

13. HIZLANDIRICILARIN VE IŞINIM KAYNAKLARININ DÜNYADAKİ DURUMU VE KULLANIM ALANLARI

13.1. Parçacık Hızlandırıcılarının Dünyadaki Durumu

21. yüzyılın jenerik teknolojilerinden sayılan hızlandırıcı teknolojileri, elektrik yüklü temel parçacık (elektron, proton, pozitron, antiproton, müon v.b.) demetlerini istenen kalitede ve hedeflenen enerjilere hızlandıran donanımlar olan parçacık hızlandırıcılarının tasarımı, mühendisliği, üretimi ve işletimi ile ilgilidir. Ayrıca yüklü parçacık demetlerinin özel yapılı mıknatıslardan geçirilmesi ile sinkrotron ışınımı ve serbest elektron lazeri olarak anılan ışınım elde edilerek çok geniş bir elektromanyetik spektrumda araştırma ve uygulamada kullanılmaktadır.

Parçacık hızlandırıcılarının başta temel parçacık fiziği ve nükleer fizik deneyleri olmak üzere malzeme fiziğinden yüzey fiziğine, x-ışınlarından nötron terapisine, proton terapısından iyon implantasyonuna, petrol ve gaz yataklarının aranmasından çevre atıklarının etkisiz hale getirilmesine, gıda sterilizasyonundan izotop üretimine, nükleer atıkların temizlenmesinden toryuma dayalı nükleer santrallere, polimerizasyondan litografiye, anjiyografiden baca gazlarının temizlenmesine, mikrospektroskopiden güç mühendisliğine, arkeolojiden litografiye, proteinlerden DNA'ya, biyoteknolojiden nanoteknolojiye, kristalografiden minerolojiye, gen biliminden savunmaya, ağır iyon füzyonlarından plazma ısıtılmasına kadar yüzlerce kullanım alanı mevcuttur.

Gelişmiş olarak nitelendirdiğimiz birçok ülke, ekonomilerinde yaptıkları gelişmeyi birinci elden ürettikleri bilime ve buna dayalı teknolojiye borçludurlar. Bu teknolojilerin önemli bir kısmı genellikle büyük çaplı elektron ve proton hızlandırıcılarında üretilmektedir. Maddenin temel yapıtaşlarını belirleyen "standard model" dediğimiz quark, lepton ve bozonlardan oluşan teorinin kanıtlanması geçtiğimiz sene Higgs parçacığının deneysel olarak kanıtlanması ile bir üst aşamaya ulaşmıştır. Bu ancak CERN gibi 60 yıldır parçacık hızlandırıcıları tasarlayan ve kullanan bir laboratuvarda, tüm dünyanın fizikçilerinin, mühendislerinin ve bilgisayarlılarının katılımı ile mümkün olabilmiştir. 2030-2050 yılları arasında çalıştırılması planlanan gelecek elektron-pozitron veya proton-proton

çarpıştırıcılarının uzunluklarının 100 km'ye enerjilerinin ise 100 TeV'lere ulaşması beklenmektedir.

Parçacık hızlandırıcılarının dünyadaki dağılımı hakkında;

http://www-elsa.physik.uni-bonn.de/accelerator_list.html

Parçacık hızlandırıcılarına dayalı ışınım kaynakları hakkında;

<https://lightsources.org> adreslerinden kapsamlı bilgi edinilebilir.

Son yıllarda giderek artan ilginç bir alan da “nötrino” adı verilen ve yakın zamanlara kadar kütleli olduğu sanılan parçacıklarla ilgilidir. Nötrinolar evrende bulmakta zorlandığımız ve mevcut enerjinin % 68'ine karşılık gelen “karanlık enerji” ile ilgili kozmolojik araştırmalarda yeni bir boyut açmıştır. Galaksilerin ötesindeki karanlık evrenin anlaşılabilmesi için bize ulaşabilen tek bilgi kaynağı nötrinolardır. Yeryüzünde ise dünyanın bir tarafından öteki tarafına herhangi bir engelle karşılaşmadan iletişim kurmamıza yarayacak yeni nötrino iletişim teknolojilerin gelişmesine yarayacaktır. Yeryüzünde istediğimiz zaman nötrino üretmenin tek yolu yüksek enerjiye sahip proton hızlandırıcılarıdır.

