

Bu yayınlı ilgili tartışmalara, istatistiklere ve yazar profillerine şu adresten bakabilirsiniz: <https://www.researchgate.net/publication/389613824>

Akıllı yeşil limanlar: değişen iklimde denizcilik sektörü için sürdürülebilir bir çözüm

Multidisipliner Adaptive Climate Insights'da **Makale** - Şubat 2025

DOI: 10.21622/MACI.2025.02.1.1162

ATIFLAR

0

OKUYUN

516

1 yazar:



Mohamed Elhussiny

Arap Bilim, Teknoloji ve Deniz Taşımacılığı Akademisi

5 YAYIN 5 ATIF

PROFİLE BAKIN



AKILLI YEŞİL LİMANLAR: DEĞİŞEN İKLİMDE DENİZCİLİK SEKTÖRÜ İÇİN SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR ÇÖZÜM

Mohamed Elhussieny

Deniz Taşımacılığı ve Teknolojisi Fakültesi, Arap Bilim, Teknoloji ve Deniz Taşımacılığı Akademisi, Abu Qir, İskenderiye, Mısır.

hosinymohamed@aast.edu

29 Aralık 2024 tarihinde alındı

Kabul tarihi, 29 Ocak 2025

Yayınlanma tarihi, 10 Şubat 2025

ÖZET

Bu araştırma makalesi, ileri teknolojilerin ve sürdürülebilir uygulamaların liman operasyonlarına nasıl entegre edildiğine dair derinlemesine bir inceleme sunmaktadır.

Amaç: Denizcilik sektöründe iklim değişikliğine bir çözüm olarak akıllı yeşil limanların fizibilitesini araştırmak. Denizcilik sektöründe sürdürülebilir kalkınma açısından ekolojik ayak izlerini azaltmak ve limanlardaki operasyonel verimliliği artırmak için dijital teknolojinin çevresel uygulamalarla entegrasyonunu araştırmaktadır.

Tasarım/metodoloji/yaklaşım: Kriter bazlı veri analizi ve akıllı teknoloji entegrasyonunun değerlendirilmesine yönelik çok boyutlu bir bakış açısıyla liman operasyonlarına değişen bir bakış açısı. Hem literatürün kapsamlı bir incelemesini hem de Rotterdam ve Singapur'dakiler de dahil olmak üzere dünyanın en iyi akıllı yeşil limanlarının derinlemesine vaka çalışmalarını içermekte ve teknoloji tarafından yönlendirilen sürdürülebilirlik girişimlerini değerlendirmek için güçlü bir çerçeve sunmaktadır.

Bulgular IoT ve yapay zeka teknolojilerini etkin bir şekilde benimseyen limanlar arasında enerji verimliliği ve sera gazı emisyonlarındaki azalmaların dikkate değer bir istatistik sergilediği görülmektedir. Yenilikçi teknolojiler lojistiği basitleştirmekte, maliyetleri düşürmekte ve hizmet seviyelerini iyileştirmektedir. Çevresel performans iyileştirmelerine örnek: Bazı limanların operasyonlar için yenilenebilir enerji kaynakları kullanması ve gelişmiş atık yönetim sistemleri uygulaması, limanların çevresel performansını olumlu yönde etkilemektedir. Çalışmalar, ortak çevresel sorumluluğun teşvik edilmesinde paydaş katılımının önemini vurgulamaktadır.

Araştırma sınırlamaları/sonuçları: Bölgesel liman örneklerinin heterojenliği, bulguların genelleştirilmesini sınırlandırmakta ve liman operasyonları verilerinin ulaşılabilirliği değişkenlik göstermektedir. Bu sınırlamalar, farklı deniz ortamlarında ilave saha çalışmalarının önemini vurgulamaktadır. Çalışma aynı zamanda sürdürülebilir limanların yönetimi için politika oluşturma, yatırım planlama ve operasyonel uygulamalar hakkında bilgi vermektedir.

Pratik çıkarımlar: Bulgular, hem doğrudan hem de dolaylı olarak liman operasyonları için küresel emisyon azaltma stratejilerinin geliştirilmesine yardımcı olmakta ve liman yetkililerine hem çevresel hem de ekonomik açıdan faydalı teknoloji yatırımları konusunda tavsiyelerde bulunmaktadır. Çalışma, denizcilik sektöründe geleceğe yönelik daha duyarlı ve ekolojik sistemlere doğru küresel bir değişimin parçası olabilecek günlük liman işlevlerinde sürdürülebilirliğin benimsenmesinin yolunu açmaktadır.

ANAHTAR KELİMELELER: Akıllı yeşil limanlar, Sürdürülebilir liman operasyonları, İklim değişikliği, Denizcilik endüstrisi, Dijital Teknoloji, Çevresel Uygulama ve Operasyonel Verimlilik.

1. GİRİŞ

"Akıllı Yeşil Limanlar" başlıklı araştırma raporunun giriş bölümü: Değişen İklimde Denizcilik Sektörü için Sürdürülebilir Bir Çözüm" başlıklı makalenin giriş bölümü, denizcilik operasyonları, çevresel sürdürülebilirlik ve teknolojik ilerlemenin kesişimini anlamak için önemli bir çerçeve oluşturmaktadır. Denizcilik sektörü, dünyada taşınan malların yaklaşık %90'ını oluşturarak küresel ticarete oldukça etkili bir rol oynamaktadır (H. Yu vd., 2022). Bu sektörün çevresel etkilerdeki rolü dikkate değerdir ve aşağı yukarı dünyadaki toplam sera gazı emisyonlarının yüzde 2,5'ini temsil etmektedir; bu da sürdürülebilir büyüme çabalarına yönelik ciddi zorluklar yaratmaktadır (IMO,2023). Liman alanlarının değiştirilmesi ve iyileştirilmesine yapılan vurgu da iklim değişikliğine paralel olarak artmaktadır (İnal, 2024). Altyapıların ve birden fazla limanda faaliyet gösterme potansiyelinin yükselen deniz seviyeleri ve doğal afetlerin tehdidi altında olduğu parametresi göz önünde bulundurulduğunda, limanların uyum sağlamasına ve daha dirençli hale getirilmesine yönelik önlemlerin tereddütsüz bir şekilde takip edilmesi gerektiğini düşünüyoruz. (Durluk vd., 2024a). İşte bu noktada, akıllı yeşil limanlar kavramı, en yeni teknolojileri sürdürülebilirlikle birleştiren dönüştürücü bir yaklaşım olarak devreye girmekte ve bu sorunlara etkili çözümler getirilmesini sağlamaktadır (Cavalli vd., 2021).

Akıllı yeşil limanlar için yalnızca akıllı liman teknolojilerine odaklanmakla kalmayıp aynı zamanda çevre bilinci (EC), çevresel davranış (EB) ve paydaş katılımı kavramlarını da dahil ederek daha bütüncül bir çerçeve sağlamak önemlidir. Berger: Bunu entegre etmek, liman sürdürülebilirliği ve iklim değişikliğinin azaltılmasına yönelik kapsamlı bir yaklaşım oluşturma anahtarıdır. Bu akıllı yeşil liman tanımı hem teknolojik gelişmeleri hem de paydaş etkileşimini dikkate almalıdır. Belmucarietal'den genişleterek. Akıllı yeşil limanı tanımlamak için Zhe ve arkadaşları (2024) tarafından önerilen tanım liman bağlamına uyarlanmıştır: Akıllı yeşil liman, liman operasyonlarını optimize etmek, müşteri memnuniyetini garanti etmek ve çevresel zararı azaltmak için VHT, sanal personel ve yönetim uygulamalarının birbirine bağlandığı, sürdürülebilir, güvenli ve otomatik uygulamaları benimseyen entegre bir liman/hinterland tesisidir (Zhang v d ., 2024). Ayrıca, kararların verilere ve geri bildirimlere dayandığı karar alma sürecine paydaşları ve yerel toplum unsurlarını da dâhil eder,

çevre bilincini ve sürdürülebilir uygulamaları teşvik etmektedir. İkincisi, iklim değişikliği için denizcilik sektöründe çözümler düşünüldüğünde ayrılmaz olan teknolojik yenilik ve toplum katılımı arasında bir sinerji ortaya çıkarmaktadır. Akıllı yeşil limanlar, yalnızca operasyonel verimliliği artırmak için değil, aynı zamanda çevresel etkileri ölçmek ve azaltmak için Nesnelerin İnterneti (IoT) cihazlarını, yapay zekayı (AI) ve büyük veri analitiğini benimser (Durluk vd., 2024b). Bu teknolojiler emisyonlar, enerji tüketimi ve diğer çevresel göstergeler hakkında gerçek zamanlı görünürlük sunarak liman yetkililerinin veri odaklı kararlar almasını ve hassas sürdürülebilirlik önlemleri benimsemesini sağlamaktadır (Imafidon vd., 2024). Kuzey Afrika Ülkelerinde (NACs) ve diğer gelişmekte olan bölgelerde, akıllı yeşil liman operasyonlarında EC ve EB kavramlarının uygulanması büyük önem taşımaktadır. Araştırmacılar, liman paydaşlarının daha fazla çevresel bilgiye sahip olduklarında sürdürülebilirlik girişimlerine daha fazla bağlılık gösterdiklerini tespit etmiştir (Othman vd., 2022). Çevresel bilginin yayılması ve akıllı teknolojilerin kullanımı yoluyla ekosistemlere katılımın kolaylaştırılması, paydaşların limanlarda AK'yi hızlandırabilir ve daha sürdürülebilir uygulamalara ve eylemlere doğru bir dönüşümü teşvik edebilir. Örneğin, akıllı yeşil limanlar, operasyonel şeffaflığı artırmak ve sürdürülebilirlik çabalarına toplum katılımını teşvik etmek için halka gerçek zamanlı çevresel veriler sağlayan dijital platformlar oluşturulmasına yardımcı olmaktadır (D'Amico vd., 2021).

Bu platformlar aynı zamanda kilit paydaşlar için geri bildirim kanalları işlevi görerek liman yetkililerinin yerel bilgi aracılığıyla karar alma süreçlerinde toplumun endişelerini gidermesine destek olabilir. Akıllı teknolojiler, özellikle çevresel etkilerin izlenmesi ve yönetilmesinde ve iklim değişikliği riskinin en aza indirilmesinde önemli rol oynayan bir diğer alandır. Ayrıca, sofistike sensör ağları ve yapay zeka destekli tahmine dayalı analitik gibi teknoloji çözümleri, limanların yükselen deniz seviyeleri ve aşırı hava olayları gibi iklim değişikliği risklerini öngörmesine ve bunlara hazırlanmasına yardımcı olabilir (Sotirov vd., 2024). Bu metodoloji sayesinde limanların dayanıklılığı artırılmakla kalmamış, aynı zamanda paydaşların davranış pratiklerinin ve zihniyetlerinin çevreye duyarlı bir yaklaşıma doğru kaymasında önemli bir rol oynayan uzun vadeli bir sürdürülebilirlik planı da yankı bulmuştur. As

Akıllı yeşil liman girişimlerini uygulamak için kaynak sıkıntısı yaşanması beklenmekle birlikte, yerel koşullar ve paydaşların ihtiyaçları da göz önünde bulundurulmalıdır. AK ve YY kavramlarının akıllı liman stratejilerine entegre edilmesi, liman idarelerinin kültürel açıdan da uygun olan daha etkili sürdürülebilirlik programları tasarlamasına yardımcı olabilir. Bu uygulamalar yalnızca politikanın bilgilendirilmesine değil, aynı zamanda yerel yönetime katılım için bağlantılar oluşturulmasına da yardımcı olabilir (örneğin, akıllı teknolojilere dayalı topluluk temelli çevresel izleme programları) ve bu da yerel kaynakların yanı sıra bireylerle de yerel katılımın artmasına yol açarak liman yönetiminin dijital teknolojiye dayalı vatandaş katılımının sonuçları olarak değerli veriler elde etmesini sağlayabilir (Issa Zadeh, Esteban Perez, vd., 2023).

Akıllı yeşil limanlar, operasyonları optimize etmek ve ekolojik ayak izlerini en aza indirmek için Nesnelerin İnterneti (IoT), yapay zekâ (AI) ve büyük veri analitiği gibi yenilikleri kullanmaktadır (Clemente vd., 2023). Örneğin, yakıt optimizasyonu, kestirimci bakım ve rota planlamadaki YZ uygulamaları, emisyonları azaltırken operasyonel verimliliği artırmada umut verici sonuçlar göstermektedir (İnal, 2024). Rotterdam Limanı ve Singapur Limanı gibi önde gelen limanların vaka çalışmalarında görüldüğü gibi pilot uygulamalar, etkili teknoloji entegrasyonunu göstermekte ve sırasıyla yakıt verimliliğinde ve çevresel izlemede önemli artışlar sağlamaktadır. Akıllı ve yeşil limanlar, çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarını benimseyerek sorumlu enerji tüketicileri olmakta ve operasyon ölçeğine bağlı olarak değişen bir atık yönetimi sistemi uygulayarak BM'nin Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri doğrultusunda sürdürülebilir iyi uygulamalara katkıda bulunmaktadır (Xiao vd., 2024). Avrupa Deniz Limanları Örgütü, dekarbonizasyonun modern liman yönetimi uygulamalarının bir parçası olduğu liman faaliyetlerinde çevrenin korunmasının teşvik edilmesinde açık bir lider olmuştur. Bu aynı zamanda denizcilik sektöründe düşük karbon enerjik teknolojilere ve yalnızca operasyonel verimliliği değil aynı zamanda çevresel yönetimi de artıran sürdürülebilir uygulamalara yönelik genel akımın bir parçasıdır (ESPO, 2021). Bunun yanı sıra, çeşitli limanlarda akıllı yeşil girişimlerin uygulanmasında yerel destek ana itici güçtür. Bu, sürdürülebilirlik tedbirlerinin yerel ihtiyaçlara göre uyarlanmasını ve çevresel sonuçların sahiplenilmesini sağlayacaktır.

Gerçekten de, karar alma süreçlerini iyileştirmek ve liman toplulukları içinde sürdürülebilirlik müdahalelerinin kamuoyu tarafından kabulünü artırmak için işbirliğine dayalı yaklaşımlar kullanılmıştır (Mahmud vd., 2024).

Avrupa Deniz Limanları Örgütü, liman operasyonlarında ve çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesinde kilit bir rol oynamaktadır. karbonsuzlaştırmanın önemli bir parçası olduğunu vurguladı

mevcut liman yönetiminin bir parçasıdır (ESPO, 2023). Bu çabalar, denizcilik sektöründe düşük karbonlu enerji teknolojilerinin ve hem verimliliği hem de çevresel bakımı artıran sürdürülebilir yöntemlerin kullanılmasına yönelik çok daha geniş bir harekete yol açmaktadır (Zhan vd., 2024). Akıllı yeşil girişimleri liman ortamlarında etkili bir şekilde uygulamak için toplumun katılımı sağlanmalıdır. Bu, sürdürülebilirlik stratejilerinin toplumun ihtiyaçlarına göre özelleştirilmesini sağlayan ve çevresel sonuçlarla ilgili olarak topluma sahiplenme duygusu aşıl原因an yerel paydaşların katılımını içerir. Akademik çalışmalarda önerilen işbirlikçi metodolojilerin diğer avantajları arasında karar alma süreçlerinin iyileştirilmesi ve liman-toplum sürdürülebilirlik girişimlerine ilişkin kamu desteğinin artırılması da yer almaktadır. (Durlik vd., 2024a).

Bu araştırma makalesinin amacı doğrultusunda, akıllı teknolojilerin liman operasyonlarına entegrasyonunu ve sürdürülebilirliğin teşvik edilmesi için neler getirebileceğini anlamaya yönelik soruşturmaya rehberlik edecek net bir araştırma sorusu ve hipotez formüle etmek gerekmektedir. Liman operasyonlarına akıllı teknolojilerin entegrasyonu, çevre ve iklim değişikliğine ilişkin sosyo-ekonomik kaygılarla ilgili sürdürülebilirlik girişimlerinin ilerletilmesinde de rol oynayacaktır. Dolayısıyla, akıllı teknolojilerin uygulanması yalnızca liman operasyonlarında iyileşme sağlanacağı anlamına gelmeyecek, aynı zamanda daha geniş sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasına da yardımcı olacaktır (Xiao vd., 2024). Operasyonel verimliliğin artırılması enerji kullanımının ve emisyonların azalmasına, dolayısıyla da çevre üzerindeki etkinin azalmasına yol açabilir. Ayrıca, paydaşların sürdürülebilirlik girişimlerine katılımı, bu tür girişimlerin bağlamla ilgili ve uygun olmasını ve yerel topluluklardan, sektör ortaklarından ve devlet kurumlarından önemli ölçüde destek almasını sağlar. İşbirliği, çevre yönetiminde ortak sorumluluğun temelini oluşturacak ve sürdürülebilirlik hedeflerinin denizcilik sektöründe uzun vadede gerçekleştirilmesini sağlayacaktır.

(Jonathan Glimfjord ve Kankama Manase Shariza, 2024). Bu araştırma sorusu ve ilgili hipotez, akıllı yeşil limanların sürdürülebilirlik sorunlarını ele almadaki etkinliğinin incelenmesinde ve deniz lojistiği bağlamında sürdürülebilir kalkınmaya ilişkin akademik söylemin geliştirilmesinde önemli unsurlardır. Bu boyutları ele alan bu araştırma, liman operasyonlarında teknolojinin ekolojik sürdürülebilirlikle entegrasyonuna ilişkin en iyi uygulamalar hakkında kritik bilgiler sağlamayı amaçlamaktadır.

Akıllı yeşil limanlarla ilgili literatürün çoğu iklim değişikliğinin azaltılmasına odaklanmıştır, ancak liman operasyonlarında iklim adaptasyonuna duyulan ihtiyaç giderek daha iyi anlaşılmaktadır. İklim adaptasyonu, iklim değişikliğine maruz kalmanın etkilerine hazırlanma ve yanıt verme ihtiyacını tanımlamaktadır (örneğin, deniz seviyesinin yükselmesi, artan fırtına sıklığı ve yoğunluğu, yağış düzenindeki değişiklikler, vb). Limanlar akıllı yeşil limanlar haline geldikçe, adaptasyonları azaltımlarına giderek daha fazla entegre olmuştur. Örneğin, Rotterdam Limanı, yükselen deniz seviyeleriyle başa çıkmak için rıhtım duvarlarını yükseltmeyi, taşkın savunmalarını artırmayı ve yüzer altyapıyı içeren kapsamlı bir iklim adaptasyon programına sahiptir (İbrahim vd., 2024a). Bu çalışmada vaka çalışmaları, limanların iklimle ilgili riskleri azaltma ve dayanıklılık kabiliyetlerini geliştirmek için akıllı teknolojileri ve sürdürülebilir uygulamaları nasıl kullanabileceğini göstermektedir. Gelişmekte olan ülkelerdeki limanlarda iklim adaptasyonunun yeşil bina uygulamaları ve akıllı teknolojilerle yerel koşullara uyum sağlaması gerekmektedir (İmafidon vd., 2024). Limanlar, potansiyel iklim etkilerini tahmin etmek ve hazırlık stratejileri geliştirmek için gelişmiş modelleme ve simülasyon araçlarının kullanılması gibi iklim riski değerlendirmelerini uzun vadeli planlarına giderek daha fazla dahil etmektedir (Durluk vd., 2024b).

Bu araştırma sorusu, Nesnelerin İnterneti, Yapay Zeka ve büyük veri analitiği gibi akıllı teknolojilerin liman operasyonel modellerine tam olarak nasıl etkili bir şekilde uygulanabileceğini belirlemeye çalışmaktadır.

Bunlar, okuyucunun çalışmanızın amacı hakkında net bir görüşe sahip olmasına yardımcı olabilecek araştırma sorularıdır:

- Liman operasyonlarındaki akıllı teknolojiler sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ve enerji verimliliğinin artırılmasına nasıl katkıda bulunur?
- Yenilenebilir enerji kaynaklarını akıllı yeşil liman altyapısına entegre etmek için en etkili stratejiler nelerdir?

- Liman operasyonlarını hem ekonomik verimlilik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından optimize etmek için veri analitiği ve yapay zekâdan nasıl yararlanılabilir?
- Gelişmekte olan ülkelerde akıllı yeşil liman girişimlerinin uygulanmasının önündeki temel engeller nelerdir ve bunlar nasıl aşılabılır?
- Akıllı yeşil liman teknolojileri, iklim değişikliği kaynaklı risklere karşı liman direncinin artırılmasına nasıl katkıda bulunur?

