

THM KIZILÖTESİ SEL YÜKSELTEÇ MODUNUN FİZİBİLİTE ÇALIŞMASI

Hüsnü AKSAKAL*, Ünsoy KOCAÖZ*

*Niğde Üniversitesi, Fizik Bölümü, 51100, Niğde, TÜRKİYE
e-mail: haksakal@nigde.edu.tr, kocaozunsoy@hotmail.com

Alınış: 12 Haziran 2009, Kabul: 13 Ekim 2009

Özet: Türk Hızlandırıcı Merkezi (THM) Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri (Kö-SEL) Osilatör modda işletilmek üzere tasarlanmıştır. Osilatör Modunda (O modu) SEL, salındırıcı magnetle optik kavitede ışığı doyuma ulaştırana kadar karşılıklı ayna sistemleri arasında salındırmak sureti ile elde edilir. Yükselteç modda (Amplifier mod) ise, elektron demetiyle birlikte salındırıcıya eşzamanlı girecek bir tohum lazere (seed lazer) ihtiyaç duyulur. Yükselteç modda Kö-SEL üretimi, salındırıcı içerisinde tohum lazerin elektron demetiyle etkileşerek güçlendirilmesi esasına dayanır. Bu çalışmada SIMPLEX (X-ray FEL Partical Simulator) simülasyon programı yardımı ile THM'de Osilatör modda elde edilmesi planlanan Kö-SEL gücünün aynı miktarının, Yükselteç modda da elde edilebileceği, THM Kö-SEL projesinde kullanılması düşünülen aynı salındırıcı ve elektron demeti parametreleri simülasyonda kullanılarak gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Serbest Elektron Lazeri, THM Osilatör-SEL, Yükselteç-SEL

FEASIBILITY STUDY OF FEL AMPLIFIER MODE OF TAC IR FEL

Abstract: Turkish Accelerator Complex (TAC) Infrared Free Electron Laser facility (IR-FEL) is designed to run in the mode of Oscillator. Oscillator Mode FEL (O Mode FEL) is obtained on condition that laser is undulated between two parallel mirrors in optical cavity until it reaches to saturation. Amplifier Mode needs a seed laser which enter the undulator simultaneously with the electron beam. In Amplifier Mode, the production of IR-FEL is based on the amplification of seed laser with the interaction of electron beam in an undulator. In this study SIMPLEX (X-ray FEL Partical Simulator) simulation code has been used and it is argued that same amount of power of IR-FEL which is planning to obtain in Oscillator Mode, could be obtained in Amplifier Mode as well, the used undulator and electron beam parameters in the simulation are the same with the parameters of TAC, IR-FEL project.

Key words: Free Electron Laser, TAC Oscillator-FEL, Amplifier-FEL

GİRİŞ

Serbest Elektron Lazeri (SEL), atomik ve moleküler sisteme bağlı olmayan farklı tip bir lazer türüdür. Burada serbest elektron kaynağı, lineer hızlandırıcılardır. Serbest Elektron lazeri, elektronun kinetik enerjisini koherent elektromagnetik ışımaya dönüştürme ilkesi ile çalışmaktadır. Bu dönüşüm salındırıcı adı verilen ve magnetik alan oluşmasını sağlayan magnetik salındırıcı ile gerçekleşmektedir. Serbest elektron lazeri, rölativistik bir elektron demetinin, kutupları arasına sinüsel bir magnetik alan uygulanan salındırıcı

