

KARADENİZ'DE SÜRDÜRÜLEBİLİR MAVİ EKONOMİ

İÇİN ARAŞTIRMA VE YENİLİK FAALİYETLERİ



BRIDGE Black Sea (BRIDGE-BS)

BRIDGE-BS, ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilir kullanımı için çoklu stres etmenleri altında mavi ekonomi yol haritalarını ortaklaşa geliştirmek amacıyla Karadeniz'in deniz alanında araştırma ve yenilik kapasitesini ileri taşıyan bir Ufuk 2020 projesidir. Proje kapsamında, politikaların benimsenmesini sağlamak ve vatandaş katılımını teşvik etmek için ekosistem tabanlı bir yönetim çerçevesi geliştirilmiştir. Proje, Haziran 2021'den Kasım 2025'e kadar sürmüştür.

BRIDGE-BS ortak kuruluşları

Konsorsiyum, 14 ülkeden 31 ortakten oluşmaktadır.



Giriş

Karadeniz, 10 büyük nehrin beslediği yarı kapalı bir havzadır. En derin noktası 2.210 m olup yeryüzündeki en büyük anoksik-sülfidik¹ su kütesidir. Özgün habitatları, zengin kaynakları ve köklü kültürel mirasıyla Karadeniz; kıyı toplulukları ve havzalarında yaşayan 160 milyondan fazla insan için hayati öneme sahiptir. Karadeniz'in sunduğu ekosistem hizmetleri² güçlü bir mavi ekonomiyi desteklemekte³, yeni teknolojik gelişmeler ile sürdürülebilirliğinin daha da güçlendirilmesi için önemli bir potansiyel sunmaktadır.

Karadeniz'i olumsuz etkileyen bir dizi stres etmeni bulunmaktadır. Bunlar iklim değişikliğiyle bağlantılı ısınma, asitleşme ve oksijen kaybı; bunun yanında ötrofikasyon, deniz çöpü, kimyasal kirlilik, aşırı avcılık, istilacı yabancı türlerin artması ve savaşa bağlı etkiler olarak sıralanabilir⁴. Bu stres etmenleri biyoçeşitlilik kaybına yol açmakta ve sosyo-ekolojik dayanıklılığı tehdit etmektedir⁵. 1970'lerden 1990'ların başına uzanan dönemde, sürdürülemez düzeydeki balıkçılık faaliyetleri, besin tuzu kirliliği ve istilacı türler, Karadeniz ekosisteminin dayanıklılığını zayıflatmış; balıkçılığın çökmesine, yaygın ötrofikasyona ve artan oksijen kaybına neden olmuştur.

Bununla birlikte, 2000'lerden⁶ bu yana ekosistem daha iyi yönetim uygulamaları sayesinde istikrar kazanmış ve kısmen iyileşmiştir; yine de önceki sağlıklı durumundan hâlâ oldukça uzaktır.

Geçmiş ve güncel proje ile girişimlerden hareketle BRIDGE Black Sea (BRIDGE-BS), çoklu stres etmenlerinden kaynaklanan uzun vadeli etkileri ve ortaya çıkan riskleri öngörebilmek için yeni araçlar ve yetkinlikler geliştirdi. Bu sayede, ekosistem sınırlarına saygılı ve sürdürülebilir bir mavi ekonominin gelişebileceği güvenli faaliyet alanının (safe operating space) belirlenmesi mümkün olmaktadır. Bu, çevresel izleme, veri entegrasyonu, iklim senaryosu modelleme, Karadeniz ekosistemlerinin dayanıklılığının analizi, ekosistem hizmetleri ile eşik noktaları⁷ ve risk değerlendirmelerini içeren yenilikleri kapsar; ekosistem temelli yönetimi desteklemeyi amaçlar. Yerel topluluklar ve politika yapıcılarla birlikte yürütülen ortak çalışmalar sayesinde, dirençli ve üretken bir Karadeniz için temel yönetimsel tedbirler tanımlanmış; böylece Karadeniz'in mavi ekonomisinin uzun vadeli sürdürülebilirliği (2050 ve 2100) güvence altına alınmaya çalışılmıştır.

¹ Dip sularında oksijen yoktur (yani anoksiktir) ve anoksik koşullarda mikroorganizmalar tarafından üretilen zehirli bir gaz olan hidrojen sülfür (H₂S) bakımından zengindir.

² Deniz ortamının süreçleri, işlevleri ve yapısından kaynaklanan; toplumsal refah, sağlık ve ekonomik faaliyetlere doğrudan veya dolaylı katkıda bulunan faydalar (<https://www.marineboard.eu/valuing-marine-ecosystems>).

³ Karadeniz'de yerleşik sektörler arasında denizcilik, taşımacılık, liman işletmeciliği ve lojistik, gemi inşa ve bakım-onarım, balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği ile turizm yer alır. Yükselen sektörler ise enerji ve açık deniz kaynakları, mavi biyoteknoloji, savunma ve deniz güvenliğidir.

⁴ Karadeniz'de savaşa bağlı kirlilik hakkında daha fazla bilgi için bkz.: <https://black-sea-maritime-agenda.ec.europa.eu/safeguarding-black-sea-region-results-regional-roundtable-war-related-pollution>

⁵ Doğal ve sosyo-ekonomik sistemlerin, temel işlevlerini koruyarak bozucu etkilere maruz kaldıklarında varlığını sürdürme, uyum sağlama ya da dönüşebilme kapasitesi. (<https://www.marineboard.eu/publications/building-coastal-resilience-europe> sf. 14).

⁶ <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27643946/>

⁷ Bir sistemin yeni bir duruma geçişini tetikleyen kritik nokta; bu noktadan sonra önceki duruma dönmek güçtür ya da imkânsızdır. (<https://www.marineboard.eu/publications/building-coastal-resilience-europe>).

