



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENDİLİĞİNDEN GENLİK ARTIRIMLI LAZERLERDE UNDULATÖR YAPISI VE LAZER OPTİMİZASYONLARI

GÖKHAN COŞKUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YÜKSEK ENERJİ VE PLAZMA FİZİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2013

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENDİLİĞİNDEN GENLİK ARTIRIMLI LAZERLERDE
UNDULATÖR YAPISI VE LAZER OPTİMİZASYONLARI**

GÖKHAN COŞKUN

Bu tez,
Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
Derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2013

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Gökhan COŞKUN tarafından hazırlanan **“Kendiliğinden Genlik Artırmalı Lazerlerde Undulatör Yapısı ve Lazer Optimizasyonları”** adlı bu tez, jürimiz tarafından 01/01/2013 tarihinde oy birliği ile Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Hatice DURAN YILDIZ (I. DANIŞMAN)

.....

Hızlandırıcı Teknolojileri Enstitüsü, Ankara Ü.

Yrd.Doç.Dr.Yusuf Oğuzhan GÜNAYDIN (II. DANIŞMAN)

.....

Fizik Anabilim Dalı, KSÜ

Prof.Dr. Fikret ANLI (ÜYE)

.....

Fizik Anabilim Dalı, KSÜ

Prof.Dr. Musa GÖĞEBAKAN (ÜYE)

.....

Fizik Anabilim Dalı, KSÜ

Hüseyin YILDIRIM (ÜYE)

.....

Matematik Anabilim Dalı, KSÜ

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. M.Hakkı ALMA

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Gökhan COŞKUN

Bu çalışma, Ankara Üniversitesince Koordine Edilen TAC YUUP projesi” tarafından desteklenmiştir.

Proje No: DPT2006K-120470

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir ve her hakkı saklıdır.

KENDİLİĞİNDEN GENLİK ARTIRIMLI LAZERLERDE UNDULATÖR YAPISI VE LAZER OPTİMİZASYONLARI

ÖZET

Bu tezde, SASE-FEL (Kendiliğinden Genlik Artırmalı Serbest Elektron Lazeri) elde edebilmek için, SASE-FEL sistem düzeneği üzerinde bulunan undulatör (salındırıcı) yapılarının anlaşılması ve modellenmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca bu salındırıcılar boyunca elektron demetlerinin uzaysal davranışları da modellenmiştir.

Salındırıcıya gelen elektronların, manyetik salındırıcı yapılar içerisindeki davranışlarını kontrol edebilmek için, salındırıcı bölgesinde elektron demetlerinin uzaysal davranışlarının doğru bir şekilde modellenmesi gerekmektedir. Bu modellemelerin yapılması için kullanılan programlar ise; Genesis, Xgenesis ve IDL (Interactive Data Language)'dir. Her bir program birbirleri ile bağlantılı ara yüz programlarıyla çalışarak modelleme sonunda 10^9 W (GW) gücünde lazer ışını elde edildiği görülür.

Elektron demetlerinin salındırıcı sistemi boyunca davranışlarını içeren girdi dosyası oluşturulur ve Genesis, Xgenesis ve IDL programlarıyla modellemeler yapılarak grafiksel ve listesel çıktı dosyası elde edilir. Çıktılar salındırıcı sonunda elde edilen lazer ışınının özelliklerini verir.

UNDULATOR STRUCTURE AND LASER OPTIMIZATIONS ON SELF AMPLIFIED SPONTANEOUS EMISSION

SUMMARY

In this thesis, SASE-FEL (Self Amplified Spontaneous Emission- Free Electron Laser) to obtain undulator structures where is on the SASE-FEL system mechanism, have been studied for optimization that is modeling. In addition, three dimensional behaviour of the electron beam is modelled through out the undulator.

Of the electrons incoming the undulator, in order to control the behavior in magnetic undulator, undulator should be designed properly. These programs are used for the design; Genesis, Xgenesis and IDL (Interactive Data Language). Each program creates the laser beam working in conjunction with each other. Then, obtained lazer beam with 10^9 W(GW) power has been seen at the end of the modelling programs process.

Input file is created according to electron's undulator system and output file is obtained modeling done with Genesis, Genesis and IDL programs. This output also determines the characteristics of the laser beam passing through undulator.

TEŞEKKÜR

Tez araştırma konusunun seçilmesi, değerlendirilmesi ve yazılmasına kadar yakın ilgi, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve aynı zamanda TAC (Turkish Accelerator Complex)'ın olanaklarından yararlanmamı sağlayan sayın Doç. Dr. Hatice DURAN YILDIZ'a, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesinde bulunduğum zaman içerisinde bana hep yardımcı olan sayın Yrd.Doç.Dr. Yusuf Oğuzhan GÜNAYDIN'a, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, bana hayatı öğreten ve her zaman yanımda bulunan çok kıymetli aileme, gerek lisans gerekse yüksek lisans hayatım boyunca her zaman yanımda olan değerli arkadaşlarıma, teşekkür ederim.

Gökhan COŞKUN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	I
SUMMARY	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
ÇİZELGELER DİZİNİ	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Lazer Çalışma Prensipleri ve Lazer Çeşitleri	2
1.1.1. Lazerler	2
1.1.2. Lazer Gelişim Tarihi.....	3
1.1.3. Lazerlerin Çalışma Prensipleri	5
1.1.4. Lazerin Elde Edilmesi	5
1.1.5. Lazer Işınının Özellikleri.....	8
1.1.6. Lazer Türleri	8
1.1.6.1. Gaz Lazerler.....	8
1.1.6.2. Katı Lazerler	10
1.1.6.3. Sıvı Lazerler.....	13
1.1.6.4. Diğer Lazerler	13
1.1.7. Lazerlerin kullanım alanları.....	14
1.1.7.1. Endüstride:	14
1.1.7.2. Bilimsel araştırmalarda:	14
1.1.7.3. Haberleşmede:	15
1.1.7.4. Tıp alanında:	15
1.1.7.5. Askeri Alanlarda:	16
1.1.7.6. Dış Hekimliğinde:	16

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	17
3. MATERYAL VE METOD.....	19
3.1. Materyal.....	19
3.1.1. Modellenme Programları.....	19
3.1.1.1. Genesis.....	21
3.1.1.2. XGenesis.....	21
3.1.1.3. IDL (Interactive Data Language).....	21
3.1.1.4. Radia.....	22
3.2. Metod.....	24
3.2.1. Undulatör (Salındırıcı) sistemi ve modellenmesi.....	24
3.2.2. Undulatör sisteminin fiziği	24
3.2.3. Programların çalıştırılması	26
3.2.3.1. Genesis kurulumu	26
3.2.3.2. IDL (Interactive Data Language) kurulumu	27
3.2.3.3. Excel	29
3.2.4. Giriş Parametre değerleri.....	30
3.2.4.1. Modellemede kullanılan Genesis undulatör parametreleri	30
3.2.4.2. Modellemede kullanılan Genesis Elektron demeti	31
3.2.4.3. Genesis kodundaki, kullanılan ışıma alanı parametreleri	31
3.2.4.4. Kullanılan kontrol parametreleri.....	31
3.2.4.5. Zamana bağlılık parametreleri	32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	33
4.1. SASE Serbest Elektron Lazeri.....	33
4.1.1. Serbest Elektron Lazerinin özellikleri	34
4.1.2. Serbest Elektron Lazer fiziği	35
4.1.3. Serbest Elektron Lazer gücü ve akısı	37
4.1.4. Serbest Elektron Lazeri için gerekli donanımlar	38
4.1.5. Serbest Elektron Lazeri kullanım alanları	38

4.2. Dünyada Serbest Elektron Lazerleri	41
4.2.1. Gelişme aşamasındaki SEL deney istasyonları.....	42
4.2.2. Aktif SEL deney istasyonları.....	41
4.2.3. Proje aşamasındaki SEL deney istasyonları	43
4.2.4. Farklı enerjilere göre uluslararası SEL laboratuvarlar parametreleri	43
4.2.5. Uluslararası SEL laboratuvarlarının detaylı parametre değerleri	44
4.2.6. Uluslararası laboratuvarlarda Undulatör Boyu & Güç ilişkisi	45
4.2.7. TAC Projesi parametre değerleri.....	46
4.2.8. TAC Parametre sonuçları grafiksel gösterimi	50
5. SONUÇLAR.....	55
KAYNAKLAR.....	56
EKLER	58
ÖZGEÇMİŞ.....	59

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

nm	: Nanometre
µm	: Mikrometre
m	: Metre
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
λ_L	: SEL Dalga Boyu
λ_u	: Undulatör Boyu
K	: Sabit Parametre
γ	: Elektron Demetinin Lorentz Faktörü
B_u	: Tepe Manyetik Alanı
N_u	: Salındırıcı Kutup Sayısı
m_e	: Elektron Kütlesi
c	: Işık Hızı
L_{sat}	: Doyum Uzunluğu
ρ_{fel}	: SEL'in Ortalama Gücü
L_G	: Kazanç Uzunluğu
σ_r	: Faz Uzayı
I	: Demet Akımı
P_{sat}	: Doyum Gücü
ε	: Elektron Demet Yayınımı

E_e	: Elektron demet enerjisi
g	: Salındırıcı (Undulatör) aralığı
P_{beam}	: Elektron Demet Gücü
I_0	: Alan Yoğunluğu
T	: Manyetik Alan
Hz	: Hertz
GW	: Giga Watt
kA	: Kilo Amper
nC	: Nano Coulomb
GeV	: Giga Elektron Volt
MeV	: Mega Elekkton Volt
fs	: Femto Saniye
SEL	: Serbest Elektron Lazeri
SASE	: Kendiliğinden Genlik Artımlı Yayınım
LIDAR	: Light Detection And Ranging (Işık Belirleme ve Sınırlama)
TAC	: Turkish Accelerator Complex (Türk Hızlandırıcı Kompleksi)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Enerji seviyesi diyagramı	5
Şekil 3.1. Salındırıcı dizaynı	22
Şekil 3.2. Manyetik alan değişimi	22
Şekil 3.3. SASE SEL undulatör sistemi	24
Şekil 3.4. Genesis programının çalıştırılması.....	26
Şekil 3.5. IDL kullanım şeması	27
Şekil 3.6. Genesis çıktı dosyası	28
Şekil 3.7. Excel parametre hesabı.....	29
Şekil 4.1. SASE SEL sistematik şeması.....	33
Şekil 4.2. Dokuz-Hücreli süperiletken kavite.....	34
Şekil 4.3. Kendiliğinden düzensiz ışıma	34
Şekil 4.4. SEL, koharenet ışıma	34
Şekil 4.5. Undulatör Boyu - Güç Değer ilişkisi.....	45
Şekil 4.6. Enerji – Doyum Gücü ilişkisi.....	48
Şekil 4.7. Enerji - Dalga Boyu İlişkisi.....	49
Şekil 4.8. Enerji – Ortalama Parlaklık ilişkisi	49
Şekil 4.9. Güç – Uzunluk grafiği.....	50
Şekil 4.10. Ponderomotive Faz – Uzunluk grafiği	51
Şekil 4.11. Işıma Büyüme Oranı - Uzunluk grafiği.....	51
Şekil 4.12. Enerji – Uzunluk grafiği.....	52
Şekil 4.13. Demet Büyüme Oranı – Uzunluk grafiği	53
Şekil 4.14. Işıma Boyu –Uzunluk grafiği.....	53
Şekil 4.15. Dikey Sigma Parametresi – Uzunluk grafiği.....	54
Şekil 4.16. Yatay Sigma Parametresi – Uzunluk grafiği.....	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Dalga boyları ve Özellikleri	2
Çizelge 1.2. Lazer tarihi	3
Çizelge 1.3. Gaz Lazer türleri.....	9
Çizelge 1.4. Katı Lazer türleri	11
Çizelge 1.5. Sıvı Lazer türleri.....	13
Çizelge 1.6. Diğer Lazer türleri	13
Çizelge 3.1. Elektron demet parametreleri	19
Çizelge 3.2. Diğer parametreler.....	20
Çizelge 3.3. Lazer ve Salındırıcı parametreleri	23
Çizelge 3.4. Undulatör sistem fiziği	25
Çizelge 3.5. Excel hesaplamaları.....	29
Çizelge 3.6. Bu Tez’de kullanılan girdi parametre değerleri	30
Çizelge 3.7. Bu Tez’de kullanılan Genesis undulatör parametreleri	30
Çizelge 3.8. Bu Tez’de kullanılan Genesis elektron demet parametreleri	31
Çizelge 3.9. Bu Tez’de kullanılan Genesis ışıma alan parametreleri	31
Çizelge 3.10. Bu Tez’de kullanılan Genesis kontrol parametreleri.....	32
Çizelge 3.11. Bu Tez’de kullanılan Genesis zamana bağlılık parametreleri.....	32
Çizelge 4.1. SEL kullanım alanları.....	38
Çizelge 4.2. Dünyadaki gelişmekte olan SEL laboratuvarları.....	41
Çizelge 4.3. Dünyadaki aktif SEL laboratuvarları	42
Çizelge 4.4. Dünyadaki proje aşamasındaki SEL laboratuvarları	43
Çizelge 4.5. Demet enerjilerine göre sıralanış.....	43
Çizelge 4.6. SEL laboratuvarları parametre tablosu.....	44
Çizelge 4.7. Laboratuvarlara göre Undulatör Boyu - Güç Değer ilişkisi	45
Çizelge 4.8. Dalga Boyu – Emittans değerlendirilmesi.....	45

Çizelge 4.9. 1-3 GeV değerlerine göre TAC parametre değerleri	46
Çizelge 4.10. 5-8 GeV değerlerine göre TAC parametre değerleri	47

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze doğru hızlanarak gelişen lazer teknolojisinin kullanımı günlük hayatımızda giderek artmaktadır. Gelecekte de teknolojinin de sıkça kullanacağı ve geliştirme, zenginleştirme çabası içine gireceği lazer teknolojisi, sanayiden endüstriye, tıp alanından diş hekimliğine, askeri alandan birçok bilimsel araştırmalara kadar çok geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Ülkemizde kullanılan lazer teknolojisi, lazerin kendi imkânlarımızla üretilmemesinden dolayı, pahalı bir teknoloji olarak şimdilik sadece bazı işletmeler tarafından kullanılmaktadır. Lazer üretiminin ülkemizde üretilmesi ile birçok alanda maddi sıkıntılar büyük oranda ortadan kalkacak ve lazer teknolojisini kullanan işletmelerin ve kurumların sayısı hızla artacaktır. Lazer tesisinin ülkemizde kurulması ile hem yeni teknolojik gelişme ve araştırmalara karşı bizlerin önü açılacak hem de diğer ülkeler karşısında ülkemizin üretim itibarı artmış olacaktır. Ayrıca işletmeler ve kurumlar açısından da yapılan işlerin daha hassas, verimli, daha doğru, kısa süreli ve daha ileri teknolojiye sahip olması yönünde önemli adımlar da atılmış olacaktır.

Lazer gelişim tarihi çok eskilere dayanmamasına rağmen içerisinde barındırdığı teknolojik gelişmeler açısından çağa hızla ayak uydurarak kendini teknolojinin üst sıralarına kolayca taşımıştır. Bir lazer ışını üretmek, kullanımındaki rahatlık kadar basit değildir. Oldukça karmaşık yapılar ve çalışmalar neticesinde çok fazla zahmet gerektiren bir iştir. Dünya genelinde özellikle Avrupa ülkelerinde kullanımı ve üretimi yaygın hale gelen lazer teknolojisi, ülkemiz için yeni bir teknoloji denilebilir. Şimdilik sadece Ankara'da tasarım aşamasında bulunan THM (Türk Hızlandırıcı Merkezi) Projesi, ileriki on üç yıllık planları içerisinde farklı dalga boylarındaki (2-250 mikron ve 1-150 nanometre) lazer üretimini gerçekleştirmeyi düşünmektedir. Yapılacak çalışma ve denemeler sonucunda lazer üretimi ve kullanımı hızla artabilecektir.

1.1. Lazer Çalışma Prensipleri ve Lazer Çeşitleri

1.1.1. Lazerler

Lazer kelimesinin anlamı, İngilizce **LASER** (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) yani "uyarılmış yayınım ile ışığın güçlendirilmesi" tanımlamasının kısaltılmış halidir. 1953'de Amerikalı Fizikçi'ler, C.H. Towness ve A.L. Schawlow ışık şeklinde LAZER kavramını teorik olarak savundular. 1960 yılında yine bir Amerika'lı Fizikçi T.H. Maiman tarafından Ruby kristalinden oluşan çubuk kullanılarak ilk katı hal Lazeri yapıldı. Lazer fikrinin 1916 yılında ortaya atılmasına rağmen 1960'a kadar kullanılamamasının nedeni, dengede bulunan bir ortamda alt enerji düzeylerinin üst enerji düzeylerine göre daha kalabalık ve soğurmanın, uyarılmış yayınımına göre önemli ölçüde baskın olmasıdır [1]. 1961 yılında ilk gaz lazer (Helyum-Neon) yapıldı. Daha sonraları teknolojinin optik, elektronik, fizik ve kimya alanlarındaki gelişmelerine bağlı olarak ilerlemesi ile çeşitli lazer türleri ortaya çıkmıştır [2].

Temel olarak lazer ışını, elektromanyetik alanlara karşı farklı ışık frekanslarına göre oluşturulur (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1. Spektrum Dalga boyları ve Özellikleri [2]

Spektrumlar	Dalga Boyu	Frekans (Hz)
Radio Dalgaları	10 km - 3 m	$3 \times 10^3 - 10^9$
Mikro Dalgalar	3 m – 30 mm	$10^9 - 10^{12}$
Kızılötesi	$3 \mu m - 0.07 \text{ mm}$	$10^{12} - 4,3 \times 10^{14}$
Görünen Bölge	$0.7 \mu m - 0.4 \mu m$	$4,3 \times 10^{14} - 7,5 \times 10^{14}$
Morötesi	$0.4 \mu m - 0.1 \text{ nm}$	$7,5 \times 10^{14} - 10^{26}$
X Işınları	0.1 nm - 0.1 pm	$10^{26} - 3 \times 10^{18}$
Gama Işınları	0.1 pm – 0.0001 pm	$3 \times 10^{18} - 3 \times 10^{20}$

Lazer, kısaca elektromanyetik enerjinin yönlendirilmiş bir şekli olarak ya da uyarılmış yayınım ile mikrodalga alanında elde edilen kuvvetlendirmenin, spektrumun optik bölgesinde de elde edilmesi prensibi olarak da tanımlanabilir.

