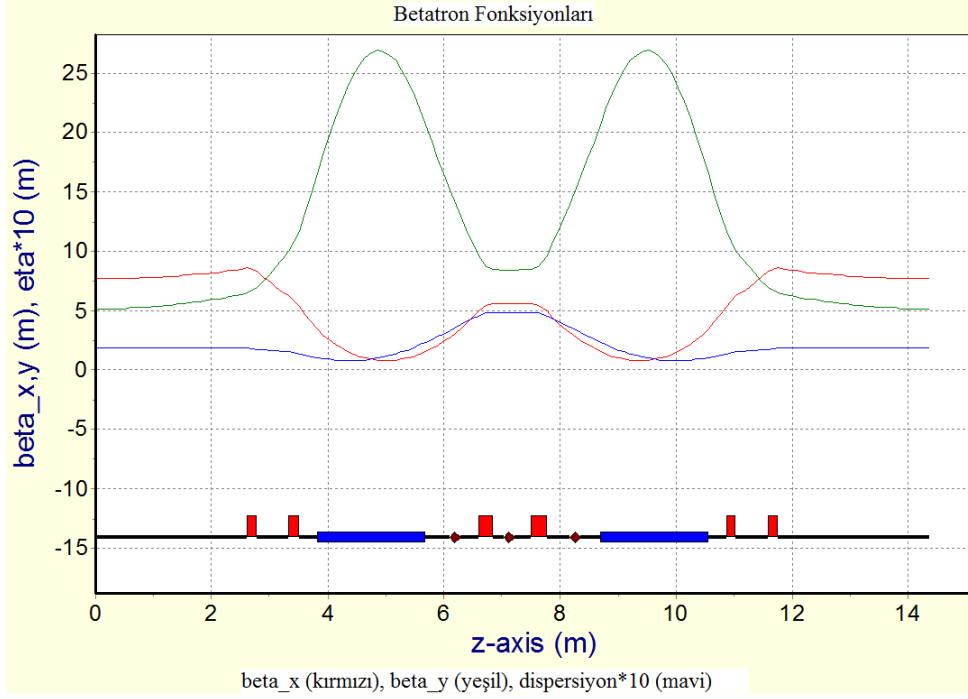
Merkez	Enerji [GeV]	Yayınım [nm·rad]	Çevre [m]	Örgü Türü	Düz Bölge
Diamond (İngiltere)	3	2,74	561,6	DBA(24)	6 x 8 m 18 x 5 m
SPEAR3 (Amerika)	3	18	234,126	DBA(18)	2 x 7,6 m 4 x 4,7 m 12 x 3,1 m
SOLEIL (Fransa)	2,75	3,74	354,1	DBA(16)	4 x 12 m 8 x 3,8 m 12 x 7 m
SLS (İsviçre)	2,4	5	288	TBA(12)	3 x 11,7 m 3 x 7 m 6 x 4 m
ELETTRA (İtalya)	2,4	7	259,2	DBA(12)	12 x 4,5 m
CLS (Kanada)	2,9	18,3	170,88	DBA(12)	12 x 5,2 m
NSLS-II (Amerika)	3	0,55	780	DBA(30)	15 x 8 m 15 x 5 m
TAC SI (Türkiye)	3,56	$4,13 < \epsilon_x < 8,82$	370,56	DDBA(24)	12 x 6 m 12 x 8 m
ALBA (İspanya)	3	4,3	268,8	DBA(16)	4 x 8 m 8 x 2,3 m 12 x 4,3 m



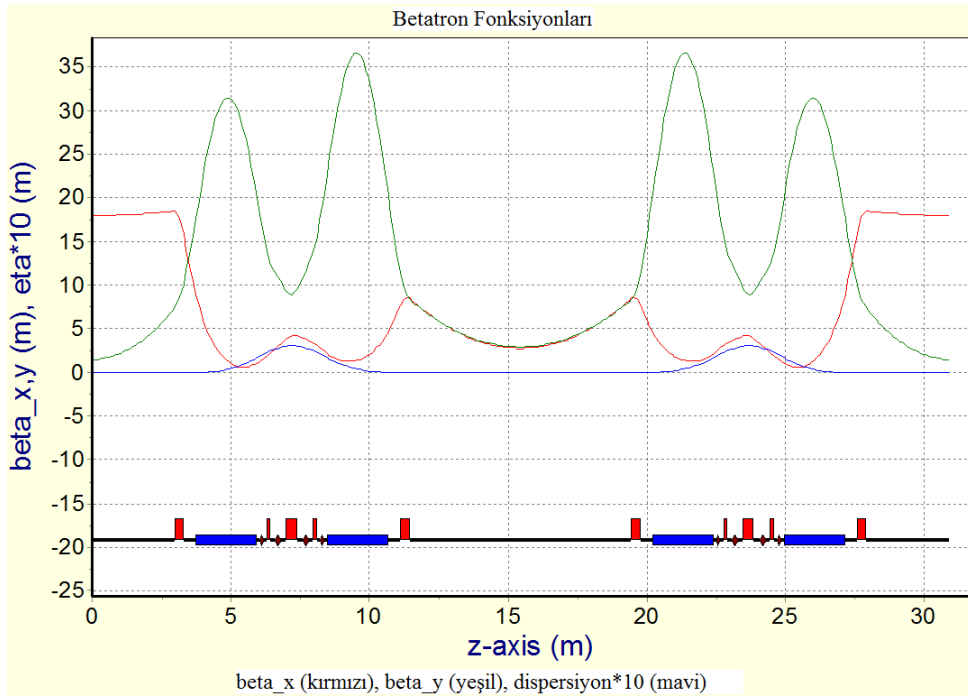
Şekil 5.1 NSLS-II(Amerika); E=3 GeV, süper periyot=30, çevre=780 m, yayınım=0,55 nm.rad



