

## Halil Kolatan



FZM443 - Parçacık Hızlandırıcıları  
Ankara Üniversitesi

17 Ocak 2022

# İçerik

NSLS-II

NSLS II Tesis Tasarımı

Lineer Hızlandırıcı

Güçlendirici Halka

Enjektör Sistemi

Depolama Halkası

Enstrümanlar

Bilim Programları

Gelecek Planlar

Kaynakça



Şekil 1. NSLS-II TESİSİ [1].

New York, Upton'daki Brookhaven Ulusal Laboratuvarı'ndaki (BNL) Ulusal Sinkrotron Işınım Kaynağı II (NSLS-II), öncelikle ABD Enerji Bakanlığı'nın (DOE) Bilim Ofisi tarafından finanse edilen bir ulusal kullanıcı araştırma tesisiidir. NSLS-II, BNL'nin orijinal ışınım kaynağı olan Ulusal Sinkrotron Işınım Kaynağından (NSLS) 10.000 kat daha parlak x-ışınları üretmek üzere tasarlanmış, dünyanın en gelişmiş sinkrotron ışınım 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 çalışırmak, 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 çıkarıyor. 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].

# NSLS-II

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].



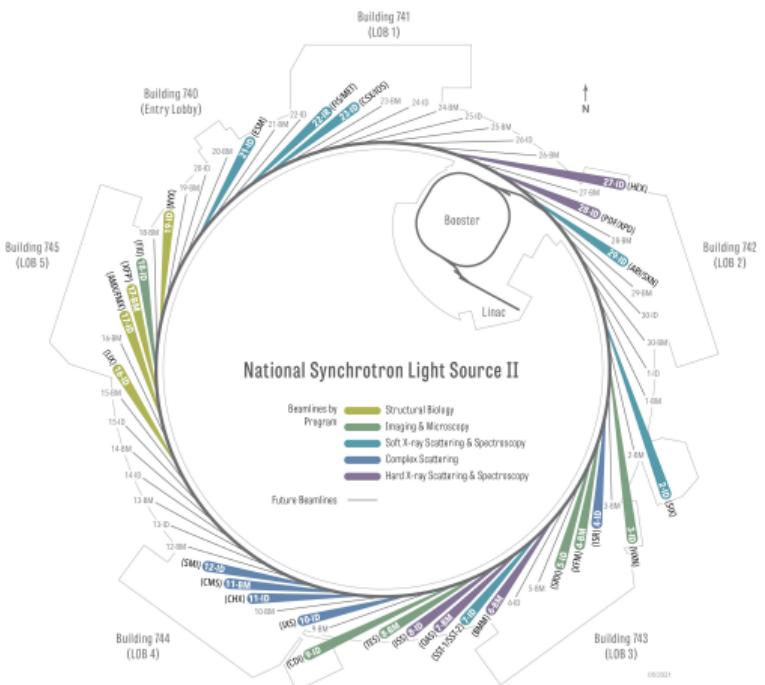
Şekil 2. NSLS-II Tesisi [1].

# NSLS-II

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 3. NSLS-II Tesisi [1].

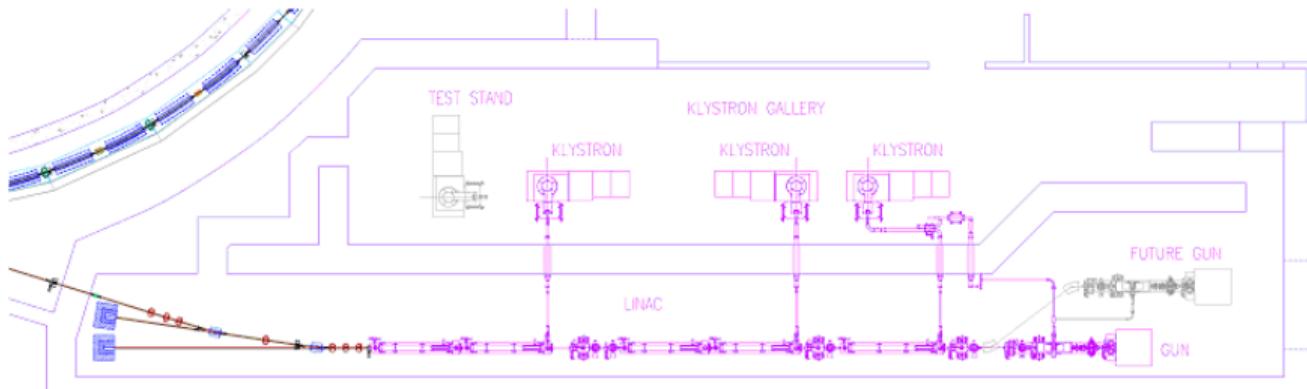


Şekil 4. NSLS-II Demet hattı haritası [6].