1.1.2. Lazer Gelişim Tarihi

1953’de Amerika’lı Fizikçi’ler C.H. Towness ve A.L. Schawlow birlikteliği ile ortaya sürülen lazer kavramı ile her geçen gün özellikleri geliştirilerek bugünkü hali ile yüzlerce farklı türden lazer elde edilmesine ve binlerce farklı alanlarda kullanılmasına imkân vererek insanlık tarihine çok büyük katkılar sağlanmıştır. Gelişmeye devam eden lazerler, geçmişten günümüze doğru Çizelge 1.2 de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Lazer tarihi [3]

YIL	İSİM	KONU
1900	Max Plank	Işığın elektromanyetik radyasyonun bir formu olduğu anlayışının sunulması
1916	Albert Einstein	Işığın yayılma teorisinin ortaya atılması
1928	Rudolph W Landenburg	Uyarılmış emisyon ve negatif emme varlığının doğrulanması
1940	Valentin A Fabrikant	Dağılım tersliği olasılığının kaydı.
1947	Willis E Lamb R C Rutherford	Uyarılmış ışımanın ilk gösterimi
1958	A. L. Schawlow, C.H. Townes.	Lazer fikri ortaya atılması
1960	Theodore Maiman	Yakut kristali ile ilk lazerin keşfi
1960	T.H. Mainman, Hughes	Darbeli ilk katı lazerin keşfi
1960	P. P. Sorokin, M. Stevenson	Uranyum lazerin keşfi
1961	A. Javan, W. Bennet, D.Herriot	Helyum-Neon lazerin keşfi
1961	L.F. Johnson, K. Nassau	Neodyum kristal lazerin keşfi
1962	Robert Hall, Nick Holonyak	Yarı-iletken lazerin keşfi
1963	Kidder, Mead	Lazer-füzyon deneylerin başlaması

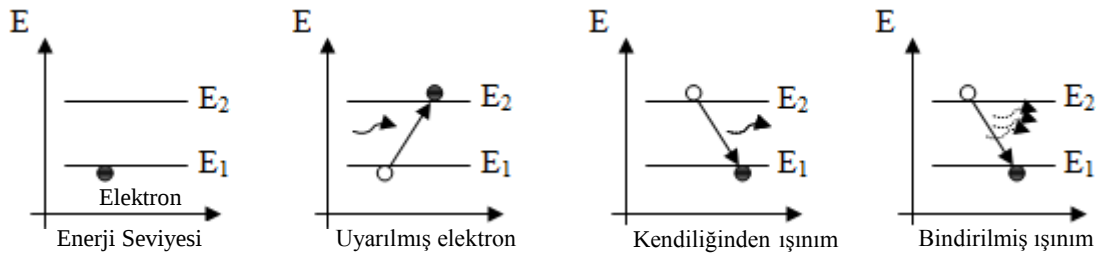
Çizelge 1.2'nin devamı

1963	Mathias	N ₂ lazerin keşfi
1964	J. E. Geusic, H. M. Markos, Van Uiteit, R. G. Smith, B. Thomas, L. Johnson	Nd: YAG lazerin keşfi
1964	William Bridges	Argon - İyon lazerin keşfi
1964	Kumar N. Patel	CO ₂ lazerin keşfi
1964	P. P. Sorokin, J. R. Lankard Solventte	Çözülmeyen organik boya lazerini kullanarak sıvı lazerin keşfi
1965	G Pimentel, J. V. V. Kasper	Kimyasal (HCl) lazerin keşfi
1966	W Silfvast, G Fowles And Hopkins	Metal buhar (Zn/Cd) lazerin keşfi
1966	Peter Sorokin, John Lankard	Boya lazerin keşfi
1970	Nikolai Basov Grubu	Excimer (Xe) lazerin keşfi
1970	R. Waynant, İbm'den R. Hodgson	Vakum lazerin keşfi
1970	Ed Gerry	Dinamik gaz lazerin keşfi
1975	Ewing, C. Brau	Gaz lazerin keşfi (excimer lazerler)
1976	John M J Madey Grubu	Serbest elektron lazerin keşfi
1984	D Matthew Grubu	X-ışın lazerin keşfi
1994	Nikolai Ledentsov	İlk kuantum nokta lazerin keşfi
1997	Wolfgang Ketterle	İlk atom lazerin keşfi
2006	John Bowers	İlk silikon lazerin keşfi

1.1.3. Lazerlerin Çalışma Prensipleri

Her elementin atom yapısında, yalnız o elemente özgü olan elektron yerleşim düzeni vardır; yani o elementteki atomların elektronları kararlı yörüngeleri olan belli bir enerji düzeyinde bulunurlar. Yörüngelerinde kararlı olarak bulunan elektronların, dışarıdan gelen bir enerji ile uyarılıp bir üst yörüngeye çıkarak tekrar eski kararlı konumuna dönmesi sırasında aldığı enerjiyi dışarı salma işlemi lazerin ana prensibini oluşturmaktadır.

Eğer atom dalga boyu (rengi) kendisine uygun düşmeyen bir ışık demeti (dalga boyu) ile uyarılmış ise enerjisini kendiliğinden ışıma şeklinde yayar; eğer kendisine tam olarak uygun düşen bir ışık demeti ile uyarılmış ise çok kısa bir sürede yerleştirildiği ışık demeti ile aynı doğrultuda ve daha parlak bir ışık demeti şeklinde ışıtır, bu "üst üste bindirilmiş (yükseltilmiş) ışınım" olayıdır (Şekil 1.1) [1].



Şekil 1.1. Enerji seviyesi diyagramı

Not: (E_1 ve E_2 ($E_2 > E_1$) olmak üzere iki enerji seviyesidir.)

1.1.4. Lazerin Elde Edilmesi

Optik bakımdan saydam, bir ucunda tam sırlı ve yansıtıcı, diğer ucunda yarı sırlı kısmen yansıtıcı iki ayna bulunan bir tüp alınır. Buna gaz, sıvı ve katı bir madde doldurulur. Dışarıdan ışık verme, elektrik akımı geçirmek suretiyle veya kimyasal bir yolla elde edilen enerji, ortamdaki atomlara ulaşır. Bunların bazıları bu enerjiyi emerler.

Fazla enerji, atomları kararsız hale getirir. Kendisine bir foton çarpan, uyarılmış ve kararsız atom, fazla enerjiyi foton yayarak verir. Fotonlar, benzer şekilde diğer fotonların yayılmasını sağlar. Uçlara ulaşan fotonlar, aynalardan yansıtılarak geri dönerler ve olay devam eder. Uyarılma ve tahriklerde ortamdaki fotonlar artar. Atomların hemen hemen hepsi, foton yaymaya başlayınca üst üste binerek kuvvetlenen ışın, yarı sırlı uçtan dışarı çıkar. Elde edilen bu ışın, lazer ışınıdır [4].

Atomlar uyarıldıktan sonra, ortamdaki elektron sayısının yarısından fazla yayılım olması durumunda ortaya lazer ışını çıkmaktadır. Ayrıca güçlü lazer ışını elde etmek için, bu ışınların kendi kendine uyarılmış lazer ışını şeklinde çıkmaları ve üst üste binmeleri gerekmektedir. Çıkan bu ışın, birbirleriyle titreşimler halinde olan fotonlardan oluşur. Elde edilen lazer ışınındaki fotonların büyük çoğunluğu aynı frekansa sahiptirler ve etrafındaki alanlar (elektrik, manyetik) aynı genlikli ve eş fazlıdır. Bu sebeple fotonlar aynı dalga boyunda tek bir foton gibi davranırlar. Bu olaya dağılım göstermeme ya da eş fazlılık, koherentlik denir [5].

Enerji seviyesinin en alt tabanında bulunan bir atom dışarıdan bir foton ile uyarılması durumunda, uyarılan bu atom enerji kazanır ve bulunduğu ilk enerji seviyesinden bir üst seviyeye geçer. Uyarılan atom, kendi halinde bırakılması durumunda, bulunduğu uyarılmış durumdan ilk andaki konumuna bir foton vererek tekrar döner. Uyarılmış olan atoma, ilk konumuna dönmek için foton yayarken bir foton tekrar çarptırılırsa, ortamı birbiri ile aynı özellikte iki foton terk eder. Bu şekilde atom sürekli uyarılması durumunda kat kat üst seviyelere yükselir ve bu seviyelerden düşerken de kat kat foton yayar. Bu işlem, iki paralel ayna yapılması durumunda eş fazlı olarak sayısız fotonların ortaya çıkmasına vesile olur. Elde edilen lazer ışınının dalga boyu, sistem üzerindeki paralel aynalar arasındaki mesafeler ile uyumludur. Yapılan bu işleme de uyarılmış ışımaya denir.

Tek bir atom için düşünülen bu işlem, binlerce hatta milyonlarca atom için yapılacak olursa, tek bir yöne doğru milyonlarca foton paralel bir şekilde eş fazlı, aynı frekanslı ve sanki tek bir ışınmış gibi görünür. Aynalar arasında gerçekleşen bu işlem sonucunda tek bir noktadan yayılan ışın hüzmeleri atomların uyarılması ile bir üst seviyeye çıkarılması sonucunda lazer ışını meydana gelmektedir.

Taban enerji seviyesinde (E_1) bulunan bir atomun, bir üst seviyeye (E_2) çıkabilmesi için $E_2 - E_1$ enerji seviyeleri arasındaki fark kadar bir enerji atoma aktarılması gerekmektedir veya diğer bir deyişle $E_2 - E_1$ enerji seviyeleri arasındaki fark kadar bir enerjinin atom tarafından absorbe edilmesi gerekmektedir.

İki seviye arasındaki enerji farkı, elektronun bir üst seviyeye çıkabilmesi için en alt limittir, yani daha az enerji üzerine gönderilen atom (enerji sürekli bir şekilde gelse bile) bir üst seviyeye uyarılamaz. Bir atomu bir üst enerji seviyesine çıkarabilmek için belirli yöntemler vardır.

Bu yöntemlerden bazıları şunlardır;

- Atoma dışarıdan ısı verilerek,
- Atom üzerine basınç uygulayarak,
- Hızlandırıcı sistemlerle bombardıman edilerek,
- Bir ışık hüzmesi ile etkileşmesi sağlanarak bir atom bir üst enerji seviyesine çıkarılabilir.

Bu yöntemlerden sadece birinin bile gerçekleşmesi ile taban durumda bulunan bir elektron bir üst seviyeye çıkartılabilir. Fakat bu sırada, uyarılmış durumda bulunan elektron kendiliğinden geldiği bir alt seviyeye inmek isteyecektir ve inerken ortama foton salacaktır. Bu olay yaklaşık olarak 10^{-8} saniyede gerçekleşir ve bu durum kendiliğinden yayınım olarak da tanımlanır.

Uyarılmış konumdaki bir elektron, kendinden düşük olan ilk seviyesine kendiliğinden inerken $E_2 - E_1$ enerji farkı kadar etrafa elektromanyetik dalga yayar ve yayılan bu dalgaya foton adı verilir. Ortaya çıkan bu fotonun enerjisi denklem 1.1'de verilmiştir [6].

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu \quad (1.1)$$

Yayılan bu fotonun frekansı ise denklem 1.2 ile hesaplanır.

$$\nu = (E_2 - E_1) / h \quad (1.2)$$

1.1.5. Lazer Işınının Özellikleri

Lazer ışınının birçok özelliği vardır. Bunlardan bazıları, lazer ışınları dalga boyunun küçük, yoğunluğunun, şiddetinin yüksek ve toplanabilme özelliğinin iyi olmasından dolayı (yani dağılma açısı çok küçük olması) belirlenen uzun mesafeler ve hedefler için kayıpsız yönlendirilebilirler ve bu sebeplerle çok hassas mesafe ölçümleri yapılabilir. Bu sayede lazerler fiber optik sistemlerin gelişmesinde etkin rol oynamıştır.

Lazer ışını, herhangi bir yolla üretilen diğer ışık kaynaklarına göre, eş fazlı olması sebebi ile yüksek güçler üretebildiklerinden oldukça şiddetli ve bu sebepten ötürü de oldukça parlaktır. İstenilen küçüklükteki bir bölgeye yüksek enerji verebilir ve böylelikle çok hassas işlerde kullanılabilir.

Lazer ışını, neredeyse tek renkli ve ıraksaması yok denecek kadar azdır. Dalga boyunun tek olması nedeniyle monokromatik özelliktedir ve böylece lazer cinsine göre çeşitli renkte ışınlar elde edilmesi mümkündür. Herhangi bir lazer ışınının rengi, dalga boyu ile ayırt edilir. Frekans aralığının çok küçük olmasından dolayı çok sayıdaki dalga, lazer dalgalarının üst üste bindirilmesiyle, haberleşmede oldukça etkin olarak kullanılır. Lazer sayesinde çok kısa süre içerisinde bir veri, bir yerden başka bir yere aktarılabilir ve kayıpsız yüksek enerji aktarımının yapılmasına olanak sağlar.

Lazer darbesinin çok kısa olması, yüksek hız fotoğrafçılığında ve yönsüz hareketli olması da holografi ve ölçü biliminde kullanılmasında etkin rol oynar.

1.1.6. Lazer Türleri

Lazerler, kullanım alanlarına göre veya yapısında kullanılan malzemelere göre kategorileştirilebilir. Yapılarına göre lazerler, katı, sıvı, gaz ve diğer lazerler olmak üzere dört gruba ayrılır.

1.1.6.1. Gaz Lazerler

Lazerin gelişim aşamaları içerisinde, büyük gelişme olarak kullanılmaya başlayan ilk gaz lazer, Helyum ve Neon elementlerinin birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Elde edilen bu karışım ilk olarak uzun bir tüp içerisine doldurulur ve daha sonra uygun ortamda ve hassas bir şekilde küresel ayna arasına yerleştirilir. Helyum ve Neon gazı ile çalışan lazerlerde, gazlar yüksek voltaj altında iyonize hale gelir. Helyum atomları yörünge üzerindeyken elektronların çarpması ile uyarılarak bir üst seviyedeki yüksek enerji seviyelerine çıkar.

Yüksek enerjili olan bu atomlar, kazandıkları enerjilerini Neon atomlarındaki eş enerji seviyelerine aktarırlar. Aktarılan bu enerji, fotonun yayılmasına vesile olur. Aynalar arası gidiş-geliş vasıtasıyla fotonların yoğunlaşarak enerjisinin artması ve aynı fazda, seviyede olan fotonların bir araya gelmesiyle ayna deliğinden geçen lazer ışını elde edilir. [7].

Günümüzde en çok kullanılan gaz lazerleri Çizelge 1.3'te verilmiştir [8].

Çizelge 1.3. Gaz Lazer türleri

Lazer Türü	Dalga Boyu Aralığı	Kullanıldığı Yerler
Argon	200 - 600 (nm)	- Tıbbi Uygulamalar - Diş Hekimliği
CO	2 – 9 (μm)	Endüstri
CO ₂	9 – 10 (μm)	- Endüstri - Tıbbi Uygulamalar - Askeri araştırmalar
Excimer	150 – 400 (nm)	- Tıbbi Uygulamalar - Göz tedavileri
Xenon Ion	~700 nm	Bilimsel Araştırmalar
Krypton	400 – 800 (nm)	- Bilimsel Araştırmalar - Lazer Işık Gösterileri
Nitrojen	300 – 400 (nm)	- Bilimsel Araştırmalar - Hava Kirliliği Ölçülmesi
He-Ne	500 – 3500 (nm)	- İnterferometri - Holografi - Barkot okutma - Yüzeysel Hizalama - Lazer Işık Gösterileri - Tıbbi Uygulamalar
HF	2 – 3 (μm)	Askeri Alanlar
Coil	~1 (μm)	- Hava Savunması - Bilimsel çalışmalar ve Malzeme araştırmaları
Altın Buhar	~600 (nm)	Fotodinamik tedaviler

Çizelge 1.3'ün devamı

He-Cd Metal Buhar	300 – 400 (nm)	• Bilimsel Araştırmalar • Baskı ve Dizgi Uygulamaları
He-Hg Metal Buhar	500 – 650 (nm)	• Bilimsel Araştırmalar
DF	3 – 4 (µm)	• Bilimsel Araştırmalar
He-Se Metal Buhar	100 – 700 (nm)	• Bilimsel Araştırmalar
He-Ag Metal Buhar	~200 (nm)	• Bilimsel Araştırmalar
Ne-Cu Metal Buhar	~200 (nm)	• Bilimsel Araştırmalar
Strontium Buhar	~450 (nm)	• Bilimsel Araştırmalar
Copper Buhar	500 – 600 (nm)	• Yüksek Hızlı Fotoğrafçılık
Agil	~1 (µm)	• Bilimsel Araştırmalar • Silah Sanayisi • Havacılık

1.1.6.2. Katı Lazerler

Katı lazerler içerisinde keşfedilen ilk lazer yakut lazeridir. Yakut, içerisinde az miktarda krom bulunan alüminyum oksit kristalidir. Yakut lazeri kırmızı renk ışınlar yayar ve önceleri sadece bir atma ile çalıştırılırdı. Daha sonraları yakut lazerinin oda sıcaklığında ve sürekli bir biçimde çalıştırılması mümkün olmuştur. Günümüzde kullanılan lazerler, sert ve şeffaf kristalden meydana gelir. Bu lazerler optik pompalama gerektirirler ve atmalı olarak çalışarak ısınmayı önlerler. Sıcaklık ve manyetik alanlarda yapılacak değişikliklerle çalışma frekansı ayarlanabilir. Enerji düzeyi sebebiyle fazla optik pompalamaya ihtiyaç olmamasından dolayı katı lazerler daha çok tercih edilir [9].

