

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK BÜLTENİ

TEMMUZ / 2026

“DENİZCİLİKTE OTONOM ÇÖZÜMLER VE TEKNOLOJİLER”

AB Çapında Dijital Denizcilik Sistemi Ve Hizmetleri

Avrupa Birliği'nin geliştirdiği dijital denizcilik sistemleri, deniz taşımacılığında güvenlik, verimlilik ve sürdürülebilirliği artırmayı amaçlayan kapsamlı bir dijital dönüşüm sürecinin parçasıdır. Bu sistemler sayesinde üye devletler arasında denizcilikle ilgili bilgilerin hızlı ve güvenli biçimde paylaşılması mümkün hâle gelmiştir. Avrupa Komisyonu tarafından oluşturulan bu dijital altyapı, gemi hareketlerinin izlenmesi, liman işlemlerinin kolaylaştırılması ve acil durum yönetiminin geliştirilmesi gibi birçok kritik işlevi yerine getirmektedir.

s. 4

Otonom Denizcilik: Operatörler İçin Teknik Özet

Otonom gemiler, sensörler, yapay zekâ (AI), veri analitiği ve uzaktan kontrol sistemleri kullanılarak insan müdahalesini azaltan veya ortadan kaldıran deniz araçlarıdır. Günümüzdeki uygulamalar tamamen insansız gemilerden ziyade, ağırlıklı olarak insan gözetimi veya uzaktan operasyon desteğiyle yürütülmektedir.

Otonomi Seviyeleri: Uluslararası denizcilik otoriteleri; gemileri uzaktan destekli operasyonlardan tamamen otonom sistemlere uzanan geniş bir yelpazede, farklı otonomi derecelerine göre kategorize etmektedir.

s. 15

Veri Odaklı Durum Tabanlı Bakımın Faydaları ve Fırsatları

Denizcilik sektöründe operasyonların sürdürülebilirliği açısından güvenlik önemli bir adımdır. Veri odaklı bakım sistemleri, ekipman performansındaki anormallikleri erken aşamada tespit etmeyi hedeflemektedir. Özellikle ciddi arızaların ve operasyonel kazaların önlenmesine yardımcı olmaktadır. Ana makine, yardımcı sistemler ve kritik ekipmanlar üzerinde gerçekleştirilen bu sürekli izleme faaliyetleri; doğrudan mürettebatın güvenliğini artırmakta ve risk yönetimini güçlendirmektedir.

s. 21



PİRİ REİS ÜNİVERSİTESİ - İMEAK DENİZ TİCARET ODASI
ORTAK YAYINDIR.

Yayın ve İmtiyaz Sahibi:

Piri Reis Üniversitesi Adına: Prof. Dr. Nafiz Arıca

Genel Yayın Koordinatörü:

Serdar Akdemir (İMEAK DTO Sürdürülebilirlik Komisyonu Başkanı)

Sorumlu Müdür:

Prof.Dr. M.Ziya Söğüt

Yayın Kurulu:

Prof. Dr. H. Funda Yercan (PRU)
Prof. Dr. İsmail Helvacıoğlu (PRU)
Prof. Dr. Aykut Arslan (PRU)
Prof. Dr. Cüneyt Ezgi (PRU)
Prof. Dr. Turhan Çoban (PRU)
Prof. Dr. Şebnem Helvacıoğlu (PRU)
Prof. Dr. Ahmet Taşdemir (PRU)
Dr. Müge Yaşar (PRU)
Prof. Dr. Mustafa İnsel (İMEAK DTO Danışmanı)
Mustafa Aslan (İMEAK DTO Sürdürülebilirlik Komisyon Başkan Yardımcısı)
Orhan Gülcek (İMEAK DTO Sürdürülebilirlik Komisyon Üyesi)
İsmail Görgün (İMEAK DTO Sürdürülebilirlik Komisyon Üyesi)
Metin Düzgüt (İMEAK DTO Sürdürülebilirlik Komisyon Üyesi)
Recep Ali Kaymaz (İMEAK DTO Sürdürülebilirlik Komisyon Üyesi)
Yakup Kalkavan (İMEAK DTO Sürdürülebilirlik Komisyon Üyesi)

Yayın Dili:

Türkçe

Sayfa ve Kapak Tasarımı:

Arel Medya - Saadet Kınalı

Yayıncının Adı:

Piri Reis Üniversitesi

Yayımcı Adresi:

Postane Mahallesi, Eflatun Sk, No:8, 34940
Tuzla / İSTANBUL
Tel: +90 216 581 0050

Basım Yeri/Yılı:

Bursa/Temmuz 2026

Matbaa:

Yasemin Bayrak

Marmara Mücellit Matbaa Baskı Sonrası Destek Hiz. LTD. ŞTİ.
Sakarya Mah. Alper Sk. No: 5/A Osmangazi/BURSA
SERTİFİKA NO: 42213
0 (224) 2734858
zamanindateslim@gmail.com

Yayın Süresi:

3 Ayda bir (Temmuz, Ekim, Ocak, Nisan)

Yayın Türü/Mahiyeti:

Yaygın Süreli / İlmî

ISSN: 3061-9688

Sürdürülebilirlik bülteni ücretsiz bir yayındır.

Bültenimizde yayınlanan yazılar yazarların kişisel görüşleridir. Bu yazılardan dolayı 'Sürdürülebilirlik Bülteni' sorumluluk üstlenmez. Kaynak belirtilmesi koşuluyla alıntı yapılabilir.

BAŞ YAZI

PROF. DR. NAFİZ ARICA

Denizcilik sektörünün küresel karbonsuzlaştırma vizyonu dijitalleşme ve otonom teknolojilerin gelişimiyle birlikte önemli bir dönüşümden geçmektedir. Özellikle operasyonel süreçlerde uzaktan kontrol yaklaşımlarının günümüz gemi teknolojilerinin otonom sistemleriyle bütünleşmesi, yeni nesil bir dönüşümün yaşamasını sağlamıştır. Bu teknolojilerin operasyonel verimliliklerini geliştirmesi yanında, işletme yönetimi ile birlikte, güvenlik, sürdürülebilirlik ve maliyet yönetimi sektörde önemli fırsatları ortaya çıkartmıştır.

Günümüzde hem sektörel bir değişimi geliştiren, hem de teknolojik değişimi destekleyen otonom konsepti, davranışsal yapıda insan ve makine iş birliğine yeni bir boyut kazandırmıştır. Bu etkileşim, özellikle operasyonel süreçlerde kontrol yönetimini güçlendirirken, geleceğin deniz taşımacılığında dijital değişimi de şekillendirmiştir. Günümüzde işlevsel yetenekleri hızla gelişen sektörün en yaygın uygulamaları otonom yapılarıyla birlikte karar destek sistemleri ve uzaktan izleme çözümleri olarak öne çıkmaktadır. Nitekim bu değişim yapay zekâ destekli teknolojiler, rota optimizasyonu, çarpışma önleme sistemleri ve otomatik gözetleme teknolojileriyle işlevsel çeşitliliği artırmıştır. Bu süreç gemi operasyonlarını daha öngörülebilir ve güvenli hale getiren uygulamaları geliştirmiştir. Günümüzde sektörel zorunluluklar, yakıt tüketiminin azaltılması ve emisyonların düşürülmesi gibi stratejik hedefleri öne çıkartmıştır. Otonom teknolojiler de bu süreçte, sektörün kurumsal ve çevresel sürdürülebilirliğin geliştirmede stratejik bir rol üstlenmiştir. Nitekim yeni inşa gemilerde artan otonom kabiliyetleri, özellikle mevcut filolara entegre edilen çözümleriyle birlikte, karbonsuzlaştırmaya doğru dönüşümün kademeli ancak kararlı bir şekilde ilerleyebileceğini göstermektedir.

Bu süreç kolay olmamıştır. Özellikle tam otonom deniz taşımacılığına geçiş, teknolojik gelişmelerle sınırlı bir süreç olarak görülmemelidir. Bu süreç gemi mimarisinden güvenilirliğe ve siber güvenliğe uzanan kritik unsurları içerir. Her ne kadar uzaktan operasyon merkezlerinin yönetiminden insan-makine etkileşimi kolaylaşsa da, birçok aşama da bu yeni yapı içinde şekillenmiştir.

Otonom uygulamalar konusunda Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO) yasal düzenlemeleri henüz gelişim aşamasında olsa da, sektör paydaşları risk temelli değerlendirme süreçlerini ve kapsamlı doğrulama mekanizmalarını ön plana çıkaran çözümleri şimdiden desteklemektedir. Buna ek olarak klas kuruluşları da, bayrak devletleri ve teknoloji geliştiricileri arasındaki iş birliği, güvenli ve sürdürülebilir bir dönüşümün gerekliliğini ortaya koymuştur. IMO'nun stratejik planında orta vadeli dönüşüm süreçleri öne çıkarken, otonom denizcilik teknolojilerinin ticari ölçekte yaygınlaşmasına yönelik beklentiler değer kazanmıştır. Özellikle IMO tarafından geliştirilen Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) düzenlemelerinin hayata geçirilmesiyle birlikte sektör için daha net bir yasal çerçeve ortaya çıkmıştır. Bu süreç 2030'lu yıllara doğru uzaktan operasyon merkezleri tarafından yönetilen, minimum mürettebatla çalışan ve görev sorumluluğunu yerine getiren gemilerin sayısını etkileyecektir. Bu bültende, özellikle denizcilik sektörünün otonom yapılara ve teknolojilere yönelik çözümleri ele alınmıştır. Bültende otonom teknolojileri ilgilendiren pek çok disiplinler arası gelişmenin sektör paydaşlarına ulaştırılması hedeflenmiştir. Özellikle döngüsel süreçleri destekleyen otonom çözümler önemli bir kazanım yeteneği olarak gelişmektedir.

BÜLTEN HAKKINDA

Küresel çalkantıların getirdiği belirsizliklere rağmen, denizcilik sektörünün 2050 vizyonu doğrultusundaki hedefleri olan; operasyonel verimlilik artışı, emisyon azaltımı, güvenlik gereksinimleri ve dijital dönüşüm yatırımları son yıllarda gündemin merkezine oturmuştur. Bu değişim çerçevelerinde otonom gemiler, uzaktan operasyon merkezleri, yapay zekâ destekli karar destek sistemleri, sensör teknolojileri, gelişmiş haberleşme altyapıları ve siber güvenlik çözümleri bu vizyonel beklentiler için gelecek hedeflerinde öne çıkan konular olmuştur. Bülten, sektörel hedefler yönüyle otonom ve uzaktan operasyon teknolojilerinin teknik, operasyonel ve düzenleyici boyutlarını ele alarak kurumsal gelişmeler ile birlikte sektör profesyonellerine güncel, güvenilir ve katma değer yaratan içerikler sunmayı amaçlamıştır.

Küresel ölçekte tüm sektör paydaşlarını ilgilendiren çalışmalar da yakından takip edilerek okuyucularımıza kapsamlı bir perspektif sunulmaya çalışılmıştır. Bu bülten; denizcilik teknolojilerindeki gelişmeler hakkında bilgi vermeye; bu gelişmelerin operasyonel etkilerini, teknik gereksinimlerini ve potansiyelini değerlendirmeye odaklanmıştır. Aynı zamanda bu bülten, otonom teknoloji değişim süreçlerine yönelik çerçeveleri belirleyerek, bu alandaki bilgi paylaşımını desteklemeyi hedeflemektedir. Bu kapsamda otonom gemilerin sektörel yapısını ve buna ilişkin yapılan çalışmalar ve süreçler hakkında derlemeler yapılmıştır. Yapılan bilimsel paylaşımlar ile birlikte geliştirilen bu bülten denizcilik sektörü başta olmak üzere sektörel paydaşların görüşüne sunulmuştur.

Deniz Taşımacılığında Otonom Gemilerin Yaygınlaşmasının Önündeki Engeller

Dr. Öğr. Üyesi Oktay ÇETİN

Son yıllarda otomasyon ve yapay zekânın ortaya çıkışı, otonom nakliye teknolojilerine olan ilgiyi artırmıştır. Deniz Otonom Suüstü Gemileri (Maritime Autonomous Surface Ships-MASS), otomatik destek sistemlerinden tamamen otonom seyrüsefere kadar değişen derecelerde insan müdahalesiyle çalışabilen gemilerdir. Otonom gemilerin potansiyel faydaları oldukça fazladır. Otonom gemiler, deniz kazalarının en az %75'inin sorumlusu olan insan hatasını azaltabilir, yakıt verimliliğini artırabilir ve işçilik maliyetlerini düşürebilir (Allianz, 2022). Rolls-Royce ve Kongsberg gibi şirketler, IMO gibi düzenleyici kurumlarla birlikte, kalkınmayı desteklemek için projeler başlatmıştır. Son yıllarda denizcilik endüstrisinin gündeminde olan konulardan biri de otonom gemi teknolojisindeki gelişmelerdir. Günümüzde küçük gemilere uygulanan otonom teknolojisindeki ivmelenme henüz beklentileri karşılayacak düzeyde değildir. Bu da gayet doğaldır. Teknolojik alandaki bir yeniliğin ortaya çıkması ile yaygın olarak kullanılması arasında önemli bir zaman aralığı vardır. Örneğin, 1750'li yıllarda İngiltere'de ortaya çıkan Sanayi Devrimi sayesinde icat edilen buhar teknolojisi makineleşmeyi sağlamış; bu teknolojinin gemilerde uygulanmasıyla demir gövdeli gemilerin yaygın kullanımı 1850'leri, çelik gövdeli gemilerin yaygınlaşması ise 1880'leri bulmuştur. Yani, hareket enerjisinin ortaya çıkardığı makineleşmenin yaygın kullanımı yaklaşık 100 yıl sürmüştür. Benzer şekilde, elektrikli otomobil teknolojisi 1990'lı yıllarda ortaya çıktığı halde 30 yıl sonra bile tüm dünyada tam olarak yaygınlaştığını söylemek mümkün değildir. Teknolojinin gelişimine bağlı olarak otonom gemilerin yaygınlaşması da zaman alacaktır.

Otonom araçların aksine, gemiler insan müdahalesinin hemen hemen imkânsız olduğu uzak okyanus ortamlarında çalışır. Bu durum, sağlam bir yedeklik sistemine sahip yüksek güvenilirlikli sistemlere olan ihtiyacı artırır. Ancak, tuzlu suyun yarattığı korozyon ve mekanik stres gibi zorlu deniz koşullarında sistem performansını kesintiye uğramadan sağlamak kolay değildir (Rødseth & Burmeister, 2015). Otonom gemileri yönetmek, kıyı kontrol merkezleriyle sürekli iletişim gerektirir. Uydu iletişimi ise genellikle gecikme, sınırlı bant genişliği ve yüksek maliyet gibi sorunlar yaşanmaktadır. Bu kısıtlamalar, gerçek zamanlı karar alma süreçlerini ve veri iletimini etkilemektedir. Otonom gemilerin benimsenmesinde bir diğer önemli zorluk, kapsamlı düzenleyici çerçevelerin eksikliğidir. Denizcilik operasyonları, SOLAS ve COLREG gibi uluslararası sözleşmelerle yönetilir. Ancak, bu çerçeveler



mürettebatlı gemiler için geliştirilmiştir ve otonom operasyonları yeterince ele almamaktadır (IMO, 2021). Özerklik seviyeleri ve operasyonel yönergeler için standartlaştırılmış tanımların olmaması, sistemleri geliştirenler ve yatırımcılar için belirsizlik yaratmaktadır.

Otonom gemilerin yaşadığı kazalarda sorumluluğun belirlenmesi konusu karmaşıktır. Sorumluluk gemi sahipleri, yazılım geliştiricileri, ekipman üreticileri veya bu gemilere uzaktan kumanda eden operatörler olabilir. Bu belirsizlik, sigorta modellerini karmaşıktırmakta ve sektörde benimsenmesini yavaşlatmaktadır (Ringbom, 2019). Gemi kaydı ve işletmesi konusunda farklı ülkelerin farklı kuralları vardır. Otonom gemilerin, düzenleyici tutarsızlıklar nedeniyle limanlara giriş veya bölgesel sularda seyir kısıtlamalarıyla karşılaşması muhtemeldir.

Otonom gemiler uzun vadeli maliyet tasarrufu vaat etse de başlangıçta yatırım gereksinimleri oldukça yüksek olup, geliştirilmeleri ve konuşlandırılmaları için sensörler, yapay zekâ sistemleri ve iletişim altyapısı gibi gelişmiş teknolojilere önemli yatırımlar gerektirir. Mevcut filoların yenilenmesi de aşırı pahalı olabilir (Stopford, 2019). Otonom denizciliğin ekonomik faydaları, düzenleyici kurallardaki gecikmeler ve teknolojik riskler nedeniyle belirsiz kalmaktadır.

Düşük marjlarla faaliyet gösteren denizcilik şirketleri, kanıtlanmamış teknolojilere yatırım yapmaya genellikle isteksizdir. Limanlar, lojistik tedarikçiler ve tedarik zincirleri dahil olmak üzere daha geniş denizcilik ekosisteminin, otonom gemilere uyum sağlamaya hazır olması gerekmektedir. Bu alanlarda altyapı hazırlıklarının eksikliği otonom gemilerin benimsenmesini daha da geciktirmektedir.

Otonom gemiler dijital sistemlere son derece bağımlıdır, bu da onları siber tehditlere karşı hassas ve savunmasız bırakmaktadır.

1.Light Detection and Ranging (LIDAR), lazer ışınları kullanarak bir nesnenin veya çevrenin mesafesini yüksek hassasiyetle ölçen ve ortamın 3 boyutlu haritasını çıkaran gelişmiş bir uzaktan algılama teknolojisidir.

Hacker'lar navigasyon sistemlerini manipüle edebilir, iletişim bağlantılarını bozabilir veya gemi operasyonlarının kontrolünü ele geçirebilir. Bu tür siber saldırılar, denizde çarpışmalar, çevresel afetler veya deniz haydutluğu gibi ciddi sonuçlara yol açabilir (Tam & Jones, 2019).

Otonom denizcilğe geçiş, denizcilik iş gücü için önemli sonuçlar doğurmaktadır. Tam otonom gemiler bile insan gözetimi gerektirebilir. Uzaktan çalışma için etkili insan-makine arayüzleri tasarlamak karmaşık ve güvenlik açısından kritik bir husustur. Uluslararası denizcilik hukuku, denizde tehlikede olanlara yardım etmesi için gemilere sorumluluk yüklemektedir. İnsan gücünden yoksun otonom gemilerin bu yükümlülükleri nasıl yerine getireceği belirsizdir.

Otonom gemilerin başarılı bir şekilde benimsenmesi, destekleyici altyapı gerektirir. Akıllı limanlar, otonom gemilerle etkileşim kurmak için gelişmiş dijital sistemlerle donatılmalıdır. Buna otomatik kenetlenme sistemleri, dijital trafik yönetimi ve veri alışveriş platformları dahildir (Heilig ve ark., 2017). Farklı sistemlerle gemi ve operatörler arasında uyumluluğun sağlanması kritik önemdedir. Standartlaşmanın olmaması entegrasyonda engellemelere ve önemli sorunlara yol açabilir.