Günümüzde parçacık hızlandırıcıları nükleer santrallerden çıkan yüksek radyoaktivite içeren kullanılmış yakıtların içindeki uzun yarı ömürlü radyoizotopların daha kısa yarı ömürlü radyoizotoplara dönüştürülmesine yönelik Ar-Ge çalışmalarının odağında bulunmaktadır. Ayrıca Uluslararası Toryum Enerji Komitesi tarafından iTheC tarafından 27-31 Ekim 2013 tarihinde CERN'de gerçekleştirilen Toryum Enerji Konferansında (TheC13) Çin, Japonya, Hindistan, ABD, G. Kore, İngiltere, Fransa, Belçika, Norveç ve Rusya toryumla ilgili ulusal programlarını açıklamıştır. Dünyada toryum kullanılarak nükleer enerji üretilmesine yönelik değişik teknolojiler üzerinde durulmuştur. Bu teknolojilerden birisi de hızlandırıcı sürümlü sistemlerdir (HSS).

Elektronik, bilgisayar, lazer, internet, GPS, cep telefonu gibi günlük yaşantımızı yakından etkileyen alanlar, MRI, PET, Röntgen gibi görüntüye dayalı sağlık teknolojileri, yeni ortaya çıkan HIV, SARS, EBOLA gibi virüslerin yapılarının çabuk çözülerek bu hastalıklara karşı ilaç ve tedavi yöntemlerinin geliştirilmesi, daha etkili ve daha ucuz ilaçların piyasaya sürülmesi gibi birçok üretken teknolojiler, ancak ve ancak parçacık hızlandırıcılarına erişimi olan ülkelerde üretilebilmektedir.

Günümüzde dünyada 38.000 civarında küçüklü büyüklü parçacık hızlandırıcısı mevcut olup bilimsel araştırmalar, endüstriyel ve medikal uygulamalar ve eğitim gibi konular başta olmak yüzlerce alanda kullanılmaktadırlar. Hızlandırıcıların dağılımı aşağıda verilmiştir.

Bilimsel Araştırma ve Işınım Kaynağı:

~1000

Medikal Hızlandırıcılar:

~ 14.000 : Medikal linak (kanser tedavisi)

~ 70: Proton ve iyon tedavisi

~ 1600: İzotop üretimi

Endüstriyel Hızlandırıcılar:

~11.000 : İyon implantasyonu

~7.500 : Malzeme işleme (<10 MeV)

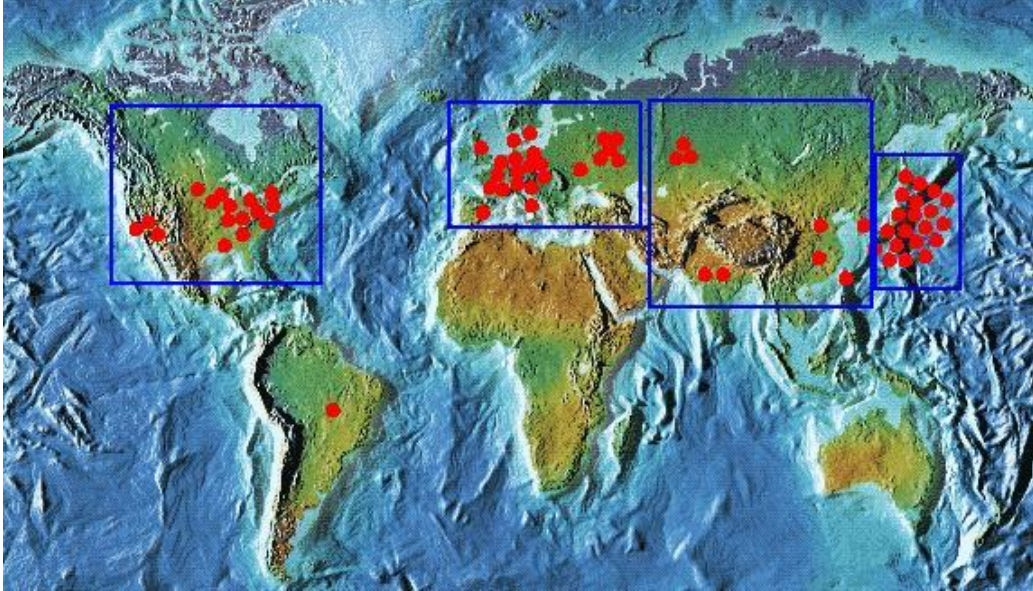
~3.000 : Sterilizasyon (<10 MeV)

Kaynak: ICFA Seminar 2017, Ottawa, Canada

şekilden de görüleceğı üzere mevcut hızlandırıcıların yaklaşık %40'ı medikal amaçlarla (radyoterapi vb), yaklaşık %50'si endüstriyel amaçlarla (iyon implantasyonu, yüzey ve karışım modifikasyonu, kalite kontrol vb) kullanılmaktadır. Yaklaşık %7'lik kesim ise yine endüstride endüstriyel süreçler (malzeme işleme, kalite kontrol, araştırma vb) için kullanılmaktadır. Medikal radyoizotopların üretimi de özellikle proton siklotronları aracılığı ile yapılmakta ve bu tesisler yaklaşık %1'lik dilime karşılık gelmektedir. Büyük ölçekli (GeV, TeV enerjili) olup başta parçacık fiziğı, nükleer fizik ve diğer temel ve uygulamalı araştırmalarda kullanılan hızlandırıcıların ($E > 1$ GeV) sayısı toplamda % 3 civarındadır. Sinkrotron ışınımı, serbest elektron lazeri ve frenleme ışınımı üretimi için kullanılan orta ve büyük ölçekli hızlandırıcıların sayısı da yaklaşık 100 civarındadır.

