
NSLS-II

FINAL PROJESİ

ip Halil Kolatan
Ankara Üniversitesi
Fen Fakültesi Fizik Bölümü

17 Ocak 2022

İçindekiler

1	Giriş	1
2	NSLS II	2
3	NSLS II Tesis Tasarımı	3
3.1	Lineer Hızlandırıcı	4
3.2	Güçlendirici Halka	4
3.3	Depolama Halkası	5
4	Enstrümanlar	8
4.1	Bilim Programları	8
5	Gelecek Planlar	10
6	Kaynakça	11

1 Giriş

Parçacık fiziğinde keşif arayışı her zaman mümkün olan en yüksek enerjilerde deneyler gerektirmiştir. Yüksek enerjili parçacık hızlandırıcılar ise şimdide kadar parçacık fiziğinin doğasını anlamak için vazgeçilmez bir araç olmuştur. Parçacık demetlerini çok yüksek enerjiyle hızlandırmak, bu demetleri çarpıştırmak ve bu çarpışmaların oluşturduğu parçacıkları tespit etmek için yeni teknikler geliştirilmiştir. Standart Modelin (SM) ötesinde, daha yüksek bir enerji seviyesinde yeni parçacıklar arayışını südürebilecek bir tesis yaratmak için teknikte daha fazla ilerleme gereklidir. Bu ilerlemenin sonucunda artık hızlandırıcılar ve işnim kaynakları birçok alanda kullanılmaktadır. Günümüzde ülkeler, birçok ışınım ve hızlandırıcı kompleksi kurarak bu ilerlemelere öncülük etmektedirler. Bu çalışmada, dünyanın en gelişmiş ışınım kaynaklarından biri olan Brookhaven Ulusal Laboratuvarı'ndaki Ulusal Sinkrotron ışınım Kaynağı II (NSLS-II) incelenecektir.

2 NSLS II



Şekil 1. NSLS-II Tesisi [1].

New York, Upton'daki Brookhaven Ulusal Laboratuvarı'ndaki (BNL) Ulusal Sinkrotron İşnim Kaynağı II (NSLS-II), öncelikle ABD Enerji Bakanlığı'nın (DOE) Bilim Ofisi tarafından finanse edilen bir ulusal kullanıcı araştırma tesisisidir. NSLS-II, BNL'nin orijinal işnim kaynağı olan Ulusal Sinkrotron İşnim Kaynağından (NSLS) 10.000 kat daha parlak x-ışınları üretmek üzere tasarlanmıştır, dünyanın en gelişmiş sinkrotron işnim kaynaklarından biridir [2].

Yoğun ultra parlak ışığını yaratmak için NSLS-II, elektronları yarı mil (791.958 m) uzunluğundaki halkasının etrafında neredeyse ışık hızında döndüren gelişmiş bir parçacık hızlandırıcı kompleksine sahiptir. NSLS-II'nin hızlandırıcıları birçok karmaşık mühendislik sisteminden oluşur. Bu yoğun, kararlı elektron demetini her yıl 5000 saat kesintisiz olarak çalıştırarak, her entegre bileşene sürekli dikkat gerektirmektedir [3].

NSLS-II'deki disiplinler arası ekipler, dünyanın dört bir yanından gelen araştırmacılarla ortak çalışarak malzemelerin atomik yapısını, temel yapısını ve elektronik davranışlarını ortaya çıkarmayı amaçlıyor. Bu yeni, daha derin malzeme anlayışını yaratarak, bu araştırma ekipleri yaşam bilimleri, enerji depolama, ileri malzeme bilimi, fizik, kimya ve biyoloji gibi çok çeşitli bilimsel disiplinlerdeki bilgimizi geliştirmektedir [2].

