

Küresel Tedarik Zincirinde Optimizasyon

Hazal Ezgi Özbek¹

Özet

Küresel tedarik zincirinde optimizasyon, günümüzün rekabetçi ve hızla değişen iş ortamında kritik bir stratejik öneme sahiptir. Bu süreç, malzeme, bilgi ve finansal akışların en verimli şekilde yönetilmesini amaçlamaktadır. Üretim, envanter, lojistik, tedarikçi seçimi ve dağıtım gibi süreçlerin maliyet etkinliğini artırmak ve zaman kaybını en aza indirmek için çeşitli optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Küresel tedarik zincirleri, farklı ülkeler ve bölgeler arasında faaliyet gösterdiği için karmaşıklığı yüksektir. Bu nedenle, belirsizlikler, riskler ve gecikmeler göz önünde bulundurulduğunda, daha esnek ve dayanıklı stratejiler geliştirilmelidir. Genetik algoritmalar, benzetimli tavlama ve parçacık sürüsü optimizasyonu gibi metasezgisel algoritmalar, tedarik zincirinde en uygun çözümleri bulmak için yaygın olarak kullanılan ve günümüz teknolojisinde uygulanan yöntemler arasında yer almaktadır. Bu tür yaklaşımlar, maliyetleri düşürmenin yanı sıra, hizmet kalitesini artırarak müşteri memnuniyetini de ön plana çıkarmaktadır.

1. GİRİŞ

Günümüz koşullarında tedarik zincirleri, küresel ticaretin merkezinde yer almakta ve mal, hizmet ve bilgilerin sınırlar arasında akışını sağlamaktadır. Aynı zamanda küreselleşme hızla gelişmeye ve ilerlemeye devam ederken işletmeler, endüstriler ve hatta uluslar her zamankinden daha fazla birbirine bağlı hale gelmekte ve coğrafi sınırları aşan karmaşık tedarikçi, üretici ve dağıtımçı ağlarına güvenmek durumundadırlar. Bu doğrultuda tedarik zincirleri, küresel pazarların verimli bir şekilde çalışması için altyapı sağlayarak uluslararası ticaretin omurgası haline gelmiştir.

1 Arş. Gör. Dr. Hazal Ezgi Özbek, Çağ Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, hazalezgiobek@cağ.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3259-6817

Geleneksel bir tedarik zinciri, yerel veya bölgesel kaynakların ve lojistiğin nispeten basit bir şekilde yönetilmesine olanak sağlamaktaydı. Ancak teknoloji, ulaşım ve iletişimdeki gelişmelerle desteklenen küreselleşmenin etkisiyle, bu zincirler kıtalar arası yayılacak şekilde genişlemiştir. Bu sayede örneğin bir ürün Amerika Birleşik Devletleri'nde tasarlanırken, Çin'de üretilebilir, Almanya'da monte edilebilir ve başka bir ülkede satılabilir konuma gelmiştir. Bu süreçlerin her biri, malların zamanında ve mümkün olan en düşük maliyetle teslim edilmesini sağlamak için ciddi koordinasyon gerektiren bir iletişim ve lojistik sistemi gerektirmektedir sergilemiştir (Nicita vd., 2013, s. 2).

Tedarik zincirinin küresel ticarete en önemli katkılarından biri, işletmeler için rekabet avantajları yaratmasıdır. Tedarik zincirlerini optimize eden şirketler, operasyonel maliyetleri azaltabilir, ürün kalitesini iyileştirebilir ve pazara sunma süresini hızlandırabilir (Maqbool vd., 2014, 47). Ayrıca tedarik zincirleri, işletmelerin tüketicilere uygun fiyatlı ürünler sunmasına yardımcı olarak, verimli kaynak tahsisi yoluyla üretim maliyetlerini düşürmede önemli bir rol oynamaktadır (De Treville vd., 2004; Ketchen Jr ve Hult, 2007; Sarfaty, 2015).

Küresel tedarik zinciri, istihdam fırsatları sağlayarak, sınır ötesi yatırımları kolaylaştırmakta ve uluslararası ortaklıklara teşvik ederek daha geniş bir yelpazede ekonomiyi şekillendirmede önemli fırsatlar sunmaktadır. Ancak, tedarik zincirleriyle olan karmaşık ilişkiler ve riskler ticareti önemli ölçüde aksatabilmekte ve bazı koşullarda ekonomiyi de olumsuz etkileyebilmektedir. COVID-19 gibi pandemiler veya deprem gibi doğal afet olayları, tedarik zincirleri içinde sürekli optimizasyon ve uygulanabilirliğinin önemini ortaya çıkarmaktadır (Nikookar ve Yanadori, 2022; Reynolds, 2024).

Tedarik zinciri optimizasyonu, maksimum verimlilik, maliyet düşürme ve müşteri memnuniyeti sağlamak için tedarik zincirinin çeşitli bileşenlerini iyileştirmenin stratejik karar verme sürecini ifade etmektedir (Zheng, 2016, s. 289). Küresel ticaretin kullanımı genişlemeye devam ettikçe, tedarik zincirlerinin karmaşık yapısını çözmek bir hayli zorlaşmaya başlamıştır. Bu doğrultuda özellikle küresel boyutlarda ve kriz anlarında kaynakları etkili bir şekilde yönetmek için çeşitli araçların ve metodolojilerin kullanılması için optimizasyon araçlarından yararlanılmaktadır. Ek olarak, lojistik ve dağıtım ağlarının optimizasyonu maliyet minimizasyonu ve kar maksimizasyonu elde etmek için çok önemlidir. Tedarik zinciri ağlarının performansları, genellikle bu ağların tasarımında ve optimizasyonunda kritik bileşenler olan taşıma maliyetleri, envanter miktarları ve müşteri talebinin bir fonksiyonu olarak modellenmektedir (Goğabek vd., 2021).

Küresel tedarik zinciri optimizasyonu, özellikle COVID-19 salgını gibi yaşanan önemli olayların meydana geldiği süreçte, dünya çapında tedarik zincirinin verimliliğini ve etkinliğini artırmayı amaçlayan kritik bir süreci kapsamaktadır. Bu optimizasyon, tedarikçilerden son müşteri veya müşterilere ulaşan mal, hizmet, bilgi ve finans akışını kolaylaştıran birbirine bağlı süreçlerin stratejik yönetimini içermektedir. Aynı doğrultuda maliyetleri ve riskleri en aza indirirken operasyonel verimliliği en üst düzeye çıkarmayı hedeflemektedir (Eni vd., 2024). Bu süreçte özellikle pandemi, küresel tedarik zincirlerinde bulunan zayıflıkları vurgulayarak, doğal afetler ve jeopolitik gerginlikler de dahil olmak üzere çeşitli faktörlerin neden olduğu kesintilerin etkilerini azaltmak için dayanıklılık analitiği ve uyarlanabilir stratejilere olan ihtiyacı ortaya koymuştur (Golan vd., 2020; Modgil vd., 2021). Tedarikçi firmalar özellikle yapay zeka ve makine öğrenimi gibi gelişmiş teknolojilere giderek daha fazla yöneldikçe, tedarik zincirleri içindeki lojistik ve karar alma süreçlerini optimize etme potansiyeli önemli ölçüde genişlemektedir. Bu ise firmaların karmaşıklıkları daha iyi yönetmesini ve genel performansını artırmasını sağlamaktadır (Atadoga vd., 2024; Zhang ve Hu, 2024). Bu nedenle, küresel tedarik zinciri optimizasyonu yalnızca küresel salgınlar gibi krizlerin yönetim sürecinde karar mekanizması olmakla kalmayıp, aynı zamanda şirketleri giderek daha fazla birbirine bağlı ve sürekli değişken bir küresel pazarda gelişmeye hazır hale getirmektedir.

