

Yayın Geliş Tarihi: 26.02.2026  
Yayına Kabul Tarihi: 26.06.2026  
Online Yayın Tarihi: 29.06.2026  
DOI: 10.18613/deudfd.1897262

*Araştırma Makalesi (Research Article)*

Dokuz Eylül Üniversitesi  
Denizcilik Fakültesi Dergisi  
Cilt:18 Sayı:1 Yıl:2026  
Sayfa:167-219  
E-ISSN: 2458-9942

## SOĞUK ZİNCİR LOJİSTİĞİNDE KÜRESEL EĞİLİMLER VE ARAŞTIRMA BOŞLUKLARI: B-SLR YAKLAŞIMIYLA BİR ANALİZ

EMRE İPEKÇİ<sup>1</sup>

### ÖZ

*Bu çalışma, gıda güvenliği ve sağlık lojistiği açısından stratejik öneme sahip soğuk zincir lojistiği literatürünün entelektüel evrimini Bibliyometrik-Sistemik Literatür İncelemesi çerçevesinde analiz etmektedir. Metodolojik şeffaflığı sağlamak amacıyla PRISMA protokolü izlenerek rafine edilen veri toplama süreci sonucunda, Web of Science (WoS) veri tabanından elde edilen 2016-2026 dönemine ait 1.941 akademik yayın VOSviewer yazılımı kullanılarak incelenmiştir. Ortak yazar, anahtar kelime ve bibliyografik eşleşme analizleri sonucunda literatürün temelini oluşturan 5 ana tematik küme tespit edilmiştir. Tematik doygunluk prensibi doğrultusunda, en yüksek bağlantı gücüne (Total Link Strength) sahip 25 merkez makale üzerinden yürütülen nitel içerik sentezinde bu sayısal kümeler; dijital izlenebilirlik, operasyonel risk yönetimi ile sürdürülebilir fiziksel/enerji çözümleri olmak üzere üç makro-eksende yapılandırılmıştır. Bulgular, literatürün geleneksel mekanik soğutma problemlerinden, yapay zekâ ve nesnelerin interneti tabanlı "Soğuk Zincir 4.0" ekosistemine doğru dönüşme eğiliminde olduğuna işaret etmektedir. Salt betimsel bir döküm sunmanın ötesine geçen bu çalışma, fiziksel-dijital senkronizasyon eksikliklerine dikkat çekmekte; gelecekteki araştırmalar için yol gösterici bir araştırma gündemi ve kavramsal çerçeve önermektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** *Soğuk Zincir Lojistiği, Bibliyometrik Analiz, Sistemik Literatür Taraması (BSLR), Tedarik Zinciri Yönetimi, Sürdürülebilirlik*

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Samsun Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, Denizcilik İşletmeleri Yönetimi Bölümü, emre.ipekci@samsun.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0389-2089.

## GLOBAL TRENDS AND RESEARCH GAPS IN COLD CHAIN LOGISTICS: AN ANALYSIS WITH THE B-SLR APPROACH

### ABSTRACT

*This study analyzes the intellectual evolution of the cold chain logistics literature, which holds strategic importance for global food security and healthcare resilience, utilizing a Bibliometric-Systematic Literature Review approach. Following the strict application of the PRISMA protocol to ensure methodological transparency, a refined dataset of 1,941 academic publications from the Web of Science Core Collection (2016–2026) was analyzed using VOSviewer software. Through co-authorship, keyword co-occurrence, and bibliographic coupling analyses, 5 main thematic clusters forming the foundation of the literature were identified. Guided by principles of thematic saturation, an in-depth qualitative content analysis of the 25 core papers with the highest total link strength synthesized these quantitative clusters into three macro-axes: digital traceability, operational risk management, and sustainable physical/energy solutions. Findings suggest a conceptual shift in the literature from traditional mechanical cooling challenges toward a data-driven "Cold Chain 4.0" ecosystem supported by artificial intelligence and the Internet of Things. Moving beyond a purely descriptive inventory, this study highlights critical gaps in physical-digital synchronization and proposes a forward-looking research agenda and conceptual framework for future research, focusing on macro-level risk management and compliance with emerging sustainability regulations.*

**Keywords:** *Cold Chain Logistics, Bibliometric Analysis, Systematic Literature Review (BSLR), Supply Chain Management, Sustainability*

## 1. GİRİŞ

Soğuk zincir lojistiği; gıda, ilaç ve kimya gibi hassas sektörlerde tedarik zincirinin tüm aşamalarında belirli bir ısı rejiminin korunmasını zorunlu kılan stratejik bir operasyonel süreçtir. Özellikle Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO, 2023) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2025) gibi uluslararası kurumların raporlarında da vurgulandığı üzere, küresel gıda israfının önlenmesi ve sürdürülebilir halk sağlığının korunmasında soğuk zincir altyapısının rolü kritik bir öneme sahiptir. İklim değişikliğinin artan etkileri ve Covid-19 pandemisi sonrası ortaya çıkan ultra düşük sıcaklıktaki aşırı lojistiği krizleri, bu alana duyulan ihtiyacı arttırmış; küresel tedarik zincirlerinin dayanıklılığını bir zorunluluk haline getirmiştir (Manupati vd., 2021). Günümüzde soğuk zincir, yalnızca yalıtımlı araçlarla yapılan mekanik bir taşıma faaliyeti olmaktan çıkmış; uluslararası katı regülasyonlara (AB, FDA vb.) uyumu zorunlu kılan, nesnelere interneti (IoT) ve blokzincir

(blockchain) destekli veri odaklı bir ekosisteme dönüşmüştür (Behdani vd., 2019; Ghadge vd., 2023).

Mevcut literatür genel bir değerlendirmeye tabi tutulduğunda, soğuk zincir lojistiğini konu alan bibliyometrik ve sistematik derleme çalışmalarının alanı bütüncül bir makro perspektiften ele almak yerine, belirli operasyonel, teknik veya sektörel alt kategorilere odaklandığı görülmektedir. Örneğin, uluslararası literatürdeki öncü çalışmalardan Shashi vd. (2024) yalnızca dijital dönüşüm ve sürdürülebilirlik teknolojilerinin kesişimine (Soğuk Zincir 4.0) odaklanırken; Qi ve Li (2024) konuyu tamamen operasyonel bir alt dal olan araç rotalama problemlerinin (CCVRP) evrimi ile sınırlandırmış; Habazin vd. (2025) ise sadece yapay zeka (AI) ve tersine lojistik ekseninde incelemelerde bulunmuştur. Diğer taraftan, yakın dönemde yayınlanan Kolcubaşı vd. (2026) gibi çalışmalar alanı genel kavramlar çerçevesinde ele almış olsa da, analizlerini mekansal ve istatistiksel durum tespitleriyle sınırlı bırakmışlardır. Söz konusu çalışmalar kendi alt disiplinlerinde değerli içgörüler sunsa da, soğuk zincir lojistiğinin teknik, operasyonel, sürdürülebilirlik ve dijital dönüşüm boyutlarını tek bir potada eriten bütünleşik bir teorik sentez eksikliği varlığını sürdürmektedir. Sektördeki bu teknolojik ve operasyonel dönüşüme rağmen, multidisipliner bir yapıya sahip olan literatürün evrimini bütüncül olarak ortaya koyan güncel bir harita henüz çıkarılmamıştır. Bu çalışma hem ulusal hem de uluslararası yazındaki bu parçalı yapıyı ortadan kaldırmak amacıyla kurgulanmış olup; önceki çalışmalarla olan yapısal ve metodolojik farklılıkları makalenin kapsamını netleştirmek adına Tablo 1'de detaylı bir şekilde açıklamıştır. Tablo 1'de karşılaştırmalı olarak sunulan çalışmalardan Kolcubaşı vd. (2026) TR Dizin veri tabanında taranırken; incelenen diğer tüm çalışmalar Web of Science (WoS) veri tabanında indekslenmektedir.

**Tablo 1.** Mevcut Çalışmanın Soğuk Zincir Lojistiği Alanındaki Öncü Çalışmalarla Karşılaştırmalı Pozisyonlanması

Yayın Adı	Yazarlar	Kapsanan Dönem ve Örneklem Büyüklüğü	Tematik Odak	Metodoloji ve Yazılım	Özgünlük / Temel Katkı
The evolution of the cold chain logistics vehicle routing problem: a bibliometric and visualization review	Qi ve Li, 2024	2008 – 2024 7.381 çalışma	<b>Modelleme Odaklı:</b> Yalnızca soğuk zincir araç rotalama problemleri	Bibliyometrik Analiz & VOSviewer ve CiteSpace	Matematiksel çözüm algoritmalarının evrimi ve disiplinler arası kısıtların incelenmesi.
Visualization and Analysis of Hotspots and Trends in Seafood Cold Chain Logistics Based on CiteSpace, VOSviewer, and RStudio Bibliometrix	Hu vd. 2024	2012-2024 1.787 çalışma	<b>Sektörel Odaklı:</b> Yalnızca deniz ürünleri soğuk zincir lojistiği	Bibliyometrik Analiz (CiteSpace, VOSviewer)	Belirli bir ürün grubundaki saklama teknikleri ve kayıp önleme stratejilerinin haritalanması.
Phase change materials for cold energy storage: Insights from three decades of research trends advancements, and future directions	Odoi-Yorke vd., 2026	1994 – 2024 769 çalışma	<b>Altyapı Odaklı:</b> Faz değiştiren maddeler (PCM) ve termal enerji depolama	Bibliyometrik Analiz & VOSviewer	Soğutma sistemlerindeki malzeme biliminin ve termal iletkenliğin bibliyometrik incelenmesi.
Shaping the Future of Cold Chain 4.0 Through the Lenses of Digital Transition and Sustainability	Shashi vd., 2024	1991-2022 618 çalışma	<b>Teknoloji Odaklı:</b> Soğuk Zincir 4.0, dijitalleşme ve sürdürülebilirlik	Bibliyometrik ve Ağ Analizi & VOSviewer ve Gephi	Dijital ve sürdürülebilir teknolojilerin soğuk zincir üzerine etkileri araştırılmıştır.
Food cold chain logistics and management: A review of	Mustafa vd. 2024	2002-2024 114 çalışma	<b>Gıda Odaklı:</b> Yalnızca gıda	Bibliyometrik Analiz &	Gıda depolama ömrü, RFID izlenebilirliği ve gıda

current development and emerging trends			tedarik zinciri (FCCLM)	VOSviewer ve Biblioshiny	güvenliğinin değerlendirilmesi.
A Review of Artificial Intelligence Applications in Cold Chain and Reverse Logistics	Habazin vd., 2025	2010 – 2024 95 çalışma	<b>Yapay Zeka Odaklı:</b> Soğuk zincir ve tersine lojistikte yapay zeka (AI) kullanımı	Sistemik Literatür Taraması (SLR)	Endüstri 4.0 teknolojilerinin soğuk zincir yönetiminde AI tabanlı çözümlerin incelenmesi.
Sustainability of Perishable Food Cold Chain Logistics: A Systematic Literature Review	Zhang ve Mohamad, 2024	2010 – 2023 80 çalışma	<b>Sürdürülebilirlik Odaklı:</b> Bozulabilir gıda tedarik zincirinde çevresel kısıtlar	Sistemik Literatür Taraması (PRISMA)	Altyapı eksiklikleri ve enerji kullanımına yönelik sürdürülebilir uygulamaların özeti.
Exploring Research on Cold Chain Logistics through Bibliometric Analysis	Kolcubaşı vd., 2026	2010 – 2024 911 çalışma	<b>Genel Lojistik Odaklı:</b> "Cold Chain" ve "Logistics" kavramlarının kesişimi	Bibliyometrik Analiz & VOSviewer ve Gephi	Baskın yazarların, eş-dizilim haritalarının ve genel araştırma alanlarının betimsel listelenmesi.
Mevcut Çalışma	İpekçi, E.	2016 – 2026 1941 çalışma	<b>Bütüncül odak:</b> Soğuk zincir lojistiğinin ile ilgili yapılan çalışmalara genel yaklaşım	B-SLR ve VOSviewer	Kopuk alt kategorileri birleştiren 25 ana makalenin derinlemesine içerik analizi ve stratejik yaklaşımla kurgulanması.

Bu çalışma, Web of Science (WoS) veri tabanında yayımlanan 1.941 akademik yayını Bibliyometrik-Sistemik Literatür İncelemesi (B-SLR) yöntemiyle analiz ederek bu kritik boşluğu doldurmayı amaçlamakta ve aşağıdaki dört temel araştırma sorusuna yanıt aramaktadır;

- Literatürün kavramsal ve coğrafi yapısı nasıldır? Hangi yazarlar, kurumlar ve ülkeler bilgi üretimine öncülük etmektedir?
- Soğuk zincir lojistiği araştırmaları hangi tematik kümelerde yoğunlaşmaktadır ve bu eğilimler zaman içinde nasıl bir evrim geçirmiştir?
- Literatürün entelektüel yapısını şekillendiren öncü makalelerin teorik yaklaşımları ve operasyonel odakları nelerdir?
- Sektörel dinamikler ve akademik bulgular ışığında, mevcut literatürdeki araştırma boşlukları nelerdir ve gelecekteki araştırma gündemi nasıl şekillenmelidir?

Bu soruları yanıtlamak üzere, çalışmanın nicel aşamasında VOSviewer yazılımı kullanılarak; yazar işbirlikleri, atıf ağları ve bibliyografik eşleşme haritaları oluşturulmuştur. Nitel aşamada ise, sadece kelime yığınlarını analiz etmek yerine, literatürün birbirinden kopuk alt disiplinleri arasında entelektüel köprü görevi gören ve haritalama sonucunda en yüksek Toplam Bağlantı Gücüne (TLS) sahip olduğu tespit edilen 25 lider makale üzerinde derinlemesine içerik analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın literatüre sunduğu temel bilimsel katkı, soğuk zincir literatüründeki kavramsal kopuklukları metodolojik bir köprü kurarak giderme çabasıdır. Mevcut tanımlayıcı bibliyometrik çalışmalar literatürde spesifik noktalara odaklanırken; bu çalışmada özellikle B-SLR yönteminin tercih edilmesi, büyük veri kümelerinde yer alan operasyonel mühendislik gibi alt disiplinlere bütüncül bir bakış açısı ile yaklaşma çabasıdır. Dolayısıyla bu çalışma, salt istatistiksel bir özet sunmak yerine; Soğuk Zincir 4.0 ekosisteminin teorik, metodolojik ve pratik sınırlarını çizen kapsamlı bir referans modeli ortaya koyma potansiyeli taşımaktadır.

## **2. SOĞUK ZİNCİR LOJİSTİĞİ**

Soğuk zincir lojistiği, ürünlerin tedarik zinciri boyunca taşınması esnasında gerekli ısı rejimlerinin korunmasını esas almaktadır (İpekçi ve Tanyaş, 2021). Özellikle gıda sektörü başta olmak üzere ilaç, sağlık, kimya ve tarım sektörlerinde yoğun bir şekilde uygulanmaktadır (Turan ve Öztürkoğlu, 2022). Bu sektörler içerisinde gıda ürünleri, sahip oldukları özel nitelikler nedeniyle daha karmaşık bir soğuk zincir yönetimine ihtiyaç duymaktadır. Ambalajlama ve taşıma gereksinimlerinin homojen olmaması, mevsimsel değişimlerin taşıma hacimlerini etkilemesi ve fire oranlarını en aza indirmek için kullanılan ambalaj türlerinin çeşitliliği, bu karmaşıklığın başlıca

nedenleridir (Luning ve Marcelis, 2006). Nitekim, tarım ürünlerinde tarladan sofraya gerçekleşen süreçte oluşan fire oranlarının %30 ile %50 arasında değişebildiği, çeşitli araştırmalarda (örn. Kader, 2004; Vega, 2008, akt. Brenner, 2015: 75) ortaya konmuştur.

Son yıllarda nesnelerin interneti (IoT) tabanlı gerçek zamanlı sıcaklık izleme sistemleri, soğuk zincirdeki olası sapmaları yüksek doğrulukla tespit edebilmektedir (Tsang vd., 2018). IOT sistemleri yeni üretilen taşıma araçlarında dahili olarak yer alabildiği gibi haricen üretilen modüller sayesinde de hem taşıma araçlarına hem de birim haline getirilmiş yüklerle konularak gerçek zamanlı takibi mümkün kılmaktadır. Blokzincir teknolojisi ise, özellikle ilaç lojistiğinde ürünün menşei ve taşıma koşullarının anlık kaydını sağlayarak regülasyon uyumunu kolaylaştırmaktadır (Akram vd., 2024). Bu teknoloji taşıma esnasında sürekli kayıt tutarak market rafında satışa sunulan bir ürünün izlediği tüm yol boyunca ısı rejiminin kırılıp kırılmadığını da tüketicilere sunabilme yetisine sahiptir.

