

Modern Küçük Modüler Reaktörlerin (SMR), Deniz Araçlarında Kullanılan Eski Küçük Reaktörlerden Farkları Neler?

Hazırlayan: Y.Atakan Dr. Radyasyon Fizikçisi, ybatakan4@gmail.com 04.11.2025

1950’li yıllardan beri, ABD, Rusya ve diğer bazı ülkelerde denizaltı, buz kırıcı, uçak ve yük gemilerinin enerjilerinin, küçük nükleer reaktörlerden sağlandığı biliniyor. Böylelikle bu deniz araçları 1-10 yıl arası yakıtlarını, fosil yakıtlardan sık sık yenilemeden, yollarına devam edebiliyorlar. Bu olanak, gemiler için çok büyük bir avantaj. Öte yandan modern SMR’lerin, deniz araçlarında çalışmalarını bir dizi ülke planlıyor. Hatta bunlar Rusya’da Buz kırıcı gemilerde çalışıyorlar bile (En sondaki Çizelgeye bkz).

Son yıllarda gitgide güncel olan Küçük Modüler Reaktör (SMR) ile bu eski küçük reaktörlerin farkları neler? sorusu akla geliyor. Bunların aralarında ne kadar gibi farklar olduğu bu yazımızın konusu. Bu farkları önce bir Rus denizaltı reaktörüyle karşılaştırarak aşağıdaki çizelgede yapacağız. **Bu yazımız sonuna kadar incelendiğinde, Rusya’nın eskiden küçük reaktörlerin deniz araçlarında kullanılmasında olduğu gibi, bugün de modern SMR’lerin kullanımında Dünya’da başı çektiği görülecektir.**

SMR’lerdeki en önemli farkı baştan yazalım: Modern SMR’lerde modüler reaktör birimi, çekirdekten buhar üretimine kadar olan tüm nükleer ısı üretim bölümünü tek paket olarak içerir. Elektrik üretimi yapan türbin-jeneratör kısmı modülde değildir, alanda kurulur. **Ayrıntılar, farklar:**

Özellik	Eski Rus Denizaltı Reaktörleri (Örneğin: VM-A, OK-650 Modeli)	Modern SMR’ler (Örneğin: NuScale, Rolls-Royce SMR, RITM-200, KLT-40S)
Kullanım Amacı	Denizaltı enerjisi ve askeri operasyon için	Şebeke elektriği, endüstriyel ısı, bölgesel enerji, su arıtma, uzak bölgelere elektrik, ısı enerjileri sağlanması.
Taşınabilirlik	Denizaltı gövdesinde.	Genelde sabit kara kurulumu veya yüzer platform, gemiler.
Güç Aralığı	Genelde 70–200 MWt ($\approx$ 20–50 MWe).	10–300 Mwe modeller arasında.
Yakıt Zenginliği	Çok yüksek zenginleştirilmiş uranyum (HEU), genelde %30–90 U-235.	Düşük zenginleştirilmiş uranyum (LEU), %5–20 U-235 (silahlanma dışı kullanım için).
Yakıt Değişim Süresi	Görece kısa: 1–10 yıl arası görev modeline ve gemisine göre değişir.	Uzun: 10–30+ yıl , hatta bazı tasarımlar mühürlü çekirdek ile. Bu, servis gereksinimi azaltır.

Özellik	Eski Rus Denizaltı Reaktörleri (Örneğin: VM-A, OK-650 Modeli)	Modern SMR'ler (Örneğin: NuScale, Rolls-Royce SMR, RITM-200, KLT-40S)
Tasarım Önceliği	Derli toplu (Kompakthık) ve güç yoğunluğu → Güvenlik bazen ikinci planda.	Güvenilir olması ve standart üretim → Güç yoğunluğu ikinci planda.
Soğutma Sistemi	Basınçlı su reaktörleri (PWR), aktif pompalı güvenlik sistemleri.	Pasif güvenlik ve doğal sirkülasyon ile ısı uzaklaştırma (pompa gerekmeden). 3. ve 4. Kuşak reaktörlerinde farklı soğutma: su, ergimiş tuz, kurşun gibi
Modülerlik	Modüler değil. Her denizaltı için özel üretim, uyarlama ve gemi üzerinde montaj.	Tam modüler. Reaktör, basınç kabı ve buhar üretimi tek fabrika modülü (sistemi, parçası) halinde gönderilir.
Üretim Yöntemi	El işçiliği + askeri standartlar → Yüksek maliyet, düşük standardizasyon.	Fabrikada seri üretim → Standartlaştırılmış kalite, düşük kurulum süresi ve giderler.
Bakım / İşletme	Sürekli uzman personel gerektirir (nükleer sub-officer ekibi).	Uzaktan izleme, az sayıda uzman personel, otomasyonlu güvenlik.
Saydamlık ve Düzenleme	Askeri gizlilik, sınırlı halka açık bilgi.	Ulusal ve uluslararası sivil nükleer düzenleyici kurumlar tarafından denetlenir.
Çalışma Ortamı	Şok, titreşim ve savaş koşulları için güçlendirilmiş.	Sabit, güvenli ve düşük-radyasyon çalışma alanları için optimize edilmiş.