Ulusal Sinkrotron Işınım Kaynağı II (NSLS-II) hızlandırıcı kompleksi, elektronların yaratılmasından parlak sinkrotron ışınımının 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 ışınım 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].

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 bölümü, demet uzunluğunu ns'den  $\sim 10$  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, işini 200 MeV'ye kadar hızlandırır. Lineer hızlandırıcıya RF gücü sağlamak için üç klistron mevcuttur; bunlardan ikisi kullanımdadır 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].



Şekil 5. 200 MeV lineer hızlandırıcının düzeni [8].

# Güçlendirici Halka

Güçlendirici halkanın çevresi 158,4 metredir ve 60 odaklayıcı dipollü dört dönem birleşik işlevli 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-kavitiden demete iletilir. Ekstraksiyon enerjisinde, güçlendirici 37.4 nm-rad'lık düşük yatay yayınım ve 1 nm-rad dikey yayınım sağlar [9].

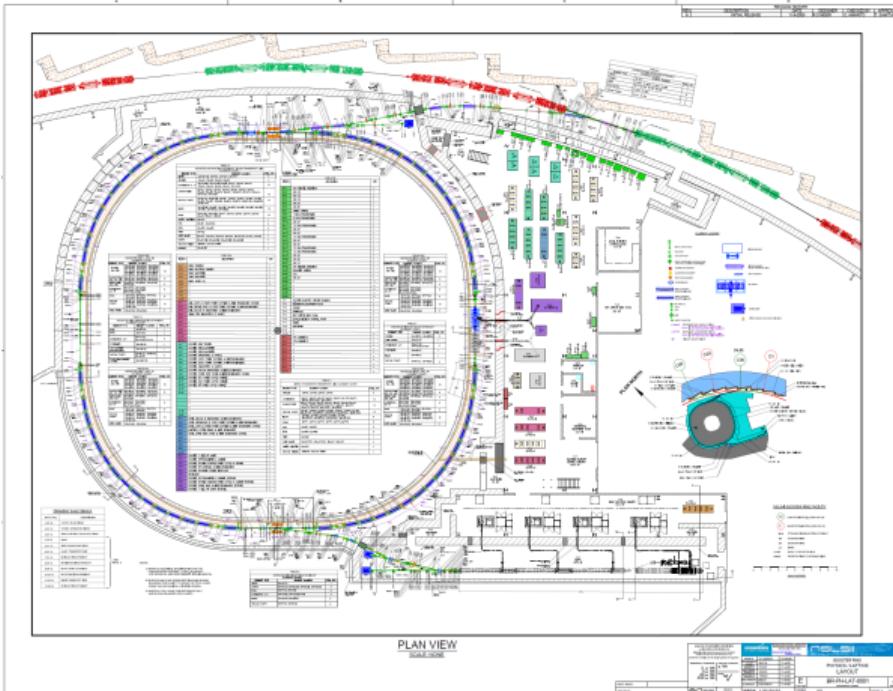
## Güçlendirici Halka Temel Parametreleri

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



Şekil 6. NSLS-II Güçlendirici halka [10].

