

# ROSATOM NEWSLETTER

## 01.

### HİKAYELER

Enerji Ünitelerinde Büyüyen Yeni Nesil Rosatom, Kuzey Deniz Rotası'nda Yıl Boyu Operasyonları Destekliyor  
Test: Küçük Modüler Reaktörler (SMR) Hakkında Ne Biliyorsunuz?



## 02.

### TRENDLER

Uranyum: Kıtık mı Fazlalık mı?

## 03.

### BÖLGESEL HABERLER

**Türkiye.** Yeşil Bir Ekosistem İnşa Etmek



# Enerji Ünitelerinde Büyüyen Yeni Nesil

Nisan ayı sonunda, Bangladeş'teki Rooppur 1. Ünitesi'nde ilk kritiklik aşamasına ulaşılması için hazırlıklar başladı. Bu gelişme; ülke, Rosatom ve küresel nükleer topluluk için dönüm noktası niteliğinde bir olay oldu. Rosatom'un enerji üniteleri dünyanın dört bir yanında yükseliyor: Rus nükleer şirketi, yurt dışındaki nükleer santral inşaatlarında dünya lideri konumunu koruyor. İşte Rosatom'un inşaat sahalarındaki son gelişmelere genel bir bakış.



## Rooppur NGS (Bangladeş)

Nisan ayı sonunda, ilk kritiklik öncesindeki kilit aşamalardan biri olan nükleer yakıt yükleme işlemi 1. Üniteye başladı. "Bugün Bangladeş, sürdürülebilir kalkınma için güvenilir bir kaynak olan barışçıl nükleer enerjiyi kullanan ülkeler arasına katılmıştır. Rooppur NGS'nin ülkenin enerji sisteminin kritik bir unsuru hâline geleceğine şüphe yoktur. Bu proje, Rosatom için küresel nükleer enerjinin geliştirilmesi ve uluslararası ortaklarımızla dostane ilişkilerin güçlendirilmesi adına bir başka önemli adımdır," dedi Rosatom Genel Müdürü Alexey Likhachev.



"Rooppur NGS projesi, Bangladeş'in bilimsel ilerlemesinin bir simgesidir ve ülkenin ileri teknolojileri sorumlu ve verimli biçimde

benimsemeye hazır olduğunu göstermektedir," dedi Bangladeş Bilim ve Teknoloji Bakanı Faki Mahub Alam.

Nükleer santral, VVER-1200 reaktörlerine sahip iki güç ünitesinden oluşacak.

## El Dabaa NGS (Mısır)

Ocak ayında, 1. Ünite için bir buhar türbini ve kutup vinci köprüsü Mısır'a teslim edildi. Aynı ünite için reaktör kabını sabitleyen yapı olan tutucu halka ise mart ayında teslim edildi. Reaktörün basınç dengeleme sisteminin bir parçası olan basınçlandırıcı tahliye tankı da kuruldu. Reaktör binasının inşası devam ediyor; iç koruma kabuğunun (ICS) dördüncü katmanının montajı ve reaktör çukuru kaplama çalışmaları sürüyor.

2. ünite, +0.100 kotundaki reaktör binası taban döşemesinin ve taşıma hava kilidi köprüsü temel döşemesinin betonlama işlemi ocak ayında tamamlandı. Şubat ayında, reaktör çukuru için koruma sistemi kuruldu ve çalışanlar reaktör binasının ICS yapısının dördüncü katmanının betonlama çalışmalarına başladı. Mart ayında ise taşıyıcı çerçeve monte edildi.

3. ünite, ICS'nin ilk katmanı için ilk betonlama aşaması şubat ayında tamamlandı.

Bu nükleer santralde VVER-1200 reaktörlerine sahip

dört güç ünitesi inşa ediliyor.

### Akkuyu NGS (Türkiye)

1. ünite, yüklü sahte yakıt demetleri kullanılarak gerçekleştirilen soğuk ve sıcak fonksiyon testleri için hazırlıklar tamamlanma aşamasına yaklaştı. Bu yılın temel hedefi, ilk kritiklik aşamasına ve sonrasındaki işletme faaliyetlerine geçiş yapmaktır.

2. ünite, pasif çekirdek soğutma sistemi için hidroakümülatörler nisan ayında reaktör binasına yerleştirildi. Her bir akümülatör, borik asitli sulu çözelti ile doldurulacak ve birincil soğutma devresindeki basınç düşmesi durumunda çekirdeği soğutmak için çözelti otomatik olarak reaktör çekirdeğine enjekte edilecek. Bunun ardından, iç koruma kabuğunun (ICS) altıncı katmanının ve kubbesinin montajına başlanacak.

Mart ayında, 4. Ünitenin reaktör çukuruna bir tutucu çerçeve yerleştirildi. Bir sonraki aşama, reaktör çukurunun özel sınıf betonla doldurulmasını içeriyor.

Bu nükleer santralde VVER-1200 reaktörlerine sahip dört güç ünitesi inşa ediliyor.

### Paks NGS (Macaristan)

Paks II 5. Ünitenin inşaat sahasında, çalışanlar 5 Şubat tarihinde reaktör binasının temel plakası için beton dökümüne başladı. Bu tarihten itibaren ünite, UAEA standartlarına göre resmî olarak "inşa hâlinde" sınıfına alındı. Betonlama çalışmaları 2026 sonuna kadar kesintisiz devam edecek. Temel plakası için yaklaşık 9.000 ton donatı çeliği ve 43.000 metreküp beton karışımı gerekecek. Çalışmalar, en yüksek kaliteyi sağlamak amacıyla her aşamada izlenecek. Bir sonraki aşama, reaktör binasının iç ve dış koruma kabuklarının montajı olacak.



Santral tasarımı, VVER-1200 reaktörlerine sahip iki ünite öngörmektedir.

### Kudankulam NGS (Hindistan)

Nisan ayında, 3. Ünite güvenlik sistemlerinin açık reaktör yıkama işlemi başladı. Bu süreç, montaj sonrasında boru hatlarında kalan kalıntıları temizler ve pompa üniteleri, proses güvenlik sistemleri ile normal işletme sistemlerinin çalışmasını test eder.

Nükleer santral hâlihazırda iki ünite işletmektedir ve tamamı VVER-1000 reaktörlerine sahip dört ünite daha inşa edilmektedir.