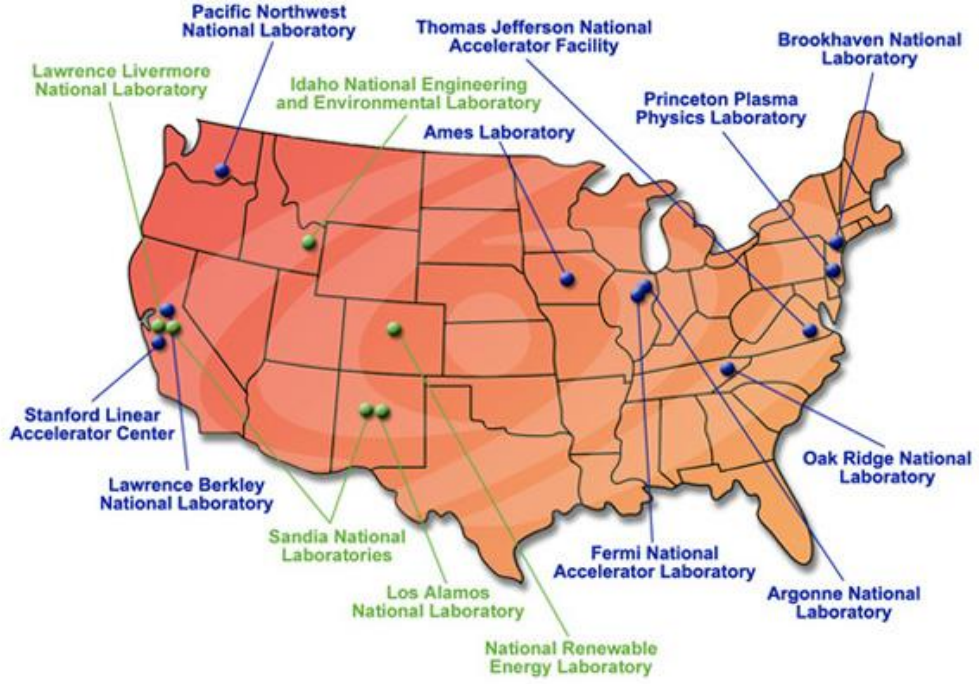


Şekil 13.1. Dünyadaki 38.000 hızlandırıcının kullanım alanlarına göre dağılımı

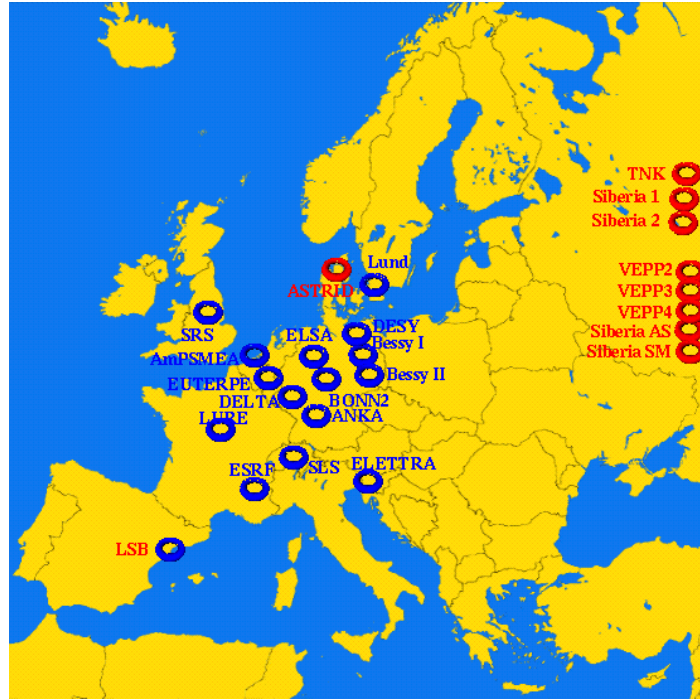


Şekil 13.2. Büyük ölçekli hızlandırıcı merkezlerinin ve tesislerinin dünyadaki dağılımı

Dünyada 40 civarında büyük ölçekli, birçok hızlandırıcıyı, deneyi ve uygulamayı bünyesinde barındıran ulusal veya uluslararası hızlandırıcı merkezi mevcuttur ve bu merkezlerin yaklaşık %85'i ABD, AB ve Japonya'da yer almaktadırlar. Bunlardan bazıları CERN, FNAL, SLAC, BNL, ANL, SNS, DESY, Euro XFEL, ESS, BESSY, FZDR, INFN, IHEP, BINP, KEK, Spring-8, DIMANOND, SOLEIL, ALBA, ELETTRA olarak sayılabilir.