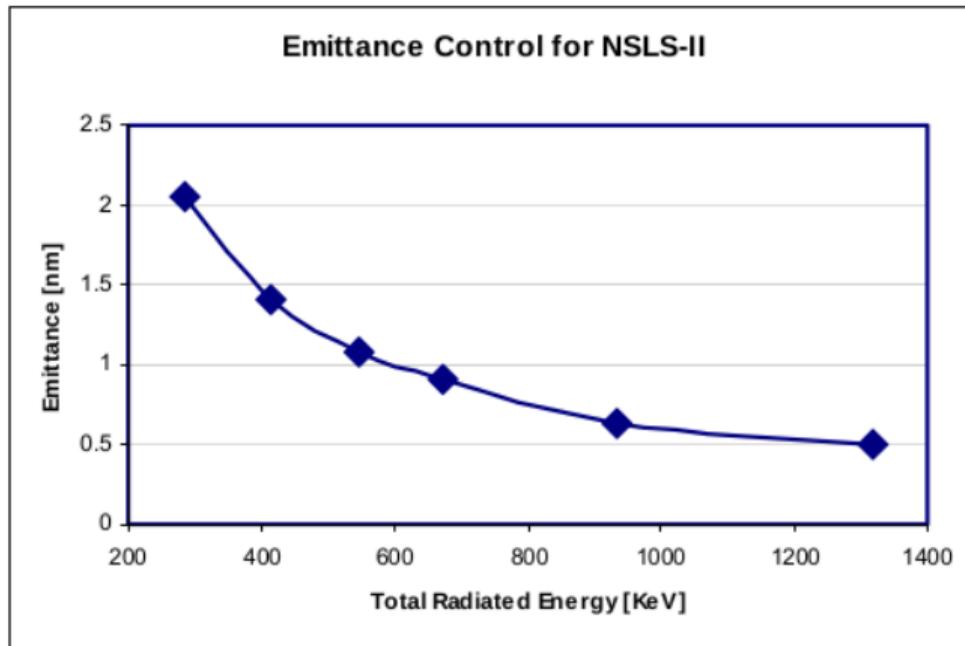
# Enjektör Sistemi



Şekil 7. NSLS-II Enjektörünün düzeni.

NSLS-II depolama halkasının çevresi 792 m'dir. Elektronları halka ve düz bölümler 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 çiftbüyük akromat (DBA) hücrelerinden oluşur. NSLS-II, 30 hücreli (15 süper periyot) çiftbüyük akromat örgüsü, 6,6 m uzunlığında 15 düşük beta düz bölüm ve 9,3 m uzunlığında 15 yüksek beta düz bölüm olan 3 GeV depolama halkası sinkrotron ışınım 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 yayınımı 2,05 nm-rad'dan 1 nm-rad'a düşürmektedir [9]. Ayrıca,

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

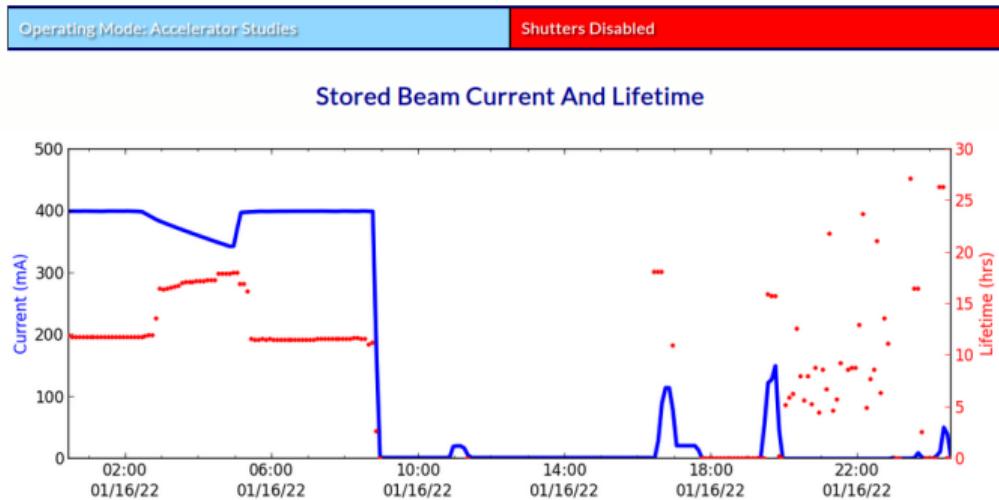


Şekil 8. NSLS-II için 0, 1, 2, 3, 5 ve 8 DW (her biri 7 m) olarak yayınım azaltımı 1,8 T tepe alanında kurulur ve çalıştırılır [8].