### Özbek NGS (Özbekistan)

Özbekistan'ın Cizzah Bölgesi'nde inşa edilecek RITM-200N güç ünitesinin reaktör binası için beton yatak döşendi. Temel tabanının tesviye edilmesi ile su yalıtım ve topraklama sistemlerinin kurulmasının ardından yaklaşık 900 metreküp beton karışımı döküldü. Sahadaki bir sonraki önemli aşama – reaktör binası temel plakası için ilk beton dökümü – Haziran 2026 için planlandı.

Santral tasarımı, VVER-1000 reaktörlerine sahip iki ünite ve RITM-200N küçük modüler reaktörlerine sahip iki ünite öngörmektedir.

### Tianwan ve Xudabao NGS'leri (Çin)

Tianwan 7. Ünite ile Xudabao 3. Ünitenin inşası tamamlanma aşamasına yaklaşıyor. Çinli mühendisler bu ünitelerde devreye alma öncesi operasyonları yürütüyor. Bir sonraki aşama, Tianwan 7. Ünite nükleer yakıt yüklemesi olacak.

Her iki santral de VVER-1200 reaktörlerine sahip iki üniteye sahip olacak. Tianwan NGS hâlihazırda VVER-1000 reaktörlerine sahip dört ünite işletmektedir.

### Rusya'daki Nükleer Santraller

Rosatom, Kursk ve Leningrad NGS sahalarında ikişer güç ünitesi inşa ediyor. Ayrıca "Proryv" (Atılım) projesi kapsamında BREST-OD-300 hızlı nötron reaktörüne sahip bir ünite de inşa ediliyor. Smolensk, Beloyarsk ve Primorye NGS sahalarında, ayrıca Yakutya küçük modüler reaktör santralinde reaktör inşaatının resmî başlangıcı için hazırlıklar sürüyor.

# Rosatom, Kuzey Deniz Rotası'nda Yıl Boyu Operasyonları Destekliyor

Güney rotaları üzerinden gerçekleştirilen uluslararası kargo taşımacılığındaki aksaklıklar nedeniyle, Kuzey Deniz Rotası (NSR) gibi alternatif seçeneklerin kullanımı giderek daha önemli hâle geliyor. Uluslararası oyuncuların giderek artan bir kısmı NSR üzerinden taşımacılığa ilgi gösteriyor. Rotanın altyapı işletmecisi olarak Rosatom, yıl boyunca seferlerin sürdürülmesini sağlamak amacıyla çalışmalarını artırıyor.



Petrol piyasası – ve daha geniş anlamda lojistik piyasası – bu yılın şubat ayından beri sürekli bir çalkantı içinde bulunuyor. Birçok sevkiyat engellendi ve Babülmendep Boğazı üzerinden yapılan taşımacılık ciddi riskler taşımaya başladı. 2021 yılında Süveyş Kanalı'nda bir konteyner gemisinin karaya oturmasıyla yaşanan taşımacılık çöküşünün etkileri de hâlâ hafızalarda tazeliğini koruyor. Tüm bu gelişmeler, taşımacılık ve lojistik şirketlerini Avrupa ile Asya arasında alternatif ulaşım yolları aramaya zorluyor. Seçenekler arasında Afrika'nın etrafından dolaşmak veya kara demiryolu ağlarını kullanmak bulunuyor. Ancak başka bir alternatif daha var: Kuzey Deniz Rotası.

"Giderek daha fazla ülke ve şirket, taşımacılığın hızı ve maliyetinin ötesini düşünmeye başladı – krizlere, askerî çatışmalara ve diğer dış risklere daha az açık olan ulaşım yollarının ve lojistik zincirlerinin güvenliği ile dayanıklılığı belirleyici faktör hâline geliyor. Rusya dünyaya bu tür çözümler sunabilir," dedi Rusya Devlet Başkanı Vladimir Putin, bu yılın nisan ayı başında St. Petersburg'da düzenlenen ilk Uluslararası Taşımacılık ve Lojistik Forumu'na (ITLF) gönderdiği video mesajında.

NSR'nin temel avantajı, Doğu Asya ile Batı Avrupa arasındaki taşımacılık hatları için daha kısa transit süresi sunmasıdır (yaklaşık 20 gün). Karşılaştırma yapmak gerekirse, Süveyş Kanalı üzerinden rota 30–35 gün sürerken Afrika'nın çevresinden dolaşmak 40–45 gün almaktadır.



## Yıl Boyu Denizcilik Dönemi Çok Yakında

Kısa seyrüsefer sezonu, NSR trafiği için eskiden büyük bir zorluktu ancak bu sorun son yıllarda aktif biçimde ele alındı. Bu yıl Kara Denizi'ndeki buz

koşulları geçen yıla göre daha ağır seyrediyor. “Buna rağmen, NSR’nin batı sektöründeki mevsimsel seyrüsefer neredeyse düzenli bir otobüs hattı gibi tam takvimine uygun şekilde ilerliyor,” dedi Rosatom’un Arktik Kalkınma Özel Temsilcisi Vladimir Panov, ITLF’de yaptığı açıklamada.

Atomflot’un nükleer buz kırıcıları eşliğinde deneysel ultra erken ve ultra geç seferler gerçekleştirildi. “Christophe de Margerie sınıfı gaz taşıyıcıları ve buz kırıcıların deneyim ve kabiliyetlerine dayanarak NSR’nin doğu sektöründeki seyrüsefer süresini önemli ölçüde genişlettik,” dedi NSR Denizcilik Konseyi Başkanı Sergey Frank forumda yaptığı açıklamada.

“Buz sınıfına sahip olmayan gemiler de dâhil olmak üzere gemilerin güvenli geçişini sağlamak amacıyla buz kırıcıları hazır bekleme görevine aldık.” “NSR’nin doğu kısmının geliştirilmesi ve yıl boyu seyrüsefere geçiş, tahmin ettiğimizden daha erken gerçekleşebilir,” diye belirtti Vladimir Panov.

Deneme seferleri bu yıl içinde başlayacak. Sovcomflot, 2026 yılında tüm NSR boyunca yıl boyu faaliyet gösterecek iki adet daha Arc7 buz sınıfı LNG taşıyıcısını teslim almayı planlıyor. “Bu, insanlık tarihinde ilk kez gerçekleşecek.” “2026–2027 seyrüsefer sezonunda yıl boyu hizmet organize etmeyi planlıyoruz,” dedi Sovcomflot CEO’su Igor Tonkovidov, ITLF’de yaptığı açıklamada. 2028–2030 yıllarına kadar, NSR üzerindeki yüksek buz sınıfına sahip gemiler için geçiş aralığının 12 saate kadar düşürülebileceğine Sergey Frank inanıyor.