Şekil 13.3. Amerika Birleşik Devletlerindeki hızlandırıcı ve ışınım kaynakları merkezleri



Şekil 13.4. Avrupa'daki hızlandırıcı ve ışınım kaynakları merkezleri



Şekil 13.5. Japonya'daki hızlandırıcı ve ışınım kaynakları merkezleri

13.2. Parçacık Hızlandırıcılarının Kullanım Alanları

Parçacık hızlandırıcılarından elde edilen yüklü parçacık (e,p vb.) demetlerinin doğrudan kullanımı ve bu demetlerin birincil demet olarak kullanılması ile üretilen ışınımın (sinkrotron ışınımı, frenleme ışınımı veya serbest elektron lazeri ve nötronların günümüzde yüzlerce alanda kullanıldığı bilinmektedir. Çizelge 13.1 parçacık demetlerinin ana kullanım alanlarını ve bu alanlarda uygulamaların hangi alt başlıklarda yoğunlaştığını göstermektedir. Çizelge 13.2 ise proton hızlandırıcılarına dayalı elde edilen nötronların sektörler bazında kullanım alan ve amaçlarını açıklamaktadır.

Çizelge 13.1. Parçacık Hızlandırıcılarının Başlıca Kullanım Alanları

<ul style="list-style-type: none"> • Parçacık Fiziği ve Nükleer Fizik Araştırmaları <i>Çarpışan demet ve sabit hedef deneyleri sayesinde yeni parçacık ve etkileşmeler ile çekirdek yapısının araştırılması, nükleer spektroskopisi.</i> • Malzeme Bilimi ve Uygulamaları <i>Atomik ve moleküler düzeyde yapı geliştirme, yüzey modifikasyonu, iyon implantasyonu, polimer ve radikal analizi, endüstriyel malzemelerin analizi ve kalite kontrolü.</i> • Hızlandırıcı Sürümlü Sistemler (HSS) ve Nükleer Atık Dönüşümü <i>Toryuma dayalı nükleer güç santrali, yakıt geliştirme, HSS ile uyum yarı ömürlü izotopların daha kısa yarı ömürlülere dönüştürülmesi, HSS'ye dayalı nükleer Ar-Ge çalışmaları</i> • Nükleer Teknoloji <i>İzotop üretimi, proton hızlandırıcıları ve nötron demetleriyle Ar-Ge ve teknoloji geliştirme çalışmaları, tahribatsız muayene uygulamaları</i> • Savunma ve Güvenlik Sanayi <i>X-ışınları ve nötronlar ile tarama, sınır güvenliği, radar ve algı geliştirme, lazer silahları vb.</i> • Uzay Sanayi <i>Radyasyon dayanım testleri, kompozit malzeme ve yakıt geliştirme.</i> • Yaşam Bilimleri ve Medikal Uygulamalar <i>İlaç geliştirme, genetik araştırmaları, teşhis ve tedavi (kanser vb.) teknikleri, hadron terapi, ışınlama, radyo-izotop üretimi, sterilizasyon, lazer mikrocerrahisi</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Hızlandırıcıya Dayalı Işınım Kaynakları <i>Sinkrotron ışınımı, serbest elektron lazeri ve frenleme (Bremsstrahlung) ışınımı üretimi.</i> • Gıda Sanayi <i>Işınlama ile sterilizasyon, uzun raf ömrü sağlama.</i> • Madencilik Sanayi <i>Maden aranması, yatak tespiti, maden işlenmesi ve analizi, mineroloji.</i> • Bilişim ve İletişim Teknolojileri <i>Mikroçip üretimi, yakıt ve malzeme geliştirme, veri toplanması ve veri işlenmesi.</i> • Fotonik Araştırma ve Uygulamaları <i>Lazer geliştirme, ultra-hızlı fotonik uygulamaları, mikroskopik ve spektroskopik analiz, görüntüleme, THz spektroskopisi.</i> • Biyoteknoloji <i>Virus ve bakteri analizi, aşı geliştirme, hücre ve kök hücre araştırmaları, biyo-malzemelerin geliştirilmesi ve analizi.</i> • Nanoteknoloji <i>Nanoparçacık analizi, nano-malzeme bilimi, nano kaplama teknikleri, nano robot teknolojisi.</i> • Arkeoloji <i>Harç, kaplama, boya, hammadde analizi, tarihlendirme, spektroskopik ve mikroskopik analiz.</i> • Mücevher Sektörü <i>Mücevher işlenmesi, yüzey kalitesi, sertlik ve renk ayarı.</i> • Çevre Uygulamaları <i>Çevre atıklarının etkisiz hale getirilmesi, baca gazlarının ve atık suların temizlenmesi, mineral ve toprak analizi</i>
---	---