Bu bölüm, tedarik zincirinde karar alma süreçlerinde optimizasyonun rolünü anlatmak ve aynı zamanda küreselleşme ile dijitalleşmenin de önemini vurgulamak amacıyla küresel tedarik zinciri optimizasyonu üzerine kavramsal bir çerçeve sunmayı amaçlamaktadır. İkinci bölümde, tedarik zincirinin temel yapısı ele alınmakta olup, üçüncü bölümde tedarik zincirinde kullanılan optimizasyon tekniklerine değinilmektedir. Dördüncü bölümde dijital dönüşümün tedarik zinciri üzerindeki etkilerine değinilmektedir. Son olarak küresel boyutta ele alınan konunun genel bir değerlendirmesi yapılarak gelecekteki potansiyel etkileri özetlenmektedir.

2. KÜRESEL TEDARİK ZİNCİRİ YAPISI

Günümüz iş dünyasında stratejik bir öneme sahip olan küresel tedarik zinciri, mal ve hizmetlerin üreticiden tüketiciye kadar olan sürecini yönetirken dünya çapında bir ağ oluşturmaktadır. Bu kapsamda, farklı ülkelerin ya da sınırların politikalarını entegre ederek bir tedarik yönetimini yürütmek oldukça karmaşık bir yapı ve ilişkiyi içermektedir. Verimlilik, maliyet optimizasyonu, kalite kontrolü ve memnuniyet gibi faktörler, küresel boyutta bir tedarik zincirinin etkin bir şekilde yönetilmesini gerektiren temel unsurlardır. Bu doğrultuda tedarik zincirinin temel bileşenlerinin ve küresel

boyutta karşılaşılabilecek olan risklerin tanımlanması küresel pazarda rekabet edebilmek açısından önem teşkil etmektedir.

2.1. Tedarik Zincirinin Temel Bileşenleri

“Tedarik zinciri” kavramının literatürde “Tedarik Zinciri Yönetimi” ifadesinden daha yaygın kullanıldığı belirtilirken, tedarik zincirinin bir çıktığı firmalara ileten bir dizinden oluştuğu ifade edilmektedir (Mentzer vd., 2021, s. 3). Literatürde tedarik zinciri kavramı üzerine çalışma yapan araştırmacıların bazıları, tedarik zincirini firmaların iş birliğini temsil etmek amaçlı kullandıklarını belirtmektedirler. Tedarik zinciri yönetimini ise, müşteriler için değer katan ürün, hizmet ve bilgi sağlayan, son kullanıcıdan orijinal tedarikçilere kadar iş süreçlerinin entegrasyonu olarak tanımlamaktadırlar (Larson ve Rogers, 1998, s. 1).

Tedarik zinciri, hammaddelerin temin edilmesinden başlayarak, bu hammaddelerin yarı mamul ve nihai ürünlere dönüştürülmesi ve son kullanıcıya ulaştırılmasına kadar olan süreçte, üreticiler ve dağıtıcılar arasında kurulan bir ağı ifade etmektedir (Akben ve Güngör, 2018, s. 2). Genel hatları ile tedarik zincirinin yönetiminde rol alan bileşenler Şekil 1’de gösterildiği gibi sıralanmaktadır.



Şekil 1. Tedarik Zinciri Örneği

Kaynak: Akben ve Güngör, 2018, s. 3

Geleneksel tedarik zincirine ek olarak küresel tedarik zinciri, sınırlar çapında mal ve hizmetlerin verimli akışı için gerekli olan çeşitli bileşenleri kapsayan karmaşık bir ağdan oluşmaktadır. Bu bileşenler arasında tedarikçiler, üreticiler, dağıtıcılar, toptancılar, perakendeciler ve tüketiciler yer almakta olup her biri genel tedarik zinciri yapısında kritik bir rol oynar. Bu bileşenlerin entegrasyonu ise, uluslararası pazarlarda operasyonel verimlilik ve rekabet avantajı elde etmek için hayati önem taşımaktadır (Awaysheh ve Klassen, 2010). Örneğin, tedarikçiler ve üreticiler arasındaki ilişki, üretim kalitesini ve zamanlamasını etkilerken aynı zamanda müşteri memnuniyetini de etkilemektedir (Heikkilä, 2002). Bir diğer yandan tedarikçilerin birlikte

çalıştığı firmalar ile iyi geçinmesinin tedarikçi memnuniyet düzeyini ve bu doğrultuda müşteri memnuniyetini de etkileyici bir faktör olduğu gözlemlenmiştir (Wong, 2000, s. 430).

Tedarik zinciri bileşenlerini doğru bir şekilde yönetebilmek operasyonel verimlilikleri ve rekabet avantajlarını artırmayı hedefleyen kuruluşlar için hayati önem taşımaktadır. Bu doğrultuda tedarik zincirini oluşturan temel bileşenlerden biri, süreç boyunca çeşitli durumların birbirileri ile olan bağlantısını temsil etmektedir. Bu ilişki, ürünlerin müşterilere zamanında ve uygun maliyetli bir şekilde teslim edilmesini sağlamak için tedarik, üretim, lojistik gibi faaliyetlerin koordine bir şekilde çalışmasını kapsamaktadır (Sweeney, 2002). Aynı zamanda ürün ve hizmet akışında faaliyet gösteren firmalar arasındaki uzun vadeli ilişkiler daha düşük maliyetler ve daha yüksek müşteri memnuniyetlerinin elde edilmesi amacıyla önem teşkil etmektedir (DeWitt vd., 2006, s. 290)

Bir diğer temel bileşen ise, tedarik zincirinin stok miktarının azaldığı noktalarda bunlara hazırlıklı olma veya yanıt verebilme kabiliyetini ifade eden dayanıklılık kavramıdır. Tedarik zinciri dayanıklılığı, çeşitli stratejilerin veya senaryoların geliştirilmesiyle artırılmaktadır (Ali vd., 2017; Barroso vd., 2011). Buna ek olarak, tedarik zincirinde önem arz eden bilgi akışının sağlam olması ve ortak ilişkilerin güçlü olması da öngörülemeyen olaylar gerçekleştiğinde tedarik zincirinin sürekliliğini korumada önemli noktalardandır (Ke vd., 2023).