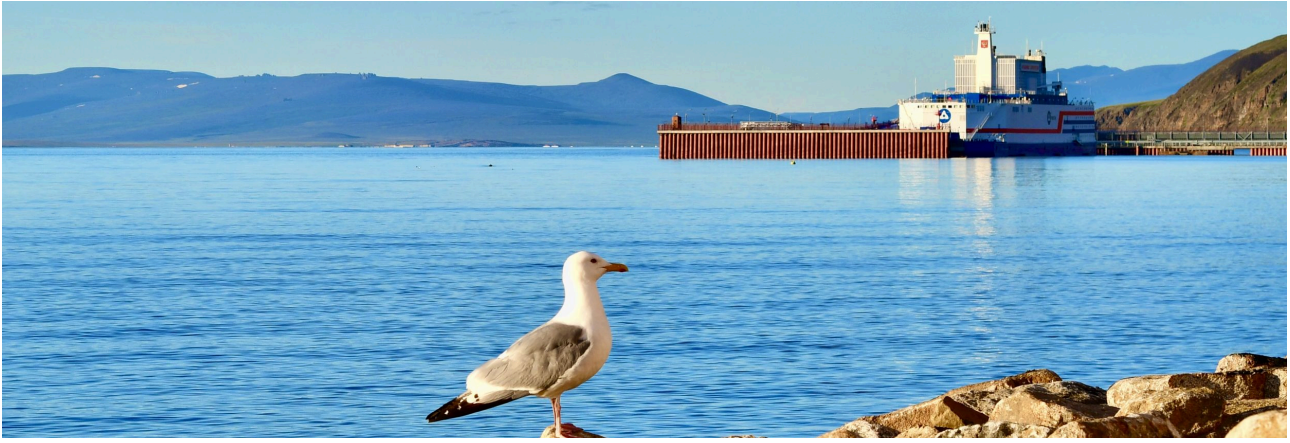
Yıl boyu seyrüseferin sağlanmasında buz kırıcılar kilit rol oynayacak. Hâlihazırda Arktik bölgesinde faaliyet gösteren sekiz nükleer enerjiyle çalışan buz kırıcı bulunuyor. Bunların dördü yeni çok amaçlı Proje 22220 buz kırıcılarıdır. Bu tasarıma sahip üç buz kırıcı daha (Chukotka, Leningrad ve Stalingrad) hâlen inşa ediliyor. Proje 10510 serisinin lider buz kırıcı olan Rossiya da inşa ediliyor. Bu gemi, özellikle NSR üzerinde yıl boyu seyrüsefer için tasarlandı ve dünyanın en güçlü buz kırıcı olacak.

NSR’ye yönelik uluslararası ilgi artıyor. Çinli şirketler birkaç yıldır konteyner taşımacılığı yapıyor ve kargo hacimlerini artırıyor. Geçen yıl, Çin’den Batı Avrupa’ya ilk kez NSR üzerinden bir transit sefer gerçekleştirildi. Doğu ve Güney Asya’daki diğer ülkelerden de rotaya yoğun ilgi gösteriliyor. Bu ülkelerden biriyle, eylül ayında gerçekleştirilmesi planlanan ilk konteyner seferi için görüşmeler sürüyor.

Rosatom Genel Müdürü Alexey Likhachev’in ITLF’de açıkladığına göre, bu yılki kargo trafiği önceki rekorların %15 üzerine çıktı. Likhachev ayrıca bu yıl rakamın 40 milyon ton seviyesini aşacağı yönündeki umudunu da dile getirdi.

# Test: Küçük Modüler Reaktörler (SMR) Hakkında Ne Biliyorsunuz?

Küçük modüler reaktörler (SMR), Rosatom'un amiral gemisi projelerinden biridir. Bu durum şaşırtıcı değildir; çünkü Rus nükleer şirketi, tarihte yüzer nükleer güç santrali inşa eden ilk ve şu ana kadar tek şirkettir. Ve elbette, bu Rosatom'un tek SMR projesi değildir. Rus küçük modüler reaktörleri hakkındaki bilginizi test edelim.



**1. Dünyadaki tek faal yüzer nükleer güç santralinin (FNPP) adı nedir?**

- a) Arktika
- b) Sevmorput
- c) Akademik Lomonosov
- d) Arctic Circle
- e) North Wind

**2. Bu FNPP'de hangi tip reaktör kuruludur?**

- a) VVER 1000
- b) RBMK-1000
- c) BN-800
- d) KLT-40S
- e) RITM-200

**3. Bu FNPP'de bulunan iki reaktörün nominal elektrik gücü nedir?**

- a) 30 MW
- b) 50 MW
- c) 70 MW
- d) 85 MW
- e) 100 MW

**4. Rosatom tarafından şu anda geliştirilmekte olan 10 MW'lık reaktör santralinin adında hangi coğrafi terim kullanılmaktadır?**

- a) Resif
- b) Kıta Sahanlığı
- c) Ada
- d) Sahil
- e) Burun

**5. Rosatom'un amiral gemisi küçük modüler reaktörü RITM-200'dür. Bu reaktörler hâlihazırda 400'den fazla reaktör-yıl işletme deneyimini nerede biriktirmiştir?**

- a) Araştırma merkezlerinde
- b) Nükleer denizaltılarda
- c) Bilibino Nükleer Güç Santrali'nde
- d) En yeni nükleer buz kıranlarda
- e) Henüz bu kadar uzun süreli deneyim elde edilmedi

**6. Rosatom, Özbekistan'da kaç adet RITM-200N reaktör ünitesi inşa edecek?**

- a) 2
- b) 3
- c) 4
- d) 0
- e) 8

**7. Yüzer güç üniteleri için tasarlanan RITM-200S reaktörlerinin yakıt yenileme işlemi ne sıklıkla gereklidir?**

- a) Her yıl
- b) Her 2 yılda bir
- c) Her 3 yılda bir
- d) Her 5 yılda bir
- e) Her 10 yılda bir