Çizelge 13.2. Proton hızlandırıcılarına dayalı nötron kaynaklarının kullanıldığı alanlar

	Uygulama Alanı	İnceleme Konusu	Amaç
	Malzeme Bilimi	Malzeme hazırlama, Kompozit malzemeler, Alaşımalar	Kusur tesbiti, Safalık analizi
	İnşaat Mühendisliği	Taş, Beton, Ağaç, Seramik ve Kil	Yapı, Nem oranı ve Katkı Maddesi Etkinliği Analizi
	Biyoloji	Bitkiler, Fosil Numuneler	Kimyasal Madde Etkisi, Hidrojen Oranı Analizi, Köken Analizi, Yapı Analizi
	Savunma Sanayi	Yakıcı ve Patlayıcı Mühimmat	Güvenirlilik, İrtibat, Patlayıcı Malzeme Analizi
	Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Anahtarlar, Yalıtkanlar Bataryalar	Kusur Analizi, Elektrokimyasal Analizler
	Uzay ve Havacılık Sanayi	Yapısal Malzemeler Gösterge Cihazları	Kalite Kontrol, Paslanma ve Kaynak Kusur Analizi
	Petrol ve Gaz Endüstrisi	Sondaj	Gözenek Hacim Dağılım Analizi
	Enerji Depolama	Bataryalar Yakıt Hücreleri	Elektrolit Dağılım Analizi Gaz ve Sıvı Akışı