Şekil 5.2 SPEAR3(Amerika); E=3 GeV, süper periyot=17, çevre=198,24 m, yayınım = 18 nm.rad



Şekil 5.3 CLS(Kanada); E=2,9 GeV, süper periyot=12, çevre=170,88 m, yayınım=18,3 nm.rad



Şekil 5.4 Çift-çift bükücü akromat (achromat); E=3,56 GeV, süper periyot=12, çevre=370,56 m, yayınım= $4,13 < \epsilon_x < 8,82$ nm.rad

KAYNAKLAR

- Bryant, J. P., Johnsen, K. 1993. The Principles of Circular Accelerators and Storage Rings. Cambridge University Press, 353 s, Cambridge.
- Çiftçi, A. K., Sultansoy, S., Yavaş, Ö., Receptoğlu, E., Yılmaz, M., Çakır, O. 2005. The Status of Turkic Accelerator Complex Proposal. Proc.of PAC05, s.450, Amerika.
- Çiftçi, R. 2008. Türk Hızlandırıcı Merkezi Teknik Tasarım Raporu Sinkrotron Işınımı Parametrelerinin Belirlenmesi. DPT- Yaygınlaştırılmış Ulusal ve Uluslar arası Proje (YUUP), VI. Çalıştay, Ankara.
- Einfeld, D., Schaper, J., Plesko, M. 1996. A Lattice Design to Reach the Theoretical Minimum Emittance for a Storage Ring. Proc. of EPAC96, s.638, İspanya.
- Einfeld, D., Schaper, J., Plesko, M. 1995. Design of a Diffraction Limited Light Source (DIFL). Proc. of PAC95, s.177, Dallas, Amerika.
- Kramer, S. L., Krinsky, S., Bengtsson, J. 2006. Comparison of Double Bend and Triple Bend Achromatic Lattice Structures for NSLS-II. Proc. of EPAC06, s.3484, Edinburg.
- Lee, S. Y. 1996. Emittance optimization in three- and multiple- bend achromats. Physical Rev. E, Vol:54, No:2, s.1940, Indiana, Amerika.
- Streun, A. 2003. Lattices for light sources. CERN Accelerator School Synchrotron radiation and free-electron lasers, s.55 Brunnen, İsviçre.
- Wiedemann, H. 2007. Particle Accelerator Physics. Springer-Verlag, 937 s, Berlin.

EK 1 Çift Bükücü Akromat (Achromat) MAD-X Dosyası

```
TITLE "TAC";
QF1:QUADRUPOLE, L=0.3, K1=1.95;
QF2:QUADRUPOLE, L=0.15, K1=2.3;
QF3:QUADRUPOLE, L=0.2, K1=1.5;
SF1:SEXTUPOLE, L=0.21, K2=10.5;
SD1:SEXTUPOLE, L=0.15, K2=-7;
DR1:DRIFT, L=2.4;
DR2:DRIFT, L=0.45;
DR3:DRIFT, L=0.1;
DR4:DRIFT, L=0.10;
DR5:DRIFT, L=0.15;
DR6:DRIFT, L=0.2;
M1 :SBEND, L=2.2, ANGLE=PI/23, K1=-0.39;
beam,particle=ELECTRON,energy=3,kbunch=25,
npart=1.E5,sigt=0.5,sige=.01,deltap=0.01, sequence=KAHRAMAN;
KAH: LINE=(DR1,QF1,DR2,M1,DR3,SD1,DR4,QF2,DR5,SF1,DR6,QF3);
kahraman: LINE=(KAH,-KAH);
RING:LINE=(23*kahraman);
TAC: LINE=(RING);
USE,PERIOD=KAHRAMAN;
match,sequence=KAHRAMAN;
constraint,sequence=TAC,range=#e,mux=1.27,muy=1.77;
vary,name=kqf,step=1.0e-6;
vary,name=kqd,step=1.0e-6;
lmdif,calls=500,tolerance=1.e-21;
endmatch;
plot,haxis=s,vaxis1=betx,bety,vaxis2=DX colour=100,interpolate,title=TAC;
stop;
```

