



Türk Hızlandırıcı Merkezi (THM) T.A.R.L.A. tesisi serbest elektron lazeri demet parametreleri hesapları ve enjektör benzetim çalışmaları

Mert Şekerci^{1*}, Suat Özkorucuklu²

15.04.2014 Geliş/Received, 06.06.2014 Kabul/Accepted

ÖZ

Bu çalışmada, hızlandırıcı fiziği ve bu alanla ilişkili pek çok bilim dalında çalışmaların yapılabilmesine olanak sağlayacak olan, Türk Hızlandırıcı Merkezi (THM) T.A.R.L.A. (Turkish Acceleration and Radiation Laboratory at Ankara) tesisinin serbest elektron lazeri için elektron demet parametreleri hesaplamaları yapılmıştır. Ayrıca, enjektör kısmına ait benzetim çalışmaları gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: serbest elektron lazeri, hızlandırıcı, demet parametresi, enjektör, benzetim

Turkish Accelerator Center (TAC) T.A.R.L.A. facility free electron laser beam parameters calculation and injector simulation studies

ABSTRACT

In this study, electron beam parameter calculations have been done for the Turkish Accelerator Center (TAC) T.A.R.L.A. (Turkish Acceleration and Radiation Laboratory in Ankara) facility's free electron laser which will allow to be carried out in accelerator physics and many branches related to this area. Also, simulation studies about the injector part were shown.

Keywords: free electron laser, accelerator, beam parameter, injector, simulation.

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1 Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 32260, Çünür/Isparta - mertsekerci@sdu.edu.tr

2 İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 34134, Vezneciler, Fatih/İstanbul - suat.ozkorucuklu@gmail.com

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Serbest elektron lazerlerini geleneksel (klasik) lazerlerden ayıran en büyük fark, isminden de anlaşılabilirliği gibi elektronların geleneksel lazerlerde olduğu gibi bir atoma bağlı durumda olmayıp, vakum ortamında serbest olarak hareket edebilmeleridir. Işımanın dalga boyu, geleneksel lazerlerde, elektronlar atoma bağlı olduğundan iki enerji seviyesi arasındaki geçişlerle sınırlandırılmışken, serbest elektron lazerinde elektronlar serbest olarak hareket edebildiğinden ayarlanabilir şekildedir. Bu dalga boyu; salıncı miknatısların yerleştirilme sıklığı, manyetik alanları ve oluşturulan elektron demetinin enerjisi gibi çeşitli parametrelere bağlıdır. Bu özellikleri sayesinde serbest elektron lazerleri, geleneksel lazer ışınlarının aksine tek bir frekansta değil, geniş bir frekans aralığında üretilebilmektedir. Serbest elektron lazerlerindeki kazanç ise ortamdaki elektromanyetik alanın ve elektronun yönüne bağlıdır [1].

Serbest elektron lazerleri, geleneksel lazerlere kıyasla daha fazla karakteristik ve ayarlanabilir özelliklere sahiptirler. Bu özelliklerinden olan ve ışımının oluşum sıklığını ifade eden tekrarlamasının yüksek olması gibi ışımının mikro atma enerjisinin yüksek olabilmesi ve yine yüksek ortalama güç değerlerinde üretilebilmesi bu cihazların tercih sebebi olmasını sağlamaktadır. Ayrıca oluşan ışımaların esnek zaman aralıklarına sahip olabilmesi ve ışımın oluşma sıklığının modüle edilebilmesi gibi özellikleri de düşünüldüğünde, serbest elektron lazerleri araştırma merkezlerinin lazer optiği, atom ve molekül fiziği, yarı iletken yapılar ve nanoteknoloji ile malzeme bilimi alanlarda birçok ihtiyaca cevap vereceği görülmüştür. Bunlara ek olarak biyoloji, biyoteknoloji, foto-kimya ve benzeri farklı bilim dallarında da kullanılmaktadırlar. Bahsi geçen bilimsel alanlarda olduğu kadar askeri savunma sistemleri ve gelişmiş sanayi tesislerinde de kullanılmakta olan serbest elektron lazerleri örnekleri mevcuttur [2].