Günümüzde gerek sanayi ortamında gerekse bilimsel araştırma ve uygulamalarda katı lazerler etkin şekilde kullanılmaktadır. En çok kullanılan katı lazerler Çizelge 1.4'te verilmiştir [8].

Çizelge 1.4. Katı Lazer türleri

Lazer Türü	Dalga Boyu Aralığı	Kullanım Alanları
Ruby	~ 700 (nm)	• Holografi • Dövme • Tıbbi Uygulamalar
Nd: YAG	1000 – 1400 (µm)	• Endüstriyel Sanayi • Tıbbi Uygulamalar • Diş hekimliği
NdCrYAG	1000 – 1400 (µm)	• Endüstriyel Sanayi
Nd:YLF	1000 – 1050 (µm)	• Tıbbi Uygulamalar • Diş Hekimliği • Savunma Sanayi • Akışkan Dinamiği • Otomotiv
Nd:YVO ₄	1000 – 1050 (µm)	• Tıbbi Uygulamalar • Lazer Baskı • Spektroskopi • Endüstriyel Sanayi
Nd:YCOB	1000 – 1050 (µm)	• Tıbbi Uygulamalar • Yüksek Parlaklık Görüntüler • Lazer Yazıcılar
Nd:Glass	1000 – 1050 (µm)	• Yüksek Güç ve Enerjili Demet Sistemleri
Ti:Al ₂ O ₃ (Ti:sapphire)	650 – 1100 (nm)	• Spektroskopi • LIDAR (Light Detection and Ranging - Işık Dedeksiyonu ve Mesafe Tayini)
Tm:YAG	~2 (µm)	• LIDAR
Yb:YAG	~1 (µm)	• Optik soğutma • Malzeme işleme • LIDAR

Çizelge 1.4'ün devamı

Yb ₂ O ₃	~1 (µm)	• Atomik Boyuttaki Araştırmalar
Yb ³⁺ glass	~1 (mm)	• Endüstriyel Sanayi • Fiber optik Uygulamalar
Ho:YAG	~2 (µm)	• Tıbbi Uygulamalar • Diş hekimliği
Cr:ZnSe	2 - 3 (µm)	• Savunma sanayi
Ce:LiSAF, Ce:LiCAF	250 - 350 (nm)	• Uzak mesafe algılama • LIDAR • Optik araştırmalar
¹⁴⁷ Pm ⁺³ :Glass	900 - 1100 (nm)	• Radyoaktiflik • Endüstriyel sanayi
Cr ³⁺ - BeAl ₂ O ₄	700 - 850 (nm)	• Tıbbi Uygulamalar • LIDAR • Endüstriyel sanayi
Er - Yb	1 - 2 (µm)	• Telekomünikasyon • Çip Sistemleri
(U:CaF ₂)	2 - 3 (µm)	• Yüksek İletim • LIDAR • Veri Ölçümü
(Sm:CaF ₂)	~700 (nm)	• IBM Araştırma Laboratuvarı
Er:YAG	2 - 3 (µm)	• Tıbbi Uygulamalar • Diş hekimliği
Fiber	~ 400 – 1000 nm	• Endüstriyel sanayi • Tıbbi Uygulamalar

1.1.6.3. Sıvı Lazerler

Sıvı Lazer, organik çözücü içerisinde organik boya seyreltilerek elde edilir. Herhangi bir lazer kaynağı ile enerjisi artırılarak da elde edilebilir. Sıvı lazerleri diğer lazerlerden ayıran en önemli fark ise tek bir dalga boyu yerine kullanılan maddeye bağlı olarak belirli bir spektrumda istenen dalga boyuna ayarlanarak çalışmasıdır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan sıvı lazerler Çizelge 1.5’te verilmiştir [2].

Çizelge 1.5. Sıvı Lazer türleri

Lazer Türü	Dalga Boyu Aralığı	Kullanım Alanları
DYE	350 – 1000 nm	• Bilimsel Araştırmalar • Tıbbi Uygulamalar • Spektroskopi
Yarı İletken	375 – 3500 nm	• Endüstriyel Sanayi

1.1.6.4. Diğer Lazerler

Lazerler içerisinde sık kullanılan farklı birleşimler sonucu oluşmuş diğer lazerler Çizelge 1.6.’da verilmiştir.

Çizelge 1.6. Diğer Lazer türleri

Lazer Türü	Dalga Boyu Aralığı	Kullanım Alanları
DIOD	~800 nm	• Tıbbi uygulamalar
Er, Cr: YSGG	~3000 nm	• Diş hekimliği
ERBIUM	1500 – 3000 nm	• Diş hekimliği
Bio	500 – 600 nm	• Genetik mühendisliği
Photonic Crystal	300 – 3500 nm	• Endüstriyel uygulamalar
Serbest Elektron	0.1 – 1350 nm	• Temel Bilim araştırmaları • Endüstriyel uygulamalar • Tıbbi uygulamalar • Diş hekimliği

1.1.7. Lazerlerin kullanım alanları

Lazerlerin günlük hayatımızda kullanıldığı en çok yerlerden bazıları: endüstri, bilimsel araştırmalar, haberleşme, tıp, diş hekimliği ve askeri alanlardır. Gün geçtikçe lazer daha farklı alanlarda da önemli rol oynamaktadır. Lazerlerin bazı kullanım alanlarını aşağıdaki şekilde özetleyebiliriz.

1.1.7.1. Endüstride:

Endüstriyel alanlarda lazer özellikle yaygın olarak;

- Malzemeyi çok hassas bir şekilde kesme, delme, eritme, lehimleme, kaynatma ve şekil verme işlemlerinde,
 - Yüzey düzgünlüğünün ölçümünde ve yüzey sertleştirmelerinde,
- kullanılmaktadır [10].

1.1.7.2. Bilimsel araştırmalarda:

Özellikle Yüksek Enerji Fiziğinde kullanılmakta olan lazer sistemleri, Fen Bilimlerinin bütün alanlarında da lazer yaygın olarak yer almaktadır. Fiziğin dışında Kimya, Biyoloji ve Mühendislik dallarında da lazerlerin kullanım etkilerini görmek mümkündür. Özellikle;

- Çok hassas bilimsel ölçümlerde (ışık hızı ölçümü gibi),
 - Yerküre üzerindeki hareketlerin hassas ölçümlerinde,
 - Malzemelerin kimyasal analizlerinde,
 - Yüklü iyonların uyarılmasında,
 - Hücresel yapıların analizlerinde,
 - Akıllı malzeme üretiminde,
 - Uzay istasyonlarında,
 - Gen mühendisliğinde,
 - Yenilenebilir enerji kaynaklarında,
 - Nano teknolojilerinde,
- kullanılmaktadır [10].

1.1.7.3. Haberleşmede:

Bilgiye ulaşmanın çok az zaman aldığı çağımızda, verilerin aktarım sürelerinin kısalmasını ve daha sağlıklı bir şekilde karşı tarafa iletilmesini hedefleyen lazer teknolojisi özellikle;

- Yeryüzü ile uydular arası haberleşme sistemlerinde,
- Yeryüzünde haberleşme ağında fiber-optik sistemlerle birlikte kullanılmasında,
- Yüksek yoğunlukta ses ve görüntü bilgileri depolanmasında,

kullanılmaktadır [10].

1.1.7.4. Tıp alanında:

Teknolojinin ilerlemesi ile birlikte hastalıklara bulunan çözümlerin ve insan sağlığı açısından korunma yollarının artması çoğu alanlarda lazer teknolojinin kullanılması ile mümkün hale gelmiştir. Özellikle;

- Doku operasyonlarında,
- Kanamanın durdurulmasında,
- Göz retinası üzerinde,
- Ağız ve diş hastalıklarında,
- Kanseri hücrelerin tam odaklı yok edilmesinde,
- Radyoterapide,
- Kemoterapide,
- Brakiterapide,
- Nükleer tıp alanında,
- Mikro cerrahide,
- Yapay organ işlemlerinde,
- Genetikte,

kullanılmaktadır [10].

1.1.7.5. Askeri Alanlarda:

Askeri alanlarda kullanılan lazer teknolojisi genel itibari ile;

- Saldırı ve savunmada,
- Mesafe ölçümünde,
- Hedef takibinde,
- Füze ve bomba güdümlerinde,

kullanılmaktadır [10].

1.1.7.6. Diş Hekimliğinde:

Ülkemizde sıkça kullanılan lazer tedavileri sıralamasında en başlarda gelen diş ve diş eti hastalıklarında kullanılan lazer tedavileri genellikle,

- Diş beyazlatma ve yumuşak doku operasyonlarında,
- Diş çürüklerinin temizlenmesinde,
- Kanal tedavilerinde,
- Diş dolgularında,
- Diş eti tedavilerinde,

kullanılmaktadır [11].

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yavaş 2001; Almanya'nın Hamburg şehrinde kurulu olan DESY (Deutsche Elektronen SYnchrotron) hızlandırıcı merkezinde bulunan yaklaşık 3000 kişi, deneysel parçacık fiziği araştırmalarının gerçekleştirildiği hızlandırıcıların ve büyük boyutlu dedektörlerin yanı sıra, sinkrotron ışınımı ve serbest elektron lazeri laboratuvarlarında bilimsel araştırma yapmaktadır. Bu laboratuvarlarda temel bilimlerin yanı sıra, mühendislik ve sağlık alanlarında da ilgili çalışmalar yapılmaktadır. DESY'nin kuruluşundan bu yana gerçekleştirilen bilimsel çalışmalar, yapılan ve yapılacak deneyler, Vuv-Sase Fel, Tesla, X-Fel, Thera, Photon Collider, Elfe, Tesla-N şeklinde sıralanabilir.

Yiğit ve Yavaş 2007; Türk Hızlandırıcı Merkezinde (THM) yapılması planlanan SEL demetleri için parametre optimizasyonu yapılmış ve uygulama alanları tartışılmıştır. Çalışmanın ilk kısmında lineer hızlandırıcıların ana donanımları ve bu hızlandırıcılara dayalı serbest elektron lazerinin fiziği, SEL modları için gerekli koşullar ortaya konulmuştur. Elde edilen verilerle dünyada çalışan bazı laboratuvarların parametreleri karşılaştırılmıştır. SEL demetleri için kendiliğinden genlik artırımı yayını (SASE) ve Osilatör modda tasarım geliştirilmiştir. Linak parametrelerinin aynı zamanda SEL modunda kullanılabilmesi için gerekli optimizasyon çalışmaları yapılmış ve hızlandırıcı modüller arasına uygun sayıda paketçik sıkıştırıcısının yerleştirilmesi ile SEL üretimi için gerekli elektron demet parametrelerinin elde edilebileceği gösterilmiştir. 130 MeV için osilatör modda SEL optimizasyonu yapılarak gerekli salındırıcı ve optik kavite parametreleri belirlenmiştir.

Zengin ve Çiftçi 2009; Üçüncü nesil bir ışınım kaynağı olan depolama halkasında diğer demet parametrelerini bozmadan en düşük demet yayını elde etmek için en uygun temel örgü tipinin optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen verilerle yüksek parlaklıkta ışınım verebilecek, 4 - 20 nm-rad arasında bir yayını değerine ulaşmaya çalışıldı. Demetin enerji yayılımı ve dispersiyon değerleri oldukça düşük değerlerde tutulmaya çalışılmıştır.

Yıldız ve Çiftçi 2010; Bu çalışmada, hızlandırıcılar, hızlandırıcı tipleri ve magnetler incelenmiştir. Dinamik aralık tanımlanarak, modern hızlandırıcılarda dinamik aralığın önemi vurgulanmış ve Türk Hızlandırıcı Merkezi Sinkrotron depolama halkası için dinamik aralık hesabı yapılmıştır.

Hamilton formalizmi kullanılarak, lineer olmayan kuvvetlerin varlığında parçacığın hareketinin özelliğini daha iyi anlamak ve kararlı hareketin genlik sınırlarını elde etmek için sayısal hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalarla parçacıkların izlenmesi ve dinamik aralığın belirlenmesi sırasında “Beta, Opa, Madx ve Elegant” gibi simülasyon programları kullanılmıştır.

Yılmaz ve Yıldız 2010; Bu çalışmada endüstriyel yönden büyük bir öneme sahip olan ve çok fazla kullanım alanı bulunan lazerlerden bahsedilerek teknolojik bakımdan gelişmişliği sağlayan en önemli sistemin çalışma prensipleri ve çeşitleri incelenmiştir. Bu tez kapsamında lazer çeşitlerinden olan serbest elektron lazerleri (SEL) tanımlanarak özellikleri, fiziki ve çeşitleri hakkında bilgiler verilmiştir. Serbest elektron lazerleri, Osilatör SEL, Yükselteç SEL ve Kendiliğinden Genlik Artırmalı (SASE) SEL olmak üzere üç çeşittir. Osilatör Sel’in Kızılötesi Bölgesinde (Infrared FEL, IR-FEL) çalışan IR-FEL lazerinin çalışma modu incelenmiştir. Kızılötesi Serbest Elektron Lazerlerinde lazerin üretildiği kısım olan rezonatör ve optik kavite parametrelerinin belirlenmesi, hesaplanması ve bu parametrelerin uygunluğunun incelenmesi çalışılmaktadır. Ankara Üniversitesi koordinatörlüğünde yürütülen Türk Hızlandırıcı Merkezi (THM), DPT-YUUP projesi kapsamında kurulumu planlanan kızılötesi serbest elektron lazeri laboratuvarı için optik kavite parametreleri belirlenmiş ve optimize edilmiştir. Türkiye’de kurulması planlanan ilk serbest elektron lazeri laboratuvarı olması bakımından öneme sahip olan bu projenin sonuçlandırılması ile teknolojik bakımdan gelişmiş ülkeler seviyesine çıkmak, bilimsel, endüstriyel, tıp ve teknolojik uygulamalar gibi birçok alanda kendi ihtiyaçlarımızın bir kısmını karşılayarak dış ülkelere bağımlılığın azaltılması hedeflenmektedir.

Aydar ve Yıldız 2011; Lazerlerin kullanım alanları giderek önem kazanmakta ve çeşitlenmektedir. Bunu sağlayan itici güç, lazer ışını üretim yöntemleri ve aktif yapılarındaki değişiklik ile birlikte ortaya çıkmıştır. Günümüzde birkaç nanometrelik atımlara sahip lazerlere ve femtosaniye süreli atma oranlarına ulaşılmış durumdadır. Bu çalışmada, bilinen lazerlerin dışında, dalgaboyu ayarlanabilir ve daha güçlü lazer ışını üretilmesini sağlayan serbest elektron lazerlerinden rezonatör tipteki, optik kaviteye sahip, 15 - 40 MeV elektron demet enerjili, 2 - 250 mikron dalgaboylu kızılötesi bölgede lazer üretilen bir yapının tam modelleme çalışması sunulmaktadır. Modelleme çalışmasında, serbest elektron lazerini oluşturan yapıların davranışları temel alınmış ve böylece kullanılması gerekli teçhizatın optimizasyonu öngörülmüştür.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Modelleme programları

Bu tezde modelleme programları kullanılarak lazer sistemi içerisinde elektron demetlerinden lazer elde edilişi modellenmiştir. Undulatör (salındırıcı) düzeneğinin detaylı tasarımının oluşturulması için, belirli modelleme programları vardır. Bu programlar vasıtası ile deney sırasında ve sonrasında ortaya çıkabilecek hemen hemen tüm olasılıklar hesaplanır ve böylece sistem problemsiz oluşturulmaya çalışılır.

Tüm lazer sistemi için optimize parametre değerlerini elde etmek üzere Excel içerisinde, dinamik ve mekanik değişkenlerin fizik bağıntıları kullanılarak yer aldığı “optimizasyon hesaplama yöntemi” kullanılmıştır. Lazer optimizasyonu için kullanılan programlar ise; Excel, Genesis, IDL (Interactive Data Language), Xgenesis şeklindedir. Burada “Optimizasyon hesaplama Yöntemi” programı TAC Projesindeki TAC SASE Parametrelerini oluşturmak için bizler tarafından oluşturulmuş bir kod olup bu kod ile hem tüm sistemin parametre optimizasyonunu yapılabilmekte hemde özellikle salındırıcı kısmındaki salındırıcı ve elektron demet davranışı çalışılabilmektedir. Ayrıca undulatör sisteminin modellenmesi de Radia programı ile yapılmıştır.

Optimizasyon hesaplama yönteminde kullanılan Elektron Demet parametreleri ve Diğer parametreler Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de verilmektedir. Bu parametreler elektron demetlerinin davranışını ve elde edilecek lazerin özelliklerini tüm sistem boyunca doğrudan etkileyen parametrelerdir.

Çizelge 3.1. Elektron demet parametreleri

Enerji	SASE serbest elektron lazer sistemindeki tüm elektronların ortalama toplam enerjisi. Genel olarak MeV ve GeV mertebesindedir.
Tepe Akımı	Her bir zaman aralığının için ölçülen o andaki akım
Yük	Bir elektron demetindeki tüm elektron yükleridir.
Normalleştirilmiş Yayınım	Enine faz uzayında tek bir düzlem üzerinde bulunan elektron demetleri ile kaplanan hacim.
Enerji Yayınımı	Enerji, tüm elektronların ortalama değerinde iken enerji yayını rms cinsinden olur ve aynı değere sahip olması durumunda enerji yayını sıfır olur.