**8. Aşağıdaki soğutuculardan hangisi Rosatom tarafından geliştirilen SMR tasarımlarında değerlendirilmemektedir?**

- a) Ağır su
- b) Kurşun-bizmut
- c) Helyum
- d) Hafif su
- e) Kurşun

**9. UAEA'nın küçük modüler reaktör sınıflandırmasına giren BREST-OD-300 projesinde hangi tip reaktör kullanılmaktadır?**

- a) Basınçlı su reaktörü (PWR/VVER)
- b) Kaynar su reaktörü (BWR)
- c) Yüksek sıcaklıklı gaz soğutmalı reaktör (HTGR)
- d) Sodyum soğutmalı hızlı nötron reaktörü
- e) Kurşun soğutmalı hızlı nötron reaktörü

**10. SMR'lerin, izole ve ulaşılması zor bölgelerdeki tüketiciler için özellikle önemli olan avantajı hangisidir?**

- a) Yüksek derecede fabrika ön üretimi
- b) Kompakt yapı
- c) Sıfır emisyon
- d) İklim ve hava koşullarındaki dalgalanmalara karşı kararlı üretim ve dayanıklılık
- e) Yukarıdakilerin hepsi

**Doğru cevaplar:**

1. **Akademik Lomonosov.** Akademik Lomonosov, dünyadaki tek faal yüzer nükleer güç santralidir. Santral, Rusya'nın en kuzeydeki şehri olan ve Kuzey Kutup Dairesi'nin üzerinde, sürekli donmuş toprak bölgesinde yer alan Pevek limanına demirlenmiştir. Adını büyük Rus bilim insanı Akademisyen Mihail Lomonosov'dan alan santral, ilk kez 19 Aralık 2019 tarihinde şebekeye bağlandı.

2. **KLT-40S.** Akademik Lomonosov gemisinde iki adet KLT-40S basınçlı su reaktörü kuruludur. Bu reaktörler, Sevmorput LASH taşıyıcısında kullanılan KLT reaktör hattının ve Taimyr ile Vaigach nükleer buz kıranlarında kurulu KLT-40M reaktörlerinin devamı ve gelişmiş versiyonunu temsil etmektedir.

3. **70 MW.** Nominal koşullar altında iki KLT-40S reaktörü, kara şebekesine 70 MW elektrik ve bölgesel su ısıtması için saatte 50 Gcal'e kadar termal enerji sağlayabilmektedir. Bu miktar, yaklaşık 100.000 kişilik bir nüfusa elektrik sağlamak için yeterlidir.

4. **Kıta sahanlığı.** Rosatom, uzak bölgeler, açık deniz platformları ve kıyı tesislerine enerji sağlamak amacıyla tasarlanan küçük modüler reaktör santrali Shelf-M tasarımını (yaklaşık 10 MW) geliştiriyor.

5. **En yeni nükleer enerjiyle çalışan buz kıranlarda.** En yeni Proje 22220 nükleer buz kıranlarının tamamı RITM-200 reaktörleriyle donatılmıştır. Bu reaktörlerin tasarımı, yaşam döngüsünün her aşamasında yüksek verimlilik ve güvenlik sağladığını kanıtlamıştır.

6. **İki ünite.** Bu yılın mart ayında Rosatom ve Uzatom, ülkenin ilk nükleer güç santrali için yeni entegre yapılandırmayı içeren sözleşme ek protokolünü imzaladı. Santral; VVER-1000 reaktörlerine sahip iki büyük güç ünitesi ile her biri 55 MW kapasiteye sahip RITM-200N reaktörlü iki küçük modüler reaktör (SMR) ünitesinden oluşacaktır. Nükleer santral tam kapasiteyle çalıştığında yılda yaklaşık 17,2 milyar kWh elektrik üretecek ve Özbekistan'ın toplam elektrik tüketiminin %14'üne kadarını karşılayacaktır.

7. **Her beş yılda bir.** Reaktör, yakıt yenilemesi olmadan beş yıla kadar çalışabilecek. Santral sahasında nükleer yakıt işlemleri planlanmamaktadır; tüm bu işlemler uzmanlaşmış bir tesiste gerçekleştirilecektir.

8. **Ağır su.** Rosatom; hafif su, kurşun, kurşun-bizmut ve helyumu soğutucu olarak kullanan SMR'ler geliştirmektedir ancak ağır su kullanılmamaktadır.

9. **Kurşun soğutmalı hızlı nötron reaktörü.** BREST-OD-300, birincil soğutucu olarak kurşun kullanan yenilikçi bir hızlı nötron reaktörüdür. Tasarım, içsel güvenlik konseptini ve kapalı nükleer yakıt döngüsünü uygulamaktadır.

10. **Yukarıdakilerin hepsi.** SMR'ler, geleneksel nükleer santrallere kıyasla çeşitli önemli avantajlar sunar: yüksek düzeyde fabrika ön üretimi, kompakt yapı, zararlı atmosferik emisyonların olmaması ve istikrarlı enerji arzı. Bu tür santrallerde enerji üretimi iklime veya mevsime bağlı değildir.

# Uranyum: Kıtık mı Fazlalık mı?

Tüm paydaşların sorduğu temel soru, uranyum madenciliği sektörünün büyüyen nükleer reaktör filosunun ihtiyaçlarını karşılayıp karşılayamayacağıdır. Şu anda kesin bir cevap bulunmuyor: uranyum kaynakları bol miktarda mevcut ancak üretim talebin gerisinde kalabilir.



Dünya Nükleer Birliği (WNA) tarafından yayımlanan referans senaryo, reaktör filosunun mevcut 372 GW seviyesinden 2030 yılına kadar 449 GW'a ve 2040 yılına kadar 746 GW'a çıkacağını; bunun da yıllık ortalama %5,3 büyüme oranına karşılık geldiğini varsayıyor. 2023 tahminiyle karşılaştırıldığında, 2040 yılına kadar özellikle Doğu ve Güney Asya'da ve nükleer enerjiye yeni başlayan ülkelerde ilave 60 GW yeni kapasite beklenmektedir. Büyüyen reaktör filosu, nükleer yakıtın temel hammaddesi olan doğal uranyuma yönelik talebi artıracaktır. WNA referans senaryosunda bu talep, mevcut 67.000 ton seviyesinden 2040 yılına kadar yılda 150.000 tonun üzerine çıkmaktadır. Doğal uranyum için arz-talep dengesini değerlendirmek amacıyla, talep tarafındaki çeşitli faktörlerin dikkate alınması gerekir.