magnetten (undulatör) geçişi esnasında, kinetik enerjisinin bir kısmını elektromagnetik ışınım yoluyla ayarlanabilir dalga boylu, yüksek akı ve parlaklık değerlerine sahip monokromatik (tek renkli) ışınımına dönüşmesi ile oluşur (YAVAŞ 2001). THM’inde iki optik kavite arasında bulunan farklı periyotlardaki (2.5cm, 9cm) iki salındırııcılardan 2-185 mikron dalgaboyu aralığında Kö-SEL üretilmesi planlanmaktadır (AKSOY vd. 2008). SEL üç şekilde üretilmektedir. Bunlar elektron demetlerinin salındırııcı içinden geçiş sayısına göre sınıflandırılır. a) Yükselteç (Amplifier) modu: Eldeki bir normal lazer ışınımının salındırııcı ışınımı ile güçlendirilmesi b) Osilatör (Oscillator) modu: Salındırııcı ışınımının salındırııcının iki yanına konulmuş aynalarla bir optik kavite içerisinde güçlendirilmesi, c) Kendiliğinden genlik artımlı yayılım (SASE) modu: Elektron demetinin salındırııcı içerisinden bir kez geçirilirken optimizasyonun ışınımın genlik olarak doyuma ulaşacak şekilde yapılmasıdır (YAVAŞ & YİĞİT 2009).

MATERYAL VE METOT

THM’de Osilatör modda SEL üretilmesi tasarlanmıştır. Osilatör SEL’inin ana donanımları: elektron demeti, salındırııcı magnet (undulatör) ve optik kavitedir. THM’de iki farklı salındırııcı kullanılması planlanmaktadır. Salındırııcı parametreleri Tablo 2’de verildiği gibidir. Elektron demeti salındırııcı magnete gönderilerek salındırııcı eksen boyunca ivmeli hareketi neticesinde ani bir salındırııcı ışınımı yayınlaması sağlanır. Bu ışınım optik kavite içerisinde iki ayna arasında salındırılarak salındırııcıya eş zamanlı olarak gönderilen yeni elektron demetleri ile etkileşir. Bu şekilde kaviteye giren elektron demetlerinden kavite içerisindeki optik alana bir enerji aktarımı sağlanmış olur. Optik kaviteden bu şekilde elde edilen ışınım Osilatör SEL olarak adlandırılır (DURAN YILDIZ 2009). Bu çalışmada Osilatör mod ve Yükselteç modun kıyaslanması amacıyla THM Kö-SEL’e ait e-demeti ve salındırııcı parametreleri kullanılmıştır. Amaç düzenek üzerinde maliyeti yüksek değişiklikler yapmadan (salındırııcı değişimi gibi) osilatör moddaki güç değerinde veya daha üzerindeki bir güç değerinde lazer elde etmektir. Yükselteç SEL, ışınımın dışardan gelen başka bir ışınım ile salındırııcı içerisine eşzamanlı giren elektron demeti ile salındırııcı içerisinde etkileşerek güçlendirilmesi prensibine dayanır. Bu mod, salındırııcıya giren lazerin yüksek enerjili elektron demetinin enerjisini kullanarak uygun elektromagnetik radyasyona yükseltilmesi ile oluşturulur. Salındırııcıya giren lazer, salındırııcıya λ dalga boyu ile girer ve yükseltilmenin olabilmesi için salındırııcı parametresi K’nın uygun değeri seçilir (WILLE 2004). Bu çalışmada salındırııcı kuvvet parametresi K olarak THM Osilatör SEL’i için kullanılan K parametre aralığı kullanılmıştır. Sınırlı uzunluktaki salındırııcılarda yüksek güç ve parlaklık değerine sahip SEL elde etmek için uygun güçte salındırııcıya girecek lazer kullanılmalıdır. SEL’in doyumluğa ulaşması için çok periyotlu uzun salındırııcı kullanılması veya yüksek çıkış gücü verilmesiyle mümkün olabilir. Lazer atmasının enerjisini yükseltmek için, elektron demetinin enerjisi γ , ince ayar yapılarak rezonans enerjisi γ_r ’nin biraz üzerinde bir değere getirilmesi gerekir (WILLE 2004). SEL yükseltecinin SEL osilatöre göre belirgin üstünlüğü vardır. SEL osilatörün verimi $\eta \propto 0.3 N_w$ (N_w salındırııcı periyot sayısı) olup %1 mertebesindedir. Fakat SEL yükseltecinin verimi %10 düzeyindedir (AKSAKAL 2007). SIMPLEX simülasyon programıyla K değerleri üzerinde tarama yapılarak Güç-Salındırııcı uzunluğunun salındırııcı kuvvet parametresi K değerlerine göre, her iki salındırııcı için grafikleri çizilmiştir. Aşağıdaki tablolarda THM Kö-SEL salındırııcı ve elektron demeti parametreleri verilmiştir. Salındırııcıya giren lazer olarak Tablo 2’de görülen uygun