Bu, teknolojilerin potansiyel olarak katkıda bulunabileceği alanları belirlemek içindir; operasyonel verimlilik iyileştirmeleri ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasıyla sonuçlanan enerji tüketimindeki azalmalar da buna dahildir. Ayrıca bu yeniliklerin, iklim değişikliğiyle mücadele edebilecek güvenilir bir denizcilik altyapısı oluşturmak için en iyi yeşil denizcilik uygulamalarıyla birlikte nasıl kullanılabileceği de gösterilecektir. Geleceğin Limanları için, ileri teknolojilerin kullanılması operasyonel optimizasyon, çevresel azaltım ve paydaş işbirliği yoluyla sürdürülebilirliği önemli ölçüde güçlendirecek ve limanları çevresel olarak sürdürülebilir deniz lojistiğinin birincil aktörleri haline getirecektir.

Bu da akıllı yeşil limanların denizcilikte iklim değişikliğine ilişkin çözümün nasıl bir parçası olabileceğine dair derinlemesine bir analizin temelini oluşturmaktadır. Limanlarda en iyi uygulamaların ve en son teknolojilerin benimsenmesi, sadece ekolojik ayak izlerinde değil, aynı zamanda afet olaylarına karşı direnci ve operasyonel verimliliği de artırarak büyüklük sırasına göre veya daha fazla bir azalma sağlayacaktır. Sonraki bölümlerde, vaka çalışmalarından elde edilen temsili bulgularla birlikte kullanılan yöntemler ayrıntılı olarak açıklanmakta ve ardından denizcilikte politika önlemeye yönelik birinci dereceden doğrudan çıkarımlar yer almaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Limanlar, operasyonel faaliyetler yoluyla sera gazı emisyonlarına ve diğer kirlenici maddelere önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Mevcut literatür, limanlardan kaynaklanan emisyonların denizcilik sektörünün genel çevresel yükünün önemli bir bileşeni olduğunu göstermektedir (Notteboom vd., 2020a). Nesnelerin İnterneti de dahil olmak üzere akıllı teknolojilerin kullanımı, bu tür etkilerin azaltılması çabalarında iyi bir çözüm vaat etmekte, izleme ve daha iyi yönetime olanak sağlamaktadır.

(Tremblay vd., 2024). Sürdürülebilir liman gelişimi üç temel unsurun dengesini göz önünde bulundurur: çevresel bakım, ekonomik sağlık ve sosyal sorumluluk. Küresel sürdürülebilirlik girişimleri doğrultusunda, son literatürün çoğu liman gelişiminin uluslararası anlaşmalar ve sözleşmelerle, örneğin Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ile uyumlaştırılmasını teşvik etmektedir (Alamouh, Ballini ve Dalaklis, 2021). Akıllı yeşil limanlar bu yönde bir örnek teşkil etmektedir çünkü IoT teknolojileri enerji verimliliği, atık minimizasyonu ve paydaşların karar alma sürecine katılımı gibi hususları kapsayarak sürdürülebilirliklerinin iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır (Alzate vd., 2024). Dünyanın dört bir yanındaki limanlarda uygulanan IoT teknolojilerinin örnekleri birçok vaka çalışmasında belgelenmiştir. Örneğin Rotterdam Limanı, gerçek zamanlı kargo hareketleri ve kaynak kullanımına ilişkin şeffaf bir genel bakış sağlayan akıllı lojistik sistemlerini hayata geçirmek için limana sensör sistemleri yerleştirmiştir. (Berlin & Eriksson, 2020). Diğer limanların karbondan arındırma geçişleriyle uyumlu inovasyon yoluyla sürdürülebilirliğe nasıl yönelebileceklerine dair stratejik vaka çalışmaları olarak hizmet etmektedir.

IoT Teknolojileri Limanların Sürdürülebilir İyileştirilmesi için Temel Faydalar Sağlasa da Zorluklar da Mevcuttur. Yüksek uygulama maliyetleri, veri güvenliği sorunları ve akıllı liman girişimlerini desteklemek için güçlü bir düzenleyici çerçevenin gerekliliği bunlar arasındadır (Housni vd., 2022). Denizcilik sektöründe sürdürülebilirliği ileriye taşımak için IoT'nin tam potansiyelinin farkına varılacaksa, bu engellerin aşılması çok önemli olacaktır." Son olarak, literatürdeki mevcut boşlukları gidermek için, gelecekteki araştırmaların daha teori odaklı olması ve/veya IoT uygulamalarının çeşitli liman ortamları ve alanlarındaki etkilerini ve avantajlarını değerlendirmesi teşvik edilmektedir (Saraswati ve Wirawan, 2024). Dünyalar arası bir bakış açısı, akıllı teknolojilerin benimsenmesi ve uygulanmasında yerel koşulların rolünün daha iyi anlaşılmasına kesinlikle yardımcı olacaktır. Ayrıca bu çalışma, paydaşların ortak çabalarının bir liman ortamında IoT entegrasyonunun başarısına nasıl katkıda bulunduğunu da yansıtabilir. Literatüre göre IoT teknolojileri, operasyonel verimlilik ve çevre yönetimindeki benzersiz işlevleri sayesinde limanların sürdürülebilirliğine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Limanların yönetiminde daha sürdürülebilir olma yönündeki baskılar göz önüne alındığında, Akıllı teknolojilerin kullanımı

uzun vadeli sürdürülebilirlik sorununu çözmede çok önemli bir rol oynamaktadır. (Karagkouni & Boile, 2024). Mevcut zorlukları ele almak ve denizcilik sektörünü sürdürülebilirliğe yönlendirebilecek yenilikçi çözümleri araştırmak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

çevresel bilgi (EK) liman kullanıcıları ve paydaşların liman ortamında hazırlıklı olmaları ve hareket etmeleri açısından önemlidir. Daha iyi bir çevresel farkındalık seviyesine sahip olmak, liman yetkilileri, işletmecileri ve kullanıcılarının sürdürülebilirliğe yönelik daha güçlü bir taahhütte bulunmalarına yol açmaktadır. Örneğin, çevresel konular hakkında daha iyi bilgi sahibi olan bireyler, bunların etkilerinin ne olduğu ve işletmelerinde daha yeşil girişimler, atıkların en aza indirilmesi ve enerji tasarrufu gibi yapmaları gereken değişiklikler hakkında daha fazla endişe duyma eğilimindedir (Satta vd., 2024). EK'nin önemi, limanları çevreleyen alanda yaşayan topluluklar arasında bir çevre yönetimi kültürünü teşvik etme potansiyelinde yatmaktadır (Bayotas, 2024). Aslında, insanların ve/veya kuruluşların liman faaliyetlerinde çevre dostu bir şekilde faaliyet gösterme istekliliği, çevresel davranış (ÇD) uygulamalarına yönelik tutumları tarafından belirlenmektedir. Girişimlere yönelik daha destekleyici bir tutumun, limanların sürdürülebilirlik programlarına daha yüksek bir katılım sağladığı gözlemlenmiştir (Kearney vd., 2019). EK'nin nasıl ortaya çıktığının ve EK tarafından nasıl yönlendirildiğinin anlaşılması, liman yetkililerinin farklı paydaşları sürdürülebilir parametreler dahilinde performans göstermeye yönelik eğitmek için aktif kampanyalar formüle etmesine yardımcı olacaktır (Oruç, 2022). Kuzey Afrika ülkelerinin (NAC) coğrafi alanı, deniz limanlarında operasyonel sürdürülebilirliği hedeflemek için bölgesel düzeydeki bağlamı temsil etmektedir. NAC ülkeleri, deniz ticaretinin bir sonucu olarak brüt CO2 salınımı yapan ülkeler olarak belirtilmiştir. UAK'nin uluslararası ticari deniz taşımacılığı hatlarında önemli bir oyuncu olduğu düşünüldüğünde, iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak ve küresel sürdürülebilirlik hedeflerini takip etmek amacıyla deniz limanlarının çevresel performansını iyileştirmek gerekli olacaktır. (Ayesu, 2023).

EK ve EB arasındaki bağlantı, denizle ilgili faaliyetlere ilişkin literatürde iyi bilinmektedir. Ahmed ve diğerleri (2023), EK'nin YG üzerindeki etkilerinin boyutunu çeşitli aracı faktörleri göz önünde bulundurarak analiz etmiş ve daha fazla EK'nin liman kullanıcılarını çevresel davranışları uygulamaya daha yatkın hale getirdiğini savunmuştur. Eid ve diğerleri (2024) de EA için bir örnek teşkil etmektedir. Böylece, reklam bir taktik araç haline gelir.

Liman kullanıcılarını daha çevre dostu eğilimler benimsemeleri konusunda duyarlı hale getirir. Etkilenen toplumun belirli kesimlerini hedef alan ÇD Girişimleri, liman faaliyetlerinin çevresel etkileri konusunda farkındalık yaratabilir ve etkilenen tarafları çevre dostu uygulamaları benimsemeye ve geliştirmeye teşvik edebilir (Rajesh, 2023). ÇD'nin limanlardaki paydaşlar açısından çevresel davranışta (ÇD) değişiklik yaratma niteliği, Eid ve diğerleri (2024) için son derece önemlidir. Çevresel reklam, liman kullanıcıları arasında çevre dostu davranışları teşvik eden etkili bir iletişim aracıdır. Dünyanın dört bir yanındaki limanlarda sürdürülebilirlik müdahalelerinin başarı öykülerini gösteren birçok benzer vaka çalışması belgelenmiştir. Örneğin Rotterdam Limanı, kaynak kullanımını ve emisyon seviyelerini ölçen özel araçlara sahip akıllı tesisleri içeren yüksek düzeyde bir lojistik uygulamıştır. Bu tür stratejilerden elde edilen etkiler, sürdürülebilir geçişlere yönelmek isteyen diğer limanlar için en iyi uygulamalar olarak kabul edilebilir. (Rotterdam Limanı Otoritesi, 2020).

Literatür taraması, liman bölgelerindeki akıllı yeşil girişimlerin planlanması ve yürütülmesinde toplumun katılımının hayati önem taşıdığını göstermektedir. Paydaş katılımı, sürdürülebilir girişimlerin toplumun özel ihtiyaçlarına uygun şekilde uygulanmasını sağlamada faydalıdır; ayrıca paydaşlar tarafından çevresel konulara ilişkin sonuçların takdir edilmesi de söz konusudur. Ortaklık yaklaşımları, karar alma sürecini iyileştirmek ve liman kentlerinde yaşayanların sürdürülebilirliğe yönelik tedbirleri desteklemesini sağlamak için faydalıdır (Su vd., 2024). Literatüre göre, artan paydaş etkileşimi, kamu kurum ve kuruluşları ile özel sektördeki muadilleri arasında çevre koruma konusunda zengin bir bilgi kaynağı olarak hizmet edebilir. Ayrıca, diğer sektörlerle işbirliğine dayalı böyle bir yaklaşım, bir dizi zorlu sorunun ele alınması için hayati önem taşımaktadır (Goniewicz vd., 2025).

Liman operasyonlarında, yakıt verimliliği ve kestirimci bakım gibi konular açısından yapay zeka kullanımı umut verici bir potansiyele sahip görünmektedir. Buna dayanarak, lojistik optimizasyonu, genel operasyonları geliştiren ve emisyon seviyelerini azaltan bazı kalıpları belirlemek ve böylece operasyon maliyetlerini düşürmek için operasyonlar bağlamında büyük veri analizleri yoluyla gerçekleştirilebilir (Dinh vd., 2024). Dolayısıyla, literatürde de belirtildiği üzere, topluluklar

liman bölgelerinde akıllı yeşil girişimlerin uygulanmasına dahil edilmesi gerekmektedir. Belirli bir bölgedeki paydaşların doğrudan katılımını sağlamak, uygulanan sürdürülebilirlik çözümlerinin insanların ihtiyaçlarıyla ilgili olmasını ve aynı zamanda sonuçların sahiplenilmesini sağlar. Literatür taraması ile araştırma sorusu arasında net bir bağlantı kurulmuştur: Bu çalışma, aşağıdaki araştırma sorusunu yanıtlayarak, liman operasyonlarına yönelik akıllı teknolojilerin iklim değişikliğinin etkilerini azaltan sürdürülebilirlik iyileştirmelerine nasıl yardımcı olduğunu anlamayı amaçlamaktadır: Akıllı teknolojilerin limanlara entegrasyonu, tüm paydaşları sisteme dâhil etmenin yanı sıra bu operasyonların verimliliğini artırarak ve çevresel etkilerini azaltarak sürdürülebilirliği geliştirecektir (Bougioukou, 2023a). Analizi teknolojik entegrasyon, sürdürülebilirlik eylemleri ve toplum katılımı üzerine odaklayan literatür incelemesi, akıllı yeşil limanların iklim değişikliğiyle mücadelede nasıl katkıda bulunduğunu destekleyen bilgi birikimini oluşturmaktadır. Diğer makalelerdeki bulgular, yeni teknolojilerin yalnızca liman lojistiğinin karmaşıklığını hafifletmeye yardımcı olmakla kalmayıp, aynı zamanda çoğu küresel sürdürülebilir kalkınma hedefi için de kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir (Xiao vd., 2024).

Akıllı yeşil limanlar ve sürdürülebilirliğin denizcilik sektörüne nasıl kazandırılacağı ile ilgili etkileyici bir araştırma külliyatına rağmen, ek çalışmayı hak eden bir dizi araştırma boşluğu bulunmaktadır. Bu boşluklardan biri, akıllı teknolojilerin hem liman operasyonları hem de ilgili sürdürülebilirlik sonuçları üzerindeki uzun vadeli etkilerini zaman içinde izleyen çalışmaların eksikliğiyle ilgilidir (Bougioukou, 2023a). Literatürün çoğu, yalnızca anlık faydaları ve teknoloji entegrasyonunun gelişen süreçlerini ve daha uzun bir dönemdeki sürdürülebilir etkileri temsil etmek için yetersiz olabilecek vaka çalışmalarını tartışmaktadır. Bu durum, akıllı yeşil girişimlerin değişen çevresel koşullar ve düzenleyici çerçevelerin ortaya çıkardığı zorluklara uyum sağlama potansiyeline ilişkin anlayışı daha da daraltmaktadır. İkinci olarak, farklı coğrafi bölgelerde daha fazla karşılaştırma yapılması gerekmektedir. Çoğu araştırma, sadece Avrupa veya Kuzey Amerika gibi belirli vaka çalışmaları içermekte olup, bunlar her zaman çalışmakta olan bölge limanları veya farklı düzenleyici ortamlar bağlamında genelleştirilemeyebilir. Hem uygulamayı hem de etkinliği nasıl şekillendirdiklerine ilişkin olarak yerel bağlamlardan yararlanmak, evrensel olarak geçerli olan özel stratejiler oluşturmaya gerektirir.

Ayrıca, toplum katılımı başarılı bir uygulama için kilit bir faktör olarak sıklıkla dile getirilse de, farklı paydaş katılım düzeylerinin sürdürülebilirlik girişimlerinin başarısını nasıl etkilediğine dair sınırlı sayıda araştırma bulunmaktadır (Katemiadis & Markatos, 2021). Araştırmalar genellikle, akıllı teknolojilerin kamuoyu tarafından kabulü ve desteği üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilecek liman toplulukları içindeki sosyal dinamikleri incelememektedir. Literatür hacimli olsa da, akıllı yeşil limanlara geçişin sosyo-ekonomik sonuçlarıyla ilgili yetersiz referanslarla teknik çözümlere odaklanmaktadır (Bougioukou, 2023a). Çevresel iyileştirmelerle ilgili kazanımlar kaydedilirken, bu tür geçişlerin özellikle geleneksel liman faaliyetlerine büyük ölçüde bağımlı olan topluluklarda yerel ekonomiyi ve istihdam modellerini nasıl etkilediğine daha az dikkat çekilmektedir. Bu bağlamda, akıllı yeşil liman girişimlerinin sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlardaki etkilerini değerlendiren entegre ve kapsamlı çerçevelerin sayısı hâlâ oldukça azdır. Bu nedenle, akıllı yeşil limanların genel etkinliğinin ve teknolojinin sürdürülebilir uygulamalarla bütünleştirilmesindeki en iyi uygulamaların daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunacaktır (Su vd., 2024a). Gelecekte yapılacak araştırmaların bu boşlukları doldurması ve akıllı yeşil limanlara ve bunların denizcilik sektörünün sürdürülebilir kalkınmasına katkılarına ilişkin söylemi daha da güçlendirmesi umulmaktadır. Boylamsal çalışmalar, karşılaştırmalı analizler, toplum dinamikleri, sosyo-ekonomik etkiler ve çeşitli liman ortamlarında sürdürülebilirlik performansının artırılması için hangi akıllı teknolojilerin kullanılabileceğine dair nüanslı bakış açılarını gün ışığına çıkarmak için kapsamlı değerlendirme çerçeveleri akademisyenlerin odaklanacağı konulardır.

Akıllı yeşil limanlarla ilgili araştırmalarda çeşitli metodolojik yaklaşımlar ve bulgular bulunmaktadır; bu nedenle, akıllı yeşil limanların sürdürülebilirlik ve operasyonel verimlilik yönünde nasıl ilerleme kaydedebileceğini değerlendirmek için entegre bir çerçeve gereklidir. Önceki araştırmalar temel olarak vaka çalışması yaklaşımlarına, nicel analizlere ve literatür taramalarına dayanmaktadır; bu yaklaşımların her biri kendine özgü değerli içgörüler sunsa da bütüncül bir bakış açısını garanti edememektedir.

Vaka çalışmaları yaklaşımları, Rotterdam ve Singapur limanlarında akıllı teknolojilerin başarılı bir şekilde hayata geçirilmesine ilişkin faydalı içgörüler sunmuştur. Alamoush ve diğerleri (2022) tarafından yapılan bu çalışmalar

genellikle bilgilendirici olmakla birlikte, farklı coğrafi ve ekonomik bağlamlarda tekrarlanmaları sınırlıdır. Mevcut çalışma, akıllı yeşil liman gelişimine hangi farklılıkların katkıda bulunduğuna dair daha iyi bir bağlamsal açıklama sağlayan farklı küresel limanlardan yararlanarak karşılaştırmalı bir analiz yaparak bu tür bir sınırlamanın üstesinden gelmektedir (Alamoush vd., 2022). Yu ve diğerleri (2023) tarafından örneklendirilen nicel analizler, IoT uygulamalarından kaynaklanan sera gazı emisyonlarındaki azalmaları ölçmek için istatistiksel yöntemler kullanmıştır. Ancak bu çalışmalar genellikle bütünsel sürdürülebilirlik sonuçlarından ziyade izole metriklere odaklanmaktadır. Buna karşılık bizim araştırmamız, çevresel ve ekonomik göstergelerin nicel analizini nitel paydaş görüşmeleriyle birleştirerek karma bir yöntem yaklaşımı kullanmakta ve böylece akıllı yeşil liman etkilerinin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır (Yu vd., 2023). Notteboom ve diğerleri (2020) tarafından örneklendirilen literatür incelemeleri de akıllı liman teknolojilerine ilişkin mevcut bilgileri pekiştirmiştir. Kapsamlı olmasına rağmen, bu incelemelerin çoğu yeni ampirik veriler üretmemektedir. Konuyla ilgili seyahat temelli literatürü sentezlemek için çok çaba sarf edilmiş olsa da, bu çalışma, dünya çapında birden fazla limanda yapılan birincil araştırmaları da ele alması ve söyleme yeni bulgular katması açısından benzersizdir (Notteboom vd., 2020).

Paydaş katılımı, akıllı yeşil limanlar gibi sürdürülebilir çözümlerin geliştirilmesinde önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir, ancak paydaş katılımı üzerine yapılan araştırmaların sınırlı olduğu kanıtlanmıştır. Housni ve diğerleri (2022), akıllı teknolojilerin benimsenmesinin önündeki engelleri ele alma fırsatlarını belirlemek için liman yetkilileriyle görüşmüş ve diğer paydaş gruplarının bakış açılarını yansıtmaya bilecek faydalı bilgiler elde etmiştir. Araştırma Tasarımı: Sürdürülebilirlik Girişimleri Araştırmamız, sürdürülebilirlik projelerinin sosyal yönlerine ilişkin daha bütüncül bir bakış açısı kazanmak için yerel topluluklar ve endüstri ortakları gibi daha geniş bir paydaş çevresini dahil ederek bu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır (Housni vd., 2022). Araştırmacılar Ahmed ve diğerleri (2025) liman operasyonlarında EK ve EB boyutlarını incelemiştir. Çalışmanın sonuçları, limanların paydaşları arasında daha yüksek bir EK seviyesinin sürdürülebilirlik girişimlerine daha fazla bağlılıkla ilişkili olduğunu göstermektedir. Buna dayanarak, çalışmamız EK ve EB'nin, limanların akıllı yeşil teknolojilerin pratikte uygulanması için sahip olduğu emsali araştırmaktadır.

geniş bir bağlam olarak ele alınmıştır (Kurniawan vd., 2025). Teknolojik odağa gelince, bu unsurla ilgili önceki araştırmalar çoğunlukla IoT veya AI gibi tekil teknolojileri incelemiştir. Örneğin, Clemente ve diğerleri (2023), yakıt optimizasyonu ve kestirimci bakım ile ilgili YZ uygulamalarına ek olarak. Buna karşılık bizim çalışmamız, liman sürdürülebilirliği ve verimliliği bağlamında yalnızca tek bir teknolojinin kullanımını değil, aynı zamanda bunların birleştirilmesinden kaynaklanan sinerjileri de araştıran hibrit bir bakış açısını benimsemektedir.