Bu çalışma, ülkemizin ilk serbest elektron lazeri olacak olan ve THM projesi kapsamında T.A.R.L.A. tesisinde inşa edilen ışımın kaynağı için gerçekleştirilmiştir. THM projesi, 1997 yılında Ankara Üniversitesinin öncülüğünde DPT teşviki ile başlatılmış, 2006 yılından itibaren Yaygınlaştırılmış Ulusal ve Uluslararası Proje formatına girerek, 10 üniversitenin işbirliği ile sürdürülmüştür. Tesisin aktif olarak çalışır ve hizmette olmasını amaçlayan aşama kapsamında bulunduğumuz günümüzde ise, 14 üniversiteden 168 araştırmacı bu amaca hizmet etmektedir. Kurulacak olan serbest elektron lazeri, THM'nin ileri dönem projelerinde etkin rol üstleneceği için T.A.R.L.A. tesisi kapsamındaki bu

ışımın kaynağının aktif ve sorunsuz olarak çalışması oldukça önemlidir [3].

2. SERBEST ELEKTRON LAZERİ PARAMETRELERİ (FREE ELECTRON LASER PARAMETERS)

Serbest elektron lazeri ışımının üretilebilmesi için bazı donanımlara ihtiyaç duyulmaktadır. SEL ışımının elde edildiği ve salıncı bölgesini de içinde barındıran optik kaviteye kadar olan kısım, elektron demet hattının temelini oluşturmaktadır. Bu temel demet hattı sayesinde, salıncı bölgesini içeren optik kavite bölgesinin eklenmesi yerine farklı kurulumlar ile farklı deneylere imkân tanıyan sistemler oluşturulabilmektedir [4].

Bu duruma örnek olarak THM T.A.R.L.A. tesisinde kurulması planlanan elektron demet hattında salıncı bölgesine girmeden önce bir kısım elektron demetinin Bremsstrahlung deney istasyonuna ayrılması ile bu alanda deneylerin yapılması gösterilebilir.

Işımın elde edilmesi ya da farklı deneyler için kurulum yapılması dâhil her durumda değişmeyen etken ise bu donanımların belirli bir sistematik sıra ile yerleştirilmeleri gerekliliğidir.

Bu çalışmada, kurulacak olan serbest elektron lazeri ile elde edilecek ışımının sahip olacakları karakteristik özellikler hesaplanmış ve ayrıca serbest elektron lazeri sisteminin ana kısımlarından biri olan ve kullanılacak serbest haldeki elektronların üretilip istenilen yapıya girmelerini sağlayan bölge olan enjektör kısmına ait benzetim çalışmalarının sonuçları da sunulmuştur.

Serbest elektron lazerleri inşa edilirken dikkate alınan unsurlardan bir tanesi, üretilecek olan ışımının sahip olacağı dalga boyu aralığıdır. Bunun nedeni yüksek üretim maliyetleri sonucu kurulacak tesislerin kullanılmayacak dalga boylarında ışımın üretmesini engelleyerek gereksiz masraftan kaçınmaktır. Geniş bir dalga boyu aralığından sadece belirli olanlarının kullanılacak olması durumunda, tüm bu dalga boyu aralığında ışımın üretebilecek bir tesisin kurulması, belirli dalga boylarında ışımın üretebilecek olan bir tesis kurulmasına göre kat ve kat yüksek maliyetli olacaktır.

Bir düzlemsel salıncıdan elde edilen serbest elektron lazeri ışımını için, oluşturulacak olan foton demetinin dalga boyu şu eşitlik ile hesaplanır [5].

$$\lambda_{sel} (\text{Å}) = 13,056 \frac{\lambda_u (\text{cm})}{E^2 (\text{GeV})} \left(1 + \frac{K^2}{2} \right) \quad (1)$$

Burada λ_u ; düzlemsel salındırıcının periyot uzunluğu, E; elektron demetinin enerjisini, K ise salındırıcı kuvvet parametresini tanımlayan sembollerdirler. Pratik birimler cinsinden ifade edilen bu denklemde dalga boyunun birimi angströmdür [5].