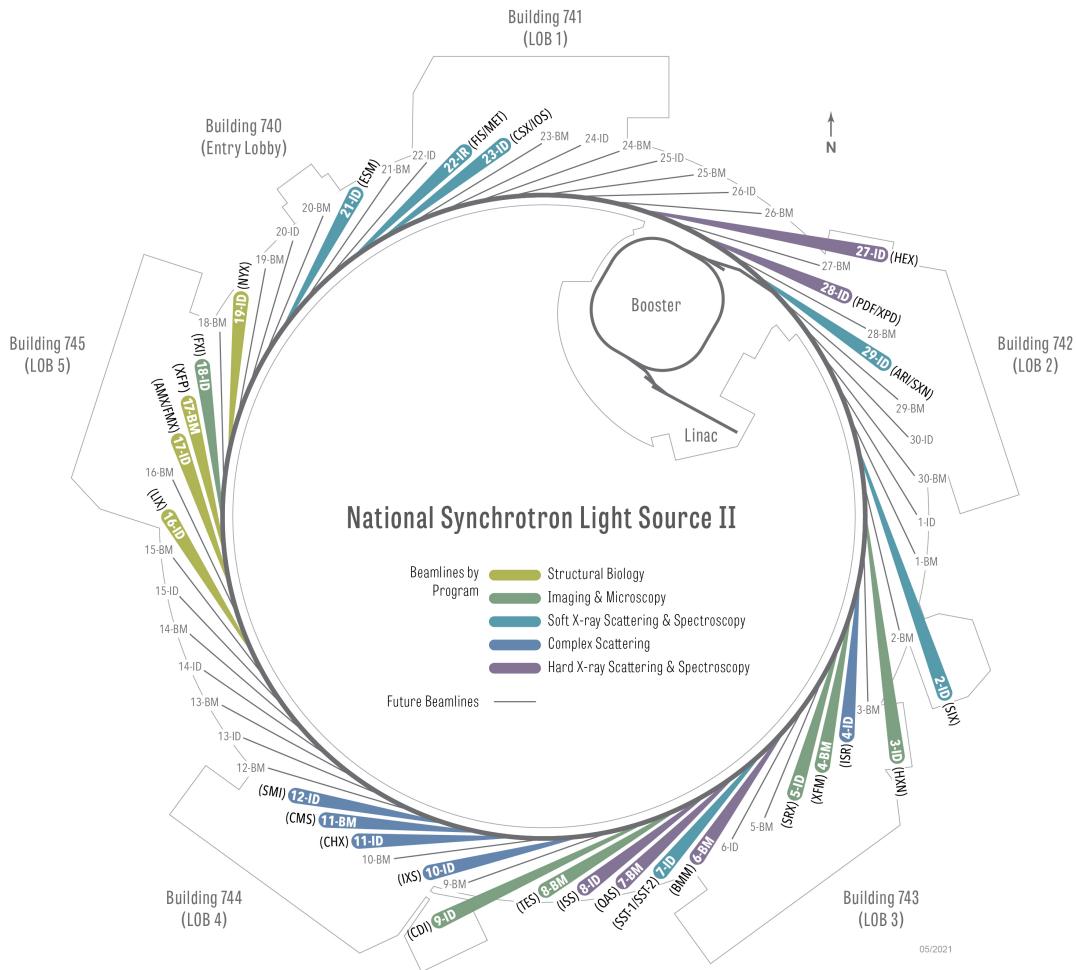
Şu anda, NSLS-II'nin işletimde olan 28 demet hattı ve yapım aşamasında olan 4 ek demet hattı bulunmaktadır. Depolama halkası rutin olarak 400 mA ve 30 pm-rad dikey yayılımda ve özel çalışma periyotlarında 8 pm-rad'da çalıştırılır. NSLS-II, hızlandırıcı sistemler için çok yıllık bir geliştirme planı uygulamaktadır. Bu tamamlandığında, NSLS-II depolama halkasının 500 mA ve 8 pm -rad dikey emisyon gibi yüksek performans spesifikasyonlarında güvenilir bir şekilde çalıştırılacaktır [4].

NSLS-II, 2015 yılında kullanıcı işlemlerine başladı. 2019 yılında, 1755 farklı araştırmacı araştırmaları için NSLS-II demet hatlarını kullandı. 2020 yılında bu sayı, küresel COVID-19 pandemisinin etkisiyle 1355 oldu. Buna rağmen, NSLS-II 2020 yılında 577 yayın yaptı ve bu yayınların %40'ından fazlası etki faktörü 7.0'dan büyük olan dergilerde yer aldı ve bu NSLS-II'nin başarısını göstermektedir [4].



Şekil 2. NSLS-II Tesisi [1].

3 NSLS II Tesis Tasarımı

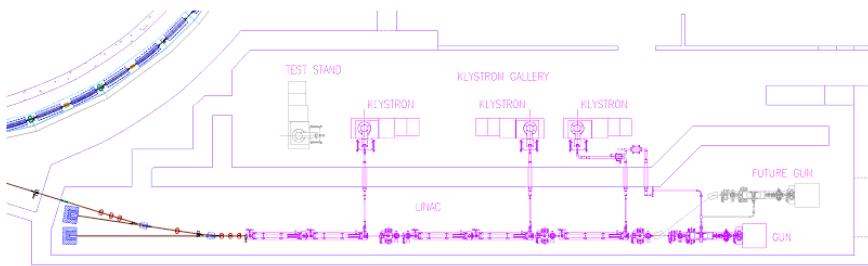


Şekil 3. NSLS-II Demet hattı haritası [6].