lazer değeri seçilmiştir. Paketçik boyu ekstra paketçik kısaltıcı (chicane) kullanılarak nominal değerinden yaklaşık 6 kat kısa alınmıştır. 15-40 MeV enerji aralığında elektron demetleri kullanılarak her iki salındırıci için Ortalama Güç(MW)-Z(m) salındırıci uzunluğu grafikleri çizilmiştir.

Tablo 1. TAC Kö-SEL Elektron demeti parametreleri

Klystron (kW)	10	16
Demet enerjisi (MeV)	15-40	15-40
Paket yükü (pC)	80	120
Paket boyu* (ps)	0.10	0.17
Mikropaket boşluđu	77	77
Ortalama akım (mA)	1	1.6
Makro atma süresi	Sürekli Dalga ve ayarlanabilir	
RMS norm. Enine .emit.** (π mm mrad)	5	5
RMS norm. boyuna emit. (keV ps)	<100	<100

* Ekstra chicane kullanılarak 6 kat azaltılmış paketçik uzunluğu değeri

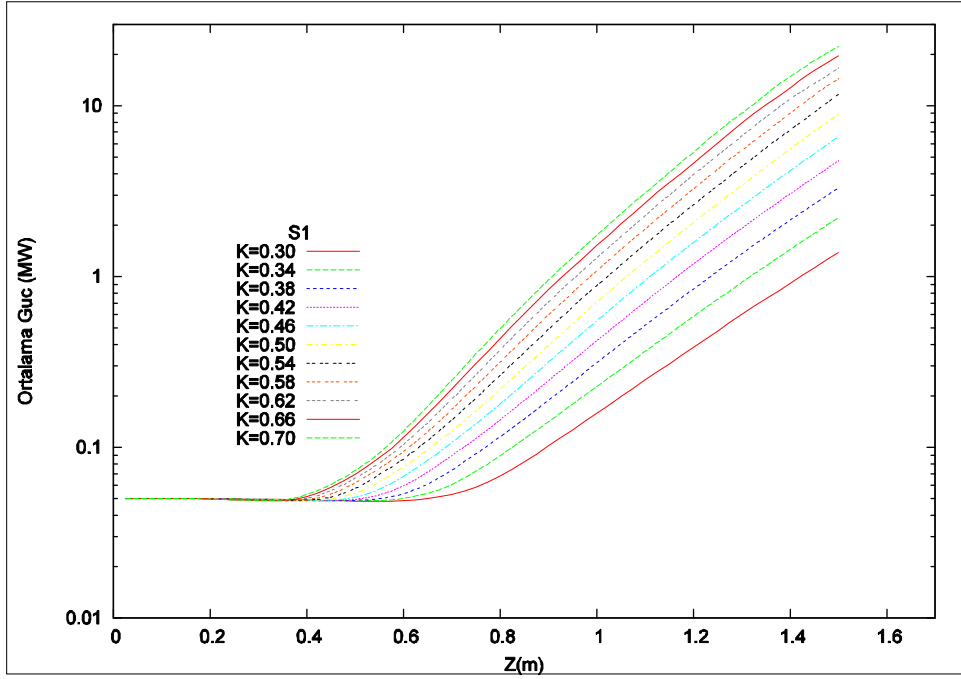
** Emittans 5 π mm mrad olarak sabit alınmıştır.