Tedarik zinciri akışında bilginin doğru aktarılabilmesi için güçlü bir iletişim ağının yönetilmesi temel bileşenlerden bir diğer hususu ön plana çıkarmaktadır. Etkili iletişim ve iş birliği becerilerinin artırılması tedarik zinciri performansını önemli ölçüde artırabilir. Özellikle küresel bir pazarda rekabet edebilir bir pozisyonda olabilmek için iyi bir tedarik zinciri yönetiminin oluşturulması beklenmektedir. Bu doğrultuda tedarik zinciri üyelerinin birbirleriyle olan iş birliği ve bilgi paylaşımı genel performansı iyileştirmek ve koordinasyonu optimize etmek açısından önemli bir yere sahiptir. (Ikhwana, 2018; Vanpoucke vd. 2009). Son olarak tedarik zincirinin temel bileşenlerinin ayrılması bir parçası olan performans ölçümü, iyileştirme alanlarını belirleme açısından kullanılmaktadır. Bu bileşen, firmaların kurumsal etkinliği artırmada ve stratejik hedeflerine ulaşmada önemli bir role sahiptir (Gunasekaran vd., 2001). Tedarik zincirinin planlanması sürecinin daha doğru bilgiler ışığında yürütülmesine yönelik talep tahmini gibi çeşitli yöntemlerin kullanılmasına benzer olarak, performans ölçümleri de iyileştirilmesi gereken noktaları belirleyerek tedarik zincirinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Mircetic vd., 2016).

2.2. Küresel Ticarete Karşılaşılan Zorluklar ve Riskler

Her ülkenin farklı ürün ya da hizmet üretme konusunda uzmanlığı ya da koşulu bulunduğundan ülkeler küresel ticarete başvurmuşlardır. Üretmedikleri şeyleri telafi etmek için, diğer ülkeler ile ticaret yapmak durumunda kalırlar. Bu durumda da küresel ticaret, dünya ekonomisinin yükselişine neden olmaktadır. Bununla beraber arz ve talep durumları, fiyatlandırma politikaları da küresel olaylardan etkilenebilmektedir (Vijayasri, 2013, s. 17). Bunun gibi zorluklar ve riskler sınır ötesi tedarik gönderimini zorlaştırmakta ve firmaları olumsuz yönde etkilemektedir. Küresel açıdan tedarik zinciri yönetiminde karşılaşılabilecek bazı zorluk ve riskler şu şekildedir:

- **Jeopolitik Riskler:** Küresel ticareti, uluslararası piyasaların sürekliliğini ve verimliliğini olumsuz yönde etkileyebilecek pek çok zorluk karşılamaktadır. Bunlardan ilki, jeopolitik risklerdir. Uluslararası ticaret, ülkeler arasındaki siyasi ilişkilerden büyük ölçüde etkilenmektedir. Jeopolitik gerginlikler ve korumacı politikalar nedeniyle ortaya çıkan ve artan ticaret sürtüşmeleri, küresel tedarik zincirinin işleyişinde risk yaratabilmektedir. Örneğin, küresel ekonominin toparlanmasının yavaş ilerlemesi bu gerginlikleri artırmakta, bu durum ise ihracatçı firmaların operasyonlarını karmaşıklaştırıp uluslararası piyasalardaki rekabet güçlerini sınırlamaktadır. Bu durum ise Çin gibi ihracat yapan ülkeleri bir hayli etkilemektedir (Deng, 2023).
- **Kesintiler:** Özellikle küresel bir olay meydana geldiğinde tedarik esnasında kesintilere meydana gelebilmekte ve firmalar buna maruz kalmaktadır. Örneğin, yapılan bir çalışmada COVID-19 salgını ile küresel tahıl tedariki arasındaki ilişki incelenmiş ve birbirine bağlı ticaret ağlarının küresel krizlerin etkisini nasıl artırabileceği gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, salgın gibi küresel olayların tedarik zincirinde yarattığı kesintilere karşı ne gibi önlemler alınması gerektiği ön plana çıkmıştır (Zhang vd., 2021).
- **Ekonomik Koşullar:** Küresel ticaret yapan firmalar ülkelerin döviz kurundan etkilendiklerinden, döviz dalgalanmaları, enflasyon gibi ekonomik koşullar küresel ticareti etkileyebilir. Bu nedenle karşılaşılabilecek herhangi bir finansal risk küresel ticareti de ilgilendiren bir boyuttur. Döviz kuru dalgalanmaları ve piyasa oynaklığı gibi çeşitli finansal belirsizlikler tedarik zincirinin küreselleşmesiyle birlikte meydana gelmektedir (Li vd., 2011). Bu riskler, ticaret ilişkilerinin istikrarını zayıflatabilir ve birden fazla ülkede faaliyet gösteren firmaların karar alma süreçlerini etkileyebilir. Ayrıca, Soni ve Kodali, firmaların maliyet verimliliğinin faydalarını olası kesintilere karşı

dengeleyerek uluslararası pazarların karmaşıklıklarında gezinmesi gerektiğinden, küresel tedarik zinciri yapılandırılmalarıyla ilişkili riskleri değerlendirmenin önemini vurgulamaktadır (Soni ve Kodali, 2013). Küresel ticaret gelişmeye devam ettikçe, bu zorlukları ve riskleri anlamak ve azaltmak, sürdürülebilir ve dayanıklı uluslararası ticaret uygulamalarını teşvik etmek için hayati bir önem taşıyacaktır.

- **Teknolojik Riskler:** Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesi ile birlikte ticaret yapan firmaların buna adapte olması da bir hayli zor bir süreçtir. Bu doğrultuda tedarik zinciri yönetimindeki teknolojik zorlukları aşabilmek ve günümüze ayak uydurabilmek adına, kuruluşlar yapay zeka (AI), Nesnelerin İnterneti (IoT) ve blok zinciri gibi gelişmiş teknolojileri operasyonlarına entegre etmeye çalışmaktadır. Bu süreç ise giderek daha da önemli hale gelmektedir. Kullanılan bu teknolojiler her ne kadar tedarik zincirleri içinde şeffaflığı, verimliliği ve sürdürülebilirliği artırmayı amaçlasa da firmalar tarafından benimsenmeleri zorlu bir süreçtir. Teknolojik iyileştirmeler sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi için yenilikçi çözümlere yol açabilmektedir. Ancak köklü sistemlere sahip olan firmalar tarafından benimsenmesi ve uygulanması oldukça karmaşık olan bu yapılanma, kültürel bir değişim de gerektirdiğinden teknolojinin kullanımı risk taşımaktadır. (Chen 2024).

Tedarik zincirinin yapısını oluşturan bileşenlerin herhangi bir sürecinde gerçekleşebilecek krizlerden tüm zincir etkilenebilmektedir. Bu yapıya küresel boyuttaki zorluklar ve riskler de dahil edildiğinde tedarik zincirinin yönetimi daha karmaşık bir hale gelmekte ve daha zorlu bir süreç haline dönüşmektedir. Bu nedenle, özellikle karmaşık bir yapıya sahip olan küresel bir tedarik zincirine ait her bir bileşenin mümkün olduğunca verimli ve etkili bir şekilde yürütülmesini sağlamak amacıyla optimizasyon yöntemine başvurulmaktadır.