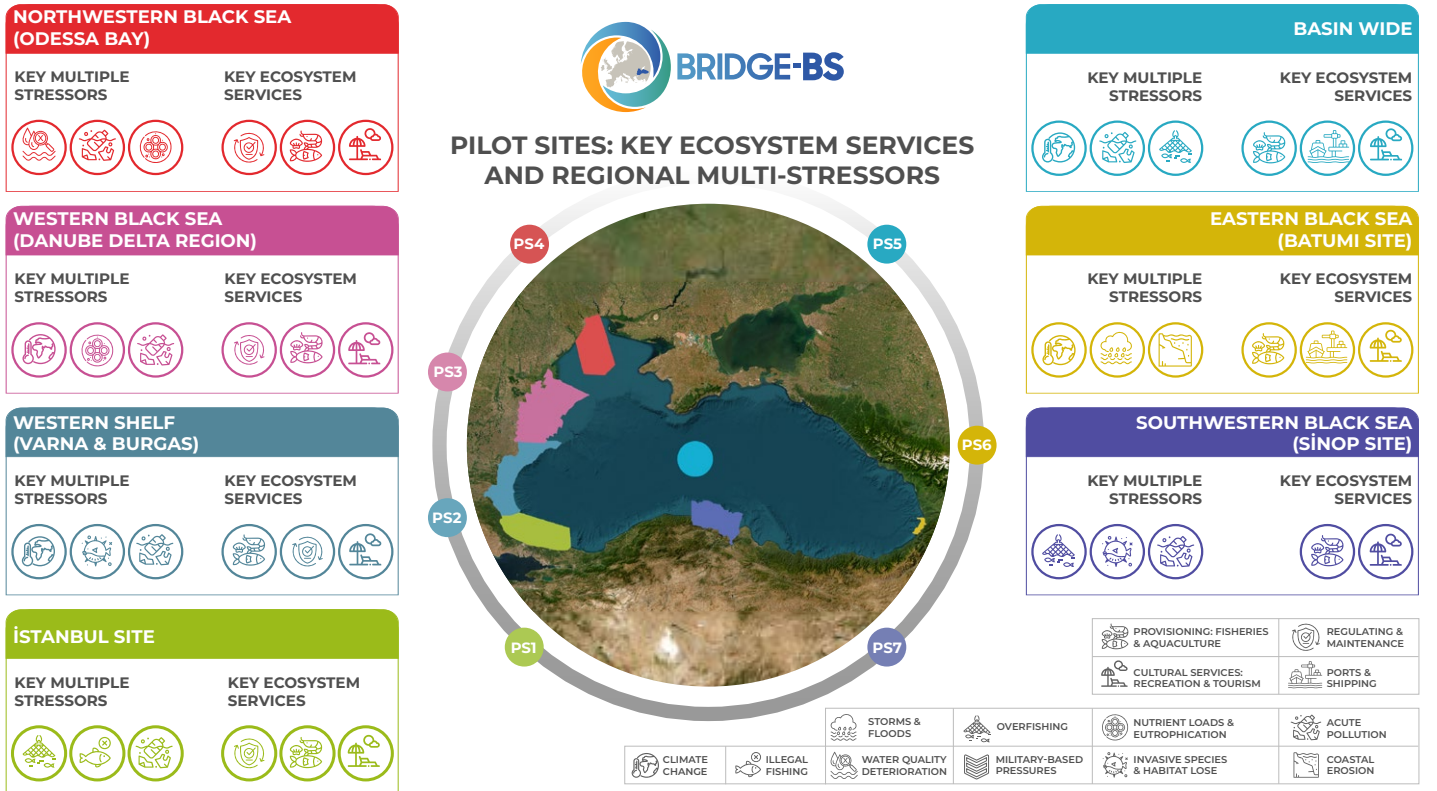
Çoklu stres etmenlerinden kaynaklanan riskleri değerlendirmeye yönelik yeni bilgi ve öngörü araçları

BRIDGE-BS seferleri, araştırmaları ve model sonuçları, Karadeniz'in mevcut durumu ile çoklu etmenlerin etkilerine ilişkin güncel bir kavrayış sağlamıştır. Pilot alanlar (Pilot Sites) (bkz. Şekil 1) araştırmanın odak noktaları olarak kullanılmış, ayrıca çeşitli açık deniz alanlarında da araştırmalar yürütülmüştür. Buna ek olarak, bölge genelinde uygulanmak üzere uyumlaştırılmış deniz izleme yöntemleri geliştirilmiştir.

Çevresel değerlendirmeler⁸ şunları göstermektedir:

- 1980'den bu yana Karadeniz en az 2,6 °C ısınmıştır; bu değer küresel ortalama olan 0,6 °C'den daha hızlı bir ısınmaya işaret etmektedir.

- Batı Karadeniz'den elde edilen ön veriler, nitrat derişimlerinin 1988-2022 döneminde 8'den 5 µM'ye (mikromolar) düştüğünü, ancak yerel ötrofikasyon olaylarının hâlen görüldüğünü göstermektedir.
- Karadeniz oksijen bakımından yetersiz kalmaktadır. Gelecekteki ısınma⁹, üstteki oksijen açısından zengin tabakanın daha da daralmasına yol açabilir.
- Zehirli hidrojen sülfür (H₂S), Karadeniz'in orta kesimlerinde 80 m gibi sığ derinliklerde dahi mevcuttur ve mavi ekonomi sektörleri için risk oluşturmaktadır. Bununla birlikte, Akdeniz'den gelen oksijen açısından zengin su girişi H₂S birikimini sınırlandırmaktadır. Bu girdinin gelecekteki oksijen bütçelerine dâhil edilmesi, risklerin daha iyi öngörülmesine yardımcı olacaktır.



Şekil 1. Araştırma, paydaş katılımı ve sürdürülebilir mavi ekonomi senaryolarının geliştirilmesi için odak noktası olarak kullanılan pilot alanlar (Pilot Sites). Her bir bölgenin kendine özgü ekosistem hizmetleri (ecosystem services) ve stres etmenleri bulunmaktadır. Havza genelinde değerlendirmeler de gerçekleştirilmiştir.

⁸ 5.2 numaralı çıktı: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17229148>

⁹ Isınma ile deoksijenasyon arasındaki ilişkiye dair açıklama için bkz. s.12: <https://marineboard.eu/publications/ocean-oxygen>

Karadeniz denizel kaynaklarının **biyoteknoloji potansiyeli**¹⁰ dip çökellerindeki mikroorganizmalardan binlerce endüstriyel enzim adayının belirlenmesiyle ortaya konmuştur. Bu enzimlerin biyorafineri, biyoremediasyon, ilaç sanayi ve gıda işleme alanlarında; ayrıca sülfat oksidasyonu ve denitrifikasyon gibi süreçlerde kullanım potansiyeli bulunmaktadır.

Havza ölçeğinde yapılan **dayanıklılık değerlendirmesi (resilience analyses)**¹¹, Karadeniz ekosisteminin 2005 civarında bir eşik noktasını aştığını göstermiştir. 1980'lerin sonlarından itibaren ekosistem; ötrofikasyon, aşırı denizanası bolluğu ve zooplankton ile balık bolluklarında azalma ile karakterize edilmekteydi. 2005 sonrasında balık stokları artmaya başlamış ve fitoplankton ve denizanası bolluğu düşmüştür. Bu yönelim de daha iyi yönetim uygulamaları ve ekosistem yapısındaki olumlu değişimlerin etkisiyle kısmi iyileşmeye ve daha sağlıklı ve dayanıklı bir ekosisteme geçişe işaret etmektedir. Bununla birlikte, sıcaklıkların artmaya devam etmesi hâlinde gelecekte yeni eşik noktalarının aşılması olasılığı sürmektedir. Balıkçılık verilerine dayalı ilk değerlendirmeler, Kuzeybatı ve Güney Karadeniz arasında eşik noktası dinamiklerinde farklılıklar olduğunu göstermektedir; bu nedenle hem havza hem de yerel ölçekte dayanıklılık değerlendirmeleri gerekmektedir. Bu doğrultuda yerel ve bölgesel ölçekte ekosistem işleyişi ve hizmetleri üzerine araştırmaların artırılması, yerel izleme ve veri paylaşımında iyileştirme ve uzaktan algılama ile model verilerinin daha etkin kullanımını gerektirmektedir.