Beam Current: -0.09 mA

Beam Lifetime: 0.00 hrs

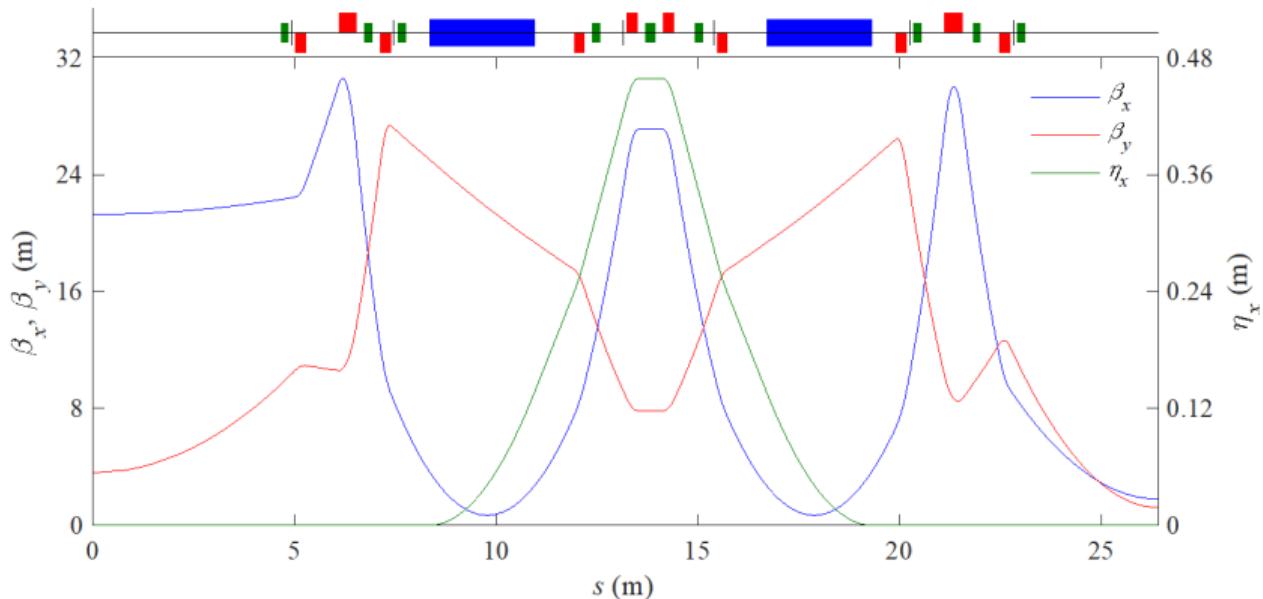
Daily Amp Hours: 10.4 mAh



Şekil 9. NSLS II İşlem durumu [11].

	Bare Lattice	3DW Lattice	All-ID Lattice
Energy (GeV)		3.0	
Circumference (m)		791.958	
Emittance $\epsilon_x$ (pm-rad)	2086	957	747
Energy Spread $\sigma_\delta$ (%)	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	
$\beta_x, \beta_y$ at Long Straight Center (m)		20.1, 3.4	
$\beta_x, \beta_y$ at Short Straight Center (m)		1.8, 1.1	
Betatron Tunes $v_x, v_y$		33.22, 16.26	
Natural Chromaticity $\xi_x, \xi_y$	-98.5, -40.2	-98.4, -39.8	-98.4, -39.9
Momentum Compaction $\alpha_c$		0.000363	
Radiation Damping Time $\tau_x, \tau_y, \tau_z$ (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 10. NSLS-II hızlandırıcı parametreleri [12].



Şekil 11. NSLS-II Örgü fonksiyonları [12].

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 konumlandırma yanısıra teorik simülasyonlar üzerinde çalışan uzmanlardan oluşan bir ekibe sahiptir [3].

Brookhaven Ulusal Laboratuvarı'ndaki Ulusal Sinkrotron İşinim 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 ölçekli 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 12. 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	Magnetspectroscopy, 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 <sup>1</sup>
SXN	29-ID-2	Soft X-ray Nanoprobe <sup>1</sup>

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

## 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 14. 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 <sup>1</sup>
PDF	28-ID-1	Pair Distribution Function
XPD	28-ID-2	X-ray Powder Diffraction

Şekil 15. Demet hatları ve kullanıldığı bilim programı [12].

## 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 <sup>1</sup>
FXI	18-ID	Full Field X-ray Imaging

Şekil 16. Demet hatları ve kullanıldığı bilim programı [12].

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

# 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](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.

## Kaynakça (cont.)

- [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.

## Kaynakça (cont.)

- [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.