Soğuk zincir lojistiği, ürünlerin özelliklerini bozulmadan tedarik zinciri boyunca kesintisiz bir şekilde taşınmasını sağlasa da beraberinde bazı olumsuz ekolojik etkiler getirdiği göz ardı edilmemelidir. Gıda soğuk zincirinin, küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %4'ünü oluşturduğu tahmin edilmektedir (UNEP & FAO, 2022). Bu durum, taşıma araçlarından kaynaklanan emisyonların yanı sıra, soğutma ünitelerinde kullanılan gazlar ve bu ünitelerin sürekli çalışması için harcanan yakıt nedeniyle oluşmaktadır (Maiorino vd., 2021). Literatürde bu alanda yapılan çalışmalar arasında rota optimizasyonuna yönelik çalışmalara sıkça rastlanması karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik oldukça faydalı olmaktadır.

Soğuk zincir lojistiğinin özgün yapısı, bu alandaki akademik çalışmaların çeşitlenmesini teşvik etmekte ve disiplinler arası araştırmalara zemin hazırlamaktadır. Küresel ölçekte bilgi üretimi hızla artarken, ülkelerin bilimsel üretkenliği ve uzmanlık alanları; kendi ulusal lojistik altyapıları, coğrafi kısıtları ve yasal regülasyonlarıyla doğrudan şekillenmektedir. Geleneksel operasyonlardan Endüstri 4.0 bileşenlerine doğru yaşanan bu çok disiplinli teorik evrimi bütüncül bir vizyonla kavrayabilmek giderek daha önemli hale gelmektedir. Bu doğrultuda çalışmanın temel amacı; literatürün makro düzeydeki gelişimini ve teknolojik dönüşüm dinamiklerini salt kavramsal düzeyde değil, B-SLR araçlarıyla analitik bir çerçevede haritalandırmak ve değerlendirmektir.

### 3. YÖNTEM

Bu çalışmada, soğuk zincir lojistiği literatürünün mevcut yapısını, gelişim eğilimlerini ve gelecekteki araştırma yönelimlerini bütüncül bir yaklaşımla incelemek amacıyla hibrit bir yaklaşım olan B-SLR metodolojisi benimsenmiştir. Araştırmanın veri seti, akademik etki değeri yüksek ve uluslararası düzeyde kabul görmüş hakemli yayınlara ulaşabilmek amacıyla WoS veri tabanından elde edilmiştir. Çalışmanın sınırlarını şeffaf bir şekilde çizilebilir ve yazar önyargılarını en aza indirmek için veri toplama sürecinde önceden belirlenen protokollere bağlı kalınmıştır. Bu kapsamda araştırmanın temel sınırlarını, veri türünü ve zaman aralığını belirleyen dâhil etme ve hariç tutma kriterleri, Marzi vd. (2025) tarafından önerilen B-SLR iş akış diyagramına uygun olarak oluşturulmuş ve Tablo 2’de özetlenmiştir. Çalışmanın zaman aralığının 2016–2026 (Şubat) olarak belirlenmesinin temel nedeni son on yılda ortaya çıkan Endüstri 4.0 temelli teknolojilerin soğuk zincir lojistiği üzerinde yarattığı büyük teknolojik dönüşümdür. 2016 sonrası dönem, Nesnelere İnterneti, Blokzincir tabanlı izlenebilirlik sistemleri ve veri analitiği gibi Endüstri 4.0 bileşenlerinin lojistik operasyonlara entegre edildiği kritik bir eşiktir. Bu on yıllık periyot, literatürün geleneksel mekanik soğutma ve depolama problemlerinden sıyrılarak; gerçek zamanlı veri akışı, yapay zeka destekli rotalama ve Soğuk Zincir 4.0 gibi modern konseptlere yöneldiği geçiş evresini temsil etmektedir. Dolayısıyla, son on yılın seçilmesi salt kronolojik bir sınırlandırma değil, dijitalleşen yeni soğuk zincir ekosisteminin literatürdeki evrimini bütüncül olarak yakalamak için metodolojik bir gerekliliktir.

**Tablo 2:** Veri Toplama Protokolü ve Arama Stratejisi

Kriterler	Dahil Edilenler	Hariç Tutulanlar
<b>Veri Tabanı</b>	Web of Science (WoS) Core Collection	Scopus, Google Scholar, vb. diğer veri tabanları
<b>Yayın Yılı</b>	2016 – 2026 (Şubat)	2016 yılı öncesi yayınlar
<b>Doküman Türü</b>	Araştırma Makaleleri (Article) ve Derleme Makaleler (Review)	Kitap bölümleri, editoryal mektuplar, konferans bildirileri
<b>Yayın Dili</b>	İngilizce	İngilizce dışındaki yerel dillerde yazılmış yayınlar
<b>Arama Alanı</b>	Başlık (Title), Özet (Abstract), Anahtar Kelimeler (Keywords)	Yalnızca tam metin içinde geçen geçici atıflar

### **3.1. Bibliyometrik Analiz Yöntemi ve Veri Toplama**

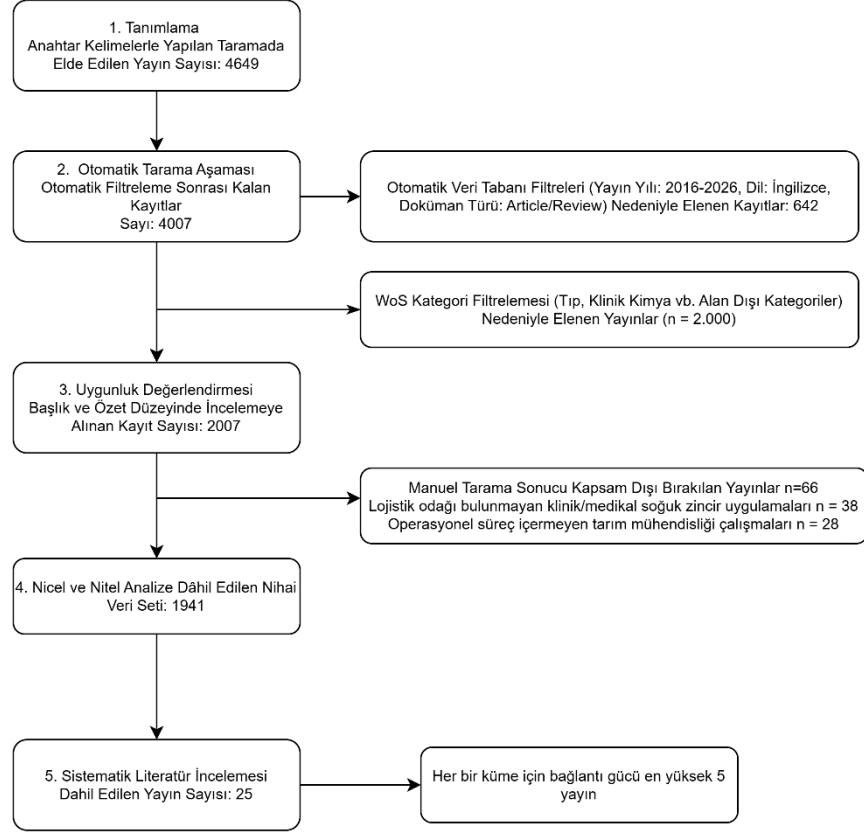
Veri setinin oluşturulmasında, WoS veri tabanında 2016–2026 yıllarını kapsayan geniş kapsamlı bir arama dizini “Başlık (Topic)” seçimi yapılarak sorgulanmıştır. Konuyla ilgili olan yayınlara eksiksiz bir erişim sağlayabilmek için aşağıdaki anahtar kelimeler ve arama tercihleri ile tarama yapılmıştır.

*("Cold chain" OR "Temperature-controlled supply chain" OR "Refrigerated transport" OR "Refrigerated logistic\*" OR "Cool chain" OR "Perishable food supply chain" OR "Pharmaceutical cold chain") AND ("Logistic\*" OR "Supply chain management" OR "Distribution" OR "Warehous\*" OR "Inventory management" OR "Maritime transport\*" OR "Shipping")*

Mevcut literatürdeki benzer bibliyometrik çalışmaların (örn. Kolcubaşı vd., 2026) yalnızca 'Cold Chain' ve 'Logistics' gibi dar anahtar kelime öbeklerine sıkışması, soğuk zincir operasyonlarının temelini oluşturan mühendislik ve yöneylem araştırması metinlerinin analiz dışında kalmasına yol açmaktadır. Bu kısıtı aşmak ve literatürü multidisipliner bir perspektifle haritalamak amacıyla; temel arama terimleri (cold chain logistic\*, cold chain transport\* vb.), alanın teknik ve operasyonel dinamiklerini yansıtan geniş bir anahtar kelime havuzuyla (örn. *algorithms, simulation, emission, food waste, packaging, temperature fluctuation, vehicle routing, phase change materials*) desteklenmiştir. Bu kapsayıcı arama stratejisi, çalışmanın örneklem hacmini 1.941 makaleye ulaştırmış ve konuyu sadece yönetsel bir lojistik terimi olmaktan çıkarıp; malzeme bilimi, gıda mühendisliği ve operasyonel optimizasyon eksenlerinde genişletmiştir.

Literatür taraması, 12 Şubat 2026 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Kapsayıcı arama dizesi sonucunda ilk aşamada 4.649 yayına ulaşılmıştır. Analizin tekrar üretilebilirliğini sağlamak adına veri setinin rafine edilmesinde PRISMA protokolü izlenmiştir. Yayın yılı (2016-2026), dil (İngilizce) ve doküman türü (Article/Review) filtreleri uygulandığında 642 yayın elenmiş ve 4.007 makale kalmıştır. Genişletilmiş arama dizesinin konuya doğrudan odaklanmayan makaleleri getirme riskini en aza indirmek amacıyla 'WoS Kategori Filtrelemesi' (Lojistik, Gıda Bilimi, Sürdürülebilirlik vb. dışındaki tıp, klinik veya salt kimya makaleleri gibi) uygulanmış; bu uygunluk aşamasında 2.000 yayın otomatik olarak elenmiştir. Geriye kalan 2.007 makale üzerinde gerçekleştirilen manuel başlık ve özet taraması sonucunda; lojistik odaklı olmayan saf klinik/medikal araştırmalar ile doğrudan lojistik süreç içermeyen tarım

mühendisliği çalışmalarından oluşan 66 yayın kapsam dışı bırakılmıştır. Bu şeffaf eleme adımları sonucunda nihai analize dâhil edilecek 1.941 makalelik net bir veri setine ulaşılmıştır. Söz konusu veri akışı süreci ve kesin dışlama nedenleri Şekil 1’de detaylandırılmıştır.



Şekil 1: Akış Diyagramı ve B-SLR Veri Eleme Süreci

Bibliyometrik analiznin güvenilirliğini ve veri setinin yapısal bütünlüğünü sağlamak amacıyla, VOSviewer yazılımına entegre edilmek üzere gerekli olan her bir analiz için kavramlar ve eş anlamlılar sözlüğü dosyası (Thesaurus) oluşturulmuştur. Thesaurus dosyası ile yapılan veri temizliğine örnek olarak; 'internet of things', 'iot' ve 'internet of thing' gibi farklı yazılan ama aslında aynı anlamı ihtiva eden anahtar kelimeler 'IoT' altında birleştirilmiş; 'USA' ve 'United States' gibi ülke isimleri, yazar ve kurum isimlerindeki farklı yazım varyasyonları manuel olarak standartlaştırılmıştır (Söz konusu kavramsal birleştirme ve standardizasyon işlemlerinin sistematik tam listesi EK-B'de sunulmuştur). Bibliyometrik

bulguların başka araştırmacılar tarafından da şeffafça doğrulanabilmesi için yazılımın teknik konfigürasyonları belirli bir standarda bağlanmıştır: Ağ analizlerinde "Tam Sayım (Full Counting)" metodu tercih edilmiş; yazarlar, dokümanlar ve anahtar kelimeler için haritaya dahil edilme minimum eşiği (threshold) 5 olarak belirlenmiştir. Görselleştirme aşamasında normalizasyon yöntemi olarak "Bağlantı Gücü" (Association Strength) kullanılmış, harita çekme/itme dinamikleri varsayılan ayarlarda bırakılmış ve kümeleme çözünürlüğü (clustering resolution) alt disiplinlerin aşırı parçalanmasını önlemek ve literatürü anlamlı makro-tematik gruplar halinde sentezleyebilmek amacıyla, Marzi vd. (2025) tarafından B-SLR metodolojisi için önerilen iteratif çözünürlük ayarlaması ve tematik homojenlik değerlendirmesi ilkeleri doğrultusunda test edilmiş ve 0.70 değerinde optimize edilmiştir. Çalışmanın tüm ağ haritalama, kümeleme ve iş birliği analizi aşamalarında standart bir kural olarak uygulanan bu veri temizleme protokolü iki temel amaca hizmet etmiştir. Bunlar; analiz birimlerindeki terminolojik dağınıklık ile eş anlamlılığı gidermek ve ülke, kurum analizlerinde veri tabanından dışa aktarım sırasında oluşan parçalanmaları standartlara uygun hale getirmektir. Gerçekleştirilen bu metodolojik standardizasyon sayesinde veri setindeki istatistiksel gürültü engellenmiş; kavramların, yazarların ve ülkelerin literatürdeki gerçek etki ağırlıkları haritalara sapmasız bir biçimde yansıtılmıştır.

### **3.2. Sistematik Literatür İncelemesi**

Sistematik Literatür İncelemesi (Systematic Literature Review - SLR), belirli araştırma sorularına yanıt bulmak amacıyla, önceden belirlenmiş, şeffaf ve tekrarlanabilir kriterler kullanılarak mevcut literatürün tanımlandığı ve sentezlendiği titiz bir araştırma yöntemidir (Cabrera ve Cabrera, 2023). Ancak geleneksel SLR çalışmaları, binlerce makaleyi kapsayan büyük veri setlerinde araştırmacı önyargısına ve manuel inceleme kısıtlarına takılmaktadır. Öte yandan, salt tanımlayıcı bibliyometrik analizler ise literatürün topoğrafyasını başarılı bir şekilde çizse de, kavramlar arasındaki derin teorik ilişkileri ve nedensellikleri (neden o kümelerin oluştuğunu) açıklamakta yetersiz kalmaktadır. Son yıllarda, hızla büyüyen veri setlerini analiz edebilmek için bibliyometrik haritalamanın nicel ve görsel gücü ile sistematik incelemenin nitel sentez kapasitesinin birleştirildiği B-SLR yaklaşımı ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmanın tasarımında, Marzi vd. (2025) tarafından literatüre kazandırılan ve literatür taramalarını analiz, sentez ve kuram geliştirme aşamalarıyla on temel adımda birleştiren B-SLR çerçevesi temel alınmıştır. Bu hibrit metodolojide bibliyometrik analiz literatürün kavramsal haritasını ve iskeletini çizerken; sistematik inceleme, öne çıkan merkez eserlerin içeriğini sentezleyerek bulgulara teorik bir anlam kazandırmaktadır. Böylelikle alanda gerçekleştirilen çalışmalar sadece

istatistiksel olarak değil; Soğuk Zincir 4.0, dijital izlenebilirlik ve operasyonel dirençlilik gibi stratejik konular çerçevesinde değerlendirilmesi sağlanmıştır.

Sadece istatistiksel ve görsel haritalamalarla sınırlı kalmamak ve literatürdeki mevcut araştırma boşluklarını tespit edebilmek amacıyla, VOSviewer tarafından konulara göre oluşturulan kümelerdeki bağlantı gücü en yüksek makaleler de içerik analizine tabi tutulmuştur. B-SLR aşamasında nitel içerik analizi için seçilecek makalelerin belirlenmesinde geleneksel 'en çok atıf alan makale' kriteri yerine, VOSviewer ağ analizinden elde edilen Toplam Bağlantı Gücü (Total Link Strength-TLS) skoru temel alınmıştır. Bunun temel nedeni; salt atıf sayısının makalenin popülaritesini göstermesi, yüksek TLS skorunun ise makalenin literatürdeki farklı alt disiplinleri birbirine bağlayan entelektüel bir merkez işlevi gördüğüne işaret etmesidir. Belirlenen 5 ana kümenin her birinden en yüksek TLS skoruna sahip makalelerin sistematik analize tabi tutulması, tekil kelimeler (örn. Blokzincir -blockchain ve araç rotalama problemi-VRP) arasındaki kopuklukların giderilmesini ve literatürün bütünleşik bir yapıda sentezlenmesini sağlamıştır. Her kümeden 5 makale seçilmesinin temel nedeni, literatürde baskın olan büyük bir kümenin (örn. sadece IoT kümesinin) nitel okumayı domine etmesini engellemek; tematik doygunluğa ulaşıldığı değerlendirilen bu merkez eserler üzerinden 5 farklı tematik eksenin tamamına eşit temsil hakkı tanımadır. Çalışmanın tek yazarlı yapısı göz önünde bulundurularak, yazar önyargısını en aza indirmek ve kodlama güvenilirliğini artırmak adına katı bir tümevarımsal kodlama çerçevesi kullanılmış; her bir makale 'Metodolojik Yaklaşım', 'Tematik Eksen' ve 'Teorik Çıkarım' sütunlarına ayrılarak çapraz okuma ile sistematik bir matrise (EK-A) işlenmiştir. Bu süreçte; özellikle bibliyografik analizinde en yüksek atıf sayısına ve toplam bağlantı gücüne sahip olan, kendi kümelerinin merkezinde yer alan temel çalışmalar tam metin olarak incelenmiştir. Yapılan okumalar sayesinde kümelerin arkasındaki teorik arka plan, öne çıkan araştırma konuları ve güncel soğuk zincir lojistiği çalışmalarının genel durumu elde edilmiştir.