Otomobil Endüstrisi

Motorlar, Döküm
Kompozit Malzemeler

Kaynak ve Yağlanma
Dağılımı, Malzeme
Kusurları



Tıp

Bor Katkılı Maddeler
İnce Dokular

Bor Miktarı Analizi



Nükleer Endüstri

Yakıt Elemanları
Kaplama Malzemeleri
Kontrol Cihazları

Kusur Tespiti, Yakıt
Yanma Ölçümü,
Kalite Kontrol



Arkeoloji

Demir ve Bronz Örnekleri
Boyalar

Yapı ve Üretim Tekniği
Analizi



Diş Hekimliği

Doğal ve Yapay Dişler

Kalite Kontrol
Yapıştırıcı Dağılım Analizi



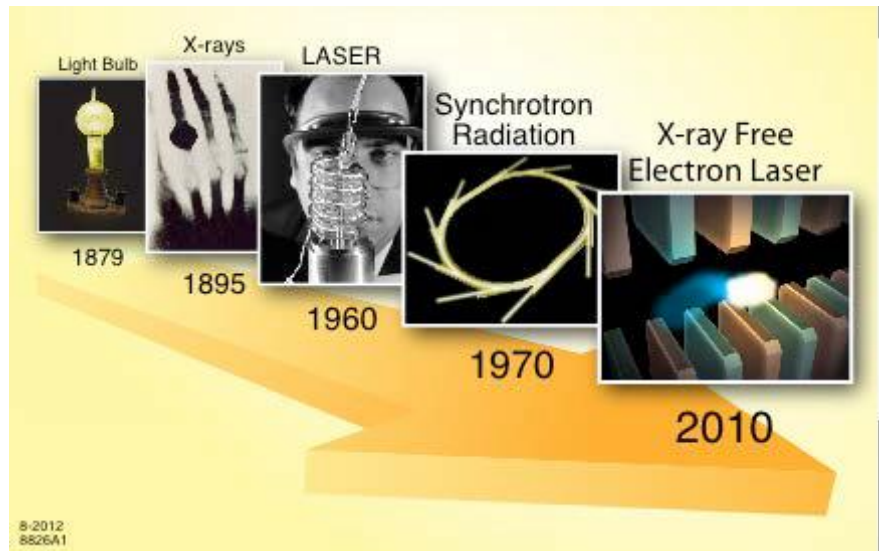
Türbin Motorları

Pervaneler

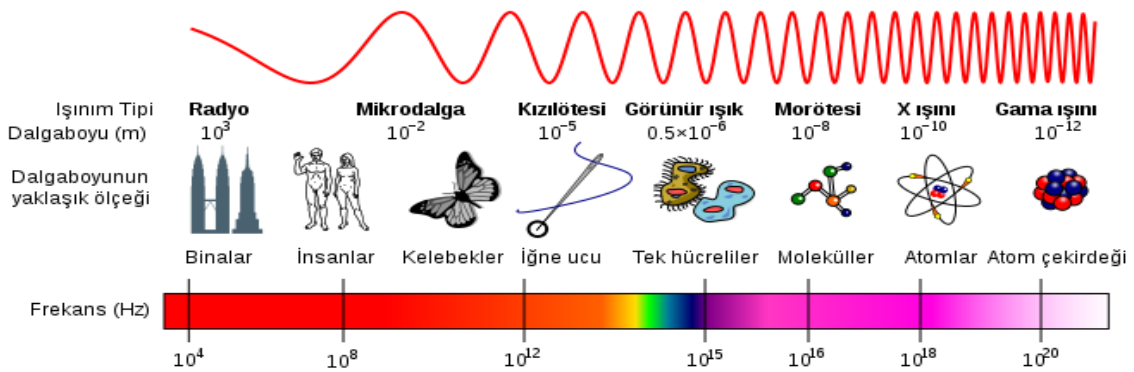
Malzeme Kusurları,
Soğutma Kanalı Testi

13.3. Hızlandırıcıya Dayalı Işınım Kaynaklarının Dağılımı ve Uygulama Alanları

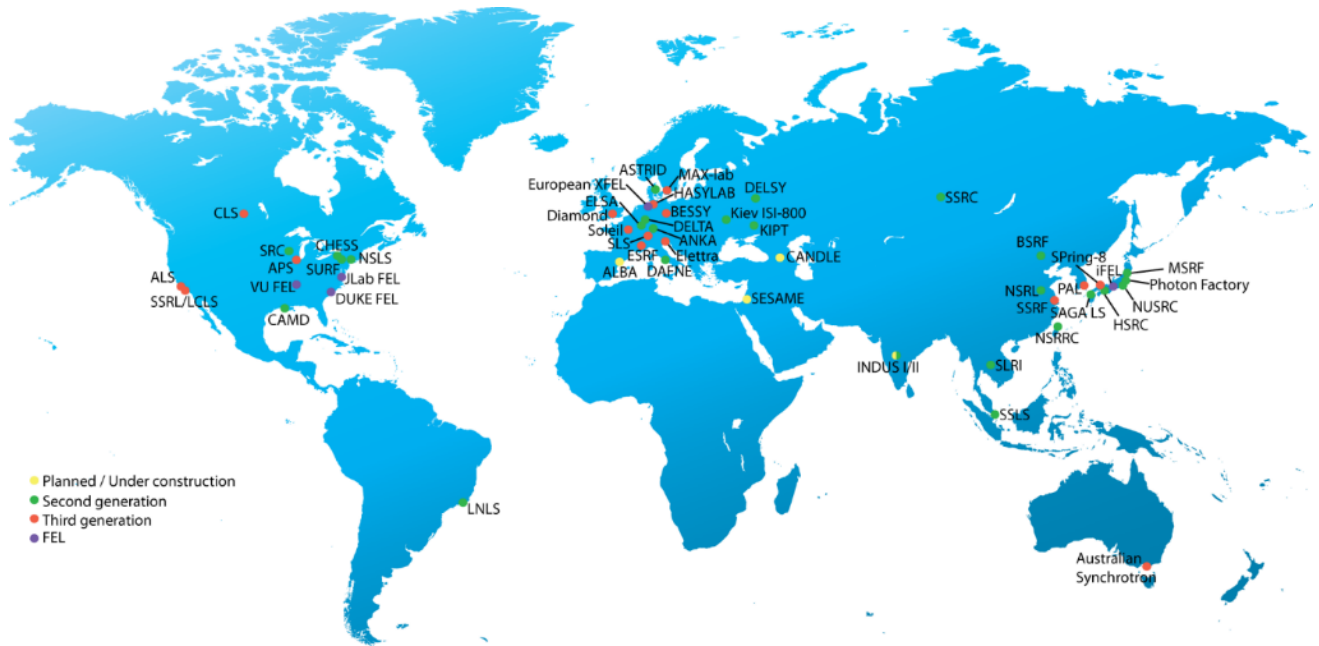
1960'larda lazerin keşfinin ardından, sinkrotron ışınımı (SI) tesis ve uygulamaları 1970'lerden, serbest elektron lazeri (SEL) tesis ve uygulamaları da 2000'li yılların başından itibaren yaygınlaşmıştır ve dünyada günümüzde dünyada 100 civarında SR ve FEL tesisi bulunmaktadır (<https://lightsources.org>). Şekil 13.6'da ışınım kaynaklarının gelişimini ve 13.7'de ise elektromagnetik spektrumu ve ışınım bölgeleri görünmektedir. Şekil 13.8 ise kurulmuş bulunan ve proje aşamasında olan sinkrotron ışınımı ve serbest elektron lazeri merkezlerinin dünyadaki dağılımını göstermektedir. Hızlandırıcıya dayalı ışınım kaynaklarının hangi disiplinlerde ve tekniklerle kullanıldığı ise ışınımın dalga boyuna (enerjiye) bağlı olarak Çizelge 13.3'te verilmiştir.