Ulusal Sinkrotron İşinim Kaynağı II (NSLS-II) hızlandırıcı kompleksi, elektronların oluşturulmasından parlak sinkrotron işiniminin üretilmesine kadar her şeyi kapsamaktadır. NSLS-II hızlandırıcı kompleksi bir elektron tabancası, bir lineer hızlandırıcı, bir güçlendirici halka ve depolama halkasından oluşur. İlk üç bölüm, elektronları depolama halkası boyunca yolculuklarına hazırlamak için gereklidir, orta enerjili elektron depolama halkası ise parlak işinim demetleri üreten tüm cihazları içerir [7].

Depolama halkasını barındıran deney salonu, 60 demet hattına kadar, hafif taşıma hatlarının bir kombinasyonu ve deney istasyonları için yeterli alan sunar. Bu demet hatları 66 metre ila 72 metre uzunluğunda olabilir. NSLS-II ayrıca, bitişik bir binada bulunan deney istasyonları ile mevcut binanın ötesine geçebilen dokuz ekstra uzun demet hattını barındırabilir. Bu demet hatları yaklaşık 200 m uzunluğundadır [7].

3.1 Lineer Hızlandırıcı



Şekil 4. 200 MeV lineer hızlandırıcının düzeni [8].

NSLS-II lineer hızlandırıcı, BNL ile işbirliği içinde RI Research Instruments, GmbH tarafından geliştirilmiş 200 MeV normal iletken bir lineer hızlandırıcıdır. Bir DC termiyonik elektron Tabancası, demetleme sistemi ve dört adet 3 GHz TW yapısından oluşur. Tabanca tek demet ve çoklu demet modu olmak üzere iki modda çalışabilir. Demetleme bölümünü, demet uzunluğunu ns'den ~ 10 ps'ye sıkıştırmak için tasarlanmış 500 MHz alt harmonik ön demetleyici, 3 GHz ön demetleyici ve 3 GHz hareketli dalga demetleyiciden oluşur. Dört adet 3 GHz hareketli dalga yapısı, ışını 200 MeV'ye kadar hızlandırır. Lineer hızlandırıcıya RF gücü sağlamak için üç klistron mevcuttur; bunlardan ikisi kullanılmıştır ve üçüncüsü bir klistron arızası durumunda yedektedir. Lineer hızlandırıcıdan, güçlendirici halkaya transfer hattında biri lineer hızlandırıcının kendisinden sonra diğer de enerji spektrometresinden sonra olmak üzere iki demet kapanı vardır [9].