#### **4. BULGULAR**

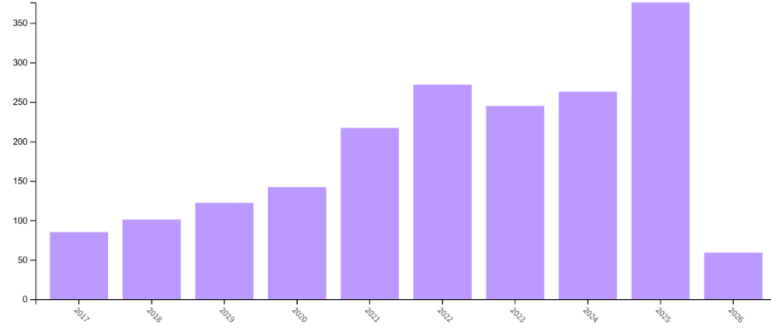
Bu bölümde, soğuk zincir lojistiği literatürünün mevcut durumunu ve evrimini ortaya koymak amacıyla yürütülen Bibliyometrik-Sistematik Literatür Taraması (B-SLR) analizlerinin sonuçları sunulmaktadır. İki temel eksenle yapılandırılan bulguların ilk aşamasında literatürün yıllara ve bilimsel disiplinlere göre gelişimini gösteren tanımlayıcı istatistikler yer verilmiştir. İkinci aşamada ise VOSviewer yazılımı aracılığıyla elde edilen bibliyometrik ağ haritalamaları (yazar, ülke, anahtar kelime ve bibliyografik eşleşme ağları)

detaylandırılmış; ardından bu ağların merkezinde yer alan tematik kümelerin derinlemesine içerik analizine yer verilmiştir.

#### 4.1. Tanımlayıcı İstatistikler ve Literatürün Gelişimi

Soğuk zincir lojistiği literatürünün genel gelişim seyrini ve karakteristik özelliklerini belirlemek amacıyla, ilk aşamada WoS veri tabanının analiz araçları kullanılarak tanımlayıcı istatistikler elde edilmiştir. Araştırma kapsamına dâhil edilen 1.941 makalenin 2016-2026 yılları arasındaki dağılımı Şekil 2’de sunulmuştur. Grafikteki eğilim incelendiğinde, 2017-2020 yılları arasında istikrarlı ancak nispeten yavaş bir büyüme sergileyen literatürün, 2021 yılı itibarıyla keskin bir ivme kazandığı ve yıllık 200 yayının üzerine çıktığı görülmektedir. Bu ani ivmelenmenin, COVID-19 pandemisinin küresel aşı tedarik zincirlerinde ve e-ticaret gıda teslimatlarında yarattığı operasyonel krizler ve artan akademik farkındalıkla doğrudan ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Yükseliş trendi 2025 yılında 350’nin üzerinde yayınlara tüm zamanların zirvesine ulaşmıştır. Dikkate değer bir diğer bulgu ise, analiz henüz 2026 yılının başında gerçekleştirilmiş olmasına rağmen, 2026 yılına ait 60 civarında yayının şimdiden veri tabanında indekslenmiş olmasıdır. Bu durum, soğuk zincir lojistiğinin akademik camiada doygunluğa ulaşmadığını; aksine güncelliğini ve aciliyetini koruyan, hızla büyüyen bir çalışma alanı olduğunu



göstermektedir.

**Şekil 2:** Yayınların Yıllara Göre Dağılımı

Yayınlara WoS kategorilerine göre analiz sonuçları ise Şekil 3’te özetlenmiştir. Şekil 3’e göre, soğuk zincir lojistiği çalışmalarının büyük bir kısmı (746 yayın) Gıda Bilimi ve Teknolojisi (Food Science Technology) kategorisinde yoğunlaşmaktadır. Bu durum, soğuk zincir literatürünün temel

çıkış noktasının taze ürünlerin raf ömrünün uzatılması ve gıda güvenliğinin sağlanması olduğunu doğrulamaktadır.



**Şekil 3:** Yayınların Web of Science Kategorilerine Göre Dağılımı

Ancak dikkate değer diğer bir bulgu, gıda bilimini takip eden kategorilerin sırasıyla; çevre bilimleri, enerji ve yakıtlar ve yeşil sürdürülebilir bilim ve teknoloji gibi sürdürülebilirlik eksenli alanlar olmasıdır. Bu dağılım, soğuk zincirin sadece ürünü soğuk tutma işlevinden çıktığını; yüksek enerji tüketiminin ve karbon emisyonlarının minimize edilmesi gereken, yeşil mühendislik ve döngüsel ekonomi prensiplerinin de yoğun bir şekilde yer aldığı bir odak noktası haline geldiğini göstermektedir.

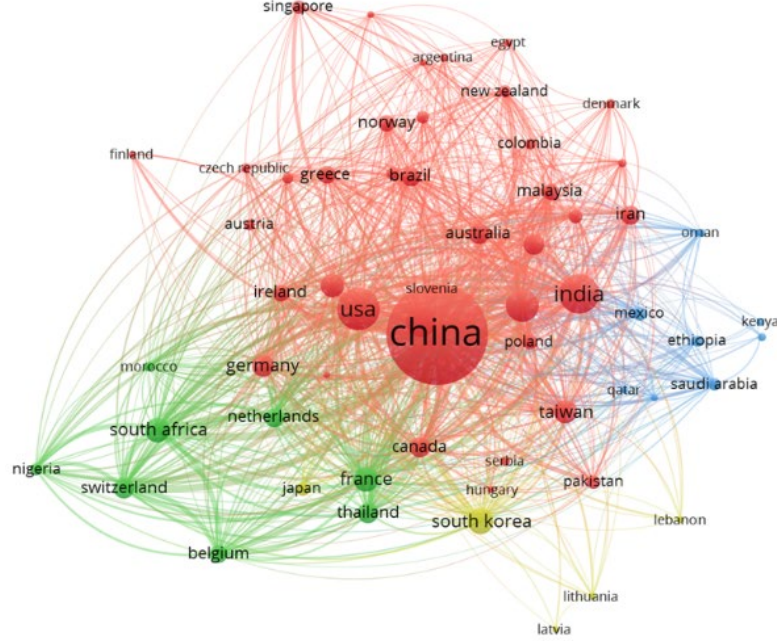
## 4.2. VOSviewer Bibliyometrik Haritalama Analizleri

### 4.2.1. Coğrafi Dağılım Analizi

Soğuk zincir lojistiği literatürüne katkı sağlayan ülkelerin coğrafi dağılımını, üretkenlik performanslarını ve küresel iş birliği ağlarını tespit etmek amacıyla ülke analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'de görselleştirilen bulgular, araştırmaların küresel ticaret rotaları ve tedarik zinciri dinamikleriyle doğrudan paralellik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Yayın üretkenliği ve atıf sayıları incelendiğinde, Çin'in 944 makale, 17.214 atıf ve 173.975 toplam bağlantı gücü ile analiz edilen veri setinde en üretken ülke olarak öne çıktığı görülmektedir. ABD (163 makale), Hindistan (145 makale), Birleşik Krallık (101 makale) ve İtalya (86 makale), Çin'in ardından literatürün en güçlü ülkeleri arasında yer almaktadır. Özellikle Hindistan'ın yüksek yayın sayısı (145) ve aldığı yüksek atıf (4.138); aşırı sıcak iklim koşullarında gıda israfını önlemeye yönelik zorlu altyapı ihtiyaçlarının ve

sürdürülebilirlik arayışlarının bilimsel araştırmaları nasıl tetiklediğinin önemli bir göstergesidir (Sahoo vd. 2024).



Şekil 4: Ülkelerin Atıf Analizi

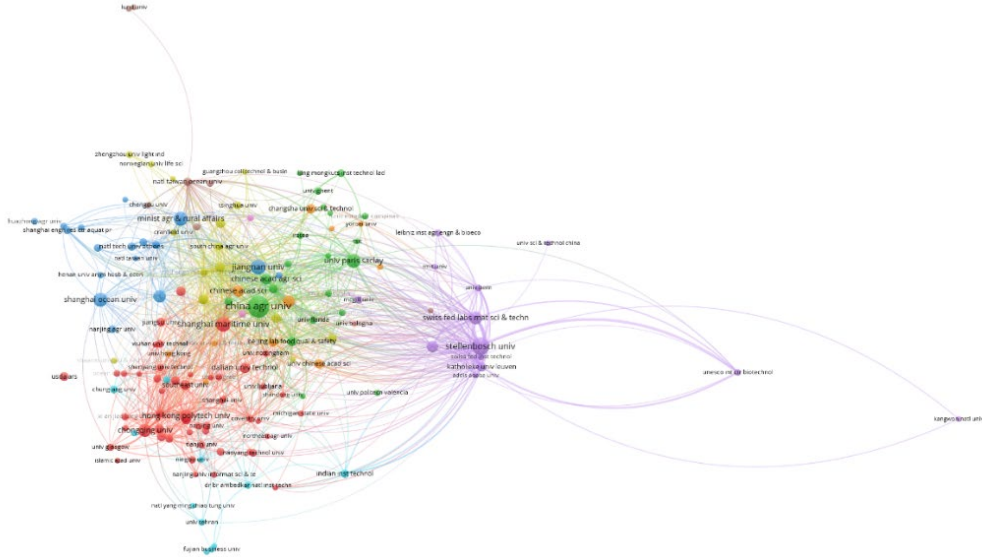
Analiz sonuçları incelendiğinde, Türkiye'nin 38 bilimsel yayın, 523 atıf ve 13.006 bağlantı gücü ile küresel ağ haritasında yer aldığı görülmektedir. Türkiye kaynaklı araştırmaların literatürdeki motivasyonunun, ülkenin Avrupa ile Asya arasındaki transit geçiş konumu ve tarımsal ihracat potansiyelinden beslendiği değerlendirilebilir. Öte yandan, sadece yayın sayısına değil, makale başına düşen atıf oranlarına bakıldığında; Güney Afrika (58 makale, 1546 atıf), Kanada (43 makale, 1487 atıf) ve Belçika (31 makale, 1465 atıf) gibi ülkelerin küresel literatürde oldukça etkili yayınlar ürettiği öne çıkmaktadır.

#### 4.2.2. Kurumların Atıf Analizi

Soğuk zincir lojistiği alanında nitelikli bilgi üreten ana merkezleri ve kurumsal iş birliği ağlarını tespit etmek amacıyla kurumlar düzeyinde atıf analizi gerçekleştirilmiştir. 2116 farklı kuruma ait çalışmaların bulunduğu alanda baskın olan kurumları belirlemek için en az 5 yayın ve 30 atıf almış olma kısıtları konulduğunda 150 gözlem birimi değerlendirilmeye alınmış ve bu kurumlar 10 kümeye ayrılarak aralarında 2030 bağlantı tespit edilmiştir.

Ülke analizindeki bulgularla tutarlı olarak, Çin menşeli kurumlar hem yayın sayısı hem de atıf etkisi bakımından literatürü domine etmektedir. China Agricultural University, 72 yayın ve 1479 atıf ile ilk sırada yer almaktadır. Lojistik odaklı çalışmaların merkezi olan Shanghai Maritime University (33 yayın, 1065 atıf) ve makro düzeyde tarımsal politikaları yönlendiren Ministry of Agriculture and Rural Affairs (29 yayın, 341 atıf) ülkenin diğer güçlü merkezleridir. Bu kurumlar, sadece üretkenlikleriyle değil, aynı zamanda yüksek bağlantı güçleriyle küresel araştırma ağının da ana düğümlerini oluşturmaktadır.

Niceliksel olarak Çin kurumları ön planda olsa da yayın başına düşen atıf oranları incelendiğinde Avrupa merkezli kurumların etki değerinin oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. İsviçre'den Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (EMPA), 26 yayın ve 988 atıf ve 455 bağlantı gücü ile Avrupa kıtasındaki en güçlü iş birliği ağını yönetmektedir. Benzer şekilde, Belçika merkezli Katholieke Universiteit Leuven (13 yayın, 955 atıf) ve Hollanda'dan Wageningen University & Research (20 yayın, 355 atıf) ile soğuk zincir literatüründe önde gelen kurumlar arasında yer almaktadır. Veri setindeki en dikkat çekici bulgu ise Güney Afrika merkezli Stellenbosch University'nin performansıdır. Kurum, toplam 46 yayın ve 1268 atıf ve 554 toplam bağlantı gücü ile Çin dışındaki en üretken ve en yüksek etkiye sahip akademik merkez olarak öne çıkmaktadır.



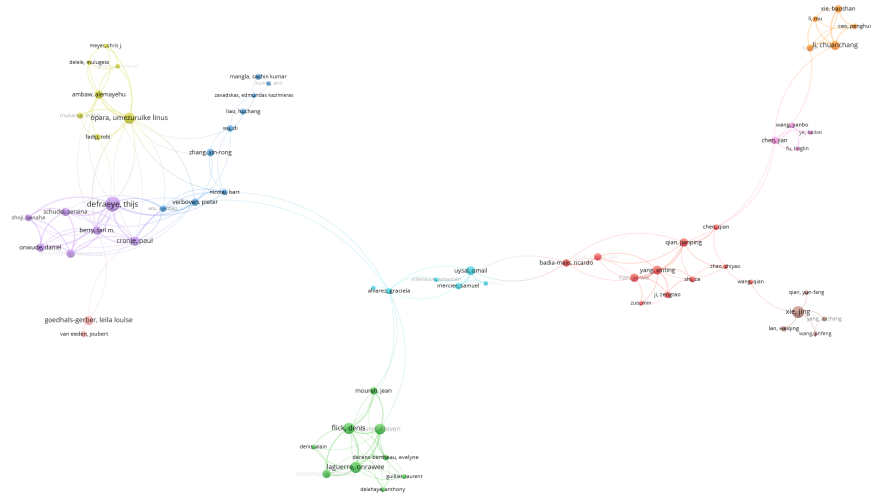
**Şekil 5:** Kurumlar Arası Atıf Ağları

Genel olarak analiz, Çin merkezli kurumların soğuk zincir lojistiği alanında daha yoğun ve merkezî bir araştırma faaliyetinde bulunduğunu, buna karşın ABD ve Avrupa merkezli kurumların daha çok özelleşmiş alt

alanlara odaklandığını ortaya koymaktadır. Bu durum, soğuk zincir lojistiğinin çok disiplinli ve küresel ölçekte yürütülen bir araştırma alanı olduğunu ve ülkelerin bu alandaki uzmanlaşmalarında kendi ulusal önceliklerini dikkate aldıklarını göstermektedir. Çin'in hem yayın hem de atıf sayısında en üretken ülke olarak öne çıkması salt istatistiksel bir tesadüf değildir. Çin merkezli soğuk zincir lojistiğinin gelişimi incelendiğinde bu durumun; ülkenin gayrisafı yurtiçi hasılası (GSYİH), hızla artan iç tüketim hacmi ve kişi başına düşen devasa soğuk hava deposu kapasitesi yatırımları ile doğrudan koordineli olduğu görülmektedir (Xie vd., 2022). Buna ek olarak Çin'deki soğuk zincir endüstrisinin, operasyonel süreçlerinde sürdürülebilirlik inovasyonunu ve tedarik zinciri dirençliliğini ulusal bir strateji olarak benimsemesi (Zhang ve Mohammad, 2024), ülkeyi bu alandaki akademik bilgi üretiminde oldukça önemli bir konuma getirmiştir.

#### 4.2.3. Ortak Yazar Analizi

Birbirleriyle en fazla iş birliği yapan yazarları analiz etmek için alanda en az 3 yayın yapmış ve yayınlarına en az 20 atıf almış kriterleri kullanılarak oluşturulan ağ haritası Şekil 6'da yer almaktadır. Aralarında 169 bağlantı tespit edilen 65 yazar 10 kümede incelenmiş ve toplam bağlantı gücü 504 olarak hesaplanmıştır. Buna göre en çok atıf alan yazarlar; Thijs Defraeye (1100), Xiaoshuan Zhang (1035), İsmail Uysal (802) olmuştur. Xiaoshuan Zhang 39 ve Thijs Defraeye 30 makale ile alana en çok katkı sağlayan iki yazar olarak görülmektedir.