Sonuçlar

Otonom gemilerin benimsenmesi ve yaygınlaşmasındaki engelleri aşmak küresel denizcilik sektöründe koordineli çabalar gerektirir. Politika yapıcılar, araştırmacılar ve sektör paydaşları, bu teknolojik yeniliği güvenlik ve etik kaygılarla dengeleyen çözümler geliştirmek için iş birliği içinde çalışmalıdır. Bu çabalarla otonom denizcilğe geçişte hız kazanmak mümkün olabilir. Önündeki engellere rağmen, geleceği hâlâ umut verici olan otonom denizciliğin benimsenmesini hızlandırmaya yardımcı olabilecek bazı öneriler şunlardır:

- IMO gibi kuruluşlar aracılığıyla net uluslararası düzenleme standartları oluşturmak.
- Hükümetler, üniversite ve sanayi arasında iş birliğini teşvik etmek.
- Akıllı limanlar ve güvenilir iletişim ağları geliştirmek maksadıyla altyapı yatırımlarını planlamak ve bir programa uygun olarak gerçekleştirmek.
- Denizcilik eğitiminde uzman kurum ve kuruluşları yeniden yetkilendirilmek ve sistematik personel eğitimlerini sağlamak.
- Siber güvenlik kapsamında sağlam ve standartlaştırılmış güvenlik protokollerini uygulamak.



Kaynak:

- Allianz (2022). *Safety and shipping review 2022*. Allianz Global Corporate & Specialty.
- Heilig, L., Schwarze, S., & Voß, S. (2017). An analysis of digital transformation in the history and future of modern ports. *Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences*, 1341–1350. <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/items/56dfdc6-c8db-42de-9c4e-8585cce8515c>
- International Maritime Organization (IMO) (2021). *Regulatory scoping exercise for the use of maritime autonomous surface ships (MASS)*.
- Levander, K. (2017). Autonomous ships on the high seas. *IEEE Spectrum*, 54(2), 26–31.
- Ringbom, H. (2019). Regulating autonomous ships—Concepts, challenges and precedents. *Ocean Development & International Law*, 50(2–3), 141–169.
- Rødseth, Ø. J., & Burmeister, H. C. (2015). Developments toward the unmanned ship. *Nordic Journal of Commercial Law*, 1, 1–13.
- Stopford, M. (2019). *Maritime economics* (4th ed.). Routledge.
- Tam, K., & Jones, K. (2019). Cyber-risk assessment for autonomous ships. *Maritime Policy & Management*, 46(8), 927–942.

AB Çapında Dijital Denizcilik Sistemi Ve Hizmetleri



Avrupa Birliği'nin geliştirdiği dijital denizcilik sistemleri, deniz taşımacılığında güvenlik, verimlilik ve sürdürülebilirliği artırmayı amaçlayan kapsamlı bir dijital dönüşüm sürecinin parçasıdır. Bu sistemler sayesinde üye devletler arasında denizcilikle ilgili bilgilerin hızlı ve güvenli biçimde paylaşılması mümkün hâle gelmiştir. Avrupa Komisyonu tarafından oluşturulan bu dijital altyapı, gemi hareketlerinin izlenmesi, liman işlemlerinin kolaylaştırılması ve acil durum yönetiminin geliştirilmesi gibi birçok kritik işlevi yerine getirmektedir. Böylece Avrupa deniz taşımacılığı sektörü daha rekabetçi ve koordineli bir yapıya kavuşmaktadır.

Bu sistemlerin merkezinde yer alan SafeSeaNet (Birlik Denizcilik Bilgi ve Değişim Sistemi), Avrupa genelinde denizcilik verilerinin paylaşılmasını sağlayan temel platformdur. Avrupa Deniz Emniyeti Ajansı (EMSA) tarafından işletilen sistem, üye ülkelerin ulusal denizcilik ağlarını ortak bir merkezde birleştirerek denizde gerçekleşen faaliyetlerin gerçek zamanlı olarak takip edilmesine olanak tanımaktadır. SafeSeaNet yalnızca gemi trafiğinin izlenmesine katkı sağlamamakta, aynı zamanda çevre koruma, kirlilikle mücadele, sınır güvenliği ve deniz emniyeti alanlarında da karar vericilere önemli bilgiler sunmaktadır.

Avrupa Birliği'nin dijital denizcilik hizmetleri arasında yer alan "Places of Refuge" (Sığınma Yerleri) sistemi ise yardım ihtiyacı bulunan gemilerin güvenli bölgelere yönlendirilmesini amaçlamaktadır. Deniz kazaları veya teknik arızalar sonucunda tehlike altında bulunan gemiler için uygun sığınma noktalarının belirlenmesi, hem insan hayatının korunması hem de çevresel risklerin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda AB, üye devletler arasında koordinasyonu güçlendiren operasyonel kılavuzlar ve bilgi paylaşım mekanizmaları geliştirmiştir. Özellikle Prestige ve MSC Flaminia gibi büyük deniz kazalarının ardından bu alandaki iş birliği daha da güçlendirilmiştir.

Deniz taşımacılığındaki bürokratik süreçleri azaltmayı hedefleyen bir diğer önemli uygulama ise Ulusal Tek Pencere Sistemleri (National Single Windows) ve bunların temelini oluşturan Raporlama Formaliteleri Direktifi'dir. Bu yaklaşım sayesinde gemi işletmecileri, limanlara giriş ve çıkış sırasında gerekli bilgileri yalnızca bir kez sisteme girerek tüm ilgili kurumlarla paylaşabilmektedir. Avrupa Denizcilik Tek Pencere Ortamı (EMSWe) adı verilen yeni yapı, raporlama süreçlerini standartlaştırmakta ve farklı ülkelerdeki limanlar arasında uyum sağlamaktadır. Böylece hem zaman kaybı hem de idari maliyetler önemli ölçüde azaltılmaktadır.

Avrupa Birliği'nin dijital denizcilik sistemleri, deniz taşımacılığının güvenli, çevreci ve verimli şekilde yürütülmesine önemli katkılar sunmaktadır. SafeSeaNet, Places of Refuge ve EMSWe gibi uygulamalar; bilgi paylaşımını hızlandırmakta, acil durum yönetimini güçlendirmekte ve liman işlemlerini kolaylaştırmaktadır. Bu sistemler aynı zamanda Avrupa'nın dijitalleşme hedefleriyle uyumlu olarak deniz taşımacılığının modernleşmesine katkıda bulunmakta ve küresel denizcilik sektöründe örnek gösterilen bir dijital ekosistem oluşturmaktadır. Gelecekte yapay zekâ, büyük veri analitiği ve gelişmiş izleme teknolojilerinin entegrasyonu ile bu sistemlerin daha da etkin hâle gelmesi beklenmektedir.



Kaynak:

https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/maritime/eu-wide-digital-maritime-system-and-services_en

IMO'nun Denizcilik Otonom Suüstü Gemileri Uluslararası Güvenlik Kodu Çalışması



Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO) Denizcilik Otonom Suüstü Gemileri Uluslararası Güvenlik Kodu (MASS Code) konusunda Mayıs 2026 tarihinde ortaya koyduğu çalışma otonom deniz taşımacılığının düzenlenmesinde önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir. Nitekim 1 Temmuz 2026 tarihinde yürürlüğe giren bu kod öncelikle ilk kapsamlı uluslararası çerçeveyi işaret etmektedir ve uzaktan kontrol edilen veya tamamen otonom çalışan gemilerin güvenli, emniyetli ve sürdürülebilir şekilde faaliyet göstermektedir.

IMO'nun MASS Code çalışmaları, teknolojik yeniliklerin sağladığı operasyonel verimlilik ve maliyet avantajlarını desteklemektedir. Denizde can güvenliği, çevrenin korunması ve uluslararası ticaretin kesintisiz sürdürülmesi gibi temel öncelikleri de güvence altına almayı amaçlayan IMO, Otonom gemilerin yaygınlaşmasıyla birlikte ortaya çıkan siber güvenlik, uzaktan operasyon yönetimi, insan-makine etkileşimi ve sorumluluk paylaşımı gibi yeni risk alanları, kodun geliştirilmesinde temel odak noktaları olarak tanımlamıştır. Bu yaklaşım, sektörün teknolojik dönüşümünü güvenlik ve düzenleyici uyumluluk ilkeleriyle dengelemeyi amaçlarken, denizcilik sektöründe hızla gelişen dijitalleşme ve otomasyon teknolojilerinin küresel ölçekte uyumlu bir düzenleme altında yönetilmesini hedeflenmiştir.

Gerçekte IMO'nun MASS Code'un geliştirilmesi süreci, IMO tarafından 2021 yılında tamamlanan kapsamlı düzenleyici çerçeve belirleme çalışmasının sonuçlarına dayanır. Bu çalışma kapsamında mevcut uluslararası sözleşmelerin farklı otonomi seviyelerine sahip gemilere uygulanabilirliği değerlendirilirken, gemi kaptanının rolü, mürettebat tanımları, uzaktan operatörlerin sorumlulukları, arama-kurtarma faaliyetleri ve gemi üzerindeki operasyonel gereklilikler gibi kritik konularda düzenleyici boşluklar tespit edilmiştir.

Elde edilen bulgular, gelecekte zorunlu hale gelecek düzenlemelerin temelini oluştururken, sektör paydaşlarının yeni operasyonel modellere hazırlanmasına da katkı sağlamıştır. IMO'nun yol haritasına göre 2026 yılında kabul edilen gönüllü MASS Code'un ardından deneyim kazanım süreci yürütülmesini gerekli görürken, elde edilen sonuçlar doğrultusunda zorunlu kodun da geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda, en geç 1 Temmuz 2030 tarihinde zorunlu MASS Code'un kabul edilmesi ve 1 Ocak 2032 itibarıyla yürürlüğe girmesi de beklenmektedir. Otonom gemilerin küresel deniz taşımacılığı sistemine güvenli ve etkin şekilde entegrasyonunu sağlayacak bu süreç, aynı zamanda denizcilik sektörünün geleceğini şekillendiren düzenleyici dönüşümlerden birine öncülük edecektir.

Kaynak:

<https://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/autonomous-shipping.aspx>

ABD-İsrail ve İran Arasındaki Çatışmaların Denizcilik Şirketlerinin Sera Gazı Emisyon Maliyetlerine Etkisi

Doç. Dr. Hüseyin GENÇER

ABD (Amerika Birleşik Devletleri)-İsrail ve İran arasındaki çatışmalar nedeniyle, başta enerji ve gıda alanlarında olmak üzere tedarik zincirleri, Covid-19 pandemisinden beri en büyük aksamalarla karşı karşıya kalmıştır. Çatışmaların en büyük etkilerinden biri denizyolu taşımacılığında görülmektedir. 2023 Ekim ayından beri, Yemen'de İran'ın desteklediği Husilerin, Kızıldeniz'in güneyindeki girişi olan Babülmendep Boğazı'ndaki saldırıları nedeniyle zaten gemilerin çoğu, Kızıldeniz-Süveyş Kanalı rotası yerine Afrika'nın güneyini dolaşarak Avrupa limanlarına ulaşmaktadır. Bazı denizcilik şirketleri, gemilerini tekrar Kızıldeniz-Süveyş Kanalı rotasına yönlendirmişse de ABD ve İsrail'in İran'a saldırıları bölgedeki güvenlik riskini daha da artırmıştır. Hürmüz Boğazı'ndan geçişler aşırı derecede azalarak yüzlerce gemi Basra Körfezi ve Umman Körfezi'nde beklemekte ve birçok denizcilik şirketi gemilerini bu bölgeden uzak tutmayı tercih etmektedir.

Uzak Doğu'dan çıkarak Afrika'nın güneyinden Kuzey Avrupa'daki limanlara ulaşmak, Kızıldeniz-Süveyş Kanalı rotasıyla karşılaştırıldığında gemilerin sefer mesafesini 3500-4000 deniz mili kadar artırmaktadır. Bu durum ise gemilerin sefer sürelerini uzatarak işletim maliyetlerini ve yakıt maliyetlerini artırmaktadır. Bununla birlikte, özellikle AB (Avrupa Birliği)'deki ve AEA (Avrupa Ekonomik Alanı)'ndaki limanlara uğrayan gemiler için yakıt kaynaklı emisyon maliyetleri, yakıt maliyetlerinden ayrı düşünülemez.



2024 yılından itibaren denizcilik sektöründe de uygulanmaya başlayan EU ETS kapsamında, Kızıldeniz-Süveyş Kanalı rotası yerine Afrika'nın güneyinden dolaşarak AB ve AEA limanlarına uğrayan gemiler daha fazla yakıt harcayacağından, şirketlerin sera gazı emisyonları, dolayısıyla maliyetleri artacaktır. Diğer taraftan, mesafe arttığı için AB ve AEA limanlarına daha kısa sürede ulaşmak isteyen gemilerin hızlarını artırması da daha fazla yakıt harcanmasına, dolayısıyla daha fazla emisyon ve maliyetlere neden olacaktır. Ayrıca, çatışmalar nedeniyle AB ve AEA limanlarına varış sürelerindeki sapmalar bazı limanlarda yığılmalara, gemilerin limanlarda daha fazla beklemelerine neden olmaktadır. Bunun sonucunda, limanlarda bekleyen gemiler daha fazla yakıt harcayarak daha çok emisyon, yani EU ETS kapsamında daha fazla maliyete yol açacaktır.

2025 yılında yürürlüğe giren ve gemilerde kullanılan yakıt enerjisinin yoğunluğuna, yani sera gazı emisyonu yoğunluğuna odaklanan FuelEU düzenlemesi de şirketlere ekstra maliyetlere neden olmaktadır. Mesafenin artmasına bağlı olarak gemilerin daha fazla fosil yakıt harcaması, toplam yakıt karışımı içindeki alternatif veya biyoyakıtların oranını seyrelterek geminin ortalama sera gazı yoğunluğunu FuelEU hedeflerinin üzerine çıkartabilir. Gemilerin limanlarda beklerken harcamış oldukları yakıt enerjisi, FuelEU kapsamında faydasız enerji tüketimi olarak dikkate alınır. Dolayısıyla, bu durum da gemilerin yıllık emisyon yoğunluğu hedeflerini olumsuz yönde etkiler.

Kaynak:

<https://www.linkedin.com/pulse/navigating-efficiency-applying-lean-principles-maritime-dziuman-v7dkf/>

ABD-İsrail ve İran arasındaki çatışmalar, gemilerin CII (Carbon Intensity Indicator- Karbon Yoğunluğu Göstergesi) derecelerini de olumsuz yönde etkilemektedir. Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün 2023 yılında uygulamaya başlattığı CII düzenlemesi, gemilerin kapasitesini, bir yıl boyunca katettikleri mesafe ve harcadıkları yakıtı bağlı olarak ortaya çıkan karbon emisyon miktarını dikkate alarak gemileri A (en yüksek)'dan E (en düşük)'ye kadar derecelendirmektedir. Şirketler, D veya E derecesine sahip olan gemileri için zorunlu düzeltici önlemleri taahhüt etmek zorundadır. Yukarıda, EU ETS ve FuelEU düzenlemelerinin etkilerinde anlatıldığı gibi mesafenin artması nedeniyle hızlarını artıran gemilerin yakıtları, dolayısıyla karbon emisyonları artmaktadır. Diğer taraftan, liman varış sürelerindeki sapmalar gemilerin limanlarda daha fazla beklemesine yol açabilmektedir. Geminin hiç mesafe katetmeden limanda harcamış olduğu yakıt da direkt olarak CII derecesini olumsuz etkiler.



Görüldüğü üzere, ABD-İsrail ve İran arasındaki çatışmalar denizcilik şirketlerini, güvenlik ile emisyon azaltımına ilişkin düzenlemelerin çeliştiği bir iklimle karşı karşıya bırakmıştır. Emisyonların düşürülmesine yönelik uygulamalar henüz gemi kira veya navlun sözleşmelerinde yer almadığı için denizcilik şirketleri yüksek maliyetlerle karşı karşıya kalmaktadır. Bu bakımdan, AB ve Uluslararası Denizcilik Örgütü gibi kuruluşların doğal afet veya jeopolitik risk durumlarında, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik düzenlemelerini, denizyolu taşımacılığındaki dayanıklılığı koruyacak şekilde yeniden gözden geçirmeleri gerekmektedir.



Kaynak:

<https://www.clarksons.com/>

https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-markets/about-eu-ets_en

<https://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/eexi-cii-faq.aspx>

<https://mykn.kuehne-nagel.com/news/article/port-operational-updates-from-19-03-2026>

https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/maritime/decarbonising-maritime-transport-fueleu-maritime_en

IMO'dan Denizcilik Sektörüne Yeni Yol Haritası: 2024–2029 Stratejik Planı Güncellendi

Uluslararası denizcilik sektörünün sürdürülebilirlik vizyonunu ve küresel gelişim yönünü belirleyen en önemli kılavuzlardan biri olan IMO Stratejik Planı; sürdürülebilir kalkınma hedefleri de dikkate alınarak 2024–2029 dönemi için yenilenmiş ve yürürlüğe konmuştur. Geliştirilen yeni plan küresel deniz taşımacılığında emniyet, güvenlik ve çevresel sürdürülebilirliği merkezine almış, insan gelişimini daha bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmiştir. Revizyonun en dikkat çekici yönlerinden biri, insan unsurunu ve sosyal süreçleri ön plana çıkarmasıdır. Özellikle pandemi sonrası dönemde gemi personelinin refahı, eğitimi ve operasyonel süreçlerdeki rolünün gözetildiği eylem adımlarının gerekliliği vurgulanmıştır. Bu yaklaşımla IMO, sektörün sadece teknik değil, aynı zamanda insani boyutlarının da stratejik öncelikler haline getirildiğini göstermektedir.