## Kaynaklar durağan kalıyor

IAEA ve OECD/NEA tarafından iki yılda bir yayımlanan 2024 baskısı *Uranium: Resources, Production and Demand* (Kırmızı Kitap), yerinde uranyum kaynaklarının toplamını 10,7 milyon tonun üzerinde olarak belirlemiştir. Madencilik ve işleme kayıpları dikkate alındığında geri kazanılabilir kaynaklar 7,9 milyon tonu aşmaktadır.

**Belirlenen yerinde uranyum kaynakları toplamı 10,7 milyon tonun üzerindedir.**

İlk bakışta, bu kaynaklar önümüzdeki 50 yıl boyunca nükleer güç ünitelerinin gelecekteki ihtiyaçlarını karşılamak için yeterli görünmektedir. Ancak, geri kazanım maliyeti 80 USD/kg'ın altında olan uranyum kaynakları azalıyor ve şu anda toplam kaynakların yalnızca yaklaşık dörtte birini oluşturuyor. Dünya genelindeki toplam uranyum rezervleri %28 artmış olsa da, <80 USD/kg kategorisindeki kaynaklar %44 oranında azaldı. Ayrıca, bu kategorideki kaynakların yaklaşık %90'ı işletmede olan veya inşaat hâlindeki madenlere aittir. Bu durum; kaynakların büyük bir kısmının yeterince araştırılmamış olduğu, <80 USD/kg maliyetle çıkarılabilecek kaynakların henüz keşfedilmediği veya doğada aslında bulunmadığı anlamına gelebilir.

<40 USD/kgU kategorisindeki kaynaklar da azalmıştır. Özbekistan ve Brezilya'daki kaynakların 103.000 tonluk yeniden değerlendirilmesinin ardından, bu kategori %20 oranında düştü. En yüksek geri kazanım maliyetine sahip (<260 USD/kg) kaynaklar; Kamerun, Mısır, Hindistan, Pakistan ve Suudi Arabistan'daki yeni veya daha önce hesaba katılmamış kaynakların eklenmesi nedeniyle %2 arttı ancak Nijer'deki Imouraren yatağı ile Orta Afrika Cumhuriyeti'ndeki Bakouma sahasının Orano tarafından yeniden değerlendirilmesi nedeniyle neredeyse aynı miktarda azaldı. Sonuç olarak, toplam belirlenmiş kaynaklar yalnızca %0,2 artarak neredeyse değişmeden kaldı.

Uranyum madenciliği şirketleri arasında Rosatom, Rusya, Kazakistan, Tanzanya ve Namibya'daki varlıkları sayesinde toplam araştırılmış kaynaklar bakımından lider konumdadır. Onu Kazakistan'ın Kazatomprom şirketi, Fransa'nın Orano şirketi, Kanada'nın Cameco şirketi ile Çin'in CNNC ve CGN

şirketleri takip etmektedir. Kazatomprom, geri kazanım maliyeti 80 USD/kgU'nun altında olan en büyük kaynaklara sahiptir. Rosatom ikinci sırada yer almakta olup onu Cameco, CNNC, CGN ve Orano izlemektedir.

## Uranyum madenciliği şirketleri arasında Rosatom, toplam araştırılmış kaynaklarda liderdir.

### Üretim artışta

Uranyum üretiminde dünya lideri olmaya devam eden Kazatomprom, üretimi artırıyor. Kazakistan 2023 yılında 21.109 ton uranyum üretmişken, bu rakam 2025 yılında 25.839 ton ile rekor seviyeye ulaşmış ve 2024'e göre %11 artış göstermiştir. 2026 yılında üretimin 27.500–29.000 ton uranyuma ulaşması hedeflenmektedir.

Bu üretim artışı, Budenovskoye yatağının (6 ve 7 numaralı bloklar) yıllık 6.000 tonluk tasarım kapasitesine ulaşmasıyla bağlantılıdır. 2025 yılında Kazatomprom, 83.100 ton uranyum rezervine sahip Inkai-3 projesinde pilot işletmeyi başlattı. Pilot aşamanın dört yıl sürmesi planlanmaktadır. Ticari işletmenin 2030–2032 yıllarında başlaması ve yıllık 4.000 ton uranyum üretim kapasitesine ulaşması planlanmaktadır.

2025 yılında Yeraltı Kaynakları Yasası'nda yapılan değişikliklerle, Kazatomprom'un yeni yeraltı kaynak kullanım sözleşmelerindeki payının en az %75 ve sözleşme uzatmalarında %90 olması güvence altına alındı. 2026'dan itibaren mineral çıkarma vergisi oranları, her yeraltı kaynak kullanım anlaşması kapsamındaki gerçek yıllık üretime ve uranyumun geçerli spot fiyatına bağlı olarak değişecektir.

Kanada'da, McArthur River ve Cigar Lake olmak üzere iki yeraltı madeni 2025 yılında faaliyeteydi. 2025 yılının ortasında, Orano'nun Kanada'daki iştiraki, SABRE (Surface Access Borehole Resource Extraction) teknolojisini kullanarak McClean Lake madeninde uranyum çıkarımına başladı. McClean Lake madeninin ortak sahiplerinden Denison Mines'a göre, 2025 yılında 250 ton uranyum üretildi.

Namibya'da üç madenden (Husab, Rössing ve Langer Heinrich) elde edilen üretim, 2024 yılında 7.332 tona

ulaştı (küresel üretimin %12'si). Son yedi yılda Husab ve Rössing istikrarlı üretim seviyelerini korudu ve 2024 yılında sırasıyla 4.437 ton ve 2.205 ton uranyum üretti. Langer Heinrich madeni 2024 yılında 690 ton, 2025 yılında ise yaklaşık 1.540 ton uranyum üretti.

Özbekistan son birkaç yıldır üretimi artırıyor. 2025 yılı için ön hedef 6.000 ton uranyumdur. 2030 yılına kadar ülke yılda 7.000 tonun üzerinde üretim yapmayı planlıyor. SRK Consulting raporuna göre, Navoiyuran'ın 1 Ocak 2025 itibarıyla mineral kaynak tabanı yaklaşık 116.000 ton uranyum seviyesindeydi. Ancak şirketin 40 yatağının hiçbirinde 10.000 tonun üzerinde uranyum kaynağı bulunmuyor; en büyük yatakların kaynakları 4.000 ile 9.000 ton arasında değişiyor.