3.2 Güçlendirici Halka

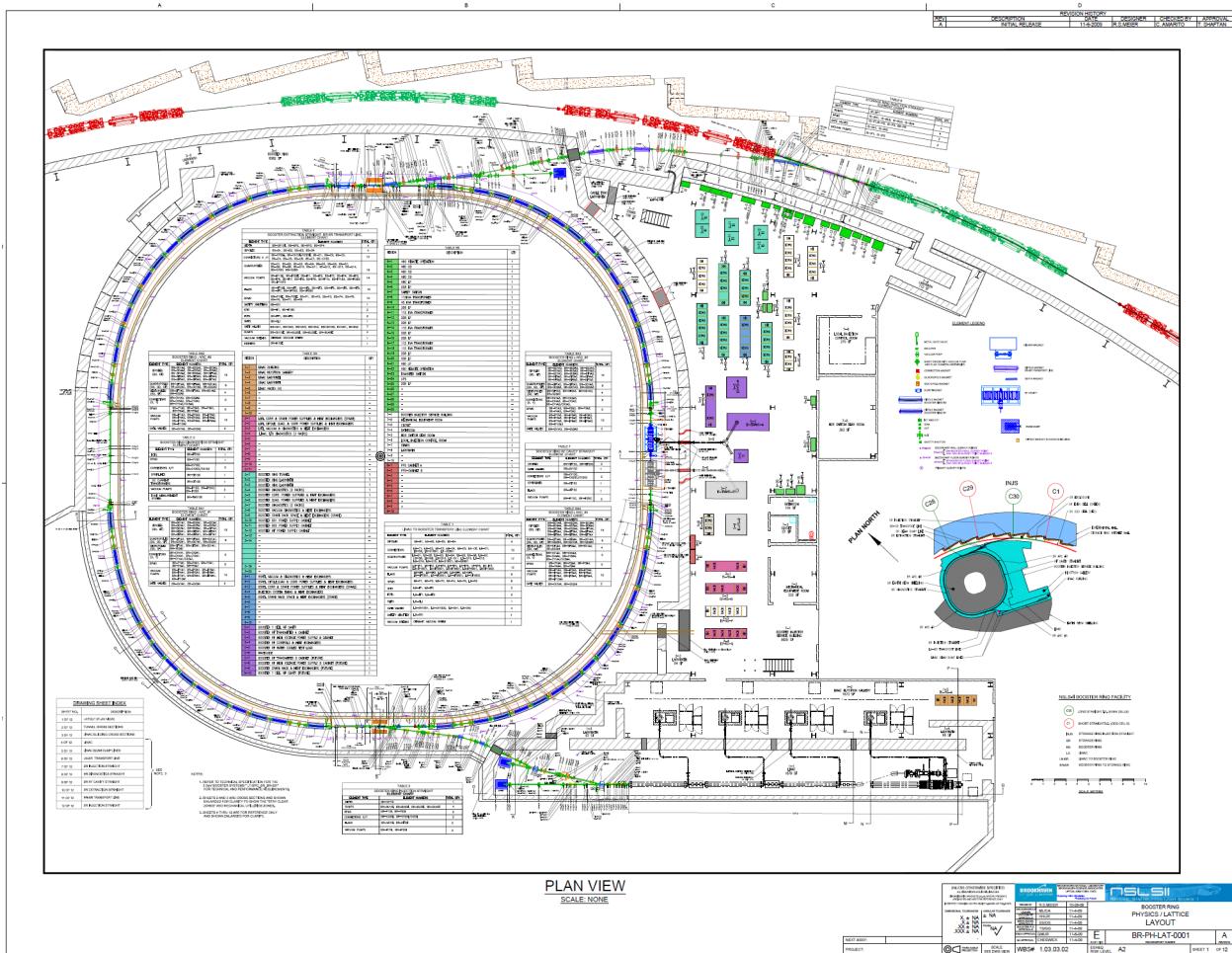


Şekil 5. NSLS-II Güçlendirici halka [10].

Güçlendirici halkanın çevresi 158,4 metredir ve 60 odaklı dipollü dört dönem birleşik FODO örgüsü içerir. Güçlendirici manyetik alan ve RF voltajı, demeti 200 MeV'den 3 GeV'a hızlandırmak için yükseltilir. Maksimum dipol alanı 1 T'dır. RF gücü, 90 kW IOT tabanlı bir verici sistemi tarafından sürülen PETRA 7 hücreli 500 MHz Cu-kaviteden demete ilettilir. Ekstraksiyon enerjisinde, güçlendirici 37.4 nm-rad'lık düşük yatay yayınım ve 1 nm-rad dikey yayınım sağlar [9].

Güçlendirici Halka Temel Parametreleri	
Çevresi	158.4 m
Enjeksiyon Enerjisi	170-200 MeV
RF Frekansı	499.68 MHz
RF Voltajı	1.5 MV
Güçlendirici Akımı	<28 mA
Yayınım	26.6 nm
Enerji Kaybı/Tur	625 keV