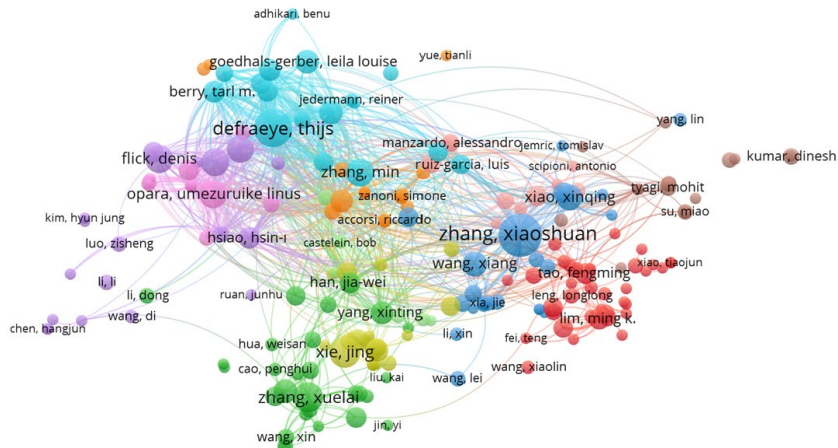


Şekil 6: Ortak Yazar Analizi

Şekil 6'da farklı renklerle temsil edilen dağınık ve birbirine doğrudan bağımlı olmayan kümeler, soğuk zincir lojistiği alanında farklı alt başlıklara ve disiplinlere odaklanan yazarlar olduğunu ifade etmektedir. Örneğin, görselin merkezinde yeşil renkle temsil edilen küme gıda soğuk zinciri odaklı çalışma yapan yazarları gösterirken; üst kısımda yer alan sarı kümelenme, ilaç ve aşı lojistiği üzerine çalışan yazarları temsil etmektedir. Mor renkli kümelenme ise, soğuk zincir lojistiğinde araç rotalama ve optimizasyon konularına yoğunlaşan literatürü yansıtmaktadır. Bu çeşitlilik, soğuk zincir lojistiğinin disiplinler arası bir alan olarak taşıdığı önemi ve geniş uygulama alanını ortaya koymaktadır.

#### 4.2.4. Yazar Atıf Analizi

Yazarların aldığı atıfları analiz etmek amacıyla en az 3 yayın ve 50 atıfa sahip olanlara yönelik çıkarılan ağ haritası Şekil 7'de yer almaktadır. 11 kümede 2974 bağlantının tespit edildiği analizde toplam bağlantı gücü 7116 ve yazar sayısı 212 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular, yüksek yayın sayısının her zaman yüksek etki değeri ile doğru orantılı olmadığını, izlenebilirlik teknolojileri ve ısıl mühendislik gibi stratejik araştırma kollarında az sayıda ancak derinlikli çalışma üreten yazarların literatürü domine ettiğini göstermektedir. Literatürde en çok atıf alan yazarın Thijs Defraeye (30 yayın, 1100 atıf, 786 bağlantı gücü) olduğu görülmektedir. Defraeye'nin açık ara önde olan bağlantı gücü ve atıf sayısı, kendisinin geliştirdiği ısıl modelleme ve soğutma mühendisliği teorilerinin, alanın referans noktalarından biri olduğuna işaret etmektedir. Defraeye'yi, 39 yayın ve 1035 atıf (399 bağlantı gücü) ile Xiaoshuan Zhang takip etmektedir. Zhang'ın çalışmaları, özellikle tarımsal lojistik ve tedarik zinciri optimizasyonu konularında yüksek bir etki yaratmıştır.



Şekil 7: Yazarların Atıf Bağlantıları

Veri setinin ortaya koyduğu en dikkat çekici sonuçlardan biri, görece az yayın üretmesine rağmen aldıkları atıflarla literatürü şekillendiren araştırmacıların varlığıdır. Örneğin, İsmail Uysal (11 yayın, 802 atıf, 313 bağlantı gücü) ve Samuel Mercier (6 yayın, 770 atıf, 297 bağlantı gücü), yayın sayılarının ötesinde bir etki yakalamışlardır. Benzer şekilde, Pieter Verboven (8 yayın, 639 atıf) ve Umezuruike Linus Opara'nın (16 yayın, 625 atıf) soğuk zincir literatürünün temel referansları haline gelmiş eserler ürettiği görülmektedir.

Yazarların atıf performansları tematik olarak incelendiğinde, yüksek atıf alan çalışmaların üç ana cephede yoğunlaştığı görülmektedir:

1. **Teknoloji ve İzlenebilirlik:** İsmail Uysal, Ricardo Badia-Melis (8 yayın, 582 atıf) ve Xinting Yang (11 yayın, 532 atıf) gibi araştırmacıların çalışmaları; nesnelerin interneti ve RFID teknolojilerinin soğuk zincire entegrasyonunda temel referanslar olarak kullanılmaktadır.
2. **Mühendislik ve Modelleme:** Thijs Defraeye, Samuel Mercier ve Pieter Verboven gibi Avrupalı araştırmacıların domine ettiği bu alan, depo içi hava akışını ve ürün bozulmasını tahmin eden Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) modelleri sayesinde yüksek atıf toplamaktadır.
3. **Tarımsal Lojistik ve Kalite Koruma:** Umezuruike Linus Opara, Xuelai Zhang (19 yayın, 655 atıf) ve Hsin-I Hsiao (10 yayın, 546 atıf), özellikle taze gıdaların raf ömrünün lojistik süreçlerde korunması konusundaki atıfların büyük çoğunluğunu elinde bulundurmaktadır.

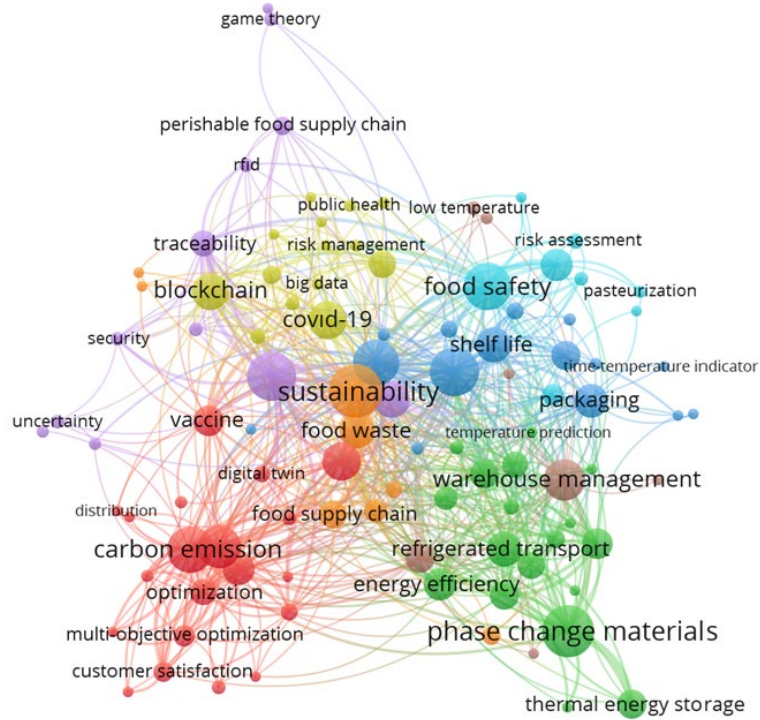
#### 4.2.5. Anahtar Sözcük Analizi

Soğuk zincir lojistiği alanında yapılan çalışmalara yönelik kavramsal bir haritalama gerçekleştirmek ve literatürün entelektüel yapısını ortaya koymak amacıyla anahtar sözcük analizi uygulanmıştır. Bu analiz, bir makalenin ana fikrini temsil eden kavramların bir arada kullanılma sıklığını temel olarak disiplinler arası etkileşimi görselleştirmektedir.

Yapılan tarama sonucunda elde edilen veri setinde toplam 5541 farklı anahtar kelimeye rastlanmıştır. Veri setindeki terminolojik dağınıklığı gidermek amacıyla kapsamlı bir kavramlar sözlüğü dosyası ('thesaurus') oluşturulmuş ve eş anlamlı terimler tek bir çatı altında birleştirilmiştir. Analizi istatistiksel gürültüden arındırmak ve temel eğilimlere odaklanmak amacıyla, bir anahtar kelimenin en az 5 kez görülmüş olma kısıtı uygulanmıştır. Bu

filtreleme ve sözcük birleştirmesi sonucunda, nihai analiz birim sayısı 108 olarak belirlenmiştir.

Elde edilen veriler VOSviewer algoritması ile analiz edilirken, kümeleme tutarlılığını artırmak amacıyla parametre optimizasyonu da gerçekleştirilmiştir. Bibliyometrik haritalamada kümeleme stratejileri üzerine yapılan çalışmalarda, ideal küme sayısının veri yapısına göre belirlenmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Nitekim Zupic ve Čater (2015), tematik analizler için 5-10 arası küme sayısının yorumlanabilirlik açısından optimum olduğunu belirtmektedir. Ağ analizinde temel arama terimi olan soğuk zincir ana düğümünden sonra literatürde en sık karşılaşılan anahtar sözcüklerin; sürdürülebilirlik (sustainability, 102), faz değiştiren maddeler (phase change materials, 97), gıda kalitesi (food quality, 87), nesnelerin interneti (IoT, 87), tedarik zinciri yönetimi (supply chain management, 81), gıda güvenliği (food safety, 78), karbon emisyonu (carbon emission, 77) ve kolay bozulan ürünler (perishable products, 73) olduğu belirlenmiştir.



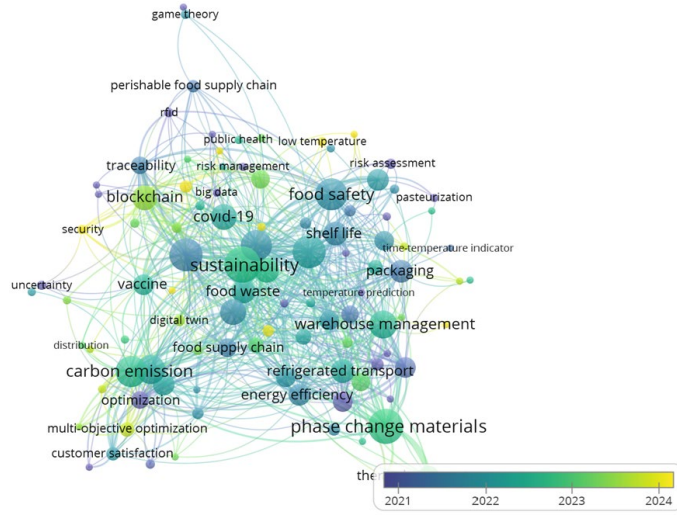
**Şekil 8:** Anahtar Sözcük Analizleri

VOSviewer kümeleme algoritması ile elde edilen bulgular, soğuk zincir lojistiği literatürünün yedi temel tematik eksen etrafında şekillendiğini göstermektedir. Analizin en kapsamlı grubunu oluşturan **1. Küme (Kırmızı)**, soğuk zincirin temel varlık nedeni olan ürün bütünlüğüne odaklanmakta; gıda güvenliği (*food safety*), raf ömrü (*shelf life*) ve bozulma (*spoilage*) kavramları ekseninde sıcaklık dalgalanmalarının mikrobiyolojik riskler üzerindeki etkisini incelemektedir. Sürecin teknik ve mühendislik boyutu ise **2. Küme (Yeşil)**, **6. Küme (Turkuaz)** ve **8. Küme (Kahverengi)** tarafından temsil edilmektedir. Bu kümeler, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (*CFD*) ve dijital ikiz (*digital twin*) gibi dijital simülasyon teknikleri ile faz değiştiren maddeler (*Phase Change Materials- PCM*) ve termal enerji depolama (*thermal energy storage*), dondurulmuş gıda (*frozen food*) gibi enerji verimliliği odaklı fiziksel depolama çözümlerini bir araya getirmektedir. Operasyonel yönetim açısından değerlendirildiğinde, **5. Küme (Mor)** dağıtım ağlarının optimizasyonunu (*vehicle routing problem, multi-objective optimization*) hedeflerken; **4. Küme (Sarı)** bu süreçlerin döngüsel ekonomi (*circular economy*), yaşam döngüsü değerlendirmesi (*Life Cycle Assessment-LCA*) ve gıda israfını (*food waste*) önleme boyutunu ele almaktadır. Son olarak, literatürdeki dijital dönüşüm eğilimi **3. Küme (Mavi)** ve **7. Küme (Turuncu)** ile somutlaşmaktadır. Blokzincir (*Blockchain*), Yapay Zeka (*Artificial Intelligence*), nesnelerin interneti (IoT) ve kablosuz sensör ağlar (*wireless sensor networks*) kavramlarının yer aldığı bu teknoloji odaklı gruplar, tedarik zincirinde şeffaflığı, gerçek zamanlı izlenebilirliği ve pandemiyi tetiklediği temassız operasyon ihtiyacını yansıtan dijital altyapıyı tanımlamaktadır.

#### 4.2.6. Trend Analizi

Anahtar sözcüklerin tematik dağılımının yanı sıra, literatürdeki kavramsal evrimi haritalandırmak ve gelecekteki araştırma yönelimlerini tespit etmek amacıyla VOSviewer üzerinden zaman çizelgesi analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil 9'da sunulan zaman endeksli ağ haritasında, düğümlerin renkleri anahtar kelimelerin ortalama yayın yıllarına göre koyu maviden (olgunlaşmış konular; ~2021) sarıya (en güncel konular; ~2024) doğru kodlanmıştır. Genişletilmiş arama dizesinin mevcut literatüre sağladığı en belirgin katkı, zaman eksenli haritalama incelendiğinde açıkça ortaya çıkmaktadır. Mevcut bibliyometrik çalışmaların odaklandığı nesnelerin interneti (IoT), blokzincir (Blockchain) veya genel 'Sürdürülebilirlik' (sustainability) gibi kavramların ağ haritasında görece daha eski yılları (yeşil ve mavi tonlar) temsil ettiği görülmektedir. Buna karşın, çalışmanın en güncel dönemini temsil eden sarı renkli düğümler incelendiğinde; literatürün betimsel lojistik kavramlarından uzaklaşarak derin mühendislik ve operasyonel kırılımlara evrildiği saptanmıştır. Özellikle son dönemde dijital ikiz (*digital twin*) teknolojileri, genişletilmiş grafit (*expanded graphite*) ve pasif

soğutma (passive cooling) gibi ileri malzeme bilimi çözümleri ile çok amaçlı optimizasyon (multi-objective optimization) ve dirençlilik/dayanıklılık (resilience) kavramları literatürün yeni araştırma cepheleri olarak öne çıkmaktadır. Bu kanıta dayalı bulgu, 2024-2026 bandındaki güncel araştırmaların salt kavramsal tartışmalardan ziyade, doğrudan algoritmik ve termodinamik lojistik çözümlerine odaklandığını göstermektedir. Haritadaki renk geçişleri incelendiğinde, soğuk zincir lojistiği araştırmalarının dönemsel olarak üç ana evreden geçtiği gözlemlenmektedir:



Şekil 9: Yayınların Trend Analizi

**1. Evre Temel ve Olgunlaşmış Araştırma Alanları (2021 ve Öncesi):** Haritanın alt kısımlarında yoğunlaşan ve koyu mavi/mor renklerle temsil edilen düğümler, alanın fiziksel ve mühendislik temellerini yansıtmaktadır. Özellikle faz değiştiren maddeler (phase change materials), enerji verimliliği (*energy efficiency*) ve termal performans (*thermal performance*) gibi donanım odaklı soğutma teknolojileri bu dönemin ana konularıdır. Ayrıca, COVID-19 ve aşı (*vaccine*) düğümlerinin de mavi tonlarda olması, pandeminin yarattığı acil sağlık lojistiği araştırmalarının ilgili yıllarda literatürde belirli bir doygunluğa ulaştığını ve yerini yapısal dönüşümlere bıraktığını göstermektedir.

**2. Evre Ana Akım ve Operasyonel Odaklı Yayınlar (2022–2023):** Haritanın merkezinde yoğunlaşan yeşil tonlu devasa düğümler, literatürün güncel omurgasını ve ana akım çalışma alanlarını oluşturmaktadır. Sürdürülebilirlik (*Sustainability*), karbon emisyonu (*carbon emission*), nesnelerin interneti (*IoT*), depo yönetimi (*warehouse management*) ve soğutmalı taşıma (*refrigerated transport*) gibi operasyonel ve çevresel

terimler bu döneme aittir. Bu durum, araştırmaların salt ürün koruma aşamasından çıkıp emisyonları ve israfi yönelik yeşil lojistik operasyonlarına kaydığını ortaya koymaktadır.