Küçük limanlarda ve gelişmekte olan ülkelerde akıllı yeşil teknolojilerin ortaya çıkması, başta finansal ve teknik olmak üzere çeşitli zorluklar nedeniyle engellenmektedir. Bununla birlikte, bu zorlukların üstesinden gelmek ve liman içinde daha sürdürülebilir ve verimli bir operasyonu teşvik etmek için kullanılabilecek çeşitli taktikler vardır. Bu mali engel, yenilikçi finansman mekanizmaları ve kamu-özel sektör ortaklıklarının devreye sokulması halinde göz önünde bulundurulabilir. Gelişmekte Olan Küçük Ada Devletleri (SIDS) ve En Az Gelişmiş Ülkelerde (LDCs) uygulandığı gibi iklim için borç takası, sürdürülebilir liman projelerine finansman sağlama potansiyeline sahiptir. Bu tür finansal araçlar, borç yüklerini kritik çevre girişimlerini finanse etmek için fırsata dönüştürmemizi sağlayacaktır. Ayrıca, hükümetler tarafından hedeflenen sübvansiyonlar ve vergi teşvikleri, Pakistan'da yenilenebilir enerji sektöründe görüldüğü gibi akıllı yeşil teknolojilere yatırımı teşvik edebilir (Imafidon vd., 2024). Bilgi transferi ve kapasite geliştirme, teknik engellerin aşılmasında hayati önem taşımaktadır. Gelişmekte olan ülkelerdeki limanlarla kurulan liman ortaklıkları bilgi ve en iyi uygulamaların paylaşılmasını sağlayabilir. Farklı yaklaşımlar, örneğin daha küçük limanlar için bir model olarak Rotterdam Limanı'nın deneyimine dayanan akıllı lojistik uygulaması için bir sensör sistemi kullanmaktadır (Ahmad vd., 2024).

Buna ek olarak, yeni teknolojilerin düzgün bir şekilde işletilmesi ve bakımının sağlanması için liman çalışanlarına yönelik eğitim programları öncelikli olmalıdır⁴. Çeşitli teknolojileri uygularken aşamalı bir yaklaşım benimsemek, özellikle küçük limanları işleten Liman İdareleri için maliyetler ve teknik karmaşıklıklar konusunda yardımcı olabilir. İzleme ve veri toplama için temel IoT özellikli cihazlardan daha karmaşık, yapay zeka odaklı sistemlere kadar kademeli bir yaklaşım, uyum sağlamaya ve öğrenmeye yardımcı olabilir (Funda, 2024). Bu strateji aynı zamanda limanların, sürekli yinelemeleri desteklemek için daha fazla finansman sağlamaya yardımcı olacak hızlı kazanımlar sergilemesine olanak tanır.

Akıllı yeşil girişimlerin sınırlı imkânlarla sahip limanlar için ulaşılamaz olması gerekmez: yerel pazarda mevcut olan kaynaklardan ve teknolojilerden faydalanmak bu tür girişimleri daha kolay gerçekleştirilebilir hale getirebilir. Örneğin, sürdürülebilir altyapı geliştirme için yerel malzemelerin tedarik edilmesi maliyetlerden tasarruf sağlarken yerel ekonomilere de yardımcı olabilir (Kumar vd., 2019).

Benzer şekilde, bağlama özgü düşük maliyetli akıllı sistemler büyük maliyetlere katlanmadan geliştirilebilir³. Daha küçük bölgesel limanlar, teknolojinin gelişmesiyle birlikte etkili olmak için işbirliğini bir araya getirebilir ve ölçek ekonomileri oluşturabilir. Limanlar, varlıkların birleştirilmesi ve altyapı paylaşımı yoluyla, yalnızca tek bir mülkle sınırlı kalması halinde ekonomik olarak ulaşılamayacak olan en son teknolojilere işbirliği içinde yatırım yapabilir (Chien vd., 2021).

Son olarak, iklim değişikliği tehditleriyle ilgili olarak akıllı yeşil limanlara ilişkin literatür, ağırlıklı olarak Avrupa merkezli bir bakış açısından (ve yalnızca Avrupa limanlarında) uzaklaşarak üçüncü dünya ülkelerini de içeren daha küresel bir bakış açısına doğru hızlı bir evrime tanık olmuştur. Bu daha geniş perspektif, sürdürülebilir liman uygulamalarının benimsenmesi ve bunların daha geniş bir coğrafi ve ekonomik kapsamda etkili olması konusunda fikir vermektedir. Bu durum, özellikle akıllı yeşil liman girişimlerini mümkün kılmanın kendine has zorlukları ve fırsatları beraberinde getirdiği gelişmekte olan ülkeler için geçerlidir. Akıllı teknolojilerin ve sürdürülebilir uygulamaların hayata geçirilmesine yönelik ilgi yüksek olsa da, hem gelişmekte olan hem de gelişmiş ülkelerdeki limanlar akıllı liman paradigmasına geçişte finansal kaynak eksikliği, altyapı eksikliği ve teknik bilgi eksikliği gibi engellerle karşılaşacaktır. Bu bulgular, gelişmekte olan ekonomilerin karşılaştığı benzersiz kısıtlamaları ve fırsatları yansıtan, bağlama özgü akıllı yeşil liman geliştirme stratejilerinin önemini vurgulamaktadır (Othmanetal., 2022). Son zamanlarda, sürdürülebilirlikle ilgili bir kavram olan ekolojik bilgi (EK), liman paydaşlarının sürdürülebilirliğe yönelik tutum ve davranışlarının belirlenmesinde büyük ilgi görmektedir. Bunu NAC'de uygulayan çalışma, liman yetkilileri, işletmecileri ve kullanıcıları ne kadar fazla EK bildirirse, sürdürülebilir uygulamalara o kadar bağlı olduklarını ortaya koymuştur. Ayrıca, gelişmekte olan liman topluluklarının çevresel yönetim kültürünü geliştirmek için eğitim ve farkındalık kolaylaştırma amacıyla da kullanılabilir.

Sürdürülebilir liman projelerinin geliştirilmesiyle ilgili finansman zorluklarını ele almak için yeni finansman mekanizmaları düşünülmektedir. Gelişmekte Olan Küçük Ada Devletleri (SIDS) ve En Az Gelişmiş Ülkelerde (LDCs) iklim için borç takasının rolüne odaklanan yakın tarihli bir çalışma, bu finansal araçların limanla ilgili önemli atık su altyapı projelerine yönlendirilebileceğini ortaya koymaktadır (Elmahdi & Jeong, 2024). Bu yaklaşım, bir borç yükünü sürdürülebilir kalkınma ve iklim esnekliği için bir fırsata dönüştürme konusunda büyük bir potansiyele sahiptir. Liman operasyonlarına entegre edilen tüm akıllı teknolojilerin yalnızca verimliliği artırmakla kalmayıp aynı zamanda iklim değişikliğini azaltma planlarına da katkıda bulunduğunu göstermektedir. Vietnam'daki Da Nang limanı üzerinden yürütülen bir çalışma, Nesnelerin İnterneti (IoT) makinelerinin ve yapay zekanın kurulumunun enerji tüketiminde ve sera gazı artışında nasıl önemli azalmalar sağlayabileceğini vurgulamıştır. Sonuçlar, liman ortamlarındaki akıllı teknolojinin denizcilik sektöründeki farklı coğrafi bağlamlarda operasyonel ve çevresel zorlukların üstesinden gelmeye nasıl yardımcı olduğuna dair fikir vermektedir (Junaidi, 2024).

Bu nedenle, gelişmekte olan ülkelerde akıllı yeşil liman çerçevesi altında benimsenen projelerin etkili bir şekilde yürütülmesi için toplum katılımının gerekli olduğu görülmüştür. Tayland'daki Doğu Ekonomik Koridoru'nda (EEC) yapılan bir çalışma, sürdürülebilirlik projelerinin planlanması ve uygulanmasında yerel paydaşların erken katılımının çok önemli olduğunu ortaya koymuştur (Sankla & Muangpan, 2022). Bu katılımcı çözüm, liman gelişiminin toplumun ihtiyaçlarını karşılama garantisi altına alırken çevresel sonuçlar üzerindeki sahiplenmeyi de sürdürmektedir. Adaptif kapasite, iklim değişikliği bağlamında gelişmekte olan ülkelerde sürdürülebilir liman gelişimi söyleminde giderek daha fazla dikkat çeken bir kavramdır. Afrika ve Asya'daki farklı ülkelerde yapılan çalışmalar, dayanıklılık oluşturmaya yönelik tedbirlerin sadece toplum temelli değil aynı zamanda toplumsal cinsiyete duyarlı olması gerektiğini göstermektedir. Bu yaklaşım dikkate alındığında, akıllı yeşil liman çalışmalarının tasarlanması ve uygulanmasında sosyal ve kültürel boyutların önemli bir potansiyele sahip olduğu vurgulanmaktadır (Dev & Manalo, 2023). Bu nedenle, literatür taraması, konunun daha geniş bağlam düzeyinde katkılarının anlaşılmasını artırmak için gelişmekte olan bölgelerde akıllı yeşil limanların geliştirilmesine yönelik zorlukları ve benzersiz çözümleri vurgulamaktadır. Bu, gelişmekte olan bir alandır,

ve araştırma halen gelişmektedir. Küresel olarak sürdürülebilir liman gelişimi için daha etkili ve hakkaniyetli stratejileri bilgilendirebilecek faydalı içgörüler sağlamalıdır.

Literatür taraması, bu araştırma makalesinde ileri teknolojilerin ve sürdürülebilir uygulamaların liman operasyonlarına entegrasyonunu anlamak için kritik bir temel oluşturmaktadır. Akıllı yeşil limanlar, iklim değişikliği ve sürdürülebilir deniz lojistiği konularındaki mevcut araştırmaları sentezleyerek araştırma sorusu ve önermesi ile etkili bir şekilde bağlantı kurmaktadır. Literatür, liman operasyonlarında sürdürülebilirliği sağlamak için çevresel bilgi, tutum ve davranışın nasıl iç içe geçtiğinin altını çizmiştir. Bulgular, EK'nin liman paydaşları arasında YD'yi etkilemedeki önemini ortaya koymakta ve çevre dostu uygulamaları teşvik etmenin etkisinden bahsetmektedir. Ayrıca, NAC'nin karşılaştığı belirli zorluklar, limanlarda sürdürülebilirliği iyileştirmek için odaklanmış araştırma ve müdahaleler gerektirmektedir.

2.1. Boşluk Analizi

Akıllı yeşil limanlar ve iklim değişikliği sorunlarına ilişkin literatür incelemesi, daha fazla çalışmayı hak eden bazı önemli boşlukları tespit etmektedir:

- **Uzun vadeli etki değerlendirmeleri çoğunlukla göz ardı edilmektedir:** Çalışmaların çoğu anlık avantajları dikkate almakta ve kısa dönemli vaka çalışmaları yürütmektedir. Ayrıca, akıllı teknolojilere ve bunların liman ortamlarında geçici olarak kullanılmasına yönelik artan ilgiye rağmen, bu akıllı teknolojilerin liman sistemleri ve çevresel etkileri bağlamında uzun vadeli etkilerini değerlendiren uzunlamasına çalışmaların eksikliği söz konusudur.
- **Coğrafi çeşitlilik:** Araştırmaların çoğu Avrupa veya Kuzey Amerika gibi gelişmiş bölgelerde yer alan limanlara odaklanmıştır. Sonuç olarak, özellikle gelişmekte olan bölgelerde olmak üzere çeşitli coğrafi, ekonomik ve düzenleyici bağlamlarda belirli çıkarılara göre uyarlanmış akıllı yeşil liman konseptlerinin etkili bir şekilde uygulanmasına ilişkin önemli bir bilgi açığı ortaya çıkmaktadır.
- **Paydaşlar arası etkileşimler:** Her ne kadar topluluk katılımı yaygın olarak kritik olarak belirtilse de, farklı paydaşlar arasındaki etkileşimin karmaşıklığı

Akıllı yeşil girişimlerin uygulanması nadiren araştırılmaktadır. Paydaş katılımının hangi derece ve biçimlerde bu tür projelerin başarısını ve sürdürülebilirliğini etkilediği literatürde yeterince analiz edilmemiştir.

- **Sosyo-ekonomik etkiler:** Mevcut çalışmalar daha çok teknolojik çözümlere ve çevresel getirilere odaklanırken, akıllı yeşil limanlara geçişin sosyo-ekonomik etkileri hakkında çok daha az şey söylenmektedir. Bu geçişlerin, özellikle uzun süredir geleneksel liman faaliyetlerine bağımlı olan bölgelerde yerel ekonomileri, istihdam modellerini ve toplum yapılarını nasıl etkilediği daha az anlaşılmıştır.
- **Entegre değerlendirme çerçeveleri:** Akıllı yeşil liman girişiminin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarının değerlendirilmesini bütünleştiren kapsayıcı bir çerçeve bulunmamaktadır. Bu boşluk, çeşitli liman bağlamlarında farklı stratejilerin genel etkisini ve başarısını etkili bir şekilde değerlendirme ve karşılaştırma becerisini sınırlandırmaktadır.
- **Teknoloji entegrasyonu zorlukları:** Liman sektörlerinde IoT, yapay zeka ve blok zinciri gibi yenilikçi teknolojiler için birçok potansiyel uygulama vardır, ancak bunların mevcut liman altyapısına entegrasyonunun pratik zorlukları hakkında yeterli araştırma bulunmamaktadır (özellikle eski, kaynakları kısıtlı limanlarda).
- **Politika ve düzenleme analizi:** Akıllı yeşil limanlara geçiş hızlandırmak için mevcut politika ve düzenlemelerin etkinliğine odaklanan literatürde önemli bir boşluk bulunmaktadır. Yeni teknolojilerin ortaya çıkışı, çevresel düzenlemeler ve liman yönetimi arasındaki karşılıklı ilişkileri inceleyen sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.
- **Esneklik ve uyarlanabilirliği ele alan çalışmaların eksikliği:** Başarılı akıllı yeşil liman girişimlerinin, özellikle iklim felaketi riskinin arttığı ve hızlı teknolojik değişimin devam ettiği bir dünyada, genel liman dayanıklılığı bağlamına nasıl bir katkı sağladığı belirsizliğini korumaktadır.

- **Standart ve protokol eksikliği:** Akıllı yeşil liman teknolojileri liman verimliliğini ve sürdürülebilirliğini iyileştirme konusunda umut vaat etse de, bu teknolojilerin küresel olarak farklı liman sistemlerinde birlikte çalışabilir ve ölçeklenebilir bir şekilde birlikte çalışması için gereken standartların ve protokollerin geliştirilmesi konusunda araştırma eksikliği bulunmaktadır.
- Bir yandan limanlardaki akıllı yeşil girişimlerden elde edilecek niteliksel faydalar tartışılmaktadır. Öte yandan, limanlardaki akıllı yeşil girişimler sayesinde ortaya çıkan çevresel faydaların ve operasyonel faydaların kesin ölçümü için güçlü nicel ölçütler ve metodolojiler bulunmamaktadır.

3. METODOLOJİ

Araştırmanın metodoloji bölümünde, akıllı teknolojilerin entegrasyonu yoluyla liman operasyonlarının nasıl daha sürdürülebilir hale getirilebileceğinin araştırılmasına yönelik geniş ve çeşitli bir yaklaşım yer almaktadır. Belge, veri toplama ve analiz için kullanılan sistematik yaklaşımları detaylandırırken, literatür ve sonuçlar gibi araştırmanın diğer yönleriyle bağlantılar kurmaktadır. Ve sonuçlar. Karma yöntem yaklaşımında hem nitel hem de nicel yöntemler kullanılacaktır. Bu tasarım, liman faaliyetlerinde akıllı bilgi teknolojilerinin kullanımını ve bunların sürdürülebilirlik üzerindeki potansiyel etkilerini tartışmaya yönelik kapsamlı içgörüler sağlamayı amaçlamaktadır. Yöntem yapısı aşağıdaki gibidir:

Literatür Taraması: Akıllı yeşil limanlar ve iklim değişikliği ile ilgili araştırma makaleleri, sektör raporları ve vaka çalışmalarının geniş bir incelemesinin yapılması. Bu ön çalışma, şu anda neler yapıldığını, kullanılan yeni teknolojileri, ve karşılaşılan zorlukları denizcilik alanında tespit etmeye hizmet etmektedir. Bu literatür taraması, akıllı teknolojilerin liman sürdürülebilirliğini nasıl destekleyebileceğini anlamının önündeki kritik engelleri belirleyerek araştırma sorusu için gerekli arka planı sağlamaktadır (Notteboom vd., 2020; Alamoush vd., 2021). Bir Vaka Çalışması Analizi: Bu çalışmada çeşitli araştırma makaleleri analiz edilmiş ve dünyadaki mevcut başlıca akıllı yeşil limanlar tartışılmıştır. Her iki vaka çalışması da teknolojinin sürdürülebilirlik uygulamalarıyla birlikte etkin bir şekilde kullanılmasını desteklemekte ve akıllı teknolojilerin limanlarda nasıl uygulanabileceğine dair fikir vermektedir.

liman işletme uygulamaları (Clemente vd., 2023). Çalışma, belirli teknolojilerin nasıl hem verimli gelişmeler hem de aynı zamanda çevresel sonuçlar sağlayabildiğini göstermek için bu gerçek dünya örneklerini analiz edecektir. Bu, hem nicel hem de nitel veri toplama yöntemleriyle desteklenecektir. Nicel veriler ekonomik performans, emisyonlar ve enerji kullanımı ile ilgili ölçütlere odaklanacaktır. Dolayısıyla bu bilgi, akıllı teknolojilerin limanın performansı üzerindeki etkisini çevresel açıdan analiz etmek için önemlidir.

Küresel Limanların Karşılaştırmalı Analizi: Akıllı Yeşil Girişimler ve İklim Değişikliği

Bu analiz, dünyanın önde gelen on limanının akıllı yeşil girişimlerini, üretkenliğini, verimliliğini ve iklim değişikliğini azaltma stratejilerini ölçmektedir.

Seçilmiş Limanlar Karşılaştırması

- Rotterdam Limanı (Hollanda)
- Singapur Limanı (Singapur)
- Los Angeles Limanı (ABD)
- Hamburg Limanı (Almanya)
- Dubai Limanı (BAE)
- Cidde Limanı (Suudi Arabistan)
- Şanghay Limanı (Çin)
- Antwerp Limanı (Belçika)
- Busan Limanı (Güney Kore)
- Valencia Limanı (İspanya)

3.1. Temel Metrikler ve Özellikler

Aşağıdaki tabloda her bir liman için akıllı yeşil girişimler, üretkenlik, verimlilik ve iklim değişikliği stratejileriyle ilgili temel ölçütler ve özellikler özetlenmektedir.