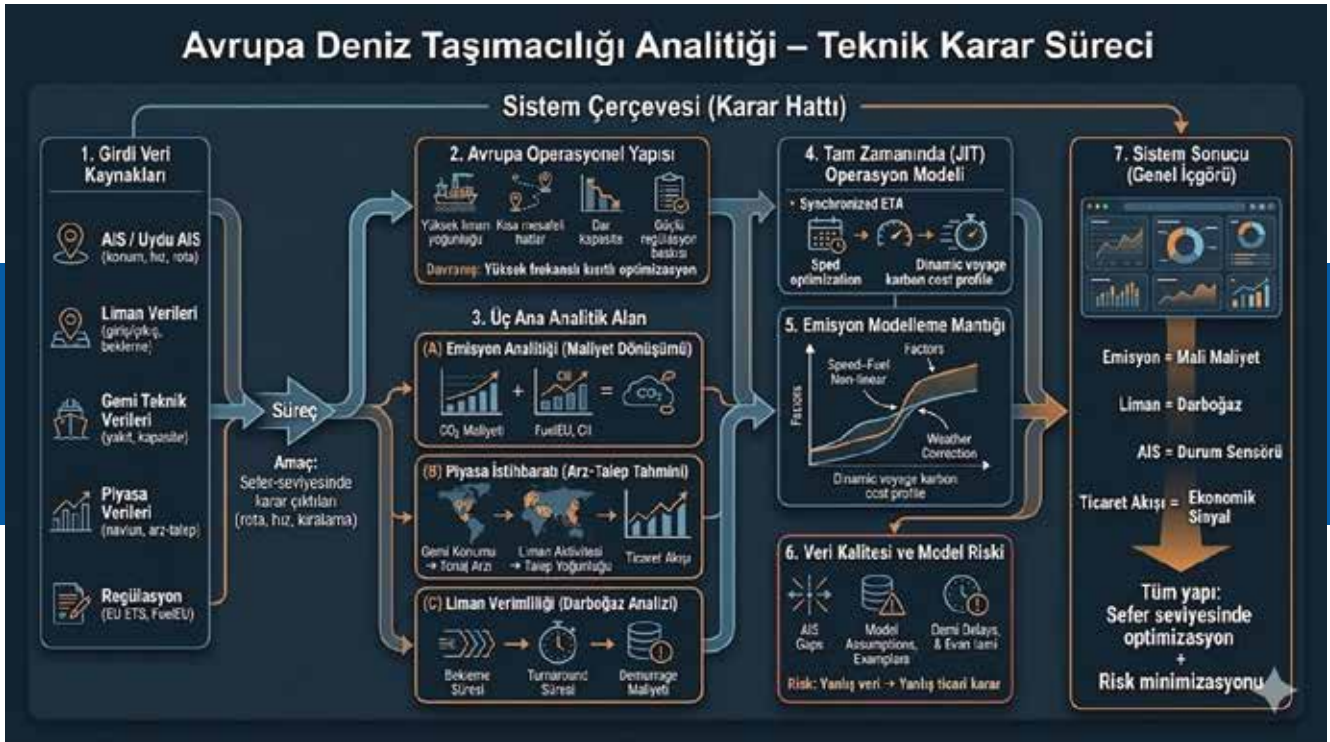


Stratejik planda çevresel sürdürülebilirlik ise bir diğer kritik eylem çerçevesi olarak geliştirilmiştir. Küresel deniz taşımacılığında çevresel etkilerin azaltılması, düşük emisyonlu operasyonel süreç yönetimi ve kurumsal sürdürülebilirlik uygulamalarının yaygınlaştırılması; gelişen plan sürecinde sektör paydaşlarının en önemli faaliyet alanlarını oluşturacaktır. Bu kapsamda denizcilik paydaşlarının çevresel, sosyal ve yönetim (ESG) kriterlerine uyumu üzerine odaklanmaları ve eylem çerçevelerinde bu ölçütleri geliştirmeleri beklenmektedir. Yeni stratejik çerçeve küresel denizcilikte şirketler için yönetim ve uygulama mekanizmalarında da önemli değişiklikler getirmiştir. Bu kapsamda performans göstergelerine dayalı izleme, düzenli raporlama ve tüm IMO organları için standartlaştırılmış uygulama süreçleri ile daha şeffaf ve ölçülebilir bir yapı hedeflediği görülmektedir. Özellikle 2026–2027 dönemi için belirlenen çalışma programının, bu dönüşümün somut adımlarını içermesi de hedeflenmiştir. Sektör açısından geliştirilen plan; denizcilik şirketleri için artan uyum gerekliliklerini, liman ve operasyon tarafında dijitalleşme ile çevreci yatırımların hızlanmasını, bayrak devletleri için ise ulusal politikaların küresel standartlarla daha sıkı hizalanması gerektiğini ortaya koymaktadır. IMO'nun revize edilen Stratejik Planı, küresel deniz ticaretini daha entegre, veri odaklı ve sürdürülebilir bir geleceğe taşıyacak yeni bir perspektif ortaya koymuştur.

Kaynak:

<https://www.imo.org/en/about/strategy/pages/default.aspx>

Avrupa'da Deniz Taşımacılığı Analitiği:



Kaynak:

<https://public.axsmarine.com/blog/shipping-analytics-europe>

Otonom Gemiler Nedir?



Kaynak:

<https://public.axsmarine.com/blog/autonomous-shipping>

Otonom Denizcilikte İnsan Rollerini



Kaynak:

<https://public.axsmarine.com/blog/autonomous-shipping>

İnovasyon Paradoksu ve Sürdürülebilir Girişimcilik

Denizcilik Sektöründe Yapay Zekâ

Dr. Öğr. Üyesi Metin DOĞAN

21. yüzyılda denizcilik sektörü; iklim değişikliği, enerji dönüşümü, dijitalleşme ve küresel rekabet baskıları nedeniyle büyük bir dönüşüm sürecinden geçmektedir. Özellikle yapay zekâ, otonom gemiler, büyük veri analitiği ve akıllı lojistik sistemleri gibi teknolojiler sektörün geleceğini yeniden şekillendirmektedir. Ancak teknolojik ilerleme her zaman beklenen olumlu sonuçları doğurmamaktadır. Bu durum literatürde "inovasyon paradoksu" olarak adlandırılmaktadır. İnovasyon paradoksu, yenilikçi teknolojilerin verimlilik ve refah yaratması beklenirken kimi zaman yeni ekonomik, sosyal ve çevresel sorunlara yol açmasını ifade etmektedir (Fragkandreas, 2017).



Denizcilik sektörü açısından bu paradoks oldukça önemlidir. Örneğin yapay zekâ destekli otonom sistemler yakıt tüketimini azaltabilir, rota optimizasyonu sağlayabilir ve karbon emisyonlarını düşürebilir. Ancak aynı zamanda istihdam kayıpları, siber güvenlik riskleri, yüksek yatırım maliyetleri ve teknolojik bağımlılık gibi yeni sorunları da beraberinde getirebilir. Bu nedenle teknolojik dönüşümün yalnızca ekonomik verimlilik üzerinden değil, sürdürülebilirlik perspektifiyle değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu noktada sürdürülebilir girişimcilik kavramı önem kazanmaktadır. Geleneksel girişimcilik anlayışı ağırlıklı olarak ekonomik büyüme ve kâr maksimizasyonuna odaklanırken, sürdürülebilir girişimcilik ekonomik hedeflerin yanında sosyal ve çevresel amaçları da dikkate almaktadır (Rosário vd., 2022). Sürdürülebilir girişimcilik, günümüz ihtiyaçlarını karşılarken gelecek nesillerin ihtiyaçlarını tehlikeye atmayan üretim ve iş modellerini geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu yaklaşım ekonomik, sosyal ve çevresel hedeflerin birlikte gerçekleştirilmesini amaçlamaktadır (Stubbs, 2017). Dolayısıyla sürdürülebilir girişimcilik yalnızca ekonomik değer yaratmayı değil, aynı zamanda çevresel tahribatın azaltılmasını ve toplumsal refahın artırılmasını da hedeflemektedir (Farny and Binder, 2021).

Yeşil girişimcilik ise sürdürülebilir girişimciliğin önemli bir alt başlığıdır. Yeşil girişimcilik çevresel sorunlara yenilikçi çözümler üretmeyi amaçlayan girişimcilik faaliyetlerini ifade etmektedir. Yenilenebilir enerji sistemleri, düşük karbon teknolojileri, akıllı liman uygulamaları ve enerji verimliliği çözümleri bu kapsamda değerlendirilebilir. Denizcilik sektöründe geliştirilen çevreci yakıt teknolojileri, elektrikli liman altyapıları ve emisyon takip sistemleri yeşil girişimciliğin önemli örnekleri arasında yer almaktadır (Saari and Joensuu-Salo, 2020).

Bai ve Zhang (2025)'in belirttiği gibi yapay zekâ uygulamaları son yıllarda hızla gelişim göstererek sürdürülebilir girişimcilik açısından önemli fırsatlar sunmaya başlamıştır. İlk olarak yapay zekâ, enerji tüketiminin optimize edilmesine katkı sağlayabilir. Akıllı rota planlaması sayesinde gemilerin daha kısa ve daha düşük yakıt tüketimli güzergâhları tercih etmesi mümkün hale gelmektedir. Ayrıca bakım süreçlerinin önceden tahmin edilmesi, gemi arızalarının azaltılması ve operasyonel maliyetlerin düşürülmesi açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Liman yönetiminde kullanılan yapay zekâ sistemleri yükleme ve boşaltma süreçlerini hızlandırarak hem maliyetleri azaltmakta hem de enerji kullanımını daha verimli hale getirmektedir.

Bunun yanında yapay zekâ destekli sistemler çevresel sürdürülebilirliği de desteklemektedir. Örneğin Qian vd. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada Çin'de yapay zekanın yeşil ekonomik büyümeyi verimlilik yoluyla pozitif etkilediğine dair sonuçlar elde edilmiştir. Bunun yanında Denizcilik sektöründe karbon emisyonlarının izlenmesi, deniz kirliliğinin tespiti ve enerji verimliliği analizleri yapay zekâ sayesinde daha hızlı ve etkin şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Özellikle Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO, 2025) 2050 net sıfır karbon hedefi düşünüldüğünde bu teknolojiler sektör açısından stratejik önem taşımaktadır.



Ancak yapay zekânın bazı riskleri de bulunmaktadır. Öncelikle otonom sistemlerin yaygınlaşması geleneksel denizcilik mesleklerinde iş kayıplarına neden olabilir. Nitelikli işgücüne duyulan ihtiyaç artarken düşük vasıflı çalışanların sistem dışında kalma riski ortaya çıkmaktadır. Bu durum sosyal eşitsizlikleri artırabilir. Lu (2021) bu yüzden yapay zekanın sağladığı ekonomik büyümenin toplumsal refaha katkı sağlamama riskine vurgu yapmaktadır. Ayrıca yapay zekâ sistemlerinin yüksek yatırım maliyetleri özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler açısından önemli bir finansal baskı yaratmaktadır. Teknolojiye erişim kapasitesi yüksek olan büyük şirketler sektörde daha baskın hale gelirken küçük işletmeler rekabet avantajını kaybedebilir. Aghion ve Bunel (2024) yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle yapay zeka teknolojilerinin az sayıda şirketin elinde toplanabileceği bunun da rekabeti azaltarak yapay zeka inovasyonlarından umulan faydanın sağlanamayacağına dair bir tespit yapmaktadır.



Siber güvenlik de diğer önemli risklerden biridir. Otonom gemiler ve dijital liman sistemleri siber saldırılara açık hale gelebilir. Deniz taşımacılığı gibi stratejik bir sektörde yaşanabilecek dijital güvenlik sorunları yalnızca ekonomik değil aynı zamanda ulusal güvenlik açısından da ciddi sonuçlar doğurabilir (Miller vd., 2025). Bunun yanında enerji verimliliği sağlayan bazı teknolojilerin uzun vadede toplam enerji kullanımını artırması da mümkündür. Literatürde "rebound effect" olarak ifade edilen bu durum, teknolojik verimlilik artışlarının toplam tüketimi azaltmak yerine artırılmasına işaret etmektedir (Dogan, 2026).

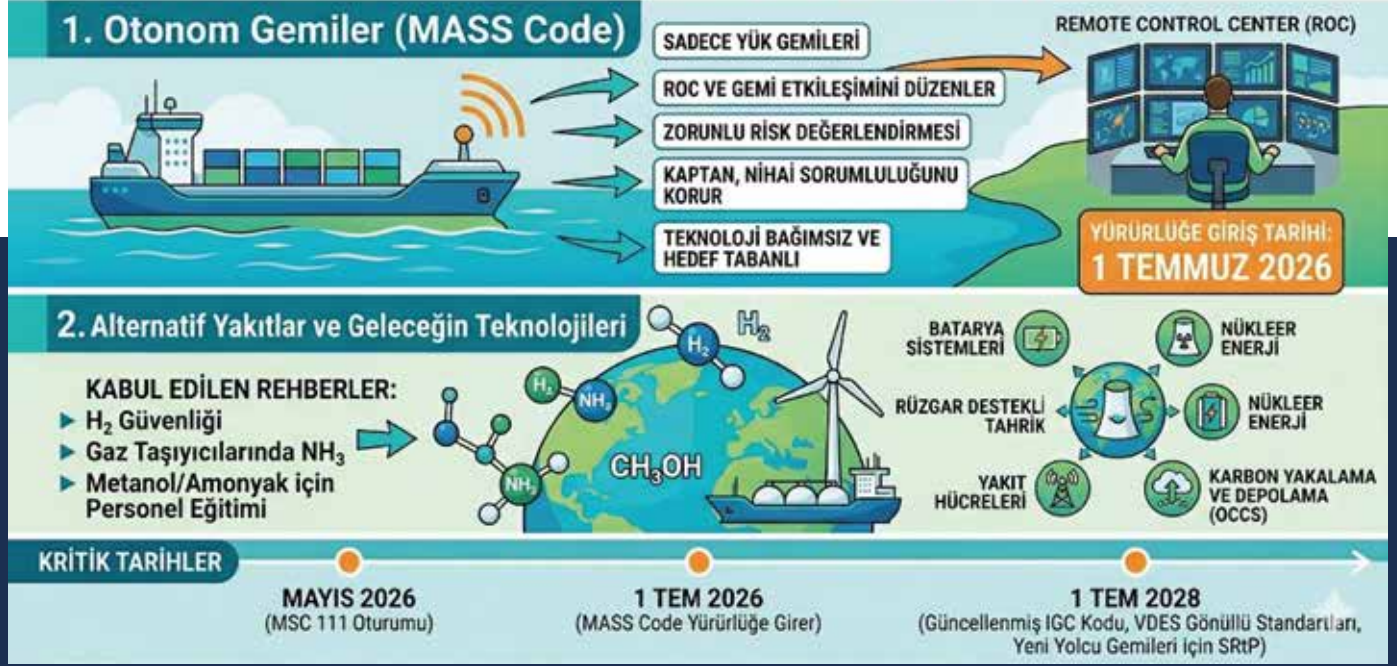
Sonuç olarak denizcilik sektöründe yapay zekâ ve otonom teknolojiler sürdürülebilir girişimcilik açısından büyük fırsatlar sunmaktadır. Ancak bu teknolojilerin ekonomik büyüme, çevresel sürdürülebilirlik ve sosyal refah üzerindeki etkileri birlikte değerlendirilmelidir. Aksi halde inovasyon paradoksu ortaya çıkabilir ve teknolojik ilerleme beklenen faydaları tam anlamıyla sağlayamayabilir. Bu nedenle denizcilik sektöründe teknoloji politikalarının yalnızca verimlilik odaklı değil, aynı zamanda çevresel ve sosyal sürdürülebilirliği merkeze alan bütüncül bir yaklaşımla tasarlanması gerekmektedir.

Kaynak:

- Aghion, P., & Bunel, S. (2024). AI and growth: Where do we stand?. policy note. <https://www.frbsf.org/wp-content/uploads/AI-and-Growth-Aghion-Bunel.pdf>
- Bai, X., Zhang, X. (2025). Artificial Intelligence-Powered Materials Science. *Nano-Micro Lett.* 17, 135. <https://doi.org/10.1007/s40820-024-01634-8>
- Doğan, M. (2026). Analysis of the effect of wealth taxes in overcoming the Jevons paradox. *Utilities Policy*, 101, 102178. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2026.102178>
- Farmy, S. & Binder, J. (2021). Sustainable Entrepreneurship. In L.P Dana (2nd eds), *World Encyclopedia of Entrepreneurship*, Edward Elgar Publishing, UK, 605-611. <https://www.e-elgar.com/shop/gbp/world-encyclopedia-of-entrepreneurship-9781839104138.html>
- Fragkandreas, T. (2017). Innovation paradoxes: a review and typology of explanations. *Prometheus*, 35(4), 267-290. <https://doi.org/10.1080/08109028.2018.1506620>
- IMO (2025), Draft regulations will set mandatory marine fuel standard and GHG emissions pricing for shipping to address climate change, <https://www.imo.org/en/mediacentre/pressbriefings/pages/imo-approves-netzero-regulations.aspx>, Accessed on 24 May 2026
- Lu, C. H. (2021). The impact of artificial intelligence on economic growth and welfare. *Journal of Macroeconomics*, 69, 103342. <https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2021.103342>
- Miller, T., Durlik, I., Kostecka, E., Sokolowska, S., Kozlovskaya, P., & Zwolak, R. (2025). Artificial Intelligence in Maritime Cybersecurity: A Systematic Review of AI-Driven Threat Detection and Risk Mitigation Strategies. *Electronics*, 14(9), 1844. <https://doi.org/10.3390/electronics14091844>
- Qian, Y., Liu, J., Shi, L. et al. (2023). Can artificial intelligence improve green economic growth? Evidence from China. *Environ Sci Pollut Res* 30, 16418-16437. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23320-1>
- Rosário, A. T., Raimundo, R. J., & Cruz, S. P. (2022). Sustainable Entrepreneurship: A Literature Review. *Sustainability*, 14(9), 5556. <https://doi.org/10.3390/su14095556>
- Saari, U.A., Joensuu-Salo, S. (2020). Green Entrepreneurship. In: Leal Filho, W., Azul, A.M., Brandli, L., Özuyar, P.G., Wall, T. (eds) *Responsible Consumption and Production. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95726-5_6
- Stubbs, W. (2017) Sustainable Entrepreneurship and B Corps. *Bus. Strat. Env.*, 26: 331-344. doi: 10.1002/bse.1920.

IMO MSC 111: Denizcilikte Otonom Gemiler ve Alternatif Yakıtlar Dönemi Başlıyor

IMO MSC 111: Önemli Kararlar (Mayıs 2026)



IMO Deniz Emniyeti Komitesi'nin (MSC 111), 13-22 Mayıs 2026 tarihleri arasında gerçekleştirilen 111. Oturumu; denizcilik sektöründe dijitalleşme, otonom operasyonlar ve alternatif yakıtlar eksenindeki dönüşüme yönelik önemli kararların alınmasıyla sonuçlandı. Bu toplantıda ortaya çıkan en önemli çıktı; Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) Code adı verilen ve uzaktan kumandalı veya otonom gemiler için ilk küresel güvenlik çerçevesini oluşturan yeni kodun kabul edilmesidir. Ayrıca hidrojen ve amonyak gibi alternatif yakıtların kullanımına yönelik güvenlik düzenlemeleri de geliştirilmiş, LNG ve gaz taşıyıcılarına ilişkin kurallar da güncellenmiştir. Toplantıda öne çıkan kararlar ise aşağıda derlenmiştir.

1. Otonom Gemiler İçin İlk Küresel Kod Kabul Edildi (MASS Code): Kabul Edilen Kodun Temel Özellikleri;

- Yük gemilerini kapsamı.
- Uzaktan kontrol merkezleri (ROC) ile gemi arasındaki ilişkiyi düzenlemesi,
- Risk değerlendirmesini zorunlu kılması,
- Gemide personel bulunmasa bile bir kaptanın sorumluluğunu koruması,
- Teknoloji bağımsız ve hedef bazlı bir yapıya sahip olmasıdır.

Geliştirilen Kodun 1 Temmuz 2026 tarihinde yürürlüğe gireceği ve gelecekte hazırlanacak zorunlu MASS düzenlemelerinin temelini oluşturacağı belirlenmiştir.