SASE SEL sisteminde, belirlenen elektron demet parametrelerinin, Excel ortamındaki bağıntılarda kullanılması ile diğer parametreler elde edilmiştir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Diğer parametreler

Periyot	SASE SEL Sistemindeki undulatör dalga boyu uzunluğu. Bu tezde, undulatör dalga boyu uzunluğu (TAC SASE Sistemi) için öngörülen değerler 15 ile 30 mm'dir.
Kuadropol Uzunluğu	Elektron demetinin odaklanma uzunluğu. Bu tezde (TAC SASE Sistemi için) belirlenen bu değer 12.5 cm'dir.
Undulatör Aralığı	SASE Serbest Elektron Lazer Düzenegindeki N ve S kutuplarından oluşan salındırıcılar arasındaki mesafe. Bu tezde, TAC SASE Sistemi için kullanılan değer 0.8 ile 1.2 mm'dir.
Undulatör Uzunluğu	N ve S kutuplarından oluşan, lazer elde edilen mekanik sistemin uzunluğu. Bu tezde hesaplanan bu değer 30 m'dir
Dalga Boyu	Elde Edilmesi Amaçlanan Serbest Elektron Lazerinin Nano Boyuttaki Spektrum Aralığı. Bu tezde hesaplanan bu değer 2 ile 150 nm arasındadır.
Doyum Uzunluğu	Salındırıcı içerisindeki elektron demetlerinden lazerin elde edildiği uzunluk. Elektron demetin gücünün maksimum Watt'a ulaştığı değer. Bu SASE SEL için oluşturulan düzeneğe bağlı olarak değişmektedir. Bu tezde (TAC SASE Sistemi için) hesaplanan değer 0 ile 30 m aralığındadır.
Doyum Gücü	Işıma güç seviyesinin aşılması anındaki nokta. Serbest elektron sisteminde, elde edilmesi amaçlanan lazer ışınının ulaşabileceği maksimum enerji gücü. Bu tezde (TAC SASE Sistemi için) hesaplanan bu değer 1 ile 5 GW arasındadır.
Ortalama Parlaklık	Foton dağılımının 6boyuttaki faz uzay dağılımı. Lazer dalga boyu aralığındaki Spektrum akısının Enine uzay faz alanına oranlanması sonucu elde edilen demet parlaklığı. Bu tezde (TAC SASE Sistemi için) hesaplanan bu değer 1×10^{18} ile 2.5×10^{18} (foton/(sn.mrad ² .mm ² .0.1%bantgenişliği)) arasındadır.

3.1.1.1. Genesis

SEL’de lazer optimizasyonun sağlanması, çıkış gücü, demet enerjisi, dipol ve kuadropollerin davranışlarının modellenmesi, faz uzayında dağılımlar gibi özelliklerin SEL üretimi sırasında elde edilebilmesi için Genesis programı kullanılmaktadır.

Genesis programının özellikleri:

- Zamana bağlı 3 boyutlu SEL simülasyon kodudur.
- Genesis’te program dili olarak, önceleri Fortran kullanılmakta iken son yıllarda pratik ve kullanımı daha kolay olan C++ kullanımı yaygınlaşmıştır.
- Açık kaynaklı ve ticari olmayan bir yazılımdır.
- DESY’de geliştirilmiştir.
- SEL modellemesinde, Genesis ile birlikte Xgenesis ve IDL gibi grafik ara yüz programları da kullanılmaktadır.
- Yaklaşık olarak yüzü aşkın parametreden oluşmaktadır ve bu parametrelerde kendi içerisinde;
 - Undulatör,
 - Elektron Demeti,
 - Işıma Alanı,
 - Kontrol,
 - Zamana bağlılık,
 - Grid,
 - Input - Output

gibi alt gruplardan meydana gelmektedir. Son versiyonu olan “Genesis 1.3” 2008 yılında yazılmıştır [12].

3.1.1.2. XGenesis

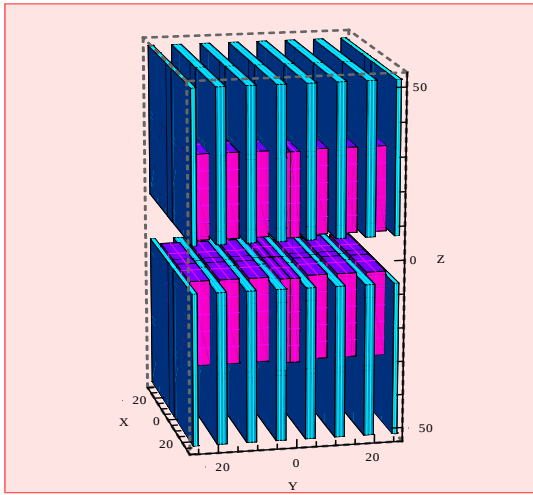
Genesis program yazarının (Sven Reiche) serbest elektron lazer modellenmelerinde kullanılmak üzere geliştirmiş olduğu bir ek programdır ve IDL programıyla uygun olarak tasarlanmış ve uyumlu bir şekilde çalışmaktadır [12].

3.1.1.3. IDL (Interactive Data Language)

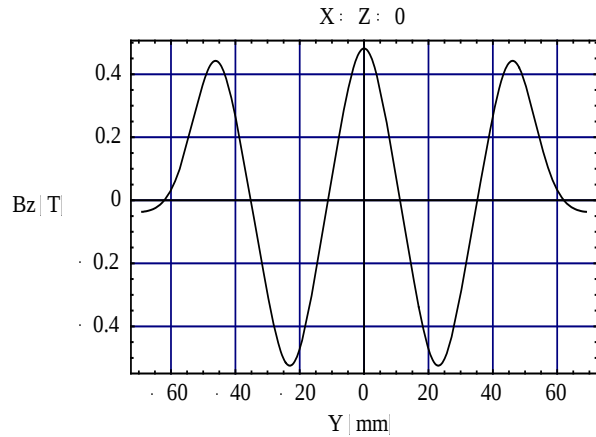
- IDL veri analizleri için kullanılan bir programlama dilidir.
- Özellikle parçacık fiziği modellemelerinde kullanılır
- Colorado Üniversitesi (ABD), Atmosfer ve Uzay Fiziği laboratuvar çalışanları tarafından geliştirilmiştir.
- Son versiyonu olan “IDL 8.2” 2011 yılı sonunda yazılmıştır [13].

3.1.1.4. Radia

Radia, SASE SEL’de salındırıcının mekanik modellemesini içerir. Undulatör materyali için şiddetli magnetik alan içeren NdFeB (Demir-hibrid) magnetler kullanılır. Yapının kutuplarında Vanadium Permendur Kutuplar kullanılır. Magnetik salındırıcı blokları dikdörtgenler prizması şeklinde seçilir. Salındırıcı sistemi için alt ve üstte olmak üzere 2 katlı bir yapı vardır, aradaki uzaklık (aralık) 8 ve 12 mm olarak farklı 2 şekilde modellemeler yapılmıştır. Aşağıdaki modellemelerde aralık 12 mm alınmıştır. Salındırıcı periyodu 15 mm’dir. Merkezi magnetik alan büyüklüğü, $B_z(0,0,0)$: 0.4817 T. değerindedir [12] (Şekil 3.1) .



Şekil 3.1. Salındırıcı dizaynı



Şekil 3.2. Manyetik alan değişimi

Şekil 3.1 önerilen salındırıcı dizaynını verirken Şekil 3.2 ise magnetik alanın y eksenine göre değişimi gösterilmektedir. Yapılan modellemelerde aşağıdaki birinci sütundaki değerler kullanılarak 2. Sütun tarafı elde edilmiştir.

Çizelge 3.3. Lazer ve Salındırıcı parametreleri

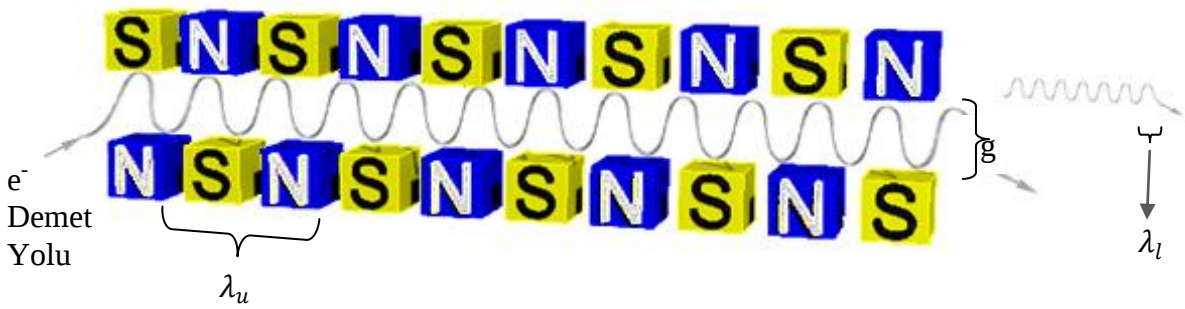
Parametre	Değeri	Parametre	Değer
Salındırıcı Aralığı (mm)	12	Doyum Gücü (GW)	$\sim 1.4 \times 10^9$
Salındırıcı Periyodu (mm)	15	Doyum uzunluğu (m)	21
Merkez Magnetik Alanı (T)	0.4817	Dalgaboyu aralığı (nm)	2 – 150
Materyal	NdFeB	Tepe Parlaklığı (photons/s/mrad ² /mm ² /0.1%bw)	$\sim 10^{29}$

3.2. Metod

3.2.1. Undulatör (Salındırıcı) sistemi ve modellenmesi

SEL Sisteminde lazer elde edilmeden önce son kısım olan salındırıcı, üzerine gelen elektron demetlerinin yoğun magnetik alan içerisinde ışık hızına yakın hızlarda hareketi sırasında ışımasına olanak verir ve lazer elde edilmesini sağlar. Undulatör sistemini oluşturan magnet kutuplarının sayısının fazla olması, oluşacak lazerin parlaklığı, gücü, enerjisi, maliyeti vb. gibi özellikleri ile doğru orantılı olarak değişmektedir.

Uluslararası SEL Laboratuvarlarında kullanılan salındırıcı magnet uzunlukları gün geçtikçe artmakta ve böylece elde edilen lazer gücünün ve şiddetinin artırılması sağlanmaktadır. Uluslararası Laboratuvarlara ait salındırıcıların karşılaştırılması Çizelge 4.6 da gösterilmiştir. Şekil 3.3. de gösterilen undulatör yapısı S (south) ve N (north), (güney ve kuzey kutupları olan 3 boyutlu mıknatıs yapılar) mıknatıslarından oluşan sistem, yoğun manyetik alan oluşturmaktadır.



Şekil 3.3. SASE SEL undulatör sistemi [15]

3.2.2. Undulatör sisteminin fiziği

Elektron demetlerinin salındırıcı içerisindeki hareketlerini ve dolayısı ile lazer ışınını elde edebilmek için yapılan hesap ve modellemeler çok hassas hesap yapmayı gerekmektedir. Salındırıcı içerisinde elektronların uzaysal hareketlerinin belirlenmesinde kullanılan önemli bağıntılar Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Bu bağıntılarda elde edilen lazerin dalga boyunun, salındırıcının dalga boyu ile undulatör parametresi olan K^2 ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Undulatör parametresi undulatörün manyetiklik şiddetine, undulatör dalga boyuna, elektronların yükü ve kütlesine bağlıdır. Doyum uzunluğu, undulatörün dalga boyu ve SEL parametresine bağlıdır.

Doyum uzunluğu, lazerin elde edilmeye başlandığı undulatör uzunluğu olarak ta ifade edilebilir. Emittans (yayınım), elektron demetlerinin demet yolu boyunca uzaysal dağılımlarının ifadesidir. Demetten güçlü bir lazer elde edilebilmesi için enine demet yayınımı çok küçük olmalıdır. Burada; L_{sat} doyum uzunluğu, λ_u undulatör periyot uzunluğu, ρ_{fel} SEL'in ortalama gücü, L_G kazanç uzunluğu, γ elektron demetinin Lorentz faktörü, K undulatör parametresi, B_u tepe manyetik alanı, P_{sat} doyum gücü, ϵ emittans, P_b elektron demet gücü ve W elektron enerjisidir.

Çizelge 3.24. Undulatör sistem fiziği [16]

Dalga Boyu Uzunluğu	$\lambda_L = \frac{\lambda_u}{2\gamma^2} (1 + \frac{K^2}{2})$
Undulatör Parametresi:	$K = \frac{eB_u\lambda_u}{2\pi m_e c}$
Doyum Uzunluğu:	$L_{sat} \approx \frac{\lambda_u}{\rho_{fel}}$
Kazanç Uzunluğu:	$L_G = \frac{1}{\sqrt{3}} (\frac{2mc\gamma^3 \sigma_r^2 \lambda_u}{\mu_0 e \hat{I} K^2})^{1/3}$
SEL Parametresi:	$\frac{P_{sat}}{P_b} \approx \rho_{fel}$
Enine demet emittansı:	$\epsilon < \frac{\beta_{av}}{\sqrt{2}\gamma^2} \rho_{fel}$
Normal yayınım:	$\epsilon_n = \frac{\bar{P}_z}{m_e c} \epsilon \approx \gamma \epsilon$
Demet gücü:	$P_b = \frac{\gamma_r m_e c^2}{e} I_0$
Lorentz Faktörü:	$\gamma = \frac{W}{m_e c^2}$

3.2.3. Programların çalıştırılması

Kurulum ve kullanım aşamaları için ilk olarak Linux ortamında Genesis programı kurulur. Sonra IDL ve XGenesis programlarının kurulumu sırasıyla yapılarak, üç program bir bütün halinde çalıştırılır. Programların kurulum aşamaları aşağıdaki başlıklarda açıklanmıştır.

3.2.3.1. Genesis kurulumu

Hollandalı fizikçi Sven Reiche tarafından yazılan Genesis programı, terminal üzerinden çalıştırılabilir. Program girdi dosyası istemektedir. Salındırıcı içerisindeki elektron demet davranışını zamana bağlı ve zamandan bağımsız olarak modelleyen Genesis programı için demetin fiziksel davranışlarını, enerjisini, akımını, ortamın dilimlenmesini içeren girdi dosyası oluşturulur ve programa verilir. Girilen dosya Genesis tarafından okunup işlenir ve başta belirtilen isimde çıktı dosyasını verir. Oluşan örnek çıktı dosyaları herhangi bir düzenleyici ile sisteme göre yapılandırılır.

Genesis programı, girdi dosyasını okuduktan sonra çalışma prensibi olarak undulatör içerisinde demet yolunu faz uzayı içerisinde slice (dilim) ayırmıştır. Çıktı dosyası oluşturulurken her bir dilimin için doldurulup çalıştırılarak ilerlenir. Aşağıdaki şekilde Genesis Programında her bir dilimdeki çalışmanın tamamlandığı adım adım Şekil 3.4'te görülmektedir.

```
Gokhan.Coskun77:~/genesis_runs$ genesis
-----
GENESIS 1.3 HAS BEGUN EXECUTION
(Version 1.0 Unix)

PLEASE ENTER INPUT FILE NAME
gc.in
PLEASE ENTER OUTPUT FILE NAME
gc.out
Slice      1: Simulation  10% completed.
Slice      1: Simulation  20% completed.
Slice      1: Simulation  30% completed.
Slice      1: Simulation  40% completed.
Slice      1: Simulation  50% completed.
Slice      1: Simulation  60% completed.
Slice      1: Simulation  70% completed.
Slice      1: Simulation  80% completed.
Slice      1: Simulation  90% completed.
Slice      1: Simulation 100% completed.
*** Writing history record for slice      1
*** Closing files

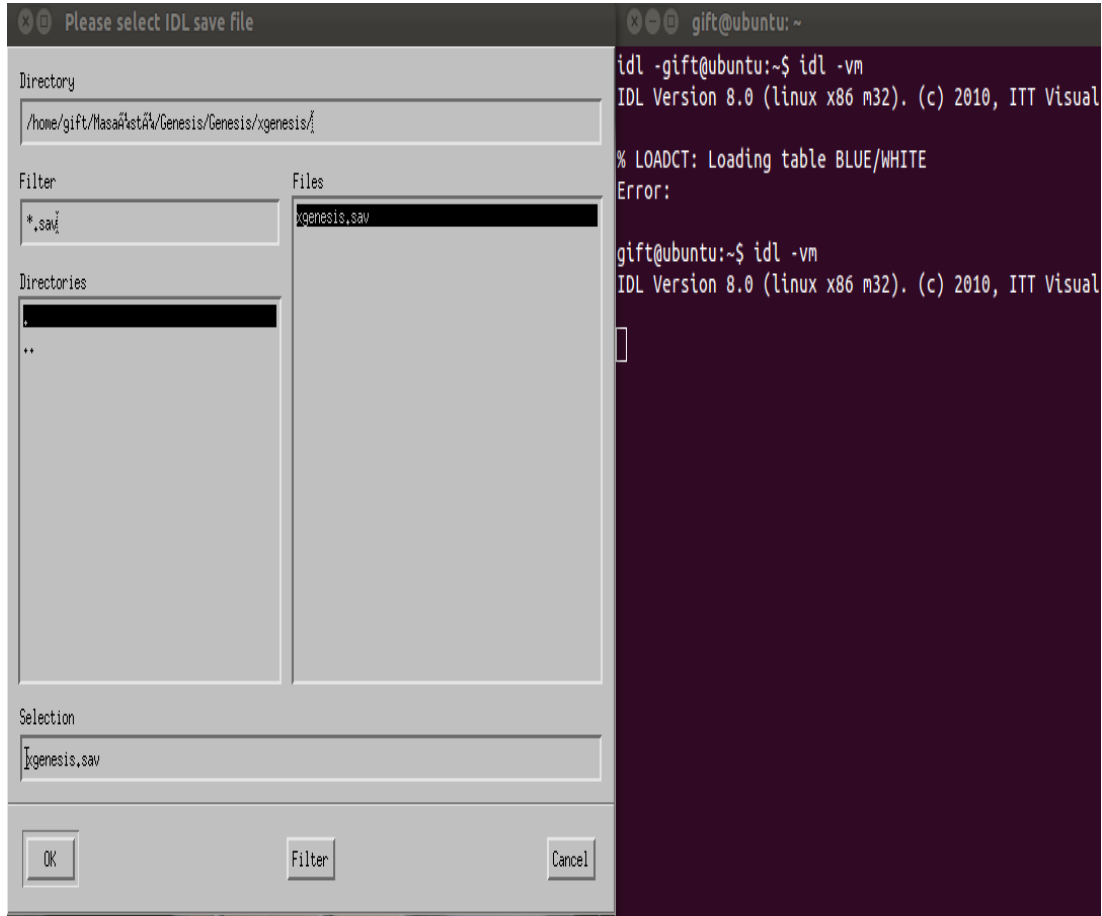
GENESIS RUN HAS FINISHED
-----
```