Tablo 1: Akıllı yeşil girişimler, üretkenlik, verimlilik ve aşağıdakilere yönelik stratejilerle ilişkili temel ölçütler ve özellikler iklim değişikliğinin ele alınması

Liman	TEU Kapasitesi	Yeşil Girişimler	Verimlilik Ölçütleri	İklim Değişikliği Stratejileri
Rotterdam Limanı	14,000,000	Rüzgar enerjisi, güneş panelleri	Yıllık 12 milyon TEU	2025 yılına kadar CO2'de %20 azalma
Singapur Limanı	37,000,000	Otomatik sistemler, elektrikli araçlar	Yıllık 36 milyon TEU	Sıfır emisyon hedefi 2030 yılına kadar
Los Angeles Limanı	9,000,000	Emisyon azaltma programları	Yıllık 9 milyon TEU	30 azalma 2025'e kadar emisyonlar
Hamburg Limanı	9,000,000	Sürdürülebilir lojistik	Yıllık 9 milyon TEU	50 azalma 2025'e kadar emisyonlar
Dubai Limanı	15,000,000	Akıllı liman teknolojileri	Yıllık 14 milyon TEU	Kapsamlı sürdürülebilirlik planı
Cidde Limanı	7,500,000	Yenilenebilir enerji projeleri	Yıllık 6 milyon TEU	Emisyonları Hedefleyen İklim Eylem Planı
Şanghay Limanı	43,000,000	Çevre dostu uygulamalar	Yıllık 40 milyon TEU	Emisyon azaltımı için yeşil liman girişimleri
Antwerp Limanı	11,500,000	Döngüsel ekonomi girişimleri	Yıllık 11 milyon TEU	İklim adaptasyon stratejileri
Busan Limanı	21,000,000	Yeşil teknolojinin benimsenmesi	Yıllık 20 milyon TEU	İklim esnekliği projeleri
Valensiya Limanı	5,500,000	Çevre yönetim sistemleri	Yıllık 5 milyon TEU	Karbon ayak izini azaltma taahhüdü

Akıllı yeşil girişimler ve iklim değişikliği olarak küresel limanların karşılaştırmalı analizi çalışmasında, belirli limanların hangileri olacağını belirlemek için bir dizi önemli kriter kullanılmıştır

Bu araştırmanın bulgularının sağlamlığını ve uygunluğunu en üst düzeye çıkarmak için karşılaştırmalı analiz için ilgi:

- **Coğrafi Yayılım:** Seçilen limanlar Avrupa (Rotterdam, Hamburg, Antwerp, Valensiya) ve Asya'dan (Singapur, Şangay, Busan) Kuzey Amerika (Los Angeles) ve Orta Doğu'ya (Dubai, Cidde) kadar dünyanın büyük bir bölümünü kapsamaktadır. Böyle bir heterojenlik, bu akıllı yeşil girişimlerin farklı bölgesel bağlamlarda, düzenleyici rejimlerde ve ekolojik zorluklarda nasıl uygulandığının derinlemesine araştırılmasına olanak tanımaktadır.
- Seçilen limanlardan dördü dünyanın en işlek ve ekonomik açıdan en önemli limanları arasında yer almaktadır. Örneğin Şanghay Limanı ve Singapur Limanı, TEU kapasitesi açısından sürekli olarak en iyi küresel konteyner limanları arasında yer almaktadır. Bu limanları araştırmamıza dahil etmemiz, her iki büyük ölçekli deniz limanının da yüksek hacimli operasyonlardan ödün vermeden sürdürülebilirlik sorunlarının üstesinden nasıl geldikleri konusunda bize bir fikir vermektedir.
- **Teknolojik İlerleme:** Rotterdam ve Singapur gibi dünya genelindeki pek çok liman, inovasyon yapmaları ve en yeni teknolojileri geliştirmeleriyle bilinmektedir. Bunların dahil edilmesi, liman sürdürülebilirliği için en iyi uygulamaları ve yenilikçi çözümleri inceleme fırsatı sunmaktadır.
- **Çevresel Liderlik:** Los Angeles ve Hamburg gibi seçilen limanların birçoğu, denizcilik dünyasında çevresel çabalarda lider olmuştur. Bu seçim, çalışmanın başarılı emisyon azaltma ve çevre yönetimi stratejilerini incelemesine olanak sağlamaktadır.
- **Arap ve Orta Doğu Bölgelerinden Temsiliyet:** Cidde ve Dubai gibi limanların dahil edilmesi, çalışmanın Arap ve Orta Doğu bölgelerindeki limanların karşılaştığı benzersiz zorlukları ve fırsatları dikkate almasını sağlayarak daha dengeli bir küresel bakış açısı sunmaktadır.
- **Veri Mevcudiyeti:** Bu limanlar seçilmiştir çünkü kendi sürdürülebilirlik çabaları, emisyonları ve diğer operasyonel ölçütleri hakkında nispeten eksiksiz ve yüksek kaliteli veri setlerine sahiptirler; bu da sağlam bir karşılaştırmalı değerlendirme için bir ön koşuldur.

- **Liman Ölçek Çeşitliliğini Temsil Etmektedir:** Limanlar büyüklük ve kapasite açısından Şanghay gibi mega limanlardan Valensiya gibi daha küçük ve önemli limanlara kadar çeşitlilik göstermektedir. Bu yelpaze, akıllı yeşil girişimlerin hangi düzeyde uygulandığını ve ölçekte ne kadar etkili olduklarını daha fazla analiz etme fırsatı sunmaktadır.
- Bununla birlikte, Rotterdam ve Singapur da dahil olmak üzere seçilen bazı limanlar, deniz seviyesinin yükselmesi gibi iklim değişikliği etkilerine karşı son derece hassas bölgelerde yer almaktadır. Bu limanlar, liman işletme stratejileri yoluyla iklim adaptasyonu için faydalı bilgiler sağlayabilir.

Limanlar, farklı operasyon seviyelerinde, teknolojinin mevcudiyetinde ve çevresel bağlamda denizcilik sektöründe dünya çapında akıllı yeşil girişimlerin geniş bir analizini sağlayacak şekilde seçilmiştir.

Denizcilik sektörünün geçirdiği dönüşüm, iklim değişikliğinden kaynaklanan zorlukların ele alınmasında akıllı yeşil liman konseptlerinin entegrasyonunu hızlandırmıştır. Bu evrim, çevresel ayak izlerini azaltırken operasyonel verimliliği artırmak için ileri teknolojileri sürdürülebilir uygulamalarla bütünleştirmektedir (Oloruntobi vd., 2023). Liman operasyonunun her temas noktasını optimize etmek için Nesnelerin İnterneti'nden yapay zekaya ve jeo-uzamsal araçlara kadar çeşitli teknolojilerden yararlanan Akıllı Yeşil Limanlar, çevreleri için daha iyi olacaktır. Bu çözümler gemi trafiğinin gerçek zamanlı olarak izlenmesine, daha iyi rıhtım tahsisine ve hava ve su kalitesinin etkin bir şekilde takip edilmesine olanak sağlamaktadır. (İbrahim vd., 2024). Bu sistemlerin uygulanması, limanların verimliliklerini artırmalarına, gecikmeleri azaltmalarına ve daha fazla güvenlik sağlamalarına olanak tanır. Örneğin, tahmine dayalı analitikte yapay zekanın kullanılması, bir limanın tıkanıklığı önceden görmesini sağlayarak kaynakların daha iyi kullanılmasını sağlar (Dinh vd., 2024).

Yenilenebilir enerji dönüşümü, akıllı yeşil limanlara yönelik eğilimi etkileyen ikinci en önemli faktördür. Bu, fosil yakıtlara olan bağımlılıklarını azaltmak için güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapan limanları içermektedir (Clemente vd., 2023). Bu değişimlerin sonuçları, ülkelerin uluslararası sürdürülebilirlik yükümlülüklerini yerine getirmelerini sağlayan daha düşük sera gazı emisyonlarıdır. Rotterdam Limanı önemli ölçüde

yenilenebilir enerji altyapısına yatırım yapmış ve bu da sürdürülebilir operasyonlarla sonuçlanmıştır (Schneider vd., 2020). Liman altyapılarının tasarım ve inşasında, teknolojik ilerlemenin yanı sıra sürdürülebilirliğe de giderek daha fazla önem verilmektedir (Satta vd., 2024). Bu, atık ve kaynak tüketimini azaltan sürdürülebilir malzemelerin ve enerji tasarruflu sistemlerin kullanılmasını gerektirmektedir. Bu tür sürdürülebilir altyapı gelişimine odaklanmak, limanların verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak ve ekolojik ayak izlerini en aza indirmek için gereklidir (Issa Zadeh, López Gutiérrez vd., 2023). TEU (Bougioukou, 2023). Akıllı yeşil limanların verimliliği, TEU adı verilen bir birim cinsinden iş hacmi ile ölçülmektedir. Akıllı limanlardaki üretkenlik genellikle daha iyi kaynak kullanımı ve operasyonların otomasyonu sayesinde artmaktadır. Örneğin lojistikteki bu tür akıllı sistemler, yük elleçlemeyi otomatik hale getirerek yükleme ve boşaltma oranlarını 3 ila 4 kat artırmakta ve gemilerin g e r i dönüş sürelerini azaltmaktadır (Min, 2022).

İklim değişikliğinin azaltılması, akıllı yeşil liman faaliyetleri ile iç içedir. Birçok liman emisyon azaltımı için hedefler belirlemiştir ve bazılarının sürdürülebilirlik konusundaki kararlılıklarını yansıtan çok iddialı hedefleri vardır (Alzate vd., 2024). Los Angeles Limanı, çeşitli temiz hava girişimleri aracılığıyla emisyonları 2025 yılına kadar %30 oranında azaltmayı hedeflemektedir. Gelgitler ve aşırı hava koşulları gelecekte daha da sertleşirken, Haliç su kalitesi ve iklim esnekliği planlaması artık liman için ön planda ve merkezdedir. Buna sel savunmaları ve sürdürülebilir drenaj sistemleri için yapılan harcamalar da dahildir (Densberger & Bachkar, 2022).

Akıllı yeşil liman teknolojilerinin çevresel, ekonomik ve operasyonel etkilerinin boylamsal olarak ölçülmesi, değerlendirilmesi ve analiz edilmesine yönelik sistematik yöntemler ve çerçeveler, farklı coğrafi alanlar ve deniz ortamları için son teknoloji ürünüdür:

- **Farklı bağlamlar, akıllı yeşil liman teknolojilerinin uzun vadeli etkileri:** Akıllı yeşil liman teknolojilerinin uzun vadeli çalışmalarının ve etkilerinin izlenmesi ve değerlendirilmesinin değerlendirilmesi.
- **Vaka çalışmaları:** Birden fazla sahadan zaman içinde elde edilen zengin, derinlemesine nitel veri analizi, akıllı yeşil liman uygulamalarının dönüşümünde çeşitli geçiş rotalarını gösterebilir.

- Coğrafi olarak dağınık limanlar arasında akıllı yeşil liman girişimlerinin yıllar içindeki (5 yıl - 10 yıl) gelişimini takip etmek için boylamsal çok sahalı bir vaka çalışması yaklaşımı benimseyin. Ayrıca bu, teknolojinin benimsenmesini ve etkisini hafifleten bağlamsal faktörlerin kapsamlı bir şekilde incelenmesine olanak tanır. Liman büyüklüğü, kargo yapısı ve düzenleme gibi faktörleri dikkate alarak gelişmiş ve gelişmekte olan bölgelerdeki limanların bir alt kümesini belirleyin. Çevresel, ekonomik ve operasyonel ölçütlerdeki ilerlemeyi izlemek için veri toplama aralıkları (örneğin yıllık).
- Liman operasyonlarının entegre bir sürdürülebilirlik değerlendirmesini yapmak için tek bir çerçeve. Bu çerçeve yine de sera gazları, enerji verimliliği, operasyonel üretkenlik, ekonomik uygulanabilirlik ve toplumsal etkiyi kapsayan performans ölçütlerini kapsamalıdır. Farklı liman bağlamlarında karşılaştırılabilirliği sağlamak için standartlaştırılmış ölçüm protokollerinden yararlanılmalıdır. Avustralya'daki WSP'den Dr. J Bangalore, çerçevenin Küresel Raporlama Girişimi (GRI) gibi mevcut modellere dayanabileceğini, ancak gerekliliklerin denizcilik operasyonları için kıyıya özgü olacağını eklemiştir (Bazaras vd., 2017).
- **Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) ve Maliyet-Fayda Analizi:** Akıllı yeşil liman teknolojilerinin çevresel etkilerini değerlendirmek için Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi metodolojilerinin kullanılması tüm yaşamları boyunca döngüleri⁴. Bunun yanı sıra, kısa bir zaman diliminde uygulamanın ön maliyetlerinin yanı sıra daha az kirlilik veya daha iyi kamu sağlığı sonuçlarını içerebilecek uzun vadeli ekonomik etkileri de içeren kapsamlı fayda-maliyet analizleri yapın; bu sonucunu uzun vadede para tasarrufu da sağlayabilir (İbrahim vd., 2024a).
- **Büyük Veri Analitiği ve IoT'nin Entegrasyonu:** Liman operasyonları, çevresel koşullar ve enerji tüketimi hakkında gerçek zamanlı veri toplamak ve analiz etmek için büyük veri analitiği ve Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojilerinden yararlanın. Uzun vadeli eğilimleri ve bu sayede nelerin iyileştirilebileceğini anlamak için tahmine dayalı modeller oluşturmak, performans ve teknoloji değerlendirmesine olanak tanır to dynamically inform data-odaklı karar verme (Reis vd., 2014).

- **Paydaş Katılımı ve Katılımcı Değerlendirme:** Liman yetkilileri, nakliye şirketleri, yerel topluluklar ve çevre örgütleri gibi birden fazla paydaşı içeren katılımcı bir değerlendirme metodolojisi benimseyin⁷. Karma yöntem yaklaşımları, nitel içgörüler elde etmek için paydaş görüşmeleri ve odak grupları ile nicel veri analizinin güçlü yönlerinden yararlanır. Bu, akıllı yeşil liman girişimlerini uygularken karşılaşılan etki ve zorluklara ilişkin çok yönlü bir bakış açısı sağlayacaktır (Carvalho vd., 2016).
- **Uyarlanabilir yönetim:** Bir eylem çerçevesi, devam eden izleme ve değerlendirme sonuçlarına dayalı olarak akıllı yeşil liman stratejilerinin sürekli öğrenilmesini ve ince ayarının yapılmasını teşvik eden dinamik bir yönetim sistemi kurar⁸. Bu da gelişen liman ortamlarına ve teknolojik değişikliklere çevik ve uyarlanabilir yanıtlar verilmesini sağlar (Buticchi vd., 2022).
- **Karşılaştırmalı Politika Analizi:** Yetki alanları arasında akıllı yeşil limanların teşvik edilmesinde farklı düzenleyici düzenlemelerin ve teşvik ayarlarının etkisinin incelenmesi yoluyla sistematik karşılaştırmalı politika analizi. Bu tür bir analiz, politika önerilerini destekleyebilir ve sürdürülebilir liman gelişimi için ortam sağlamaya yönelik en iyi uygulamaları vurgulayabilir.
- **İş Girdi-Çıktı Yaşam Döngüsü:** Değerlendirme, akıllı yeşil liman teknolojilerinin sadece seçilen liman alanının ötesinde daha geniş ekonomi ve çevresel etkilerini hesaba katmak için ekonomik girdi-çıktı yaşam döngüsü değerlendirme modellerini kullanır. Tedarik zincirleri, bölgesel ekonomiler ve küresel ticaret kalıpları üzerindeki dolaylı etkileri tahmin etmek için kullanılabilir.

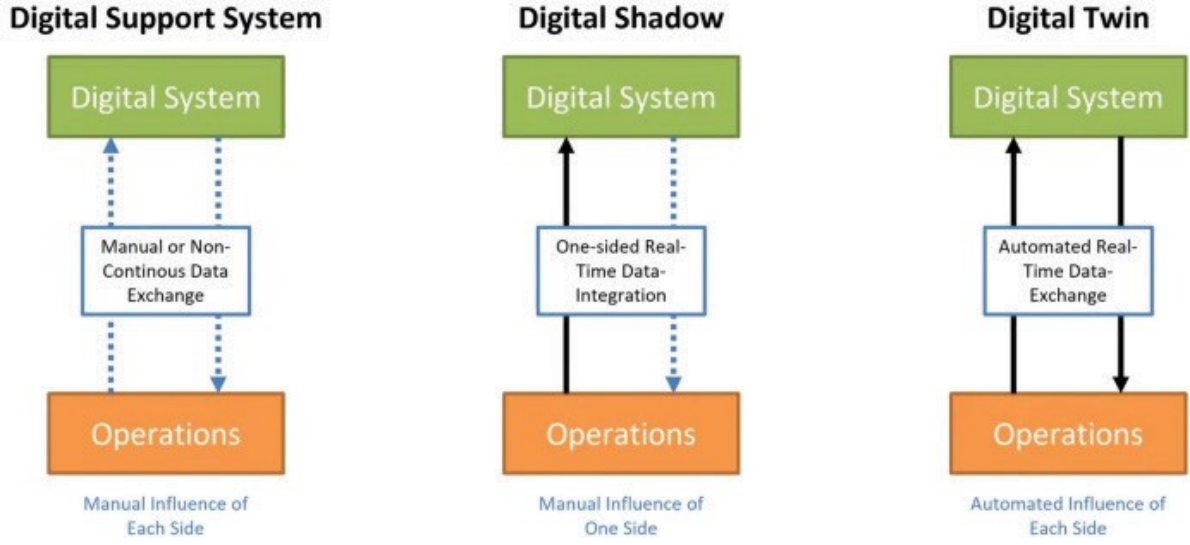
Bu metodolojilerin ve çerçevelerin birleştirilmesi, hem araştırmacıların hem de politika yapımcıların çeşitli coğrafi ve denizcilik ortamlarında akıllı yeşil liman teknolojilerinin uzun vadeli etkilerinin bütünsel bir resmini elde etmelerini sağlayacaktır. Bu bütüncül

görüşü, kanıta dayalı kararlar almamızı sağlar ve dünya genelindeki liman tesislerinin sürdürülebilir gelişimine katkıda bulunur.

4. VAKA ÇALIŞMALARI

Rotterdam Limanı'nda lojistikte yenilikçi IoT kullanımı kargo operatörlerinin şunları yapmasına olanak tanır. İlk etapta sistemleri tarafından ihtiyaç duyulan ezici bilginin alımını yönetin. Kapsamlı bir sensör ağı ve dijital ikiz konsepti, liman operasyonları ve çevre koşulları hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlayan akıllı liman girişiminin önemli bir parçasıdır. Fiziksel liman altyapısının sanal bir temsili olan dijital ikiz, liman sahasının 7,2 mil karelik (18,5 kilometrekare) çevresine, deniz kıyısından 2,62 millik bir açıyla yerleştirilen 44.000'den fazla sensörden gelen bilgileri özümüyor. Sensörler su ve hava kalitesinden gelgit ve rıhtım mevcudiyetine kadar birçok parametreyi 7/24 izlemektedir. Verilerin bu kadar kapsamlı bir şekilde toplanması, liman yetkililerinin gemi trafiğini optimize etmesini, bakımı öngörmesini ve olası ekolojik felaketlere hızlı bir şekilde müdahale etmesini teşvik etmektedir (Philipp, 2020). Rotterdam Limanı'nın IoT ekosistemindeki en özgün araçlardan biri olan Rotterdam Limanı'ndaki Hydro Drone, multibeam echosounder yüzeylere sahip otonom bir su altı aracıdır. (Durlık vd., 2024b) Bu drone tekne, yüksek hassasiyetli derinlik ve liman altyapısı denetimi gerçekleştirmekte ve bunların yürütülmesi için gereken zaman ve paradan tasarruf sağlamaktadır. Hydro Drone'un geleneksel yöntemlere kıyasla araştırma süresini %90 kısalttığı ve veri doğruluğunu %40 artırdığı gösterilmiştir (Philipp, 2020).

Bu akıllı teknolojileri uygulayarak operasyonel verimlilikte önemli gelişmeler gördük. Örneğin, dijital ikiz tabanlı tam zamanında varış sistemi, gemilerin ortalama bekleme süresini %20 azaltarak her yıl 240 ton yakıt tasarrufu sağladı ve CO2 emisyonlarını yılda 740 ton azalttı (Philipp, 2020). Ayrıca, güç tahsisini iyileştirmek için IoT verilerini kullanan limandaki akıllı enerji yönetim sistemi, depo operasyonlarında toplam enerji kullanımında %25'lik bir düşüşe yol açmıştır (Lechtenböhrer vd., 2018). Bu da yıllık 100.000 ton CO2 emisyonunda tahmini bir azalma anlamına gelmektedir ve limanın belirlediği iddialı sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunmaktadır (Meyer vd., 2023).



Şekil 1. Dijital İkiz Dijital ikiz seviyelerinin farklılaştırılması

Şekil 1'de gösterildiği üzere, dijital ikizlerde fiziksel ve sanal nesnelerin kesintisiz bir şekilde birbirine bağlanması olarak dijital ikiz, ikizin özellikleriyle nasıl karakterize edildiğini temsil etmektedir. Bu nedenle, fiziksel, dijital ve bilginin birbirine bağlı üç alanı dijital ikizi oluşturur. Sonuç olarak, her dijital ikiz, sonuçları bir ikizin fiziksel sisteminin veya işlevinin hipostatik bir davranışı olabilecek belirtilmemiş bir karmaşıklık modeli içerir (Fuller vd., 2020).