Şekil 13.6. Işık kaynaklarının gelişimi



Şekil 13.7. Elektromagnetik spektrum ve ışınım türleri



Şekil 13.8. Dünyada çalışmakta ve planlanmış olan hızlandırıcıya dayalı ışınım kaynaklarının (Sinkrotron Işınımı (SR) ve Serbest Elektron Lazeri (FEL)) dağılımı

Çizelge 13.3. Işınım kaynaklarının kullanım alanları

Wavelength Å	Photon Energy (eV)	Biology/ Medicine	Chemistry	Physics	Technology
1000	0.1 Infrared	Biochemistry	Catalyzed reactions	The electronic structure of solids	New methods of spectroscopy
	1 Visible	Biophysics	Photo- chemistry, Chemical analysis by electron spectroscopy	The properties of surfaces and interfaces	High- performance optical
100	10 Ultraviolet	VUV and X-ray Microscopy	Examination of radiation damage	Atomic and molecular physics	Calibration and radiation standards
10	100 Vacuum Ultraviolet	Determining the structure of complex molecules in the fluid surface	Determining the structure of the polymer	Photo- electron spectroscopy	Wiggler and undulator radiation research
1	1000 Soft X-ray	X-ray angiography and tomography	Analysis of trace elements	X-ray optical	X-ray lithography
				X-ray fluorescence	Materials research
0.1	10000 Hard X-ray			Tomography	
				Inelastic scattering of x-rays	
				Compton scattering	

13.4. Türkiye’de Kurulmakta olan ve Planlanmış Işınım Tesisleri

Elektron Hızlandırıcısı ve Işınım Tesisi (TARLA)

TARLA: Turkish Accelerator and Radiation Laboratory in Ankara

Kalkınma bakanlığı desteği ile Ankara Üniversitesi koordinatörlüğünde yürütülen “Türk Hızlandırıcı Merkezi Teknik Tasarımı ve Test Laboratuvarları” projesi (THM projesi) kapsamında kurulumuna 2011 yılında başlanılan Elektron Hızlandırıcısı ve Işınım Tesisinin (TARLA) kurulum çalışmaları Ankara Üniversitesi Gölbaşı Kampüsünde sürmektedir. Tesis, projede öngörülerek kurulan Hızlandırıcı Teknolojileri Enstitüsü ile aynı yerdedir. Tesis ülkemizde Ar-Ge amacıyla inşa edilen ilk elektron hızlandırıcı ve ışınım tesisidir.

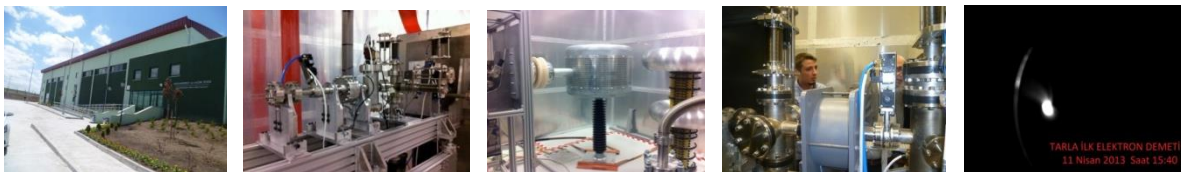
Tesisin Özellikleri:

Hızlandırıcı: 15-40 MeV enerjili süperiletken doğrusal elektron hızlandırıcısı

Elde edilecek serbest elektron lazeri dalga boyu aralığı: 3-250 mikrometre (infrared)

Elde edilecek frenleme ışınımı enerji aralığı: 5-30 MeV

Tesisin Araştırma Potansiyeli: Tesis ile ülkemiz araştırmacılarına; nanoteknoloji, biyoteknoloji, malzeme bilimi, fotonik ve lazer, nükleer spektroskopi, çevre, kimya, ilaç, gıda, arkeoloji, uzay alanlarında ilk kez mikro paketçikli elektron demeti, 4. nesil serbest elektron lazeri (SEL) ve frenleme ışınımının (Bremsstrahlung) çeşitli deneysel tekniklerle kullanımı ile Ar-Ge ve teknoloji geliştirme çalışmaları mümkün olacaktır.