EK 2 Üçlü Bükücü Akromat (Achromat) MAD-X Dosyası

```
TITLE "TAC";
QF1:QUADRUPOLE, L=0.2, K1=2.8;
QD1:QUADRUPOLE, L=0.2, K1=-1.8;
QD2:QUADRUPOLE, L=0.15, K1=-1.38;
DR1:DRIFT, L=2.2;
DR2:DRIFT, L=0.21;
DR3:DRIFT, L=0.2;
DR4:DRIFT, L=0.24;
M1:SBEND, L=1.6,ANGLE=0.06011,K1=0.36;
M2:SBEND, L=1.6, ANGLE=0.10419, K1=-0.265;
beam,particle=ELECTRON,energy=3.56,kbunch=25,
npart=1.E5,sigt=0.5,sige=.01,deltap=0.01, sequence=KAHRAMAN;
KAH: LINE=(DR1,QF1,DR2,QD1,DR3,M1,DR2,QD2,DR4,M2,DR4,QD2,DR2,M1,
DR3,QD1,DR2,QF1,DR1);
kahraman: LINE=(KAH);
RING:LINE=(28*kahraman);
TAC: LINE=(RING);
USE,PERIOD=KAHRAMAN;
match,sequence=KAHRAMAN;
constraint,sequence=TAC,range=#e,mux=1.27,muy=1.77;
vary,name=kqf,step=1.0e-6;
vary,name=kqd,step=1.0e-6;
lmdif,calls=500,tolerance=1.e-21;
endmatch;
plot,haxis=s,vaxis1=betx,bety,vaxis2=DX colour=100,interpolate,title=TAC;
stop;
```

EK 3 Çift-Çift Bükücü Akromat (Achromat) MAD-X Dosyası

```
TITLE "TAC";
QF1:QUADRUPOLE, L=0.29, K1=1.85;
QF2:QUADRUPOLE, L=0.15, K1=2.38;
QF3:QUADRUPOLE, L=0.4, K1=1.5;
QF4:QUADRUPOLE, L=0.15, K1=2.3;
QF5:QUADRUPOLE, L=0.33, K1=2;
SF1:SEXTUPOLE, L=0.21, K2=10.5;
SD1:SEXTUPOLE, L=0.15, K2=-7;
DR1:DRIFT, L=3;
DR2:DRIFT, L=0.45;
DR3:DRIFT, L=0.1;
DR4:DRIFT, L=0.15;
DR5:DRIFT, L=0.2;
DR6:DRIFT, L=4;
M1 :SBEND,L=2.2,ANGLE=PI/24,E1=0.0, E2=0.0,FINT=0.0,HGAP=0.00,K1=-0.39;
M2 :SBEND,L=2.2,ANGLE=PI/24,E1=0.0, E2=0.0,FINT=0.0,HGAP=0.00,K1=-0.40;
beam, particle=ELECTRON, energy=3.56, kbunch=25, npart=1.E5, sigt=0.5, sige=.01,
deltap=0.01, sequence=KAHRAMAN;
KAH:LINE=(DR1,QF1,DR2,M1,DR3,SD1,DR3,QF2,DR4,SF1,DR5,QF3,DR5,SF1,
DR4,QF4,DR3,SD1,DR3,M2,DR2,QF5,DR6);
kahraman: LINE=(KAH,-KAH);
RING:LINE=(12*kahraman);
TAC: LINE=(RING);
USE,PERIOD=KAHRAMAN, match,sequence=KAHRAMAN;
constraint,sequence=TAC,range=#e,mux=1.27,muy=1.77, vary,name=kqf,step=1.0e-6;
vary,name=kqd,step=1.0e-6, lmdif,calls=500,tolerance=1.e-21;
endmatch, plot,haxis=s,vaxis1=betx,bety,vaxis2=DX colour=100,interpolate,title=TAC;
stop;
```

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Kahraman Zengin

Doğum Yeri: Ankara

Doğum Tarihi: 15.03.1983

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dili: İngilizce, Almanca

Eğitim Durumu:

Lise : Kayabayazıtöğlu Lisesi, Batıkent-Ankara, 1997-2001

Lisans : Hacettepe Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Fizik Öğretmenliği,
Ankara, 2001-2007

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik ABD, Ankara, 2007-