

Tedarik Zinciri Yönetiminde Taşıma Maliyetlerinin Optimize Edilmesi: Gıda Sektöründe Bir Uygulama

Optimizing Transportation Costs in Supply Chain Management: An Application in the Food Sector

Erkan TURHAN 

^a Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Dalaman Meslek Yüksekokulu, Lojistik Programı, Muğla, Türkiye, eturhan@mu.edu.tr

MAKALE BİLGİSİ

Anahtar Kelimeler:

Doğrusal Programlama
Ulaştırma Modelleri
VAM
MODI
MATLAB

Geliş Tarihi 10 Şubat 2025

Düzeltilme Tarihi 21 Temmuz 2026

Kabul Tarihi 30 Temmuz 2026

Makale Sınıflandırması:
Araştırma Makalesi

ÖZET

Amaç – Bu çalışmanın amacı, gıda sektöründe faaliyet gösteren bir üretici firma ile bir perakende firması arasındaki ulaştırma maliyetlerini optimize ederek tedarik zinciri yönetimini verimli hale getirmektir. İzmir merkezli 4 fabrikası bulunan üretici firmanın, Türkiye genelinde 49 deposu olan İstanbul merkezli perakende firmasıyla olan sevkiyat süreçleri incelenmiştir.

Yöntem – Problemin çözümü için öncelikle MATLAB programında Vogel Yaklaşım Yöntemi (VAM) ile başlangıç çözümü elde edilmiştir. Daha sonra, bu çözüm yine MATLAB dilinde kodlanan Çoğaltan Yöntemi (MODI) ile geliştirilmiştir. Son olarak, problem General Algebraic Modeling System (GAMS) dilinde yazılmış doğrusal programlama modeli ile çözülerek optimal sonuçlar elde edilmiştir.

Bulgular – Uygulanan yöntemler sonucunda, üretici ve perakende firmaları için en düşük maliyetli taşıma planı belirlenmiş ve optimal çözüm elde edilmiştir. VAM ile başlangıç çözümü sağlanmış, MODI Yöntemi ile maliyet daha da minimize edilmiş ve GAMS ile doğrulanan sonuçlar en uygun dağıtım planını sunmuştur. Önerilen iki çözüm aşamasında da mevcut duruma göre toplam maliyette %3,67 oranında azalma sağlanmıştır.

Tartışma – Çalışma, tedarik zinciri yönetiminde ulaştırma maliyetlerini azaltmanın önemini vurgulamaktadır. Kullanılan yöntemlerin etkinliği karşılaştırılmış ve her birinin avantajları değerlendirilmiştir. Bu çalışma, benzer lojistik süreçlere sahip firmalara rehberlik edebilecek bir optimizasyon modeli sunmaktadır.

ARTICLE INFO

Keywords:

Linear Programming
Transportation Models
VAM
MODI
MATLAB

Received 10 February 2025

Revised 21 July 2026

Accepted 30 July 2026

Article Classification:
Research Article

ABSTRACT

Purpose – The purpose of this study is to optimize transportation costs between a manufacturer and a retail company in the food industry to make supply chain management more efficient. The dispatch processes between the manufacturing company, which has 4 factories based in İzmir, and the retail company, which has 49 warehouses across Türkiye and is based in İstanbul, are analysed.

Design/methodology/approach – To solve the problem, an initial solution is obtained using the Vogel Approximation Method (VAM) in MATLAB. This solution is then improved with the Modified Distribution Method (MODI), also coded in MATLAB. Finally, the problem is solved with a linear programming model written in General Algebraic Modeling System (GAMS) to obtain optimal results.

Findings – As a result of the applied methods, the most cost-effective transportation plan for the manufacturer and the retail company was determined and an optimal solution was obtained. VAM provided an initial solution, MODI method further minimized the cost and GAMS validated the results to provide the optimal distribution plan. In both proposed solution stages, 3.67% reduction in total cost was achieved compared to the current situation.