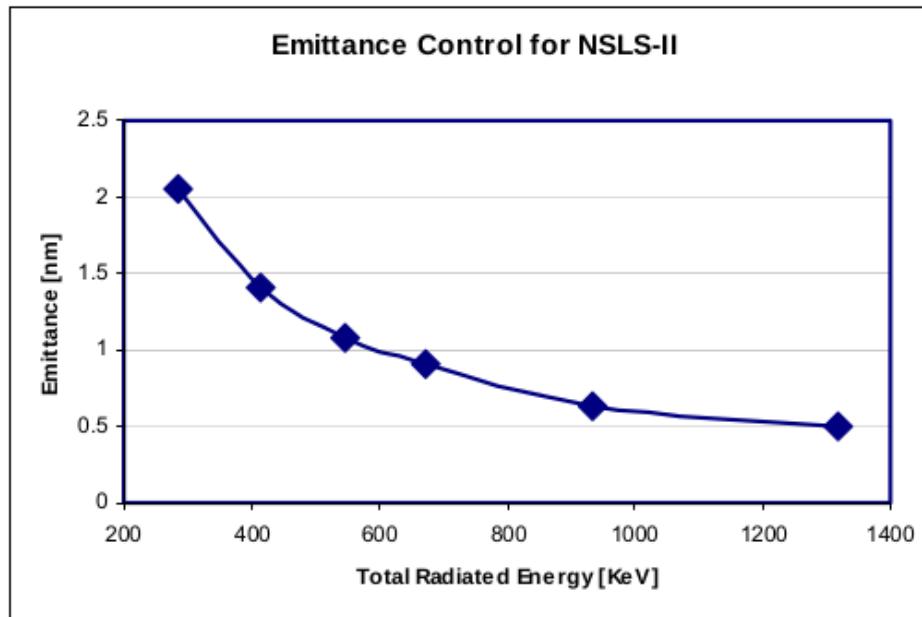
3.3 Depolama Halkası



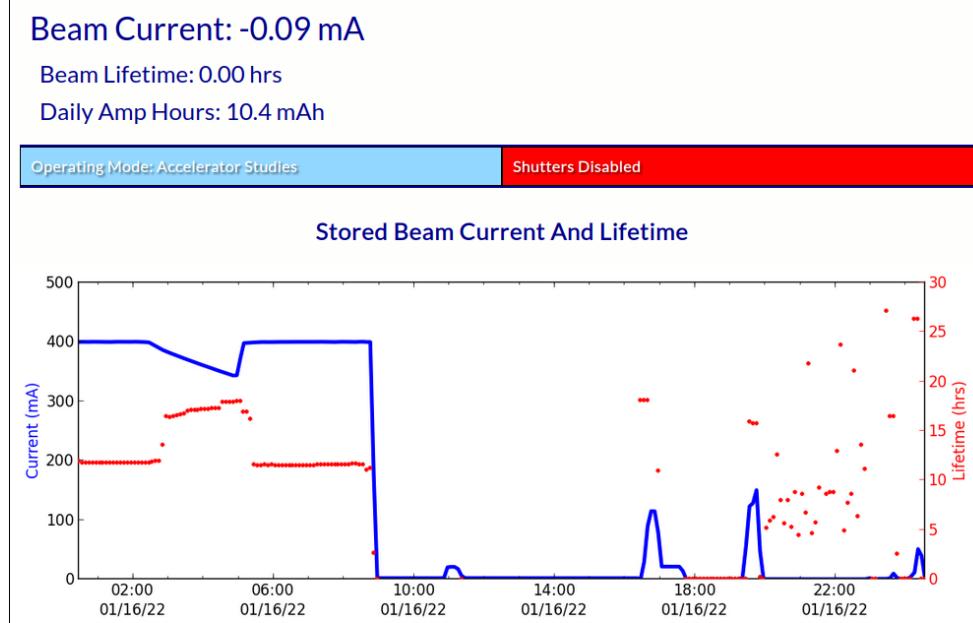
Şekil 6. NSLS-II Enjektörünün düzeni.

NSLS-II depolama halkasının çevresi 792 m'dir. Elektronları halka ve düz bölgümler boyunca yönlendiren ve yerleştirme cihazlarını kurmak için kullanılabilen mıknatısların düzenine depolama halkası örgüsü denir. NSLS-II depolama halkası örgüsü, yaklaşık 60 demet hattını barındıracak 30 mıknatıs dizisinden veya çift bükcük akromat (DBA) hücrelerinden oluşur. NSLS-II, 30 hücreli (15 süper periyot) çift bükcük akromat örgüsü, 6,6 m uzunluğunda 15 düşük beta düz bölgüsü ve 9,3 m uzunluğunda 15 yüksek beta düz bölgüsü olan 3 GeV depolama halkası sinkrotron ışının kaynağıdır. Damping Wigglers için üç uzun düz bölüm kullanılır (1,85 T tepe alanı, 0,1 m periyot uzunluğu ve 7 m uzunluk), bu da yatay yayımı 2,05 nm-rad'dan 1 nm-rad'a düşürmektedir [9]. Ayrıca,

- Kızılıotesinden, yumuşak x-ışınlarına kadar foton enerjilerini kapsayan geniş bant kaynakları sağlayan 31 bükcük mıknatıs bağlantı noktası. Bu portlardan herhangi biri, alternatif olarak, sert x-ışını aralığını kapsayan üç kutuplu bir wiggler portu ile değiştirilebilir.
- Çok uzak kızılıotesi ışık için büyük boşluk dipollerleri üzerinde 4 bükcük mıknatıs bağlantı noktası.
- Ek demet hattı kapasitesi için tek bir düz bölüme birden fazla cihaz eklenebilir.