2. Alternatif Yakıtlar İçin Güvenlik Çerçevesi Genişletildi:

MSC 111 toplantısında, düşük karbonlu ve sıfır emisyonlu yakıtların kullanımını desteklemek amacıyla önemli adımlar atıldı. Onaylanan yeni rehber:

- Gemilerde hidrojen kullanımına yönelik geçici güvenlik kuralları
- Gaz taşıyıcılarında amonyağın yakıt olarak kullanımına yönelik kurallar
- Metanol, etanol ve amonyak yakıtlı gemiler için personel eğitim rehberlerini içermektedir.
- Ayrıca IMO'nun, aşağıdaki teknolojilere yönelik gelecekteki düzenleme çalışmalarını da resmen başlattığı görülmüştür. Bunlar;
- Batarya sistemleri
- Rüzgâr destekli tahrik sistemleri
- Karbon yakalama ve depolama sistemleri (OCCS)
- Nükleer enerji
- Yakıt hücreleri

3. Gaz Taşıyıcıları İçin IGC Kodu Güncellendi:

IMO, son on yılda yayımlanan çok sayıda yorum ve uygulama deneyimini IGC Koduna entegre edecek değişiklikleri onayladı.

Amaç:

- Mevzuattaki belirsizlikleri azaltmak
- Bayrak devletleri ve klas kuruluşları arasında daha tutarlı uygulama sağlamak
- LNG ve diğer gaz taşıyıcılarının tasarım ve işletme kurallarını netleştirmek

Yeni düzenlemelerin 1 Temmuz 2028'de yürürlüğe girmesi bekleniyor.

4. "Bir Gemi – Bir Kod" İlkesi Güçlendirildi:

MSC 111, gaz taşıyan gemilerin aynı anda hem IGC hem de IGF kodlarına tabi olmaması gerektiği netleştirildi. Bu kapsamda:

- Gaz taşıyıcıları için temel güvenlik rejimi IGC Kodu olmaya devam edecektir.
- IGF Kodu'nun gaz taşıyıcılarına uygulanmayacağı açıkça belirtilmiştir.
- Böylece, yürürlükteki çelişkili gerekliliklerin önüne geçilmesi hedeflenmektedir.

5. Yolcu Gemilerinde "Güvenli Şekilde Limana Dönüş" Kuralları Yenilendi:

IMO, büyük yolcu gemileri için uygulanan Safe Return to Port (SRtP) konseptine ilişkin açıklayıcı notları güncellendi. Yeni rehber:

- Tasarım aşamasından işletme sürecine kadar tüm yaşam döngüsünü kapsıyor.
- Yangın veya su alma durumlarında geminin kendi imkânlarıyla limana dönebilmesini hedefliyor.
- Yeni kuralların 2028 sonrası inşa edilecek gemilere uygulanması planlanıyor.

6. Dijitalleşme ve Siber Güvenlik Çalışmaları Hız Kazandı:

MSC 111 kapsamında:

- IMO Denizcilik Dijitalleşme Stratejisi onaylandı.
- Yeni bir Maritime Cyber Code geliştirilmesi için yol haritası kabul edildi.
- Gemi üzerindeki navigasyon ve haberleşme sistemlerinin yazılım bakımına yönelik yeni rehberler yayımlandı.

Derleyen: Prof. Dr. M. Ziya SÖĞÜT

Kaynak:

<https://www.dnv.com/news/2026/imo-mcs-111-new-mass-code-adopted/>

7. VDES Sistemi IMO Mevzuatına Girdi:

IMO, AIS'in gelişmiş versiyonu olarak görülen **VHF Data Exchange System (VDES)** için performans standartlarını ve kullanım kurallarını kabul etti. VDES:

- Gemi-gemi ve gemi-kıyı veri paylaşımını geliştiriyor.
- Uydu destekli veri aktarımı sağlıyor.
- Daha güvenli ve yüksek kapasiteli dijital haberleşme sunuyor.

Sistemin taşınması gönüllü olacak ve düzenlemeler 2028'de yürürlüğe girecek.

8. Uzaktan Denetim ve Survey Uygulamaları Resmileşti:

MSC 111, uzaktan survey, ISM denetimleri ve ISPS doğrulamalarına ilişkin rehberleri kabul etti. Buna göre:

- Belirli survey faaliyetleri risk değerlendirmesine bağlı olarak uzaktan yapılabilecek.
- Yolcu gemilerinin SOLAS emniyet sertifikaları için uzaktan survey uygulanamayacak.
- ISM ve ISPS denetimlerinde fiziksel katılım temel yöntem olmaya devam edecek.



Otonom Gemilerin Denemeleri İçin Geçici Yönergeler



Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) 2019 yılında geçici yönergeleri kabul etmiştir ve bu yönergeler kısaca otonom veya uzaktan kumandalı gemilerin denemelerinin güvenli, emniyetli ve çevreye duyarlı şekilde yürütülmesini amaçlamıştır. Geliştirilen bu geçici yönergelerin temelde teknolojik gelişmelerinin denizcilik sektörüne entegrasyonu da risklerin kontrol altına alınmasını hedeflemektedir. Bu kapsamda geçici yönergelerin ortaya koyduğu temel ilkeler aşağıda derlenmiştir.

1. Geleneksel Gemilerle Eşdeğer Güvenlik Seviyesi:

Otonom gemi denemelerinin mevcut uluslararası denizcilik kuralları kapsamında değerlendirilmesi ve bu denemelerin, mevcut kuralların sağladığı güvenlik, emniyet ve çevre koruma seviyesinden daha düşük bir standartta gerçekleştirilmemesi esastır. Denemeler, insanlı gemilerle aynı güvenlik yaklaşımını korumalıdır.

2. Risk Değerlendirmesi Zorunluluğu:

Otonom gemi denemelerinin öncesinde tüm operasyonel, teknik ve çevresel riskler belirlenmelidir. Olası riskleri makul ve kabul edilebilir seviyeye indirecek önlemler uygulanmalıdır. Risk yönetimi, deneme sürecinin temel unsuru olarak görülmelidir.

Kaynak:

<https://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/autonomous-shipping.aspx>

3. Yetkin Personel Gerekliliği:

Otonom gemilerin denemelerinde gemide bulunan veya uzaktan kontrol merkezinde çalışan tüm personelin gerekli eğitim, yeterlilik ve deneyime sahip olması gerekir. Bu gemilerde insan faktörü, güvenli operasyonun kritik bir parçası olarak kabul edilmektedir.

4. Siber Güvenlik Önlemleri:

Otonom sistemlerin dijital altyapıya bağımlı olması nedeniyle, kontrol sistemleri ve iletişim ağları için güçlü siber güvenlik tedbirleri uygulanmalıdır. Yetkisiz erişim, veri manipülasyonu ve sistem arızalarına karşı koruma sağlanması beklenmektedir.

Otonom gemilerin yaygınlaşmasıyla birlikte IMO mevcut uluslararası sözleşmelerin gelişen ve yaygınlaşan teknolojilere ne ölçüde uyum sağlayabildiğini incelemek ve değerlendirmek amacıyla kapsamlı bir "düzenleyici kapsam taraması" gerçekleştirmiştir. IMO'nun geliştirdiği bu tarama çalışması güvenlik, hukuki sorumluluk, çevre koruması, insan faktörü, liman operasyonları ve arama-kurtarma gibi alanlarda ortaya çıkabilecek boşlukları da belirlemiştir.

IMO, değerlendirmelerinde dört temel otonomi seviyesi tanımlamaktadır:

- Gemide personel bulunan, otomasyon destekli gemiler.
- Uzaktan kontrol edilen ancak gemide personel bulunan gemiler.
- Uzaktan kontrol edilen ve gemide personel bulunmayan gemiler.
- Kararlarını kendi verebilen tamamen otonom gemiler.

IMO'nun ortaya koyduğu geçici yönergeler, otonom gemilerin ticari kullanıma geçişinden önce güvenli deneme faaliyetlerinin yürütülmesi için oluşturulmuş ilk uluslararası çerçevedir. Bu yönergeler; güvenlik, risk yönetimi, personel yeterliliği ve siber güvenlik konularını merkeze alarak sektörün gelecekteki düzenlemelerine temel oluşturmuştur. IMO'nun 2026 yılında kabul ettiği yeni MASS Code (Maritime Autonomous Surface Ships Code) ise bu çalışmaların daha kapsamlı ve kalıcı düzenlemelere dönüşmesinin önemli bir adım olmuştur.



Otonom Denizcilik: Operatörler İçin Teknik Özet

Otonom gemiler, sensörler, yapay zekâ (AI), veri analitiği ve uzaktan kontrol sistemleri kullanılarak insan müdahalesini azaltan veya ortadan kaldıran deniz araçlarıdır. Günümüzdeki uygulamalar tamamen insansız gemilerden ziyade, ağırlıklı olarak insan gözetimi veya uzaktan operasyon desteğiyle yürütülmektedir.

Otonomi Seviyeleri: Uluslararası denizcilik otoriteleri; gemileri uzaktan destekli operasyonlardan tamamen otonom sistemlere uzanan geniş bir yelpazede, farklı otonomi derecelerine göre kategorize etmektedir. Her seviye; güvenlik, sigorta, mürettebat yönetimi ve altyapı açısından farklı gereksinimler doğurur.

Temel Teknolojiler;

- Algılama Sistemleri: Radar, LiDAR, sonar, GPS, kızılötesi kameralar
- Yapay Zekâ ve Makine Öğrenimi: Navigasyon, rota planlama ve karar verme
- Uydu ve Mobil Haberleşme: Uzaktan izleme ve kontrol
- Karar Destek Sistemleri: Çarpışma önleme, yakıt optimizasyonu, makine teşhisi
- Siber Güvenlik: Yetkisiz erişim ve sistem manipülasyonuna karşı koruma

Başlıca Kullanım Alanları

- Kısa mesafeli yük ve yolcu taşımacılığı
- Liman operasyonları (römorkörler, konteyner taşıma sistemleri)
- Hidrografik araştırma ve çevresel izleme
- Savunma ve güvenlik uygulamaları

Sağladığı Faydalar

- Daha Yüksek Emniyet: İnsan hatalarının azaltılması
- Operasyonel Verimlilik: Yakıt tasarrufu ve rota optimizasyonu
- Düşük Mürettebat İhtiyacı: İşletme maliyetlerinin azalması
- Çevresel Performans: Daha düşük emisyonlar
- Merkezi Filo Yönetimi: Uzaktan izleme ve bakım planlaması

Mevcut Zorluklar

- Teknolojilerin tam entegrasyon ve sertifikasyon süreçleri
- Uluslararası mevzuat ve sorumluluk düzenlemelerinin eksikliği
- Artan siber güvenlik riskleri
- Yüksek geliştirme ve yatırım maliyetleri
- Otonom operasyonları destekleyecek liman ve kıyı altyapısının yetersizliği

Öne Çıkan Projeler

- Yara Birkeland: Kısa mesafe taşımacılığı için geliştirilen elektrikli otonom konteyner gemisi
- Mayflower Autonomous Ship: Yenilenebilir enerji destekli otonom araştırma gemisi
- Sea-Kit ve ASV Global: İnsansız yüzey araçları geliştirmektedir.
- Kongsberg Maritime ve Rolls-Royce: Otonom kontrol sistemleri ve uzaktan operasyon teknolojileri üzerinde çalışmaktadır.

Otonom denizcilik, insan unsurunu tamamen ortadan kaldırmaktan çok operasyonları daha güvenli, verimli ve veri odaklı hale getirmeyi hedefleyen bir dönüşüm sürecidir. Teknoloji hızla gelişse de düzenleyici, altyapısal ve siber güvenlik engelleri nedeniyle yaygın ticari kullanım henüz erken aşamadır.

Kaynak:

<https://public.axsmarine.com/blog/autonomous-shipping>

Akıllı Limanlar: Genel Görünüm, Beklentiler ve Engeller

Doç. Dr. Ekin AKDENİZ

Deniz taşımacılığının daha güvenli ve daha ekonomik bir biçimde yönetilmesi amacıyla gemilerdeki otonom çözüm ve teknolojilere yönelik çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Gemiler itibarıyla "akıllı gemiler", "otonom gemiler" ve "insansız gemiler"; limanlar itibarıyla da "akıllı liman", "liman 4.0" ve "dijital liman" kavramları öne çıkmaktadır. Gerek deniz taşımacılığının diğer bileşenlerinin otonom gemilerle operasyonel uyum sağlamasına, gerek bu bileşenlerin kendi içindeki iyileştirmelere ve gelişime yönelik olarak limanlarda çeşitli akıllı çözümler gündeme gelmektedir. Gemiler ile gemilerin uğrak yaptığı limanların iletişimi, trafik ve navigasyon, kılavuzluk, yanaşma, elleçleme, iç bölgelerle kargo yükünün alışverişi ve dokümantasyon başlıkları öne çıkmaktadır. Otonom sistemler, bulut veri, sensörler, nesnelerin interneti ve bu sistemleri bütünleştiren veri ağları kullanılmakta; lojistiği sağlayan tüm öğelerin iletişimi otomatikleşmekte, gemiler ve limanlar da insansız sistemlerin ekonomik, hızlı, hatasız, çevreci bir biçimde kullanıldığı işletmelere evrilmektedir.



Otonom sistemler yardımıyla sensörler tarafından üretilen veri, yazılımlar aracılığıyla karar destek sistemleriyle birlikte gelişmiş robotik sistemlere iletilmektedir. Dünyanın en büyük ve köklü sektörlerinden birisi olarak denizyolu taşımacılığı ve en önemli unsuru olan liman sektörü ise üretilen veriye ve sistemlere aşinadır. Önceki otomasyon süreçlerine çabuk uyum sağlamış, uzaktan kumandalı rıhtım vinçleri, otomatik terminal araçları ve saha istif vinçlerini kullanmaya başlayarak önemli aşamalar kaydetmiştir. Bu kez sistemin uzaktan yönetildiği otonom terminaller gündeme gelmiş, altyapı da Endüstri 4.0'a uygun hale dönüşme safhasına geçmiştir. Teknolojik gelişmeler, büyük veri analizi ve dijitalleşme ile birlikte kaynakların daha verimli ve etkin kullanımı mümkün olmuş, rekabet ve sürdürülebilir ulaştırma hedefleri ulaşılabilir hale gelmiştir.

Bu çerçevede, geniş bir bölgenin ekonomik kalkınması için hayati önem taşıyan limanlarda akıllı liman kavramı da farklı boyutlara taşınmaktadır. Akıllı limanların gelişimi, denizcilik ve lojistik operasyonlarının dijital olarak dönüşümüne önemli katkı sağlamakta, daha sürdürülebilir bir denizciliğin gelişimine destek olmaktadır. 1993 yılında otomasyonuna başlanan Rotterdam'daki ilk otomatik konteyner terminali (ECT Delta), bugüne gelinen yolda oldukça önemli bir adımdır.

2018'de Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), denizcilik sektörünün dijitalleşmesi için küresel bir strateji geliştirilmesi konusunda çalışmaları başlatmıştır. Bu inisiyatif, denizcilik sektöründe verimliliği, güvenliğini ve sürdürülebilirliği hızlandırmak için gelişmekte olan teknolojilerden yararlanan kapsamlı strateji çalışmasıdır.

Avrupa Komisyonu, geçtiğimiz yıl AB Liman Stratejisi ve AB Endüstriyel Denizcilik Stratejisi için hazırlıklara başlamış ve paydaşları sürece katılmaya davet etmiştir. Katkıda bulunacak öncelikleri, fırsatları ve eylemleri birlikte tanımlamaya yardımcı olmak için liman, gemi inşa, denizcilik, iç sular ile ilgili sektörlerden temsilcileri bir araya getiren bir çalışmadır. Kapsamlı bir liman stratejisinin güvenlik, enerji dönüşümü ve sürdürülebilirlik odaklı olarak limanların uzun vadeli rekabet gücünü desteklemeyi amaçlamaktır. Konu itibarıyla akıllı liman kavramının da çalışmalarda yer bulacağı açıktır.

Akıllı limanların ve dijitalleşmenin önemi, On İkinci Kalkınma Planı'nın (2024-2028) Denizyolu Ulaştırması Özel İhtisas Komisyonu Raporu'nda da yer bulmuştur. Denizyolu sektörünün 2028 yılı hedef, politika ve tedbir ilişkisi çerçevesinde

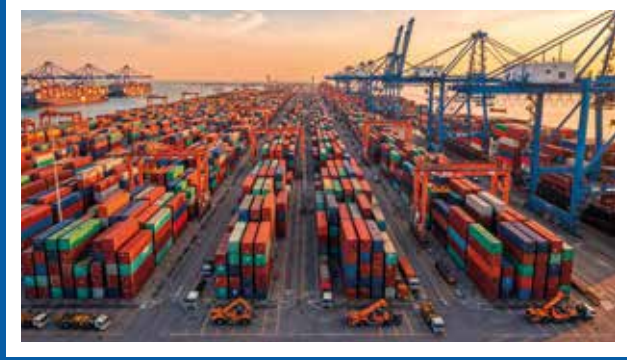
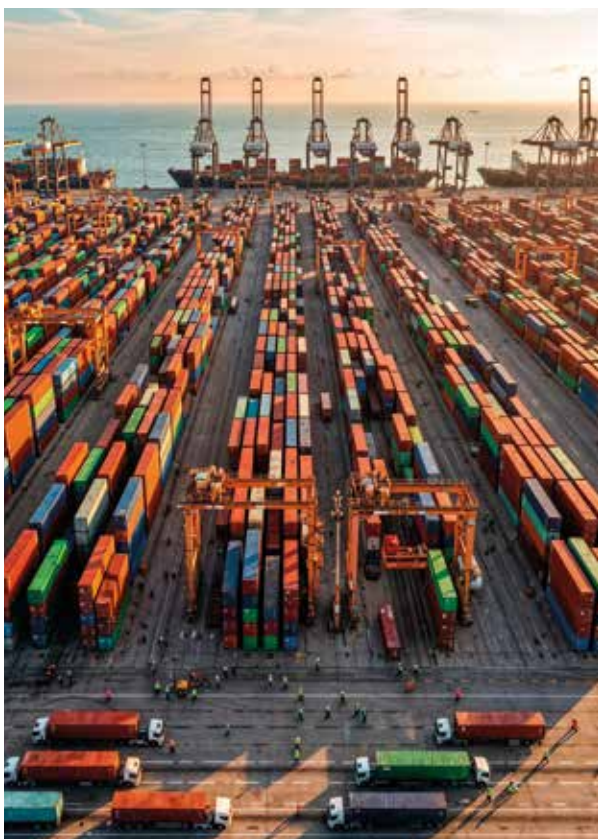
- "Denizcilik sektörü bakımından da son yıllarda oldukça gündemde olan; insansız-otonom-akıllı sistemler, blok zinciri, siber güvenlik gibi konular bakımından mevzuat altyapısı değişen teknolojiye uyumlu olmalı, güncel tutulmalı, gerekli değişiklikler yapılmalı veya yeni mevzuat hazırlanmalıdır.",
- "Denizyolu ulaştırması hizmetlerinde dijital algılayıcılar (sensörler), yapay zekâ uygulamaları, endüstriyel robotlar, büyük veri ve veri analitiği, nesnelerin interneti (IoT), otonom kontrollü sistemler, yenilikçi sevk sistemleri gibi yeni teknolojilerinin bütünleşmesine yönelik araştırma ve projeler desteklenmelidir." ve
- "Üniversite ve sektör paydaşları işbirliği yoluyla yerli ve milli teknolojiler kullanılarak otonom-insansız-akıllı gemi ve deniz araçlarının Ar-Ge çalışmaları artırılmalıdır."