Şekil 3.4. Genesis programının çalıştırılması

3.2.3.2. IDL (Interactive Data Language) kurulumu

Excelisvis (ittvis) yazılım firması tarafından geliştirilen IDL programı, yazılmış birçok kodu görsel hale getirmek için üretilen başarılı ve kaliteli bir kod uygulamasıdır. Kurulumu için yapılması gereken adımlar şu şekildedir;

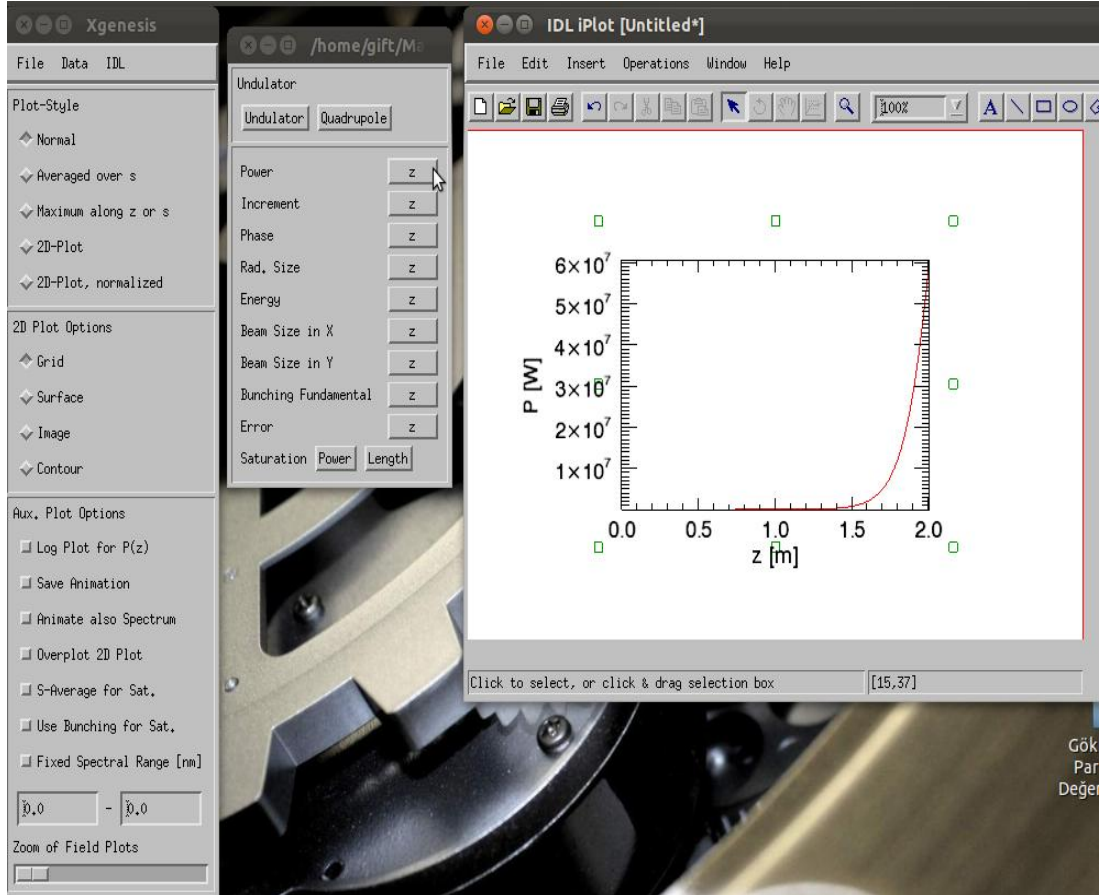
Yapılması gereken ilk şey, indirilen dosyayı terminal üzerinden kurulumla hazır hale getirmek, kurulumu başlatmak ve adımları (ilk olarak kullanım sözleşmesi onayı yapılmalı, ardından sırasıyla programın kurulum yeri seçimi, yetkilendirme seçenekleri ve bunun gibi yaklaşık olarak on beş farklı adım daha.) uygulayarak kurulumu sonlandırmaktır. Yapılan işlem sonucunda terminalden programın başlatılması ile birlikte şekil 3.3'teki gibi bir ekran çıktısı belirlenecektir.



Şekil 3.5. IDL kullanım şeması

IDL ekranı üzerinden Xgenesis içeriğine getirilen Genesis çalıştırılarak oluşturulmuş dosya açılır.

IDL'de çağırılan Xgenesis eklentisi ile önceden oluşturulan Genesis output dosyalarının grafiksel gösterimi sağlanmış olur (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Genesis çıktı dosyası

3.2.3.3. Excel

Excel programı içerisinde, TAC SASE SEL Sistemi için yapılan hesaplama yöntemleri şekil 3.7’te verilmiştir.

O10 SASE-FEL												
Parametre Hesaplamaları			Çözümler									
			e (C)	m (kg)	c (m/s)	Bu (kg/C.s)	Ku (1/m)	λu (m)				
AWO			1,6022E-19	9,1094E-31	299800000	0,344	418,6667	0,015				AWO [1/c^2]
												0,482036023
λ			λu (m)	γ	au							λ
			0,015	1	0,482036023							0,00924269
ZRAYL			ττ	W0	XLAMDS							ZRAYL
			3,14	0,0571	1							0,010237687
NSLICE			S0	S1	ZSEP	XLAMDS	C	T1	T2			NSLICE
			299800000	299800000	1	1	#####	1	1			0
NTAIL			S0	ZSEP	XLAMDS							NTAIL
			299800000	1	1							299800000
FODO			FL	DL	DRL							FODO
			2	2	2							8
W0			XLAMDS	ZRAYL	ττ	ZWAIST						W0
			1	1	3,14	1						0,798086884
DGRID			RMAX0	RXBEAM	RYBEAM	W0						DGRID
			1	1	1	0,79808688						2,798086884
P değeri			γ	au	fc	λu (m)	σb	Ip	IA			P
			1	1	1	0,015	1	1	1			0,007091113
P in			ττ	p								
			3,14	0,00709111								
Initial Beam Size			Zr	λu (m)	ττ							Initial Beam Size
			0,01023769	0,015	3,14							0,006993293

Şekil 3.7. Excel parametre hesabı

Şekil 3.7 içerisinde bulunan çözümler kısmındaki bazı hesaplamalar Çizelge 3.5’de verilmiştir. Burada a_u olarak ifade edilen parametre daha önce K ile verilen undulator parametresidir. Programda a_u şeklinde kullanıldığı için burada K alınmamıştır.

Çizelge 3.5. Excel hesaplamaları

$AWO =$	$\left(\frac{e}{mc}\right) \cdot \left(\frac{B_u}{K_u}\right)$
$\lambda =$	$\frac{\lambda_u}{2\gamma^2} (1 + a_u^2)$
$w_0 =$	$\sqrt{\frac{xlamds \cdot zrayl}{\pi} \left(1 + \left(\frac{zwaist}{zrayl}\right)^2\right)}$
$\rho =$	$\frac{1}{\gamma} \left[\left(\frac{a_u f_c \lambda_u}{8\pi \sigma_b}\right)^2 \frac{I_p}{I_A} \right]^{\frac{1}{\lambda}}$
$ZRAYL =$	$\frac{w_0^2}{xlamds}$
$NTAIL =$	$zsep \cdot xlamds$

3.2.4. Giriş parametre değerleri

Genesis girdi dosyalarını oluşturan parametrelerin aşağıda listelenmiştir. Bu parametre değerlerine SEL fiziği hesaplamalarıyla elde edilen değerler atanarak çıktı dosyası (Çizelge 3.6) oluşturulmuştur.

Çizelge 3.6. Bu Tez’de kullanılan girdi parametre değerleri [12]

• K_rms	• Doyum Gücü
• Demet Gücü	• Açısal Iraksama
• Tepe Alanı	• Kararlılık Süresi
• Doyun Uzunluğu	• Atım Enerjisi
• Çıkış Gücü	• Rho
• Bant Genişliği	• Atma Gücü
• Kırını Parametresi	• Etkin Giriş Değeri
• Enerji Yayınımı	• Ortalama Güç
• Ortalama Parlaklık	• Tepe Akısı
• Demet Boyu	• Ortalama Akı
• Kazanç Uzunluğu	• Tepe Parlaklığı

Genesis kodu içerisinde SASE SEL sistemi için sistematik değerlerin hesaplanmasında kullanılan bağıntıları ifade eden parametreler beş ana başlıktan meydana gelmektedir.

3.2.4.1. Modellemede kullanılan Genesis Undulatör parametreleri

Çizelge 3.7. Bu Tez’de kullanılan Genesis undulatör parametreleri [12]

AW0	RMS (root-mean-square, kare ortalama karekök) undulatör parametresi
XLAMD	Undulator periyodu
NWIG	Undulator modül periyodu
NSEC	Undulator modülleri sayısı
XXK, XKY	x ve y noktalarındaki odak uzunluğu
IWITYP	Undulatör türü
AWD	Undulatör aralığı için etkin değer

3.2.4.2. Modellemede kullanılan Genesis Elektron Demeti

Çizelge 3.8. Bu Tez’de kullanılan Genesis elektron demet parametreleri [12]

NPART	Her bir dilimdeki makro parçacık sayısı
GAMMA0	Ortalama enerji
DELGAM	RMS enerji yayılımı
RXBEAM, RYBEAM	X ve Y koordinatındaki demet boyutu
EMITX, EMITY	Normal yayılım
ALPHAX, ALPHAY	Twiss (karşılaştırma) parametresi
CURPEAK	Amper olarak akım değeri

3.2.4.3. Genesis kodundaki, kullanılan Işıma Alanı parametreleri

Çizelge 3.9. Bu Tez’de kullanılan Genesis ışıma alan parametreleri [12]

XLAMDS	Işıma dalga boyu
PRAD0	Işıma giriş gücü (Watt)
ZRAYL	Rayleigh Uzunluğu
ZWAIST	Işıma alanı bel bölgesi

3.2.4.4. Kullanılan Kontrol parametreleri

Çizelge 3.10. Bu Tez’de kullanılan Genesis kontrol parametreleri [12]

DELZ	Undulatör periyot birimindeki adım boyutu
ZSTOP	Etki mesafe uzunluğu
NBINS	θ Koordinat kutuları
IPSEED	Sayı üretici

3.2.4.5. Zamana Bağlılık parametreleri

Çizelge 3.11. Bu Tez’de kullanılan Genesis zamana bağlılık parametreleri [12]

ITDP	Sıfırdan farklı değerlerde aktif
CURLN	Pozitif ise: Gaussian rms uzunluğu Negatif ise: fwhm adım uzunluğu
ZSEP	Işıma dalga boyundaki dilim inceliği
NSLICE	Toplam dilim sayısı
NTAIL	İlk dilim pozisyonu
IOTAIL	İlk geçiş uzunluğu, sıfırdan farklı değerlerde aktif

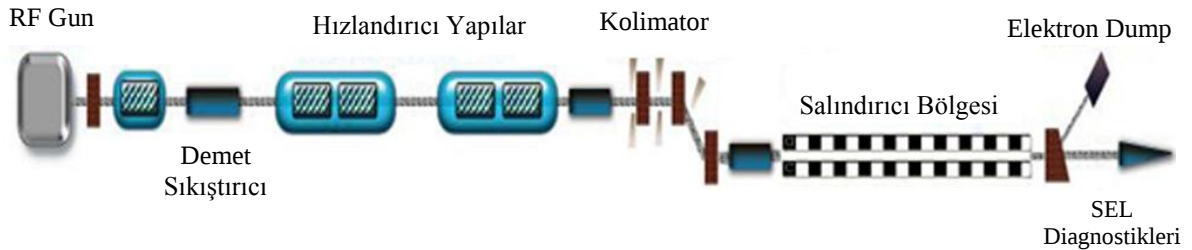
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. SASE Serbest Elektron Lazeri

Serbest Elektron Lazer (SEL) oluşumlarından biri olan SASE, İngilizce “SELF AMPLIFIED SPONTANEOUS EMISSION” karakterlerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Türkçe anlamı “KENDİLİĞİNDEN GENLİK ARTIRIMLI YAYINIM” olarak belirlenmiştir.

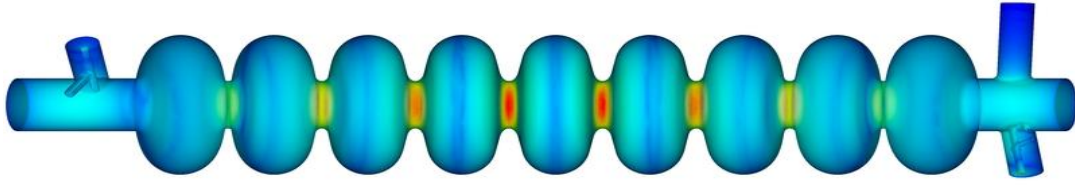
Serbest elektron lazerlerinde enerji alışverişi, manyetik alan içerisinde serbestçe bulunan elektronlar ile ortam arasında oluşan manyetik etkileşmeler aracılığıyla gerçekleşir. Elektronun ortamda serbest halde bulunarak etkileşmesi sonucunda Serbest Elektron Lazeri ismini almaktadır. Atomik enerji seviyeleri ile bağlantısının olmaması nedeni ile SEL geniş bir elektromanyetik spektrum alanları için ayarlanabilir [14]. Dünya üzerindeki hızlandırıcılarda genellikle yüksek enerjili parçacıklar kullanıldığından ve Kendiliğinden Genlik Artırmalı SEL’de nano dalga boylu lazer elde edilebildiğinden “Millenium Light - Yüzyılın Işığı” olarak isimlendirilmiştir.

Bu Tez’de Şekil 4.1’de gösterilen tüm lazer sisteminin parametre optimizasyonu yapılmıştır ve “Salındırıcı Bölgesi” tüm yapılarıyla modellenmiştir.



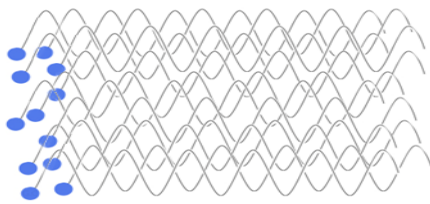
Şekil 4.1. SASE SEL sistematik şeması [15].

SEL için oluşturulması öngörülen sistemin ilk kısmından tabancadan (RF Gun) elde edilen elektronlar, demet sıkıştırıcı mekanizma ve kuadropol yapılar ile dağınık durumdan düzenli, odaklanmış bir yapıya dönüştürülür. Hızlandırıcı yapılar ise içerisinden geçen parçacık veya demetlerin hızını ışık hızına yakın hızlara kadar arttırırlar. Hızlandırıcı yapılar, 5, 8 veya 9 hücreli normal veya süperiletken kavitelere oluşmaktadır. Süperiletken kavite He içeren soğutucu sistemlerle soğutulmaktadır. Şekil 4.2’de 9 hücreli süperiletken kavite yapısı görülmektedir. Kolimatörler ile demetler odaklanır.

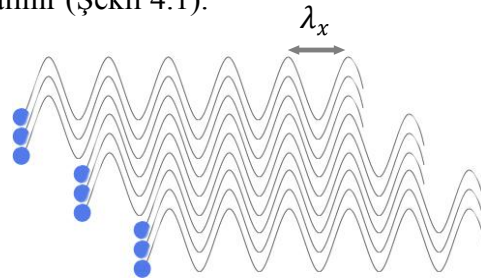


Şekil 4.2. Dokuz-Hücreli superiletken kavite [16]

Salındırıcı bölgesine gelen elektron demeti, elektromagnetler tarafından düz bir doğrultu üzerinde sabitlenen magnetler arasındaki boşluktan enine sinüsel salınımı yaparak ilerlerken foton yayar. Bu fotonlar ile elektronlar çarpışarak hem başka fotonların oluşması sağlarlar hem de elektronlar undulatör yolu boyunca da foton yayarlar. Birincil ve ikincil oluşan fotonlar başlangıçta düzensiz ışıma durumunda (Şekil 4.3) iken, koherent (faz farkı olmayan) halde undulatör çıkışında elde edilmesi beklenir (Şekil 4.4). Enerjisini kaybeden elektronlar “Elektron Dump” tan dışarı alınır (Şekil 4.1).



Şekil 4.3. Kendiliğinden düzensiz ışıma



Şekil 4.4 SEL, koharenet ışıma

4.1.1. Serbest Elektron Lazerinin özellikleri

Serbest elektron lazerleri, sanayi ve bilimsel kullanımları açısından kullanım kolaylığı, yüksek gücü, yüksek şiddeti ve geniş kullanım alanlarına sahip olmasından dolayı, küçük işletme ve bilimsel araştırmalardan makro ölçekli yapılardaki araştırmalara kadar kullanılabilir en uygun lazer türüdür. Özellikle SASE SEL'in başlıca özellikleri;

- Ayarlanabilir dalga boyu (yumuşak X-Işınlar – UV Bölgesi)
- Yüksek pik gücü ($\sim$ GW)
- Tekrarlanabilir kısa atımlar (piko veya fempto saniye mertebesinde)
- Yüksek pik parlaklığı ($\sim 10^{30}$)
- Yüksek ortalama parlaklık ($\sim 10^{19}$ - 10^{21} photons/s/mm²/mrad²/0.1%BW)
- Koherentlik
- Monokromatik yapı

gibi özellikler serbest elektron lazerini diğer lazerlerden üstün kılan önemli özelliklerdir.