Avustralya'da, 2025 yılındaki üretimin 2024'e göre biraz daha yüksek olması bekleniyor. BHP'nin Olympic Dam madeni yılda düzenli olarak yaklaşık 3.000–3.400 ton uranyum üretmektedir. 2025 takvim yılı da istisna olmadı ve üretim 3.479 tona ulaştı.

Rusya'da uranyum üretimi 2024 yılında 2.738 ton olarak gerçekleşti. Rosatom'un madencilik iştirakleri üretim hedeflerini %100 oranında karşıladı. "Rosatom, onlarca yıl yetecek kendi mineral kaynak tabanına sahiptir ve küresel uranyum piyasasında lider konumlarda yer almaktadır," dedi Rosatom Genel Müdürü Alexey Likhachev, *Strana Rosatom* gazetesine verdiği demeçte.

Çin'de ön veriler, yaklaşık 2.200 ton uranyum üretildiğini göstermektedir. 2025 yılında Çin, dört sahada uranyum çıkardı (üçü yerinde geri kazanım yöntemiyle ve biri yeraltı madeni). Yüksek üretim maliyetleri nedeniyle üç yeraltı madenindeki faaliyetler durduruldu. Çin Ulusal Nükleer Şirketi'ne (CNNC) göre, Ordos Havzası'ndaki yeni National Uranium No.1 madeninde 2025 yılında pilot uranyum üretimi başladı. Tesisin tasarım kapasitesi yılda 1.000 ton uranyumdur.

## Yaklaşan kapanışlar

Kaynak tabanının başarılı şekilde araştırılması ve genişletilmesi olmadan üretim artışı, 2030 ile 2040'ların sonları arasında işletmedeki madenlerin kapanmasına yol açacaktır. Bu durum öncelikle 2000'li yılların başında devreye alınan yataklar için geçerlidir.

Bu beklenti doğrultusunda uranyum üreticileri son dönemde yeni kaynaklar geliştirmek için adımlar atmıştır. Rosatom da bunlardan biridir. "Temel görevimiz, Rus nükleer enerji sektörünün ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla uranyum kaynak tabanını genişletmektir. Kaynak tabanının geliştirilmesi için Federal Mineral Kaynakları Ajansı ile Doğal Kaynaklar ve Çevre Bakanlığı arasında bir çalışma grubu kurulması konusunda anlaşmaya vardık. 2026 yılında Shirondukskoye yatağındaki sermaye çalışmalarının büyük kısmını tamamlayacağız ve bu sayede 2028'den itibaren yaklaşık 400 ton uranyum çıkarılması mümkün olacak. Priargunsky Endüstriyel Madencilik ve Kimya Birliği'nde (PIMCU) 6 No'lu Madende tünel çalışmalarına başlayacağız. Elkon projesini askıdan çıkarmak için her türlü çabayı göstereceğiz," dedi Rosatom Nedra Birinci Genel Müdür Yardımcısı ve İdari Direktörü Victor Svyatetsky, *Vestnik Atomproma* dergisine verdiği demeçte.

Kazatomprom başka bir örnektir. Şirket, Ocak 2025'te güncellenen 2025–2034 kalkınma stratejisinde; araştırma faaliyetleri ve operasyonel optimizasyon yoluyla mineral kaynak tabanını yenilemeyi ve verimli biçimde kullanmayı hedeflediğini açıkladı.

Dolayısıyla uzun vadede kazananlar, madenleri için rezervleri en iyi şekilde güvence altına alan uranyum madenciliği şirketleri olacaktır.



## Sektördeki engeller

Üretim artışı, yeni kapasitelerin devreye alınması ve hatta keşif faaliyetleri; ekonomik, düzenleyici, sosyal

ve diğer sorunlar nedeniyle sıklıkla engellenmektedir. Bu durumlar, yeni sahaların hazırlanması için gereken süreyi ve maliyetleri artırmaktadır.

Temel sorunlardan biri enflasyondur. Ekipman, dizel yakıt, elektrik ve sülfürik asit fiyatları yükselirken personel maliyetleri de artmaktadır. Ayrıca faiz oranları yükselmiş, bu da banka finansmanını daha zor ve daha pahalı hâle getirmiştir.

Bazen iş gücü, ekipman veya kimyasal madde eksikliği sorun hâline gelmektedir. Örneğin, Kanada'daki McArthur River madeninin yeniden faaliyete geçirilmesi; nitelikli personel işe alımındaki ve uzun süre atıl kalan ekipmanların yeniden devreye alınmasındaki zorluklar nedeniyle yavaşlamıştır. Kazakistan'da üretim, sülfürik asit eksikliği ve yardımcı altyapının inşasındaki gecikmeler nedeniyle düşmüştür.

Karmaşık düzenleyici prosedürler de yeni projelerin başlamasında engel oluşturmaktadır. Bazı ülkelerde izin süreçleri on yılı aşabilmektedir. Şirketler fizibilite çalışmalarını güncellemek ve nihai yatırım kararlarını ertelemek zorunda kalmaktadır. Yerel toplulukların muhalefeti, Avustralya'daki Jabiluka yatağında olduğu gibi bir maden projesinin iptal edilmesine yol açabilmektedir.

Siyaset de rol oynamaktadır. Bunun en çarpıcı örneği, Nijer'deki madenlerin devlet kontrolüne geçmesi ve ardından Fransa'nın Orano şirketiyle yaşanan anlaşmazlıklardır.



## Bazı çıkarımlar

Önümüzdeki on yıllarda, küresel nükleer enerji sektörünün hammadde ihtiyacının büyük bölümü birincil doğal uranyum madenciliğiyle karşılanacaktır. WNA tahminlerine göre bu talep 2040 yılına kadar 150.000 tona ulaşacaktır. Ancak belirlenmiş tüm kaynaklardan elde edilecek üretim o tarihe kadar yalnızca 70.000 tona ulaşacaktır. Faaliyetteki madenlerde üretim, kaynak tükenmesi nedeniyle mevcut 60.200 ton seviyesinden 29.500 tona düşerek yarıya inecektir. Daha önce kapatılmış, inşa

hâlindeki ve planlanan yeni madenlerin devreye alınması, devreden çıkan kapasiteleri kısmen telafi edecek ve üretimi 50.000 tona kadar çıkaracaktır. 2030'dan itibaren potansiyel madenlerin devreye alınması, 2040 yılına kadar ilave 20.000 ton daha sağlayabilir ancak bunların geleceği riskli ve belirsiz olmaya devam etmektedir. 2024–2040 yılları arasında belirlenmiş ikincil kaynaklardan sağlanacak arz, yaklaşık 5.000 ton daha uranyum sağlayacaktır.