şeklinde, konunun önemine dikkat çeken tedbirlerin tanımlandığı görülmektedir.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nca, akıllı liman uygulamalarının ülkemizdeki limanlara entegrasyonu ve geliştirilmesi için bir kılavuz hazırlanmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü'nün Akıllı Limanlar Kılavuzu'nda ayrıca Rotterdam, Hamburg, Antwerp, Singapur ve Göteborg limanları en iyi akıllı liman örnekleri olarak sıralanmış; akıllı limanlar konusunda örnek uygulamalar, teknoloji ve sistemler ayrıntılandırılmıştır.

Otomasyon ve dijitalleşmedeki hızlı ilerleme ile akıllı limanlarda konteynerler saatler içinde değil, dakikalar içinde işlenmektedir. Yapay zekâ sistemleri, olası tıkanıklıkları oluşmadan önce tahmin etmektedir. Paralel olarak otonom gemiler kavram aşamasından prototip aşamasına geçmeye başlamaktadır. Ancak her dijital ilerleme yeni güvenlik açıkları yaratmakta ve taşımacılığa yönelik siber saldırılar da artmaktadır. Bununla birlikte finansal konular da öne çıkınca, yapısal değişikliklerin ve liman reformunun boyutunun ve risklerinin büyüklüğü önem kazanma, geçiş aşamasının iyi planlanması gerekliliği öne çıkmaktadır.

Dünya Bankası'nın liman reformu konusundaki çalışmaları, oldukça geniş bir çerçevede ve iyi dokümanite edilmiş, on bileşenden oluşan bir modüler yaklaşımı sergilemektedir: Trendler, değişim yönetimi, liman yönetimi, özel sektör katılımı, ekonomik düzenleme, risk yönetimi ve finansman, liman reformunda işgücü ve sosyal yönler, çevresel sürdürülebilirlik, dijitalleşme ve siber güvenlik, liman-şehir etkileşimi.



Söz konusu çalışmanın politika yapıcılar ve sektör profesyonellerine beş maddelik katkı hedefi bulunmaktadır:

- Potansiyel yatırım ihtiyaçlarına ayak uydurmak için liman sektöründeki eğilimleri belirlemek,
- Paydaşların desteğini sağlamak ve değişim süreçlerini yapılandırılmış bir şekilde yönetmek,
- Ekonomik büyüme ve istihdam yaratmak için kamu ve özel sektör çıkarlarını uzlaştırmak amacıyla verimlilik ve eşitliği dengelemek,
- Özel sektör katılımını kolaylaştırmak, mali kaynakları ihtiyatlı bir şekilde kullanmak ve mali alanı sorumlu bir şekilde yönetmek için riski etkin bir şekilde paylaşmak,
- Liman altyapısı ve operasyon gelişmelerinin liman içindeki ve çevresindeki potansiyel olumsuz etkisini azaltmak için sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmek.

Farklı analiz firmaları tarafından yapılan pazar değerlendirmeleri, akıllı liman pazarındaki büyümeye işaret etmektedir. Süreç otomasyonu, blok zinciri (blockchain), nesnelerin interneti, yapay zekâ gibi bileşenler bu büyümeyi tetiklemektedir. Anılan bileşenlerle, bilgi teknolojileri firmaları başta olmak üzere akıllı liman kapsamında çok sayıda firma pazarda yer bulmakta ve yeni oyuncular pazara girmektedir. Grandview Research'ün 2025 - 2030 yılları akıllı liman pazarı değerlendirmesinde, 2024 yılında 3,24 milyar ABD Doları olarak tahmin edilen pazar büyüklüğünün 2030 yılında 14,64 milyar ABD Doları'na ulaşması beklenmektedir. Grandview Research ve Mordor Intelligence'in analizlerinde pazar büyümesi, özellikle liman operasyonlarında devrim yaratan nesnelerin interneti ve yapay zekâ teknolojilerinin benimsenmesine bağlanmaktadır. Bu büyüme, limanların kargoyu daha hızlı taşıma, emisyonları azaltma ve dijitalleşme yoluyla maliyetleri kontrol etme konusundaki acil ihtiyacına dayanmaktadır. Değişimi erken benimseyenler nesnelerin interneti sensörlerini, yapay zeka analizini ve otomasyonu mevcut terminal donanımıyla birleştirerek verimlilik ve maliyet avantajları elde etmektedir. Gemi seferlerinin karbondan arındırılmasına yönelik zorunluluklar kıydan güç sağlama uygulamalarını hızlandırırken, denizcilik siber riskindeki artış da yeni harcamaların güvenli platformlara yönlendirildiği tasarımlara dönüşmektedir. Ekipman üreticileri ve yazılım firmaları arasında artan iş birliği inovasyon döngülerini kısaltmakta ve farklı büyüklüklerdeki limanlarda modüler akıllı teknoloji pilot projelerinin denenebilmesini sağlamaktadır.



Söz konusu analizler, Asya Pasifik'in akıllı liman pazarında en büyük gelir payıyla küresel pazara hakim olduğunu (Grandview Research'e göre 2024'de %39,1) ve Çin'in Asya Pasifik'te lider konumda olduğunu göstermektedir. Bu hakimiyet, bölgenin hızlı ekonomik büyümesine, kapsamlı deniz ticareti faaliyetlerine ve gelişmiş liman altyapısına yapılan önemli yatırımlara bağlanmaktadır. Çin, Japonya ve Singapur gibi ülkeler, limanlarının verimliliğini, güvenliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak için nesnelerin interneti, yapay zekâ ve süreç otomasyonu gibi yenilikçi teknolojileri benimsemeye öncülük etmektedir. Uygulama açısından bakıldığında, süreç otomasyonu - akıllı terminal otomasyonu pazara hakimdir.

Kullanılan teknoloji açısından, nesnelerin interneti pazar payında öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, teknolojik olarak dijital ikiz platformların payının önümüzdeki yıllarda büyümesi beklenmekte; ayrıca akıllı enerji ve çevre çözümlerinin de önemli ölçüde büyümesi öngörülmektedir. Bahsedilen dijital ikiz platformlar, simülasyonlar ve sensör verileri yardımıyla gerçek dünyadaki bir sistem ya da objeyi yansıtan sanal model olarak kullanım alanı bulmaya başlamış olup, akıllı limanlar için teknolojik olarak belirleyici konumdadır. Fiziksel bir varlığın davranışının takip ve analizini gerçek zamanlı olarak sağlamaktadır. Bu konuda başarılı örnek, yılda 140 binin üzerinde gemi uğrağına sahip Rotterdam Limanı'nın bulut tabanlı bilişim teknolojileri ve nesnelerin internetini kullanarak kendi dijital ikizini kurmayı başarmasıdır. Taşıyıcılar limana girmek için en uygun zamanı belirlemekte, gerçek zamanlı meteorolojik ve hidrolik olay kayıtları yardımıyla yakıt ve seyir optimizasyonu sağlanmakta, sonuçta gemilerin zaman kaybetmesinin önüne geçilmekte ve etkin bir liman yönetimi elde edilmektedir.



Accenture ve IDB'nin (Inter-American Development Bank) birbirinden bağımsız çalışmaları, akıllı limanlar kavramının teorik avantajlarına rağmen, ele alınması gereken engeller ve zorluklara işaret etmektedir. Bu çalışmaların ortaya koyduğu engeller aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Yönetişim ve finansman modelleri: En büyük zorluk. Yüksek maliyetler ve operasyonel aksaklık riski.
- Değişim ve inovasyonun yönetimi: Süreçlerde, ekonomik yaklaşımlarda ve başta insan kaynakları olmak üzere kurumsal kültürdeki değişiklikler.
- Ret - değişime direnç: Yeni teknolojilerin devreye girmesi ve sanayinin dijitalleşmesine işgücü direnci.
- Teknolojinin zorluğu: Teknolojinin kuruluşların ve çalışanların ayak uyduramayacağı bir hızda gelişimi, diğer yandan mevcut teknolojilerin yerini alacak kadar olgun ve sağlamlaşmış görünmemesi, eski sistemlerle birlikte çalışabilirliğinde eksiklikler.
- Siber güvenlik: Yeni teknolojilerin dijital varlıkları ve verileri tehlikeye atabilecek olası güvenlik açıkları riski.
- Veri paylaşımı: Siber riskler dışında, rekabet dezavantajı nedeniyle müşteri verilerini paylaşma konusunda temkinli yaklaşım.
- Birlikte çalışma: Şirket içinde ve şirketler arasında iş birliğindeki güçlükler.
- Nitelikli personel eksikliği: BT beceri açıkları ve BT dışı personelin eğitimi. Akıllı limanların sadece yeni teknoloji değil, aynı zamanda liman ve denizcilik sektörü bilgisi gerekliliği.





Tüm bu konular çerçevesinde, liman otomasyonundaki güçlüklerle ilişkin genel bir değerlendirme, mevcut terminallerdeki çözümlerin zorluğunu ortaya koymaktadır. Dünya genelinde, toplam küresel konteyner terminal kapasitesinin yaklaşık %4'ünü temsil eden 53 otomatik konteyner terminali bulunmaktadır (2021 itibarıyla). Bu otomatik terminallerin çoğu, 1990'lar ve 2000'lerde çok kademeli bir benimsemenin ardından, 2010'larda ortaya çıkmıştır. Otomatik konteyner terminallerinin çoğu Avrupa'da (%28), Asya'da (%32), Okyanusya'da (%13) ve Amerika Birleşik Devletleri'nde (%11) bulunmaktadır. Burada kritik nokta, otomatik terminallerin büyük çoğunluğunun yeni terminal olmasıdır, sadece birkaçı manuel terminal olarak mevcutken otomatik terminale dönüştürülebilmektedir.



Bir akıllı liman; akıllı altyapı, otomasyon, vasıflı çalışanlar, iyi eğitilmiş personel ve çevre bilinci şeklinde beş ana özelliği içermek durumundadır. Bunca kapsamlı bir çerçeveye göre, elbette bir gecede olgunluk ve gelişmişlik düzeyi yönüyle akıllı liman olarak nitelenen bir limana ulaşmak mümkün değildir. Önerilen akıllı liman dönüşümü çözümleri, yukarıda belirtilen ayrıntılarla birlikte çok adımlı projeler şeklinde gerçekleştirilebilir.

Kaynak:

Accenture. Anchoring to digital operations. <https://www.accenture.com/us-en/insights/public-service/digital-operations-modernizing-maritime-ports>

European Commission. https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/commission-sets-course-future-eu-ports-and-maritime-industry-2025-07-01_en

Grandview Research, <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/smart-port-market>

IDB - Inter-American Development Bank (2020). Smart Ports Manual: Strategy and Roadmap. Auth: Fundación Valenciaport, Ed: Lucenti, K. <https://doi.org/10.18235/0002384>

IMO - International Maritime Organization. IMO to develop global strategy for maritime digitalization. <https://www.imo.org/en/mediacentre/pressbriefings/pages/imo-global-strategy-maritime-digitalization.aspx>

ITF - International Transport Forum (2021). Container Port Automation: Impacts and Implications, International Transport Forum Policy Papers, No. 96, OECD Publishing, Paris.

Mordor Intelligence, <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/smart-port-market>

Siemens, <https://www.siemens.com/tr-tr/technology/digital-twin/>

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı (2023). On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028), Denizyolu Ulaştırması Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Ankara.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü (2023). Akıllı Limanlar Kılavuzu. <https://akillisehirler.csb.gov.tr/wp-content/uploads/2024/09/Akilli-Liman-Yeni.pdf>

TÜRKLİM - Türkiye Liman İşletmecileri Derneği. Türkiye Limancılık Sektörü 2024 Raporu: Limanlarda Dijital Teknolojiler ve Akıllı Limanlar. <https://www.turklim.org/pdf/Turklim-2024-Sekt%C3%B6r-Raporu-4-Haziran.pdf>

UNCTAD - United Nations Conference on Trade and Development (2025). 2025 Review of maritime transport. New York, U.S.A.

World Bank (2025). Port Reform Toolkit (English). Mobility and Transport Connectivity Series, Washington, D.C. : World Bank Group.

Veri Odaklı Durum Tabanlı Bakımın Faydaları ve Fırsatları



Veri Odaklı Durum Tabanlı Bakım (DCBM), olası gemi operasyonları içinde ekipmanların çalışma durumunu sensörler, dijital izleme sistemleri ve veri analitiği araçları aracılığıyla sürekli olarak takip eden bir bakım metodolojisini ifade etmektedir. Geleneksel planlı bakım uygulamaları ekipmanların belirli zaman aralıklarında kontrol edilmesini önerir. DCBM yaklaşımı ise, bakım kararları ekipmanın gerçek performans verilerine dayandırılır. Bu sistem tanımlanan operasyonel süreçlerde ekipmanların, sıcaklık, titreşim, basınç, enerji tüketimi ve çalışma performansı gibi kritik parametrelerini analiz ederek ekipmanın sağlık durumunu değerlendirir. Böylelikle, bakım faaliyetleriyle geliştirilen bu süreç; işlemlerin yalnızca gerekli olduğunda gerçekleştirilmesini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda gereksiz bakım işlemlerinin azaltılmasını ve ekipmanların kullanım ömrünün uzatılmasını da kapsar.



Denizcilik sektörünün operasyonel maliyetleri artarken, Uluslararası Denizcilik Örgütü(IMO)'nun ortaya koyduğu emisyon düzenlemeleriyle gelişen çerçeveler ve daha yüksek güvenilirlik beklentileri de önemli bir dönüşümü göstermektedir. Günümüzde bu dönüşümü tetikleyen dijitalleşme ve veri analitiği sürecin merkezinde yer alırken bakım yönetimi uygulamaları da bu gelişmelerden doğrudan etkilenmektedir. Bu kapsamda incelenen Lloyd's Register, NYK Line ve Monohakobi Technology Institute tarafından hazırlanan "Data-Driven Condition-Based Maintenance" raporu, gemi bakım süreçlerinin veri odaklı yaklaşımlarla yeniden tasarlanmasının sektöre sağlayacağı stratejik faydaları ortaya koymuştur. Bu rapor, denizciliğin günümüzde geleneksel bakım anlayışının ötesinde yeni bir bakış ortaya koymaktadır. Bu yaklaşım gemi ve operasyonel süreçlerde ekipman durumunu gerçek zamanlı olarak değerlendiren ve arıza oluşmadan önce müdahale edilmesini sağlayan yeni nesil bakım modellerinin önemini ortaya koymaktadır.

Veri odaklı bakım uygulamalarının operasyonel verimlilik üzerinde olumlu etkileri olduğu görülmektedir. Gerçek zamanlı izleme sistemleri sayesinde ekipman arızaları önceden tespit edilirken, plansız duruş süreleri de önemli ölçüde azaltılmaktadır. Bu durum gemilerin operasyonel kullanılabilirliğini artırırken, kritik ekipmanların bakım faaliyetlerinin daha etkin planlanmasını sağlar. Burada en önemli adım, bakım kaynaklarının doğru zamanda ve doğru ekipman üzerinde kullanılmasını hedefleyerek; iş gücü ile yedek parça maliyetlerinde önemli bir tasarruf fırsatı yaratmaktır. DCBM, yalnızca teknik bir bakım yaklaşımı olarak görülmemelidir. Gemilerde ve operasyonel süreçlerde, işletmelere doğrudan finansal avantaj sağlayan stratejik bir yatırım aracı olarak değerlendirilmelidir.

Denizcilik sektöründe operasyonların sürdürülebilirliği açısından güvenlik önemli bir adımdır. Veri odaklı bakım sistemleri, ekipman performansındaki anormallikleri erken aşamada tespit etmeyi hedeflemektedir. Özellikle ciddi arızaların ve operasyonel kazaların önlenmesine yardımcı olmaktadır. Ana makine, yardımcı sistemler ve kritik ekipmanlar üzerinde gerçekleştirilen bu sürekli izleme faaliyetleri; doğrudan mürettebatın güvenliğini artırmakta ve risk yönetimini güçlendirmektedir. Süreç yönetiminde optimum çalışma koşullarına sahip ekipmanların daha düşük yakıt tüketimi ve daha yüksek enerji verimliliği sağlayacağı görülmektedir. DCBM yaklaşımı sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunur ve IMO tarafından belirlenen çevresel hedeflerin desteklenmesine yardımcı olmaktadır. Böylelikle, operasyonel güvenlik ile çevresel sürdürülebilirlik arasında güçlü bir bağ kurulmuş olur.

DCBM sistemlerinin yaygınlaşmasının önünde bazı teknik ve organizasyonel engeller bulunduğu görülmektedir. Veri kalitesi, sensör güvenilirliği, bakım prosedürlerinin standardizasyonu ve insan kaynağının dijital yetkinlikleri sürecin yönetilebilirliği açısından kritik noktalar. Elbette bu süreç doğrudan bakım ekiplerinin veri yorumlama becerilerinin geliştirilmesi ve karar destek sistemlerinin etkin kullanımı ile birlikte değerlendirilmelidir. Her ne kadar farklı üreticilere ait ekipmanlardan elde edilen verilerin ortak platformlarda entegre edilme zorlukları olsa da, verilerin analiz edilmesi önemli bir gereklilik olarak öne çıkar. Bu kapsamda gemilerin, yalnızca teknoloji yatırımı yapmakla kalmayıp; süreçlerini, organizasyon yapılarını ve yetkinliklerini de bu dönüşüme uyarlamaları gerekmektedir.

Derleyen: Prof. Dr. M. Ziya SÖĞÜT

Kaynak:

https://www.lr.org/en/knowledge/research-reports/2024/data-driven-condition-based-maintenance/?creative=712924498748&keyword=shipping+technology&matchtype=p&network=g&device=c&utm_source=google&utm_campaign=&utm_medium=cpc&utm_content=&utm_term=shipping+technology&gad_source=1



Veri Odaklı Durum Tabanlı Bakım, denizcilik sektöründe bakım yönetiminin geleceğini şekillendiren en önemli dijital dönüşüm alanlarından biri olarak değerlendirilir. Gemiler için sensör teknolojileri, yapay zekâ, makine öğrenmesi ve büyük veri analitiğinin gelişmesiyle birlikte bakım süreçleri daha öngörücü, daha güvenilir ve daha ekonomik hale gelecektir. Lloyd's Register raporu, DCBM'nin yalnızca ekipman arızalarını önleyen bir bakım yaklaşımı olmadığını göstermektedir. Bu yaklaşım, denizcilik işletmelerinin rekabet gücünü artıran stratejik bir yönetim modelidir. Önümüzdeki yıllarda dijitalleşmenin hız kazanmasıyla birlikte veri odaklı bakım uygulamalarının gemi işletmeciliğinde standart uygulamalardan biri haline geleceği söylenebilir. Bu nedenle sektör paydaşlarının gemilerin yönetilmesi için gerekli teknolojik altyapı yatırımlarını yapmaları ve veri temelli karar alma kültürünü geliştirmeleri kritik önem taşımaktadır..