Bu uygulama IoT'ye hayat verirken emniyet ve güvenlik hizmetlerini de artırmaktadır. Gerçek zamanlı izleme ve tahmine dayalı analitik sayesinde güvenlik olayları %35 oranında azalmış ve potansiyel güvenlik tehditlerine müdahale süreleri %50 oranında iyileşmiştir (Gviliya & Kochurova, 2022). Rotterdam Limanı, bu tür akıllı sistemlere yapılan yüksek ilk yatırıma rağmen, operasyonel maliyet tasarrufu ve iş hacmi kapasitesi artışı yoluyla üç yıl içinde yüzde 30'a varan bir yatırım getirisinden bahsetmektedir (Basulo-Ribeiro vd., 2024). Bu girişimlerin başarısı, Rotterdam'ı teknolojik inovasyon yoluyla verimliliği ve sürdürülebilirliği artırmak isteyen diğer limanlar için bir model haline getirmiştir.

Singapur, özellikle AGV'ler ve yapay zeka uygulamaları olmak üzere akıllı yeşil liman teknolojilerinde uluslararası bir öncü haline gelmiştir. İyileştirmeler, konteyner elleçleme süreçlerini dönüştüren, daha düşük karbon çıktısı sağlayan ve operasyonel performansın ve çevresel ilerlemenin ikili sütunlarını karşılayan hızla gelişmiş uygulamaları içermektedir.

Singapur'un konteyner terminalleri yakın zamanda AGV'leri devreye sokarak liman operasyonlarında devrim yarattı. Elektrikle çalışan bu konteynerlerin geçmiş performansına göre, büyük miktarda konteynerin elleçlenmesinde daha verimli bir yöntem oldukları kanıtlanmıştır (Makhloufi, 2023). AGV'ler günün her saati dinlenmeden çalışabilir, bu da beklemek için daha az zaman harcadığından teslim sürelerini daha da kısaltır; AGV sistemleri rölantide daha az zaman geçirecek şekilde ayarlanabilir ve konteynerlerin limanda taşınması için harcanan süre önemli ölçüde optimize edilebilir. AGV'ler çevresel düzeyde karbon emisyon hacimlerinde önemli düşüşlerden sorumlu olmuştur. Yakın zamanda Singapur Limanı'nda yapılan bir çalışma, AGV'lerin geleneksel dizel motorlu ekipmanlara kıyasla yaklaşık %25 daha az enerji kullandığını göstermiştir (Zhao vd., 2024).

Daha az enerji tüketmek, limandaki sera gazı emisyonlarını doğrudan azaltmakta ve iklim değişikliği çabalarına katkıda bulunmaktadır. Bu tür araçların elektrifikasyonu, Singapur'daki liman operasyonlarına güç sağlayan yenilenebilir enerji kaynaklarının önemli ölçüde büyümesine paralel olarak çevresel faydaları daha da artıracaktır. AGV'lerin sürdürülebilirlik ve üretkenlik için sağladığı bireysel faydalar, yapay zeka tabanlı rıhtım ve saha planlaması ile sinerji oluşturarak daha da geliştirilmiştir. Böylece, verimliliği en üst düzeye çıkarmak için gemilerin yanaşma zamanlamalarını ve istifleme planlarını optimize etmek için gelişmiş YZ algoritmalarının kullanılmasının yanı sıra hem enerji hem de maliyet tasarrufu sağlanarak verimsiz hareketlerden kaçınılır. Singapur Limanı'nda yapay zeka uygulamasına ilişkin kapsamlı bir çalışma

rıhtım kullanımında %15'lik bir artış ve tersane yeniden elleçleme operasyonlarında %20'lik bir azalma olduğunu ortaya koymaktadır (Sim vd., 2024). Bu tür verimlilikler üretkenliği artırırken aynı zamanda enerji tasarrufu sağlayabilir ve emisyonları azaltabilir. Akıllı yeşil limanlara örnek olarak, AGV'lerin ve yapay zeka teknolojilerinin liman tesislerinde bir araya getirildiği Singapur limanı gösterilebilir. Liman, bu tür yenilikler sayesinde hem operasyonel mükemmelliği hem de iklim değişikliği etkisini başarılı bir şekilde ele almıştır. IoT özellikli AGV'ler ile veri odaklı liman yönetimi, yapay zekanın liman faaliyetlerini gerçek zamanlı olarak analiz etmesini sağlayarak bir limanın aldığı her kararı bir öncekinden daha bilinçli hale getirmektedir (Knoysky vd., 2023). Uluslararası ticaret hacimleri hızlandıkça, Singapur'un AGV'leri kullanma ve yapay zekayı entegre etme konusundaki deneyimi, rekabet güçlerini artırmak ve iklim değişikliği için çözümler bulmak isteyen küresel limanlar için zamanında dersler sunmaktadır.

Los Angeles Limanı'nın Alternatif Denizcilik Gücü (AMP, soğuk ütüleme veya kıyıda gemiye güç olarak da bilinir) programı, denizcilik operasyonlarının iklim değişikliği üzerindeki etkisini azaltmak için akıllı yeşil liman teknolojilerinde heyecan verici bir adımdır. AMP 2004 yılında uygulamaya konulmuş ve liman ziyaretleri sırasında gemi emisyonlarının önlenmesinde hızla devrim yaratmıştır. AMP programı liman içi gemi emisyonlarının azaltılmasında son derece başarılı olmuştur. 16 yılı aşkın veriyi inceleyen 2019 tarihli bir çalışma, Los Angeles Limanı'nda kıyı elektriği kullanımının hava kirliliğini azalttığı sonucuna varmıştır. Araştırmaya göre, 24 saatlik bir yavaşlama sırasında AC sahil gücünün kullanılması, tek bir konteyner gemisinin yardımcı motorları için yaklaşık %95'lik bir emisyon azaltımına yol açabilir. Bu da sistemle donatılmış her bir gemi için NO_x, SO_x ve partikül maddede günde 1 ton, 0,5 ton ve 0,03 tonluk bir azalmaya denk gelmektedir (Arunachalam vd., 2019). AMP uygulamasından önceki ve sonraki hava kalitesi iyileştirmeleri, AMP'nin neler başarabileceğine dair karşılaştırmalı kanıtlar sunmaktadır. 2015 tarihli bir rapora göre, sadece 2005 ve 2014 yılları arasında AMP kullanımı, limandaki okyanus gemilerinden kaynaklanan partikül madde emisyonlarında %57, sülfür oksitlerde %90 ve nitrojen oksitlerde %26 oranında azalma sağlamıştır (Cannon vd., 2015).

AMP programı, iklim değişikliği sorununu azaltmaya aktif olarak yardımcı olabilecek daha geniş bir akıllı yeşil liman konseptinin bir parçasıdır ve programın başarısı bu hedefi desteklemektedir. Bu, gemilerin yardımcı motorlarını kapatmalarına ve yavaşmış durumdayken elektrik şebekesine bağlanmalarına olanak tanıdığından sera gazı emisyonlarını büyük ölçüde azaltır. Bir

Yakın zamanda yapılan bir tahmine göre, Los Angeles Limanı'nda tam olarak uygulanan bir kıyı gücü kapasitesi sistemi ile ilişkili emisyon azaltımları yılda yaklaşık 95.000 metrik ton CO₂ eşdeğeri emisyon azaltımı anlamına gelebilir. Genel olarak AMP programı, liman faaliyetlerinin çevresel etkilerini azaltmak için teknoloji odaklı gelişimden nasıl yararlanılabileceği konusunda dünya çapındaki diğer limanlara sağlam bir ders niteliğindedir. Program, limanın tüm konteyner terminallerinde ve kruvaziyer terminalinde kıyı elektriğini de kapsayacak şekilde genişletildi. İklim değişikliği konusundaki farkındalık artmaya ve denizcilik alanında hem politika hem de teknolojik yeniliklere yayılmaya devam ettikçe, AMP programı akıllı yeşil liman ortaklıklarının, emisyonlarda anlamlı azalmalar ve liman emisyonlarının operasyon limanındaki hassas topluluklar üzerindeki etkilerinde eşitlikçi değişikliklerle küresel dekarbonizasyon hedeflerine ulaşma kabiliyetini gösterebilir (Setyo vd., 2023). Programın başarısı, benzer teknolojilerin daha büyük ölçekte kullanıma potansiyelinin altını çizmektedir; bunların tümü, su yoluyla yapılan ticaretin iklim ayak izini azaltmaya yönelik ortak bir çabada rol oynayabilir (Lee vd., 2022).

Hamburg'un smartPORT'u, sürdürülebilirlik kaygılarıyla akıllı trafik yönetim sistemleri (ITMS) entegrasyonunun en üst seviyeleri arasında yer almakta ve böylece tüm sonuçlarıyla iklim değişikliğine karşı akıllı, yeşil liman stratejileri için bir kılavuz görevi görmektedir. Gelişmiş veri analitiği, IoT özellikli altyapı ve gerçek zamanlı iletişim ağları, tıkanıklığı ve bunun sonucunda ortaya çıkan emisyonları azaltmak için kullanılırken operasyonel verimlilik de aşamalı olarak artmaktadır. Bu, iklim azaltımına ilişkin küresel çerçeveler, Paris Anlaşması ve IMO karbonsuzlaştırma hedeflerine uygun olarak, genel dijital inovasyonların çevre yönetimine odaklanmasıyla uyumludur.

Limandaki ITMS, kamyon, gemi ve demiryolu trafiğinin akışını optimize eden sensör ağlarını ve makine öğrenimi algoritmalarını kullanmaktadır. Örnek olarak Kamyon Park Rehberlik Sistemi kullanıldığında, GPS ve yol içi sensörlerden alınan gerçek zamanlı veriler sürücülere aktararak onları açık kamyon park yerlerine yönlendiriyor. Bu sayede, rölantiden kaynaklanan israf yılda yaklaşık %12 oranında azaltılmaktadır (Homayouni vd., 2024). Bu arada, Liman Yol Yönetimi sistemi kapsamında, ana koridorlardaki ortalama gecikmeleri %30 ve NO_x emisyonlarını %18 oranında azaltan sıklıkla duyarlı trafik ışığı yönetimini uygulamaya koymuştur. Ayrıca, bu tür sistemler

kaynakların önceden konuşlandırılması için genellikle geçmiş ve gerçek zamanlı verileri kullanarak talebin en yoğun olduğu zamanları öngören tahmine dayalı analitik kullanır (Pham, 2023).

Hamburg'un smartPORT girişimi sayesinde Hamburg, akıllı teknolojilerin sadece liman operasyonlarını iyileştirme gücünü değil, aynı zamanda iklim değişikliğinin yükünü nasıl azaltabileceğini de göstermektedir. Liman, gelişmiş trafik yönetim sistemleri sayesinde trafik sıkışıklığının azaltılması ve emisyonların azaltılması konularında önemli gelişmeler kaydetmiştir. Akıllı trafik yönetimi, Hamburg'un akıllı liman stratejisinin bir parçasıdır ve liman alanı içindeki araç akışını iyileştirmek için gerçek zamanlı veri analitiği kullanır. Sistem ayrıca trafik sıkışıklığında %15'lik bir azalmanın yanı sıra limanla ilgili taşımacılık faaliyetlerinden kaynaklanan CO2 emisyonlarında %12'lik bir düşüşe yol açmıştır (2020 ve 2024 yılları arasında). Liman çevre korumasında akıllı teknolojilerin uygulanması, limanda sera gazı azaltımına yönelik akıllı liman yeşillendirme uygulamalarının geliştirilmesi açısından Hamburg tarafından gösterilmiştir. Aslında bu, sürdürülebilir liman gelişimini sağlayabilecek türden bir yakınsama gücü verisidir. Yenilikçi teknolojiye güvenmek, denizcilik sektörünün boğuştuğu çevre sorunları açısından kritik önem taşımaktadır.

Akıllı yeşil limanlar ve limanlarda sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ilişkin bu çalışmanın bir parçası olarak.

Eylül-Kasım 2024 tarihleri arasında tasarım ekipleriyle görüşmeler gerçekleştirmişlerdir. Liman operasyonları ve yönetiminde yer alan kilit muhataplarla 25 yarı yapılandırılmış mülakat gerçekleştirdik. Görüşülen kişiler arasında

- 5 Liman Yetkilileri üst düzey yönetim (15+ yıllık deneyim)
- 4 orta kademe liman operasyon müdürü (8-12 yıllık deneyim)
- 3 çevresel Uyumluluk memurları büyük limanlar
- Limanlarda yerleşik nakliye şirketlerinden 4 temsilci
- 4 yetkilileri Denizcilik Ulaştırma & Lojistik Sektörü

- 3 araştırmacı deniz lojistiği ve sürdürülebilirlik konularına odaklandı
- 3 yerel çevre STK'sı temsilcisi

Mülakatlar, akıllı yeşil liman girişimlerinin mevcut durumu, uygulamanın önündeki engeller ve iklim değişikliğini azaltma stratejilerine ilişkin görüşler hakkında perspektif toplamayı amaçlamıştır. Tartışılan ana konular şunlardır:

- Teknolojik uygulamalar (liman verimliliğini artırmak ve çevresel etkiyi azaltmak için mevcut ve planlanan tüm uygulamalar).
- Akıllı yeşil liman teknolojilerinin benimsenmesinin önündeki engeller
- Liman operasyonları ve iklim değişikliği arasındaki ilişkinin paydaşlar tarafından algılanması.
- Mevcut Uygulamadaki Stratejiler ve Gelecekteki Potansiyel Development for Liman Operasyonlarından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılması.
- Limanlarda sürdürülebilir operasyonların kolaylaştırılmasına yönelik politika ve düzenlemeler.
- Limanlar, devlet kurumları ve yerel topluluklar arasında iklim değişikliği sorunlarını ele almak için potansiyel ortak eylem alanları.

Gerçekleştirdiğimiz görüşmeler, literatür incelememizi ve durumun niceliksel dökümünü tamamlayan ek niteliksel bilgiler edinmemizi sağladı. Bu diyaloglardan çıkarılan dersler, limanların iklim değişikliğine yanıt verirken daha akıllı ve sürdürülebilir olmak için karşılaştıkları zorluklara ve fırsatlara içerik kazandırmıştır.

İşbirliği ihtiyacı Paydaşların, diğer sürdürülebilirlik hedeflerini entegre eden etkili iklim eylem planları oluşturmak için birlikte çalışmaları gerekecektir. Bu, ekonomik etkenleri ve çevresel etkileri dengeleyen sürdürülebilirliğe yönelik çok yönlü yaklaşımlar oluşturulmasına yardımcı olmak için yerel topluluklar, hükümet ve endüstri ortaklarıyla yakın ilişki içinde yapılacaktır. Yeşil akıllı limanlar

iklim değişikliği sorununa karşı küresel bir sektörel yanıttır. Bu akıllı yeşil limanlar, operasyonel verimliliği artırmak ve küresel çevre azaltma girişimlerine katkıda bulunmak için teknoloji ve sürdürülebilir yöntemleri entegre etmektedir. Sürdürülebilirliğe olan bu bağlılık, the maritime endüstrisi uyum sağlamaya devam ettikçe ve toplum pandemiden uzaklaştıkça birçok zorluk devam ettikçe ileriye dönük olarak hayati önem taşıyacaktır. Ortak sürdürülebilirlik hedeflerine yönelik işbirliği, bu dinamik sektörün temel direği haline gelecektir.

5. TARTIŞMA

Akıllı limanlar, limanların işleyiş biçiminde akıllı teknolojilerin ve sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesiyle ilgilidir ve denizcilik sektörünün iklim değişikliğiyle ilgili zorlukları ele alma biçiminde genel bir paradigma değişimine yönelik daha büyük bir eğilimi temsil etmektedir. Bu özel çalışmadan elde edilen bu bulguların, ek açıklama ve bağlam sunmayı hak edecek kadar tutarlı ve önemli olması dikkat çekicidir. İlk olarak, bazı yayınlara göre, akıllı yeşil limanların bir parçası olarak yapay zeka (AI) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) teknoloji sistemlerinin kullanımı, operasyonel ve çevresel performanslarla ilgili önemli kazanımlar ortaya koymuştur. Örneğin Rotterdam Limanı, gemilerin bekleme süresinde %20'lik bir azalma ve dolayısıyla daha düşük CO2 emisyonu sağlayan eksiksiz bir sensör ağı ve dijital ikiz konseptini uygulamaya koymuştur. Bu, liman yönetimini optimize etmek ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için teknolojiyi dijitalleştirmenin yenilikçi beklentisini vurgulayan ek çalışmaların bulgularını yansıtmaktadır (Su vd., 2024b).

Bununla birlikte, liman operasyonlarında yenilenebilir enerjiye geçiş, iklimsel sonuçlarla mücadele etmek için çok önemli hale gelmektedir. Örneğin Los Angeles Limanı, Alternative Maritime Power (AMP) programı sayesinde yanaşmış gemi emisyonlarını %95 oranında azaltmıştır (Ahmed vd., 2024). Bu keskin düşüş, kıyıda gemiye güç sistemlerinin liman kentlerindeki hava kalitesi sorunlarını nasıl ele alabileceğinin altını çiziyor ve denizcilik faaliyetlerine elektrik getirmenin çevresel getirileri üzerine yapılan daha geniş çaplı araştırmaları destekleyen bir sonuç ortaya koyuyor (Wang vd., 2024). Ayrıca bulgular, liman operasyonlarında sistemik sürdürülebilirlik entegrasyonuna yönelik yeni başlayan bir eğilimi ortaya koymaktadır. Yeşil altyapı, temiz teknolojinin yalnızca akıllı trafik yönetimi yoluyla tıkanıklık sorunlarının çözümüne nasıl yardımcı olabileceğini göstermekle kalmıyor, aynı zamanda

Hamburg, aynı zamanda emisyonları da azaltmaktadır (Ogbu vd., 2023).

Sürdürülebilirliğe yönelik bu bütüncül yaklaşım, limanların iklim değişikliğine uyumunda entegre süreçlerin önemini vurgulayan son literatürü tamamlamaktadır (Izaguirre vd., 2021). Çalışma, bu girişimlerin olumlu sosyal ve çevresel etkilere sahip olduğunu ve başarılarının genellikle paydaşlar ve daha geniş toplumla etkileşime bağlı olduğunu göstermektedir. Böylesine önemli bir bulgu, liman bölgelerinde iklim değişikliğine karşı dayanıklılığın artırılmasında işbirliğine dayalı yönetişimin kilit rolüne ilişkin bir başka bulguyla da uyumludur (Ihara vd., 2020). Bu çalışma, sürdürülebilir liman gelişiminin sosyo-ekonomik boyutlarına ilişkin daha önceki literatürde açıklanan teorik çerçeveleri desteklemek üzere burada analiz edilen vaka çalışmalarından ampirik kanıtlar sunmaktadır.

Bununla birlikte, sonuçlar, özellikle dünyanın gelişmekte olan bölgelerinde akıllı yeşil liman teknolojisinin yaygınlaştırılmasının önündeki büyük engelleri de doğrulamaktadır. Finansal sınırlamalar ve teknik engeller başlıca engelleyici faktörlerdir; gelişmekte olan ülkelerin limanlarında iklim değişikliğine uyum konusunda yapılan diğer çalışmalarda da benzer bulgular elde edilmiştir. Bu durum, iklim değişikliğine hazırlık konusunda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin limanları arasındaki bu tür boşlukları gidermek için kapasite geliştirmenin yanı sıra finansman mekanizmalarının da geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu bulguların denizcilik sektöründe iklim değişikliğinin azaltılmasına ilişkin kapsamlı literatürle karşılaştırılması, akıllı yeşil limanların yeni çözümlere öncülük ettiğini göstermektedir. Liman ortamında yenilikçi teknoloji ve artan sürdürülebilirliğin birleşimi, operasyonel optimizasyon ve çevresel sürdürülebilirliği dengeleme zorluğuyla karşı karşıya kalan diğer sektörler için bir model oluşturmaktadır (Barona vd., 2023).

Son yıllarda, akıllı yeşil limanlar tartışması, denizcilik sektörünün iki zorlukla mücadele etmesiyle daha fazla ilgi çekmeye başlamıştır: çevresel sürdürülebilirliği dengelerken operasyonel verimliliği artırmak. Bu eğilim, iklim değişikliğini ele alma ve liman operasyonlarının verimliliğini optimize etme konusundaki acil gereklilikten kaynaklanmaktadır. Akıllı yeşil limanlar, daha dirençli ve verimli bir deniz ortamını teşvik etmek için birlikte çalışan en son teknolojilerin ve sürdürülebilir uygulamaların uygulanmasıyla karakterize edilir (Bougioukou, 2023).