### **3. Evre Yükselen Trendler ve Gelecek Vizyonu (2024 ve Sonrası)**

Haritanın en güncel araştırma cephelerini temsil eden sarı renkli düğümler incelendiğinde, literatürün geleceğini şekillendiren trendler öne çıkmaktadır:

- **İleri Veri Analitiği ve Şeffaflık:** Haritanın sol üst köşesinde görülen blokzincir (*blockchain*), makine öğrenmesi (*machine learning*), dijital dönüşüm (*digital transformation*) ve izlenebilirlik (*traceability*) kavramları literatürde öne çıkan araştırma konularıdır. Soğuk zincir araştırmaları; verinin sadece sensörlerle toplanması aşamasını geçmiş, bu verilerin yapay zekâ ile işlenip blokzincir ile şeffaf ve değiştirilemez hale getirildiği algoritmik bir ekosisteme doğru evrilmiştir.
- **Müşteri Odaklı ve Çok Kriterli Optimizasyon:** Kırmızı kümede yer alan ve sarı renkle görülen çok amaçlı optimizasyon (*multi-objective optimization*) ve müşteri memnuniyeti (*customer satisfaction*) düğümleri, operasyonel modellerin artık sadece maliyet odaklı değil; müşteri memnuniyetini, ürün kalitesini ve çevresel kısıtları aynı anda optimize eden çok boyutlu matematiksel modellere dönüştüğünü göstermektedir.
- **Mikro Düzey Kalite Analizleri:** Sağ üst köşede beliren mikroyapı (*microstructure*) ve *antioxidant* gibi sarı düğümler, gıda kalitesinin sadece lojistik bir değişken olarak değil, biyokimyasal düzeyde ve ileri analitik yöntemlerle incelenmeye başlandığını göstermektedir.

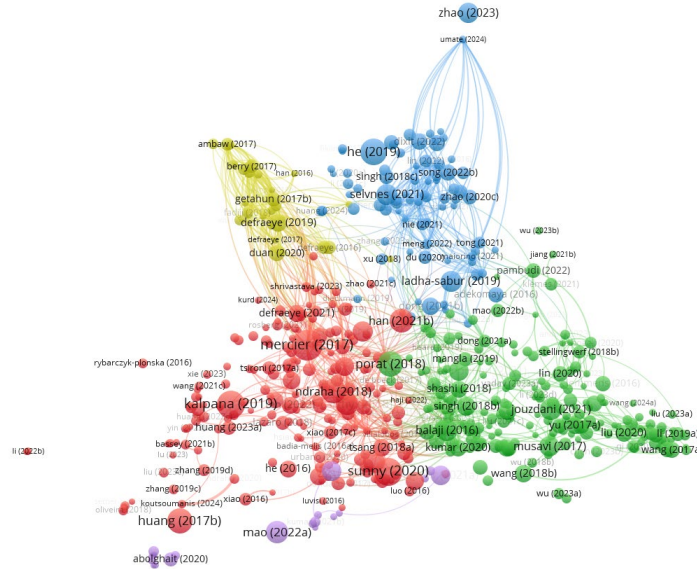
Sonuç olarak; termal yalıtım ve mekanik soğutma gibi mühendislik köklerinden beslenen soğuk zincir literatürü, günümüzde sürdürülebilirlik ve IoT ekseninde genişlemiş; gelecekteki rotasını ise yapay zekâ, blokzincir ve çok amaçlı optimizasyon algoritmalarının belirleyeceği akıllı bir tedarik ağına çevirmiştir.

#### **4.2.7. Yazarların Ortak Atıf Analizi**

İki yayının bir veya birden fazla yayın tarafından birlikte atıf almasına ortak atıf adı verilir (Surwase vd., 2011). Ortak atıf konuyla ilgili literatürde birlikte kullanılan yayınların analizi ve kümelenecek gösterilmesi açısından önemlidir. Çalışmada atıf sayısı minimum 30 seçilerek 240 birim üzerinden yapılan analize göre toplamda 5 küme, 17283 bağlantı ve 97397 toplam



Soğuk zincir lojistiği alanındaki entelektüel yapıyı, baskın araştırma eğilimlerini ve literatürün gelişim dinamiklerini haritalamak amacıyla bu çalışmada bibliyografik eşleşme analizi gerçekleştirilmiştir. Bibliyografik eşleşme analizi, iki farklı çalışmanın ortak kaynaklara atıf yapma frekansına odaklanarak, makaleler arasındaki kavramsal yakınlığı ve literatürdeki ana akımları ortaya koyan metodolojik bir yaklaşımdır (Song vd., 2023). WoS veri tabanından elde edilen bibliyografik veriler, ağ analizi ve görselleştirme işlemleri için VOSviewer yazılımına aktarılmıştır. Yazılım algoritması, makaleler arasındaki atıf ortaklıklarını baz alarak düğümler arasındaki bağların gücünü hesaplamış ve literatürü tematik kümelerle ayırmıştır. Analiz kapsamında, belirli bir bilimsel etki eşliğinin üzerindeki çalışmaları değerlendirmek için en az 20 atıf almış olmak kriterleri ile yapılan seçimde 534 makale bulunmuştur. Bu çalışmalar 5 kümeye ayrılmış ve aralarındaki bağlantı 20475, bağlantı gücü ise 41934 olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 11:** Bibliyografik Eşleşme Analizi

Gerçekleştirilen haritalama sonucunda, literatürün birbirini tamamlayan 5 ana tematik küme etrafında şekillendiği tespit edilmiştir. Ancak bibliyometrik ağların içerdiği geniş veri setinin yüzeysel bir özetinden kaçınmak ve çalışmayı derinlemesine bir sistematik literatür incelemesine (SLR) dönüştürebilmek için objektif bir filtreleme mekanizmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu doğrultuda, VOSviewer tarafından hesaplanan toplam bağlantı gücü (Total Link Strength - TLS) metriği temel seçim kriteri olarak kullanılmıştır. TLS, bir makalenin ağdaki diğer tüm makalelerle olan kavramsal bağlarının kümülatif gücünü temsil etmektedir. Yüksek TLS değerine sahip bir çalışma, bulunduğu kümenin tematik

tartışmalarını en güçlü şekilde yansıtan eser olarak kabul edilmektedir (Song vd., 2023). Bu metodolojik gerekçeyle, her bir tematik kümenin merkezinde yer alan ilk 5 makale filtreleme sürecine dahil edilmiştir. Bu seçim mekanizması sonucunda, her bir kümede literatürün omurgasını oluşturan toplam 25 anahtar çalışma sistematik içerik analizi kapsamına alınmıştır. Çalışmanın takip eden bölümünde gerçekleştirilen kavramsal sentez ve literatür boşlukları analizi, Tablo 3'de künyeleri ve bağlantı gücü değerleri sunulan bu merkezi eserler üzerinden kurgulanmıştır.

## 5. SİSTEMATİK LİTERATÜR İNCELEMESİ

Bibliyometrik haritalama sonucunda ortaya çıkan tematik kümelerin derinlemesine analizi soğuk zincir lojistiği araştırmalarının belirli konular etrafında yoğunlaştığını göstermektedir. Bu bölümde, ağ analizinde en yüksek bağlantı gücüne sahip olan temel makaleler içerik analizine tabi tutularak literatürün güncel durumu ve sektörel dinamikler tartışılmıştır.

Bibliyografik eşleşme analizi sonucunda, literatürün kavramsal altyapısı ilk aşamada VOSviewer yazılımının algoritmaları tarafından 5 ana tematik küme olarak otomatik şekilde haritalanmıştır. Yukarıda da belirtildiği gibi, bu kümelerin derinlemesine içerik analizi için her bir kümeden en yüksek TLS skoruna sahip 5'er makale seçilerek toplam 25 çekirdek çalışmanın olduğu bir veri seti oluşturulmuştur. Bu 25 makalenin içerik analizi, araştırmacı önyargısını en aza indirmek amacıyla tümevarımsal bir kodlama stratejisi kullanılarak yürütülmüştür. Makalelerin özet, bulgular ve sonuç kısımları okunarak her bir makale için 'temel argümanlar' kodlanmış, ardından bu açık kodlar birleştirilerek üst temalar elde edilmiştir. Kodlama sürecinde tek yazarlı çalışmanın getirebileceği güvenilirlik risklerini aşmak adına, elde edilen kodlar literatürdeki mevcut çatı teorilerle (Soğuk Zincir 4.0 ve Tedarik Zinciri Dirençliliği gibi) çapraz kontrole tabi tutulmuştur. Yapılan kodlama sonucunda, VOSviewer tarafından 5 farklı küme olarak sunulan temaların aslında kavramsal olarak birbirleriyle güçlü bir şekilde örtüştüğü saptanmıştır. Bu nedenle, tartışma bütünlüğünü sağlamak ve daha stratejik bir mimari sunmak amacıyla bu 5 küme üç nihai kavramsal eksen altında (dijitalleşme, stratejik risk yönetimi ve sürdürülebilir fiziksel/enerji çözümleri) birleştirilmiştir. Buna göre; Tablo 3'te detaylandırılan 'Bilgi Akışı (Küme 1)' ve 'Kriz Yönetimi (Küme 5)' dijitalizasyon ekseninde; 'Stratejik Çerçeveler (Küme 2)' risk yönetimi ekseninde; 'Enerji Çözümleri (Küme 3)' ve 'Ambalaj Tasarımı (Küme 4)' ise sürdürülebilir fiziksel altyapı ekseninde birleştirilmiştir.

**Tablo 3:** Ağ Analizinde En Yüksek Bağlantı Gücüne Sahip Çekirdek Makaleler ve Küme Dağılımları

Küme	Yazarlar	Makalenin Başlığı	Makale Bağlantı Gücü
KÜME 1 Bilgi Akışı ve Dijital İzlenebilirlik	Shashi vd., 2024	Shaping the Future of Cold Chain 4.0 Through the Lenses of Digital Transition and Sustainability	958
	Chen vd., 2022	Optimal replenishment strategy for a single-manufacturer multi-retailer cold chain considering multi-stage quality degradation	897
	Mercier vd., 2017	Time-Temperature Management Along the Food Cold Chain: A Review of Recent Developments	861
	Badia-Melis vd., 2018	New trends in cold chain monitoring applications - A review	797
	Onwude vd., 2020	Recent Advances in Reducing Food Losses in the Supply Chain of Fresh Agricultural Produce	636
KÜME 2: Stratejik Çevreler ve Risk Yönetimi	Shashi vd., 2021	Food cold chain management: what we know and what we deserve	1103
	Akram vd., 2023	Developing a Conceptual Framework Model for Effective Perishable Food Cold-Supply-Chain Management Based on Structured Literature Review	758
	Shashi vd., 2018	Food cold chain management: From a structured literature review to a conceptual framework and research agenda	712
	Siddh vd., 2018	Structural model of perishable food supply chain quality (PFSCQ) to improve sustainable organizational performance	569
	Bremer, 2018	Towards a reference model for the cold chain	544
KÜME 3: Sürdürülebilir Enerji ve Fiziksel Çözümler	Li vd., 2024	Novel phase change cold energy storage materials for refrigerated transportation of fruits	549
	Qi vd., 2022	Research progress of cold chain transport technology for storage fruits and vegetables	537
	Ben Taher vd., 2022	A survey of computational and experimental studies on refrigerated trucks	534
	Meng vd., 2022	Development and application of phase change material in fresh e-commerce cold chain logistics: A review	465
	Chen vd., 2024	Sustainable collaborative strategy in pharmaceutical refrigerated logistics routing problem	450
KÜME 4: İleri Ambalaj ve Termodinamik Tasarım	Berry vd., 2022	Designing ventilated packaging for the fresh produce cold chain	755
	Getahun vd., 2017	Analysis of airflow and heat transfer inside fruit packed refrigerated shipping container: Part II - Evaluation of apple packaging design and vertical flow resistance	421
	Duan vd., 2020	Postharvest precooling of fruit and vegetables: A review	418
	Berry vd., 2017	The role of horticultural carton vent hole design on cooling efficiency and compression strength: A multi-parameter approach	374
	Ambaw vd., 2021	Thermo-Mechanical Analysis in the Fresh Fruit Cold Chain: A Review on Recent Advances	348

KÜME 5: Kriz Yönetimi ve Dirençlilik	Zeng vd., 2024	Advancing Emergency Supplies Management: A Blockchain-Based Traceability System for Cold-Chain Medicine Logistics	148
	Han, 2021	Risk Evaluation of Green Agricultural Products Cold Chain Logistics from the Perspective of Ecological Economy	140
	Kumar vd., 2021	Mitigate risks in perishable food supply chains: Learning from COVID-19	60
	Han vd., 2022	Mathematical model of postharvest variation in tomato color based on optimized response surface methodology	57
	Lu vd., 2021	Network Optimization of Railway Cold Chain Logistics Based on Freight Subsidy	42

Tablo 3'de listelenen bu 25 çekirdek makalenin kullandığı metodolojik araçlar, sentezlenen ana tematik eksenler ve literatüre sundukları teorik katkıları içeren detaylı Sistematik İçerik Analizi (SLR) Matrisi, makalenin akışını bozmamak adına çalışmanın sonuna **EK-A** olarak eklenmiştir.

### 5.1. İzlenebilirlik ve Dijitalizasyon Sürecinin Dönüşümü

Soğuk zincirde bilgi akışının yönetimi, literatürün en dinamik alanlarından birini oluşturmaktadır. Erken dönem merkez çalışmalar, temel zaman-sıcaklık yönetiminin kalitesine ve sensör tabanlı izleme teknolojilerinin operasyonel zorluklarına odaklanmıştır (Mercier vd., 2017; Badia-Melis vd., 2018). Ancak taze tarım ürünlerindeki değer kaybını engelleme ihtiyacının ortaya çıkması (Onwude vd., 2020), literatürün sıcaklık takibinden veri güvenilirliği ve gerçek zamanlı müdahale aşamasına evrilmesini sağlamıştır.

Bu dönüşümün en net yansıması, Zeng vd. (2024) tarafından geliştirilen IoT ve makine öğrenmesi destekli blokzincir tabanlı izlenebilirlik sistemleridir. Veri manipülasyonunu engelleyen bu altyapılar, yeşil tarım ürünlerinin lojistiğinde ekolojik ekonomi perspektifiyle risk değerlendirmesi yapılmasına olanak tanımaktadır (Han, 2021). Son dönemde ise Shashi vd. (2024), bu teknolojik araçları daha üst bir kavramsal çerçeveye taşıyarak Soğuk Zincir 4.0 (Cold Chain 4.0) vizyonunu önermiş; dijital dönüşümün yalnızca operasyonel görünürlük sağlamakla kalmayıp, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada en kritik katalizör olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca ürün kalitesindeki çok aşamalı bozulmaları hesaba katan optimum depo ve yenileme stratejileri (Chen vd., 2022), dijital verinin doğrudan envanter kararlarına nasıl entegre edileceğini de göstermesi açısından da oldukça önemlidir.

### 5.2. Stratejik Direnç ve Operasyonel Risk Yönetimi

Soğuk zincir operasyonları, ürünlerin bozulabilir doğası gereği son derece kırılgandır. Bu kırılganlık, literatürde günlük operasyonlardan ziyade "stratejik yönetim ve karar destek mekanizmaları" ekseninde tartışılmaktadır.

Alanın en yüksek bağlantı gücüne sahip makalesi olan Shashi vd. (2021), tedarik zincirinde stratejik entegrasyon eksikliğini literatürün en büyük boşluğu olarak tanımlamıştır. Bu entegrasyonun sağlanması için referans modellerinin (Bremer, 2018) ve sürdürülebilir örgütsel performansı artıracak kalite ölçüm yapılarının (Siddh vd., 2018) kurulması büyük önem taşımaktadır.

Özellikle COVID-19 pandemisi, risk yönetimi algısını kökünden değiştirmiştir. Kumar vd. (2021) pandemiden alınan dersler ışığında risklerin azaltılması için esneklik kavramını öne çıkarırken, Akram vd. (2023) etkin bir soğuk tedarik zinciri yönetimi için kapsamlı bir kavramsal çerçeve sunmuştur. Bu eksenlerdeki çalışmaların ortak bulgusu; riskin sadece soğutma sistemi kaynaklı arızalar olmadığı, pazar dalgalanmaları ve küresel krizlere karşı çevik lojistik ağlarının da tasarlanması gerektiğidir.

### **5.3. Sürdürülebilir Ambalaj, Fiziksel Akış ve İleri Enerji Çözümleri**

Soğuk zincir yönetiminin operasyonel boyutu, yoğun enerji tüketimi ve karbon emisyonu nedeniyle çevresel baskılar altındadır. Merkezi çalışmalar, ürün ambalaj tasarımı ile termodinamik verimlilik arasındaki doğrudan ilişkiyi ortaya koymaktadır. Berry vd. (2017) ve Getahun vd. (2017), havalandırılmalı karton ambalaj tasarımlarındaki deliklerin soğutma hızı ve hava akışı üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Ambaw vd. (2021) ve Berry vd. (2022) ise taze meyve soğuk zincirinde termo-mekanik analizleri bir adım ileri taşıyarak paketleme mimarisinin optimum aerodinamik sınırlarını belirlemişlerdir. Meyve ve sebzelerin hasat sonrası ön soğutma süreçleri de depo yönetimi verimliliğinin ilk halkası olarak literatürde yer bulmuştur.