Tablo 2. TAC Kö-SEL Salındırıci (Yükselteç) parametreleri

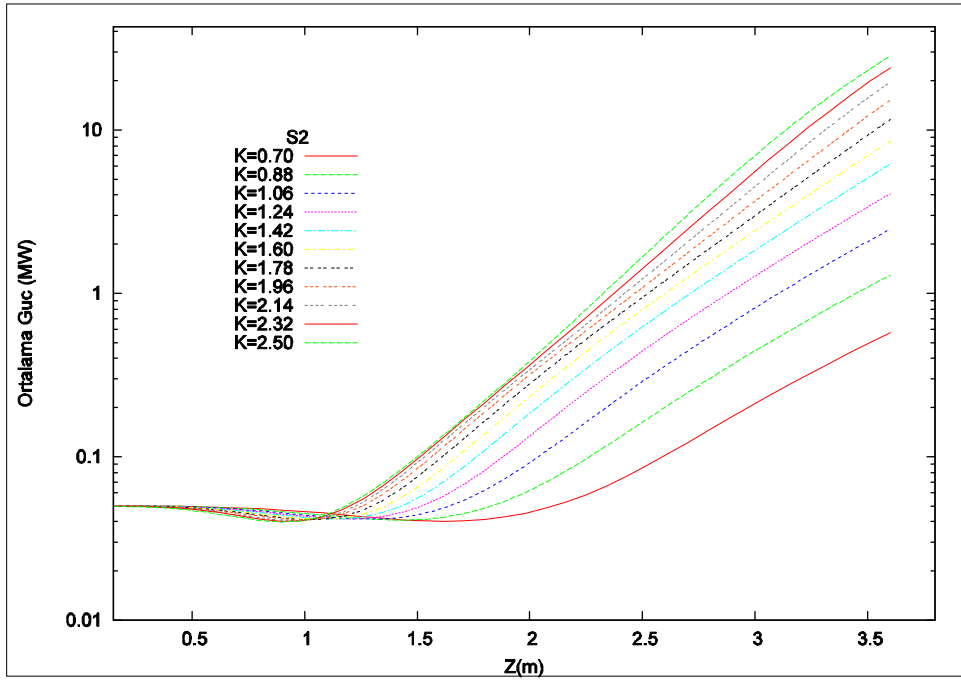
Salındırıci (Yükselteç) parametreleri	S1	S2
Periyot (cm)	2.5	9
Salındırıci kutup aralığı (cm)	1.6-3	5.5-9
Magnetik alan (T)	0.1-0.35	0.1-0.275
Salındırıci parametresi (K)	0.3-0.7	0.7-2.5
Kutup sayısı (N)	56	40
SEL Parametreleri	SEL-1	SEL-2
Dalga boyu aralığı (μ m)	2.6-27	10-185
Atma enerjisi(@80pC)	2	4
Atma Enerjisi (μ J)(@120pC)	4.2	55
ρ Parametresi	0.002	0.033
λ_{SEL} (μ m)	15	30
Salındırıciya Giren Lazer Parametreleri		
Giriş gücü (kW)	50	50
Dalga Boyu λ_{in} (nm)	15	30
Rayleigh uzunluğu (cm)	50	50