Bu dönüşüm temelde Nesnelerin İnterneti, yapay zekâ ve jeo-uzamsal teknolojiler gibi en yeni teknolojilerden güç almaktadır. Bu gelişmeler, limanların operasyonları gerçek zamanlı olarak izlemelerini ve yönetmelerini sağlayarak daha iyi kararlar alınmasını mümkün kılmaktadır. IoT cihazları aracılığıyla gemi hareketlerinin ve kargo lojistiğinin izlenmesi de daha iyi rıhtım tahsisine yardımcı olarak gemilerin bekleme sürelerinin kısaltılmasına yol açmaktadır. Dahası, bu yetenekler, üretkenliği artıran operasyonları optimize eden tıkanıklık tespiti için tahmine dayalı analitik ve kullanım oranı tahmini sağlayarak yapay zeka ile artırılmaktadır (Saraswati ve Wirawan, 2024). Akıllı yeşil liman, yenilenebilir enerji kaynaklarının somut bir şekilde kullanılmasını da gerektirmektedir. Bugünlerde birçok liman okyanus, rüzgâr ve güneş enerjilerini kullanarak karbon ayak izlerini en aza indirmenin yollarını aramaktadır. Bu sadece fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmakla kalmayacak, aynı zamanda sürdürülebilirlik konusundaki uluslararası hedefleri de yerine getirecektir. Rotterdam Limanı, sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltan etkili yenilenebilir enerji projelerine çok iyi bir örnektir (Notteboom vd., 2020).

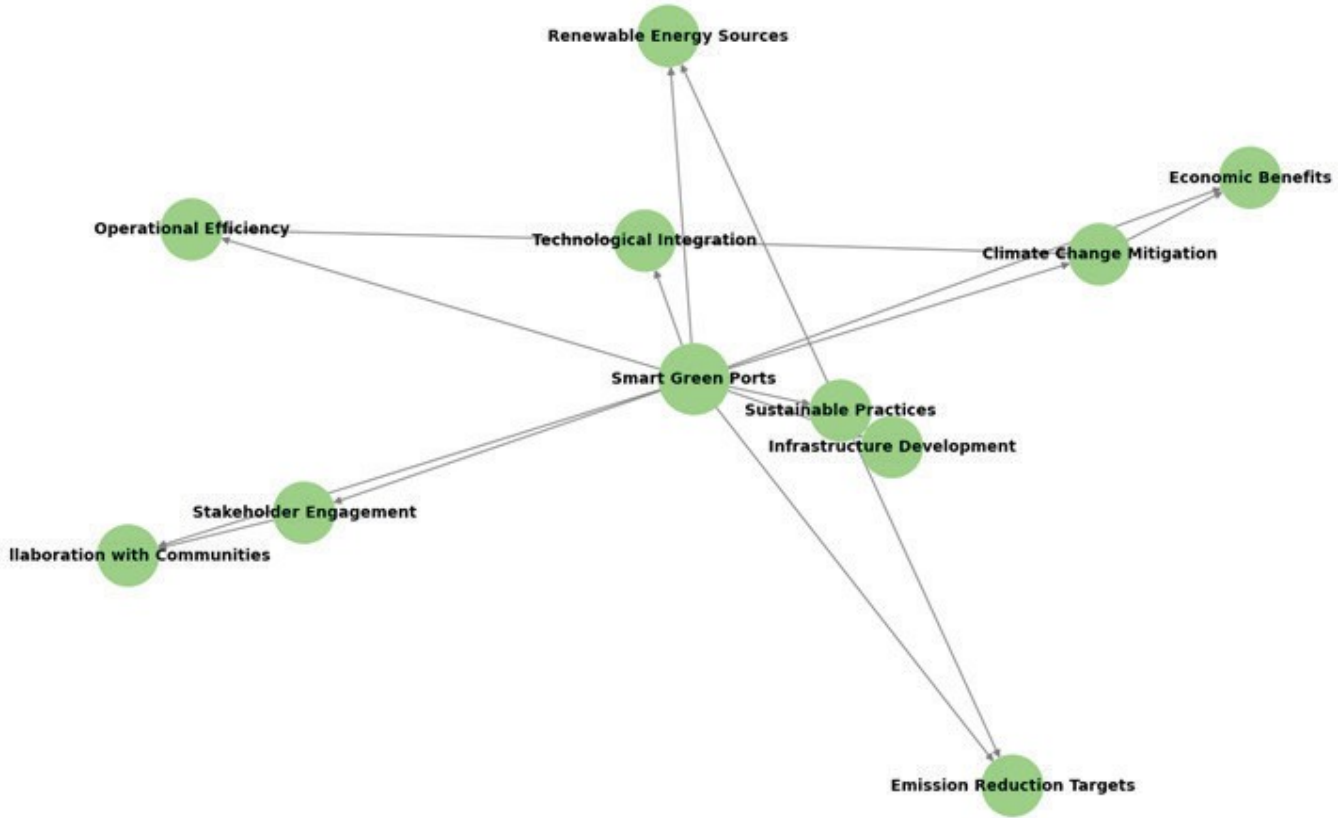
Bu anlamda bir diğer önemli faktör de sürdürülebilir altyapı gelişimidir. Gerçekten de, çağdaş liman tesislerinde çevre dostu malzemeler kullanılmakta ve çevresel etkileri en aza indiren, limanların operasyonel olarak işlev görmesini sağlayan ve uzun ömürlülüğü ve sürdürülebilirliği destekleyen enerji tasarruflu sistemlerle donatılmaktadır. Örneğin, yeşil çatıların ve son teknoloji atık yönetim sistemlerinin dahil edilmesi, liman tesislerinin ekolojik ayak izine işlevsel bir şekilde katkıda bulunur (Sadiq vd., 2021). Akıllı yeşil limanlarda üretkenlik normalde konteyner sayısıyla değerlendirilir

elleçleyebildikleri, Yirmi Fit Eşdeğer Birim cinsinden ifade edilir. Genel olarak, akıllı yeşil limanlar, kaynakların daha iyi kullanılması ve süreçlerin otomasyonu nedeniyle daha üretken olma eğilimindedir. Otomatik yük elleçleme sistemleriyle yükleme ve boşaltma işlemlerini hızlandırmak mümkündür, bu da gemi dönüş sürelerini önemli ölçüde azaltır (İbrahim vd., 2024). Limanların çoğunda iklim değişikliğini azaltma stratejileri konusunda kayda değer bir isteklilik söz konusudur. Öte yandan, Los Angeles Limanı gibi şehirlerde hava kalitesini iyileştirmeyi amaçlayan girişimler, 2025 yılına kadar emisyonlarını %30 oranında azaltmayı taahhüt etmektedir. Limanların yükselen deniz seviyeleri veya aşırı hava koşulları gibi iklim kaynaklı olayların potansiyel etkilerini planlaması ve bunlara hazırlanmasıyla birlikte, iklime dirençli bir başka eğilim de ivme kazanmaktadır. Taşkın savunmaları ve sürdürülebilir drenaj sistemleri gibi altyapı iyileştirmelerine yapılan yatırımlar da dâhil olmak üzere, dayanıklılığı artırmayı amaçlayan proaktif önlemler alınmaktadır (León-Mateos vd., 2021).

Etkili paydaş katılımı, iklim eylem planlarının daha geniş sürdürülebilirlik hedefleriyle daha iyi uyumlaştırılması için kilit öneme sahiptir. Yerel toplulukları, devlet kurumlarını ve endüstri ortaklıklarını, ekonomik uygulanabilirliğe ve çevre yönetimine odaklanan bütünsel bir sürdürülebilirlik görüşüne dahil edebilir (Bulmer & Yáñez- Araque, 2023).

Aşağıdaki zihin haritası, iklim değişikliği bağlamında denizcilik sektörü için sürdürülebilir bir çözüm olarak akıllı yeşil limanların birbiriyle bağlantılı çeşitli unsurlarını görsel olarak göstermektedir.

Mind Map: Smart Green Ports - A Sustainable Solution for the Maritime Industry in a Changing Climate



Şekil 1. İklim değişikliği bağlamında denizcilik sektörü için sürdürülebilir bir çözüm olarak akıllı yeşil limanların birbiriyle bağlantılı bileşenleri

Akıllı yeşil limanlar ortaya çıkmış ve iklim değişikliğinin hızlanması nedeniyle verimli ve rekabetçi operasyonlar ile çevresel sürdürülebilirliği dengelemek için denizcilik sektöründe bir paradigma değişimini güçlendirmiştir. Bu çalışmada, bu bileşik yaklaşımın mümkün kıldığı ve nihayetinde uluslararası ticaret için daha sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunan iç içe geçmiş süreçleri ve sinerjileri araştırıyoruz. Özünde, sürdürülebilir uygulamalar sadece teşvik ettikleri şirketlerin yenilenebilir enerji ve atık minimizasyonu açısından ne kullandıklarına değil, aynı zamanda genel sürdürülebilir uygulamalara da odaklanmaktadır. Akıllı yeşil liman konsepti, sadece liman operasyonları için minimum ekolojik ayak izine sahip olmayı değil, aynı zamanda dünya ilerledikçe gelişecek olan uluslararası çevre düzenlemelerine zorunlu uyumu da hedeflemektedir. Eko-inşaat ve tasarım yoluyla enerji ile el ele giden yaklaşımlar, düşük etkili ve çevresel açıdan övgüye değer bir gelişme sağlamak için sürdürülebilir bir altyapının gerçekleştirilmesini kolaylaştırır.

Teknoloji kullanımı, geleneksel limanların akıllı yeşil merkezlere dönüştürülmesinde kilit bir faktördür. IoT cihazlarının, yapay zekanın ve gerçek zamanlı veri analitiğinin kullanılması, yük elleçlemeyi kolaylaştırarak, gemi dönüş sürelerini en aza indirerek ve kaynakları daha iyi zamanlayarak operasyon etkinliğini artırır. Farklı veri kaynaklarının entegrasyonu, verimlilik iyileştirmelerinden daha fazlasını sunar; daha büyük iklim değişikliği dengeleme ve azaltma hedefleriyle uyumlu olan gizli çevresel sonuçları öngörebilen ve bunlara yanıt verebilen tahmine dayalı analitiği kolaylaştırır. Rüzgar ve güneş enerjisi gibi yeşil enerjiye geçiş de bir diğer önemli bileşendir. Bu geçiş gerçekleştikçe, fosil yakıtlara olan bağımlılık büyük ölçüde azalır ve bu da sera gazı emisyonlarının azalmasına yol açarak sürdürülebilir kalkınma ve iklim değişikliğini azaltma çabalarına yardımcı olur. Somut emisyon azaltma hedefleri belirlenerek, gelecekte kaydedilecek ilerlemenin değerlendirilmesi için ölçülebilir kıstaslar belirlemek kolaylaşır. Bu hedefler hesap verebilirliği tetikler ve farklı sürdürülebilirlik çabalarının etkisini değerlendirmek için bir temel sağlar.

İklim değişikliğini hafifletme çabaları sadece emisyonların azaltılmasıyla sınırlı değildir, aynı zamanda sel savunması ve iklime dayanıklı altyapı gibi proaktif stratejileri de içerebilir. Bu tür yatırımlar, deniz seviyesinin yükselmesinden aşırı hava olaylarına kadar iklim değişikliğinin liman operasyonları üzerindeki etkilerini hafifletir. Aslında, bu sürdürülebilir uygulamalar yalnızca çevreyi olumlu yönde etkilemekle kalmaz, aynı zamanda sürdürülebilirlik odaklı paydaşları bir araya getirerek yüksek kârlı bir iş yaratılmasına da katkıda bulunur. Bunu teşvik eden şey, çevre bilinci ile ekonomik rekabet gücü arasındaki ortak yaşamdır. Diğer bileşen ise ortak sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda kolektif eylemi harekete geçiren paydaş katılımıdır. Yerel topluluklar, hükümetler ve sektör oyuncularıyla birlikte çalışmak, operasyonel hedefleri yerel çevresel zorluklar ve uluslararası iklim yükümlülükleriyle dengeleyen ortaklıklar kurulmasını sağlar. Bu kolektif yaklaşım, sürdürülebilirlik girişimlerini zaman içinde daha etkili ve sürdürülebilir hale getirir.

Akıllı yeşil limanların geniş kapsamlı ekonomik faydaları vardır. Beklenen başlıca sonuçlar arasında enerji tasarrufundan kaynaklanan gelişmiş operasyonel verimlilik, pazarlanabilirliği artıran daha sürdürülebilir bir marka kimliğinin oluşturulması ve küresel ticaret ağlarında rekabet gücünün artırılması yer almaktadır. Böylece, daha iyi marjinal maliyetler erdemli bir döngü yaratarak gelirin daha fazla ve daha iyi yeşil teknolojiye yeniden yatırılması için teşvik sağlar ve düşük/sıfır karbonlu bir denizcilik sektörüne geçişi hızlandırır. Ancak akıllı yeşil limanlar, modern liman operasyonları için hem çevresel hem de ekonomik zorunlulukları yansıtan eksiksiz bir paradigma oluşturmaktadır. Sürdürülebilir uygulamalar ile altyapının geliştirilmesi, teknoloji entegrasyonu, yenilenebilir enerji kaynakları, iklim değişikliğinin azaltılması, paydaş katılımı ve ekonomik faydalar arasındaki karşılıklı ilişkinin incelikleri bu makalede ele alınmıştır. Sürdürülebilir limanlar, akıllı teknolojilerin ve çevre dostu çözümlerin benimsenmesi yoluyla iklim değişikliği sorunlarının çözümüne yönelik önemli bir adım teşkil etmektedir.

6. SONUÇLAR

Bu analizin sonuçları, akıllı yeşil limanların, denizcilik sektöründeki operasyonel verimliliğin artırılmasıyla birlikte çevresel zorlukların ele alınması açısından çok yüksek bir potansiyele sahip olduğunu vurgulamaktadır.

Sektör. Yapay zeka (AI), Nesnelerin İnterneti (IoT) ve akıllı coğrafi bilgi sistemleri (GIS) gibi ileri teknolojilerin entegrasyonu, sera gazı emisyonlarını azaltırken liman operasyonlarını optimize etmeye yardımcı olabilecek modern bir dönüştürücü yaklaşım haline gelmiştir. Bu konuda yapılan bazı önemli gözlemler arasında, akıllı teknolojileri kullanan limanlarda görülen dikkate değer verimlilik artışları yer almaktadır. Örneğin, otomatik sistemler aracılığıyla gerçek zamanlı veri analitiği, kargo işlemlerinin hızlı bir şekilde yürütülmesine ve lojistik yönetimine yardımcı olmuştur. Nitekim raporda yer alan Rotterdam Limanı ve Maersk Line gibi vaka çalışmaları, yapay zekâ odaklı çözümlerin emisyonlarda önemli azalmalarla birlikte kayda değer yakıt verimliliği sağlayabileceğini göstermektedir. Bu gelişmeler, liman operasyonlarının ekonomik uygulanabilirliğini artırmanın yanı sıra çevresel sürdürülebilirliğe de katkıda bulunmaktadır. Dahası, araştırmalar teknolojinin benimsenmesi ile çevresel etki arasında net bir ilişki olduğunu göstermektedir. Genel olarak, limanlarda akıllı teknoloji entegrasyonu ne kadar yüksekse, emisyonlarda elde edilen azalma da o kadar yüksek olmaktadır. Öte yandan, teknolojinin daha az benimsendiği limanlar, gemiler için akıllı hız yönetim sistemlerinin uygulanmasından önemli marjinal kazanımlar elde edebilmektedir. Bu ters ilişki, verimliliği ve sürdürülebilirliği artırmak için teknolojik ilerlemeye yatırım yapmanın önemini vurgulamaktadır.

Bulgular ayrıca liman yetkilileri, nakliye şirketleri ve yerel topluluklar gibi paydaşlar arasında koordinasyon ihtiyacına işaret etmektedir. Ayrıca, etkili iklim eylem planları için genel olarak daha geniş sürdürülebilirlik hedefleri dahilinde koordineli stratejiler gerektirmektedir. Birden fazla paydaşın katılımı, iklim değişikliği sorununu çözmeye yönelik bütüncül bir yaklaşım sağlarken aynı zamanda denizcilik sektöründe ekonomik dayanıklılığı da korur. Kanıtlar, akıllı yeşil limanların bir yandan verimli operasyonlara izin verirken diğer yandan iklim değişikliği sorunlarını gerçekten ele aldığını göstermektedir. Sonuç olarak, yenilikçi teknolojiler ve paydaşların işbirliği, dünya çapında büyük, geniş kapsamlı sürdürülebilirlik programlarının çevresel ayak izini minimumda tutabileceği yollar sunabilir. Ancak gelecekte akıllı çözümlerin daha da geliştirilmesi ve entegrasyonu ile denizcilik sektöründeki zorlukların üstesinden başarıyla gelinebilecek ve daha sürdürülebilir ve verimli bir sektör ortaya çıkacaktır.

7. ÖNERİLER

Akıllı yeşil limanların etkinliğini ve sürdürülebilirliğe katkısını daha da artırmak için mevcut araştırmalara ve en iyi uygulamalara dayanarak çeşitli öneriler oluşturulabilir. Bunun anahtarı, tüm liman yetkililerinin yenilenebilir enerji kaynaklarını benimseyerek enerji yönetimine yönelik bütüncül bir yaklaşım izlemesidir. Bu, fosil yakıt tüketiminin en aza indirilmesine katkıda bulunacak güneş, rüzgar ve diğer yenilenebilir enerji teknolojilerine yatırımı da içerir. Liman idareleri ve enerji sağlayıcıları arasındaki ortaklıklar uygun altyapının geliştirilmesinin yenilenebilir enerjinin benimsenmesinin ve sera gazı emisyonlarında önemli kesintiler yapılmasının bir yolu olabilir. İkincisi, liman endüstrisinin operasyonlarında minimum kaynak israfı ile daha fazlasını elde etmesine yardımcı olan teknolojilerin geliştirilmesidir. Bu, eğer dahil edilirse, IoT cihazları ve yapay zeka kullanımı sayesinde gerçek zamanlı izleme ve veri analizinin iyileştirilmesine olanak tanır.

Limanlardaki tıkanıklığı öngörmek için tahmine dayalı analitik kullanabilir ve verimlilik için kargo elleçleme ve gümrükleme sistemlerinden bu tür darboğazların stressiz bir şekilde yönetilmesini sağlayabilir. Bu, yerel topluluklar, devlet kurumları, nakliye şirketleri ve çevre gruplarıyla işbirliğini içerir. Bu şekilde işbirliği yapılması, bu grupların bilgi paylaşımında bulunmalarına ve çevresel hedeflerle ekonomik uygulanabilirliği dengelemeye çalışan en iyi uygulamaları geliştirmelerine olanak tanır. Uluslararası iklim değişikliği anlaşmaları doğrultusunda açıkça tanımlanmış sera gazı emisyon azaltım taahhütlerinin belirlenmesi çok önemlidir. Bu hedefler iddialı ancak gerçekçi bir şekilde erişilebilir olmalı, sürdürülebilirliğe olan bağlılığımızı göstermeli ve ilerleme için ölçülebilir bir çerçeve sağlamalıdır. Düzenli değerlendirmeler çerçevesinde emisyonlar ve operasyonel uygulamalar değerlendirilecek ve artan hesap verebilirlik sayesinde daha iyi performans elde edilecektir. Ayrıca, liman personelinin eğitimi ve kapasitesi için hiyerarşilerin oluşturulması, bu personelin yaratılan yeni çalışma ortamına hazırlanmasını sağlayan kilit yatırımlardır.

Daha karmaşık teknolojilerle başa çıkabilecek ve daha sürdürülebilir uygulamaları benimseyebilecek becerilere sahip profesyonellerin yetiştirilmesi operasyonel verimliliği büyük ölçüde artıracaktır. Düzenli çalışan geliştirme programlarının uygulanması şunları teşvik eder

liman operasyonları genelinde yenilikçilik ve uyarlanabilirlik. Ayrıca, limanların yeni teknolojilerin yanı sıra sürdürülebilirliği teşvik etmek için yeni yollar yaratacak yeni yaklaşımlar geliştirmeye yönelik araştırma çabalarına katılmaları önemlidir. Akademik ve endüstriyel uzmanlar, her bir limanın kendine özgü zorluklarına yönelik yenilikçi çözümler üzerinde birlikte çalışmalıdır. Pilot projeler daha sonra yaygınlaştırılmadan önce bu yeni yöntemlerin denenmesi için hayata geçirilecektir. Sonuç olarak, bu önerilerin benimsenmesi bu limanı akıllı ve yeşil hale getirebilir, günlük operasyonlarda sürdürülebilirliğin bir simgesi olabilir ve aynı zamanda verimliliği artırabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, yeni teknolojiler, paydaş katılımı, emisyon azaltma hedefleri, işgücü eğitimi ve Ar-Ge, iklim değişikliğiyle mücadelede akıllı yeşil liman hedeflerine anlamlı bir şekilde yardımcı olacaktır.