Ambalaj düzeyindeki bu optimizasyonlar, yenilikçi enerji depolama teknolojileriyle birleştiğinde gerçek anlamda sürdürülebilir olmaktadır. Soğutuculu araçlardaki hesaplamalı ve deneysel çalışmaların (Ben Taher vd., 2022) ötesinde, son yıllarda Faz Değiştiren Maddeler literatürde ağırlık kazanmaya başlamıştır. Meng vd. (2022) ve Li vd. (2024), e-ticaret lojistiğinde ve taze meyve taşımacılığında PCM kullanımının soğuk enerjiyi nasıl hapsederek fosil yakıt bağımlılığını azalttığını ortaya koymuştur. Bu iyileştirmeler, ilaç lojistiğindeki işbirlikçi rota optimizasyonu (Chen vd., 2024), demiryolu yük sübvansiyonları üzerinden ağ optimizasyonu (Lu vd., 2021) ve genel taşıma teknolojilerindeki ilerlemelerle (Qi vd., 2022) desteklenerek, lojistik operasyonların karbon ayak izini minimize etmeyi hedeflemektedir.

#### **5.4. Literatürdeki Boşluklar ve Gelecek Araştırma Yönelimleri**

İncelenen 25 merkezi eserin bulguları ışığında, alanda gelecekteki çalışmaların odaklanması gereken dört temel boşluk saptanmıştır:

**Fiziksel ve Dijital Akışın Senkronizasyonu:** Faz değiştiren maddeler (PCM) gibi ileri soğutma materyallerinin, Blokzincir ve IoT algılayıcılarıyla anlık iletişim kurduğu "Akıllı Soğutma Konteynerleri" üzerine ampirik çalışmalar yetersizdir. Denizyolu taşımacılığı başta olmak üzere uzun mesafeli operasyonlarda, karar destek sistemlerinin bu verileri anlık olarak rotalama ve depo yönetimi algoritmalarına entegre etmesi gerekmektedir. Bu yaklaşım ayrıca çok modlu taşıma operasyonlarının farklı uygulamalarında deneysel çalışmaların yapılmasına olanak sağlayacak kadar büyük bir potansiyel barındırmaktadır.

**Sürdürülebilirlik Maliyetinin Paylaşımı:** Soğuk Zincir 4.0 (Cold Chain 4.0) ve yeşil ambalaj tasarımlarının operasyonel maliyetleri artırdığı bilinmektedir. Lojistik hizmet sağlayıcılar, üreticiler ve nihai tüketiciler arasında bu yeşil maliyetlerin nasıl paylaşılacağına dair modellere ihtiyaç duyulduğu bir gerçektir. Bu bağlamda gerçekleştirilecek sözleşme modelleri üzerine yapılacak çalışmaların literatürün zenginleşmesini sağlayacağı değerlendirilmiştir.

**Makro Düzeyde Esneklik Testleri:** Literatürdeki risk yönetimi çerçeveleri genellikle kavramsal düzeyde kalmıştır. İklim değişikliğine bağlı aşırı hava olaylarının veya küresel liman tıkanıklıklarının uluslararası denizyolu soğuk zincir operasyonlarına etkisini ölçen ve dijital ikiz, simülasyon tabanlı yöntemlerle çerçevesi çizilecek çalışmalara ağırlık verilmelidir. Örneğin; liman tıkanıklıkları veya deniz yolu taşımacılığındaki dış etken kaynaklı (örn. jeopolitik krizler veya aşırı iklim olayları) rotalama gecikmelerinin, soğutuculu konteyner içi sıcaklık dalgalanmalarına ve nihai ürün bozulma oranlarına etkisi, fiziksel sistemlerin eşzamanlı bir kopyası olan dijital ikiz simülasyonları üzerinden güvenli bir şekilde test edilebilir.

**AB Yeşil Mutabakatı Uyumlu Sürdürülebilirlik ve Regülasyon Modelleri:** Literatürdeki mevcut enerji optimizasyonu ve faz değiştiren maddeler gibi fiziksel çözümlerin, Avrupa Birliği'nin 2050 karbon nötr hedefleri ve "Fit for 55" regülasyonlarıyla doğrudan entegre edildiği makro ölçekli çalışmalara duyulan ihtiyaç önemli bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. Özellikle uluslararası denizyolu taşımacılığında sınırda karbon düzenleme mekanizması gibi yeni yasal kısıtların, soğuk zincir operasyon maliyetlerini ve küresel rota optimizasyonunu nasıl dönüştüreceği henüz modellenmemiştir. Gelecekteki araştırmaların; yüksek emisyonlu geleneksel

soğutma sistemlerinden vazgeçiş sürecini, dijital ikiz teknolojileriyle desteklenen yeşil liman ve karbon-nötr depo yönetimi tasarımlarıyla birleştirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, çevresel sürdürülebilirlik maliyetlerinin tedarik zinciri paydaşları arasında nasıl dağıtılacağına dair kurgulanacak modellerin doğrudan AB Yeşil Mutabakatı normlarına dayandırılması, yalnızca teorik literatürü zenginleştirmekle kalmayacak; aynı zamanda Horizon Europe gibi büyük ölçekli, uluslararası uygulamalı hibe projelerinin de temel araştırma zeminini oluşturabilecek bir potansiyele sahiptir.

**Tablo 4:** Literatürün Mevcut Sınırları ve Gelecek Araştırma Önerileri

Tematik Alan	Mevcut Durum	Literatürdeki Boşluk	Önerilen Araştırma Sorusu	Önerilen Metodoloji
Fiziksel ve Dijital Akışın Senkronizasyonu	Literatürde PCM materyalleri (Li vd., 2024) ve sensör tabanlı izleme (Badia-Melis vd., 2018) ayrı disiplinler olarak güçlü bir biçimde işlenmektedir.	Fiziksel soğutma kapasitelerinden gelen eş zamanlı verilerin, anlık ağ optimizasyonu ve araç rotalama algoritmalarıyla doğrudan entegrasyonunu sağlayan operasyonel modellerin eksikliği.	Fiziksel depolama çözümlerinden (örn. PCM) gelen anlık veri akışları, dinamik araç rotalama algoritmalarına nasıl entegre edilebilir?	Nesnelerin İnterneti (IoT) destekli Dinamik Araç Rotalama algoritmaları ve Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama.
Sürdürülebilirlik Maliyetinin Paylaşımı	Cold Chain 4.0 ve yeşil uygulamaların operasyonel görünürlüğü artırdığı ancak maliyetleri de yükselttiği öne çıkmaktadır (Shashi vd., 2024; Chen vd., 2022).	Artan "yeşil operasyon maliyetlerinin" tedarik zinciri paydaşları arasında adil dağılımını kurgulayan analitik sözleşme çerçevelerinin bulunmaması.	Sürdürülebilirlik odaklı yeşil operasyon maliyetleri, tedarik zinciri paydaşları arasında hangi sözleşme modelleriyle optimum biçimde paylaşılabilir.	Oyun Teorisi ve maliyet/gelir paylaşım sözleşmeleri tabanlı analitik modellerin gerçekleştirilebilir.
Makro Düzeyde Esneklik Testleri	Pandemi sonrası lojistik ağ tasarımlarında esneklik ve risk yönetimi kavramsal düzeyde sıklıkla tartışılmaktadır (Akram vd.,	İklim değişikliğine bağlı aşırı hava olayları veya liman tıkanıklıkları gibi dışsal şokların makro etkilerini ölçecek simülasyon	İklim krizleri veya jeopolitik darboğazların uluslararası soğuk zincir ağlarında yarattığı kırılma noktaları stokastik	Ajan Tabanlı Modelleme ve Monte Carlo simülasyonları destekli "Dijital İkiz" stres testleri.

	2023; Kumar vd., 2021).	mekanizmalarının eksikliği.	modellerle nasıl ölçülebilir?	
AB Yeşil Mutabakatı Uyumlu Sürdürülebilirlik ve Regülasyon Modelleri	Literatür büyük ölçüde mikro-fiziksel sürdürülebilirlik çözümlerine ve araç içi enerji optimizasyonuna odaklanma eğilimindedir (Meng vd., 2022).	Mevcut operasyonel optimizasyonların, Avrupa Birliği'nin "Fit for 55" ve Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması gibi yeni regülasyonlarla olan uyumunun test edilmemesi.	AB Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizmasının küresel soğuk zincir rota tercihleri ve maliyet yapısı üzerindeki etkisi hangi modeller çerçevesinde ölçülebilir?	Sistem Dinamiği modellemesi ve Yaşam Döngüsü Analizi tabanlı çevresel-ekonomik makro uyum analizleri.

Tablo 4'ün, literatürdeki kavramsal kopuklukları gidermeyi hedefleyen gelecekteki çalışmalar ve uygulamalı modeller için yönlendirici bir referans zemini oluşturması öngörülmektedir.

### 5.5 Araştırmanın Kısıtları

Bu çalışmanın sunduğu B-SLR bulguları ve stratejik çerçeve, araştırmanın metodolojik sınırları bağlamında değerlendirilmelidir. İlk olarak, veri seti yalnızca WoS veri tabanında indekslenen İngilizce yayınlarla sınırlandırılmıştır. Bu durum; Scopus, ScienceDirect, PubMed, gibi diğer veri tabanlarının yanı sıra konferans bildirileri ve yerel dillerde yazılmış spesifik araştırmaların analiz dışında kalmasına neden olmuştur. İkinci olarak, çalışmanın zaman aralığının 2016-2026 yılları olarak tasarlanması, bu tarihten önceki temel kuramsal çalışmaların haritalanmasını engellemektedir. Ayrıca, 2026 yılı henüz tamamlanmadığı için bu yıla ait veriler kısmidir.

Bibliyometrik analizlerin doğasından kaynaklanan bazı metodolojik kısıtlar da bulunmaktadır. Atıf sayılarına ve Toplam bağlantı gücüne dayalı seçim mekanizmaları, zaman avantajı nedeniyle daha eski yayınlara avantaj sağlama eğilimindedir. Bu durum, literatüre henüz yeni giren ancak kavramsal olarak yenilikçi olan niş çalışmaların 25 makalelik çekirdek B-SLR analizi dışında kalmasına yol açabilmektedir. Ek olarak, çalışmada kullanılan genişletilmiş arama dizesi literatüre disiplinler arası bir perspektif sunmasına rağmen, soğuk zincir lojistiğine yalnızca dolaylı olarak değinen bazı yayınların veri setine dahil olma ihtimalini de barındırmaktadır. Son olarak, tematik kümelerin yorumlanması ve kodlanması her ne kadar çapraz kontrollerle desteklense de nitel araştırma doğası gereği belirli ölçüde araştırmacı öznelliği

içermektedir. Belirtilen tüm bu kısıtlar çalışmanın sınırlarını çizmekte olup; gelecekteki araştırmaların çoklu veri tabanları ve farklı nitel metodolojilerle bu bulguları genişletmesi faydalı olabilir.

## **6. SONUÇ VE ÖNERİLER**

Bu çalışma, küresel gıda güvenliği, sağlık lojistiği ve sürdürülebilirlik hedefleri açısından stratejik bir öneme sahip olan soğuk zincir lojistiği literatürünün 2016-2026 yılları arasındaki evrimini B-SLR metodolojisiyle ortaya koymuştur. Çalışma, literatürdeki geleneksel bibliyometrik taramalardan sadece örneklem hacminin genişliğiyle değil, benimsediği hibrit B-SLR çerçevesinin sunduğu analitik sentez kapasitesiyle de ayrılmaktadır. Mevcut soğuk zincir lojistiği literatürünün salt kelime frekansları veya yazar eş-dizilimleri üzerinden betimsel bir dökümünü sunmak yerine; nicel VOSviewer kümeleri ile nitel içerik analizi arasında bir köprü kurulmuştur. Bu doğrultuda, istatistiksel olarak ayrılan kümeler; 'dijitalleşme', 'risk yönetimi' ve 'sürdürülebilirlik' olmak üzere üç makro-kavramsal eksen altında yapılandırılmıştır. Yapılan içerik sentezi, literatürün geleneksel mekanik soğutma ve statik depolama problemlerinden sıyrılarak; 'Soğuk Zincir 4.0', 'Gerçek Zamanlı İzlenebilirlik' ve 'Operasyonel Dirençlilik' gibi dinamik konseptlere doğru evrildiğini işaret etmektedir. Ayrıca, çalışmanın sunduğu Tablo 3 (Gelecek Araştırma Gündemi), tespit edilen araştırma boşluklarını sadece tematik olarak listelemekte; bu boşlukların giderilmesi için Yöneylem Araştırması bağlamında spesifik analitik yöntemler (örn. Ajan tabanlı modelleme-Agent-Based Modeling), Dinamik Araç Rotalama Problemi -VRP, Oyun Teorisi) önermektedir. Dolayısıyla çalışmanın katma değeri, metodolojik bir yeniden uygulamadan ziyade, soğuk zincir lojistiği literatürünün geriye dönük bir haritasını çıkarıp, geleceğe yönelik yol gösterici bir teorik çerçeve inşa etmesinde öne çıkmaktadır.

### **6.1. Teorik Katkılar**

WoS veri tabanından elde edilen 1.941 makalenin nicel ve nitel analizleri, araştırma alanının donanım odaklı mekanik soğutma pratiklerinden; yapay zeka, nesnelerin interneti ve döngüsel ekonomi prensipleriyle entegre olmuş veri odaklı bir tedarik zinciri ekosistemine dönüştüğüne işaret etmektedir. Gerçekleştirilen bibliyometrik haritalama, literatürün özellikle Çin, ABD ve Birleşik Krallık merkezli çalışmaların ağırlıkta olduğunu; ancak son yıllarda çevresel krizlerin ve pandeminin etkisiyle çok disiplinli bir bilgi üretim sürecinin hızlandığını göstermektedir. Mevcut araştırmalar teorik ve kavramsal olarak güçlü bir zemin sunsa da literatürde fiziksel ve dijital akışın senkronizasyonu ile sürdürülebilirlik maliyetlerinin paydaşlar arası adil dağıtım konularında ciddi boşluklar olduğu da göze çarpmaktadır.

## **6.2. Metodolojik Katkılar**

VOSviewer algoritmasıyla belirlenen ve literatürün kavramsal haritasını oluşturan 5 ana tematik küme üzerinden seçilen 25 ana çalışmanın sistematik analizi; mevcut bilgi birikiminin teknolojik izlenebilirlik, operasyonel risk yönetimi ve sürdürülebilir fiziksel/enerji çözümleri eksenlerinde yoğunlaştığını ortaya koymuştur. Bu çalışmanın ortaya koyduğu makro düzeydeki stratejik yol haritası; gelecekteki araştırmalarda çoklu veri tabanları, ampirik modeller ve sektörel vaka analizleriyle derinleştirildiği takdirde, soğuk zincirdeki dijital ve yeşil dönüşüme önemli bir ivme kazandırma potansiyeli taşımaktadır.

## **6.3. Politika Önerileri**

Elde edilen bulgular, soğuk zincir operasyonlarını yöneten karar vericiler ve uygulayıcılar için yeni nesil bir stratejik yol haritası sunmaktadır. İşletmelerin rekabet avantajı elde edebilmeleri için veriyi anlık analiz eden yapay zekâ destekli altyapılara ve kestirimci uyarı sistemlerine geçiş yapmaları stratejik bir gereklilik olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte, lojistik maliyetleri optimize etmek ve karbon ayak izini düşürmek amacıyla yenilikçi termal depolama çözümlerine (örn. PCM) yapılacak yatırımlar, çevresel sorumluluktan ziyade uluslararası regülasyonlara uyumun temelini oluşturma eğilimindedir. Taraflar arası güven sorunlarının ve tedarik zinciri kırılmalarının önüne geçilebilmesi için ise akıllı sözleşmelerle işletmeler arası şeffaflığın artırılması büyük önem taşımaktadır.

Makro düzeydeki politikalar ekseninde ise, küresel sürdürülebilirlik regülasyonlarının operasyonel maliyet modellerine entegrasyonuna öncelik verilmesi gerektiği öne çıkmaktadır. Sektörel verimliliği artırmanın ötesinde, çevresel krizlerin etkilerini hafifletmeye yönelik yeşil altyapı projelerinin ve karbon-nötr ağ tasarımlarının uluslararası hibe fonlarıyla desteklenmesi, tedarik zincirlerindeki ekolojik dönüşümü hızlandırmak için önemli bir politika aracı olabilir.

### **Yazar Katkısı**

Fikir, literatür taraması, araştırma tasarımı, veri toplama-editleme ve tartışma ile sonuç bölümleri yazarın kendisi tarafından hazırlanmıştır.

### **Çıkar Çatışması**

Çalışmada çıkar çatışması yoktur.

### **Finansal Destek**

Bu çalışma için herhangi bir kurumdan destek alınmamıştır.

### **KAYNAKÇA**

Akram, H., Akhtar, S., Ahmad, A., Anwar, I., & Sulaiman, M. (2023). Developing a conceptual framework model for effective perishable food cold-supply-chain management based on structured literature review. *Sustainability*, 15(6), 4907. <https://doi.org/10.3390/su15064907>.

Akram, W., Joshi, R., Haider, T., Sharma, P., Jain, V., Garud, N., & Singh, N. (2024). Blockchain technology: A potential tool for the management of pharma supply chain. *Research in Social and Administrative Pharmacy*, 20(6), 156-164. <https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2024.02.014>.

Ambaw, A., Fadiji, T., & Opara, U. L. (2021). Thermo-mechanical analysis in the fresh fruit cold chain: a review on recent advances. *Foods*, 10(6), 1357. <https://doi.org/10.3390/foods10061357>.