Discussion – The study highlights the importance of reducing transportation costs in supply chain management. The effectiveness of the methods used was compared, and the advantages of each were evaluated. This study presents an optimization model that can guide companies with similar logistics processes.

ETİK ONAY / ETHICAL APPROVAL: Bu çalışma, işletmeden temin edilen ikincil sevkiyat ve maliyet verilerine dayanmaktadır. Araştırma insan katılımcı, anket, mülakat veya deneysel bir uygulama içermediğinden etik kurul onayı ve bilgilendirilmiş onam gerektirmemektedir.

Önerilen Atıf / Suggested Citation

Turhan, E. (2026). Tedarik Zinciri Yönetiminde Taşıma Maliyetlerinin Optimize Edilmesi: Gıda Sektöründe Bir Uygulama, İşletme Araştırmaları Dergisi, 18 (3), 1860-1876.

1. GİRİŞ

Günümüzün yoğun rekabet ortamında işletmeler, kârlılıklarını korumak ve sürdürülebilirliklerini sağlamak için stratejik kararlar almak ve ürün veya hizmetlerinde sürekli iyileştirmeler yapmak zorundadır (Acar, 2020: 18). Ürün veya hizmetlerin müşterilere en kısa sürede ve en yüksek kalitede ulaştırılması, iş dünyasının temel prensiplerinden biridir. Bu nedenle, işletmelerin rakipleriyle rekabet edebilmeleri için maliyetlerini düşürmeleri ve optimize etmeleri kaçınılmaz bir gerekliliktir (Tan ve Patır, 2017: 136). Küresel rekabet ortamında işletmeler, değişen pazar koşullarına hızla uyum sağlamalıdır. Böylece radikal kararlar alarak kârlılıklarını ve varlıklarını sürdürebilirler.

Planlamanın modern toplumda üstlendiği kritik rol göz önüne alındığında, ulaştırma faaliyetleri, insanların ve malların hareketliliğini sağlamak açısından büyük bir öneme sahiptir (Özkan, 2012: 18). İşletmelerin toplam maliyetleri içinde önemli bir paya sahip olan dağıtım maliyetlerinin minimize edilmesi, rekabet gücünü artırma ve sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Rekabetin arttığı bu ortamda, işletmelerin kârlılığını artırabilmesi için etkili ulaştırma çözümleri geliştirmeleri büyük önem taşımaktadır. Tedarik zincirlerinde taşıma maliyetlerinin toplam maliyetler içindeki oranı %10 ile %30 arasında değişmektedir (Lasić vd., 2023: 6). Ulaştırma problemi hem teorik hem de ekonomik açıdan üzerinde sıklıkla durulan önemli bir konudur. Ulaştırma faaliyetleri, işletmeleri iş ortaklarına fiziksel olarak bağlayan ve rekabet avantajı sağlayan önemli bir unsurdur (Karaoğlu ve Altıparmak, 2005: 443). Bu faaliyetlerin en düşük maliyetle gerçekleştirilmesi, işletmelerin odaklandığı temel konulardan biridir. Bilim insanları, ulaştırma problemlerinin çözümü için birçok yöntem geliştirmiştir (Kacher ve Singh, 2021: 1). Doğrusal programlama probleminin özel bir türü olan ulaştırma problemleri, malların arz noktasından talep noktalarına taşınması sırasında maliyetleri en aza indirmeyi hedefler (Düzakın, 2005: 47).