Akıllı yeşil limanlar için önerilen entegre yapı, denizcilik sektöründe sürdürülebilirliğin ve iklim değişikliğinin azaltılmasının getirdiği çok yönlü zorlukların ele alınmasında önemli bir değişimi temsil etmektedir. Ekonomik teknoloji ve insan davranışını iç içe geçiren ve paydaş katılımı yoluyla sürdürülebilirliği sağlayan bu teorik yöntem kullanılarak, liman operasyonları için çevre yönetimine giden yolu gösteren bir model geliştirilmiştir. Çerçeve, teknolojik bir çözümün etkinliğinin ve başarısının tüm paydaşlarla uygun bir çalışma ilişkisi yoluyla kullanılabileceğini anlamaktadır. Bu, operasyonel verimlilik ve çevresel sorumluluk arasındaki eş-bağımlı ilişkiyi vurgulamakta ve bunların birbirini dışlayan hedefler değil, aksine birbirini güçlendiren faktörler olduğunu belirtmektedir. Önerilen çerçeve, gelişmiş IoT, yapay zeka ve büyük verideki en son teknolojileri kullanarak limanda mevcut olan liman ayrıntıları işlevlerini ve hizmetlerini etkinleştirecek ve geliştirecek, ayrıca denizcilik çevre etkisinin izlenmesi ve potansiyel risklerin azaltılmasını sağlayacaktır. Bu teknolojiler emisyonlar, enerji tüketimi ve diğer önemli çevresel parametreler hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlayarak liman yetkililerinin bilinçli kararlar almasına ve hedeflenen sürdürülebilirlik programlarını uygulamasına olanak tanır.

Daha da önemlisi, bu yapı toplumdan ve paydaşlardan gelen girdilere izin vermektedir. Yerel ihtiyaçların farklı olduğunu, bu nedenle sürdürülebilirliğin yerel olarak ve topluma uygun şekilde uygulanması gerektiğini anlar. Dijital platformlar

bu katılımı sağlayabilir, kamuoyuna en güncel çevresel veriler için kanal görevi görebilir ve paydaş geri bildirimlerini toplayabilir. İklim değişikliğinin etkileri liman altyapısı ve operasyonları için daha büyük riskler oluşturduğundan, çerçeve iklim direncini de temel bir bileşen olarak benimsemektedir. Limanların yükselen deniz seviyeleri gibi iklim temelli tehditlere karşı plan yapmalarına yardımcı olmak için gelişmiş sensör ağlarının konuşlandırılmasını ve yapay zeka destekli tahmine dayalı analitiklerin kullanılmasını önermektedir. Liman düzeyindeki bu yaklaşım, daha geniş kapsamlı iklim değişikliği fikriyle bağlantılıdır ve limanların iklim krizine yönelik bir yol haritası geliştirmesine olanak sağlayabilir.

Akıllı yeşil limanlar için bu kapsamlı çerçeve aşağıdaki temel unsurlar üzerine inşa edilmiştir:

- Yenilenebilir enerji entegrasyonuna odaklanan genel bir enerji planı uygulamak. Fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak için güneş, rüzgar ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi
- Yenilenebilir enerjinin benimsenmesini sağlamak için gerekli altyapıyı oluşturmak üzere enerji sağlayıcılarla işbirliği yapmak.
- Yenilenebilir enerji kullanımını artırmak için yeni teknolojileri kullanmaya odaklanın. verimlilik.
- Daha iyi gerçek zamanlı izleme ve veri analitiği için IoT (Nesnelerin İnterneti) cihazlarının uygulanması ve yapay zekanın kullanılması.
- Hem sıkışıklığı tahmin etmek hem de kargo elleçleme süreçlerini iyileştirmek için tahmine dayalı analitik uygulamak.
- Sürdürülebilirlik programları oluşturmak için birden fazla paydaş grubu arasında ortaklıklar kurmak.
- Yerel topluluklardan, devlet kurumlarından, nakliye şirketlerinden ve çevre örgütlerinden bilgi aktarımı için katılım alın ve çevresel hedefleri ekonomik uygulanabilirlikle uyumlu hale getiren en iyi uygulamaları geliştirmeye başlayın.
- Emisyon azaltma hedefleri uluslararası iklim anlaşmalarına uygun olarak belirlenmelidir.
- Liman personelinizi eğitin ve personele ileri teknolojileri ve sürdürülebilir uygulamaları kullanma becerileri kazandırarak kapasitelerini geliştirin.

- Sürdürülebilirlik için yeni teknolojileri ve yöntemleri araştıran araştırma projelerinde yer almak.
- Liman sorunlarına yönelik yenilikçi süreçler ve çözümler oluşturmak için akademik kurumlar ve sektör uzmanlarıyla iş birliği yapmak
- Ölçek büyütmeden önce yeni yöntemleri test etmek için pilot projeler düzenleyin.

Bu öneriler, limanların sürdürülebilirlik ve operasyonel verimliliğe odaklanan daha akıllı yeşil kurumlar haline gelmesini sağlar.

Akıllı yeşil limanlar (SGP'ler) ve iklim değişikliğinin azaltılması söz konusu olduğunda, liman sürdürülebilirliği girişimlerinde farklı topluluklar ve paydaşlar rol oynamakta, bu da bu toplulukların ve paydaşların kimler olduğunu netleştirmeyi önemli hale getirmektedir. Bu ayrım, akıllı yeşil liman gelişiminde toplum katılımı ve katılımcı yaklaşımlarla ilgili tartışmalar bağlamında önem kazanmaktadır. Denizcilik şirketlerini, gemi sahiplerini, liman işletmecilerini ve diğer piyasa paydaşlarını içeren endüstri, genellikle küresel düzenlemelere uyumun yanı sıra maliyete karşı operasyonel verimliliğe öncelik vermektedir (Durlik vd., 2024b). En sevdikleri akıllı yeşil liman girişimleri genellikle lojistik verimliliği, yakıt tasarrufu ve genel olarak daha iyi liman operasyonunu destekleyen dijitalleşme programlarıyla ilgilidir (Imafidon vd., 2024). Örneğin, Singapur Limanı'nda rıhtım planlamasına yardımcı olmak için otomatik kılavuzlu araçların (AGV'ler) ve Yapay Zekanın kullanılması, bu topluluğun yararına olacak şekilde operasyonel verimlilikte önemli kazanımlar sağlamıştır (Carvalho vd., 2016). Buna karşılık, limanlara yakın bölgelerde yaşayan sakinlerden oluşan vatandaş topluluğunun çevresel kalite, kamu sağlığı ve yerel ekonomik fırsatlar açısından çerçevelenmiş farklı öncelikleri vardır (Buticchi vd., 2022).

Bu topluluk özellikle hava ve gürültü kirliliği, trafik sıkışıklığı ve limanlardaki gelişmelerin genel yaşam kalitesi üzerindeki etkileri konusunda endişe duymaktadır. Özellikle vatandaş topluluğu, kendi ihtiyaçlarına yönelik akıllı yeşil liman girişimleriyle ilgilenmektedir (örneğin, rölantide çalışan gemilerin emisyonunu hafifletmek için kıyıda gemiye güç sistemleri (Wang vd., 2024). Bu toplulukların kendi çıkarları olsa da, özellikle çevresel sürdürülebilirlik konusunda kabul edilmesi gereken örtüşme alanları da vardır

ve iklim değişikliğine adaptasyon. Bu da sera gazı emisyonlarını azaltır, daha temiz bir hava ve iklim risklerine karşı toplum direncinin artmasını sağlar (Lechtenböhrer vd., 2018). Akıllı liman ve akıllı şehir girişimlerinin uyumlu hale getirilmesi, akıllı yeşil liman girişimlerinin hem limanın hem de şehrin ihtiyaç ve gereksinimlerini karşılamasını sağlayacaktır. Bu da denizcilik sektöründen, yerel topluluklardan, çevre örgütlerinden ve hükümetten temsilcilerin yer aldığı katılımcı paydaş katılım süreçleri sayesinde mümkün olacaktır (Bazaras vd., 2017). Bunlar toplu olarak, tüm paydaşları potansiyel olarak etkileyen sayısız çıkarları kabul ederken iklim değişikliğini ele alabilecek daha bütüncül ve geniş kabul gören sürdürülebilirlik girişimlerini temsil etmektedir.

8. GELECEKTEKİ ARAŞTIRMA YÖNELİMLERİ

Dolayısıyla bu analiz, akıllı yeşil limanlar ve iklim değişikliğinin azaltılması, altyapının iyileştirilmesi ve daha iyi genel sürdürülebilirlik perspektifleri için toplum temelli eylemler konularında gelecekteki çalışmaları bilgilendirmelidir. Daha fazla araştırma gerektiren çok sayıda alan bulunmaktadır:

- Akıllı yeşil liman teknolojilerinin yerel ekosistemler ve toplumlar üzerindeki uzun vadeli etkilerine ilişkin boylamsal çalışmalar. Bu çalışmalar, yeni liman uygulamalarının uzun vadede çevresel kaliteyi, ekonomik kalkınma refahını ve sosyal refahı nasıl etkileyeceğini ele almalıdır. Bu tür araştırmalar, değişen iklim tehditleri karşısında akıllı yeşil projelerin sosyal sürdürülebilirliğinin ve dayanıklılığının anlaşılmasına katkıda bulunabilir.
- Farklı coğrafi ve kültürel bağlamlarda çeşitli toplum katılımı modellerinin araştırılması ve karşılaştırmalı analizleri. Akıllı yeşil liman olgusu yayıldıkça, toplumların sürdürülebilirlik çabalarına katılımının farklı şekil ve nedenlerini keşfetme ihtiyacı da artmaktadır. Bu tür araştırmalar, hangi en iyi uygulamaların spesifik olduğunu ve bunların farklı liman ortamlarında çalışmak üzere ne kadar uyarlanabileceğini bulmamızı sağlayabilir (Us vd., 2022).
- Yerel paydaşları ortak tasarım ve ortak faaliyetlere dahil etmek için öncü katılımcı eylem araştırması tekniklerinin analizi

akıllı yeşil liman faaliyetlerinin uygulanması. Topluluk üyeleri ağaçlar, parklar, yeşil yollar, kentsel su taşkınları gibi yerel çevre projelerinin sorumlusu olabilirlerse, bu durum projelerin topluluk tarafından sahiplenilmesini sağlayabilir ve kendi bölgelerinde hangi katılım türlerinin en iyi şekilde çalıştığına dair iyi veriler sağlayabilir (Ogut vd., 2024).

- Akıllı Yeşil Liman Teknolojilerinin Denizcilik Bölgelerindeki Yerli Bilgi Sistemleriyle Bütünleştirilmesi Bu araştırma, yeni teknolojileri eski dünya bilgeliğiyle birleştirerek sürdürülebilir liman yönetimi için benzersiz stratejilerin keşfedilmesine yol açabilir (P vd., 2024).
- Bunlar arasında, akıllı yeşil liman girişimleri bağlamında sosyal sermayeyi ve topluluk direncini ölçmek için sosyal açıdan kapsamlı ölçütlerin geliştirilmesi ve doğrulanması da yer almaktadır. Bu araçlar, insanların katılımını sağlamaya yönelik farklı yaklaşımların ne kadar etkili olduğunu ve toplumların iklim değişikliğine uyum sağlamasında oynadıkları rolü değerlendirmeye yardımcı olabilir (Basile, 2021).
- Bu yol, adanın akıllı yeşil limanının çevresel izleme ve yönetiminde yeni bir teknoloji destekli vatandaş bilimi programları dalgası için fırsat sunmaktadır. Araştırmalar, toplum tarafından tabandan veri toplama ve analiz çabalarının limanın sürdürülebilirliğini ilerletmede nasıl bir rol oynayabileceğini ve destekleyebileceğini inceleyebilir (Rasowo vd., 2024).
- Toplumun akıllı yeşil limanlara uzun süreli bağlılığının sağlanmasında eğitimin rolünün incelenmesi. Bu nedenle, liman sürdürülebilirliği girişimlerini yerel okullar ve toplum merkezleri ile ilişkilendiren nesiller arası eğitim programlarının kabul edilebilirliğinin araştırılması (Unegbu vd., 2024).
- Akıllı yeşil teknolojilerin uygulanmasında yerel topluluklar ve liman yetkilileri arasında gerekli ve etkili çatışma çözüm mekanizmalarının incelenmesi. Bu çalışma, çatışan çıkarlara aracılık etmek ve tartışmalı bağlamlarda güven tesis etmek için kritik öneme sahiptir (Balbaa vd., 2019).

Seçilen bu tür araştırma alanları, akıllı yeşil limanların enerji verimliliğini azaltma hedeflerine ulaşma kabiliyetine ilişkin anlayışımızı büyük ölçüde geliştirecektir.

iklim değişikliği ve denizcilik bağlamında toplum katılımı ve sürdürülebilir kalkınmanın uygulanabilirliğini sağlamak.

REFERANSLAR:

01. Ahmad, D. S. N. A., Fazleen Abdul Fatah, Abdul Rahman Saili, Jamayah Saili, Nur Masriyah Hamzah, Rumaizah Che Md Nor, & Zubaidah Omar. (2024). Küçük Ölçekli Çiftçiler Arasında Akıllı Tarımın Benimsenmesindeki Zorlukların Araştırılması: Nitel Bir Çalışma. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 45(1), 17-27. <https://doi.org/10.37934/araset.45.1.1727>
02. Ahmed, H. A., Mandour, M. A., & Helal, D. M. (2024). İklim Değişikliğinin Azaltılması ve Adaptasyonuna Yönelik Kentsel Doku Tasarım Stratejileri Üzerine Analitik Bir Çalışma. *Mühendislik Araştırma Dergisi*, 183(3), 252-265. <https://doi.org/10.21608/erj.2024.299809.1061>
03. Alamoush, A. S., Ölçer, A. I., & Ballini, F. (2022). Liman sera gazı emisyonlarının azaltılması: Liman ve kamu otoritelerinin uygulama planları. *Research in Transportation Business & Management*, 43, 100708. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100708>
04. Alzate, P., Isaza, G. A., Toro, E. M., Jaramillo- Garzón, J. A., Hernandez, S., Jurado, I., & Hernandez, D. (2024). Akıllı limanlarda operasyonel verimlilik ve sürdürülebilirlik: kapsamlı bir inceleme. *Marine Systems & Ocean Technology*, 19(1-2), 120-131. <https://doi.org/10.1007/s40868-024-00142-z>
05. Arunachalam, S., Naess, B., Seppanen, C., Valencia, A., Brandmeyer, J. E., Venkatram, A., Weil, J., Isakov, V., & Barzyk, T. (2019). Havaalanları çevresindeki toplum ölçeğinde değerlendirmeler için hava kalitesi modellemesini desteklemek amacıyla uçak kaynakları için yeni bir aşağıdan yukarıya emisyon tahmin yaklaşımı. *Uluslararası Çevre ve Kirlilik Dergisi*, 65(1/2/3), 43. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2019.101832>
06. Ayesu, E. K. (2023). Deniz taşımacılığı çevresel emisyonlara neden oluyor mu? Afrika ülkelerinden kanıtlar. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 21, 100873. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100873>
07. Balbaa, A., Swief, R. A., & El-Amary, N. H. (2019). Eko-Limanlarda Karbondioksit Emisyonunun Azaltılması için Hibrit Parçacık Sürü Optimizasyonu Tekniğine Dayalı Akıllı Entegrasyon. *Sustainability*, 11(8), 2218. <https://doi.org/10.3390/su11082218>
08. Barona, J., Ballini, F., & Canepa, M. (2023). Avrupa'da denizcilik sanayi limanlarının döngüsel gelişimi: mevcut durumun yarı sistematik bir incelemesi. *Journal of Shipping and Trade*, 8(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s41072-023-00153-w>
09. Basile, V. S. (2021). AKILLI TARIMDA ÜÇ KATMANLI İŞ MODELİ KANVASI: EVJA STARTUP ÖRNEĞİ. 2, 79-113. <https://doi.org/10.14596/pisb.2844>
10. Basulo-Ribeiro, J., Pimentel, C., & Teixeira, L. (2024). Deniz Limanlarında Dijital Dönüşüm: Portekiz'de Bir Konteyner Terminalinde Süreç İyileştirme Yoluyla Akıllı Kapıların Tanımlanması. *Future Internet*, 16(10), 350. <https://doi.org/10.3390/fi16100350>
11. Bazaras, D., Palšaitis, R., Petraška, A., & Zvaigzne, A. (2017). Baltık Denizi Limanlarında Acil Durum Risk Değerlendirmesi Kriter Sistemi. *Transport and Telecommunication Journal*, 18(4), 275-281. <https://doi.org/10.1515/tj-2017-0024>
12. Bougioukou, E. (2023a). Liman operasyonlarında ve akıllı, yeşil ve sürdürülebilir limanların geliştirilmesinde teknolojik ilerlemelerin rolünün araştırılması. *TAPPI Journal*, 22(5).
13. Bougioukou, E. (2023b). Liman operasyonlarında ve akıllı, yeşil ve sürdürülebilir limanların geliştirilmesinde teknolojik ilerlemelerin rolünün araştırılması. *TAPPI Journal*, 22(5).

14. Bulmer, E., & Yáñez-Araque, B. (2023). Çok Paydaşlı Ortaklıklar Yoluyla İklim Değişikliğiyle Mücadele: İklim Değişikliği ile Mücadele için SKH 17'nin Teşvik Edilmesi. *Energies*, 16(9), 3777. <https://doi.org/10.3390/en16093777>
15. Buticchi, G., Carne, G. de, Pereira, T. A., Wang, K., Gao, X., Yang, J., Ko, Y., Zou, Z., & Liserre, M. (2022). *Yeşil Havaalanı Elektrifikasyonu için Çok Portlu Akıllı Transformatör*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:252998954>
16. Cannon, C., Gao, Y., & Wunder, L. (2015). *Los Angeles Limanı-Şangay Belediye Ulaşım Komisyonu Kıyı Gücü Eko Ortaklığı*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:106844697>
17. Carvalho, L. M., Teixeira, J., & Matos, M. (2016). Uzun vadeli operasyonel rezerv yeterlilik değerlendirmesinde rüzgar enerjisi belirsizliğinin modellenmesi: Naïve ve ARIMA tahmin modelleri arasında karşılaştırmalı bir analiz. *2016 Uluslararası Güç Sistemlerine Uygulanan Olasılıksal Yöntemler Konferansı (PMAPS)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/PMAPS.2016.7764083>
18. Cavalli, L., Lizzi, G., Guerrieri, L., Querci, A., De Bari, F., Barbieri, G., Ferrini, S., Di Meglio, R., Cardone, R., Tardo, A., Pagano, P., Tesei, A., & Lattuca, D. (2021). Geleceğin Limanında Verimlilik ve Sürdürülebilirliğin 5G ile Ele Alınması: Livorno Limanı Deneyimi. *İnovasyon Teknolojilerinin Liman Operasyonları Üzerindeki Faydalarını Ölçmek İçin Metodolojik Bir Öngörü. Sustainability*, 13(21), 12146. <https://doi.org/10.3390/su132112146>
19. Chien, F., Ngo, Q.-T., Hsu, C.-C., Chau, K. Y., & Iram, R. (2021). Gelişmiş ülkelerdeki küçük ve orta ölçekli işletmelerde yeşil finansman ve kamu harcamalarına yönelik engellerin mekanizmasının değerlendirilmesi. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(43), 60495-60510. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14907-1>
20. Clemente, D., Cabral, T., Rosa-Santos, P., & Taveira-Pinto, F. (2023). Mavi Limanlar: Geleceğin Akıllı, Sürdürülebilir ve Elektrikli Limanları. *Smart Cities*, 6(3), 1560-1588. <https://doi.org/10.3390/smartcities6030074>
21. D'Amico, G., Szopik-Decpczyńska, K., Dembińska, I., & Ioppolo, G. (2021). Akıllı ve sürdürülebilir Liman kentlerinin lojistiği: Etkinleştirici faktörleri, alanları ve hedefleri anlamak için bir çerçeve. *Sürdürülebilir Şehirler ve Toplum*, 69, 102801. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102801>
22. Densberger, N. L., & Bachkar, K. (2022). Kaliforniya limanlarında sıfır emisyonlu kargo elleçleme teknolojilerinin benimsenmesini hızlandırmaya doğru: Los Angeles ve Long Beach Limanları örneğinden çıkarılan dersler. *Journal of Cleaner Production*, 347, 131255. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131255>
23. Dev, D. S., & Manalo, J. A. (2023). Gelişmekte olan ülkelerin iklim değişikliği burslarında toplumsal cinsiyet ve uyum kapasitesi: sistematik bir literatür taraması. *Climate and Development*, 15(10), 829-840. <https://doi.org/10.1080/17565529.2023.2166781>
24. Dinh, G. H., Pham, H. T., Nguyen, L. C., Dang, H. Q., & Pham, N. D. K. (2024). Liman Operasyonlarının Verimliliğini Artırmak için Yapay Zekadan Yararlanma. *Polish Maritime Research*, 31(2), 140-155. <https://doi.org/10.2478/pomr-2024-0030>
25. dos Reis, M. T. L. G. V., Poseiro, P. G. G., Fortes, C. J. E. M., Conde, J. M. P., Didier, E. L., Sabino, A. M. G., & Grueau, M. A. S. R. (2014). *Deniz Yapılarında Risk Yönetimi* (s. 1179-1190). https://doi.org/10.1007/978-3-642-55122-2_102
26. Durlik, I., Miller, T., Kostecka, E., Łobodzinska, A., & Kostecki, T. (2024a). Sürdürülebilir Denizcilik ve Yeşil Limanlar için Yapay Zekadan Yararlanma: Zorluklar ve Fırsatlar. *Uygulamalı Bilimler*, 14(14), 5994. <https://doi.org/10.3390/app14145994>
27. Durlik, I., Miller, T., Kostecka, E., Łobodzinska, A., & Kostecki, T. (2024b). Sürdürülebilir Denizcilik ve Yeşil Limanlar için Yapay Zekadan Yararlanma: Zorluklar ve Fırsatlar. *Uygulamalı Bilimler*, 14(14), 5994. <https://doi.org/10.3390/app14145994>
28. Dzemydienė, D., Burinskienė, A., Čižiūnienė, K., & Miliauskas, A. (2023). Intermodal Yük Taşımacılığının İzlenmesi ve Yönetimi için IoT ve WSN'lere Dayalı E-Hizmet Sağlama Sistemi Mimarisinin Geliştirilmesi. *Sensors*, 23(5), 2831. <https://doi.org/10.3390/s23052831>