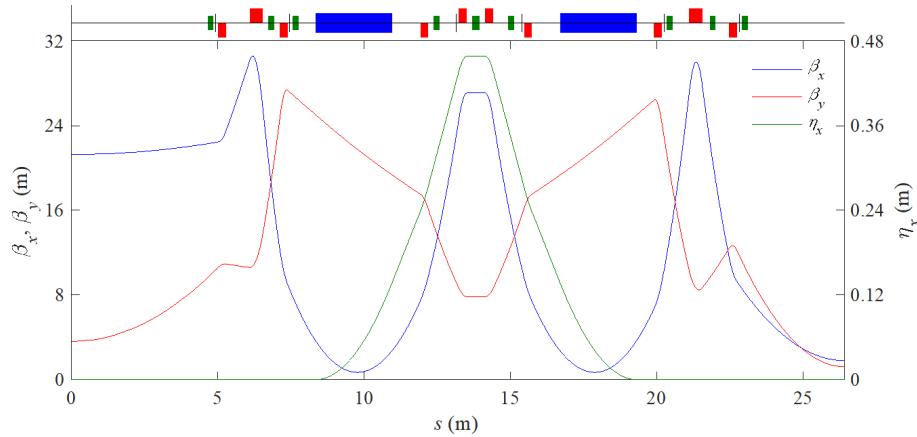
Şekil 7. NSLS-II için 0, 1, 2, 3, 5 ve 8 DW (her biri 7 m) olarak yayınım azaltımı 1,8 T tepe alanında kurulur ve çalıştırılır [8].



Şekil 8. NSLS II İşlem durumu [11].

	Bare Lattice	3DW Lattice	All-ID Lattice
Energy (GeV)		3.0	
Circumference (m)		791.958	
Emittance ε_x (pm-rad)	2086	957	747
Energy Spread σ_δ (%)	0.0514	0.0818	0.0799
Energy Loss per Turn U_0 (keV)	286.4	649.1	831.8
Length of Long Straight (m)		9.3	
Length of Short Straight (m)		6.6	
β_x, β_y at Long Straight Center (m)		20.1, 3.4	
β_x, β_y at Short Straight Center (m)		1.8, 1.1	
Betatron Tunes ν_x, ν_y		33.22, 16.26	
Natural Chromaticity ξ_x, ξ_y	-98.5, -40.2	-98.4, -39.8	-98.4, -39.9
Momentum Compaction α_c		0.000363	
Radiation Damping Time τ_x, τ_y, τ_s (ms)	55, 55, 28	24, 24, 12	19, 19, 9.5
RF frequency (MHz)		499.681	
Number of RF buckets		1320	
Number of bunches		1056	
Time between bunches (ns)		2	
Total beam current (mA)		400	
Average bunch current (mA)		0.47	
Average bunch charge (nC)		1.25	
Synchrotron tune @ $V_{RF} = 3$ MV	0.00871	0.00862	0.00856
RMS Bunch Length @ $V_{RF} = 3$ MV (mm)	2.70	4.34	4.27

Şekil 9. NSLS-II hızlandırıcı parametreleri [12].



Şekil 10. NSLS-II Örgü fonksiyonları [12].

4 Enstrümanlar

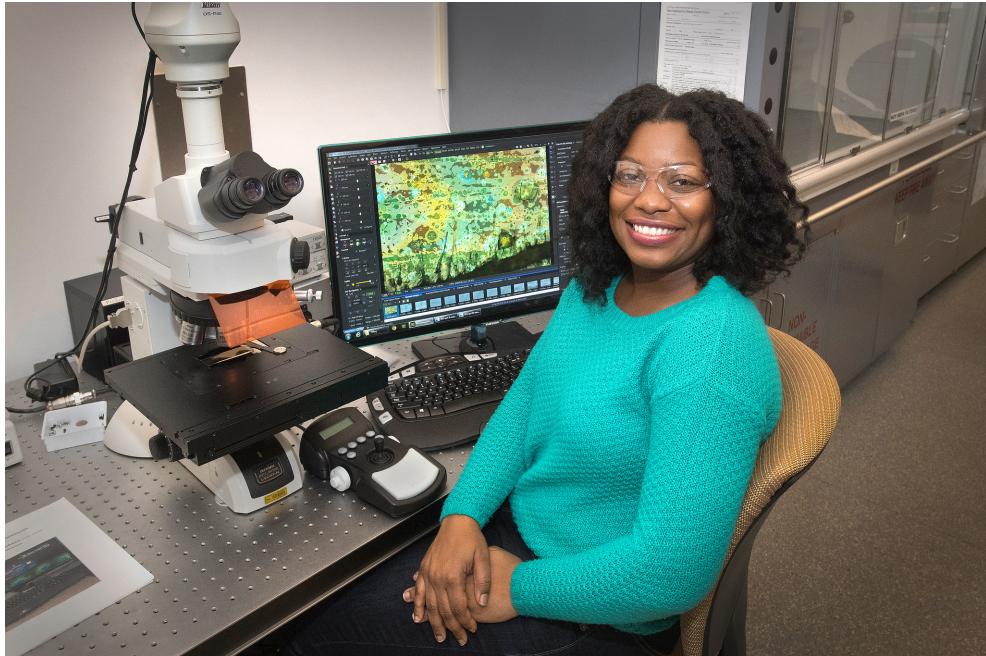
Şu anda NSLS-II, yüksek verimli robot güdümlü numune işleme, yüksek uzaysal çözünürlüklü görüntüleme ve yüksek enerji çözünürlüğü dahil olmak üzere benzersiz, son teknoloji araştırma araçları sunan 28 demet hattı çalışmaktadır. NSLS-II'deki tüm demet hatları, sundukları araştırma yeteneklerine ve personel uzmanlığına dayalı olarak beş foton bilimi programına sahiptir [3].