3. TEDARİK ZİNCİRİ OPTİMİZASYONUNUN TEMEL YÖNTEMLERİ

Tedarik zinciri optimizasyonu, verimliliği artırmayı, maliyetleri düşürmeyi ve hizmet sunumunu iyileştirmeyi amaçlayan modern iş operasyonlarının kritik bir yönüdür. Firmalar, küreselleşme ve teknolojik ilerlemeler tarafından şekillendirilen tedarik zincirlerinde artan karmaşıklıkla karşı karşıya kaldıkça, etkili optimizasyon yöntemlerine duyulan ihtiyaç önemli hale gelmektedir. Bu optimizasyon, süreçleri düzene sokmak, karar vermeyi iyileştirmek ve genel tedarik zinciri performansını artırmak için

kullanılabilecek çeşitli stratejiler ve teknikleri içermektedir. Yöntemlerin her biri kullanım amacına yönelik çeşitli avantajlar sunar ve farklı sorunları ele alır. Bu bölümde, tedarik zinciri optimizasyonunda yaygın olarak kullanılan bazı yöntemlere yer verilmiştir.

3.1. Doğrusal Programlama ve Uygulamaları

Doğrusal programlama, II. Dünya Savaşı'ndan kısa bir süre sonra 1947 yılında kullanılmaya başlanmıştır. O tarihten beri bilgi işlem gücünün olağanüstü büyümesiyle birlikte, karar biliminin öncü isimleri olan Von Neumann, Kantorovich, Leontief ve Koopmans'ın çalışmaları hızla geliştirilmeye devam etmiştir (Dantzig, 2002, s. 42). Oyun teorisi gibi, insan işlerine uygulanabilen saf bir matematik yöntemini temsil etmesi ve bir dizi değişkeni içeren bir probleme mümkün olan en iyi çözümü bulması amacıyla kullanılmaktadır (Cooper ve Charnes, 1954, s. 1). Doğrusal programlama, bir problemin matematiksel olarak modellenmesini içeren ve uygun çözüm noktasını bulmayı amaçlayan yöneylem araştırması uygulamalarından biridir.

Bir problemin matematiksel modeli oluşturulmadan önce problemin iyi anlaşılması ve tanımlanması gerekmektedir. İlk aşamada optimize edilecek olan karar değişkeni (x_i) belirlenir. Daha sonra, ilgili problemin kısıtlamaları veya sınırlılıkları matematiksel model ile ifade edilir. Kaynakların kullanımı sınırsız olamayacağından, doğrusal programlama sürecinde bu eşitliklerin modele dahil edilmesi ve iyi tanımlanması önem teşkil etmektedir. Son olarak amaç fonksiyonu oluşturularak karar değişkeninin maksimize ya da minimize edileceği formüle edilir. Buna bağlı olarak çeşitli optimizasyon teknikleri ile oluşturulan matematiksel model optimize edilir (Gurski, 2014).

Tedarik zincirinde yaygın olarak kullanılan bu yöntem, kaynak tahsisi, talep belirsizliği, üretim planlaması ve ulaşım sorunları da dahil olmak üzere birçok konuda en verimli çözümü belirlemeyi sağlar. Doğrusal programlama, belirli bir sorunun kısıtlamalarını ve hedeflerini temsil eden bir matematiksel model oluşturmayı ve ardından maliyet, kar veya işçi sayısı gibi hedefi maksimize veya minimize eden en iyi çözümü bulmayı içermektedir (Banaş vd., 2024; Kabak ve Ülengin, 2011; Shoarinejad ve Nejad, 2022).

- **Üretim Planlaması:** Tedarik zinciri uygulamalarında optimizasyon, çeşitli karar verme süreçlerinde kullanılmaktadır. İyi bir üretim programı oluşturmak için doğrusal programlamadan yararlanılabilmektedir. Örneğin üretim planlaması yapılırken müşteri talebi göz önünde bulundurulabilir ve bu doğrultuda ürün üretilebilir. Hangi ürünlerin üretileceğine, hangi makine veya teknolojinin kullanılacağına, çalıştırılacak personel sayısına ve üretim süresine karar vermek açısından

doğrusal programa modeli kullanılmaktadır (Bagshaw 2019). Benzer şekilde hangi üretim tesisinin kullanılacağına veya hammadde miktarını belirlemede de bu yöntemler kullanılabilir. Aynı zamanda doğrusal programlama kullanılarak üretim planlaması yaparken toplam karı artırmanın, firmanın performansını artırıcı bir faktör olduğu da gözlemlenmiştir (Solaja vd. 2019, s. 18).

- **Taşıma Optimizasyonu:** Bir diğer alan taşıma optimizasyonudur. Özellikle tedarik zincirinde, üreticiden tedarikçiye kadar olan zincirde taşıma mekanizmasının iyi yönetilmesi tedarikçinin daha verimli çalışmasını sağlar. Bu bağlamda, taşıma maliyetinin minimize edilmesi, zamanında teslimat gibi noktalarda optimizasyon yöntemlerine başvurulmaktadır (Syafie ve Valizadeh, 2016; Tsiakis vd., 2001). Doğrusal programlamada yaygın bir şekilde kullanılan taşıma optimizasyonu, talep ve arz kısıtlamalarını karşılayarak malları birden fazla tedarikçiden birden fazla müşteriye taşımının en düşük maliyetli yolunu belirlemeyi içerir. Wu ve diğerleri (2023) ulaşım maliyetlerinin lojistik operasyonunda optimize edilmesi üzerine çalışmışlardır. Ogumeyo ve Omole (2024), lojistikte ulaşım modellerinin kullanımı ile, tankerler için araç rotalama problemlerini çözmek için doğrusal programlama yönteminden yararlanmışlardır.
- **Envanter Yönetimi:** Doğrusal programlama uygulamaları, envanter yönetiminde stok seviyelerini optimize etmek veya maliyeti en aza indirmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Örneğin, bir şirket, müşteri talebindeki dengesizliğe ve tedarikçi teslim sürelerine dayanarak ne kadar ürün sipariş edeceğine ve ne zaman sipariş edeceğine karar vermek için bu yönteme başvurabilir (Fattahi vd., 2015, s. 211; Gao vd., 2024). Benzer şekilde envanterlerin tedarikçi optimize edilirken çok amaçlı optimizasyon modeli kurularak aynı zamanda talep memnuniyeti de incelenebilir. Huang ve diğerleri (2024), kamu sağlığı acil durumlarında materyal tedarikçisini optimize etme amaçlı model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri çok amaçlı optimizasyon modelinin sonucuna göre, talep memnuniyetinin %11,7 oranında artırılacağı tespit edilmiştir.