Orta Doğu'da Gemi Takibi (Vessel Tracking) – Teknik Çerçeve



Orta Doğu, yoğun enerji ihracatı ve sınırlı sayıda kritik deniz koridoru nedeniyle Otomatik Tanımlama Sistemi (AIS: Automatic Identification System) tabanlı gemi takibinin en yüksek sinyal yoğunluğuna sahip bölgelerinden biridir. Bir VHF radyo takip sistemi olan AIS, gemilerin konumunu, hızını, rotasını ve kimlik bilgilerini otomatik olarak alıp vermesini sağlamasının yanı sıra ticaret akışının ve deniz trafiğinin izlenmesini de sağlar.

1. Sistem Mimarisi (AIS ve Uydu Entegrasyonu)

- **Karasal (Terrestrial) AIS:** Kıyı/liman bazlı yüksek frekanslı konum verisi sağlar.
- **Satellite AIS:** Açık deniz sahalarını da kapsar.
- **Veri Füzyonu (Data Fusion):** AIS, radar, liman ziyareti (port call) ve gemi kayıt entegrasyonu (vessel registry integration) sağlar.
- **Hibrit izleme:** Kör noktaları azaltmak için çok kaynaklı veri birleştirme işlemidir.

2. Kritik Koridor Bağımlılığı

- **Hürmüz Boğazı:** Basra Körfezi darboğaz çıkışı (ham petrol ve LNG ihracat kapısı)
- **Bab el-Mandeb:** Kızıldeniz-Aden Körfezi transit bağlantısı
- **Süveyş Kanalı:** Asya-Avrupa ana ticaret hattı

3. Temel Sinyal Vektörleri

3.1 Kinematik Sinyaller

- **Sürat profili:** Düşük hızla seyir (slow steaming) / yoğunluk tespiti (congestion detection)
- **Acceleration variance:** rota optimizasyonu veya bekleme davranışı
- **Sürüklenme (Drift) ve Dolanma (Loitering) Modeli:** demirleme (anchorage) ve kuyruk çıkarımı (queue inference)

3.2 Uzak-Zamansal Modelleme (Spatiotemporal Patterning)

- **Liman ziyareti sıra modellemesi (Port call sequence modeling):** kalkış-varış (origin-destination) matris üretimi
- **Rota sapma analizi (Route deviation analysis):** beklenen rota ile izlenen (gerçek) rotadaki sapma
- **Sanal çit bekleme süresi (geofence dwell time):** liman ve kilit nokta bekleme süreleri

3.3 Dolaylı Kargo Çıkarımı (Indirect Cargo Inference)

- **Draft farkı (Δ draft):** yükleme/boşaltma faaliyetleri
- **Tanker status change:** Ballast - laden geçişi (ballast to laden transition), bir tankerin boş ve safla suyuyla doluyken (ballast), yükleme limanına ulaşp yükünü alarak tam yüklü (laden) duruma geçmesini ifade eder.
- **Dönüş süresi (Turnaround time):** Bir geminin limana varışından tüm yükleme/boşaltma işlemlerini tamamlayıp bir sonraki seferi için limandan ayrılmasına kadar geçen toplam süredir. Filo Kullanım Oranı (Fleet Utilization Indicator) olarak da ifade edilen bu terim, sahip olunan veya kiralanan deniz araçlarının ne kadar verimli kullanıldığını ölçen temel bir performans göstergesidir.

4. Ticaret Akışı Modeli (Trade Flow Inference Layer)

- **Tedarik tahmini (Supply estimation):** Bu kavram, denizcilik ekonomisi ve makroekonomide kullanılan bir AIS ve büyük veri (big data) analitiği yöntemidir.
- **Denizcilikte Filo Kullanılabilirlik Modellemesi (Fleet Availability Modeling):** Deniz taşımacılığı şirketlerinin gemilerini kârlı bir şekilde yönetmek ve gelecekteki taşıma kapasitelerini tahmin etmek için kullandıkları stratejik optimizasyon sürecidir.
- **Liman/Bölge Sıkışıklığı Endeksi (Congestion index):** Deniz trafiğinin ve tedarik zinciri performansının anlık durumunu ölçen analitik bir endekstir.
- **Öncü gösterge mantığı (lead indicator logic):** Gemi hareketlerindeki değişimlerin (gemi trafiği, rotalar ve liman varışları), gelecekteki emtia fiyatlarını ve küresel arz/talep dengesini tahmin etmek için kullanılmasıdır.



5. Veri Limitasyonları ve Hata Modları

- **AIS boşluk (gap)/sinyal kesintisi (dropout):** Bir geminin Otomatik Tanımlama Sistemi verilerinin belirli bir süre boyunca kesintiye uğraması ve haritalarda görünmemesi durumudur.
- **Sinyal çakışması (signal collision):** Gemilerin kullandığı elektronik seyir ve iletişim sistemlerinde (özellikle AIS) sinyallerin üst üste binerek birbirini bozması veya kaybettirmesi anlamına gelir. Sinyal kirliliğini ifade eder.
- **Kimlik tutarsızlığı (Identity inconsistency):** Geminin elektronik takip ve haberleşme sistemlerine girilen kimlik numaralarının (MMSI ve IMO), resmi kayıtlarla uyuşmaması veya hatalı/sahte bilgi içermesi durumudur.
- **Sinyal Yanıltma (Spoofing risk):** Bir geminin AIS verilerinin geminin gerçek kimliğini, konumunu veya rotasını gizlemek ya da değiştirmek amacıyla kasıtlı olarak manipüle edilmesidir.
- **Kapsama heterojenliği (Coverage heterogeneity):** Kapsama heterojenliği ve karasal ve uydu tabanlı örnekleme yanlılığı (terrestrial vs. satellite sampling bias), gemilerin konum ve hareket verilerini toplayan sistemlerde (özellikle AIS) ortaya çıkan veri dengesizliğini ve hata payını ifade eder.

6. Analitik Çıkarım Katmanı

- **Çok Kaynaklı Doğrulama (Multi-source validation):** Gemilerin konum, kimlik ve hareket bilgilerinin birbirinden bağımsız üç farklı kaynaktan (Otomatik Tanımlama Sistemi, Uydu verileri ve Liman kayıtları) çapraz taranarak doğrulanması işlemidir.
- **Anomali Tespiti (tarihsel verilerden istatistiksel sapma) (statistical deviation from historical baseline):** gemilerin konum, hız, rota ve operasyonel verilerinin geçmişteki normal davranış modelleriyle karşılaştırılarak, standart dışı ve şüpheli durumların otomatik olarak belirlenmesidir.
- **Akış Yeniden Oluşturma (Flow reconstruction) (ship-level - corridor-level aggregation):** Denizcilik ve deniz lojistiğinde Flow reconstruction, tekil gemilerin hareketlerinden elde edilen verilerin birleştirilerek bütünsel bir rota/koridor trafiği analizine dönüştürülmesi işlemidir.
- **Risk Puanlaması (Risk scoring):** Denizcilikte risk puanlaması, küresel tedarik zincirlerinin güvenliğini sağlamak amacıyla gemi rotalarının rota istikrarsızlığı, liman/boğaz yoğunluğu ve jeopolitik riskler gibi değişkenlere göre sayısal değerlerle ifade edilmesidir.



Kaynak:

<https://public.axsmarine.com/blog/vessel-tracking-in-middle-east>

Kayıcı ve Yarı Kayıcı Tekneler İçin Otomatik Seyir Yardım Sistemi Geliştirilmesi

Prof. Dr. Ahmet TAŞDEMİR

Özet

Yüksek hızlı kayıcı ve yarı kayıcı tekneler; kurtarma operasyonları, sahil güvenlik faaliyetleri, pilotaj hizmetleri, açık deniz destek operasyonları ve rekreasyonel deniz taşımacılığı gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yüksek hızlarda ortaya çıkan dinamik stabilite problemleri ve yüksek yakıt tüketimi, bu teknelerin güvenliğini ve işletme verimliliğini sınırlayan temel faktörler arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, MARTERA Programı kapsamında gerçekleştirilen ve kayıcı tekneler için geliştirilen Akıllı Seyir Yardım Sistemi (Intelligent Navigation Assistant – INA) tanıtılmaktadır. Proje kapsamında parametrik gemi modeli geliştirilmiş, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizleri ve deneysel çalışmalar yürütülmüş, altı serbestlik dereceli manevra tahmin modelleri oluşturulmuş ve dinamik kararsızlıkların gerçek zamanlı olarak tespit edilmesine yönelik algoritmalar geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda geliştirilen INA sistemi, yüksek hızlı teknelerde meydana gelebilecek stabilite kayıplarının önlenmesine ve işletme güvenliğinin artırılmasına yönelik yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kayıcı tekneler, otonom deniz araçları, akıllı seyir yardımı, dinamik stabilite, HAD, deniz emniyeti.

1. Giriş

Tam kayıcı ve yarı kayıcı tekneler, denizcilik sektörünün yüksek katma değerli ve teknolojik açıdan yoğun rekabetin yaşandığı önemli bir segmentini oluşturmaktadır. Sektör; tekne üreticileri, makine ve ekipman üreticileri, bakım-onarım kuruluşları ve hizmet sağlayıcılarından oluşan geniş bir ekosistemi kapsamaktadır. Avrupa genelinde yaklaşık 32.000 işletme ve 300.000 kişilik doğrudan istihdam oluşturan bu sektör, denizcilik ekonomisinin önemli bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir [1].

Küresel ölçekte hızlı teknelere yönelik talebin artması, bu alandaki araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin önemini artırmaktadır. Özellikle turizm faaliyetlerindeki büyüme, yüksek gelir grubuna sahip bireylerin sayısındaki artış ve deniz turizmüne yönelik yatırımlar, yüksek hızlı teknelere olan talebi desteklemektedir [1]. Bununla birlikte, yüksek hızlı teknelerde güvenlik, konfor ve enerji verimliliği konularındaki gereksinimler, yeni teknolojilerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Yüksek hızlı kayıcı ve yarı kayıcı tek gövdeli tekneler; kurtarma botları, devriye botları, sahil güvenlik gemileri, pilot tekneler, gezi yatları ve açık deniz destek gemileri gibi farklı görevlerde kullanılmaktadır. Özellikle 15–25 metre boy aralığında ve 30 knot üzerindeki hızlarda işletilen bu tekneler, operasyonel avantajları nedeniyle tercih edilmektedir. Ancak belirli hız aralıklarında veya agresif manevralar sırasında dinamik stabilite problemleri ortaya çıkabilmektedir [2,3].

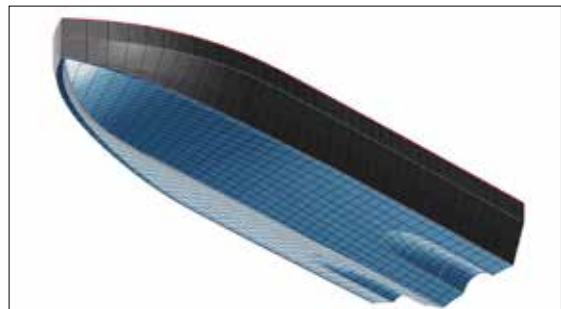
Kayıcı teknelerde gözlenen enine stabilite kaybı, porpoising, dinamik trim değişimleri ve yalpa hareketleri gibi kararsızlık mekanizmaları henüz tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır. Literatürde konuya ilişkin çalışmalar sınırlı olup mevcut araştırmaların önemli bir bölümü meydana gelen kazaların ardından yürütülen incelemelere dayanmaktadır. Bunun yanında yüksek yakıt tüketimi ve operasyonel maliyetler de söz konusu teknelerin ekonomik performansını etkileyen önemli faktörlerdir. Bu nedenle güvenlik ve verimlilik kriterlerinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, MARTERA Programı çerçevesinde geliştirilen Akıllı Seyir Yardım Sistemi'nin tasarım süreci ve elde edilen çıktılar sunulmaktadır.

2. MARTERA Projesi ve Araştırma Yaklaşımı

Tam ve yarı kayıcı teknelerin güvenlik ve işletme verimliliğini artırmak amacıyla yürütülen MARTERA Projesi kapsamında Akıllı Seyir Yardım Sistemi (INA) geliştirilmiştir. Projede Uzmar Gemi İnşa Sanayi ve Ticaret A.Ş., Offshore Engineering Solutions (OES), Friendship Systems AG (FSYS), Technische Universität Berlin (TUB), SVA Potsdam (SVA) ve Piri Reis Üniversitesi görev almıştır.

Projenin temel amacı, yüksek hızlı teknelerde görülen dinamik stabilite problemlerinin fiziksel mekanizmalarının incelenmesi, bu problemlerin sayısal ve deneysel yöntemlerle analiz edilmesi ve elde edilen bulgular doğrultusunda akıllı karar destek sistemlerinin geliştirilmesidir.

Araştırma sürecinde ilk olarak teknenin ön tasarımı, güç tahminleri ve ana makine seçimleri gerçekleştirilmiştir. Ardından Friendship Systems AG tarafından hesaplamalı akışkanlar dinamiği tabanlı optimizasyon çalışmaları yürütülmüş ve yirmi serbest tasarım değişkenine sahip parametrik bir tekne modeli geliştirilmiştir. Parametrik model sayesinde gövde formu, hidrodinamik performans ve işletme karakteristikleri farklı tasarım senaryoları altında değerlendirilmiştir. Elde edilen optimum tasarımın ölçekli modeli SVA Potsdam ve TUB tarafından deneysel olarak test edilmiş ve sayısal sonuçların doğrulanması sağlanmıştır. Bu kapsamda FSYS tarafından 20 serbest değişkenli parametrik bir model geliştirildi (Şekil 1).

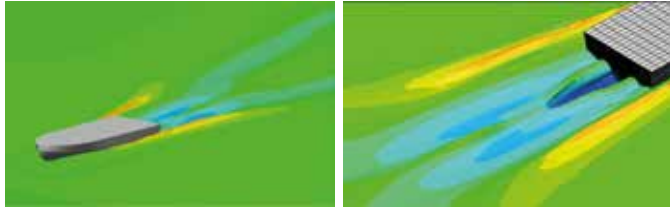


Şekil 1.: Parametrik tekne modeli

3. Sayısal Modelleme ve Manevra Tahmini

Proje kapsamında Technische Universität Berlin tarafından kayıcı tekneler için altı serbestlik dereceli (6-DOF) bir manevra tahmin modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model, yüksek hızlarda meydana gelen trim, yükselme ve yalpa hareketlerini dikkate alarak teknenin gerçek zamanlı seyir davranışını tahmin edebilmektedir. Model, Reynolds Ortalamalı Navier–Stokes (RANS) denklemlerine dayalı hesaplamalar ile desteklenmiş ve yüksek Froude sayılarında oluşan karmaşık akış olaylarının analiz edilmesine olanak sağlamıştır. Böylece teknenin farklı deniz durumları ve manevra senaryoları altındaki davranışı detaylı şekilde incelenebilmiştir.

Sayısal analizler sonucunda elde edilen veriler, daha sonra geliştirilen akıllı seyir yardım sisteminin karar verme algoritmalarında kullanılmıştır. Şekil 2’de geliştirilen bu yazılım ile hesaplanmış kayıcı tekne etrafındaki dalga değerleri verilmiştir.



Şekil 2: Kayıcı tekne etrafındaki dalga oluşumu

4. Akıllı Seyir Yardım Sistemi (INA)

Projenin en önemli çıktılarından biri, dinamik stabilite problemlerinin önceden tespit edilmesini ve önleyici tedbirlerin otomatik olarak uygulanmasını sağlayan Akıllı Seyir Yardım Sistemi’dir.

Bu sistem kapsamında, kayıcı teknelerin dinamik davranışlarını gerçek zamanlı olarak değerlendiren matematiksel modeller geliştirilmiştir. Sistem, yüksek Froude sayılarında ortaya çıkabilecek;

- Enine stabilite kaybı,
- Porpoising,
- Aşırı trim değişimleri,
- Dikey ve boyuna dinamik kararsızlıklar,

gibi tehlikeli durumları tespit ederek operatöre veya otonom kontrol sistemine gerekli düzeltici aksiyonları önermektedir.

INA sisteminin yazılım ve donanım mimarisi Offshore Engineering Solutions tarafından geliştirilmiştir. Sistem, sensörlerden elde edilen verileri sürekli analiz ederek potansiyel riskleri belirlemekte ve emniyetli işletme sınırlarının korunmasına yardımcı olmaktadır.

Bu yaklaşımın;

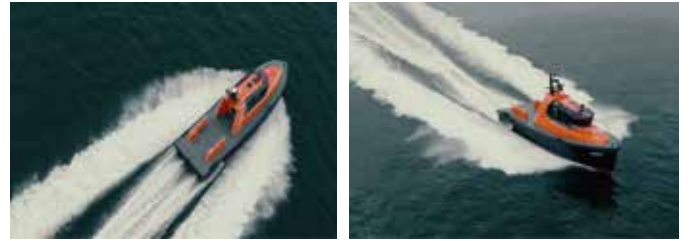
- Mürettebat iş yükünün azaltılması,
- Seyir güvenliğinin artırılması,
- Operasyonel farkındalığın geliştirilmesi,
- Otonom seyir kabiliyetlerinin desteklenmesi,
- Yakıt tüketiminin azaltılması,

gibi önemli avantajlar sağlayacağı öngörülmektedir [4–6].

5. Pilot Teknenin İnşası ve Deniz Denemeleri

MARTERA Projesi süresince elde edilen bulgular doğrultusunda UZMAR tarafından tam ölçekli bir pilot tekne tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Geliştirilen prototip, yalnızca hareket karakteristiklerinin değil, aynı zamanda gövde altındaki basınç dağılımlarının ve itki kuvvetlerinin de ölçülebilmesine olanak sağlayan gelişmiş ölçüm sistemleri ile donatılmıştır. Tekne üzerinde bulunan özel gözlem pencereleri sayesinde belirli operasyon koşullarında kavitasyon oluşumları da gözlemlenebilmektedir. Bu özellik, geliştirilen sayısal modellerin ve deneysel yöntemlerin doğrulanması açısından önemli bir araştırma altyapısı sunmaktadır.

Gerçekleştirilen deniz denemeleri sonucunda elde edilen veriler hem geliştirilen hidrodinamik modellerin hem de INA sisteminin performansının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Şekil 3 de inşası gerçekleştirilen kayıcı pilot teknenin seyir tecrübesi görülmektedir.