Mevcut demet hatları portföyünün ötesinde, NSLS-II, halihazırda geliştirilmekte olan dört yeni demet hattı ile ek 30 demet hattı kapasitesine sahiptir. Tüm araştırma araçlarının her zaman son teknoloji olmasını sağlamak için, dedektörler, x-ışını optiği, hassas mühendislik ve konumlandırmanın yanı sıra teorik simülasyonlar üzerinde çalışan uzmanlardan oluşan bir ekibe sahiptir [3].

4.1 Bilim Programları

Brookhaven Ulusal Laboratuvarı'ndaki Ulusal Sinkrotron Işınım Kaynağı II (NSLS-II), dünyadaki en yeni, en gelişmiş üçüncü nesil sinkrotron radyasyon tesislerinden biridir. ABD Enerji Bakanlığı Bilim Kullanıcı Tesisi Ofisi olarak NSLS-II, dünya standartlarında yetenekler sağlayarak büyüyen kullanıcı topluluğunun nano ölçekte çözünürlük ve mükemmel hassasiyetle materyalleri incelemesini sağlar. NSLS-II'nin ışın hatları ve deney istasyonları, yüksek verimli robot güdümlü numune işleme, x-ışını saçılımı, benzeri görülmemiş enerji çözünürlüğü x-ışını mikroskopu dahil benzersiz, son teknoloji araştırma araçlarına sahiptir. Demet hatları, sundukları araştırma tekniklerine dayalı olarak beş bilimsel program halinde düzenlenmiştir [13].

- Kompleks Saçılma (Complex Scattering)
- Görüntüleme ve Mikroskopi (Imaging and Microscopy)
- Yapısal Biyoloji (Structural Biology)
- Sert X-ışını Saçılımı ve Spektroskopisi (Hard X-ray Scattering & Spectroscopy)
- Yumuşak X-ışını Saçılımı ve Spektroskopisi (Soft X-ray Scattering & Spectroscopy)



Şekil 11. NSLS-II'de Biyoyakıt araştırması [14].

Soft X-Ray Scattering & Spectroscopy Program

SIX	2-ID	Soft Inelastic X-ray Scattering
SST-1	7-ID-1	Spectroscopy Soft and Tender
SST-2	7-ID-2	Spectroscopy Soft and Tender
ESM	21-ID	Electron Spectro-Microscopy
ESM-ARPES	21-ID-1	Electron Spectro-Microscopy
ESM-XPEEM	21-ID-2	Electron Spectro-Microscopy
FIS	22-IR-1	Frontier Synchrotron Infrared Spectroscopy
MET	22-IR-2	Magneto-spectroscopy, Ellipsometry and Time-resolved Optical Spectroscopies
CSX	23-ID-1	Coherent Soft X-ray Scattering beamline
IOS	23-ID-2	<i>In situ</i> and Operando Soft X-ray Spectroscopy
ARI	29-ID-1	NanoARPES and NanoRIXS ¹
SXN	29-ID-2	Soft X-ray Nanoprobe ¹

Structural Biology Program

LIX	16-ID	Life Science X-ray Scattering
XFP	17-BM	X-ray Footprinting of Biological Materials
AMX	17-ID-1	Highly Automated Macromolecular Crystallography
FMX	17-ID-2	Frontier Microfocusing Macromolecular Crystallography
NYX	19-ID	Biological Microdiffraction Facility

Şekil 12. Demet hatları ve kullanıldığı bilim programı [12].