3.2. Karma Tamsayı Programlama ve Ağ Optimizasyonu

Tamsayı programlama modellerinin çözümü doğrusal programlama modellerinin çözümünden daha karmaşık bir süreçtir (Winston, 2014, s. 549). Karma tamsayı programlama (MIP), matematiksel programlamanın daha geniş alanının bir alt kümesidir. Bazı karar değişkenlerinin tamsayı

değerleri almasını sağlayarak doğrusal programlama yöntemini daha geniş bir kapsamda modellemeye olanak tanır (Smith ve Taskin, 2008). Tesis yeri seçimi veya araç rotalama problemleri gibi çeşitli karar alma süreçlerinde senaryoların modellenmesinde rol oynamaktadır (Al-Sobhi vd., 2017). Örneğin Kallrath (2000) yaptığı çalışmada, kimyasal proses endüstrisinde üretim planlamasını ve ağ tasarımını optimize etmek amacıyla karma tamsayılı programlama yöntemini kullanmıştır. Karma tamsayılı programlama yönteminin, tedarik zinciri optimizasyonundaki karmaşık problemleri etkili bir şekilde çözebileceği ve önemli maliyet tasarruflarına ve verimlilik iyileştirmelerine yol açabileceği gözlemlenmiştir. Ek olarak çalışmada, iyi modelleme uygulamalarının özellikle doğrusal olmayan ve büyük ölçekli problemler için kritik bir öneme sahip olabileceği de belirtilmiştir.

COVID-19 pandemi süreci gibi küresel olaylar göz önünde bulundurulduğunda tedarik zinciri işleyişin kesintilere uğrayabilmekte ve süreç karmaşık bir hale gelmektedir. Örneğin Liang (2023) yaptığı çalışmada, en kısa kesinti kurtarma süresi, maksimum sistem güvenilirliği ve minimum kesinti kurtarma maliyeti olmak üzere üç işlevi olan COVID-19 aşı tedarik zinciri için çok amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirmiştir. Modelin çözümünde çeşitli algoritmalar kullanılmış ve sınır çözüm kümesini optimize etmek ve seçmek için Pareto sınır analiz yöntemine başvurulmuştur.

MIP problemlerinin karmaşıklığı, genellikle büyük ölçekli optimizasyon zorluklarını etkili bir şekilde ele alabilen dal ve sınır ve kesme düzlemi yöntemleri dahil olmak üzere gelişmiş çözüm tekniklerini gerektirir. Hem sürekli hem de ayrı değişkenleri entegre ederek, MIP karmaşık tedarik zinciri ağlarını optimize etmek için sağlam bir çerçeve sağlar (González vd., 2022; Mikolajková vd., 2022).

3.3. Metasezgisel Yöntemler

Metasezgisel yöntemler, geleneksel kesin yöntemlerin pratik olmadığı, NP-zor olabilecek karmaşık problemler için neredeyse optimum çözümler bulmak üzere tasarlanmış bir optimizasyon tekniğidir. Çözüm çeşitliliği genellikle rastgele bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlerden bazıları, genetik algoritmalar, benzetimli tavlama ve parçacık sürüsü optimizasyonu olup, daha geniş çaplı arama stratejileri kullanmaktadır (Adhi vd., 2023; Gandomi vd., 2013; Yang, 2011). Özellikle arama alanının büyük ve karmaşık olduğu senaryolarda kullanılması yararlıdır ve optimal bir çözüm bulunmasını garanti etmeden potansiyel çözümlerin verimli bir şekilde araştırılmasına olanak tanır (Eren vd., 2022).

Küresel tedarik zinciri optimizasyonunun karmaşık yapısından kaynaklı metasezgisel yöntemlerin kullanımı da bir hayli yaygınlaşmıştır. Bu alanda en sık kullanılan metasezgisel yöntemlerden bazıları şunlardır:

- **Genetik Algoritmalar (GA):** Evrime dayalı bir algoritma türü olan genetik algoritmalar, aday çözümlerin bir popülasyonunu birden fazla nesil boyunca geliştirerek optimizasyon problemlerine çözümler bulmak için kullanılmaktadır (Karaboğa, 2014, s. 73). GA'lar, ulaşım rotası ve tesis konumu gibi büyük ölçekli, doğrusal olmayan optimizasyon problemlerini çözmeye özellikle etkilidir. Çaprazlama, mutasyon ve seçim gibi teknikleri kullanarak geniş bir çözüm alanını keşfedebilir ve zaman içinde yüksek kaliteli çözümlere yakınsayabilir. Bu algoritma, karmaşık birçok problemi ele alırken tedarik zincirindeki ekonomik parti boyutlandırma ve teslimat planlama problemini çözmek için kullanılırken, aynı zamanda perakendeci seçimi ve planlamasını optimize etmede de uygulanabilmektedir (Kaijun vd., 2010).
- **Benzetimli Tavlama (SA):** Literatürde ısı işlem algoritması ile de tanımlanan bu algoritma, metallerin soğutma sürecini taklit ederek neredeyse optimum çözümler bulan olasılıksal bir optimizasyon yöntemidir. Algoritma, çözüm alanını keşfederek ve belirli bir olasılıkla daha kötü çözümleri kabul ederek çalışmaktadır. Bu da yerel optimumlarda takılıp kalmaktan kaçınmasına yardımcı olur (Karaboğa, 2014, s. 21). Seri tedarik zincirinde temel stok seviyelerini optimize etmek, üretim planlamasını optimize etmek ve bu doğrultuda üretim ve envanter yönetimini de etkili bir şekilde yönetmek için kullanılan algoritmalarındandır (Daniel ve Rajendran, 2005; Huang vd., 2014).
- **Karıncalar Kolonisi Optimizasyonu (ACO):** Kombinasyonel optimizasyon sorunlarına en uygun çözümleri bulmak için karıncaların yiyecek arama davranışını simüle eden ve doğadan ilham alan bir metasezgisel algoritma türüdür. Karıncalar koloni halinde yaşadıklarından ve görme kabiliyetine sahip olmadığından, çevredeki değişime uyum sağlama yeteneğine sahiptirler. Bu davranış örnek alan bu algoritma da çözüme yakın en kısa yolu bulmak amacıyla kullanılmaktadır (Karaboğa, 2014, s. 109-110). Kullanım alanları çeşitli olmakla birlikte tedarik zinciri optimizasyonunda, genellikle teslimat noktaları ve üretim tesisleri gibi noktalarda en verimli yolu bulmanın amaçlandığı karmaşık rota ve planlama problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır (Dorigo, 2007).

Bu alanda yapılan son çalışmalar, farklı algoritmaları birleştiren hibrit metasezgisel yaklaşımların çözüm kalitesini ve hesaplama verimliliğini önemli ölçüde artırabileceğini göstermiştir (Becerra-Rozas vd., 2022). Metasezgisellerin uyarlanabilirliği ve esnekliği, planlama ve envanter yönetimi gibi çeşitli tedarik zinciri optimizasyon problemlerinin çözümünde kolaylık sağlamaktadır (Cui ve Li, 2023; Momenikorbekandi ve Abbod, 2023).