Elektron demetlerinin kalitesini belirlemek için kontrol edilen iki özellik mevcuttur. Bunlardan ilki demetlerinin enine olan boyutlarının ne kadar küçük olduğu ve değişmediği, diğeri ise elektronların eşit bir şekilde paketçik içerisine dağılımları sayesinde homojen bir yapı oluşturmalarıdır [6].

Elektron demetleri, parçacıkların $x' - x$, $y' - y$ ve aynı zamanda $\gamma - ct$ faz uzayında istatistiksel dağılımları gibi davranırlar. Bu dağılımda, parçacıkların etrafında, bu parçacıkların %50 sini kapsayacak şekilde bir elips çizildiğinde; bu elipsin alanı, faz uzayında rms (root mean square) yani etkin elektron yayılımının bir ölçüsü olur. Etkin yayılım ise bu elips alanının π ile bölünmesiyle elde edilir [6].

Üretilecek olan lazer ışınımının dalga boyunun, dolayısıyla enerjisinin ayarlanması; elektron enerjisinin değişmesine ya da salındırıcı parametresi olan ve salındırıcıdaki mıknatısların kutupları arasındaki mesafenin veya manyetik alanın değişmesi ile değişebilecek olan K parametresinin değişmesine bağlıdır [5].

Serbest elektron lazerlerinde, salındırıcı içerisinde hareket etmekte olan elektronların kullanılması ile elde edilecek serbest elektron demetinin enerjisi Denklem (2)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır [7].

$$E_{\text{sel}} (\text{eV}) = 950 \frac{E^2 (\text{GeV})}{\lambda_u (\text{cm}) \left(1 + \frac{K^2}{2}\right)} \quad (2)$$

Elektron demetinin gücü ise; L_u , metre cinsinden salındırıcı uzunluğu, I_e , amper cinsinden elektron demetinin akımı, E_e , GeV cinsinden elektron demet enerjisi ve B_u , Tesla cinsinden salındırıcı mıknatısların pik manyetik alanı olmak üzere Denklem (3)'de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır [7].

$$P [\text{kW}] = 0,632 L_u I_e (E_e)^2 (B_u)^2 \quad (3)$$

Hızlandırıcı gerilimin bir dalga boyu kadar veya bu dalga boyu değerinin katlarında bir değere sahip olan mikro paketçikler; elektron demeti için en küçük birimlerdirler. Hızlandırılmış olan elektronların, bu mikro paketçik yapıya sahip olacak şekilde oluşturdıkları akımın pik

değeri; q, paketçik yükü, c, ışık hızı ve σ_z , paketçik uzunluğu olmak üzere şu şekilde tanımlanır [6].

$$I = \frac{qc}{(2,35 \sigma_z)} \quad (4)$$

Demetteki elektronlar; ortak bir referans noktası etrafında faz salınımları yaparlar ve bunun neticesinde boyuna kararlı bir dağılım oluştururlar. Buna da paketçik uzunluğu denir. Elektron paketçiklerinin, hızlandırıcı sonunda oluşturdıkları ortalama demet akımına ise ortalama akım denir. $\langle I \rangle$ ile sembolize edilen ortalama akım hesaplanırken; q, paketçik yükü, n_μ , bir atma içindeki mikro paketçik sayısı ve T_r , ise ardışık iki mikro atma arasındaki zaman farkı olarak kabul edilir ve ortalama demet akımı Denklem (5)'de gösterildiği şekilde hesaplanır [6].

$$\langle I \rangle = \frac{n_\mu q}{T_r} \quad (5)$$

Üretilen lazer ışınımının kalitesini belirlemede; akı, aydınlık ve parlaklık en önemli niceliklerdendirler. Birim zamanda, yani saniye başına, belirli bir enerji aralığında yayılan foton sayısı, akı olarak isimlendirilir. Bu enerji aralığını; kullanılabilir foton enerjisinin %0.1 bant genişliği oluşturur. Belirtilen bu enerji aralığındaki foton akısı (F) genellikle 1 A'lık demet akımına normalize edilmiş ve Denklem (6)'da gösterildiği şekilde, "s" ile ifade edilen birim alana düşen foton sayısı ile ilişkilidir [6].