Çoklu stres etmenlerine (multi-stressors) yönelik, maliyet etkin ve entegre bir kara-deniz erken uyarı sistemine geçiş için atılan adımlarda **akıllı sensör teknolojileri**¹² kombinasyonunun kullanımı test edilip doğrulanmıştır (Şekil 2). Bu teknolojilerin tam operasyonel ölçekte uygulanabilirliği ve teknolojik olgunluğu yüksek bulunmuştur. Bu yöntemlerin gözlem sistemlerine ve ulusal izleme programlarına entegrasyonu için uyarlanmış bir yaklaşım önerilmektedir. Test edilen sensör teknolojileri şunları içermektedir:

- Karadeniz'in çevresel koşullarına uyarlanmış pH, karbondioksit (carbon dioxide) ve hidrojen sülfür (hydrogen sulphide) için biyojeokimyasal sensörler (biogeochemical sensors). Bu sensörler, iklim değişikliği riskleriyle başa çıkmaya yardımcı olmak üzere yerel belediyeler, ulusal izleme programları ve açık deniz sektörlerince kullanılabilir.
- Biyoçeşitliliğin değerlendirilmesi¹³ için invazif olmayan, hızlı ve maliyet-etkin bir yöntem olarak çevresel DNA (eDNA)¹⁴. Bu yaklaşım; korumayı, sürdürülebilir balıkçılık yönetimini ve koruyucu tedbirler alınacak alanların belirlenmesini destekleyen izleme programlarının bir parçası olarak geleneksel trol avcılığı tekniklerini tamamlayıcı şekilde kullanılabilir.
- Fitoplankton (phytoplankton) biyoçeşitliliğinin ve Zararlı Alg Patlaması (HAB) türlerinin hızlı izlenmesi için DNA metabarkodlama¹⁵ (DNA metabarcoding); mikroskopiye dayalı geleneksel yaklaşımlara kıyasla taksonomik çözünürlükte daha yüksek duyarlılık sunar. Çevre kurumları ve izleme otoritelerince yürütülen biyoçeşitlilik değerlendirmelerini güçlendirebilir.
- Denizanelerini (jellyfish) hızlı ve invazif olmayan biçimde saptamak için sualtı akustik yöntemleri ile insansız hava aracı (drones, İHA) yaklaşımların birleşimi; izleme faaliyetlerine uygulanabilir.
- Endüstriyel uygulamalar için ölçeklendirilebilen, biyoteknolojik potansiyele sahip yeni enzimlerin metagenomik¹⁶ (enzyme metagenomics) olarak keşfedilmesi.
- Glider (otonom robotik) ve Scanfish (gemiden çekilen) gibi örnekleri olan otonom platformlar ve mobil platformlarla nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojileri üzerinden bağlantılı sabit (bentik/benthic) platformlar¹⁷.

¹⁰ 5.4 numaralı çıktı: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17229461>

¹¹ 3.2 numaralı çıktıya şu adresten ulaşılabilir: <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

¹² 5.5 numaralı çıktıya şu adresten ulaşılabilir: <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

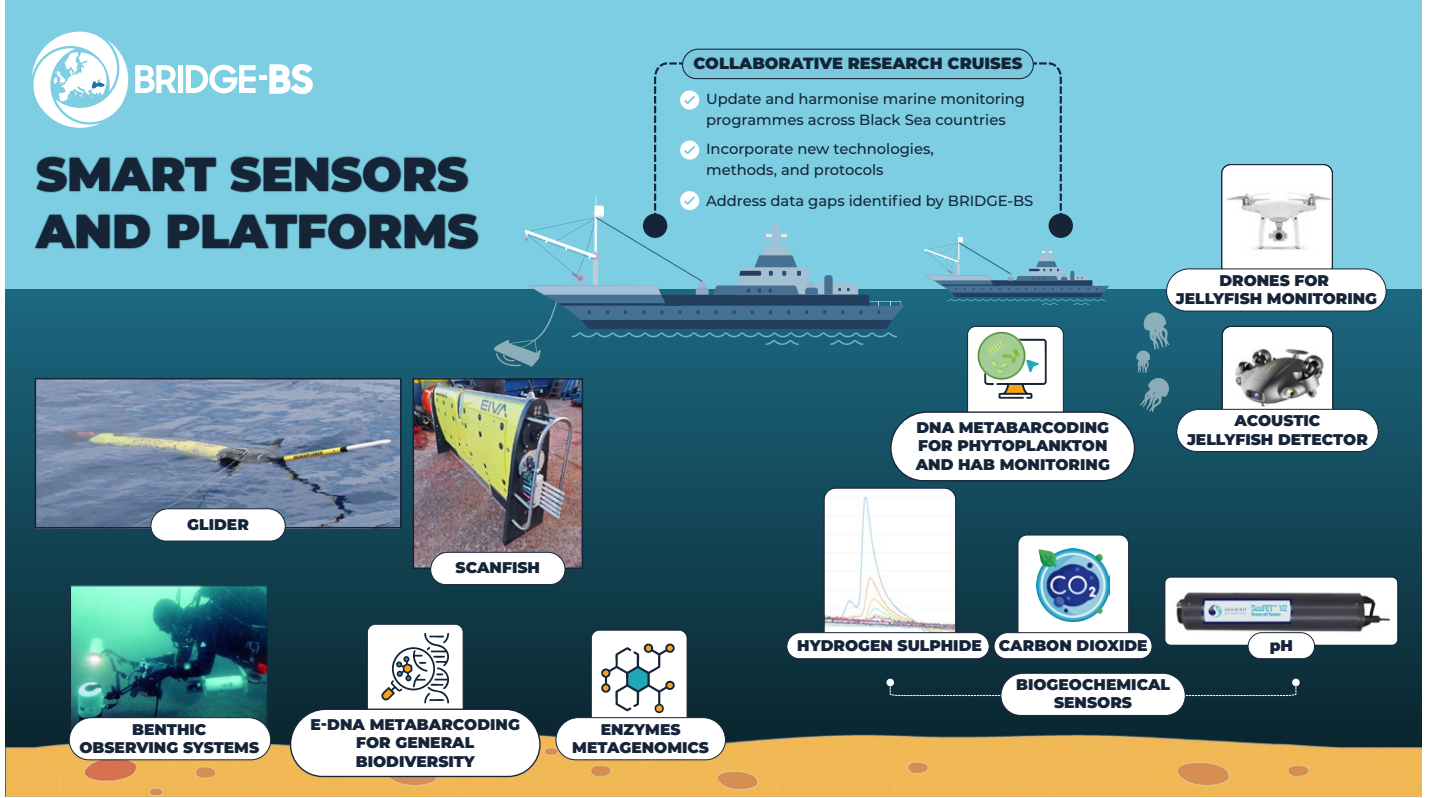
¹³ 5.3 numaralı çıktıya şu adresten ulaşılabilir: <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

¹⁴ Sediman veya su gibi çevresel örneklerden, belirgin bir biyolojik kaynak materyali olmaksızın elde edilen genetik materyal. Türlerin varlığının göstergesi olarak kullanılır.