29. el Makhoulfi, A. (2023). *Taşımacılıkta Yapay Zeka Uygulaması ve Lojistik: Fırsatlar ve Zorluklar*. CoE City Net Zero, Teknoloji Fakültesi, Amsterdam Uygulamalı Bilimler Üniversitesi. <https://research.hva.nl/en/publications/ai-application-in-transport-and-logistics-opportunities-and-chall>
30. Elmahdi, A., & Jeong, J. (2024). Borçtan Sürdürülebilirliğe: Gelişmekte Olan Ülkelerdeki Atıksu Projelerinin Yenilikçi Finansman Mekanizmalarıyla İlerletilmesi - İklim Takasları İçin Borçlanmanın Rolü. *Climate*, 12(8), 122. <https://doi.org/10.3390/cli12080122>
31. ESPO. (2021). Avrupa Deniz Limanları Organizasyonu Çevre Raporu 2021. *Espo*, 4(4), 32.
32. Fuller, A., Fan, Z., Day, C., & Barlow, C. (2020). Dijital İkiz: Etkinleştirici Teknolojiler, Zorluklar ve Açık Araştırma. *IEEE Access*, 8, 108952-108971. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998358>
33. Funda, V., & Francke, E. (2024). Gelişmekte olan ülkelerdeki yükseköğretim kurumlarında AIOPS'un benimsenmesi ve kullanılmasının faydaları ve zorlukları. *South African Journal of Higher Education*, 38(6). <https://doi.org/10.20853/38-6-6096>
34. Glimfjord, J., & Shariza, K. M. (2024). *Denizcilik sektöründeki ÇUŞ'lar ve çevresel sürdürülebilirliğe uyumları üzerine nitel bir çalışma* [Yüksek Lisans Projesi].
35. Goniewicz, K., Burkle, F. M., & Khorram-Manesh, A. (2025). Küresel halk sağlığını dönüştürmek: İklim işbirliği, siyasi zorluklar ve sistemik değişim. *Enfeksiyon ve Halk Sağlığı Dergisi*, 18(1), 102615. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2024.102615>
36. Gviliya, N. A., & Kochurova, A. A. (2022). Kuzey Deniz Rotası'nın lojistik altyapısında akıllı liman sisteminin oluşturulması. *Astrakhan Devlet Teknik Üniversitesi Vestnik. Serisi: Economics*, 2022(3), 89-95. <https://doi.org/10.24143/2073-5537-2022-3-89-95>
37. Homayouni, S. M., Pinho de Sousa, J., & Moreira Marques, C. (2024). Limanlarda sürdürülebilirliği sağlamak için dijital ikizlerin potansiyelini ortaya çıkarmak: uygulama durumu ve geleceğe bakış. *WMU Journal of Maritime Affairs*. <https://doi.org/10.1007/s13437-024-00349-2>
38. Housni, F., Boumane, A., Rasmussen, B. D., Britel, M. R., Barnes, P., Abdelfettah, S., Lakhmas, K., & Maurady, A. (2022). Çevresel sürdürülebilirlik olgunluk sistemi: Deniz limanı yöneticilerine çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada yardımcı olacak entegre bir sistem ölçeği. *Environmental Challenges*, 7, 100481. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100481>
39. Ibrahim, I., Jalil, S. A., & Abdul Rasam, A. R. (2024a). Malezya Limanlarında Yeşil Liman Uygulamalarının Geliştirilmesi için Akıllı CBS Uygulamaları: Önerilen Kavramsal Bir Çerçeve. *Semarak Uluslararası Taşımacılık ve Lojistik Dergisi*, 1(1), 1-12. <https://doi.org/10.37934/sijtl.1.1.112>
40. Ibrahim, I., Jalil, S. A., & Abdul Rasam, A. R. (2024b). Malezya Limanlarında Yeşil Liman Uygulamalarının Geliştirilmesi için Akıllı CBS Uygulamaları: Önerilen Kavramsal Bir Çerçeve. *Semarak Uluslararası Taşımacılık ve Lojistik Dergisi*, 1(1), 1-12. <https://doi.org/10.37934/sijtl.1.1.112>
41. Ihara, I., Zhao, R., Pandyaswargo, A. H., & Onoda, H. (2020). Japonya'nın İklim Değişikliğini Azaltma ve Temiz Teknoloji Geliştirme Politikalarının Etkinliğinin Değerlendirilmesi. *Indonesian Journal of Computing, Engineering and Design (IJoCED)*, 2(1), 1. <https://doi.org/10.35806/ijoced.v2i1.98>
42. Imafidon, H., Enwerem, M., & Boye, A. (2024). Gelişmekte Olan Ülkelerde Yeşil Bina Uygulamalarının ve Akıllı Teknolojinin Uyarlanması. *African Journal of Environmental Sciences and Renewable Energy*, 16(1), 183-202. <https://doi.org/10.62154/ajesre.2024.016.010407>
43. İnal, Ö. B. (2024). *Düşük Karbonlu Enerji ve Sürdürülebilirlik Açısından Yeşil Limanlara Bir Yaklaşım*. 11(1), 43-49.
44. Issa Zadeh, S. B., Esteban Perez, M. D., López-Gutiérrez, J.-S., & Fernández-Sánchez, G. (2023). Akıllı Limanlarda Akıllı Enerji Altyapısının Optimize Edilmesi: Karbon Ayak İzinin Azaltılmasına İlişkin Sistemik Bir Kapsam İncelemesi. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(10), 1921. <https://doi.org/10.3390/jmse11101921>

45. Issa Zadeh, S. B., López Gutiérrez, J. S., Esteban, M. D., Fernández-Sánchez, G., & Garay-Rondero, C. L. (2023). Limanların Karbon Ayak İzini Azaltma Çabalarına İlişkin Literatürün Kapsamı. *Sustainability*, 15(11), 8558. <https://doi.org/10.3390/su15118558>
46. Izaguirre, C., Losada, I. J., Camus, P., Vigh, J. L., & Stenek, V. (2021). Küresel liman operasyonları için iklim değişikliği riski. *Nature Climate Change*, 11(1), 14-20. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00937-z>
47. Junaidi, W. (2024). Gelişmekte Olan Ülkelerdeki Şehirlerde Dijital Dönüşüm Uygulamalarının Stratejik Kullanım Örnekleri. *Business Economic, Communication, and Social Sciences Journal (BECOSS)*, 6(3), 201-210. <https://doi.org/10.21512/becossjournal.v6i3.12084>
48. Karagkouni, K., & Boile, M. (2024). Limanlarda Uygulanan Yeşil Uygulamaların Sınıflandırılması: Yeşil Teknolojilerin, Araçların ve Stratejilerin Uygulanması. *Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 12(4), 571. <https://doi.org/10.3390/jmse12040571>
49. Katemliadis, I., & Markatos, G. (2021). Paydaşların sürdürülebilirlik planlaması ve uygulamasına katılımı: Kıbrıs örneği. *Worldwide Hospitality and Tourism Themes*, 13(6), 709-718. <https://doi.org/10.1108/WHATT-07-2021-0095>
50. Kumar, A., Calzavara, M., Velaga, N. R., Choudhary, A., & Shankar, R. (2019). Sürdürülebilir yük taşımacılığının modellenmesi ve analizi. *Uluslararası Üretim Araştırmaları Dergisi*, 57(19), 6086-6089. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1642689>
51. Kurniawan, F., Aziza, M. R., Hasanah, N. A., Junikhah, A., Alam, L. S., Wibawa, A. P., & Hammad, J. (2024). SKH'leri Tamamlamaya Yönelik Gelecekteki Öğrenme Çabalarının Yaşam Temelli Öğrenme Özellikleri Olarak Yenilikçi Akıllı Yeşil Kampüs. *Journal of Lifestyle and SDGs Review*, 5(2). <https://doi.org/10.47172/2965-730X.SDGsReview.v5.n02.pe02908>
52. Lechtenböhmer, S., Schostok, D., Kobiela, G., Knoop, K., Pastowski, A., & Heck, S. (2018). *Rotterdam Limanı ile ilgili taşımacılık ve lojistik için derin dekarbonizasyon yolları: PoR transport; synthesis report.* <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:169540913>
53. Lee, J.-U., Lee, W.-J., Jeong, E.-S., Noh, J.-H., Kim, J.-S., & Lee, J.-W. (2022). Kore Gemi Hızı Azaltma Programına Katılan Gemilerin Gerçek Hızına Dayalı Emisyonları İzleme Algoritması. *Energies*, 15(24), 9555. <https://doi.org/10.3390/en15249555>
54. León-Mateos, F., Sartal, A., López-Manuel, L., & Quintás, M. A. (2021). Deniz limanlarımızı iklim değişikliğinin zorluklarına adapte etmek: Liman Esneklik Endeksinin geliştirilmesi ve doğrulanması. *Marine Policy*, 130, 104573. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104573>
55. Mahmud, K. K., Chowdhury, M. M. H., & Shaheen, Md. M. A. (2024). Sürdürülebilir liman operasyonları için yeşil liman yönetimi uygulamaları: Asya limanlarında çok yöntemli bir çalışma. *Maritime Policy & Management*, 51(8), 1902-1937. <https://doi.org/10.1080/03088839.2023.2258125>
56. Meyer, C., Gerlitz, L., & Prause, G. (2023). Sürdürülebilir Elektrifikasyon ve Yeşillendirme için Dijitalleşme TEN-T Koridorları Boyunca Küçük ve Orta Ölçekli Limanlar. *CONNECT. Uluslararası Çevre ve İklim Teknolojileri Bilimsel Konferansı*, 47. <https://doi.org/10.7250/CONNECT.2023.028>
57. Min, H. (2022). Endüstri 4.0 çağında akıllı liman mimarisi ve temel unsurların geliştirilmesi. *Maritime Economics & Logistics*, 24(2), 189-207. <https://doi.org/10.1057/s41278-022-00211-3>
58. Notteboom, T., van der Lugt, L., van Saase, N., Sel, S., & Neyens, K. (2020). Yeşil Tedarik Zinciri Yönetiminde Limanların Rolü: Rotterdam, Antwerp, Kuzey Denizi Limanı ve Zeebrugge'deki Girişimler, Tutumlar ve Perspektifler. *Sustainability*, 12(4), 1688. <https://doi.org/10.3390/su12041688>
59. Ogbu, A. D., Nsiong Louis Eyo-Udo, Mojisola Abimbola Adeyinka, Williams Ozowe, & Augusta Heavens Ikevuje. (2023). Petrol, gaz ve enerji sektörlerinde sürdürülebilirlik ve iklim değişikliğinin azaltılması için kavramsal bir tedarik modeli. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 20(3), 1935-1952. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.20.3.2304>

60. Ogut, O., Tzortzi, J. N., & Bertolin, C. (2024). İklim Değişikliğini Azaltma Stratejisi Olarak Dikey Yeşil Yapılarda Gelecek Yönelimleri Öngörmek İçin Bir Yol Haritası Oluşturulması: Teknoloji Odaklı Uygulamalar Üzerine Eleştirel Bir İnceleme. *Sustainability*, 16(11), 4543. <https://doi.org/10.3390/su16114543>
61. Oloruntobi, O., Mokhtar, K., Gohari, A., Asif, S., & Chuah, L. F. (2023). Daha yeşil ve temiz deniz taşımacılığına doğru sürdürülebilir geçiş deniz taşımacılığı endüstrisi: Zorluklar ve fırsatlar. *Cleaner Engineering and Technology*, 13, 100628. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100628>
62. Othman, A., El Gazzar, S., & Knez, M. (2022). Akıllı Liman Uygulamalarının ve Teknoloji İstihdamının Limanın Sürdürülebilir Performansı Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması: Mısır Örneği. *Sustainability*, 14(21), 14014. <https://doi.org/10.3390/su142114014>
63. P, S., S, P., P, R., Panotra, N., D, T., Upadhyay, L., Meghana, B. S., & Sakhamo, K. (2024). Sürdürülebilir Bahçe Bitkileri Girişimlerinde Toplum Katılımının Teşvik Edilmesi Üzerine Eleştirel Bir İnceleme. *Journal of Scientific Research and Reports*, 30(8), 394-404. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i82262>
64. Pham, T. Y. (2023). Akıllı liman gelişimi: Sistematiik literatür ve bibliyometrik analiz. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 39(3), 57-62. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2023.06.005>
65. Philipp, R. (2020). Digital readiness index assessment towards smart port development. *Sürdürülebilirlik Yönetimi Forumu | NachhaltigkeitsManagementForum*, 28(1-2), 49-60. <https://doi.org/10.1007/s00550-020-00501-5>
66. Rasowo, J. O., Nyonje, B., Olendi, R., Orina, P., & Odongo, S. (2024). Çevresel sürdürülebilirliğe doğru: Kenya'nın Mavi Ekonomisindeki karbonsuzlaştırma projelerinden daha fazla kanıt. *Frontiers in Marine Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1239862>
67. Sadiq, M., Ali, S. W., Terriche, Y., Mutarraf, M. U., Hassan, M. A., Hamid, K., Ali, Z., Sze, J. Y., Su, C.-L., & Guerrero, J. M. (2021). Geleceğin Daha Yeşil Limanları: Yeni Altyapı, Zorluklar ve Enerji Verimliliği Önlemleri Üzerine Bir İnceleme. *IEEE Access*, 9, 75568-75587. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3081430>
68. Sankla, W., & Muangpan, T. (2022). Akıllı ve Sürdürülebilir Liman Performans içinde Tayland: Kavramsal Bir Model. *Sürdürülebilir Kalkınma Dergisi*, 15(4), 1. <https://doi.org/10.5539/jsd.v15n4p1>
69. Saraswati, R., & Wirawan, A. (2024a). IoT ve Denizcilik Sınırı: Gemi Güvenliği ve Takibinde Yenilikler. *Asian American Research Letters Journal*, 1(4).
70. Saraswati, R., & Wirawan, A. (2024b). IoT ve Denizcilik Sınırı: Gemi Güvenliği ve Takibinde Yenilikler. *Asian American Research Letters Journal*, 1(4).
71. Satta, G., Vitellaro, F., Njikatoufon, A. G., & Risitano, M. (2024). Limanlarda yeşil stratejiler: paydaş yönetimi perspektifi. *Maritime Economics & Logistics*. <https://doi.org/10.1057/s41278-024-00294-0>
72. Schneider, C., Lechtenböhmer, S., & Samadi, S. (2020). Rotterdam'ın sanayi kümesinin karbonsuzlaştırılmasıyla ilgili riskler ve fırsatlar. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 35, 414-428. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.05.004>
73. Setyo, A. A. A., Kurniadi, D., & Hozairi, H. (2023). 2015-2023 Yılları Arasında Yeşil Liman Uygulamasına Yönelik Araştırma Geliştirme Çalışmalarının Bibliyometrik Analizi. *Dinamika Bahari*, 4(2), 11-19. <https://doi.org/10.46484/db.v4i2.382>
74. Sotirov, M. K., Petrova, V. M., & Dimitrov, D. P. (2024). Gelecekteki Gelişmeler için Teorik Çerçeve: Yapay Zeka Tabanlı Tahminler ve Karadeniz'in Bulgaristan Sektöründeki Kıyı Limanları için Risk Değerlendirmesi. <https://doi.org/10.20944/preprints202407.1541.v1>
75. Su, Z., Liu, Y., Gao, Y., Park, K.-S., & Su, M. (2024a). Dijital Teknoloji Kullanarak Yeşil Liman Dönüşümü İçin Kritik Başarı Faktörleri. *Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/jmse12122128>

76. Su, Z., Liu, Y., Gao, Y., Park, K.-S., & Su, M. (2024b). Dijital Teknoloji Kullanarak Yeşil Liman Dönüşümü İçin Kritik Başarı Faktörleri. *Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/jmse12122128>
77. Sunghyun, S., Kim, D., Park, K., & Bae, H. (2024). Liman Lojistiğinde Verimliliği, Çevreyi ve Güvenliği Artırmak için Yapay Zeka Tabanlı Akıllı Liman Lojistiği Metaverse: Busan Limanı Üzerine Bir Vaka Çalışması.
78. Unegbu, H. C. O., Yawas, D. S., Dan-asabe, B., & Alabi, A. A. (2024). Sürdürülebilir İnşaat Projelerinde Toplum Katılımının Araştırılması: Nijerya'dan Vaka Çalışmaları. *Journal of Sustainable Construction*, 4(1), 10-36. <https://doi.org/10.26593/josc.v4i1.8109>
79. Us, Y., Pimonenko, T., Lyulyov, O., Chen, Y., & Tambovceva, T. (2022). Sosyal Medyada Üniversitenin Yeşil Markasının Tanıtımı: Metin Madenciliği ve Duygu Analizi. *Virtual Economics*, 5(1), 24-42. [https://doi.org/10.34021/ve.2022.05.01\(2\)](https://doi.org/10.34021/ve.2022.05.01(2))
80. Wang, J., Li, H., Yang, Z., & Ge, Y.-E. (2024). Kıyı Limanda gemi emisyonlarının azaltılması için güç: Bibliyometrik bir analiz. *Ulaştırma Araştırmaları Bölüm E: Logistics and Transportation Review*, 188, 103639. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103639>
81. Xiao, G., Wang, Y., Wu, R., Li, J., & Cai, Z. (2024). Sürdürülebilir Deniz Taşımacılığı: Akıllı Gemicilik Teknolojisi ve Yeşil Liman İnşaatı Uygulamaları Üzerine Bir İnceleme. *Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 12(10), 1728. <https://doi.org/10.3390/jmse12101728>
82. Yu, H., Deng, Y., Zhang, L., Xiao, X., & Tan, C. (2022). Yard Operations and Management in Automated Container Terminals: A Review. *Sustainability*, 14(6), 3419. <https://doi.org/10.3390/su14063419>
83. Yu, P., Zhaoyu, W., Yifen, G., Nengling, T., & Jun, W. (2023). Entegre liman enerji sisteminde dijital ikiz teknolojisinin uygulama beklentisi ve anahtar teknolojileri. *Frontiers in Energy Research*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.1044978>
84. Zhang, Z., Song, C., Zhang, J., Chen, Z., Liu, M., Aziz, F., Kurniawan, T. A., & Yap, P.-S. (2024). Yeşil limanlarda dijitalleşme ve inovasyon: Sürdürülebilir limanların ve deniz lojistiğinin teşvik edilmesinde güncel konular, katkılar ve ileriye dönük yol üzerine bir inceleme. *Science of The Total Environment*, 912, 169075. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169075>
85. Zhao, R., Song, Y., Zhao, Z., Fu, Q., & Zhao, R. (2024). Konteyner Terminallerinde Emisyon Azaltım Projeleri için Yatırım Miktarı ve Azaltım Verimliliğini Dikkate Alan İki Amaçlı Kombinatoriyal Optimizasyon Modeli. *Ulaştırma Araştırma Kaydı: Ulaştırma Araştırma Kurulu Dergisi*. <https://doi.org/10.1177/03611981241255364>