$$F = \frac{\text{foton}}{\text{s } \%0,1 \text{ bantgenişliği}} \quad (6)$$

Parlaklık ise; akı değerinin kaynak ile ilgili açısal alana bölünmesiyle elde edilir ve aynı zamanda parlaklık, demetin kesit alanı olan (enine demet boyutu) $\sigma_{x,z} = \sqrt{\epsilon_{x,z} \beta_{x,z}}$ ifadesine bağlıdır. Bu ifadede kullanılan $\epsilon_{x,z}$, demetin x - z eksenindeki yayılımını gösterirken, $\beta_{x,z}$ ise demetin odaklandığı noktayı açıklayan pozisyon bağımlılık ifadesidir. Parlaklık hesabı için Denklem (7)'de gösterilen ifade kullanılır [6].

$$B = \frac{F}{4\pi^2 \sigma_x \sigma_y \sigma'_x \sigma'_y} = \frac{F}{4\pi^2 \epsilon_x \epsilon_z} \quad (7)$$

Bu eşitliklerde belirtilen, $\sigma_x \sigma_y$ ifadesi, etkin kaynak alanını belirtirken; $\sigma'_x \sigma'_y$ ifadesi, faz uzayı alanını tanımlamaktadır. Pratik birimler cinsinden, σ_z paketçik

uzunluğu olmak üzere, doymuş parlaklık Denklem (8)'de gösterildiği şekilde ifade edilir [6].

$$B_s \cong 3,977.10^{42} \left(\frac{E[\text{GeV}]}{N} \right)^4 \frac{\sigma_z[\text{mm}]}{(\lambda_u[\text{cm}].[\text{kf}_b(k)])^2} \quad (8)$$

Bu eşitlik, kavite içi parlaklık için bir referans değer olarak kullanılabilir. Genel anlamda, doymuş parlaklık değeri (B_L), ışınımdaki doymuş yoğunluğu (I_s) veren Denklem (9) yardımı ile Denklem (10)'da gösterildiği şekilde tanımlanabilir [6].

$$I_s \left[\frac{\text{W}}{\text{cm}^2} \right] \cong 10^{22} \frac{E^4[\text{GeV}]}{N^4} \frac{1}{(\lambda_u[\text{cm}].[\text{kf}_b(k)])^2} \quad (9)$$

$$B_L \cong 6.4.10^{37} \frac{I[\text{A}]}{N} \frac{E[\text{GeV}]^3}{\lambda_u[\text{cm}].L_c[\text{cm}]} \frac{\sigma_z[\text{mm}]}{1+K^2/2} \quad (10)$$

3. BULGULAR (RESULTS)

TARLA tesisinde farklı bilim alanlarındaki bilim insanlarına hizmet etmesi amacıyla iki farklı salındırıcı bölgesi sayesinde farklı iki aralıkta SEL ışınımı üretilmesi mümkün kılınacaktır. Bu salındırıcılardan ilki olan U90 ile 18–250 μm dalga boyu aralıkları taranabilecek iken ikinci salındırıcı olan U25 sayesinde elde edilebilecek olan ışınım ile 3–19 μm dalga boyu aralığı taranabilecektir [8].

Dalga boyu aralığının maksimum ve minimum değerleri hesaplanırken Denklem (1) ile gösterilen eşitlik kullanılmıştır. Maksimum dalga boyu değeri için maksimum salındırıcı periyodu ve maksimum K değerleri ile minimum elektron demet enerjisi kullanılmış iken; minimum dalga boyu değeri için minimum salındırıcı periyodu ve minimum K değerleri ile maksimum elektron demet enerjisi değerleri kullanılmıştır.

Dolayısıyla maksimum dalga boyu 9 cm salındırıcı periyodu ile 2.77398 K parametresi ve 15 MeV'lik elektron demetleri ile 253.12 μm olarak hesaplanmışken; minimum dalga boyu 2.5 cm salındırıcı periyodu ile 0.81725 K parametresi ve 38.5 MeV'lik elektron demetleri kullanılarak 2.94 μm olarak hesaplanmıştır.