Dolayısıyla, yer altında yeterli uranyum kaynağı bulunmasına rağmen, 2040 yılında uranyuma yönelik talep belirlenmiş kaynaklardan sağlanabilecek arzı 75.000 ton aşabilir. Bu talebin, "belirlenmemiş kaynaklar" olarak adlandırılan kaynaklardan karşılanması beklenmektedir. Bunlar arasında hesaba katılmamış ikincil kaynaklar ile şirketlerin henüz plan açıklamadığı atıl madenler ve geliştirilmemiş yataklar bulunmaktadır.

Mevcut durum göz önüne alındığında, yeni uranyum varlıklarını nükleer yakıt döngüsüne kazandırmak için jeolojik keşif çalışmalarında büyük çabalar, ileri madencilik teknolojilerinin uygulanması, daha fazla yatırım ve iyileştirilmiş bir düzenleyici ortam gerekecektir.

### Rosatom'un konumu

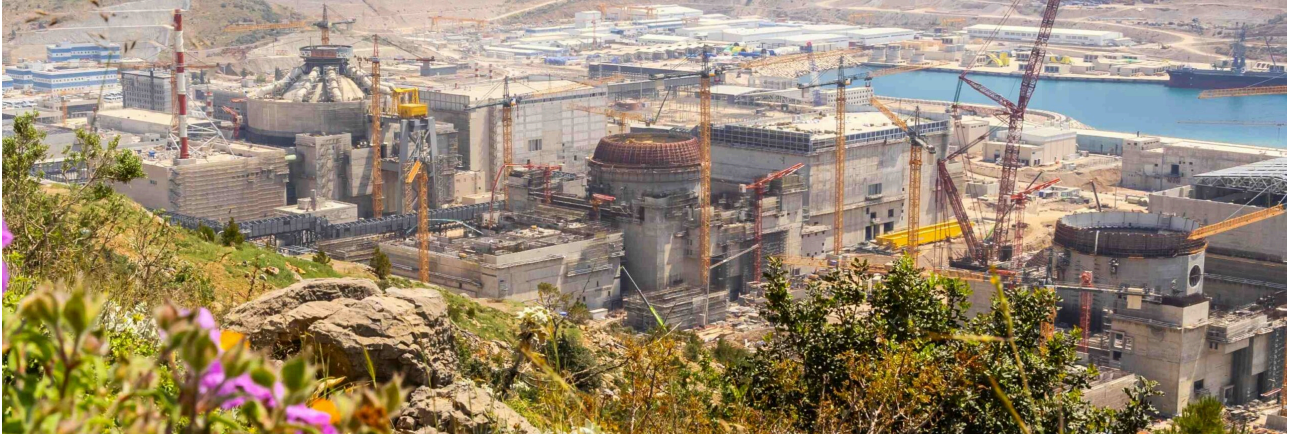
Kaynak tabanındaki gelişim, küresel piyasadaki ucuz uranyumun tükenmekte olduğunu göstermektedir. Küresel reaktör filosunun büyümesi; düşük maliyetli büyük uranyum projelerinin devreden çıkması ve ikincil kaynakların azalması arka planında gerçekleşecektir. Bu koşullar altında Rosatom oldukça avantajlı bir konumdadır: Rus nükleer şirketi hem Rusya'da hem de yurt dışında yüksek kaliteli bir uranyum kaynak tabanına sahiptir. Şirket, uzun vadeli uranyum üretim artışını sağlamaya ve şirketin nükleer yakıt döngüsünün ihtiyaçlarını karşılamaya muktedirdir.



Aynı zamanda Rosatom, doğal uranyum gerektirmeyecek IV. Nesil enerji sistemleri geliştirmektedir. Rosatom Genel Müdürü Alexey Likhachev'in *Strana Rosatom* gazetesine verdiği demece göre, nükleer yakıt döngüsüyle ilgili tüm faaliyet alanlarının koordinasyonu artık "Uranyum Konseyi" tarafından yürütülmektedir. "Ürün yelpazemizi genişletmek, kaynak tabanından bağımsız IV. Nesil enerji sistemleri oluşturmak ve hem ülke içinde hem de yurt dışında büyük ölçekli güç ünitesi inşaatları gerçekleştirmek; termal ve hızlı nötron reaktörlerini içeren iki bileşenli bir nükleer enerji sisteminin tüm yakıt döngüsünün yönetimine yönelik yeni yaklaşımlar gerektirecektir. Bu çalışmalarını koordine etmek amacıyla bir Nükleer Yakıt Döngüsü Komitesi kurulmuştur. Komite, nükleer şirketin üst düzey yöneticilerinin neredeyse tamamını içermektedir. Komite, bu kritik alandaki strateji ve taktikleri belirleyen bir tür 'Uranyum Konseyi' gibi hareket edecektir," diye vurguladı Alexey Likhachev. Rosatom; zenginleştirme, yakıt üretimi ve kullanılmış yakıtın yeniden işlenmesi alanlarındaki kapasitesini artıracak ve ulusal bir uranyum programı oluşturacaktır. Bu program, kapalı nükleer yakıt döngüsü teknolojileri aracılığıyla doğal uranyumun birim tüketimini azaltmayı ve aynı zamanda nükleer üretimin payını artırmak için kaynak tabanını genişletmeyi amaçlamaktadır.

# Yeşil Bir Ekosistem İnşa Etmek

Akkuyu NGS'nin inşası tüm hızıyla devam ediyor. Dört ünitenin tamamı devreye alındığında santral, Türkiye'nin elektrik ihtiyacının %10'una kadarını karşılayacak ve yılda yaklaşık 18 milyon ton CO2 eşdeğeri emisyonun önüne geçecektir. Akkuyu, Türkiye'nin enerji dayanıklılığını artıracak ve iklim hedeflerine ulaşmasına yardımcı olacaktır.