4.1.2. Serbest Elektron Lazer Fiziği

SEL, rölativistik çok sayıda elektron demetinin kinetik enerjilerinin elektromanyetik ışıma yoluyla alınabilmesidir. Elde edilen lazerin dalga boyu elektron demetinin enerjisine ve undulatörün periyoduna bağlıdır. Bir düzlem undulatörden elde edilen SEL için lazerin dalga boyu elektronun geliş açısıyla detaylı şekilde verilirse,

$$\lambda_u = \frac{\lambda_u}{2\gamma_e^2} \left(1 + \frac{K^2}{2} + \gamma_e^2 \theta^2 \right) \quad (4.1)$$

şeklindedir. Burada λ_u undulatörün periyot uzunluğu, γ_e elektron demetinin Lorentz faktörü, K undulatör parametresi ve θ elektron geliş açısı ile gözlem açısı arasındaki açıdır, Lazerin dalga boyu ve enerjisi;

$$\lambda_{SEL} (\text{\AA}) = 13.056 \frac{\lambda_u(\text{cm})}{E^2(\text{GeV}^2)} \left(1 + \frac{K^2}{2} \right) \quad (4.2)$$

ve

$$\lambda_{SEL} (\text{eV}) = 950 \frac{E_e^2(\text{GeV}^2)}{\lambda_u(\text{cm}) \left(1 + \frac{K^2}{2} \right)} \quad (4.3)$$

şeklinde belirlenir [17].

SEL’de, lazer ışını olarak enerji seviyelerinin farklı bölgelerinde yayılan ışınlamalar arasındaki girişim sonucu, spektrum yarı tek renklilik piklerin serisini içerir. Bu pikler,

$$\varepsilon_n[\text{keV}] = \frac{0.947nE^2[\text{GeV}]}{\lambda_u[\text{cm}](1 + K^2/2)} \quad (4.4)$$

enerjilerinde ortaya çıkar [17].

SEL için enerji bölgesi 0.1-10 keV aralığındadır. Lazerin band genişliği,

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = -\frac{2\Delta\gamma}{\gamma} + \frac{2K\Delta K}{1+K^2} + \frac{\gamma^2(\Delta\theta)^2}{1+K^2} \quad (4.5)$$

ile verilir. İlk terim elektron demetinin enerji yayılımının etkisi, ikinci terim undulatör parametresinden, son terim ise $\Delta\theta$ yarı açı genişlemesinden gelen katkıyı belirtmektedir. Bir SEL Sisteminin tam kapasiteli bir şekilde çalışması için undulatör ve lazer kalitesi,

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{1}{4N_u} \quad (4.6)$$

$$\frac{K\Delta K}{1+K^2} < \frac{1}{4N_u} \quad (4.7)$$

$$\Delta\theta < \frac{1+K^2}{2\gamma^2 N_u} \quad (4.8)$$

$$\varepsilon < \frac{\lambda_{SEL}}{2\pi} \quad (4.9)$$

koşullarını sağlamalıdır [17].

$$B_u(T) = 3.33 \exp \left\{ -\frac{g}{\lambda_u} \left(5.47 - 1.8 \frac{g}{\lambda_u} \right) \right\} \quad (4.10)$$

Denklem 4.10 ise, salındırıcının magnet ifadesini vermektedir. Burada g iki salındırıcı yapı arasındaki açıklığı göstermektedir (Şekil 3.1).

4.1.3. Serbest Elektron Lazer gücü ve akısı

Serbest Elektron Lazerde gücün üst sınırı $10^9 - 10^{10}$ W mertebesine ulaşabilmektedir.

$$P[kW] = 0.632 \cdot L_u(m) \cdot I_e[A] \cdot (E_e[GeV])^2 \cdot (B_u[T])^2 \quad (4.11)$$

ile verilir [17].

$$I = 1.74 \cdot 10^{14} \cdot N^2 (E_e - [GeV])^2 \cdot I[A] \cdot F_n[K] \cdot f(nv_n) \quad (4.12)$$

$$F_n[K] = \xi n^2 \left[J_{(n-\frac{1}{2})}(n\xi) - J_{(n+\frac{1}{2})}(n\xi) \right]^2 \quad (4.13)$$

$$\xi = \frac{1}{2} \frac{K^2}{1 + K^2} \quad (4.14)$$

$$f(v) = \left(\frac{\sin v/2}{v/2} \right)^2, \quad (4.15)$$

$$v_n = 2\pi N_u \frac{n\omega_1 - \omega}{n\omega_1} \quad (4.16)$$

ile tanımlanır. Burada F_n spektral akı, ω SEL frekansı, J Bessel fonksiyonu, N salındırııcı kutup sayısı, I demet akımıdır.

$\omega_1 = E_{FEL} / \hbar$ ilk harmonik ışınım frekansı, N_u salındırııcı kutupların sayısı ve n harmoniklerin mertebesidir.

Bir lazerin enine koherent olabilmesi için yayınımlar, $\varepsilon_x, \varepsilon_y \leq \lambda/4\pi$ şartını sağlamak zorundadır.

SEL band genişliği $\Delta\lambda/\lambda \approx nN_u$ (n. Harmonik için) şeklindedir. Kohorent uzunluğu ise $I_c = nN_u \lambda_u$ ile verilir. SEL için spektral parlaklık $10^{21} - 10^{23}$ foton/(sn.mrad².mm².0.1%bantgenişliği) arasındadır.

4.1.4. Serbest Elektron Lazeri için gerekli donanımlar

Bir serbest elektron lazer ışını elde edebilmek için, sistem Sürücü Lazer, Katot, RF hızlandırıcı kavite, Ön hızlandırıcı, Liner hızlandırıcı, Salındırıcı, Eğitici magnet, Demet durdurucu, Odaklayıcı, Elektron Dump, Diyagnostik sistemleri ve Deney İstasyonları kısımlarından oluşur [18].

4.1.5. Serbest Elektron Lazeri kullanım alanları

Serbest elektron lazerleri, temel ve uygulamalı bilimlerde yapılan araştırmalar neticesinde birçok sanayi kuruluşları ve teknoloji şirketleri tarafından kullanılarak edilerek ilerlemeye büyük ölçüde katkı sağlamıştır. Çizelge 4.1’de yaygın olarak kullanılan SEL türlerinin büyük bir kısmı bulunmakta ve gün geçtikçe kullanım alanları hızlı artmaktadır.

Çizelge 4.1. SEL kullanım alanları [19].

– Hücre/Yüzey Etkileşimleri	– Fotokimyasal süreçlerin incelenmesi
– İyon Demetlerinin Spektroskopisi	– İyon demetlerinin spektroskopisi
– Katihal Spektroskopisi	– Malzeme ve yüzey işleme
– Yenilenebilir Enerji Kaynakları	– Spektro – mikroskopisi
– Lineer Olmayan X-Işını Optiği	– Savunma sanayi
– Sinkrotron ışınımı	– Floresans spektroskopisi
– Serbest elektron lazeri	– Nükleer spektroskopi
– İyon katkılama	– Yarı iletken modifikasyonu
– Radyoterapi, nükleer tıp	– Köpük
– Yarı iletkenler	– Sterilizasyon
– Gıda mühendisliği	– Metal kaplama

Çizelge 4.1'in devamı

– Graded cure (kademeli tedavi)	– Pozitron yayılım tomografisi
– Depolimerizasyon	– Demet dağıtımı
– Polimerizasyon	– Rutherford geri saçılması
– Atom, molekül fiziği	– Yüklü parçacık aktivasyonu
– Plazma fiziği	– Faz çiftlenimi
– Yoğun madde fiziği	– Yapay organlar
– Manyetik malzemeler ve ışık altında çok renklilik	– Uyarılmış katıların yüksek çözünürlüklü foto elektron spektroskopisi
– Kimya	– Malzeme bilimi
– Uyarılmış katıların foto elektron spektroskopisi	– Lazerle uyarılmış ve dizin atomların incelenmesi
– Nano malzemeler	– Ulaşım araçları (tren, uçak, gemi...)
– Gen mühendisliği	– Parçacık fiziği
– X-ışını mikroskopisi ve mikro - spektroskopisi	– Nükleer fizik (çekirdek yapısı, madde oluşumları, reaksiyon analizleri)
– Yoğun x-ışını kaynağı olarak geçiş ışması	– Yüzeylerde reaksiyon kinetiği
– Çok tabakalı magnetik filmler	– Floresans spektroskopisi
– Biyolojik yapılar ve bunların dinamiği	– Yoğun x-ışını kaynağı olarak geçiş ışması
– Ağır fermiyon metalleri	– Yüzey ve ince film fizik ve kimyası

Çizelge 4.1'in devamı

– Yüksek sıcaklık süper iletkenliği	– Çok tabakalı manyetik filimler
– Katıhal reaksiyonlarının dinamiği	– Yarı iletkenlerin elektronik yapıları
– Lineer olmayan optik	– Yaşam bilimleri
– Serbest iyonlarla etkileşme	– Brakiterapi
– Enerji üretimi	– Dedektörler
– Atomik ve moleküler spektroskopisi	– İkincil demetler
– Çoklu foton süreçleri	– Biyoloji
– Mikro cerrahi	– Doku nakli
– Jeoloji	– İzotop üretimi
– Arkeolojik obje belirlenmesi	– Terapiler
– Nötron kaynağı	– X-ışını yayılımı ile indüklenen parçacıklar

ve bu alanlar dışında farklı bir çok yerlerde de SEL kullanılmaktadır.

4.2. Dünyada Serbest Elektron Lazerleri

Serbest elektron lazer laboratuvarları, gelişmiş ve gelişmekte olan çoğu ülkelerde geleceğin teknolojisi olarak görülmektedir. Dünyada serbest elektron lazer istasyonları; çalışmakta, kurulmakta ve proje aşamasında olarak listesi Çizelge 4.2, 4.3, 4.4 'te verilmiştir.

4.2.1. Gelişme aşamasındaki SEL deney istasyonları

Çizelge 4.2. Dünyadaki gelişmekte olan SEL laboratuvarları [20].

• SwissFEL, Paul Scherrer Enstitüsü (İsviçre)
• Avrupa X-ray FEL, DESY (Almanya)
• Plazma Araştırma Enstitüsü (Hindistan)
• LEUTL APS, Argonne Ulusal Laboratuvarı (Amerika)
• İleri Teknoloji Merkezi (Hindistan)
• Maryland Üniversitesi - MIRFEL (Amerika)
• Hawaii Üniversitesi (Amerika)
• Brookhaven – SEL Hızlandırıcı Kontrol Tesisi (Amerika)
• UCLA Parçacık Demet Fizik Laboratuvarı
• Osaka Üniversitesi - ISIR (Japonya)

4.2.2. Aktif SEL deney istasyonları

Çizelge 4.3. Dünyadaki aktif SEL laboratuvarları [20].

SACLA X-Ray FEL - Riken (Japonya)
SLAC SSRL X-Ray FEL - LCLS (Amerika)
FLASH VUV/Xray FEL - DESY (Almanya)
FERMI FEL at Elettra, (İtalya)
Kaynak Geliştirme Laboratuvarı, NSLS, Brookhaven, NY (Amerika)
Duke Üniversitesi SEL Laboratuvarı (Amerika)
Photon Storage Ring - Ritsumeikan Üniversitesi (Japonya)
iFEL (Japonya)
Vanderbilt Üniversitesi SEL Merkezi (Amerika)
FELIX - FOM (Hollanda)
CLIO - LCP (Fransa)
Jefferson Laboratuvarı SEL Programı (Amerika)
ENEA Compact SEL - (İtalya)
FEL-SUT – Tokyo Bilim Üniversitesi (Japonya)
IR-FEL - S-DALINAC (Almanya)
Beijing SEL (Çin)
FELBE FEL - FZR (Almanya)
FLARE FEL - HFML Radboud Üniversitesi Nijmegen (Hollanda)
UCSB SEL (Amerika)
NovoFEL - Budker Enstitüsü - SSRC (Rusya)
Tel Aviv Üniversitesi FEL (İsrail)
Twente Üniversitesi Cerenkov FEL (Hollanda)

4.2.3. Proje aşamasındaki SEL deney istasyonları

Çizelge 4.4. Dünyadaki proje aşamasındaki SEL laboratuvarları [20].

ARC-EN-CIEL (Fransa)
WIFEL – Wisconsin Üniversitesi, (Amerika)
Ulusal yüksek Manyetik Alan Laboratuvarı (Amerika)
SPARC Projesi - INFN (İtalya)
Daresbury 4GLS (İngiltere)
MIT Bates Laboratuvarı X-Ray SEL (Amerika)

4.2.4. Farklı enerjilere göre uluslararası SEL laboratuvar parametreleri

Çizelge 4.5. Demet enerjilerine göre sıralanış

	Elektron Demet Enerjilerine Göre Sıralanışı (GeV)							
Parametreler	1.2 (GeV) XFEL	3 (GeV) PAL	4 (GeV) XFEL	5.3(GeV) Cornell ERL	8 (GeV) Spring LCLS	13.6 (GeV) LCLS	14.3 (GeV) LCLS	17.5(GeV) Europen XFEL
Pik Akımı (kA)	2.5	4	2	1	3	2.5	3.4	5
Undulatör Periyodu (mm)	27,3	15	10	17	18	30	30	35.6
Aralık (mm)	12	4	10	10	4	6.8	6	10
Pik Manyetik Alanı (T)	0.48	1.19	1.28	1.38	1.13	1.25	1.32	1.0
Undulatör Uzunluğu (m)	27	80	30	100	90	112	100	200
Dalga boyu (nm)	6.8	3	0.13	0.1	0.1	0.15	0.15	0.1
Pik Gücü (GW)	1-5	1	10	15	20	15	10	15.6
Yük (nC)	0.15	1	0.8	0,8	1	1	1	4

4.2.5. Uluslararası SEL laboratuvarları detaylı parametre değerleri

Çizelge 4.6. SEL laboratuvarları parametre tablosu

Parametreler	Birimler	DESY (2012)	SCSS	X-FEL (2010)	LCLS (2011)	PAL
Ortalama parlaklık	B**	4.9×10^{25}	10^{21}	$10^{19}-10^{20}$	4.5×10^{22}	5×10^{31}
Ortalama foton akısı	#/sec	1.0×10^{17}	10^{17}	1.5×10^{15}	2.4×10^{14}	
Ortalama güç	W	210	300	800	100	1000
Demet yükü	nC	0.15	1-0.8	0.8	1	0.2
K-sabiti	---	1.17	1.3	1.3	3.7	1.5
Çıkış enerjisi	GeV	0.66	1	4	14.3	3
Çıkış rms enerji yayılımı	Mev	1	0.02	1.5	0.02	0.02
Aralık	mm	12	3.7	10	6	6.8
Normalize yayılım	mm mrad	2	2	0.5	0.5	1.5
Pik parlaklığı	---	8.7×10^{33}		$10^{28}-10^{32}$	1.5×10^{33}	5×10^{31}
Pik akımı	kA	5	2	4	0.7	4
Pik gücü	GW	37	10	10	10	1
Foton demet boyu	μm	100	150	34		
Işıma dalga boyu	nm	1-5	3.6	0.13	<0.15	0.1
Tekrarlama oranı	Hz	5	10	10	10	< 60
Doyum uzunluğu	m	80	20	30		75
Doyum gücü	GW		2.0	100		6.9
Undulator uzunluğu	m	100	22.5	30	100	100
Undulator periyodu	mm	10	15	10	30	2.14

** : Birimi: foton/(sn $\cdot$ mrad² $\cdot$ mm² $\cdot$ 0.1%bantgenişliği)

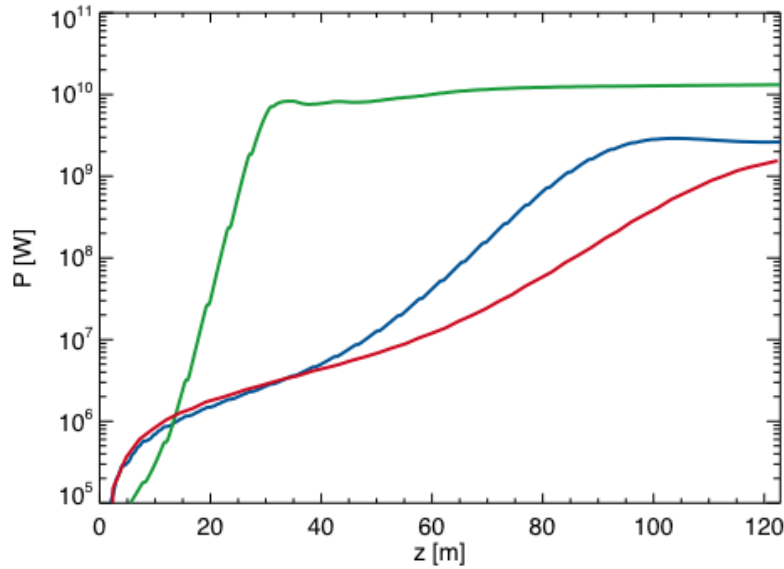
4.2.6. Uluslar arası laboratuvarlarda undulatör boyu – güç ilişkisi

Lazer ışınım gücünün üstel büyüme göstermesi için kazanç uzunluğu doğrusal formda belirlenir. Etki alanı olsun olmasın tüm demet simülasyonları sadece 1.0 Å, 1.5 Å ve 15 Å mertebesinde gerçekleşir.

Yayınımına bağlı olarak, enerji yayını, demet uzaklıkları ve alan hataları kararlı uyum modundadır (SEL yükseltici). İdeal duruma göre doyum gücü, doyum uzunluğu ve kazanç uzunluğu değişebilir.