Şekil 3: Kayıcı pilot teknesi

6. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, yüksek hızlı kayıcı ve yarı kayıcı teknelerde görülen dinamik stabilite problemlerinin azaltılmasına yönelik olarak geliştirilen Akıllı Seyir Yardım Sistemi tanıtılmıştır. MARTERA Projesi çerçevesinde yürütülen sayısal modelleme, optimizasyon, deneysel doğrulama ve tam ölçekli deniz denemeleri sonucunda, kayıcı teknelerin emniyetli işletilmesine yönelik önemli bilgiler elde edilmiştir.

Geliştirilen INA sistemi, yüksek hızlarda meydana gelen potansiyel stabilite kayıplarını önceden tespit ederek operatöre veya otonom kontrol sistemine destek sağlamaktadır. Bu yaklaşımın gelecekte otonom deniz araçlarının geliştirilmesine, seyir güvenliğinin artırılmasına ve enerji verimliliğinin iyileştirilmesine önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Kaynak:

- [1] "European Boating Industry". www.europeanboatingindustry.eu/. [Acc: 26.8.2019].
- [2] V. Bertram and H. Schneekluth, *Ship Design for Efficiency and Economy*; 2. Ed., Butterworth-Heinemann, 1998.
- [3] A. Biran and R. L. Pulido, *Ship Hydrostatics and Stability*; 2. Ed., Butterworth-Heinemann, 2013.
- [4] J. E. Manley, "Unmanned Surface Vehicles, 15 Years of Development," in *IEEE Conf. on OCEANS 2008, Quebec City, Canada, 2008*.
- [5] M. Dunbabin et al., "An Autonomous Surface Vehicle for Water Quality Monitoring," in *ACRA, Sydney, Australia, 2009*.
- [6] E. Oleynikova et al., "Perimeter Patrol on Autonomous Surface Vehicles using Marine Radar," in *IEEE Conf. on OCEANS, Sydney, Australia, 2010*.
- [7] P. Krishnamurthy et al., "A Modeling Framework for Six Degree-of-Freedom Control of Unmanned Sea Surface Vehicles," in *IEEE Conf. on Decision and Control, Sevilla, Spain, 2006*.



Otonom Denizcilik Endüstrisi Anketi (2025)

Roland Berger'in paylaştığı anket değerlendirmesinde denizcilikte otonom gemi teknolojisinin mevcut durumu, kara taşımacılığındaki otonom araç anlayışından farklı olduğunu göstermektedir. Nitekim sektör profesyonellerinin görüşlerinin yansıtıldığı bu anket çalışmasında, büyük bölümü tam otonom gemiler yerine **uzaktan kontrol edilen veya kısmen uzaktan kontrol edilen sistemlerin** daha uygun terih olduğu ortaya çıkmıştır. Analiz sonuçlarına göre;

- Katılımcıların **%41'i** otonom gemiciliği "uzaktan kontrol edilen operasyonlar" olarak ifade etmektedir.
- **%29'u** ise kısmen uzaktan kontrol edilen sistemler olarak görürken;
- **%29'u** tamamen otonom gemi operasyonlarının hedeflenmesi gerektiğini söylemektedir.

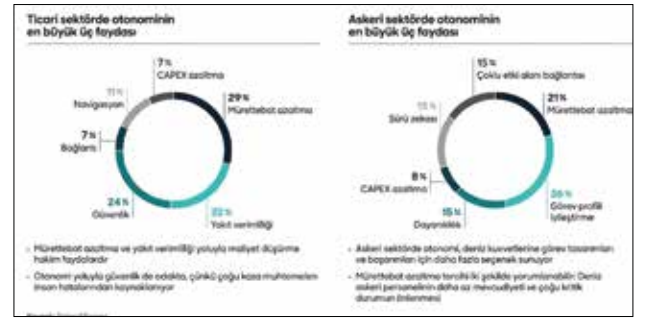
Sektör, sürdürülebilirliğin yanında güvenlik, mevzuata uyum ve teknolojinin olgunluğu gibi temel bileşenler nedeniyle endişeleri öne çıkartmış ve insan denetiminin devam etmesi gerektiğini vurgulamıştır. Deniz taşımacılığında uluslararası sularda seyir, değişken hava koşulları ve yüksek değerli yüklerin taşınması gibi zorluklar bu kapsamda dikkate alınması gereken bir operasyonel süreç olduğu ve tam otonom sistemlere geçişi daha yavaş ve temkinli hale getirdiği vurgulanmaktadır. Bu süreçte özellikle **ticari ve askeri denizcilik hedefleri farklılaşmalar öne çıkmıştır:**

- Ticari denizcilik şirketleri için otomasyonun en önemli amacının **maliyetlerin azaltılması ve operasyonel verimliliği artırılması** olarak öne çıkmıştır.
- Ticari katılımcılar bu kapsamda:

- o **%29'u** mürettebat azaltılmasını en büyük fayda olarak görmektedir.
- o **%24'ü** güvenlik iyileştirmelerini öncelikli fayda olarak belirtmektedir.
- o **%22'si** ise yakıt verimliliğinin artırılmasını önemli bir avantaj olarak değerlendirmektedir.

Genel olarak sektör, tamamen insansız gemiler yerine insan **kontrolünü koruyan, uzaktan yönetilebilir ve aşamalı olarak gelişen otonom sistemlere** daha yakın durmaktadır. Buna karşın Askeri gemilere yönelik beklentiler farklılık gösterirken, amaçlar diğerlerine nazaran öncelik maliyet azaltımı değil, operasyonel yeteneklerin geliştirilmesi olarak öngörüldü. Nitekim Askeri katılımcılara göre:

- **%26'sı** görev kabiliyetlerinin artırılmasını en önemli fayda olarak görmektedir.
- **%21'i** tehlikeli görevlerde personel riskinin azaltılmasını öncelikli bulmaktadır.
- **%15'i** daha uzun operasyon süresi, çok alanlı bağlantı ve sürü kabiliyetlerini önemli görmektedir.



Şekil 1 Ticari ve Askeri gemi yapımında otonom faydaları

Otonom askeri gemiler; daha uzun süre görev yapma, personeli tehlikeden uzak tutma ve koordineli operasyon yetenekleri sağlama açısından değer taşımaktadır. Ticari tarafta ise amaçlar daha çok personel maliyetlerini azaltmak, yakıt verimliliğini artırmak ve insan hatalarından kaynaklanan kazaları azaltmaktır. Otonom gemilerin yaygınlaşmasının önündeki engeller teknolojik sınırlamalardan çok, altyapı ve düzenleyici sorunlar benimsenmeyi yavaşlatmaktadır. Anket sonuçlarına göre;

- **%28** bağlantılı altyapının yetersizliğini en büyük engel olarak görmektedir.
- **%26** düzenleyici belirsizlikleri sorun olarak belirtmektedir.
- **%21** teknoloji standartlarının eksikliğini önemli bir engel olarak değerlendirmektedir.
- Sigorta, navigasyon desteği ve maliyet şeffaflığı da diğer sorunlar arasındadır.

Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO) otonom gemiler için düzenlemeleri 2030'a kadar tamamlamasının beklenmesi, geçiş sürecini yavaşlatmaktadır. Sektör, otonom gemilerin uzun vadede önemli maliyet avantajları sağlayacağına inanmaktadır. Anket verilerine göre;

- Katılımcıların %60'tan fazlası işletme giderlerinde (OPEX) azalma beklemektedir.
- %38'i %5'ten fazla maliyet düşüşü öngörmektedir.
- %23'ü %2-5 arasında tasarruf beklemektedir.

Bu beklentilerin temel nedenleri başta mürettebat maliyetlerinin azalması olarak öngörülmektedir. Bunu yakıt verimliliğinin artması ve insan hatasına bağlı kazaların azaltılması takip etmektedir. Son olarak en uygun otonom gemi kullanım alanlarının belirlenmesi de dikkate alınmıştır. Anket verilerine göre otonom sistemler için en uygun görülen gemi türleri aşağıdaki gibidir;

- Yolcu feribotları ve devriye/güvenlik gemileri: %25
- Kargo gemileri ve offshore destek gemileri: %20
- Tankerler: %7
- Özel yatlar: %2

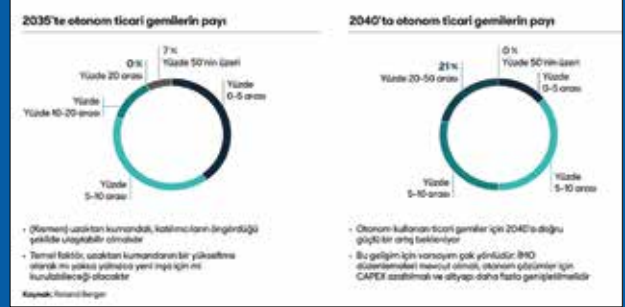
Özellikle kargo gemileri, sabit rotalar ve standart operasyonları nedeniyle otonom teknoloji için güçlü bir aday olarak görülmüştür. Feribotlar da kontrollü rotaları sayesinde uygun görülürken, yolcu güvenliği nedeniyle daha sıkı düzenlemelere ihtiyaç olduğu görülmüştür. Şirketlerin büyük bölümü Ar-Ge bütçelerinin önemli bir kısmını otonom sistemlere ayırmaktadır. Teknoloji yatırımları ve Ar-Ge öncelikleri dikkate alındığında, sektörün en fazla yatırım yaptığı alanlar ise;

- Navigasyon yazılımları: %30
- Sensör ve kamera sistemleri: %25
- Uzaktan kontrol teknolojileri: %20
- Liman altyapısı: %11
- Personel eğitimi: %9
- Tahrik sistemleri: %5

Derleyen: Prof. Dr. M. Ziya SÖĞÜT

Kaynak:

<https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/Autonomous-shipping-industry-survey-2025.html#!&gid=1&pid=1>



Şekil 2 Ticari sektörde otonom gemilerin payı

Otonom denizcilik geliştirmelerinde öne çıkan bölgeler incelendiğinde; Avrupa: %56 ile lider konumda iken, Asya: %38, Amerika kıtası: %6 (daha çok askeri uygulamalara odaklanıldığı görülmektedir). Güneyde ise sınırlı faaliyetler görülmektedir. Sektör, otonom gemilerin yaygınlaşmasının devrimsel değil, kademeli bir süreç olacağını öngörmektedir.

Buna göre 2035 yılı için; katılımcıların %80'i otonom ticari gemilerin pazar payının %0-10 arasında olacağını düşünmektedir. Daha iyimser görüşler ise %10-20 veya daha yüksek pay beklenmektedir. 2040 yılı için ise beklentiler daha olumlu olmuştur.

%36'sı %5-10 pazar payı, %29'u %10-20 pazar payı, %21'i ise pazarın yarısına kadar ulaşabileceğini öngörmüştür. Otonom gemilerin denizcilikte giderek daha önemli hale geleceği görülmektedir.

Şekil 2'de görülebileceği gibi Pazar payının sürekli artış eğilimi yanında, geçiş süreci güvenlik, mevzuat, altyapı ve teknoloji standartlarının gelişmesine bağlı olarak aşamalı bir geçişten söz edilebilir. 2040 civarında otonom sistemlerin deniz taşımacılığında yaygın bir araç haline gelmesi beklenmektedir.

Deniz Taşımacılığında Otonom Derecelerine Bakış

Prof. Dr. M. Ziya SÖĞÜT

“

Denizcilik sektöründe otonomi seviyeleri, gemi operasyonlarında insan müdahalesi ile teknolojik sistemlerin rolünü ifade eden kademeli bir sınıflandırmadır. Orca AI'nin ortaya koyduğu çalışma da bu kapsamda önemli başlıklar içermektedir. Bu çalışmada derlendiği gibi, Sektörel bir ihtiyaç olarak gelişen bu ölçek, tam manuel kontrol edilen gemilerden tamamen otonom gemilere kadar uzanan bir çerçeveyi ortaya koyar. Otonom gemiler için teknolojik gelişim süreci genel olarak Şekil 1'de olduğu gibidir.



Şekil 1 Gemiler için otonom teknoloji seviyeleri

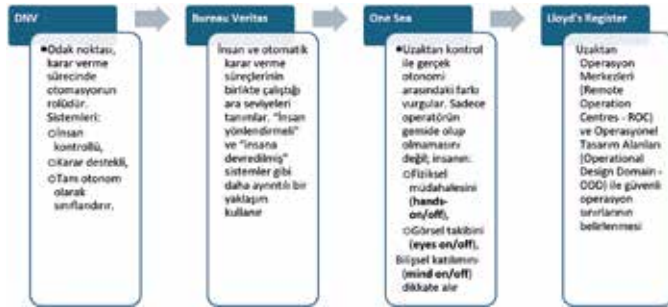
Tüm sektörel ihtiyaçlarda olduğu gibi otonomi seviyelerinin yükselmesi; dijital olgun seviyesi ile birlikte, yapay zekâ, makine öğrenmesi, bilgisayarlı görü, sensör teknolojileri ve veri işleme kapasitesindeki gelişmelerle paralellik gösterir. Temelde verimlilik ve sürdürülebilirlik için önemli olan bu teknolojiler gemilerde daha güvenli, verimli ve çevre dostu deniz taşımacılığı desteklemektedir. Günümüzde bu konu çok tartışılrsa da denizcilikte otonomi seviyeleri konusunda henüz küresel olarak kabul edilmiş ortak bir tanım sistemi bulunmamaktadır. Özellikle denizciliği klas ve farklı kurumları otonomiye farklı şekilde sınıflandırmıştır. Bazı klas kuruluşları 4 seviye kullanırken, bazıları 7 seviyeye kadar ayrımı geliştirmiştir. Bazı sınıflandırmalar dijitalleşme yeteneklerini temel alırken, bazıları ise gemi-kara haberleşmesi ve uzaktan kontrol kabiliyetlerini temel almıştır.

Bu durum her ne kadar ihtiyaçlar üzerinden değerlendirilse de, sektör paydaşları arasında kavramsal belirsizlik yaratmakta ve düzenleyici süreçleri zorlaştırmaktadır. Bu nedenle otonomi terminolojisinin standartlaştırılması ve mevcut denizcilik mevzuatının güncellenmesi, otonom gemilerin güvenli şekilde yaygınlaşması için sektörel bir ihtiyaç olarak gelişmektedir. Nitekim günümüzde International Maritime Organization (IMO), gemilerde otonomi seviyelerini tanımlama çalışmalarını başlatan öncü kuruluşlardan biridir. IMO'nun yaklaşımı, gemilerde insan rolü ile otomatik sistemlerin sorumluluk paylaşımını belirlemek ve gelecekteki düzenlemeler için ortak bir çerçeve oluşturmaktır. Bu kapsamda Tablo 1'de verildiği gibi bir derecelendirmeyi önermiş ve geliştirmiştir.

Tablo 1 Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) nün gemiler için otonom dereceleri

Otonomi Seviyesi	Gemide Denizci Var mı?	Gemi Uzaktan mı Kumanda Ediliyor?	Gerçek Zamanlı Bağlantı Gerekli mi?
Otomatikleştirilmiş süreçlere ve karar desteğine sahip gemiler	Evet	Hayır	Otomasyonun ve karar destek sistemlerinin kapsamına bağlı olarak, şart değil.
Gemide denizcilerin bulunduğu, uzaktan kumandalı gemi	Evet	Evet	Evet, gemideki personel ile uzaktan kumanda eden operatörler arasındaki iletişimi kolaylaştırmak için.
Gemide denizcilerin bulunmadığı, uzaktan kumandalı gemiler	Hayır	Evet	Evet, geminin uzaktan bir konumdan sürekli iletişimi ve kontrolü için.
Tam otonom gemiler	Hayır	Hayır	Şart değil; geminin kendisi, doğrudan insan müdahalesine ihtiyaç duymadan bağımsız olarak çalışır

Denizcilikte otonom teknolojilerinden beklentiler, sabit bir teknoloji seviyesinden çok, geminin karar verme ve operasyon yürütme yeteneğini geliştiren bir iş sürecini hedefler. Bu kapsamda özellikle klas kuruluşları yönüyle de farklı değerlendirmeler içerildiği görülebilir.



Şekil 2 Klas kuruluşların otonom teknoloji çerçeveleri

Otonom süreçler bu klas değerlendirmeleriyle birlikte ele alındığında manuel süreçler ile birlikte özellikle gemiler temel konu haline getirilmiştir. Gemilerin karar ve operasyonel süreç yönetimlerinde ihtiyaç duyulan bir sürecin geliştirilmesini sağlayan otonom teknolojiler için en kapsamlı seviye değerlendirmesi Tablo 2'de verilen Lloyd Register tarafından geliştirilen seviyeleri içermektedir.

Tablo 2 Lloyd Register tarafından geliştirilen otonom seviyeleri

Seviye	Tanım	Özellik
0 - Manuel Kontrol	Tam insan kontrolü	Tüm kararlar mürettebat tarafından alınır.
1 - Karar Destek	Yardımcı sistemler	Sevir desteği, çarpışma uyarıları gibi sistemler insan kararını destekler.
2 - Gemide Otomatik Operasyon	Görev bazlı otomasyon	Otopilot ve rota takibi gibi sistemler belirli görevleri yürütür. Sistem operasyonu gerçekleştirir, mürettebat gerektiğinde müdahale eder.
3 - Gemide Denetimli Otonomi	Yerel insan gözetimi	Gemi uzaktan yönetilebilir, ancak gemide personel yedek olarak bulunur.
4 - Gemide Mürettebat + Uzaktan Gözetim	Hibrit operasyon	Tüm operasyon uzaktan kontrol merkezleri tarafından yürütülür.
5 - Mürettebatsız Uzaktan Kontrol	ROC yönetimi	Yapay zekâ tüm kararları alır ve operasyonu yönetir.
6 - Tam Otonomi	İnsan müdahalesi olmadan çalışma	

Denizcilik uygulamalarında otonomi, manuel kontrolden yapay zekâ destekli tam bağımsız operasyona kadar uzanan çok seviyeli bir yapı ile çok yönlü ele alınmaktadır. Özellikle tam insansız teknolojilerin henüz tam uygulama alanı bulamadığı yapılar için sektör, tamamen insansız gemilerden çok, insan gözetimini koruyan yüksek otomasyon seviyelerine sahip teknolojileri öne çıkartmıştır. Bu kapsamda farklı kontrol algoritmalarıyla birlikte yapay zekâ destekli ve uzaktan operasyon altyapısı, güvenilir sensörler, haberleşme sistemleri ve net operasyon sınırları (ODD) olmak üzere bir çok farklı teknoloji tercihlerinin kullanıldığı görülmektedir. Otonom yakın çerçevede bir olgunluk seviyesi değerlendirmesiyle şekillendirilmelidir.