BULGULAR

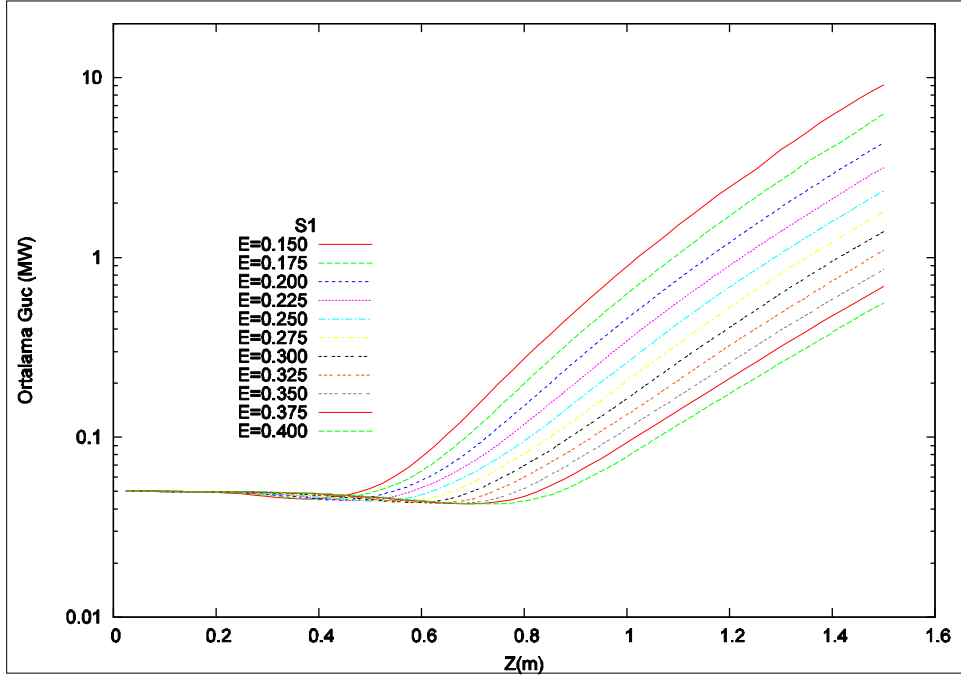
15-40 MeV enerjili elektron demetleri kullanılarak elde edilen Ortalama Güç(MeV)-Z(m) salındırıci uzunluğu grafikleri her iki salındırıci için aşağıdaki gibi elde edilmiştir. Şekil 1' de K[0.3-07] aralığında değişirken Şekil 2'de K[0.7-2.5] aralığında değişken alındı. Şekil 3'te 1. salındırıci için 15-40 MeV aralığında K[0.7], Şekil 4' te ise 2. salındırıci için K[2.5], değerleri sabit alınarak Güç yoğunluğu (MeV)-Z(m) grafikleri çizilmiştir. Şekil 1 ve Şekil 2'den görüleceği gibi S1 için ortalama güç 1-20 MW arasında S2 için ise 0.2-25 MW arasında değişmektedir. Şekil 3 ve Şekil 4'den görüleceği gibi yüksek elektron demeti enerjisi yüksek güçte SEL elde edilmesinde faydalı olmaktadır. Grafiklerde y eksenini logaritmik alınmıştır.



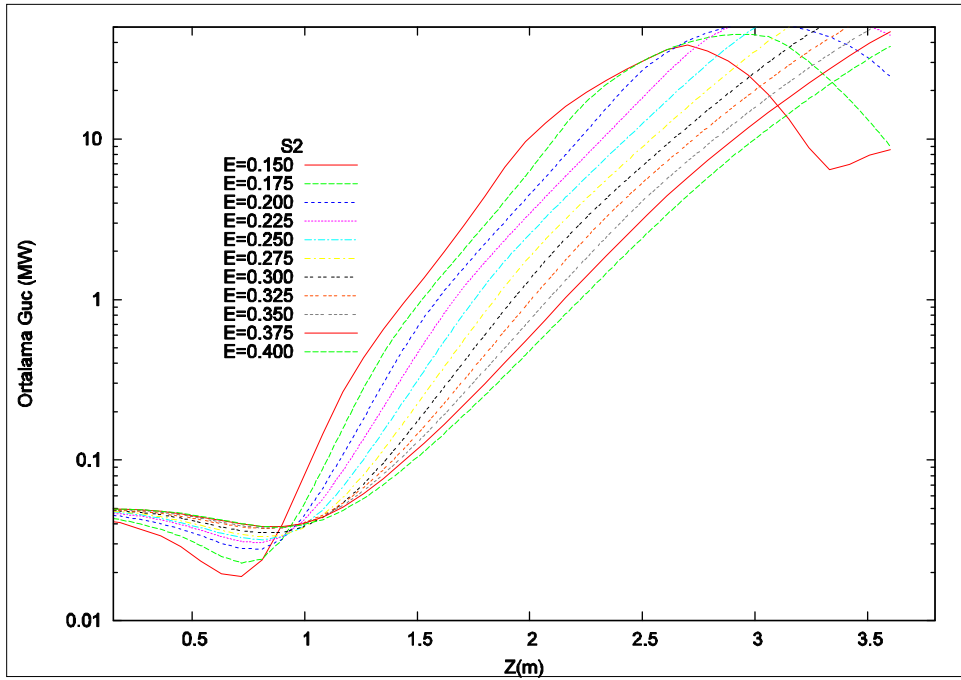
Şekil 1. Birinci salındırıcı kuvvet parametresi K [0.3-0.7] aralığında Ortalama Güç(MW)-Salındırıcı uzunluğu Z(m)