Çizelge 4.7. Laboratuvarlara göre Undulatör Boyu - Güç Değer ilişkisi [21].

Dalga Boyu	Doyum Gücü	Doyum uzunluğu	Kazanç Uzunluğu
1.0 Å	1.5 GW	122 m	10.96 m
1.5 Å	2.9 GW	103 m	7.38 m
15 Å	8.3 GW	35 m	1.95 m



Şekil 4.5. Undulatör Boyu - Güç Değer ilişkisi [22].

Çizelge 4.8. Dalga Boyu – Emittans değerlendirilmesi [23].

Dalga boyu	1.0 Å	1.5 Å	15 Å
Emittans	< 1.1 mm.mrad	1.4 mm.mrad	> 2.1 mm.mrad

4.2.7. TAC parametre değerleri

Bu tezde çalışılan ve Türk Hızlandırıcı Merkezi (THM) kapsamında yapılması planlanan SASE SEL için, farklı elektron demet enerji değerleri için diğer parametreler ve tek bir elektron demet enerji değeri için diğer detaylı parametreler belirlenmiştir. Farklı enerji değerlerine ve farklı yüklere karşı gelen, hesaplanarak belirlenen parametreler izelge 4.9 ve 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. 1-3 GeV değerlerine göre TAC parametre değerleri

Parametreler	1 GeV Enerji Değeri için			3 GeV Enerji Değeri için		
Yük	0.6 nC	0.8 nC	1 nC	0.6 nC	0.8 nC	1 nC
Enerji Yayınımı (MeV)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Aralık (mm)	12	12	12	12	12	12
Normalize Yayınım (mm mrad)	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Tepe Akımı (kA)	2	2	2	2	2	2
Kuadrupol Uzunluğu (cm)	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Undulator Uzunluğu (m)	30	30	30	30	30	30
Periyot (mm)	15,1	15,1	15,1	21,2	21,2	21,2
Dalga Boyu (nm)	2,22	2,22	2,22	0,874	0,874	0,874
Doyum Uzunluğu (m)	29,199	29,199	29,199	29,748	29,748	29,748
Doyum Gücü (GW)	1,17	1,17	1,17	4,485	4,485	4,485
ıkış Gücü (GW)	1,17	1,17	1,17	4,485	4,485	4,485
Ortalama Parlaklık**	$1,49 \times 10^{18}$	$1,99 \times 10^{18}$	$2,5 \times 10^{18}$	$1,5 \times 10^{19}$	$2,03 \times 10^{19}$	$2,5 \times 10^{19}$

Not: ** : $\text{foton}/(\text{sn} \cdot \text{mrad}^2 \cdot \text{mm}^2 \cdot 0.1\% \text{bantgenişliği})$

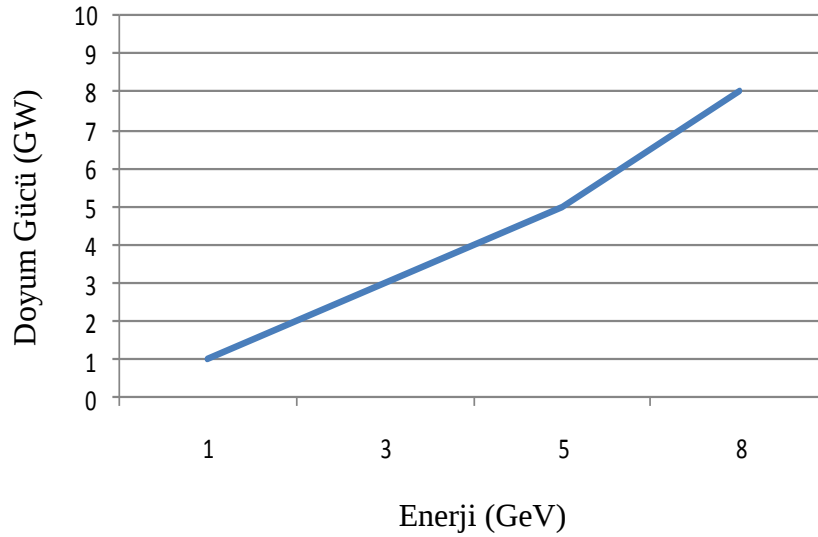
Çizelge 4.10. 5-8 GeV Değerlerine Göre TAC Parametre Değerleri

Parametreler	5 GeV Enerji Değeri İçin			8 GeV Enerji Değeri İçin		
Yük	0.6 nC	0.8 nC	1 nC	0.6 nC	0.8 nC	1 nC
Enerji Yayınımı (MeV)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Aralık (mm)	12	12	12	12	12	12
Normalize Emittans (mm mrad)	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Pik Akımı (kA)	2	2	2	2	2	2
Kuadrupol Uzunluğu (cm)	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Undulator Uzunluğu (m)	30	30	30	30	30	30
Periyot (mm)	25,4	25,4	25,4	31,2	31,2	31,2
Dalga Boyu (nm)	0,834	0,834	0,834	0,237	0,237	0,237
Doyum Uzunluğu (m)	29,9	29,9	29,9	29,925	29,925	29,925
Doyum Gücü (GW)	9,618	9,618	9,618	19,317	19,317	19,317
Çıkış Gücü (GW)	9,618	9,618	9,618	19,317	19,317	19,317
Ortalama Parlaklık**	$3,13 \times 10^{19}$	$4,17 \times 10^{19}$	$5,21 \times 10^{19}$	$4,43 \times 10^{19}$	$5,9 \times 10^{19}$	$7,39 \times 10^{19}$

Not: ** : foton/(sn · mrad² · mm² · 0.1%bantgenişliği)

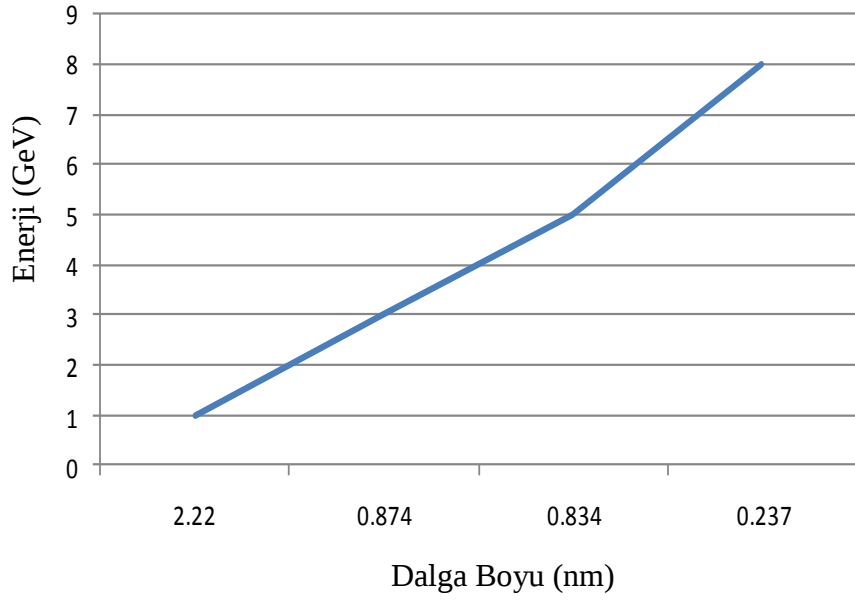
Burada parametre değerleri hesaplanırken Excel programı kullanılmıştır. Örneğin 1 GeV elektron demet enerji değerine hesaplamalar ile çıktığımızda, 1 nC yük, tepe akımımız 2 kA aldığımızda, doyum uzunluğunu 29,199 şeklinde ve çıkış lazerin gücünü 1,17 GW mertebesinde elde ediyoruz.

Parametrelerin değerleri çeşitli enerji ve dalgaboyu opsiyonları için hesaplama yapılarak en güçlü lazeri, undulatörün uzunluğu içerisinde elde edecek şekilde hesaplar sonuçlandırılmıştır. şekil 4.6’da elektron demet enerjisinin doyum gücüne göre değişimi, doğru orantılı olduğu görülmektedir. Bu grafik tasarlanan THM SASE SEL için hangi enerji değerine kadar elektron demetlerini hızlandıracağımızı belirlememiz açısından önemlidir.

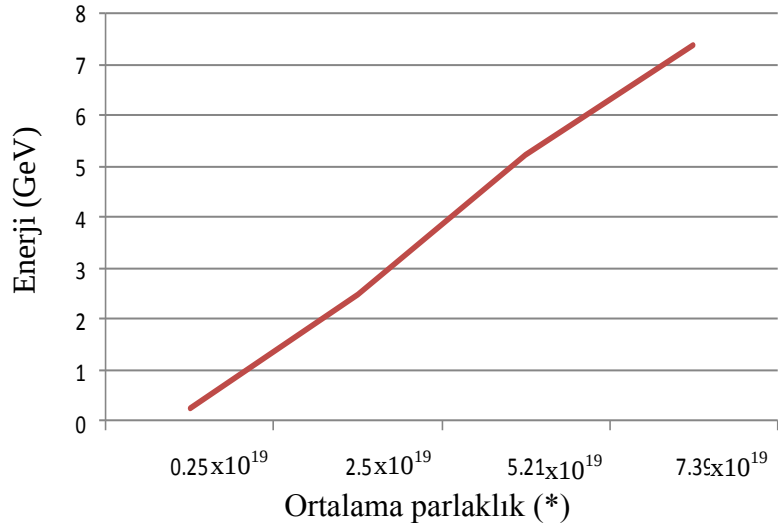


şekil 4.6. Enerji – Doyum Gücü ilişkisi

Elektron demet enerjisinin çıkış lazerinin dalga boyuna göre değişimi şekil 4.7’de verilmektedir. Enerji ne kadar yüksek ise elde edilecek lazerin dalga boyu o kadar yumuşak X-Işınları bölgesine yaklaşım göstermektedir.



Şekil 4.7 Enerji - Dalga Boyu İlişkisi

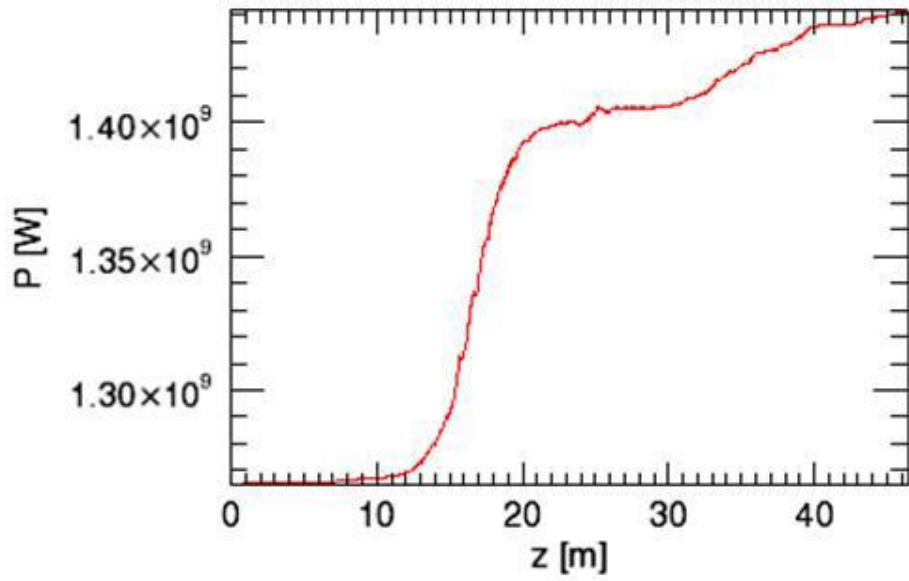


* : foton/(sn · mrad² · mm² · 0.1%bantgenişliği)

Şekil 4.8. Enerji – Ortalama Parlaklık ilişkisi

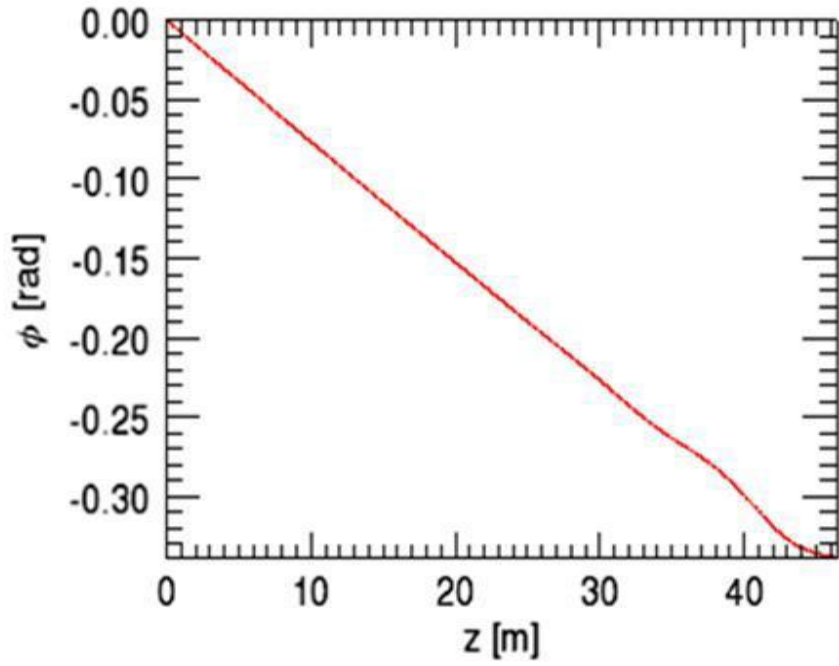
4.2.8. TAC parametre sonuçları grafiksel gösterimi

SASE SEL sisteminde, çıkış parametre değerlerini elde etmek için kullanılan Genesis program çıktılarının grafiksel gösterimi aşağıda verilmiştir (Şekil 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16). Genesis ile yapılan modelleme de birbiri ile bağlantılı dört dosya çalıştırılmıştır. Bunlar Magnetik ögelerin içerildiği dosya, önceki bilgilerin getirildiği dosya, dilimlenmiş alanı kapsayan parametre dosyası ve boş çıktı dosyası. İlk grafikte, Genesis ile elde edilen lazerin gücünün boylamsal uzunluğa göre değişim verilmektedir. Elde edilen lazerin 25 m civarında doyuma ulaştığı görülmektedir.



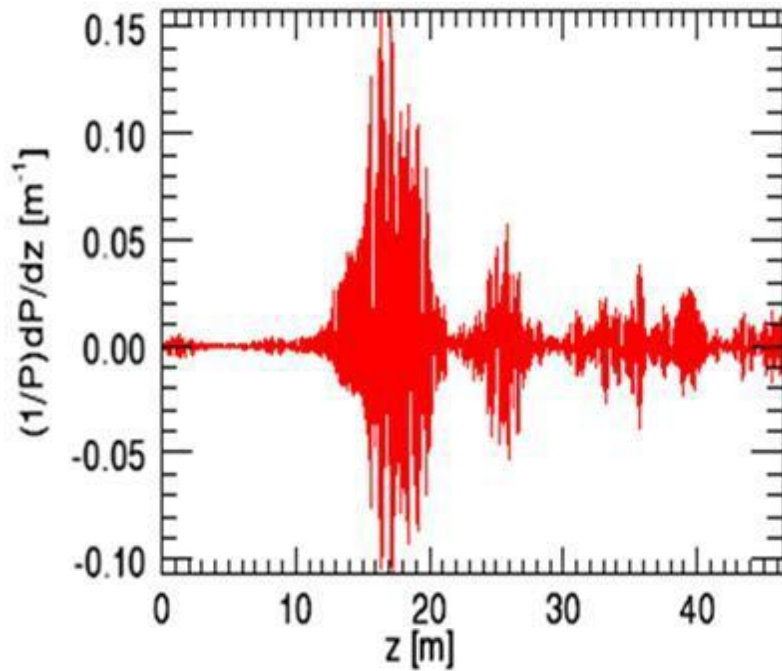
Şekil 4.9. Güç – Uzunluk grafiği

Pondoramative fazının (belirli bir dilim için) yine boylamsal uzunluğa göre değişimi genesis kodu ile elde edilmiştir.



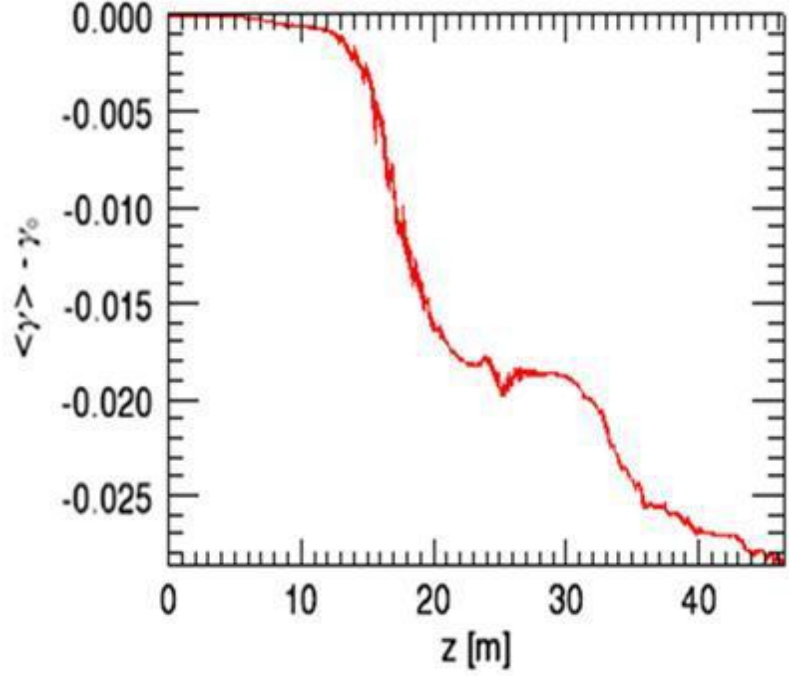
Şekil 4.10. Ponderomotive Faz – Uzunluk grafiği

Işımanın büyüme hızının boylamsal uzunluğa göre değişimi aşağıdaki grafikte verilmektedir. Elde edilecek lazerin büyüme oranı 20 m civarlarında (salındırıcı içerisinde) maximum duruma ulaşmaktadır. Bu grafiklere göre undulatörün ne kadar uzun olması gerekliliği belirlenir.