¹⁵ Bir çevresel örnekten (ör. eDNA içeren su ya da sediman) genetik "barkod" bölgelerinin dizilenmesi yoluyla türlerin tanınması; aynı anda birden çok türü (topluluğu) ve göreceli bolluklarını ortaya koyabilir.

¹⁶ Bir çevresel örnekteki tüm organizmalara ait DNA'nın (tüm genetik içeriğin) yapısını ve işlevini doğrudan inceleyen çalışmalar.

¹⁷ Okyanusun geniş, keşfedilmemiş alanlarının izlenmesini mümkün kılan, akıllı ve birbiriyle bağlantılı sualtı nesnelerinden oluşan ağ.



Şekil 2. BRIDGE-BS ortak araştırma seferleri sırasında test edilen akıllı sensör ve platformların (smart sensors and platforms) genel görünümü.

Biyolojik göstergeler, ekosistemin eşik noktasına¹⁸ ne kadar yaklaştığını değerlendirmeye yardımcı olmak üzere olası yeni işaretler olarak test edildi. Bunlar; besin ağı yapısını (av/stokların trofik düzeyleri¹⁹) ve deniz tabanı biyotik topluluklarının işlevini (biyotürbasyon²⁰ ve biyo-sulama/bioirrigation²¹) yansıtan göstergeleri içerir. Bu göstergeler, kıyasal mavi karbon habitatları da dâhil olmak üzere restorasyon planlarının geliştirilmesine yön verebilir ve çevresel durumun izlenmesi için uyarlanabilir. Göstergelerin doğrulanması ve gelecekte benimsenmesi için daha fazla test edilmesi gereklidir.

BRIDGE-BS Dijital İkiz Okyanus (Digital Twin Ocean, DTO) demonstratörü²²; Şekil 3), geliştirilen pek çok aracı bir araya getiren BRIDGE-BS projesinin anahtar çıktılarının biridir. Amaç, Karadeniz'in sanal bir temsili oluşturarak senaryoları, denge analizlerini (trade off) ve sektörel/paydaş girdileriyle

politika yapımcıların bilgiye dayalı karar alma süreçlerini desteklemektir. DTO, BRIDGE-BS portalı (portal) ve veri tabanından (database) verileri; Karadeniz ve havzasına ait yüksek çözünürlüklü biyofiziksel modelleri; sosyo-ekonomik senaryoları; dayanıklılık değerlendirmelerini (resilience assessment); yapay zekâ tabanlı karar destek aracını ve risk temelli Kümülatif Etki Değerlendirmesi (risk-based cumulative effect analysis) aracını bütünleştirir (Aşağıda her biri ayrı ayrı tanımlanmaktadır). DTO, mevcut ve gelecekteki ekosistem durumu ile riskleri tanımlar; ekosistem hizmetleri ve gelecekteki stres etmenleri senaryolarına odaklanarak belirli alanlar için risk yönetimi bağlamları ve politik hedefler geliştirir. Bu demonstratör, Karadeniz mavi ekonomisi için güvenli faaliyet alanını (safe operating space) çizerek ekosistem sınırlarının tanımlanmasında ve uyarlanabilir yönetime bilgi sağlamada kullanılabilir.

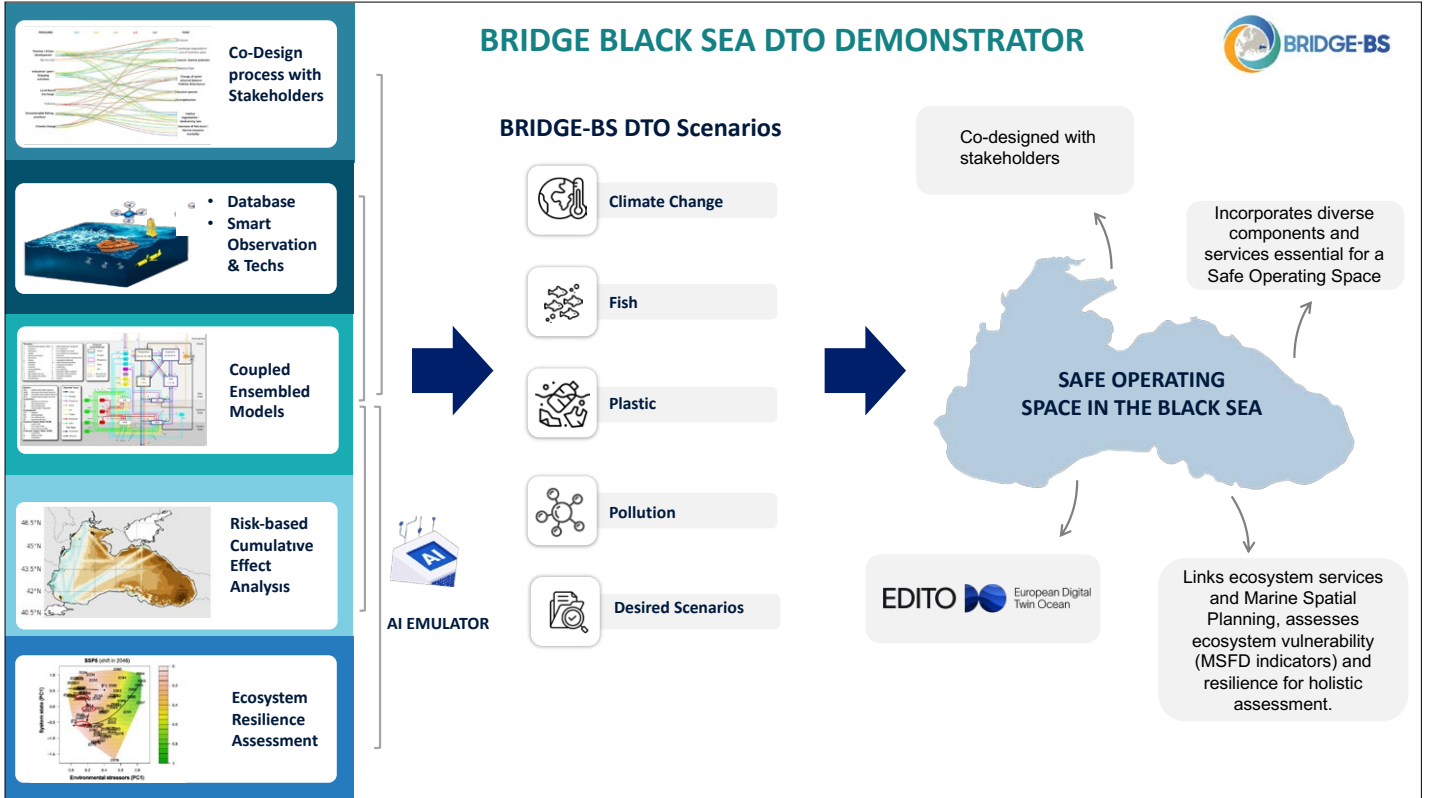
¹⁸ 3.1 numaralı çıktıya şu adresten ulaşılabilir: <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

¹⁹ Bir organizmanın enerji ve besin öğelerini nasıl elde ettiğine bağlı olarak besin zinciri/ağı içindeki konumu.