Complex Scattering Program

ISR	4-ID	Integrated <i>In situ</i> and Resonant Hard X-ray Studies
IXS	10-ID	Inelastic X-ray Scattering
CMS	11-BM	Complex Materials Scattering
CHX	11-ID	Coherent Hard X-ray Scattering
SMI	12-ID	Soft Matter Interfaces

Hard X-Ray Scattering & Spectroscopy Program

BMM	6-BM	Beamline for Materials Measurement
QAS	7-BM	Quick x-ray Absorption and Scattering
ISS	8-ID	Inner-Shell Spectroscopy
HEX	27-ID	High Energy Engineering X-ray Scattering ¹
PDF	28-ID-1	Pair Distribution Function
XPD	28-ID-2	X-ray Powder Diffraction

Imaging & Microscopy Program

HXN	3-ID	Hard X-ray Nanoprobe
XFM	4-BM	X-ray Fluorescence Microprobe
SRX	5-ID	Submicron Resolution X-ray Spectroscopy
TES	8-BM	Tender Energy X-ray Absorption Spectroscopy
CDI	9-ID	Coherent Diffraction Imaging ¹
FXI	18-ID	Full Field X-ray Imaging

Şekil 13. Demet hatları ve kullanıldığı bilim programı [12].

5 Gelecek Planlar

NSLS-II Ekibinin önümüzdeki 5 yıllık stratejileri:

- Güvenilir kullanıcı operasyonlarında 500 mA ve 8 pm-rad dikey yayınımlı olgun hızlandırıcı performansı sağlamak
- Mevcut demet hatlarını yeniden sermayelendirmek ve COVID sonrası dönemde yeni erişim modaliteleriyle rekabet etmelerini sağlamak
- Veri depolama ve analizini geliştirmek
- HEX demet hattını ve NEXT-II projesini tamamlamak
- Tesisin konumunu gelecek on yılda yükseltmek

6 Kaynakça

- [1] (Dijital GörSEL) *National Synchrotron Light Source II (NSLS-II)*. Erişim adresi: <https://science.osti.gov/bes/suf/User-Facilities/X-Ray-Light-Sources/NSLS-II>. Erişim tarihi: 03.01.2022.
- [2] National Synchrotron Light Source II. InWikipedia, Özgür Ansiklopedi. https://en.wikipedia.org/wiki/National_Synchrotron_Light_Source_II. Erişim tarihi: 03.01.2022.
- [3] About NSLS-II (n.d.). Erişim adresi: <https://www.bnl.gov/nsls2/about-nsls-ii.php> Erişim tarihi: 03.01.2022.
- [4] Accelerator Division (n.d.). Erişim adresi: <https://www.bnl.gov/nsls2/accelerator/> Erişim tarihi: 03.01.2022.
- [5] National Synchrotron Light Source II (2021). *2022 NSLS-II Strategic Plan*. Erişim adresi: <https://www.bnl.gov/nsls2/docs/pdf/nsls2-strategic-plan.pdf> Erişim tarihi: 03.01.2022.
- [6] (Dijital GörSEL) *NSLS-II Beamline Map* Erişim Adresi: <https://www.bnl.gov/nsls2/beamlines/map.php>. Erişim tarihi: 07.01.2022.
- [7] Accelerator Division (n.d.). Erişim adresi: <https://www.bnl.gov/nsls2/accelerator/machine.php> Erişim tarihi: 16.01.2022.
- [8] Dierker, S. (2007). *National Synchrotron Light Source II Preliminary Design Report*. Erişim adresi: <https://www.bnl.gov/isd/documents/75003.pdf> Erişim tarihi: 16.01.2022.
- [9] Wang, G. et al. (2016). *NSLS-II commissioning and operation*. AIP Conference Proceedings 1741, 020007. doi:10.1063/1.4952786.
- [10] Gurov S. et al. (2014). *The NSLS-II Booster Commissioning*. Proc. 5th Int. Particle Accelerator Conf. (IPAC'14), Dresden, Germany, 295-297. doi:10.18429/JACoW-IPAC2014-MOPRO088.
- [11] (Dijital GörSEL) *NSLS II Operations Status* Erişim Adresi: <https://status.nsls2.bnl.gov/>. Erişim tarihi: 16.01.2022.
- [12] NSLS-II Accelerator Parameters (n.d.). Erişim adresi: <https://www.bnl.gov/nsls2/accelerator/docs/accelerator-parameters.pdf> Erişim tarihi: 16.01.2022.
- [13] Science Programs (n.d.). Erişim adresi: <https://www.bnl.gov/nsls2/programs/> Erişim tarihi: 16.01.2022.
- [14] (Dijital GörSEL) *Biofuel Research at NSLS-II* Erişim Adresi: <https://www.flickr.com/photos/brookhavenlab/33696668366/in/album-72157615585907461/>. Erişim tarihi: 16.01.2022.