Daha açık tanımlama:

Modern SMR'lerde ,Modüler Tekparça'nın' Kapsamı ("NSSS Modülü": Aşağıdaki yeşille gösterilenler Tekparça'nın içinde

Bileşen	Modüle Dahil mi?	Açıklama
Reaktör Çekirdeği	✓ Evet	Yakıt çubukları ve kontrol çubuklarını içerir.
Reaktör Basınç Kabı (RPV)	✓ Evet	Çekirdeği ve birincil suyu barındırır.
Birincil Soğutma Devresi Boruları ve vanalarıyla birlikte	✓ Genellikle evet (entegre tasarım)**	Birçok SMR'de birincil devre kabın içinde , borulama azalır → güvenlik artar.
Buhar Üretici (Steam Generator)	✓ Evet	Reaktörün ürettiği ısı ile buhar burada üretilir.

Bileşen	Modüle Dahil mi?	Açıklama
Basınçlayıcı (Pressurizer)	✓ Çoğunlukla evet	Entegre yapılabilir → sistem basıncını sabit tutar.
Türbin ve Jeneratör	✗ Hayır	Reaktör modülünden ayrı , tesise yerinde kurulur.

Kısa Soru	Kısa Yanıt	
Eski denizaltı reaktörleri küçük müydü?	✓ Evet, ama modüler değillerdi .	
Neden küçüktü?	Denizaltı gövdesine sığması için.	
Modern SMR neden küçük?	Modüler üretim ve ekonomik ölçeklenebilirlik için.	✗ Hayır
Modern SMR modülü nereyi kapsar?	Reaktör → Soğutma → Buhar üretimi tek pakette.	Tesis tasarımına göre yapım yerinde.

Türbin, Soğutma Kulesi ayrı

Hangi ülkeler nükleer yakıtlı deniz araçları kullanıyor? Teknik Özellikler ve Karşılaştırmalar

Karşılaştırma Kriteri	Eski Rus Denizaltı Reaktörleri (OK-150, VM-A, OK-650)	Modern Rus SMR (RITM-200)	Modern Batı SMR (NuScale, Rolls-Royce SMR)
Geliştirme Dönemi	1950–1990	2010–Günümüz	2010–Günümüz
Güç Aralığı	70–200 MWt	175–200 MWt	60–470 MWt
Reaktör Tipi	Basınçlı Su Reaktörü (PWR)	Kompakt Basınçlı Su Reaktörü	Integral Basınçlı Su Reaktörü (IPWR)
Modülerlik	Modüler değil	Modüler, gemiye 2–4 ünite	Tam modüler, fabrikada üretilir

Soğutma Devresi	Ayrık boru ve pompalar	Entegre buhar üretici çekirdek içinde	Tam entegre birincil devre tek basınç kabında
Yakıt Zenginliği	%20–45 U-235	%14–20 U-235	%4.95–19.75 U-235 (LEU)
Güvenlik	Pasif olmayan, acil sistemler manuel	Pasif soğutma sistemleri mevcut	Tam pasif güvenlik sistemleri
Bakım Döngüsü	Sık bakım ve liman bağımlı	7–10 yıl yakıt döngüsü	12–25 yıl yakıt döngüsü

Nükleer Enerjili Deniz Araçları (Ülkelere Göre)

Ülke	Nükleer Denizaltılar	Nükleer Uçak Gemileri	Nükleer Buz Kırıcılar	Nükleer Ticari Gemiler
ABD	Los Angeles, Seawolf, Virginia, Ohio	Nimitz, Gerald R. Ford	Yok	Yok
Rusya	Borei, Yasen, Akula, Typhoon	Yok	Arktika (RITM-200), Taymyr	Sevmorput
İngiltere	Astute, Trafalgar	Yok	Yok	Yok
Fransa	Rubis, Suffren	Charles de Gaulle	Yok	Yok
Çin	Type 093, 094, 095	Geliştirme aşamasında	Planlama aşamasında	Yok
Hindistan	INS Arihant sınıfı	Plan aşamasında	Yok	Yok
Brezilya	Alvaro Alberto (inşaat aşaması)	Yok	Yok	Yok

Şekil, bir Rus Buzkıran gemisinin içyapısını sistem ve aygıtları gösteriyor. Küçük ama modüler olmayan nükleer reaktörlerin kullanıldığı bir gemi /1a/.