²⁰ Canlıların kazma, beslenme ve bitki kök etkinlikleri gibi süreçlerle sedimanı/toprağı karıştırıp bozması.

²¹ Sedimanda yaşayan organizmaların kazma, pompalama ve beslenme yoluyla üstteki su kolonu ile sediman arasında su ve çözünmüş maddeleri aktif biçimde değiş tokuş etmesi.

²² <https://bridgeblacksea.org/index.php/black-sea-dto/>; <https://dekosim.ims.metu.edu.tr/digitaltwin/>



Şekil 3. BRIDGE-BS Dijital Okyanus İkizi (DTO) demonstratörünün genel görünümü.

BRIDGE-BS portalı ve veri tabanı²³, yöntem dokümantasyonuna ve Karadeniz gözlemleri ile modellemelerinden türetilmiş fiziksel, kimyasal ve biyolojik veri kümelerine herkese açık erişim sağlayan disiplinlerarası bir platformdur. İçerik, BRIDGE-BS'in yanı sıra önceki projeler ve bölgesel, Avrupa ve küresel veri tabanlarından (ör. SeaDataNet²⁴, EMODnet²⁵, Sentinel²⁶, Black Sea Water Quality Database²⁷) derlenir.

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deniz Ekosistem ve İklim Araştırmaları Merkezi (DEKOSİM²⁸), BRIDGE-BS portalı, veri tabanı ve DTO demonstratörünün işletimini üstlenecek olup Karadeniz DTO demonstratörü EDITO altyapısına²⁹ (Avrupa DTO girişiminin parçası) entegre edilmektedir.

Yapay zekâ (AI) tabanlı karar destek aracı (decision support tools)³⁰, prototip makine öğrenmesi modelleri kullanarak Karadeniz ekosisteminin çoklu stres etmenlerine nasıl yanıt verdiğini çözümler ve uyarlanabilir (adaptif) yönetim için bilgi üretir. Araç, çevresel stres etmenleri ile öngörülen biyolojik tepkiler arasındaki neden-sonuç ilişkilerini bölgesel ve pilot saha ölçeğinde analiz eder. Ayrıca, havza ölçeğinde gözlemsel ve model verilerini bütünleştirerek uzay ve zamanda karmaşık etkileşimleri inceleme olanağı sağlar. Bu aracın doğruluğunu artırmak için gözlemlerden ve/veya model çıktılarından

türetilmiş tam mekânsal zaman serileri de dâhil olmak üzere fiziksel ve biyojeokimyasal veri boşluklarının giderilmesi gerekir. İleride, bu araç senaryo testlerini desteklemek ve HAB'lar (Zararlı Alg Patlamaları) ya da balıkçılık çöküşleri için erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlamak amacıyla kullanılabilir.

Paydaşların, mavi ekonomi sektörlerinden kaynaklanan kümülatif etmenlerinin çevresel etkilerinin mekânsal olarak yoğunlaştığı alanları (hotspots) anlaması ve öngörmesi için bir **risk temelli Kümülatif Etki Değerlendirmesi (CEA)** karar destek aracı geliştirildi³¹. Araç, belirli sektörlerden etki puanları üretmek gelecekte uyarlanabilir yönetim stratejilerinin test edilmesini ve değerlendirilmesini sağlar; böylece deniz mekânsal planlamasını destekler. Aracın daha da geliştirilmesi, kümülatif stres etmenlerini ekosistem hizmetleri üzerindeki etkilere bağlamak üzere sosyo-ekonomik verilerin entegrasyonuna bağlıdır.

Karadeniz'e özgü, tüm deniz sistemini kapsayan, yüksek çözünürlüklü eşleştirilmiş modeller grubu³² (coupled ensemble models), çoklu stres etmenlerinin mevcut ve gelecekteki etkilerini değerlendirmek için kullanılabilir. Bu sayede karar vericiler, güncel çevresel durumu daha

²³ <https://bridgeblacksea.org/index.php/bridge-bs-database-logged/>

²⁴ <https://www.seadatanet.org/>

²⁵ <https://emodnet.ec.europa.eu/en>

²⁶ <https://sentinels.copernicus.eu/>

²⁷ <https://blackseadb.org/>

²⁸ <https://dekosim.metu.edu.tr/>

²⁹ <https://edito-infra.eu/>

³⁰ 4.3 numaralı çıktıya şu adresten ulaşılabilir: <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

³¹ 4.4 numaralı çıktıya şu adresten ulaşılabilir: <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

³² 2.3 numaralı çıktıya şu adresten ulaşılabilir: <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

iyi anlayabilir, ödünleşimleri (trade-off) tartabilir, yönetim stratejileri geliştirebilir ve bölgesel/ulusal denizcilik politikalarını gözden geçirebilir.

Karadeniz Mavi Ekonomi Gözlemevi (Black Sea Blue Economy Observatory, BEO)³³, Karadeniz mavi ekonomisinin sürdürülebilir kalkınmasını izlemek için bir çevrimiçi gösterge paneli sunar. Bu platform, her Karadeniz ülkesindeki mavi ekonomi sektörlerinin mevcut durumuna genel bir bakış ve BRIDGE-BS tarafından geliştirilen ileriye dönük çeşitli senaryolar sunar. Politika yapıcılar, araştırmacılar ve işletmeler, bölgesel ve ulusal düzeyde mavi ekonomi politikalarını desteklemek üzere kanıta dayalı kararlar almalarını sağlayacak analizler elde edebilir. Platform ayrıca bölgesel sürdürülebilirlik açıklarını, veri boşluklarını ve veriye erişim sorunlarını görünür kılar. BEO'dan gelen veriler BRIDGE-BS DTO demonstratörünü beslemekte olup BEO'nun uzun vadede sürdürülmesine yönelik gelecek planları geliştirilmektedir.

BRIDGE-BS Black Sea Accelerator Programı³⁴, DOORS Karadeniz projesiyle³⁵ iş birliği içinde çalışarak balıkçılıktan su ürünleri yetiştiriciliğine ve deniz taşımacılığına uzanan çeşitli sektörlerde yenilikçi çözümler ile sürdürülebilir mavi

ekonomi işletmelerini büyütmek üzere 15 girişimi, KOBİ'yi ve araştırmacıyı destekledi. **Karadeniz için düzenlenen iki BRIDGE-BS Yüksek Teknoloji Zirvesi (High-Tech Summit for the Black Sea)**, yenilikleri geniş bir bölgesel kitleye sundu ve mavi ekonomi aktörleri arasında diyalogu teşvik etti. Plastik yönetimi, enerji, sürdürülebilir yerel akuakültür ve alg biyoteknolojisi gibi değer ve istihdam yaratan yeni hizmet ve ürün fikirleri ele alındı.