4. TEDARİK ZİNCİRİ OPTİMİZASYONUNDA DİJİTAL DÖNÜŞÜM

Tedarik zinciri optimizasyonunda dijital dönüşüm, küreselleşmenin etkisiyle firmaların çalışma işleyişini ve yapılanmasını yeniden şekillendirmektedir. Bu doğrultuda firmaların, verimliliği, duyarlılığı ve genel performansı artırmalarını sağlamaktadır. Yapay zeka (AI), makine öğrenimi ve büyük veri analitiği gibi gelişmiş teknolojilerin tedarik zinciri süreçlerine entegrasyonu, doğrusal programlama dahil olmak üzere geleneksel optimizasyon yöntemlerinde devrim yaratmıştır (Kollia vd., 2021; Wang, 2022). Yapay zeka (AI), Nesnelerin İnterneti (IoT), büyük veri analitiği, makine öğrenimi kullanımı ve blok zinciri gibi gelişmiş teknolojiler, tedarik zinciri süreçlerini optimize etmek için gerekli olan gerçek zamanlı veri paylaşımını, öngörücü analitiği ve otomasyonu kolaylaştırmada kullanılmaktadır (Singh 2023). Tedarik zinciri optimizasyonunda yapay zeka odaklı çözümlerin temelini oluşturan teorik çerçeveleri vurgulamak, kaynak tahsisini ve operasyonel performansı iyileştirmek için matematiksel modelleme ve algoritmik yaklaşımların önemini ön plana çıkarmaktadır (Abaku vd., 2024). Özellikle küresel tedarik zincirleri için bu teknolojilerin entegrasyonu da önem teşkil etmektedir. Firmalar hızla değişen piyasa dinamiklerine uyum sağlamaya çalışırken, tedarik zincirlerinin dijitalleştirilmesi rekabet avantajı ve dayanıklılık elde etmek için kritik bir faktör haline gelmiştir. Dijital teknolojilerin ortaya çıkışı, doğrusal programlamanın yeteneklerini daha da genişleterek değişen pazar koşullarına ve tüketici taleplerine uyum sağlayabilen daha karmaşık ve dinamik modellerin kurulmasına olanak sağlamıştır (Irfan vd., 2022).

Dijital dönüşümün temel faydalarından biri, tedarik zinciri genelinde gelişmiş görünürlük ve şeffaflık sunmasıdır. Bu artan şeffaflık yalnızca verimsizlikleri belirlemeye yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda dijital teknoloji kullanımının katkısıyla hataları belirleme ve çözümler önerme konusunda daha planlı tahmin yapmayı desteklemektedir (Rahamneh vd., 2023). Ek olarak, yapay zeka destekli karar alma araçlarının uygulanması, rutin görevleri otomatikleştirerek ve kaynak tahsisini optimize ederek

operasyonel verimliliği artırır; bu da günümüzün hızlı tempolu iş ortamının olmazsa olmazıdır.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, dijital tedarik zincirlerinin uygulanmasında en yaygın entegrasyon “Sürdürülebilirlik” alanında görülmektedir. Bununla birlikte ikinci olarak, dijital tedarik zincirlerinin uygulanması için dijital teknolojilerin kullanımı büyük önem taşımaktadır. Blokzincir, dijital ikiz, katmanlı üretim, bulut bilişim, büyük veri, yapay zeka, dijital üretim ve IoT gibi teknolojiler birçok çalışmada sunulmuştur. (Pyun ve Rha, 2021, s. 18). Dijital dönüşümün tedarik zinciri dayanıklılığını artırabilmesine rağmen, kuruluşların başarılı uygulamayı garantilemek için değişim yönetiminin karmaşıklıklarında gezinmesi gerektiğini belirtmektedir (Yin, 2022). Ek olarak, artan bağlantının kötü niyetli aktörler tarafından istismar edilebilecek güvenlik açıkları ortaya çıkarması nedeniyle siber güvenlik endişeleri de dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli noktadır (Zouari vd., 2021). Bu nedenle, şirketler dijital dönüşüm sürecinde, optimize edilmiş küresel tedarik zincirlerinin faydalarını tam olarak gerçekleştirmek için bu zorlukları ele almalıdırlar.

Sonuç olarak, dijital dönüşüm küresel tedarik zinciri optimizasyonunda hayati bir bileşendir. Verimliliği ve dayanıklılığı artırmak için önemli fırsatlar sunmasına rağmen, firmaların yeni teknolojilere adaptasyonu ve buna ilişkin oluşabilecek riskleri yönetmeyle ilişkili zorlukları da göz önünde bulundurması önem arz etmektedir.

5. SONUÇ

Tedarik zinciri optimizasyonunda dijital dönüşüm yalnızca bir trend değil, aynı zamanda firmaların giderek daha karmaşık ve rekabetçi bir ortamda nasıl faaliyet gösterdiğini yeniden şekillendiren temel bir değişimdir. Yapay zeka ve büyük veri analitiği gibi gelişmiş teknolojilerin birleşimi, şirketlerin görünürlüğünü artırmasını, karar vermeyi iyileştirmesini ve operasyonları düzene koymasını sağlamıştır. Tedarik zinciri ağ tasarımı optimizasyon tekniklerinden biri olan karma tamsayılı doğrusal programlama modellerinin uygulanması giderek daha yaygın hale gelmiş ve matematiksel optimizasyon tekniklerinin maliyetleri en aza indirme ve çeşitli endüstrilerde verimliliği artırma potansiyelini göstermiştir (Vanteddu ve Nicholls, 2020, s. 320). Ek olarak, Jonker ve diğerleri (2016) tarafından da belirtildiği gibi stratejik doğrusal programlama modellerinin devam eden gelişimi ile özellikle biyoyakıt üretimi gibi sektörlerde tedarik zinciri yönetiminde ekonomik optimizasyonun kullanımı giderek önem kazanmaktadır. Küresel tedarik zinciri optimizasyonunda dijital dönüşüm, kuruluşların çalışma biçimlerini

kökten değiştirerek, rekabetçi bir ortamda verimliliklerini, yanıt verme yeteneklerini ve genel performanslarını artırmaktadır. Bu durum ise küresel tedarik zincirindeki çoklu üretim ve dağıtım kademelerinde daha kapsamlı bir çalışma süreci gerektirmektedir (Meixell ve Gargeya, 2005).

Sonuç olarak, dijital dönüşüm küresel tedarik zinciri optimizasyonunu geliştirmek için önemli fırsatlar sunarken, firmalar ilişkili zorlukları ele alma konusunda dikkatli olmalıdır. Gelecekteki araştırma ve uygulama, tedarik zincirlerinin değişen piyasa koşullarına uyum sağlayabilmesini ve paydaşlara değer sağlamaya devam edebilmesini sağlamak için gelişmiş teknolojileri sağlam risk yönetimi stratejileriyle birleştiren entegre çerçeveler geliştirmeye odaklanmalıdır. Küresel boyutların yapısı değişmeye devam ettikçe, dijital dönüşümü etkili bir şekilde kullanma yeteneği önümüzdeki yıllarda başarının temel belirleyicisi olabilir. Bu doğrultuda ileride yapılacak olan çalışmalarda teknoloji tabanlı optimizasyon modellerinin küresel tedarik zincirinde kullanılmasına yönelik uygulamalı örnekler sektörde çalışma yapacak olanlara bir iyileştirme stratejisi geliştirme fırsatı sunabilir.