Kaynak:

<https://www.orca-ai.io/blog/guide-to-maritime-autonomous-shipping-terms/>

Yönetim Bilişim Sistemleri Perspektifinden Denizcilikte Otonom Çözümler ve Teknolojiler

Dr. Öğr. Üyesi Elyasa İSKENDER

Denizcilikte otonomluk çalışmaları, sensör füzyonu, uzaktan gözetim, karar destek ve kontrollü pilot uygulamalar üzerinden ilerlemektedir. IMO'nun MASS yol haritası, bağlayıcı olmayan kodun Mayıs 2026'da sonuçlandırılmasını; bağlayıcı kodun ise en geç 1 Temmuz 2030'da kabul edilip 1 Ocak 2032'de yürürlüğe girmesini hedeflemektedir. Bu takvim, regülasyonun teknoloji kadar belirleyici olduğunu ve yakın vadede en gerçekçi modelin "insan denetimli kademeli otonomi" olduğunu gösterir. [1]

Yönetim Bilişim Sistemleri (YBS) açısından kritik mesele, gemiyi yalnızca "akıllı" yapmak değil; gemi içi operasyonel teknoloji verisini, kıyıdaki uzaktan operasyon merkezini, bakım ve emisyon raporlama sistemlerini, liman ve kurumsal uygulamaları aynı veri omurgasında birleştirmektir. Türkiye'de Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'nın 2023/57 sayılı uygulama talimatı, risk yönetimi, mevzuata uygunluk, insan faktörü, haberleşme, veri alışverişi ve raporlama başlıklarını öne çıkarırken; Türk Loydu da otonomi, sınıflandırma ve özel kılavuz geliştirme tarafında kurumsal altyapıyı güçlendirmektedir. Bu nedenle otonom denizcilik, eşzamanlı olarak hem bir denizcilik mühendisliği konusu hem de bir bilgi mimarisi ve yönetim problemidir. [2]



Teknolojik Altyapı

Otonom denizcilik çözümünün teknik çekirdeği, çevreyi algılama ve bu algıyı güvenilir kararlara dönüştürme yeteneğidir. Radar, kötü hava ve düşük görüşte dayanıklılığıyla temel algılayıcı olmaya devam ederken; kamera ve termal görüntüleme nesne sınıflandırma ve bağlamsal farkındalık sağlar; LiDAR ise özellikle liman yaklaşımı ve yanaşma gibi kısa mesafeli senaryolarda yüksek doğruluklu üç boyutlu algı üretir. Güncel çalışmalar, RTK-GNSS, IMU ve LiDAR tabanlı çoklu sensör füzyonunun özellikle berthing senaryolarında konumlama doğruluğunu ve işlem verimliliğini artırdığını; tek bir sensör ailesinin tüm deniz koşullarında yeterli olmadığını göstermektedir. [3]

Yapay zeka ve makine öğrenmesi katmanı ise AIS, seyir, çevre ve makine verisini rota tahmini, anomali tespiti, çarpışma riski değerlendirmesi ve enerji verimliliği kararlarında kullanır. Haberleşme tarafında VDES, AIS'e göre daha yüksek veri hızlarıyla gemiden kıyıya ve kıyidan gemiye çift yönlü veri akışı sağlar; ayrıca IMO, gemi rota planlarının gemi-kıyı arasında standartlaştırılmış dijital değişimini destekleyen ECDIS işlevlerini de iletirmektedir. Dijital ikizler ise gerçek zamanlı sensör akışı ile güncellenen sanal gemi modeli olarak hata teşhisi, durum izleme, güvenli test ve kestirimci bakım için önem kazanmaktadır. [4]



Kaynak:

<https://www.imo.org/en/about/strategy/pages/default.aspx>



Aşağıdaki tablo, teknoloji kümelerini YBS değeri ve başlıca riskler açısından özetleyen sentetik bir çerçevedir. [5]

Teknoloji	YBS'deki rol	Başlıca fayda	Başlıca risk
Sensör füzyonu	Zaman serisi ve olay verisi üretir	Durumsal farkındalık, hassas konumlama	Çelişkili veri, sensör sapması
AI/ML	Tahmin, sınıflama, anomali tespiti	Rota optimizasyonu, erken uyarı	Açıklanabilirlik ve model kayması
Haberleşme ve e-navigation	Gemi-kıyı veri akışını sürdürür	Uzaktan gözetim, koordinasyon	Bağlantı kesintisi, veri bütünlüğü riski
Otonom kontrol	Planlama ve eylem üretir	Çarpışma önleme, otomatik manevra	Yanlış kontrol döngüsü, emniyet riski
Dijital ikiz	Simülasyon, sağlık izleme, karar desteği	Kestirimci bakım, senaryo analizi	Model sapması, veri kalitesine bağlılık

Yönetim Bilişim Sistemleri Perspektifi

YBS bağlamında uygun mimari, katmanlı ve olay temelli bir akıştır: gemi üzerindeki OT katmanı veriyi toplar; otonomi katmanı algılama-planlama-kontrol döngüsünü işletir; haberleşme katmanı bu akışı kıyıdaki ROC'a taşır; üst katmanda veri gölü/dijital ikiz, karar destek, bakım yönetimi, emisyon raporlama ve kurumsal uygulamalar yer alır. AUTOSHIP projesinde kıyıdaki uzaktan kontrol merkezlerinin ve karar destek bileşenlerinin TRL 7 düzeyinde gösterilmesi; Kongsberg'in ROC (Uzaktan Kontrol Merkezi) çözümünde gerçek zamanlı izleme, rota tahmini, anomali tespiti ve VTS ile seyir bilgisi paylaşımının vurgulanması; bu mimarinin artık sadece teorik olmadığını gösteriyor. YBS tasarımı bu nedenle API standardizasyonu, veri sözlüğü, zaman damgası uyumu, model sürümleme, denetim izi ve veri kalitesi yönetimi temel gereksinimlerdir. [6]

İnsan-makine etkileşimi de YBS'nin merkezi parçasıdır. Yeni literatür, otonomluk arttıkça gemiadamının rolünün doğrudan kumandan uzaktan gözetim ve istisna yönetimine kaydığını; buna paralel olarak operatör eğitimine, açıklanabilir HMI tasarımına ve karar destek sistemlerine daha fazla ihtiyaç doğduğunu gösteriyor. Simülasyon çalışmaları, aynı anda daha fazla gemiyi izleme, kısıtlı müdahale süresi ve zayıf karar desteğinin performansı düşürdüğünü; ROC personel planlamasının nicel olarak tasarlanması gerektiğini ortaya koyuyor. Ayrıca açık, standartlaştırılmış ve paylaşılabılır veri kümeleri olmadan güvenilir AI sistemlerinin ölçeklenmesi zor görünüyor. [7]



Kaynak:

- [1] Autonomous shipping
<https://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/autonomous-shipping.aspx>
- [2] denizcilik.uab.gov.tr
<https://denizcilik.uab.gov.tr/uploads/pages/seyir-colreg-ge-mi-trafigi-ve-raporlama-telsiz-habe/yeni-2023-57.pdf>
- [3] [5] Scenario-Based Sensor Selection for Autonomous Maritime Systems: A Multi-Criteria Analysis of Sensor Configurations for Situational Awareness | MDPI
<https://www.mdpi.com/2077-1312/13/10/2008>
- [4] Harnessing the power of Machine learning for AIS Data-Driven maritime Research: A comprehensive review - ScienceDirect
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554524000164>
- [6] Autonomous Shipping Initiative for European Waters | H2020 | CORDIS | European Commission
<https://cordis.europa.eu/project/id/815012/reporting>
- [7] A systematic literature review of Human-Machine Cooperation in Maritime Autonomous Surface Ships - ScienceDirect
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S3050862225000066>
- [8] Autonomous shipping
https://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/autonomous-shipping.aspx?utm_source=chatgpt.com
- [9] Cyber risk assessment of cyber-enabled autonomous cargo vessel - ScienceDirect
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1874548224000362>

Denizcilikte Otonom Çözümlerin Siber Güvenliği

Dr. Öğr. Üyesi Elyasa İSKENDER

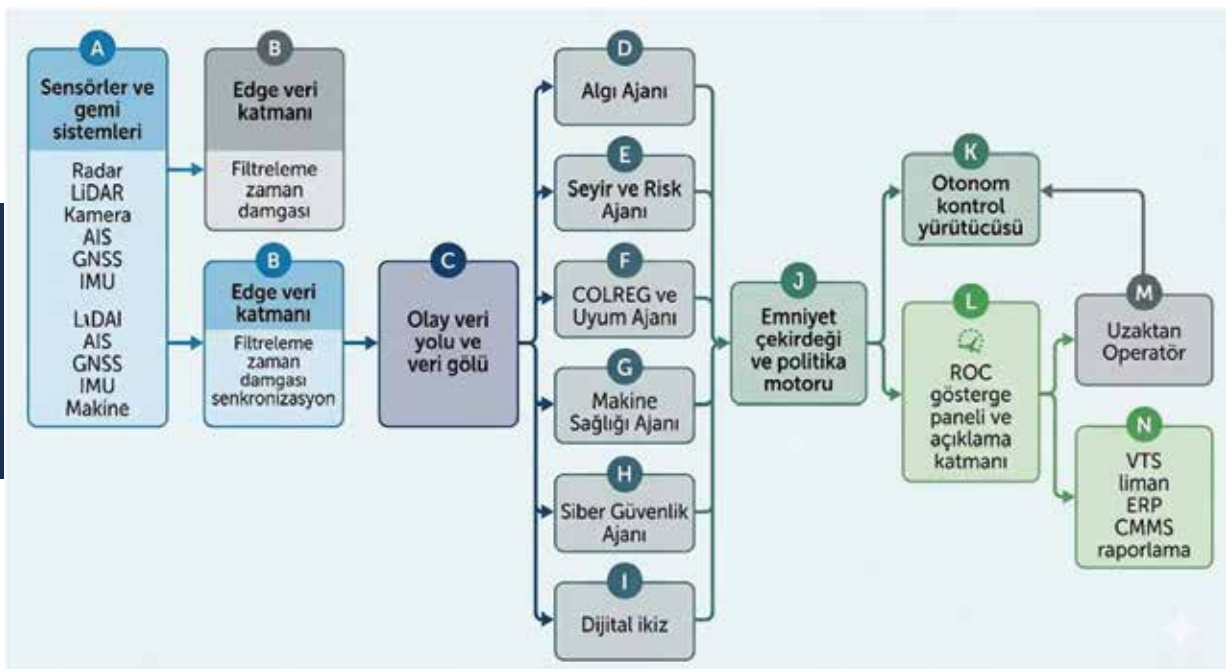
Denizcilikte otonomluk, kıydan kumandalı işletmeden tam özerk seyre uzanan bir spektrumdur; bu nedenle siber güvenlik sorunu yalnızca gemideki yazılımla değil, gemi-kıyı veri zinciri, uzaktan operasyon merkezi ve kurumsal bilgi sistemleriyle birlikte ele alınmalıdır. Bu, Yönetim Bilişim Sistemleri (YBS) açısından meseleyi yalnızca "teknik güvenlik" olmaktan çıkarır; veri yönetimi, karar izlenebilirliği, tedarik zinciri güveni, bakım kayıtlarının bütünlüğü ve düzenleyici kanıt üretimi birlikte yönetilmelidir. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), siber riskin emniyet yönetimi içine gömülmesini uzun süredir talep ederken; Uluslararası Klas Kuruluşları Birliği (IACS) de yeni gemiler için siber dayanıklılığı tasarım ve ekipman seviyesinde zorunlu hale getirmiştir. Sonuç olarak otonom gemide "çalışan algoritma" yeterli değildir; güvenli, açıklanabilir, denetlenebilir ve insan tarafından devralınabilir algoritma gerekir (IMO, 2017; IMO, 2025; IACS, 2023; DNV, 2026).

Otonom Mimari ve Veri Akışları

Bizim önerdiğimiz mimari, Maritime Autonomous Surface Ship (MASS / Otonom Deniz Yüzey Gemisi) mantığını YBS bakışıyla okunabilir hale getirir. A katmanı; radar, LiDAR, kamera, Automatic Identification System (AIS), Global Navigation Satellite System (GNSS), Inertial Measurement Unit (IMU) ve makine telemetrisinden oluşan algı kaynaklarıdır. B, güvenli uç işleme katmanıdır; filtreleme, zaman damgası senkronizasyonu ve temel doğrulama burada yapılır. C, olay yolu ve veri gölüdür.

D algı ajansı, E seyir ve risk ajansı, F çatışmayı önleme kuralları ve uyum ajansı (COLREG), G makine sağlığı ajansı, H siber güvenlik ajansı ve I dijital ikizdir. Bu çoklu ajan çıktıları J emniyet çekirdeği ve politika motoru ile birleştirilir; yalnızca politika eşliğini geçen kararlar K otonom kontrol yürütücüsüne gönderilir. Gerekçe ve durum farkındalığı L Uzaktan Operasyon Merkezi (Remote Operations Center, ROC) gösterge paneline akar; M uzaktan operatör gerektiğinde devralır; N ise Vessel Traffic Service (VTS), liman Enterprise Resource Planning (ERP) ve Computerized Maintenance Management System (CMMS) katmanına raporlama sağlar. Bu yapı, gemiyi tek başına bir "ada" olarak değil; ROC ve kıyı sistemleriyle birlikte tek bir sistemler sistemi olarak ele almayı gerektirir (ABS, 2021; USCG, 2024).

Siber açıdan en kritik nokta, A'dan N'ye kadar her geçişte veri anlamının değişmesidir: sensör verisi önce güvenilirlik sorunu, sonra karar sorunu, sonra da kurumsal kayıt sorunu haline gelir. 2021 tarihli klas kılavuzu, uzaktan kontrolün gemi dışındaki insan operatör tarafından yapılabildiğini; bu durumda iletişim gecikmesi, veri bütünlüğü, kontrol devri, görsel durumsal farkındalık ve simülasyon/virtual testing ile doğrulamanın zorunlu tasarım başlıkları olduğunu açıkça vurgular. YBS bağlamında bunun anlamı şudur: siber olay yalnızca BT (Bilgi Teknolojisi, IT) değil, OT (Operasyonel Teknoloji) ve bilgisayar tabanlı sistemleri (Computer Based Systems, CBS) aynı anda etkileyen bir iş sürekliliği olayıdır (ABS, 2021; Cho, 2022).

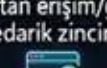
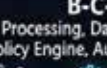
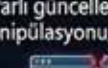
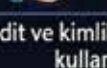
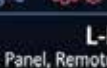
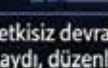


Tehditler ve Vaka Analizi

Saldırı yüzeyi özellikle A-B-C ile L-M-N geçişlerinde büyür. Algı ve konum katmanında en ciddi riskler; sensör sahteciliği, GPS/GNSS girişimi, AIS sahteciliği ve veri zamanlamasının bozulmasıdır. Gemi-kıyı entegrasyonunda ise uzaktan erişim, bakım bağlantıları, yazılım güncellemeleri ve ERP/CMMS entegrasyonları yanal hareket için doğal köprüler oluşturur. Akademik literatür, otonom gemilerde sevk ve seyir sistemlerine dönük siber saldırı senaryolarının ayrı ayrı modellenmesi ve bariyer mantığıyla değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Üstelik ABD Denizcilik İdaresi ve ABD Sahil Güvenliği kaynakları, AIS'in açık, şifrelenmemiş ve korunmasız bir radyo sistemi olduğunu; GPS girişimi ve AIS sahteciliğinin ise yanlış veya eksik durumsal farkındalık üreterek fiziksel saldırıları kolaylaştırabildiğini açıkça belirtmektedir (MARAD, 2025; Cho, 2022; Bolbot vd., 2020).

Gerçek vakalar, riskin kuramsal olmadığını gösterir. 2017'de Maersk, NotPetya saldırısı nedeniyle çok sayıda sahada BT kesintisi yaşadığını doğruladı. 2020'de CMA CGM, fide yazılımı tabanlı saldırı sonrası çekirdek BT sistemlerine erişimi geçici olarak durdurdu; operasyonel araçlar ve e-ticaret platformu etkilendi. 2023'te DNV'nin ShipManager sunucularına yönelik saldırı ise yaklaşık bin gemiyi etkileyen bir hizmet kesintisine yol açtı; olayın gemi üstü çevrimdışı işlevleri durdurumaması, "edge üzerinde çevrimdışı süreklilik" ilkesinin neden kritik olduğunu gösterdi. Bu üç olay birlikte okunduğunda, otonom denizcilikte asıl sorunun tekil bir "hack" değil; BT, OT, bakım ve kıyı operasyonlarının birleşik kırılganlığı olduğu görülür (Maersk, 2017; CMA CGM, 2020; DNV, 2023).

Tablodaki azaltımlar, IMO'nun 2025 rehberindeki Protect/Detect/Respond kontrolleri; NIST'in sıfır güven ve olay müdahalesi çerçeveleri;

'OTONOM GEMİ SİBER TEHDİT VE ÖNCELİKLİ AZALTMA MATRİSİ'			
TEHDİT TÜRÜ	ETKİLENEN KATMANLAR	OLASI SONUÇ	ÖNCELİKLİ AZALTIMLAR
Konum/sensör sahteciliği ve karıştırma 	A-B-D-E-F (Sensors, Edge Processing, Perception, Navigation, COLREG) 	Yanlış rota, çarpışma kuralı ihlali, hatalı otonom karar 	Çoklu sensör tutarlılık kontrolü, radar/LiDAR/kamera-GNSS çapraz doğrulama, güvenli zaman kaynağı, güvenli moda geçiş
Fide yazılımı ve yanal hareket 	C-H-L-N (Data Lake, Cyber Security, ROC Panel, Reporting) 	ROC körleşmesi, bakım/raporlama kesintisi, karar desteğinin bozulması 	IT/OT ayrıştırması, çevrimdışı gemi işlevleri, değiştirilemez yedekler, olay müdahale planı, ayrıcalık en aza indirme
Uzaktan erişim/güncelleme ve tedarik zinciri suistimali 	B-C-H-J-K (Edge Processing, Data Lake, Cyber Security, Policy Engine, Autonomous Control) 	Zararlı güncelleme, politika motoru manipülasyonu, komut ele geçirme 	Sıfır güven (Zero Trust) ^[7] , çok faktörlü kimlik doğrulama, imzalı güncelleme, geri alma (rollback), SBOM ve SSDF ^[8] , port kısıtlama
İç tehdit ve kimlik bilgisi kötüye kullanımı 	L-M-N (ROC Panel, Remote Operator, Reporting) 	Yetkisiz devralma, yanlış bakım kaydı, düzenleyici uyumsuzluk 	görev ayrılığı, oturum kaydı, iki kişili onay, davranış analitiği, zaman sınırlı yetki
DİPNOT REFERANSLARI ^[7] : **Sıfır Güven (Zero Trust)** : "Asla Güvenme, Daima Doğrula" prensibine dayanan siber güvenlik modeli. ^[8] : **SBOM ve SSDF: **SBOM (Software Bill of Materials):** Yazılım Tedarik Zinciri güvenliğinin temelidir... SSDF (Secure Software Development Framework):** NIST tarafından yayınlanan güvenli yazılım geliştirme kuraları.			

CISA'nın yazılım bileşen şeffaflığı yaklaşımı ve Türk Loydu'nun erişim, port kısıtlama, anomali izleme ve yerel/manüel kontrol hükümleriyle uyumludur (IMO, 2025; NIST, 2020; NIST, 2025; CISA, 2025; Türk Loydu, 2024).