Mayıs ayında Türkiye Nükleer Düzenleme Kurumu (NDK) Kurulu, Akkuyu Nükleer AŞ'ye Akkuyu Nükleer Güç Santrali'nin 2. ünitesi için devreye alma öncesi izni verdi. Belge, yaklaşan devreye alma öncesi aşamada NDK ile etkileşim prosedürlerini resmileştirmektedir: tüm operasyonlar Türk nükleer denetim otoritesinin izleme ve onayına tabi olacaktır. Başvurunun bir parçası olarak Akkuyu Nükleer AŞ, ünitenin hizmete alınma aşamalarını, ilgili santral süreçlerini ve işletme personeli eğitim programını ayrıntılı biçimde açıklayan bir dizi belgeyi düzenleyici kuruma sundu. Başvuru belgeleri toplamda 22.000 sayfayı aşmıştır.

Nisan ayı sonunda, Akkuyu 1. Ünite'deki reaktör binasının kubbesine pasif ısı giderim sistemi (PHRS) bileşenlerinin tamamı monte edildi. Bunlar toplam yaklaşık 90 ekipman ve yapı unsurundan oluşmaktadır.

"Bu, aylar süren iyi koordine edilmiş profesyonel çalışmanın bir sonucudur ve güç ünitesinin ilk kritiklik aşamasına hazırlanmasındaki kilit adımlardan biridir. PHRS, VVER-1200 reaktörlerine sahip gelişmiş güç ünitelerine kurulan çok sayıda güvenlik sisteminden biridir. Bu sistem, enerji beslemesi veya operatör müdahalesi gerektirmeyen doğal fiziksel süreçlere dayanarak çalışmaktadır," dedi Akkuyu Nükleer AŞ CEO'su Sergey Butskikh. PHRS, enerji beslemesi kesildiğinde reaktör çekirdeğinden sürekli olarak ısıyı uzaklaştırmak ve atmosfere salmak üzere tasarlanmıştır.

Nisan ayında ayrıca Rosatom Genel Müdürü Alexey

Likhachev, Akkuyu NGS inşaat sahasını ziyaret etti. Likhachev, bu yıl için temel hedefin 1. Ünite'de ilk kritiklik aşamasına ve sonrasındaki işletme faaliyetlerine geçiş olduğunu yineledi.

"Şu anda Türk şirketlerinin projeye katılımına büyük ilgi gösterdiğini görüyoruz. Bu durum, elektrik üretimine katılma ve kâr elde etme fırsatıyla bağlantılıdır. Birçok Türk şirketiyle sermaye ortaklığına katılım koşulları konusunda kapsamlı görüşmelere başladık – bu ciddi ve geniş çaplı bir çalışmadır. İnşaat aşamasında olduğu kadar, 100 yıla kadar ulaşabilen nükleer santralin tüm yaşam döngüsü boyunca Türkiye'de ortaklara sahip olmamız bizim için son derece önemlidir," dedi Alexey Likhachev.

Rosatom Başkanı, Akkuyu Nükleer AŞ yönetimi ve projenin ana yüklenicileriyle bir çalışma toplantısı gerçekleştirdi. Ayrıca inşaat sahasından 50 km uzaklıkta bulunan ve hâlen inşası süren santral çalışanları ile aileleri için yapılan konut alanını ziyaret etti. 48 konut binası, bir okul, bir anaokulu ve diğer sosyal altyapı tesislerinden oluşan ilk bölüm devreye alma için hazırlanmaktadır.

"İnsanlar – çalışanlarımız, Rus ve Türk vatandaşları – elbette her projenin en önemli değeridir. 8.000 kişi için tasarlanan nükleer kentte sakinlerin taşınması için hazırlıklar sürmektedir. Bu yerleşim, en iyi konut uygulamalarını ve kapsamlı belediye ile sosyal altyapıyı içermektedir," diye vurguladı Alexey Likhachev.



### Öncelik olarak sürdürülebilir kalkınma

Sosyal girişimler ve ev sahibi bölgenin kapsamlı kalkınması, Rosatom'un en önemli öncelikleri arasında yer almaktadır. Rus nükleer şirketi faaliyetlerinde, BM'nin 17 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi'ne (SKH) bağlılık doğrultusunda hareket etmekte ve özellikle şu altı hedefe katkıya dikkat etmektedir: Erişilebilir ve Temiz Enerji; İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme; Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı; Sorumlu Tüketim ve Üretim; İklim Eylemi; ve Amaçlar İçin Ortaklıklar.

Dört ünitenin tamamı devreye alındığında santral, hidrokarbon bazlı üretimin yerini alarak yılda yaklaşık 18 milyon ton CO2 eşdeğeri emisyonun önüne geçecektir. Bu miktar, Türkiye'nin yıllık sera gazı emisyonlarının yaklaşık %3,2'sine karşılık gelmektedir.

Akkuyu NGS'nin Türkiye'nin düşük karbonlu kalkınmasına katkısı, mayıs ayında düzenlenen 11. İstanbul Karbon Zirvesi'nde ele alındı. Rosatom etkinliğin partnerlerinden biri olarak zirvenin iş programına katıldı.

Türkiye, 2025 yılında sera gazı emisyonlarının azaltılması, ulusal karbon piyasasının geliştirilmesi, iklim finansmanı ve yeşil taksonomi için yasal çerçeve oluşturan ilk iklim yasasını kabul etti. Rosatom Sürdürülebilirlik Direktörü Polina Lion konuşmasında, bu koşullar altında nükleer enerjinin rolünün özel önem taşıdığını belirtti. Akkuyu NGS projesinin tüm yaşam döngüsü boyunca karbon ayak izi, kWh başına 4 gramdan daha az CO2 eşdeğeri düzeyindedir ve bu değer modern elektrik kaynakları arasındaki en düşük seviyelerden biridir.

"Sera gazı emisyonlarında gerçek bir azalma sağlayabilecek ve aynı zamanda enerji arz güvenilirliğini destekleyebilecek tüm teknolojilerin dikkate alınması önemlidir. Nükleer enerji bu kriterleri karşılamaktadır: düşük karbonlu elektriğin istikrarlı üretimini sağlar, hava koşullarından bağımsız çalışır ve Türkiye'nin 2053 karbon nötrlüğü yolunda önemli bir parçası olabilir," diye vurguladı Polina Lion.

Lion'a göre nükleer santraller; altyapı ve sanayi gelişimine katkıları ile yerel nüfusa sundukları istihdam fırsatları sayesinde, hem iklim verimliliğini sağlayan hem de gelecek nesiller için konforlu yaşam koşullarının temelini oluşturan yeşil bir ekosistem yaratmaktadır.