KAYNAKÇA

- Abaku, E. A., Edunjobi, T. E., & Odimarha, A. C. (2024). Theoretical approaches to AI in supply chain optimization: Pathways to efficiency and resilience. *International Journal of Science and Technology Research Archive*, 6(1), 092-107.
- Akben, İ., & Güngör, A. (2018). Tedarik Zinciri ve Yalın Tedarik Zinciri. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 5(7), 171-179.
- Ali, A., Mahfouz, A., & Arisha, A. (2017). Analysing supply chain resilience: integrating the constructs in a concept mapping framework via a systematic literature review. *Supply chain management: an international journal*, 22(1), 16-39.
- Al-Sobhi, S. A., Shaik, M. A., Elkamel, A., & Erenay, F. S. (2017). Integrating simulation in optimal synthesis and design of natural gas upstream processing networks. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 57(17), 5792-5804.
- Awaysheh, A., & Klassen, R. D. (2010). The impact of supply chain structure on the use of supplier socially responsible practices. *International journal of operations & production management*, 30(12), 1246-1268.
- Atadoga, A., Obi, O. C., Osasona, F., Onwusinkwue, S., Daraojimba, A. I., & Dawodu, S. O. (2024). AI in supply chain optimization: A comparative review of USA and African Trends. *International Journal of Science and Research Archive*, 11(1), 896-903.

- Bagshaw, K. B. (2019). A review of quantitative analysis (QA) in production planning decisions using the linear programming model. *American Journal of Operations Research*, 9(6), 255-269.
- Banaś, J., Utnik-Banaś, K., & Zięba, S. (2024). Integrating Linear Programming with GIS for Optimizing Biomass Supply Chains to Power Plant.
- Barroso, A. P., Machado, V. H., & Machado, V. C. (2011, December). The resilience paradigm in the supply chain management: a case study. In *2011 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (pp. 928-932). IEEE.
- Becerra-Rozas, M., Cisternas-Caneco, F., Crawford, B., Soto, R., García, J., Astorga, G., & Palma, W. (2022). Embedded learning approaches in the whale optimizer to solve coverage combinatorial problems. *Mathematics*, 10(23), 1-18.
- Chen, R. (2024). Sustainable supply chain management as a strategic enterprise innovation. *Advances in Economics, Management and Political Sciences*, 85(1), 24-29. <https://doi.org/10.54254/2754-1169/85/20240831>
- Cooper, W. W., & Charnes, A. (1954). Linear programming. *Scientific American*, 191(2), 21-23.
- Cui, N., & Li, H. (2023). Research on supply chain management based on combinatorial optimization algorithm. In *2023 4th International Conference on Management Science and Engineering Management (ICMSEM 2023)* (pp. 518-523). Atlantis Press.
- Daniel, J. and Rajendran, C. (2005). Determination of base-stock levels in a serial supply chain: a simulation-based simulated annealing heuristic. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 1(2/3), 149. <https://doi.org/10.1504/ijlsm.2005.005969>
- Dantzig, G. B. (2002). Linear programming. *Operations research*, 50(1), 42-47.
- De Treville, S., Shapiro, R. D., & Hameri, A. P. (2004). From supply chain to demand chain: the role of lead time reduction in improving demand chain performance. *Journal of operations management*, 21(6), 613-627.
- Deng, Y., Wu, Y., & Xu, H. (2023). Emission reduction and value-added export nexus at firm level. *The World Economy*, 46(6), 1670-1710.
- DeWitt, T., Giunipero, L. C., & Melton, H. L. (2006). Clusters and supply chain management: the Amish experience. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 36(4), 289-308.
- Dorigo, M. (2007). Ant colony optimization. *Scholarpedia*, 2(3), 1461.
- Eni, L. N., Groenewald, E. S., Hamidi, I. A., & Garg, A. (2024). Optimizing supply chain processes through deep learning algorithms: a managerial approach. *Journal of Informatics Education and Research*, 4(1), 354-362.

- Eren, U. S., Güler, E., & Şahin, Y. (2022). Optimizing the permutation flowshop scheduling problem (pfs) using the scatter search method. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 5(2), 86-94.
- Fattahi, P., Hajipour, V., & Nobari, A. (2015). A bi-objective continuous review inventory control model: Pareto-based meta-heuristic algorithms. *Applied Soft Computing*, 32, 211-223.
- Gao, Z., Li, D., Wang, D., & Yu, Z. (2024). Raw material purchasing optimization using column generation. *Applied Sciences*, 14(11), 1-10.
- Gołębek, Ł., Stokłosa, J., Dziwulski, J., & Wyrwisz, J. (2021). Optimization of logistics and distribution of the supply chain, taking into account transport costs, inventory and customer demand. *European Research Studies Journal*, 24(2), 545-556.
- Golan, M. S., Jernegan, L. H., & Linkov, I. (2020). Trends and applications of resilience analytics in supply chain modeling: systematic literature review in the context of the COVID-19 pandemic. *Environment Systems and Decisions*, 40(2), 222-243.
- González, M., López-Espín, J., Aparicio, J., & Talbi, E. (2022). A hyper-mat-heuristic approach for solving mixed integer linear optimization models in the context of data envelopment analysis. *Peerj Computer Science*, 8, e828. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.828>
- Gunasekaran, A., Patel, C., & Tirtiroglu, E. (2001). Performance measures and metrics in a supply chain environment. *International journal of operations & production Management*, 21(1/2), 71-87.
- Gurski, F. (2014). Efficient binary linear programming formulations for boolean functions. *Statistics, Optimization & Information Computing*, 2(4), 274-279.
- Heikkilä, J. (2002). From supply to demand chain management: efficiency and customer satisfaction. *Journal of operations management*, 20(6), 747-767.
- Huang, H., Jin, Y., Huang, B., & Qiu, H. G. (2014). Mixed replenishment policy for ato supply chain based on hybrid genetic simulated annealing algorithm. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014(1), 1-9.
- Huang, J., Qian, W., & Ran, M. (2024). Supply chain network optimization for emergency materials considering demand satisfaction. *Managerial and Decision Economics*.
- Ikhwana, A. (2018). Supply chain management of coffee commodities. *In MA-TEC Web of Conferences* (Vol. 197, p. 14003). EDP Sciences.
- Irfan, I., Sumbal, M., Khurshid, F., & Chan, F. (2022). Toward a resilient supply chain model: critical role of knowledge management and dynamic capabilities. *Industrial Management & Data Systems*, 122(5), 1153-1182. <https://doi.org/10.1108/imds-06-2021-0356>