Denklem (2)'de gösterilen eşitlik ile ise maksimum ve minimum ışınım enerjileri hesaplanmıştır. Bu işlemlerde maksimum ışınım enerjisi değerini elde edebilmek için minimum K değeri 0.817 ve minimum salındırıcı periyodu 2.5 cm olarak kabul edilmiş ve maksimum ışınım enerjisi 0.413 eV olarak hesaplanmıştır. Minimum

ışınım enerjisi değeri ise maksimum K değeri 2.773 ve maksimum salındırıcı periyodu 9 cm olarak kabul edilerek 0.0049 eV olarak hesaplanmıştır.

TARLA tesisinde üretilecek olan elektron demetinin enerjisi, hedeflenen dalga boyu aralığına ulaşabilmek amacıyla 15–38.5 MeV aralığında olacaktır. Bunun neticesinde U90 salındırıcısı ile elde edilecek olan ışınımın maksimum atma enerjisi yaklaşık olarak 8 μJ ve U25 salındırıcısı ile elde edilecek olan ışınımın maksimum atma enerjisi ise, yaklaşık olarak 10 μJ olacaktır.

U90 salındırıcısı ile elde edilecek olan ışınımın maksimum paketçik gücü yaklaşık olarak 2.5 MW iken ortalama gücü ise 0.1–30 W aralığında, U25 salındırıcısı ile elde edilecek ışınım maksimum paketçik gücü ise 5 MW iken ortalama gücü 0.1–40 W aralığında olacaktır.

Denklem 4 ile gösterilen eşitlikte 0.5 ps ve 0.8 ps uzunluklu demetler düşünüldüğünde 77 pC yüklü bu yapılar için pik paketçik akımı hesaplamaları yapılmıştır. Paketçik uzunluğu hesabı paketçiklerin ışık hızı ile hareket ettikleri varsayılarak basit bir hesap ile 0.5 ps için 2.4×10^{-3} m ve 8 ps için 1.5×10^{-4} m olarak hesaplanmış ve bu değerler ile pik paketçik akımı 0.5 ps'lik yapılar için 65.48 A ve 8 ps'lik yapılar için 4.093 A olarak hesaplanmıştır.

Paketçik yükünün 77 pC olması ve TARLA tesisindeki paketçiklerin 13 MHz tekrarlamaya frekansına sahip olması sayesinde ise 1.001 mA değerinde ortalama akıma sahip demetler elde edilebileceği Denklem (5) ile hesaplanmıştır.

Bu analitik hesaplamaların yanı sıra elektron demet hattının en önemli parçalarından olan enjektör sistemi PARMELA isimli benzetim programı ile analiz edilmiştir. PARMELA, bir demet hattının tasarımında kullanılacak pekçok çeşitli hızlandırma ve odaklama bileşenlerini ön tanımlı olarak içermektedir. Oluşturulmak istenen demet hattının yapısı, bu ön tanımlı bileşenlerin özelliklerinin istenilen yapıya göre programlanması ile kullanıcının üzerinde çalışacağı demet hattı tanımlanabilmektedir. PARMELA programında parçacıkların takip edilmesi için kullanılan koordinat sistemi 6 eksenlidir. Bunlardan üçü; yatay (x), dikey (y) ve boyuna (z) eksenlerdir. Diğer üçü ise boyutsuz momentum koordinatları olan $\beta\gamma_x$, $\beta\gamma_y$, ve $\beta\gamma_z$ dir [9, 10].

4. TARTIŞMA VE SONUÇ (DISCUSSION AND CONCLUSION)

THM TARLA SEL tesisi için gerçekleştirilen bu çalışmada, parametre tanımlamaları yapılarak hesaplamalar tamamlanmış ve kurulacak olan tesisin donanımlarına uygun olan elektron demet parametreleri Tablo 1.'de ışınım demet parametreleri ise Tablo 2.'de sunulmuştur.