Şekil 2. İkinci salındırıcı kuvvet parametresi K [0.7-2.5] aralığında Ortalama Güç(MW)-Salındırıcı uzunluğu Z(m)



Şekil 3. Birinci salındırıcı, Demet Enerjisi 15-40 MeV aralığında Ortalama Güç (MW) - Salındırıcı uzunluğu Z(m)



Şekil 4. İkinci salındırıcı, Demet Enerjisi 15-40 MeV aralığında Ortalama Güç (MW) - Salındırıcı uzunluğu Z(m)

TARTIŞMA VE SONUÇ

Yükselteç modda SEL'in güç değerinin, THM Kö-SEL Osilatör mod parametreleri kullanılarak elde edilecek güç değeri ile aynı mertebede olabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Yükselteç mod optik kaviteye ihtiyaç duymadığından yapımı ve işletimi

osilatör moda göre daha kolay olmaktadır. Maliyet olarak Osilatör moddan daha ucuz olması beklenmektedir. Bu modun dezavantajı giriş dalgaboyu ile aynı dalgaboyuna sahip SEL üreteceğinden farklı dalgaboyları için farklı giriş lazeri kullanılmalıdır. Şu da unutulmamalıdır ki zengin uygulamaya yönelik alanları osilatörlü serbest elektron lazerinin kullanımında avantaj sağlar ve dünyadaki birçok lazer laboratuvarında osilatör moddan lazer elde edilmektedir. Her iki salındırıcıda (S1, S2) da eşit güç değerine sahip salındırıcıya giriş lazeri kullanılmasına rağmen salındırıcı uzunluğu büyük olan salındırıcıda SEL'in daha yüksek güç değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Salındırıcı kuvvet parametresi K değeri arttıkça SEL'in gücünde artmıştır. SIMPLEX simülasyon programı kullanılarak THM Kö-SEL'inde elde edilmesi planlanan osilatör moddaki SEL'inin güç değerlerine ve daha yüksek güce yükselteç modu kullanılarak ulaşılabileceği gösterilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, DPT2006K-120470 No'lu YUUP Projesinden desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- AKSAKAL H, 2007. CLIC-LHC'ye dayalı gama proton çarpıştırıcısının incelenmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 51s.
- AKSOY A, KARSLI Ö, YAVAŞ Ö, 2008. The Turkish sccelerator complex IR FEL project, *Infrared Physics & Technology*, 51, 378–381.
- DURAN YILDIZ H, 2009. Turkish accelerator center structure of optical cavities, *Balkan Physics Letters*, 16, 161023.
- SIMPLEX: X-ray FEL Practical Simulator, 2006, http://radiant.harima.riken.go.jp/cgi-bin/download_simplex.cgi
- YAVAŞ Ö, 2001. 4. Nesil Işınım Kaynağı Olarak Serbest Elektron Lazeri, *I. Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresi*, 25-26 Ekim, TAEK, Ankara, <http://thm.ankara.edu.tr>.
- YAVAŞ Ö, YİĞİT Ş, 2009. SASE X-SEL: Fiziği, projeler ve uygulama alanları, <http://thm.ankara.edu.tr>.
- WILLE K, 2004. *The Physics of particle accelerators*, Oxford University Press, Oxford, pp. 233-238.