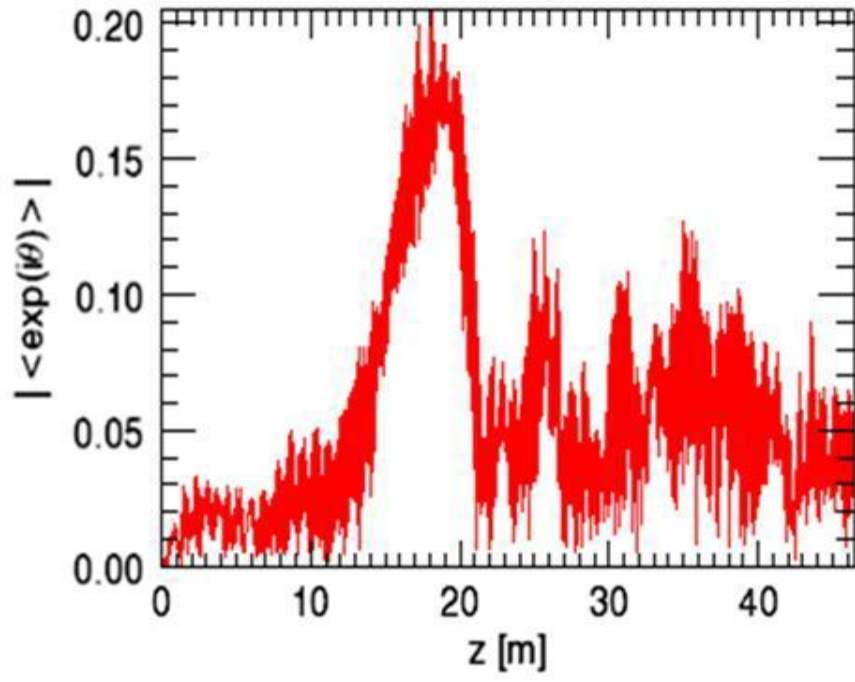
Şekil 4.11. Işıma Büyüme Oranı - Uzunluk grafiği

Elektron demet enerjisinin boylamsal uzunluğa göre değişimi aşağıdaki şekildende görüldüğü üzere, gücün tam tersine, azalmaktadır. Undulatör sonunda bütün elektronların enerjisi çok azalmıştır. Buradan “Elektron Dump” ’a gönderilir.

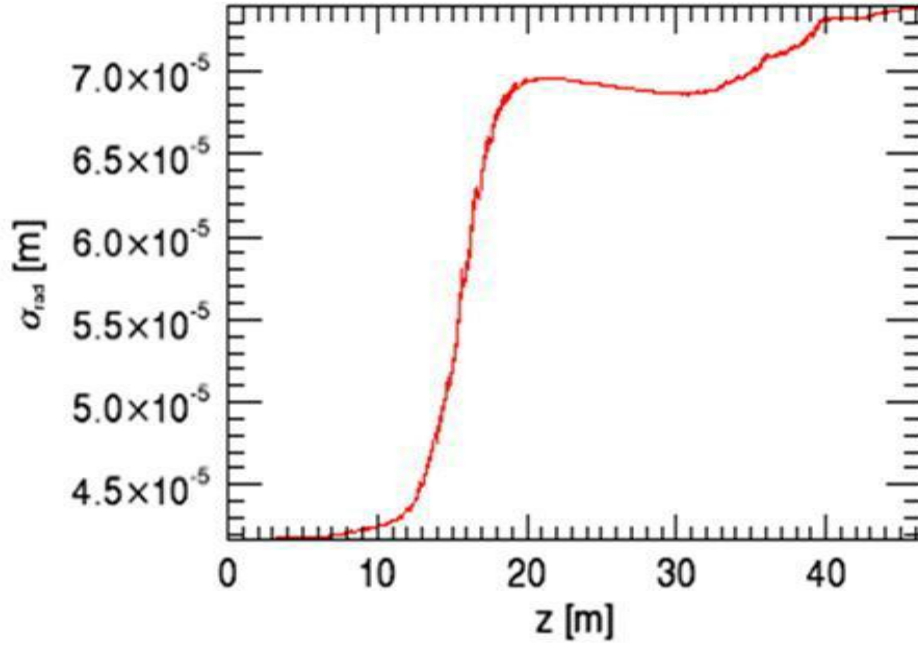


Şekil 4.12. Enerji – Uzunluk grafiği

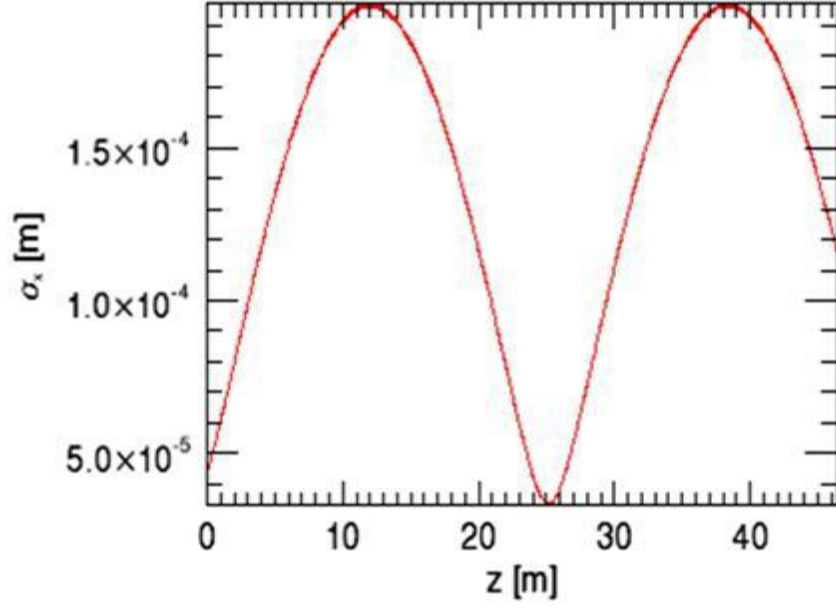
Son dört grafik ise sırayla lazer gelişimi (growth of bunching), ışıma boyutu (foton ışın boyutu), dikey ve yatay sigmalar yani x ve y yönündeki yayınımların boylamsal uzunluk olan z eksenine göre değişimleri lazer elde edilmesi beklentilerimiz ile uyumludur.



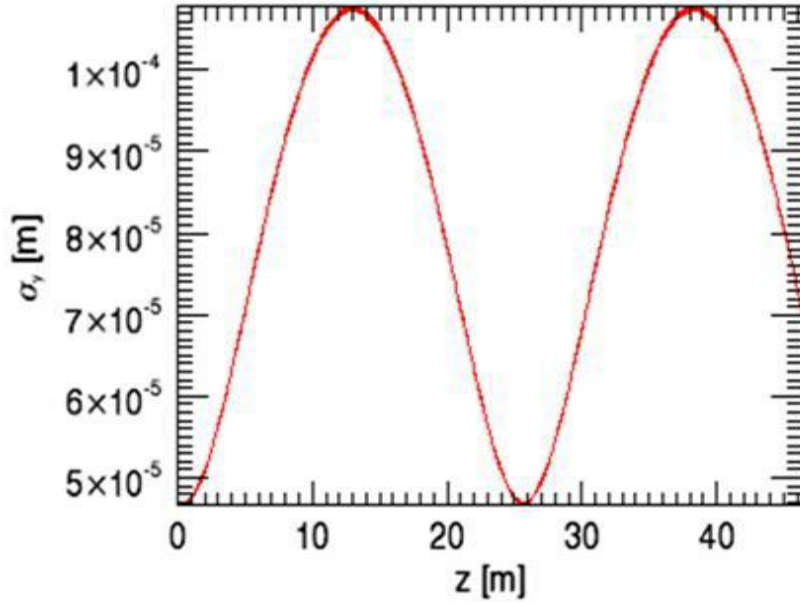
Şekil 4.13. Demet Büyüme Oranı – Uzunluk grafiği



Şekil 4.14. Işıma Boyu –Uzunluk grafiği



Şekil 4.15. Dikey Sigma Parametresi – Uzunluk grafiği



Şekil 4.16. Yatay Sigma Parametresi – Uzunluk grafiği

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda Genesis 1.3 Kodu kullanıldığında Rayleigh uzunluğunu $1,29196 \times 10^2$, tepe akımını 2×10^3 olarak ve 8192 parça dilim göz önüne alarak, doyum gücü 1.3977×10^9 Wat, doyum uzunluğu ise 21.48 m olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre salıncı uzunluğu 30 m olduğundan salıncının sonu gelmeden doyuma ulaşması ve gücün 10^9 W mertebesinde olması SASE SEL’de nano dalga boylu lazer elde edebileceğimizi göstermektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, lazer ışınlarının elde edilmesi, lazerlerin günümüze kadarki gelişim süreçleri, lazerlerin günlük hayatta kullanım alanları ve işlevleri, lazer elde etmek için kullanılan metot, yöntemler ve modellemeler, lazer fiziği, Dünya'daki lazer üretim laboratuvarları, ürettikleri lazerlerin özellikleri ve en önemlisi olarak da diğer lazer yapılarını öğrenerek kendimizin oluşturacağı, projelendirilen THM SASE Serbest Elektron Lazerinin tüm sistem boyunca parametre optimizasyonu ve salındırıcı kısmındaki hem elektron demet hem de salındırıcının mekanik modellenmesi çalışılmıştır.

Tezde yapılan çalışmalar sonucunda SASE SEL ile çağın nano boyut ($\sim 10^{-9}$ m) kavramını daha da iyi kavradığı ve yapılan çalışmaların bilimi nano boyuta doğru taşınmasına vesile olacağı amaçlanmıştır. Özellikle sağlık alanında, derinlere inildikçe hücresel boyutlarda yapılan başarılı operasyonların sayısının artması planlanmıştır.

Bu tez kapsamında temel serbest elektron lazer üzerine bilgi altyapısı oluşturulmuş, Genesis, XGenesis, IDL, Excel Parametre Programı, Radia gibi programlar öğrenilmiş, kurulmuş, çalıştırılmış ve kendi sistemimizi oluşturmak için orijinal çalışmalar yapılmıştır. Genesis programı kullanılarak girdi dosyalarının çıktı dosyaları haline getirilerek, bu çıktı dosyalarının da IDL programı ile görsel heli dönüştürülmesi gerçekleştirilmiştir. Bu bilgi ve çalışmalar, hızlandırıcı teknolojileri açısından çok geri kalmış bulunan ülkemiz için çok önemli bir adımı ve gelişimi oluşturmaktadır. Kullanılan bu kodların sonuçlarına göre oluşturmak istenilen sistemi ilerletmek yönünde çalışmalar yapılacaktır.

Elektron demet enerjisi olarak 1 GeV, Dünya standartlarına göre düşük kalma durumunda olduğu için 3 veya 5 GeV için modellemeler çalışılacak, çıkan lazerin gücü ve doyum uzunluğuna göre salındırıcı siparişleri verilerek çalışmalar ilerletilecektir. Elde edilmesi istenilen güçlü lazer ışını için özellikle salındırıcı boyutunun yeterince uzun, hızlandırıcı yapılarının sayısının çok olması, tetikleyici (tabanca) yapısının etkili olması gibi birçok önemli parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu yapılan çalışma ve modellemeler, oluşturulacak sistemin hatasız veya en az hata ile çalışması için en önemli altyapısını oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Lazerlerin Tarihi, <http://inventors.about.com/od/lstartinventions/a/laser.htm> (2012)
- [2] Uyarılmış Elektron Radyasyonu ile Yükseltilmiş Işık, <http://www.belgeler.com/blg/e86/laser> (2012)
- [3] Lazer Tarihçesi, <http://www.kigre.com/files/historylasers.pdf> (2012)
- [4] Lazer Nedir? Lazer Çeşitleri ve Kullanım Alanları, <http://www.belgeler.com/blg/554/anahtarlamali-switching-reglatrlr> (2012)
- [5] İ. Er, 2005. CO₂ Lazerlerle Fiber Optik Yüzeylerinin Parlatılması ve Verim Hesapları. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 54s.
- [6] Lazer, <http://www.belgeler.com/blg/2guf/molekl-fizii> (2012)
- [7] Lazer, <http://www.belgeler.com/blg/2pwg/lazer> (2012)
- [8] Lazer türleri, http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_laser_types (2012)
- [9] Lazer türleri, http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_laser_types (2012)
- [10] Lazerler, <http://tr.scribd.com/doc/53028434/LASERLER> (2012)
- [11] Diş Hekimliğinde Lazer Uygulamaları, http://www.hekimim.com/merak_ettikleriniz/lazer_dishekimligi/lazer_dishekimligi.htm (2012)
- [12] Genesis 1.3, <http://genesis.web.psi.ch> (2012)
- [13] Exelis Görsel Bilgi Çözümleri, Grafik Geliştiricileri & Veri Analizi, <http://www.exelisvis.com>, (2012)

- [14] Habs, D., Grüner, F., Schramm, U., Thierolf, P., Sewtz, M., Becker, S., Design Considerations for Converting Laser-Accelerated Electron Beams into Brilliant X-Ray, γ -Ray and Neutron-Beams. *American Institute of Physics*. 455, 503-523 (2000)
- [15] TAC SASE SEL Proje Durumu, <http://physics.dogus.edu.tr/tac-sr/talks/Yildiz.pdf> (2012)
- [16] S.Reich, 1999. Tek Geçişli Yüksek Kazançlı Serbest Elektron Lazeri için Sayısal Çalışmalar. Doktora Tezi. Hamburg Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Hamburg. 175s.
- [17] Ö.Karlı, 2006. Hızlandırıcılara Dayalı Kızıl Ötesi Serbest Elektron Lazeri (IR-FEL) Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 99s.
- [18] 4. Nesil Işınım Kaynağı Olarak Serbest Elektron Lazerleri, <http://thm.ankara.edu.tr/uphuk/1/SOZLU/1.pdf> (2012)
- [19] Ş.Yiğit, 2007. Türk Hızlandırıcı Kompleksi Projesi Kapsamında Sase ve Osilatör Modda Serbest Elektron Lazerinin Genel Tasarımı. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 125s.
- [20] Serbest Elektron Lazeri, http://en.wikipedia.org/wiki/Free-electron_laser (2012)
- [21] Nano Boyutlarda Ultra Hızlı Olaylar, http://www.psi.ch/swissfel/CurrentSwissFELPublicationsEN/SwissFEL_Science_Case_small.pdf (2012)
- [22] Serbest Elektron Lazeri Araştırmaları ve Uygulama Alanları, http://sbfel3.ucsb.edu/www/vl_fel.html (2012)
- [23] Genesis 1.3 Kullanım Performansı, www.docstoc.com/docs/123293939/Performance-Analysis-Using-Genesis-13

EKLER

EK-1. TAC parametre hesaplamalarda kullanılan önemli bazı veriler

$$AW0 = (e/mc)(Bu/ku)$$

$$= (1,602176462 \times 10^{-19} \text{C} / 9.1093897 \times 10^{-31} \text{ kg}/c^2 \times 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}) \times$$

$$(0.787 \text{ T} / 4.186 \times 10^{-2} \text{m}) = 0,1966 \times 10^{-25} \text{CsTc}^2 / \text{Mev}$$

$$= 1,1 \text{ (birimsiz)}$$

Bu hesaplamada kullanılan verilerin birimleri;

$$(e = -1,602176462 \times 10^{-19} \text{C})$$

$$(m = 0.510 999 06 \text{ MeV}/c^2 = 9.1093897 \times 10^{-31} \text{ kg})$$

$$(c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s})$$

Burada e elektronun yükü, m elektronun kütlesi, c'de ışık hızıdır, ku undulatör dalga sayısı, λ_u ise undulatör periyodudur.

$$K_u = 2\pi / \lambda_u = 2 \times 3.14 / 1.5 \text{ cm} = 4.186 \text{ cm}$$

ZRAYL (Rayleigh uzunluğu) formüsel yapısı;

$$Z_{rayl} = \pi w_0^2 / X_{LAMDS}$$

$$x_{lamds} = \lambda = \frac{\lambda_u}{2\gamma^2} (1 + a_u^2) = 2,3 \text{ nm}$$

$\lambda = x_{lamds}$, $\lambda_u = x_{lamd}$, $\gamma = \text{gamma0}$, $a_u = AW0$, x_{lamds} ışınım dalga boyu

$$DGRID(\text{grid boyutu}) = RMAX0 \times (RXBEAM + RYBEAM + w_0) = 0$$

$$NSLICE = c(t_1 - t_0) / ZSEP / X_{LAMDS} = 1$$

$$NTAIL = ct_0 / ZSEP / X_{LAMDS} = 0$$

$$FL = DL = 2 \text{ (Odaklanma - Dağılma)}$$

$$DRL = 4 \text{ (Sürüklenme uzunluğu)}$$

$$F1ST = 1 \text{ (İlk kuadropol)}$$

$$NSEC = 5 \text{ (Kuadropol sayısı)}$$

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Gökhan COŞKUN
E-posta : g.c@ksu.edu.tr, gokhan.coskun@cern.ch
Doğum yeri : Antakya
Tel : 0555 683 38 33

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	KSÜ / Fizik	2013
Lisans	DPÜ/ Fizik	2010
Lise	Hüseyin ÖzBuğday Anadolu Lisesi	2004

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

- * Bilgisayar ve bilişim teknolojileri takibi
- * Sağlıklı yaşam ve kişisel gelişim faaliyetleri
- * Yerel, ulusal ve yabancı müzikler dinlemek
- * Gelişmeye, geliştirmeye yönelik olaylarda aktif rol oynamak