- Jonker, J. G. G., Junginger, H. M., Versteegen, J. A., Lin, T., Rodríguez, L. F., Ting, K. C., ... & Van der Hilst, F. (2016). Supply chain optimization of sugarcane first generation and eucalyptus second generation ethanol production in Brazil. *Applied Energy*, 173, 494-510.
- Kabak, Ö., & Ülengin, F. (2011). Possibilistic linear-programming approach for supply chain networking decisions. *European Journal of Operational Research*, 209(3), 253-264.
- Kaijun, L., Nanfang, C., & Yuxia, W. (2010, April). Genetic optimization of retailer selection in supply chain management. *In 2010 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering* (pp. 124-127). IEEE.
- Kallrath, J. (2000). Mixed integer optimization in the chemical process industry: Experience, potential and future perspectives. *Chemical Engineering Research and Design*, 78(6), 809-822.
- Karaboğa, D. (2014). Yapay zeka optimizasyon algoritmaları. Nobel Akademi Yayıncılık.
- Ke, Y., Lu, L., & Luo, X. (2023). Identification and formation mechanism of key elements of supply chain resilience: exploration based on grounded theory and verification of sem. *Plos One*, 18(11), e0293741. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293741>
- Ketchen Jr, D. J., & Hult, G. T. M. (2007). Bridging organization theory and supply chain management: The case of best value supply chains. *Journal of operations management*, 25(2), 573-580.
- Kollia, I., Stevenson, J., & Kollias, S. (2021). Ai-enabled efficient and safe food supply chain. *Electronics*, 10(11), 1223. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2105.00333>
- Larson, P. D., & Rogers, D. S. (1998). Supply chain management: definition, growth and approaches. *Journal of Marketing Theory and Practice*, 6(4), 1-5.
- Li, Z., Jin, G., & Duan, S. (2018). Evolutionary Game Dynamics for Financial Risk Decision-Making in Global Supply Chain. *Complexity*, 2018(1), 9034658.
- Liang, X. (2023). Research on COVID-19 Vaccine Supply Chain Disruption Recovery Strategy from Resilience Perspective. *Academic Journal of Management and Social Sciences*, 2(3), 105-113.
- Maqbool, S., Rafiq, M., Imran, M., Qadeer, A., & Abbas, T. (2014). Creating competitive advantage through Supply Chain Management (Role of Information & Communication Technology in Supply Chain Management to create competitive advantage: a literature base study). *International Journal of Research in Commerce, IT & Management*, 4(2), 47-52.

- Meixell, M. J., & Gargeya, V. B. (2005). Global supply chain design: A literature review and critique. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41(6), 531-550.
- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1-25.
- Mikolajková, M., Saxén, H., & Pettersson, F. (2018). Linearization of an MIN-LP model and its application to gas distribution optimization. *Energy*, 146, 156-168.
- Mircetic, D., Nikolicic, S., Maslaric, M., Ralevic, N., & Debelic, B. (2016). Development of S-ARIMA model for forecasting demand in a beverage supply chain. *Open engineering*, 6(1).
- Modgil, S., Singh, R. K., & Hannibal, C. (2022). Artificial intelligence for supply chain resilience: learning from Covid-19. *The International Journal of Logistics Management*, 33(4), 1246-1268.,
- Momenikorbekandi, A. and Abbod, M. F. (2023). A novel metaheuristic hybrid parthenogenetic algorithm for job shop scheduling problems: applying an optimization model. *IEEE Access*, 11, 56027-56045. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3278372>
- Nicita, A., Ognivtsev, V., & Shirotori, M. (2013). Global supply chains: Trade and economic policies for developing countries (Vol. 55). UN.
- Nikookar, E., & Yanadori, Y. (2022). Preparing supply chain for the next disruption beyond COVID-19: managerial antecedents of supply chain resilience. *International journal of operations & production management*, 42(1), 59-90.
- Pyun, J., & Rha, J. S. (2021). Review of research on digital supply chain management using network text analysis. *Sustainability*, 13(17), 1-24.
- Rahamneh, A., Alrawashdeh, S., Bawaneh, A., Alatyat, Z., Mohammad, A., & Al-Hawary, S. (2023). The effect of digital supply chain on lean manufacturing: A structural equation modelling approach. *Uncertain Supply Chain Management*, 11(1), 391-402.
- Reynolds, S. (2024). Exploring Supply Chain Resilience Strategies in the Face of Price Inflation in Renewable Energy Markets.
- Sarfaty, G. A. (2015). Shining light on global supply chains. *Harv. Int'l LJ*, 56, 419-463.
- Shoarinejad, S., & Nejad, A. S. (2022). Fashion Supply Chain Optimization: A Linear Programming Model.
- Singh, P. (2023). Digital transformation in supply chain management: artificial intelligence (ai) and machine learning (ml) as catalysts for value creation. *International Journal of Supply Chain Management*, 12(6), 57-63. <https://doi.org/10.59160/ijscm.v12i6.6216>

- Smith, J. C., & Taskin, Z. C. (2008). A tutorial guide to mixed-integer programming models and solution techniques. *Optimization in medicine and biology*, 521-548.
- Solaja, O., Abiodun, J., Abioro, M., Ekpudu, J., & Olasubulumi, O. (2019). Application of linear programming techniques in production planning. *International Journal of Applied Operational Research-An Open Access Journal*, 9(3), 11-19.
- Soni, G. and Kodali, R. (2013). A decision framework for assessment of risk associated with global supply chain. *Journal of Modelling in Management*, 8(1), 25-53. <https://doi.org/10.1108/17465661311311969>
- Sweeney, E. (2002). The four fundamentals of supply chain management.
- Syafiic, S., & Valizadeh, M. (2016). Optimal planning of a biofuel supply chain using a multi-criteria optimisation model. *International Journal of Process Systems Engineering*, 4(1), 1-18.
- Vanpoucke, E., Boyer, K. K., & Vereecke, A. (2009). Supply chain information flow strategies: an empirical taxonomy. *International Journal of Operations & Production Management*, 29(12), 1213-1241.
- Vanteddu, G., & Nicholls, G. (2020). Supply chain network design and tactical planning in the dimension stone industry. *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 13(4), 320-335.
- Vijayasri, G. V. (2013). The importance of international trade in the world. *International Journal of Marketing, Financial Services & Management Research*, 2(9), 111-119.
- Wang, H. (2022). Linking ai supply chain strength to sustainable development and innovation: a country-level analysis. *Expert Systems*, 41(5). 1-15. <https://doi.org/10.1111/exsy.12973>
- Winston, W. L. (2004). *Operations research: applications and algorithm*. Thomson Learning, Inc..
- Wong, A. (2000). Integrating supplier satisfaction with customer satisfaction. *Total Quality Management*, 11(4-6), 427-432.
- Wu, C., Wu, Y., Li, Z., & Zong, W. (2023, June). A linear programming model for transportation planning in the arbitrary truck load strategy to supply products with unbalanced demand. In *International Conference on Pure, Applied, and Computational Mathematics (PACM 2023)* (Vol. 12725, pp. 61-69). SPIE.
- Yang, X. S. (2011). Metaheuristic optimization: algorithm analysis and open problems. In *International symposium on experimental algorithms* (pp. 21-32). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Yin, W. (2023). Identifying the pathways through digital transformation to achieve supply chain resilience: an fsQCA approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(4), 10867-10879.

- Zhang, F., & Hu, J. (2024, February). Research on logistics supply chain optimization strategy based on machine learning. *In International Conference on Smart Transportation and City Engineering (STCE 2023)* (Vol. 13018, pp. 610-616). SPIE.
- Zhang, C., Yang, Y., Feng, Z., Xiao, C., Lang, T., Du, W., & Liu, Y. (2021). Risk of global external cereals supply under the background of the COVID-19 pandemic: Based on the perspective of trade network. *Foods*, 10(6), 1168.
- Zheng, Y. (2016). Optimization and algorithm of supply chain network among enterprise alliances based on robust model of supply chain network design. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, 11(9), 289-296.
- Zouari, D., Rucl, S., & Viale, L. (2021). Does digitalising the supply chain contribute to its resilience?. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 51(2), 149-180.