Eğitim ve kapasite geliştirme etkinlikleri (Şekil 4) Karadeniz araştırma topluluğunu güçlendirdi. Bunlar arasında Sanal Mavi Kariyer Merkezi (Virtual Blue Career Center)³⁶, mavi ekonomi doktora programı³⁷ (PhD students), Genç Elçiler Programı³⁸ (Black Sea Young Ambassador Programme), Yaz ve Kış Okulları³⁹ (Summer and Winter schools) ile bilim/politika/teknoloji temasında bir Kitlesel Açık Çevrim İçi Ders⁴⁰ (Massive Open Online Course, MOOC) yer alır. Yaşayan Laboratuvarlar (Living Lab)⁴¹ aracılığıyla yerel paydaşlar; katılımcı etkinlikler yoluyla yerel ve bölgesel politika yapıcılar sürece dâhil edildi. Okyanus Okuryazarlığı etkinlikleri, Karadeniz Okyanus Okuryazarlığı Ağı⁴² ve vatandaş bilimi (citizen science) kampanyaları⁴³ sayesinde sağlıklı bir Karadeniz ile sürdürülebilir mavi ekonominin önemi geniş kamuoyuna anlatıldı.

Karadeniz'in geleceğine dair vizyonlar

Farklı iklim değişikliği senaryoları kapsamında Karadeniz'in gelecekteki durumuna ilişkin başlıca projeksiyonlar, yerel ölçek bilgisi sağlamak üzere küçültülerek ölçeklendirilmiş, eşleştirilmiş fiziksel-biyojeokimyasal modeller kullanılarak geliştirildi. Bu projeksiyonlar, 2100'e kadar deniz yüzeyi sıcaklığının gelecekteki karbondioksit emisyonlarına bağlı olarak 0,9–3,8°C artacağını gösteriyor. Bu durum oksijen konsantrasyonunu etkileyecek olup en az %9'luk bir düşüş beklenmektedir. Biyoçeşitliliğin azalacağı, ekosistem dinamikleri ile balıkçılık verimliliğinin değişeceği tahmin ediliyor. Buna ek olarak BRIDGE-BS modelleri, farklı ekonomik büyüme, nüfus ve nehirler ile kıyı kentlerinden kaynaklanan plastiğe yönelik çevresel politikaları içeren sosyo-ekonomik senaryolara dayalı gelecekteki plastik kirliliği projeksiyonları üretti⁴⁴. Öngörülen bu stres etmeni artışları, Karadeniz'in

dayanıklılığını etkileyecek; mavi ekonomi faaliyetlerinin sürdürülebilir gelişiminin güvence altına alınması için daha temkinli olunması gerekecektir.

Aşağıdaki üç tür senaryo, uyarlanabilir yönetim için önerilerin ve mavi ekonomi sektörlerine yönelik gelecekteki eylemlerin istenen sürdürülebilirlik hedefleriyle⁴⁵ uyumlu biçimde geliştirilmesini şekillendirmek üzere oluşturuldu. Bu senaryolar, Karadeniz Dijital Okyanus İkizi (DTO) ile entegre edilmiştir ve Karadeniz sürdürülebilir mavi ekonomi stratejileri ile politikalarının güncellenmesinde kullanılmalıdır. Ayrıca bu senaryolar, mavi ekonomi işletmeleri tarafından yenilik ve yatırımların nereye yönlendirileceğine ve sürdürülebilirliği güvence altına alacak uygun yönetim önlemlerine karar vermek için de kullanılabilir.

³³ <https://blackseabeo.eu>

³⁴ <https://bridgeblacksea.org/index.php/black-sea-accelerator/>; 7.3 numaralı çıktıya şu adresten ulaşılabilir <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

³⁵ <https://www.doorsblacksea.eu/>

³⁶ <https://bridgeblacksea.org/index.php/virtual-blue-career-center/>

³⁷ <https://bridgeblacksea.org/index.php/2024/10/04/bridge-bs-phd-students-are-advancing-black-sea-research/>

³⁸ <https://bridgeblacksea.org/index.php/young-ambassadors/>

³⁹ 9.6 numaralı çıktıya şu adresten ulaşılabilir: <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

⁴⁰ <https://bridgeblacksea.org/index.php/bridge-black-sea-mooc/>; <https://ocw.metu.edu.tr/course/view.php?id=365>

⁴¹ Yerel topluluklar, uzmanlar ve karar vericilerin bir araya gelerek fikirleri ortaklaşa geliştirdiği, test ettiği ve iyileştirdiği ortam.

⁴² <https://bridgeblacksea.org/index.php/ocean-literacy-network/>

⁴³ 9.6 numaralı çıktıya şuaadresten ulaşılabilir: <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

⁴⁴ 2.4 numaralı çıktıya şu adresten ulaşılabilir: <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

⁴⁵ 4.5 numaralı çıktıya şu adresten ulaşılabilir: <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>



Şekil 4. BRIDGE-BS tarafından desteklenen eğitim ve kapasite geliştirme etkinliklerinin genel görünümü.

2050 Sürdürülebilir Mavi Ekonomi Vizyonu⁴⁶, sürdürülebilirliğin sağlandığı varsayımıyla Karadeniz mavi ekonomisinin 2050'ye uzanan olası gelişim patikalarını ortaya koyar. Bu vizyon, havza ve pilot saha ölçeklerinde; teknolojiye sosyale farklı yenilikler ile deniz havzasından yerele farklı yönetim koşullarını ve yerel paydaş görüşlerini dikkate alan bir öngörü/gelecek tasarımı çalışmasıyla geliştirilmiştir. Bu vizyonlar, karar vericilere ve geniş paydaş topluluklarına, ortak düşünmeyi ve stratejik diyalogu teşvik ederek gelecekteki zorluk ve fırsatlarda belirsizlik altında karar almaya yardımcı olacak bir çerçeve sunar. Ayrıca, ulusal idareler, mavi ekonomi stratejilerinin geliştirilmesini desteklemek üzere bu vizyondan yararlanabilir.

Senaryolar (Desired Scenarios)⁴⁷, fiziksel-biyojeokimyasal model sonuçlarını, sürdürülebilir mavi ekonomi vizyonunu ve Yaşayan Laboratuvarlar (Living Lab) yoluyla toplanan yerel aktörlerin perspektiflerini birleştirir. Bu senaryolar, deniz ekosistemlerini ve kaynaklarını etkileyen denizel ve karasal faaliyetler için tercih edilen ve gerçekçi gelecek kurgularını öne çıkarır; iklim değişikliğini gözeterek sürdürülebilir mavi ekonominin geliştirilmesine katkı sağlar. Kümülatif Etki Değerlendirmesi (CEA) aracı, bu senaryoların gelecekteki çevresel etkilerini öngörmek için kullanılmıştır; sonuçlar, havza ölçeğinde en yüksek çevresel etkinin balıkçılık, deniz taşımacılığı

ve karasal kaynaklı besin tuzu girdilerinden geldiğini; su ürünleri yetiştiriciliği ile açık deniz rüzgâr enerjisinin ise daha yerel etkiler ürettiğini göstermektedir. Bu senaryolar, özellikle ulusal idarelerce deniz mekânsal planlaması gibi alanlarda kanıta dayalı politika yapımını destekler niteliktedir.