Badia-Melis, R., Mc Carthy, U., Ruiz-Garcia, L., Garcia-Hierro, J., & Villalba, J. I. (2018). New trends in cold chain monitoring applications - A review. *Food Control*, 86, 170-182. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.11.022>.

Behdani, B., Fan, Y., & Bloemhof, J. M. (2019). Cool chain and temperature-controlled transport: An overview of concepts, challenges, and technologies. *Sustainable Food Supply Chains*, 167-183. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813411-5.00012-0>.

Ben Taher, M. A., Ahachad, M., Mahdaoui, M., Zeraouli, Y., & Kousksou, T. (2022). A survey of computational and experimental studies on refrigerated trucks. *Journal of Energy Storage*, 47, 103575. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103575>.

Berry, T. M., Defraeye, T., Shrivastava, C., Ambaw, A., Coetzee, C. J., & Opara, U. L. (2022). Designing ventilated packaging for the fresh produce cold chain. *Food And Bioproducts Processing*, 134, 121-149. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.04.005>.

Berry, T. M., Fadiji, T., Defraeye, T., & Opara, U. L. (2017). The role of horticultural carton vent hole design on cooling efficiency and compression strength: A multi-parameter approach. *Food and Bioproducts Processing*, 106, 167-178. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.10.005>.

Bremer, P. (2018). Towards a reference model for the cold chain. *The International Journal of Logistics Management*, 29(3), 822-838. <https://doi.org/10.1108/IJLM-02-2017-0052>.

Brenner, V. (2015). *Causes of supply chain disruptions: An empirical analysis in cold chains for food and pharmaceuticals*. Hannover: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-08662-6>.

Cabrera, D., & Cabrera, L. L. (2023). The steps to doing a systems literature review (SLR). *Journal of Systems Thinking Preprints*, 34-3-15 <https://doi.org/10.54120/jost.pr000019.v1>.

Chen, G., Wahab, M. I. M., & Fang, L. (2022). Optimal replenishment strategy for a single-manufacturer multi-retailer cold chain considering multi-stage quality degradation. *Applied Mathematical Modelling*, 104, 96-113. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2021.11.019>.

Chen, T., Chu, F., Zhang, J., & Sun, J. (2024). Sustainable collaborative strategy in pharmaceutical refrigerated logistics routing problem. *International Journal of Production Research*, 62(14), 5036-5060. <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2283566>.

Duan, Y., Wang, G. B., Fawole, O. A., Verboven, P., Zhang, X. R., Wu, D., ... Chen, K. (2020). Postharvest precooling of fruit and vegetables: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 278-291. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.027>.

FAO. (2023). *The State of Food and Agriculture 2023 – Revealing the true cost of food to transform agrifood systems*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc7724en> Erişim tarihi: 12/06/2026.

Getahun, S., Ambaw, A., Delele, M. A., Meyer, C. J., & Opara, U. L. (2017). Analysis of airflow and heat transfer inside fruit packed refrigerated shipping container: Part II - Evaluation of apple packaging design and vertical flow resistance. *Journal of Food Engineering*, 203, 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.02.011>.

Ghadge, A., Bourlakis, M., Kamble, S., & Seuring, S. (2023). Blockchain implementation in pharmaceutical supply chains: A review and conceptual framework. *International Journal of Production Research*, 61(19), 6633-6651. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2125595>.

Habazin, J., Bajor, I., Bajec, P., & Rožić, T. (2025). A review of artificial intelligence applications in cold chain and reverse logistics. *Promet- Traffic & Transportation*, 37(6), 1409–1440. <https://doi.org/10.7307/ptt.v37i6.1332>.

Han, J., Ren, Q., Ji, Z., & Yang, X. (2022). Mathematical model of postharvest variation in tomato color based on optimized response surface methodology. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(7), 2972-2980. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11637>.

Han, Q. (2021). Risk evaluation of green agricultural products cold chain logistics from the perspective of ecological economy. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 22(5), 2232-2240.

Hu, L., Chen, Q., Yang, T., Yi, C., & Chen, J. (2024). Visualization and analysis of hotspots and trends in seafood cold chain logistics based on citespace, vosviewer, and Rstudio bibliometrix. *Sustainability*, 16(15), 6502. <https://doi.org/10.3390/su16156502>.

İpekçi, E., & Tanyaş, M. (2021). Soğuk zincir lojistiği uygulamaları ve Türkiye’de soğuk zincir lojistiğinin swot analizi. *Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (26), 46-64.

Kader, A. A. (2004). Increasing food availability by reducing postharvest losses of fresh produce. *V International Postharvest Symposium*, 682, 2169-2176. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.682.296>.

Kolcubaşı, G. Y., Kolcubaşı, M., & Büber, M. (2026). Exploring Research on Cold Chain Logistics through Bibliometric Analysis. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 21(Special Issue on 24th International Business Congress), 117-144. <https://doi.org/10.19168/jyasar.1749731>.

Kumar, A., Mangla, S. K., Kumar, P., & Song, M. (2021). Mitigate risks in perishable food supply chains: Learning from COVID-19. *Technological Forecasting and Social Change*, 166, 120643. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120643>.

Li, C., Peng, M., Xie, B., Li, Y., & Li, M. (2024). Novel phase change cold energy storage materials for refrigerated transportation of fruits. *Renewable Energy*, 220, 119583. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119583>.

Lu, Y., Xu, X., Yin, C., & Zhang, Y. (2021). Network optimization of railway cold chain logistics based on freight subsidy. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2675(10), 590-603. <https://doi.org/10.1177/03611981211011998>.

Luning, P. A., & Marcelis, W. J. (2006). A techno-managerial approach in food quality management research. *Trends in Food Science & Technology*, 17(7), 378-385. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.01.012>.

Maiorino, A., Petruzzello, F., & Aprea, C. (2021). Refrigerated transport: State of the art, technical issues, innovations and challenges for sustainability. *Energies*, 14(21), 7237. <https://doi.org/10.3390/en14217237>.

Manupati, V. K., Schoenherr, T., Subramanian, N., Ramkumar, M., Soni, B., & Panigrahi, S. (2021). A multi-echelon dynamic cold chain for managing vaccine distribution. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 156, 102542. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102542>.

Marzi, G., Balzano, M., Caputo, A., & Pellegrini, M. M. (2025). Guidelines for bibliometric-systematic literature reviews: 10 steps to combine analysis, synthesis, and theory development. *International Journal of Management Reviews*, 27(1), 81–103. <https://doi.org/10.1111/ijmr.12381>.

Meng, B., Zhang, X., Hua, W., Liu, L., & Ma, K. (2022). Development and application of phase change material in fresh e-commerce cold chain logistics: A review. *Journal of Energy Storage*, 55, 105373. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105373>.

Mercier, S., Villeneuve, S., Mondor, M., & Uysal, I. (2017). Time-Temperature Management Along the Food Cold Chain: A review of recent developments. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(4), 647-667. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12269>.

Mustafa, M. F. M. S., Navaranjan, N., & Demirovic, A. (2024). Food cold chain logistics and management: A review of current development and emerging trends. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101343. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101343>.

Odoi-Yorke, F., Opoku, R., Sekyere, C. K., & Effah, F. B. (2026). Phase change materials for cold energy storage: Insights from three decades of research trends, advancements, and future directions. *Energy Exploration & Exploitation*, 44(3), 1732-1783. <https://doi.org/10.1177/01445987261422506>.

Onwude, D. I., Chen, G., Eke-emezie, N., Kabutey, A., Khaled, A. Y., & Sturm, B. (2020). Recent advances in reducing food losses in the supply chain of fresh agricultural produce. *Processes*, 8(11), 1431. <https://doi.org/10.3390/pr8111431>.

Qi B, Li G. (2024). The evolution of the cold chain logistics vehicle routing problem: a bibliometric and visualization review. *Digital Transportation and Safety* 3(3): 92–114 <https://doi.org/10.48130/dts-0024-0010>.

Qi, T., Ji, J., Zhang, X., Liu, L., Xu, X., Ma, K., & Gao, Y. (2022). Research progress of cold chain transport technology for storage fruits and vegetables. *Journal of Energy Storage*, 56, 105958. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105958>.

Sahoo, A., Dwivedi, A., Madheshiya, P., Kumar, U., Sharma, R. K., & Tiwari, S. (2024). Insights into the management of food waste in developing countries: with special reference to India. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(12), 17887-17913. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27901-6>.

Shashi, Centobelli, P., Cerchione, R., & Ertz, M. (2021). Food cold chain management: what we know and what we deserve. *Supply Chain Management: An International Journal*, 26(1), 102-135. <https://doi.org/10.1108/SCM-12-2019-0452>.

Shashi, Cerchione, R., Singh, R., Centobelli, P., & Shabani, A. (2018). Food cold chain management: From a structured literature review to a conceptual framework and research agenda. *The International Journal of Logistics Management*, 29(3), 792-821. <https://doi.org/10.1108/IJLM-01-2017-0007>.

Shashi, Ertz, M., Centobelli, P., & Cerchione, R. (2024). Shaping the Future of Cold Chain 4.0 Through the Lenses of Digital Transition and Sustainability. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 2812-2828. <https://doi.org/10.1109/TEM.2022.3194208>.

Siddh, M. M., Soni, G., Jain, R., & Sharma, M. K. (2018). Structural model of perishable food supply chain quality (PFSCQ) to improve sustainable organizational performance. *Benchmarking: An International Journal*, 25(7), 2272-2317. <https://doi.org/10.1108/BIJ-01-2017-0003>.

Song, Y., Lei, L., Wu, L., & Chen, S. (2023). Studying domain structure: a comparative analysis of bibliographic coupling analysis and co-citation analysis considering all authors. *Online Information Review*, 47(1), 123-137. <https://doi.org/10.1108/OIR-12-2020-0540>.

Surwase, G., Sagar, A., Kademani, B. S., & Bhanumurthy, K. (2011). Co-citation analysis: An overview. *Proceedings of the Beyond Librarianship: Creativity, Innovation and Discovery*, Mumbai, India, 9.

Tsang, Y. P., Choy, K. L., Wu, C. H., Ho, G. T., Lam, C. H., & Koo, P. S. (2018). An Internet of Things (IoT)-based risk monitoring system for managing cold supply chain risks. *Industrial Management & Data Systems*, 118(7), 1432-1462. <https://doi.org/10.1108/IMDS-09-2017-0384>.

Turan, C., & Ozturkoglu, Y. (2022). Investigating the performance of the sustainable cold supply chain in the pharmaceutical industry. *International Journal of Pharmaceutical and Healthcare Marketing*, 16(3), 448-467. <https://doi.org/10.1108/IJPHM-04-2021-0043>.

UNEP & FAO. (2022). Sustainable Food Cold Chains: Opportunities, Challenges and the Way Forward. Nairobi <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/cf42e3c6-157e-4ea9-8873-8b3cc9242b96/content> Erişim Tarihi: 21 Kasım 2025.

WHO. (2025). *Guidelines for the international packaging and shipping of vaccines, 7th ed.* Dünya Sağlık Örgütü. <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/d3e42fbc-01a1-40d6-b8a3-afe841083a76/content> Erişim tarihi: 12 Haziran 2026.

Xie R, Huang H, Zhang Y, Yu P (2022) Coupling relationship between cold chain logistics and economic development: A investigation from China. *PLoS ONE* 17(2): e0264561. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264561>.

Vega, H. (2008). Air cargo, trade and transportation costs of perishables and exotics from South America. *Journal of Air Transport Management*, 14(6), 324-328. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2008.08.006>.

Zeng, W., Wang, Y., Liang, K., Li, J., & Niu, X. (2024). Advancing emergency supplies management: a blockchain-based traceability system for cold-chain medicine logistics. *Advanced Theory and Simulations*, 7(4), 2300704. <https://doi.org/10.1002/adts.202300704>.

Zhang, B., & Mohammad, J. (2024). Sustainability of perishable food cold chain logistics: a systematic literature review. *Sage Open*, 14(3), 21582440241280455. <https://doi.org/10.1177/21582440241280455>.

Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472 <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>.

**EXTENDED SUMMARY****GLOBAL TRENDS AND RESEARCH GAPS IN COLD  
CHAIN LOGISTICS: AN ANALYSIS WITH THE B-SLR  
APPROACH****Conceptual/Theoretical Framework**

The global supply chain ecosystem has experienced unprecedented disruptions in recent years, highlighting the critical importance of cold chain logistics (CCL). Ensuring the continuous integrity of temperature-sensitive products appears no longer merely as an operational routine but as a fundamental pillar of global food security, healthcare resilience, and public health management. Despite the growing volume of academic studies addressing these complex logistical challenges, the literature remains highly fragmented across disparate disciplines, such as thermal engineering, food science, and strategic management. Consequently, there is a pressing need for a macro-level synthesis to understand the conceptual boundaries, historical evolution, and developmental trajectory of this multidimensional field. The primary motivation of this study is to bridge this critical gap by revealing the intellectual structure, developmental stages, and future research directions of the CCL literature from a holistic and quantitative perspective.

The theoretical background of this research is deeply rooted in the evolutionary paradigm shift of supply chain management, transitioning from traditional mechanical cooling practices to data-driven, integrated ecosystems, frequently conceptualized in recent literature as "Cold Chain 4.0." Historically, cold chain literature focused predominantly on thermodynamic optimization, vehicle routing problems, and passive temperature monitoring. However, contemporary theoretical frameworks increasingly incorporate advanced digitalization, the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), and circular economy principles. This shift reflects a broader theoretical transformation from reactive temperature control to proactive, predictive risk management and end-to-end operational traceability. The academic discourse now heavily emphasizes the theoretical intersection of technological capability, operational resilience, and environmental sustainability, indicating that modern cold chains are increasingly expected to preserve product quality while systematically managing carbon footprints and energy consumption in alignment with global climate targets.

## **Methodology**

To systematically capture and analyze this multidisciplinary evolution, this study adopts a robust Bibliometric-Systematic Literature Review (B-SLR) methodology, integrating quantitative bibliometric mapping with in-depth qualitative content analysis. The data collection process involved a structured search of the Web of Science (WoS) Core Collection database, specifically targeting the period between 2016 and 2026 to capture recent technological shifts and post-pandemic developments. Following the strict application of the PRISMA protocol, the initial retrieval of 4,649 records was systematically filtered. After the application of automated database constraints, WoS thematic category alignments, and a transparent manual screening phase to exclude strictly clinical or non-operational studies, a final refined dataset of 1,941 academic papers was established.

To ensure methodological reproducibility and conceptual coherence, a comprehensive thesaurus was constructed for data standardization. VOSviewer software was utilized to conduct co-authorship, keyword co-occurrence, and bibliographic coupling analyses, applying a full counting method and association strength normalization. The algorithm's resolution parameter was optimized to 0.70, allowing the literature to intuitively cluster into five distinct thematic groups. Subsequently, an inductive coding framework was applied, extracting the top 5 papers with the highest Total Link Strength (TLS) from each cluster. This selection strategy aimed to achieve thematic saturation and ensure equal representational weight across all axes. These 25 core publications formed the foundational dataset for the qualitative systematic review phase.

## **Findings and Discussion**

The bibliometric analysis suggests a literature heavily influenced by research originating from China, the United States, and the United Kingdom. Temporal network analysis indicates a rapid acceleration in multidisciplinary knowledge production globally, particularly driven by recent environmental imperatives and the structural supply chain shocks induced by the COVID-19 pandemic. By establishing a deductive bridge between quantitative clusters and qualitative synthesis, the foundational literature was conceptually consolidated into three primary macro-axes: (1) Traceability and the Evolution of Digitalization, (2) Strategic Resilience and Operational Risk Management, and (3) Sustainable Packaging, Physical Flow, and Advanced Energy Solutions (e.g., Phase Change Materials).

The findings indicate that achieving a sustainable competitive advantage may require a transition from passive sensor networks to AI-supported infrastructures capable of real-time predictive analytics.

Furthermore, investments in green packaging and advanced thermal storage solutions appear to be transitioning from optional corporate environmental initiatives to strategic necessities for regulatory compliance. The analysis also suggests that blockchain-based smart contracts are emerging as important tools for enhancing business-to-business (B2B) transparency and mitigating inter-organizational trust issues that often precipitate supply chain disruptions

### **Conclusion, Recommendations and Limitations**

In conclusion, while current research provides a strong conceptual foundation, the study moves beyond a descriptive inventory by introducing a prescriptive research agenda. Significant empirical gaps remain regarding the physical-digital synchronization of flows and the equitable distribution of green transformation costs among stakeholders. The study suggests a growing need for future research to focus on digital twin-based stress testing to evaluate cold chain resilience against macro-level systemic risks, such as climate-induced extreme weather events.

Crucially, the formulation of regional logistics master plans and the optimization of urban distribution networks may require direct integration with emerging macro-environmental regulations. In this context, operational cost models incorporating the European Union's Green Deal targets and the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) hold substantial importance. Investigating this structural alignment may not only enhance operational efficiency but also establish the academic groundwork necessary for international sustainability projects. A key limitation of this study is its reliance on an English-only, single-database scope. Future research could overcome this boundary by integrating multiple databases and real-world case studies to further advance the field.