Bu parametre çalışmalara ek olarak, TARLA SEL tesisinde kullanılacak olan serbest haldeki elektron demetlerinin üretilip paketlenildiği yapı olan enjektör sistemi için PARMELA benzetim çalışmaları yapılmıştır.

Tablo 1. Elektron demet parametreleri (Electron beam parameters)

Parametreler	Değerleri
Enerji (MeV)	15 – 38.5
Paketçik Yükü (pC)	80
Ortalama Demet Akımı (mA)	1.0
Mikro Demet Tekrarlama Oranı (MHz)	13 – 26
Makro Demet Devam Süresi (µs)	10 – Sürekli Mod
Makro Demet Tekrarlama Oranı (Hz)	1 – Sürekli Mod
Paketçik Uzunluğu (ps)	0.5 – 8
Norm. RMS Enine Yayınım (mm mrad)	< 12
Norm. RMS Boyuna Yayınım (keV.ps)	< 40

Tablo 2. Işınım demet parametreleri (Radiation beam parameters)

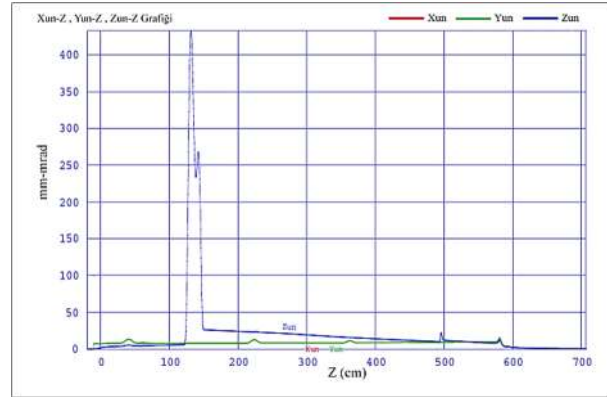
Parametre	U 25	U 90
Dalga Boyu (µm)	3 – 19	18 – 250
Micro Atma Tekrarlama Oranı (MHz)	13	13
Maksimum Tepe Gücü (MW)	~5	~ 2.5
Ortalama Güç (W)	0.1 – 40	0.1 – 30
Maksimum Atma Enerjisi (µJ)	~ 10	~ 8
Atma Uzunluğu (ps)	1 – 10	1 – 10

Yapılan benzetim çalışmalarının yorumlandığı grafiklerde, hareket eksenini kabul edilen z eksenini yatay eksen olarak atanmış iken, dikey ekseninde normalize ve normalize olmayan yayılım, enine rms büyüklüğü ile rms paketçik uzunluğu ve ortalama enerji gibi değerler

atanmıştır. Tüm grafiklerde yatay eksen, aynı zamanda demetin ilerleyişini gösterdiği için zaman eksenini olarak da kabul edilebilir.

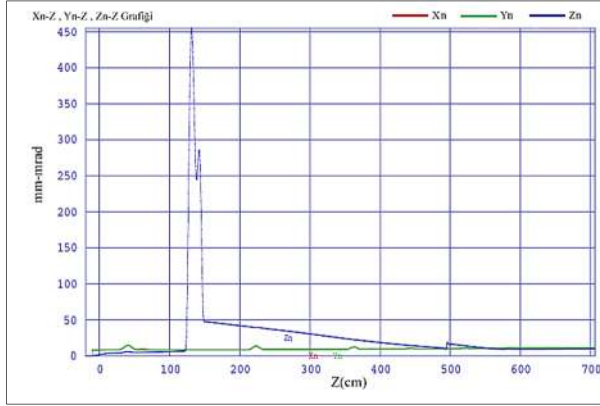
Şekil 1 ile gösterilen grafikte X_{un} normalize olmamış $X-X_p$ yayılımını, Y_{un} normalize olmamış $Y-Y_p$ yayılımını ve Z_{un} normalize olmamış $Z-Z_p$ yayılımını temsil etmektedir. Normalize olmamış yayılım; demetin momentumu ile ters orantılıdır. Demetin momentumu arttığı sürece yayılım değeri düşecek dolayısıyla demetin fiziksel büyüklüğü de azalacaktır.