Karadeniz mavi ekonomisi için dönüştürücü yol haritaları (Transformative Pathways)⁴⁸, pilot sahalarda yürütülen altı katılımcı Living Lab (Yaşayan Laboratuvarlar) sürecinde kıyı topluluklarının paydaşlarıyla ortak tasarlandı; toplam 162 kurumu sürece dâhil etti. Bu yol haritaları, sistemi daha sürdürülebilir, dayanıklı ve adil bir duruma taşımayı mümkün kılabilir. Paydaşlar, sürdürülebilir mavi ekonomi için başlıca zorlukları belirledi, 2050 vizyonu üzerinde uzlaştı ve bu vizyona erişmek amacıyla mavi ekonomi sektörlerinde dönüşümü sağlayacak adımları tanımladı. Analiz edilen sektörler akuakültür, turizm, deniz yenilenebilir enerjisi, deniz çevresel gözlemi ve yönetimi, balıkçılık ile liman ve deniz taşımacılığını kapsamaktadır. Belirlenen adımlar arasında teknolojilerin ilerletilmesi, dijitalleşme, eğitim ve toplum katılımı yer almaktadır. Paydaşlar bütüncül sistem yaklaşımı gerekliliğini açıkça belirtmemiş olsalar da bu adımlar öğrenme ve katılım (ör. izleme, kapasite geliştirme, paydaş katılımı) yoluyla kıyı topluluklarının sosyo-ekolojik dayanıklılığını desteklemektedir.

⁴⁶ <https://bridgeblacksea.org/index.php/2025/03/14/bridge-bs-takes-you-to-the-future-of-the-black-sea-with-2050-sustainable-blue-economy-imaginaries-for-the-black-sea-report/>

⁴⁷ 4.4 numaralı çıktıya şu adresten ulaşılabilir: <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

⁴⁸ 6.3 numaralı çıktıya şu adresten ulaşılabilir: <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

Gelecek araştırma ve politika gereklilikleri

Önümüzdeki beş yıl içinde, insan faaliyetlerinin Karadeniz'in sağlığı ve dayanıklılığı üzerindeki etkilerini sınırlamak, temel ekosistem hizmetlerini korumak ve sürdürülebilir mavi

ekonominin gelişimi için güvenli faaliyet alanı (safe operating space) sağlamak amacıyla aşağıdaki eylemlerin hayata geçirilmesi gereklidir.

Politika yapıcılara öneriler

- **Ulusal ve bölgesel düzeyde mavi ekonomi stratejilerinin, düzenlemelerini ve yaptırım mekanizmalarını** BRIDGE-BS'nin uyarlanabilir yönetim önerileriyle uyumlu olacak şekilde geliştirilmesi ve güncellenmesi; bunun içinde şu başlıklar yer alır: küçük ölçekli balıkçılığı önceliklendirmek, sürdürülebilir balıkçılık politikalarını ve ekosistem temelli balıkçılık yönetimini güçlendirmek, gemiler ve liman altyapıları için yeşil taşımacılık çözümlerini benimsemek, açık deniz rüzgâr enerjisi ve sürdürülebilir akuakültürü geliştirmek, havzalardan ve kıyı alanlarından gelen kirliliği azaltmak, yenilikçi ve sürdürülebilir turizmi teşvik etmek.
- **Karadeniz bölgesinde bilim-politika etkileşiminin ve diyalogunun daha da güçlendirilmesi;** mevcut mekanizmalar arasındaki eşgüdümü iyileştirip bunların desteklenmesi (ör. Karadeniz Komisyonu-BSC, Karadeniz Ekonomik İşbirliği-BSEC, Akdeniz ve Karadeniz için Genel Balıkçılık Komisyonu-GFCM).
- **Karadeniz mavi ekonomisinin yönetiminde sistem yaklaşımı ve dayanıklılık düşüncesinin uygulanması;** BRIDGE-BS'nin senaryo geliştirme ve paydaş katılım yöntemlerini kullanarak katılımcı paydaş yaklaşımlarını uyarlanabilir yönetim stratejilerine entegre edilmesi.
- **Mavi ekonomi hibeleri, finansal teşvikler ve ulusal düzey finansman aktörleri arasında bölgesel eşgüdümü kapsayan özel bir finansman çerçevesi oluşturulması;** ulusal ve bölgesel hızlandırıcı/kuluçka mekanizmalarının⁴⁹ desteklenmesi. Black Sea Accelerator Programı ve Yüksek Teknoloji Zirvesinin gelecek sürümlerini destekleyecek uzun vadeli bir çerçeve kurarak bu etkinliklerin bölgesel yenilik için referans platformu rolünü pekiştirilmesi.
- **Her Karadeniz ülkesinde ve havza ölçeğinde, BRIDGE-BS araçlarını kullanarak tutarlı bir ekosistem temelli yaklaşımın deniz mekânsal planlamasına (MSP) uygulanması.** Bu uygulama, deniz koruma alanları (MPA) ağının etkin yönetimini güçlendirecek ve balıkçılık, taşımacılık, turizm gibi insan faaliyetlerinin bu alanların içinde ve çevresinde düzenlenmesini sağlayacaktır.
- **Karadeniz ülkelerinde deniz izleme programlarının BRIDGE-BS kapsamında test edilen yeni teknolojiler, yöntemler, protokoller ve belirlenen veri boşlukları temelinde güncellenmesi ve uyumlu hâle getirilmesi.** Ayrıca, Karadeniz ülkeleri arasında sosyo-ekonomik veri toplanmasını ve açık erişimi uyumlu hale getirmek, bu verilerle mavi ekonomi gözlemvini (BEO) beslemek ve BRIDGE-BS DTO demonstratörü ile bağlantı kurmak amacıyla bölgesel bir izleme çerçevesi oluşturulması.
- **BRIDGE-BS kapsamında geliştirilen kapasite geliştirme faaliyetlerinin sürdürülmesinin ve geliştirilmesinin desteklenmesi;** Kitlel Açık Çevrim İçeri Ders (MOOC), Karadeniz Genç Elçiler Programı, Karadeniz Okyanus Okuryazarlığı Ağı, ve Sanal Mavi Kariyer Merkezi buna dahildir.