## EKLER

## EK-A: En Yüksek Bağlantı Gücüne Sahip 25 Makalenin Sistemik İçerik Analizi (SLR) Matrisi

Kümeler	Yazar (Yıl)	Metodolojik Yaklaşım	Sentezlenen Ana Tematik Eksen	Temel Bulgu ve Teorik Çıkarım
<b>Küme 1:</b> Bilgi Akışı, Dijitalizasyon ve İzlenebilirlik	Shashi vd. (2024)	Bibliyometrik ve Ağ Analizi	Soğuk Zincir 4.0 ve Dijital Sürdürülebilirlik	Geleneksel tedarik zinciri bilgi sistemlerinin yetersiz kaldığı tespitiyle <i>Cold Chain 4.0</i> konsepti teorize edilmiş; dijitalleşmenin operasyonel yönetim ve sürdürülebilirlik arasındaki en kritik arayüz olduğu saptanmıştır.
	Chen vd. (2022)	Matematiksel Algoritma	Çok Aşamalı Kalite Bozulması	Soğuk zincirin tek üretici ve çoklu perakendeci yapısı modellenmiştir. Kalite bozulmasını, karbon emisyonunu ve soğutma maliyetlerini aynı anda minimize eden bir <i>optimum yenileme algoritması</i> geliştirilmiştir.
	Mercier vd. (2017)	Sistemik Derleme	Zaman-Sıcaklık Yönetimi	Zaman-sıcaklık sapmalarının gıda güvenliğindeki en zayıf halka olduğu tespit edilerek, ısı kırılmalarını önlemek adına <i>duyarlı gıda envanter yönetim sistemlerinin</i> gerekliliği teorize edilmiştir.
	Badia-Melis vd. (2018)	Teknolojik İnceleme ve Yöntem Karşılaştırması	Sensör Teknolojileri ve IoT Mimarisi	WSN'nin (Kablosuz Sensör Ağları) dayanıklılık kısıtı ile RFID'nin menzil kısıtını aşmak için bu teknolojilerin IoT ve Yapay Sinir Ağları ile entegre çalıştığı melez bir izleme mimarisi önerilmiştir.
	Onwude vd. (2020)	Sistemik Derleme	Hasat Sonrası Kayıp Önleme ve İleri İzleme	Taze tarım ürünlerindeki ~%50 oranındaki zayıflığı engellemek için; çoklu spektral görüntüleme haritalandırılmış, literatürün geleceği olarak IoT ve <i>Dijital İkiz</i> entegrasyonu işaret edilmiştir.
<b>Küme 2:</b> Stratejik Çerçevesel ve	Shashi vd. (2021)	Bibliyometrik Haritalama ve Ağ Analizi	Entelektüel Gelişim ve Araştırma Kümeleri	Soğuk zincir lojistiğinin 25 yıllık entelektüel yapısı haritalandırılmış; RFID, operasyon planlama, hasat sonrası kayıplar ve envanter politikaları olmak üzere 4 temel araştırma akımı saptanmıştır.

Performans Yönetimi	Akram vd. (2023)	Yapılandırılmış Literatür Taraması (SLR)	Bozulabilir Gıda Tedarik Zinciri ve Sürdürülebilirlik	Sürdürülebilir soğuk zincir uygulamalarının gelişmekte olan ülkelerde yetersiz kaldığı tespit edilerek, paydaş işbirliğine dayalı yeni bir makro kavramsal çerçeve geliştirilmiştir.
	Shashi vd. (2018)	Yapılandırılmış Literatür Taraması (SLR)	Soğuk Zincir Performans Yönetimi	Literatürdeki performans ölçüm metriklerindeki 4 temel araştırma boşluğu tanımlanmış; altyapı, entegrasyon ve değer yaratmayı birleştiren bütünlük bir teorik performans modeli inşa edilmiştir.
	Siddh vd. (2018)	Kavramsal ve Yapısal Modelleme	Tedarik Zinciri Kalitesi ve Kurumsal Sürdürülebilirlik	Kalite pratiklerinin firmanın ekonomik, çevresel ve sosyal performansı üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerini kanıtlayan bir yapısal model tasarlanmıştır.
	Bremer (2018)	Nesne Yönelimli Modelleme	Soğuk Zincir Referans Mimarisi	Standart iş süreçlerinin ısı hassasiyetini çözmede yetersiz olduğu ispatlanmış; ürün, IT, altyapı ve regülasyonları kapsayan bir 'soğuk zincir referans modeli' teorize edilmiştir.
<b>Küme 3:</b> Altyapı, Sürdürülebilir Enerji (PCM) ve VRP	Li vd. (2024)	Deneysel Malzeme Bilimi Uygulama Testleri	Sürdürülebilir Enerji Depolama ve Yeni Nesil PCM'ler	Dizel soğutucuların yüksek karbon emisyonunu önlemek için sodyum karbonat dekahidrat tabanlı Faz Değiştiren Madde (PCM) geliştirilmiş; taze meyve raf ömrünün sıfır enerji maliyetiyle uzatılabileceği kanıtlanmıştır.
	Qi vd. (2022)	Teknolojik İnceleme ve Derleme	Taze Tarım Ürünleri ve Pasif Soğutma Altyapısı	Mekanik soğutmanın yarattığı ısı dalgalanmalarına karşı, enerji tasarrufu sağlamak için PCM'lerin ulaşım ekipmanlarına entegrasyon potansiyeli haritalandırılmıştır.
	Ben Taher vd. (2022)	Simülasyon	Taşıma Altyapısı ve Termodinamik Tasarım	Soğutuculu kamyonların içindeki hava akışı ve ısı dağılımı eşitsizlikleri analiz edilerek, treyler tasarımlarının termodinamik verimliliğini artıran çözümler sentezlenmiştir.

	Meng vd. (2022)	Teknolojik Derleme	Taze Gıda E-Ticareti ve Son Mil Dağıtımı	Pazar payı büyüyen taze gıda e-ticaretinde; PCM'lerin özellikle "son mil" teslimatlarında mekanik soğutmaya kıyasla üstün bir çevresel ve yalıtım avantajı sunduğu teorize edilmiştir.
	Chen vd. (2024)	Zaman Pencereli Çok Depolu Araç Rotalama Modellemesi ve Sezgisel Algoritmalar	İlaç Lojistiğinde İşbirlikçi Araç Rotalama	Çoklu depo işbirlikçi araç rotalama modeli geliştirilerek; her bir depodaki araç akış dengesinin sağlandığı optimim bir lojistik ağ stratejisi tasarlanmıştır.
<b>Küme 4:</b> Ambalaj, Termo-Mekanik Akış ve Ön Soğutma	Berry vd. (2022)	Çok Ölçekli Literatür İncelemesi	Karton Ambalaj Tasarımı ve Soğuk Zincir Etkileşimi	Gıda soğutma performansı ile mekanik istifleme mukavemeti arasındaki zıt ilişkinin, çok parametrelili simülasyonlarla optimize edilmesi gerektiği teorize edilmiştir.
	Getahun vd. (2017)	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği	Dikey Hava Akışı ve Isı Transferi	Elma ambalaj kutularının alt yüzeyine havalandırma deliği eklenmesinin dikey direnci kırarak soğuma süresini %37 oranında kısalttığı ve devasa bir enerji tasarrufu sağladığı kanıtlanmıştır.
	Duan vd. (2020)	Sistemik İnceleme ve Simülasyon Analizi	Hasat Sonrası Ön Soğutma Dinamikleri	Ön soğutmanın sadece fiziksel bir sıcaklık düşüşü değil, meyve fizyolojisini hücresel ve metabolomik düzeyde etkileyen biyolojik bir parametre olduğu haritalandırılmıştır.
	Berry vd. (2017)	Deneysel Tasarım ve CFD Modellemesi	Ambalaj Havalandırma Delikleri Optimizasyonu	Multivent' (taşıma ekipmanlarında çoklu-delik) tasarımının, standart tasarıma göre %58 daha az basınçlı hava enerjisi harcayarak mukavemet/verimlilik çelişkisini çözdüğü matematiksel olarak ispatlanmıştır.
	Ambaw vd. (2021)	Analitik ve Hesaplamalı Modelleme İncelemesi	Taze Meyvelerde Termo-Mekanik Analiz	Kutular içerisindeki ısı transferi ile taze meyvelerin mekanik güvenlik sınırları arasındaki termo-mekanik ilişki modellenerek endüstriyel bir tasarım rehberi sunulmuştur.

<b>Küme 5:</b> Kriz Yönetimi, Dirençlilik ve Tahminleme	Zeng vd. (2024)	Çoklu Sensör Veri Füzyon Algoritması	Acil Durum Lojistiği ve Blokzincir	Acil durum ilaç/aşı lojistiğindeki sorunları aşmak amacıyla, IoT tabanlı çoklu sensör verilerini blokzincir şeffaflığıyla entegre eden ulusal bir afet lojistiği yönetim sistemi tasarlanmıştır.
	Han (2021)	Analitik Hiyerarşi Süreci	Yeşil Tarım ve Ekolojik Risk Değerlendirmesi	Tedarik zincirindeki ekonomik kayıplar ile karbon ayak izi riski ağırlıklandırılarak, lojistik kırılganlıklar matematiksel olarak ölçülebilir hale getirilmiştir.
	Kumar vd. (2021)	Bulanık BWM (Fuzzy Best- Worst Method) Analizi	Kriz Yönetimi ve COVID-19 Kırılganlıkları	COVID-19 krizinde en güçlü risk azaltma stratejilerinin "işbirlikçi yönetim", "proaktif iş sürekliliği planlaması" ve "finansal sürdürülebilirlik" olduğu kanıtlanmıştır.
	Han vd. (2022)	Tepki Yüzeyi Metodolojisi (RSM)	Ürün Kalite Bozulmasının Dinamik Tahmini	Domateslerin depolama ve taşıma sırasındaki renk varyasyonlarını "sıcaklık-nem" oranlarına göre dinamik olarak tahmin eden yeni bir tahribatsız ölçüm modeli formüle edilmiştir.
	Lu vd. (2021)	Adaptif Genetik- Benzetilmiş Tavlama Algoritması	Karbon Vergisi ve Demiryolu Ağ Optimizasyonu	Demiryoluna verilen navlun sübvansiyonlarındansa, tren seyahat hızının artırılmasının intermodal rekabetçiliği ve karbon emisyonu düşüşünü sağlamada çok daha baskın bir strateji olduğu ampirik olarak ispatlanmıştır.

### **EK-B: VOSviewer Veri Temizleme ve Standardizasyon Sözlüğü**

Araştırmanın "3.1. Bibliyometrik Analiz Yöntemi ve Veri Toplama" bölümünde belirtildiği üzere, WoS veri tabanından elde edilen bibliyografik verilerdeki (anahtar kelime, yazar, kurum ve ülke) yazım varyasyonlarını, eş anlamlı ifadeleri ve istatistiksel gürültüleri gidermek amacıyla VOSviewer yazılımına entegre edilen "Thesaurus (Sözlük)" kuralları Tablo B.1, B.2, B.3 ve B.4'te şeffaf bir biçimde sunulmuştur.

Kavramsal birleştirme işlemleri rastgele yapılmamış; literatürdeki anlamsal bütünlük ve hiyerarşik kapsayıcılık ilkeleri temel alınmıştır. Çalışmanın amacı mikro düzeydeki spesifik farklılıkları ölçmek değil, soğuk zincir lojistiğinin makro tematik eksenlerini haritalamak olduğu için; birbirleriyle yakından ilişkili alt-kavramlar üst çatı terimler altında konsolide edilmiştir. Örneğin; "*numerical simulation*", "*modelling*" ve "*system dynamics*" gibi operasyonel araştırma bağlamında aynı metodolojik amaca hizmet eden spesifik alt kavramlar, ağ haritasındaki kavramsal parçalanmayı engellemek amacıyla "*simulation*" çatı kavramı altında toplanmıştır. Benzer şekilde, spesifik ürün odaklı çalışmalar (örn. *meat*, *beef*, *dairy*) genel literatür eğilimini sapmasız yansıtabilmesi için "*perishable products*" şemsiyesi altında birleştirilmiştir. Bu standardizasyon süreci, kavramların literatürdeki gerçek etki ağırlıklarının (Total Link Strength) ağ haritalarına optimum düzeyde yansımaları sağlamaya yöneliktir.

**Tablo B.1.** Anahtar Kelime Birleştirme (Keyword Thesaurus) Protokolü

<b>Original Terimler (Label)</b>	<b>Standardize Edilen Terim (Replace By)</b>
"agricultural product", "fresh agricultural products", "fresh produce", "fruit", "table grapes"	"agricultural products"
"ant colony algorithm", "genetic algorithm", "particle swarm optimization", "simulated annealing", "metaheuristics"	"heuristic algorithms"
"numerical simulation", "modelling", "system dynamics"	"simulation"
"blockchain technology", "smart contract", "distributed ledger technology"	"blockchain"
"carbon dioxide", "carbon footprint", "ghg emissions", "low carbon"	"carbon emission"
"cold chain logistics", "cold supply chain", "temperature-controlled supply chain", "food logistics"	"cold chain"
"energy consumption", "energy conservation", "energy saving"	"energy efficiency"

"food loss", "food losses"	"food waste"
"food storage", "cold storage box", "warehousing"	"warehouse management"
"food packaging", "edible coating", "smart packaging"	"packaging"
"quality control", "fruit quality", "postharvest quality", "freshness"	"food quality"
"foodborne pathogen", "bacillus cereus", "escherichia coli", "listeria monocytogenes"	"foodborne pathogens"
"cooling rate", "precooling", "supercooling", "freezing"	"cooling"
"temperature abuse", "temperature breaks"	"temperature fluctuation"
"temperature measurement", "real-time monitoring", "condition monitoring"	"monitoring system"
"internet of things", "wireless sensor network", "temperature sensor"	"iot"
"path optimization", "vehicle routing", "cvrp", "vrptw", "time window"	"vehicle routing problem"
"location-routing problem"	"facility location"
"refrigerated transportation", "refrigerated truck", "refrigerated container"	"refrigerated transport"
"perishable food", "fresh food", "meat", "dairy", "milk"	"perishable products"
"pharmaceutical cold chain"	"pharmaceutical logistics"
"drug", "medicine"	"pharmaceutical"
"vaccines", "vaccination", "immunization"	"vaccine"
"covid-19", "sars-cov-2", "coronavirus", "pandemic"	"covid-19"
"shelf-life", "remaining shelf life"	"shelf life"
"supply chains", "scm"	"supply chain management"
"third-party logistics"	"3pl"

"food traceability", "traceability system"	"traceability"
"phase change material", "pcm"	"phase change materials"
"cold energy storage", "cold thermal energy storage"	"thermal energy storage"
"life cycle assessment"	"lca"
"computational fluid dynamics"	"cfd"
"inventory control"	"inventory management"
"last-mile delivery"	"last mile delivery"
"city logistics"	"urban logistics"
"maritime transport", "maritime logistics", "shipping"	"maritime transportation"
"port logistics", "container terminal"	"port"
"environmental impact", "sustainable development", "green logistics", "green supply chain"	"sustainability"
"bibliometrics"	"bibliometric analysis"
"transport"	"transportation"

**Tablo B.2. Ülke İsmi Standardizasyonu (Country Thesaurus)**

<b>Orijinal Terim (Label)</b>	<b>Standardize Edilen Terim (Replace By)</b>
"peoples r china"	"china"
"turkey", "turkiye"	"türkiye"
"england", "scotland", "wales", "northern ireland", "north ireland"	"united kingdom"
"india"	"india"
"indonesia"	"indonesia"
"iran"	"iran"
"ireland"	"ireland"
"italy"	"italy"
"u arab emirates"	"united arab emirates"

**Tablo B.3.** Yazar İsmi Standardizasyonu (Author Thesaurus)

<b>Orijinal Terim (Label)</b>	<b>Standardize Edilen Terim (Replace By)</b>
"defraeye, t."	"defraeye, thijs"
"badia-melis, r."	"badia-melis, ricardo"
"berry, tarl"	"berry, tarl m."
"goedhals-gerber, leila l."	"goedhals-gerber, leila louise"
"hsiao, hsin-, 1"	"hsiao, hsin-1"
"ji, zeng-tao"	"ji, zengtao"
"qian, jian-ping"	"qian, jianping"
"ruiz-garcia, l."	"ruiz-garcia, luis"
"taoukis, petros s."	"taoukis, petros"
"yang, xin-ting"	"yang, xinting"

**Tablo B.4.** Kurum İsmi Standardizasyonu (Organization Thesaurus)

<b>Orijinal Terim (Label)</b>	<b>Standardize Edilen Terim (Replace By)</b>
"univ stellenbosch"	"stellenbosch univ"
"empa"	"swiss fed labs mat sci & technol"
"wageningen univ"	"wageningen univ & res"
"minist agr"	"minist agr & rural affairs"
"ars"	"usda ars"