Bu grafikte görüldüğü gibi normalize olmamış $Z-Z_p$ yayılımını simgeleyen Z_{un} değerinin, demetin ilerleme ekseninde 107–166 cm aralığında X_{un} ve Y_{un} 'dan büyük olması, demetin ilerleme ekseninde yayılımının arttığı ve buna bağlı olarak da fiziksel büyüklüğünün küçüldüğünü göstermektedir. Bu durum, demetin ilerleme ekseninde bu artışın görüldüğü noktada bulunan 260 MHz'lik alt harmonik paketleyicinin etkisi ile gerçekleşmektedir [11].

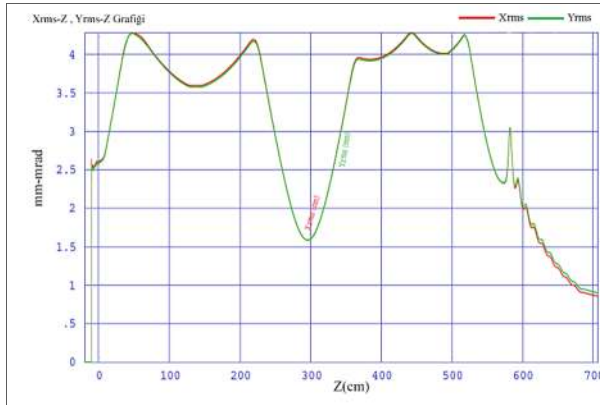


Şekil 1. X_{un} -Z, Y_{un} -Z, Z_{un} -Z grafiği (Graphic of X_{un} -Z, Y_{un} -Z, Z_{un} -Z)

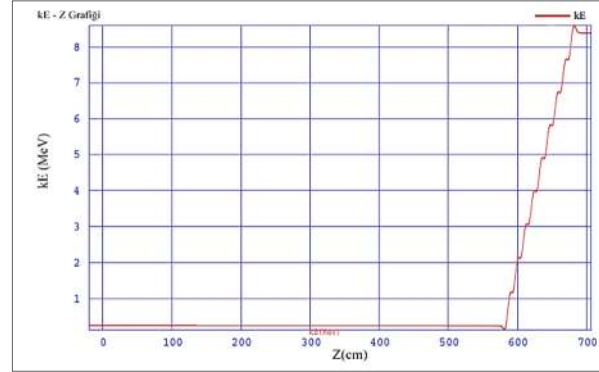
Şekil 2'de gösterilen ve aynı eksenler için normalize olmuş yayılımın şekillendirildiği grafikte ilerleme ekseninde Şekil 1 ile aynı noktalarda atmalar olduğu görülmektedir. Şekil 1'de ve Şekil 2'de gösterilen iki grafik arasındaki en önemli fark ise; $Z-Z_p$ eksenlerindeki yayılımın normalize ve normalize olmayan durumlardaki büyüklük farklarıdır. Bunun nedeni; bu yayımların tanımlarıyla alakalıdır. Normalize yayılım, normalize olmayan yayılımın beta ve gamma Lorentz faktörleri ile çarpımı ile elde ilişkilidir ve demetin momentumu ile doğrudan bir orantı içinde olmayıp, demet enerjisinin bir fonksiyonu olarak değerlendirilmemektedir. Bu nedenle, Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilen grafiklerde, demetin ilerleme ekseninde SHB (Subharmonic Buncher–Altharmonik Paketleyici)'nin bulunduğu noktadaki sayısal büyüklükler farklı olarak gözlemlenmektedir.

Şekil 2. X_n-Z , Y_n-Z , Z_n-Z grafiği (Graphic of X_n-Z , Y_n-Z , Z_n-Z)