⁴⁹ 7.2 numaralı çıktıya şu adresten ulaşılabilir: <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

Araştırma ve operasyonel hizmetler için öneriler

- **Akıllı sensör teknolojilerinin geleneksel gözlem sistemleriyle birlikte daha da geliştirilmesi, eşgüdülenip sahada devreye alınması.**
- Kara ve deniz bütünleşik, çoklu stres etmenleri için erken uyarı sistemine yönelik **standartlaştırılmış metodoloji geliştirmeye devam edilmesi.**
- **BRIDGE-BS gözlem verileri, modelleri ve öngörüye dayalı yönetim araçlarının BRIDGE-BS Dijital Okyanus İkizi (DTO) demonstratörüne entegrasyonunun güçlendirilmesi;** paydaş ihtiyaçlarına uygun yeni senaryoların kullanım örneklerinin ve işlevlerin dâhil edilmesi. BRIDGE-BS DTO, Copernicus Marine Service, EMODnet ve Avrupa DTO (EDITO) arasındaki bağlantıları tanımlanması ve düzenlenmesi.
- BRIDGE-BS kapsamında geliştirilen **araçlara yönelik politika yapıcı eğitimlerinin kolaylaştırılması.**
- **Karadeniz Stratejik Araştırma ve Yenilik Gündemi'nin (SRIA) güncellenmiş sürümündeki bilgi eksikliklerinin giderilmesi.** Şu konu başlıkları ele alınabilir: geleceğe dönük dayanıklılık ve eşik noktası değerlendirmeleri; yetersiz izlenen stres etmeni kaynakları ve stres etmeni-itici güç bağlarının güçlendirilmesi; yerel ölçekte daha yüksek çözünürlük için modeli yerel ölçeğe uyarlama; güvenli faaliyet alanının sınırlarının belirlenmesi; oksijen ve hidrojen sülfür haritalandırmasının daha da geliştirilmesi; okyanus asitlenmesi değerlendirmeleri; Tuna Nehri'nin Karadeniz üzerindeki etkisi; biyomoleküllerin endüstriyel potansiyelinin doğrulanması; senaryolar kullanılarak sosyo-ekolojik araştırmalar; Karadeniz'de savaşa bağlı kirliliğin azaltılması.
- **Ukrayna'nın araştırma kapasitesinin yeniden inşasına destek verilmesi.**

Bu öneriler; küresel düzeyde (Kunming Montreal Küresel Biyoçeşitlilik Çerçevesi, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma için Okyanus Bilimi On Yılı, Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları), AB düzeyinde (AB Okyanus Mutabakatı/Ocean Pact, AB Su Dayanıklılığı Stratejisi, Avrupa Yeşil Mutabakatı, AB Biyoçeşitlilik Stratejisi, Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi, Denizel Mekânsal Planlama Direktifi, Doğa İyileştirme Tüzüğü, Kuşlar ve Habitatlar Direktifleri, „Okyanuslar ve Suların Restorasyonu” Misyonu) ve bölgesel düzeyde (Bükreş Sözleşmesi, AB Karadeniz Stratejisi, AB Tuna Stratejisi, Karadeniz Sinerjisi, Ortak Denizcilik Gündemi, Karadeniz Stratejik Araştırma ve Yenilik Gündemi (SRIA) ve Uygulama Planı) yürütülen politika, strateji ve girişimlerin uygulanmasını destekler. Bu öneriler, özellikle yerel düzeyde olmak üzere Karadeniz bölgesindeki tüm aktörlerce bu kapsamlı politika çerçevesinin uygulanması ve yaptırımına katkı sağlayacaktır. Paydaşların bu önerileri hayata geçirmesine yönelik somut eylemler hakkında daha fazla bilgi „Karadeniz için 2030 Mavi Yol Haritası”nda⁵⁰ bulunabilir.

⁵⁰ 8.4 numaralı çıktıya şu adresten ulaşılabilir: <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

Teşekkür

BRIDGE-BS projesi, Avrupa Birliği'nin Ufuk 2020 araştırma ve yenilik programı kapsamında, 101000240 numaralı hibe sözleşmesiyle finanse edilmiştir. Burada ifade edilen görüş ve kanaatler yalnızca yazarlara aittir; Avrupa Birliği'nin veya hibe otoritesinin görüşlerini yansıtmak zorunda değildir. Avrupa Birliği ve hibe otoritesi bu içerikten sorumlu tutulamaz.

Yazarlar: Britt Alexander, Sheila J. J. Heymans, Barış Salihoğlu, Mustafa Yucel, Susa Niiranen, Andrea Barbanti, Alice Guittard, Frederick Herpers, Matteo Bocci

Koordinasyon ve editörlük: Britt Alexander, Sheila J. J. Heymans

Dış hakemler: Adrian Stanica, Mario Sprovieri, Andreea Strachinescu

İç hakem: Pierre Yves Le Tron (BRIDGE-BS danışma kurulu üyesi)

Diğer katkılar: Pinar Uygurer, Georgi Daskalov, Stefano Menegon, Dan Vasiliu, María Pérez Rodríguez, Georgia Chantzi, Rosa Fernández Otero, Marilaure Gregoire, Stefania Klayn, Dimitar Berov, Patrizio Mariani, Phoebe Koundouri, EMB Secretariat

Tasarım: Zoeck

Çeviri: Translated & Mustafa Yücel

Infografik: Özgün Evrim Sayılkan

Kapak resmi: Leewarrior, Pixabay.

Anahtar sözcükler

Sürdürülebilir mavi ekonomi, ekosistem temelli yönetim, akıllı gözlemler, karar destek araçları, sosyo-ekonomik senaryolar

Atıf

BRIDGE-BS (2025). Advancing Black Sea Research and Innovation for a Sustainable Blue Economy. BRIDGE-BS Policy Brief, published by the European Marine Board, Ostend, Belgium. ISBN: 9789464206371. DOI: 10.5281/zenodo.17512752

Telif hakkı ve kullanım

Bu yayın, Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) lisansı kapsamında açık erişim olarak dağıtılmaktadır. İlk yazarlara ve telif hakkı sahiplerine kredi verildiği, özgün yayına atıf yapıldığı, Creative Commons lisansına bağlantı sağlandığı ve özgün içerikte yapılan değişikliklerin belirtildiği sürece eserin başka ortamlarda kullanımı, dağıtımı veya uyarlanmasına izin verilir. Bu koşullara uymayan hiçbir kullanım, dağıtım veya çoğaltıma izin verilmez.

Yapay zekâ bildirimi

Bu belgenin çevirisine yardımcı olmak amacıyla Translated'ın yapay zekâ destekli CAT aracı Matecat kullanılmış olup dil düzenlemesi için ChatGPT'den yararlanılmıştır. Yapay zekâ, bilimsel bulgular üretmek, literatür taraması oluşturmak, bilimsel sonuçlar elde etmek veya tavsiyeler sunmak gibi önemli hiçbir yazım görevinde kullanılmamıştır.

This Policy Brief was written by the
EMB Secretariat and other partners
in the BRIDGE-BS project.

PUBLISHED NOVEMBER 2025

European Marine Board IVZW
Belgian Enterprise Number: 0650.608.890
Jacobsenstraat 1
8400 Ostend Belgium
Tel: +32 (0)59 56 98 00

www.marineboard.eu



**Funded by
the European Union**

This project has received funding from the European Commission's Horizon 2020 Research and Innovation programme under grant agreement N° 101000240. Project coordinator: Middle East Technical University (METU), Turkey. The information and views in this document lie entirely with the authors. The European Commission is not responsible for any use that may be made of the information it contains.