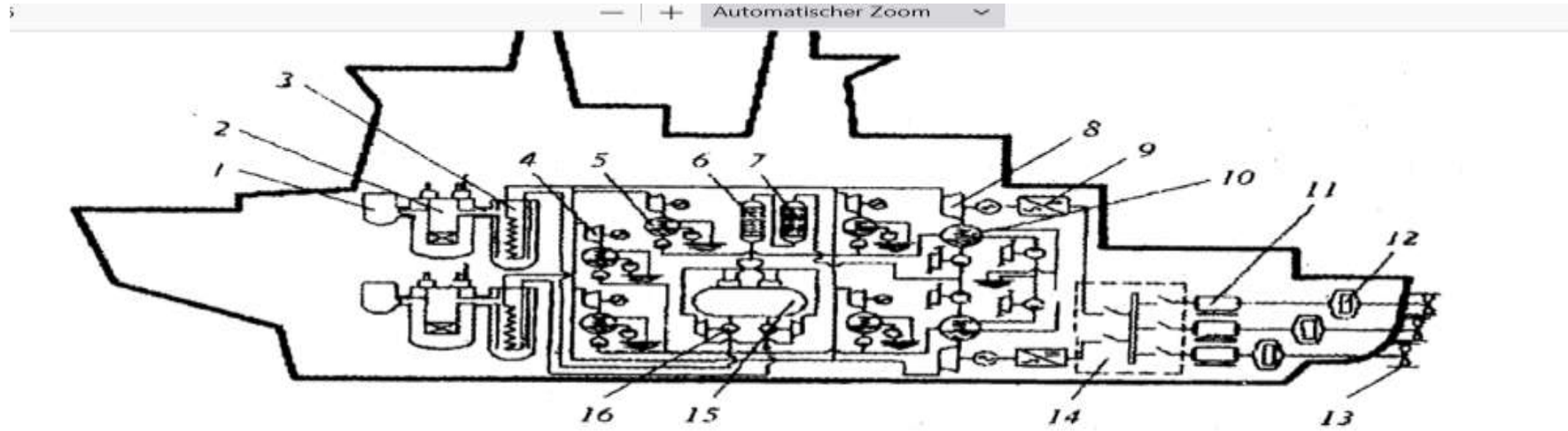


Figure 3.6 Circuits of the nuclear icebreaker “Arktika”. 1. Circulation pumps. 2. Reactor. 3. Steam generator. 4. Auxiliary turbo generator. 5. Condenser. 6 Ion-exchange filters. 7. Mechanical filter. 8. Main turbo generator. 9. Converter. 10. Main condenser. 11. Propeller motor (electric), 12. Intermediate bearing. 13. Screw propeller. 14. Circuit breaker for propeller motor. 15. De-aerator. 16. Turbo-feed pump.

DENİZ ARAÇLARININ ENERJİLERİNİN SAĞLANMASINDA ‘SMR’lerin DÜNYA’da KULLANILMA DURUMU? Kaynaklarıyla birlikte ayrıntılı Çizelge:

Ülke / Organizasyon	SMR Reaktör Adı & Gücü	Araç Türü	Durum	Kısa Açıklama	Kaynak
Rusya	RITM-200 (175–200 MWt)	Nükleer Buz Kırıcılar (Arktika, Sibir, Ural, Yakutya, Chukotka)	Çalışıyor	Dünyada deniz üzerinde aktif olarak çalışan tek SMR uygulaması . Reaktör modülü kompakt ve entegre ; üretim seri halde devam ediyor.	Rosatom resmi sayfası / World Nuclear News
Rusya	RITM-400 (300 MWt)	Yeni nesil Lider / LK-120 Ya Kutup derin buz kırıcı sınıfı	İNŞA / TANIMLANMIŞ PROGRAM	RITM-200'den daha güçlü bir SMR türevidir. Arktik ağır buz koşulları için tasarlanmıştır.	Rosatom Tekh / WNN 2023
Rusya	KLT-40S (150 MWt)	Akademik Lomonosov yüzer nükleer enerji platformu	Çalışıyor	Dünyanın ilk yüzer nükleer santrali , ancak kullanım amacı liman ve şehir güç üretimi ; gemi tahriki değil.	Rosatom / IAEA PRIS
ABD – NuScale	NuScale VOYGR (50–77 MWe modülleri)	Ticari gemiler için öneri ve prototip tasarımları	TASARIM ONAYLANMIŞ / GEMİ UYGULAMASI YOK	SMR kara uygulaması için lisans aldı. Deniz entegrasyonu henüz öneri düzeyinde .	NRC Lisans Onayı (2020–2022)
Güney Kore – HD KSOE	Marine-SMR (önerilen 10–70 MWt sınıf)	Konteyner & Ro-Ro gemi konseptleri	TEKNİK TASARIM + AIP (Approval in Principle)	2030 sonrası nükleer tahrikli ticari gemiler için ilk düzenleyici tasarım uygunluk onayları alınmaya başlanmıştır.	ABS / KR Klaslama Kuruluşu Açıklamaları (2024)
İsveç (Blykalla / SEALER SMR)	SEALER-55 (55 MWt)	Kutup araştırma gemisi konsepti	TASARIM & ENDÜSTRİ İŞBİRLİĞİ	ABB + Blykalla işbirliği ile kriyogenik yakıt olmayan düşük bakım SMR gemi tahrik sistemi araştırılıyor.	ABB Resmi Duyurusu (2023)
Norveç (NuProShip I Konsorsiyumu)	25–55 MWt Gen-IV Deniz SMR	Ticari Kargo / Offshore destek gemileri	ARAŞTIRMA & FİZİBİLİTE	Amaç: “ limana hiç yakıt ikmali yapmadan 10+ yıl çalışan ticari gemi filosu”. Şu an teknoloji seçim çalışmaları sürüyor.	NTNU Denizcilik Nükleer Enerji Çalışmaları (2022–2024)

Ülke / Organizasyon	SMR Reaktör Adı & Gücü	Araç Türü	Durum	Kısa Açıklama	Kaynak
Çin	Linglong One / ACP100N (100 MWe) (deniz varyantı planlı)	Okyanus Araştırma Gemisi ve Lojistik Destek Gemisi Konseptleri	PROTOTİP GELİŞTİRME & DONANMA GİZLİ ARAŞTIRMA	Çin ACP100 kara SMR'sini inşa ediyor. Deniz versiyonları için askeri ve sivil Ar-Ge devam ediyor.	CNNC / WNN Technical Statements
Avustralya (AUKUS bağlamı)	SMR değil — klasik nükleer denizaltı tahriki	SSN-AUKUS denizaltı programı	STRATEJİK PLAN AŞAMASI	SMR değil; ABD-İngiltere tasarımı askeri nükleer reaktörlerin eğitim ve transferi planı.	AUKUS Ortak Bildirisi (2023)

Özetle:

Gerçek Dağılım	Açıklama
Dünyada deniz üzerinde bugün çalışan SMR Sadece Rusya (RITM-200 & KLT-40S) var.	
Ticari yük gemilerinde SMR	Henüz yok → Güney Kore & Norveç prototip/Tasarım aşamasında
Batı SMR'lerinin deniz uygulaması	Kuramsal tasarım, lisans, mühendislik aşamasında (NuScale / Rolls-Royce)
İlk büyük filo	2050 sonrası öngörülüyor (IMO ve nükleer denizcilik yasa ve yönetmelik gereği)

Kaynaklar /I/

/I/a NKS-138 ISBN 87-7893-200-9 Russian Nuclear Power Plants for Marine Applications

Ole Reistad Norwegian Radiation Protection Authority, Norway Povl L. Ølgaard Risø National Laboratory, Denmark

OK-650 / Sovyet denizaltı reaktörleri <https://www.globalsecurity.org/military/world/russia/reactor-ok-650.htm>

OK-150 ve ilk nesil reaktörler <https://www.globalsecurity.org/military/world/russia/reactor-ok-150.htm>

RITM-200 teknik analiz <https://www.neimagazine.com/analysis/the-ritm-200n-as-a-terrestrial-unit/>

RITM-200 buz kırıcı foto/şema <https://www.globalsecurity.org/military/world/russia/reactor-ritm-200.htm>

NuScale SMR kesit modeli https://www.researchgate.net/figure/Model-of-NuScale-module_fig6_256977288

;

Rolls-Royce SMR resmi sayfası <https://www.rolls-royce-smr.com>