Şekil 3 ile gösterilen grafikte X_{rms} olarak ifade edilen büyüklük demetin x eksenindeki büyüklüğünü ve Y_{rms} ise benzer şekilde y eksenindeki büyüklüğünü ifade etmektedir. Her iki büyüklükte mm cinsinden tanımlanmıştır. Grafikten de görüldüğü gibi; elektron tabancasında parçacıkların üretilmesinden itibaren tüm tanımlı demet hattı boyunca x ve y eksenlerinde demetin büyüklüğü eşit olarak artmakta veya azalmaktadır. Bunun nedeni, demet hattı üzerindeki elemanların, kuadropoller gibi demeti bir eksende şekillendirmek amacıyla kullanılan elemanlar olmamasıdır. Bu nedenle tanımlı demet hattı boyunca kullanılan elemanlar demeti eşit oranda açıp kapatmakta yani büyütüp küçültmektedir. Bu durumdan demetin şekli x ve y eksenlerinde birlikte değişecektir ve benzetim sonucunda beklenen bu durum Şekil 3 ile gösterilmiştir.

Şekil 3. $X_{rms}-Z$, $Y_{rms}-Z$ grafiği (Graphic of $X_{rms}-Z$, $Y_{rms}-Z$, Z_n-Z)

İlerleme ekseninde demet hattı elemanlarından yalnızca Tesla kavitesinin bulunduğu bölgede demete enerji aktarımı yapılabilecektir. Bunun nedeni, diğer demet hattı elemanlarının demeti sadece şekillendirmek ve yapılandırmak için kullanılıyor olmasından ve karakteristik özelliklerinden dolayıdır [11]. Şekil 4'de gösterilen grafik bu durumu ifade etmektedir.

Şekil 4. X_n-Z , Y_n-Z , Z_n-Z grafiği (Graphic of X_n-Z , Y_n-Z , Z_n-Z)

Yapılan bu benzetim çalışması ile elde edilen verilerden; ifade edilen eksenlerdeki normalize olmayan yayınımları belirten X_{un} , Y_{un} ve Z_{un} ; benzer şekilde ifade edilen eksenlerdeki normalize yayınımları ifade eden X_n , Y_n ve Z_n ; ve demet boyutunu rms olarak ifade eden X_{rms} , Y_{rms} ve Z_{rms} ile ortalama enerji değerini ifade eden ke; demetin ilerleme ekseninde benzetim programı tarafından kullanılan referans parçacığın konumuna göre demet hattında tanımlı olan bazı elemanların başlangıç, orta ve sonuç noktalarında sahip oldukları değerleri içerecek şekilde elde edilerek gerekli hesaplamalarda kullanılmak üzere arşivlenmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Yazarlar, HZDR araştırma merkezi Radyasyon Fiziği ile ELBE birimlerine, 3403-YL1-12 nolu BAP projesi için Süleyman Demirel Üniversitesi'ne ve Türk Hızlandırıcı Merkezi ekibine teşekkür ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Marshall, T. C. (1985) Free-Electron Lasers, New York, Macmillan Pub. Co.
- [2] Saldin, E. L., Schneidmiller E. A., Yurkov, M. V. (2000) The Physics of Free Electron Lasers, Heidelberg: Springer
- [3] Yavaş, Ö. (2005) "Türk Hızlandırıcı Merkezi projesi: Geçilen ve Kalan Yolun Haritası" 23. Ulusal Fizik Kongresi, Bodrum.
- [4] Yavaş, Ö. (2004) "Türk Hızlandırıcı Kompleksi Projesi. II. Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresi", Ankara.
- [5] Wille, K. (1996) The Physics of Particle Accelerators; An Introduction, New York: Oxford University Press.
- [6] Nguyen, D. C., Russell, S., Moody, N. (2009) Free Electron Lasers – Theory and Practice, USPAS 2009, Los Alamos National Laboratory, New Mexico.

- [7] Dattoli, G., Renieri, A. (1997) Free Electron Lasers, Italy: Elsevier.
- [8] Özkorucuklu, S., Aksoy, A. (2011) The Technical Design Report of Turkish Accelerator and Radiation Laboratory at Ankara (TARLA-TDR), Ankara.
- [9] Young, L.M. (2004) Parmela, Los Alamos National Laboratory report, LA-UR-96-1835, California.
- [10] Young, L.M., Billen, J.H. (2003) The Particle Tracking Code Parmela, Proceedings of the 2003 Particle Acceleration Conference. Portland, Oregon.
- [11] Aksoy, A. (2014) Özel görüşme.