Resimler TARLA tesisindedir.

Planlanmış ve Tasarımı Yapılmış Işınım Tesisleri:

Sinkrotron Işınımı Tesisi

THM projesi kapsamında tasarımı yapılmış olan ve 3 GeV enerjili elektron sinkrotronuna dayalı 3. nesil ışınım kaynağı olarak planlanan ve onlarca araştırma deneyinin aynı anda yapılmasına olanak sağlayacak olan Sinkrotron Işınımı tesisi ülkemiz ve bölgemizde ilk olacaktır. Tesis, Avrupa'da son 15 yılda kurulan BESSY-II (Almanya), ELETTRA (İtalya), ALBA (İspanya), DIAMOND (İngiltere) ve SOLEIL (Fransa) Sinkrotron Işınımı tesisleri ile (~3 GeV demet enerjili) aynı kategoride yer almaktadır.

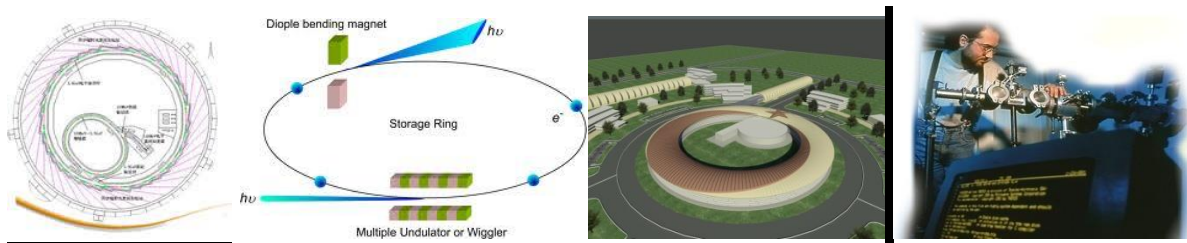
Tesisin Özellikleri:

Hızlandırıcı: Çevresi yaklaşık 475 m olan 3 GeV enerjili dairesel elektron hızlandırıcısı (sinkrotron)

Sinkrotron Işınımının dalga boyu aralığı: Infrared bölgeden sert X-ışınları bölgesine kadar

Sinkrotron Işınımının enerji aralığı: 100 eV- 50 keV

Tesisin Araştırma Potansiyeli: Üzerinde kurulu bulunan demet hatları ve deney istasyonları ile başta malzemelerin atom ve molekül düzeyinde karakterizasyonu olmak üzere nanoteknoloji, biyoteknoloji, genetik, kimya, çevre, savunma, uzay, tıp, enerji, yakıt, ilaç, teşhis vb onlarca alanda ileri düzeyli spektroskopi ve görüntüleme teknikleri ile kısa sürede ve aynı anda Ar-Ge çalışması yapılmasını sağlayacaktır.



SASE Serbest Elektron Lazeri Tesisi

THM projesi kapsamında tasarımı yapılmış olan ve 1-6 GeV enerjili doğrusal elektron hızlandırıcısına dayalı 4. nesil ışınım kaynağı olarak planlanan ve kendiliğinden genlik artımlı modda (SASE) çalışacak olan Serbest Elektron Lazeri (SEL) tesisi, yüksek parlaklık ve pik gücüne (GW), ps-fs atma uzunluğuna, dalga boyu ayarlanabilir özelliğine (0.1-100 nm) sahip serbest elektron lazerlerin Ar-Ge ve teknoloji geliştirme çalışmalarında kullanımını sağlayacaktır.

Tesisin Özellikleri ve Araştırma Potansiyeli:

Hızlandırıcı: 1-6 GeV enerjili doğrusal elektron hızlandırıcısı (linak)

SASE SEL dalga boyu aralığı: 0.1-100 nm

Tesisin Araştırma Potansiyeli: 0.1-100 nm aralığında, ps-fs atma uzunluklu ve $\sim 10^{32}$ pik parlaklıklı lazer ışınimleri ile özellikle atom ve molekül ve malzeme bilimleri başta olmak üzere, genetik, ilaç, nanoteknoloji, biyoteknoloji, kimya, çevre, tıp, uzay, arkeoloji, enerji vb alanlarında bir çok disiplinlerarası araştırmayı çok kısa sürede ve çok hassas şekilde yapma imkanı sağlayacaktır. Almanya'da bir Avrupa projesi olarak inşası süren ve 2017 yılında tamamlanacak SASE SEL tesisi olan Euro XFEL tesisinin sloganı Binyılın Işığı'dır (Light of Millenium).