Bu çalışmada 4 adet fabrikası bulunan İzmir merkezli bir gıda işletmesinin Türkiye'de çeşitli bölgelerinde 49 deposu olan İstanbul merkezli bir perakende firmasına gerçekleştirdiği sevkiyat için çözüm önerisi sunulmuştur. Uygulamada işletmeden alınan veriler ışığında, iki çözüm aşaması sunulmuştur. Birinci çözüm aşamasında, başlangıç çözümü VAM yöntemiyle elde edilmiştir. Ardından, bu çözümün optimal olup olmadığı MODI yöntemiyle araştırılmıştır. Kullanılan bu iki yöntem probleme göre uyarlanarak MATLAB programında kodlanmıştır. İkinci çözüm aşamasında ise, kurulan matematiksel model GAMS yazılımında çalıştırılarak kesin çözüm elde edilmiştir. Bu çalışmanın temel araştırma problemi, dört üretim noktası ile kırk dokuz talep noktası arasında gerçekleştirilen sevkiyatlarda, arz ve talep kısıtları altında toplam taşıma maliyetini en aza indirecek optimal dağıtım planı belirlenmesidir. Bu kapsamda çalışmanın temel araştırma problemi "Gerçek bir gıda tedarik zinciri ağında, 4 üretim noktası ile 49 talep noktası arasındaki sevkiyatlar, arz ve talep kısıtları dikkate alınarak mevcut dağıtım planına göre daha düşük toplam taşıma maliyeti sağlayacak şekilde optimize edilebilir mi?" şeklinde formüle edilmiştir. Bu çalışmanın amacı, ulaştırma problemlerinin çözümünde kullanılan VAM, MODI ve doğrusal programlama yöntemlerinin etkinliğini karşılaştırmak ve bu yöntemlerin avantajlarını ve dezavantajlarını ortaya koymaktır. Çalışma, teorik temellerin yanı sıra örnek bir problem üzerinde uygulamalı çözümler sunarak pratikteki etkinliği değerlendirmeyi hedeflemektedir. Mevcut literatürde ulaştırma problemlerine yönelik çeşitli çalışmalar bulunmasına rağmen, gerçek işletme verilerine dayalı, çok sayıda talep noktasını içeren ve VAM, MODI ile doğrusal programlama yaklaşımlarını aynı problem üzerinde karşılaştırmalı olarak değerlendiren çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu çalışma, 4 üretim noktası ve 49 talep noktasından oluşan gerçek bir gıda tedarik zinciri ağına odaklanarak söz konusu boşluğa katkı sağlamaktadır. VAM yöntemi başlangıç çözümünü hızlı ve optime yakın biçimde üretmesi, MODI yöntemi bu çözümün optimalliğini test ederek gerekli iyileştirmeleri sağlaması, doğrusal programlama modeli ise elde edilen sonucun kesin çözümle karşılaştırılmasına imkân vermesi nedeniyle birlikte kullanılmıştır.

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde çalışmanın amacı ve kapsamı tanıtılmıştır. İkinci bölümde, konuyla ilgili literatür taraması yapılmıştır. Üçüncü bölümde, ulaştırma problemi ve matematiksel modeli açıklanmış, ardından VAM ve MODI yöntemlerine değinilmiştir. Dördüncü bölümde, problemin VAM, MODI ve doğrusal programlama yöntemleriyle çözümü anlatılmıştır. Sonuç ve Tartışma bölümünde ise elde edilen bulgular yorumlanmış ve gelecekteki çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Ulaştırma problemleri, tedarik zinciri yönetimi ve lojistik faaliyetlerde taşıma maliyetlerinin minimize edilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılan temel optimizasyon yaklaşımlarından biridir. Literatürde bu problemlerin çözümünde kesin çözüm, VAM, MODI, sezgisel ve meta sezgisel yöntemlerin farklı sektörlerde uygulandığı görülmektedir. Bu kapsamda ulaştırma problemlerine ilişkin çalışmalar ele alınmıştır.

Osayimwese (1974) çalışmasında, Nijerya'nın ihracatında önemli bir yere sahip olan yer fıstığının taşınmasına ilişkin bir ulaştırma modeli ele alınmıştır. Çalışmada, taşımacılık modunun etkisini içeren üçlü karar değişkenleri yerine, daha basit olan ikili karar değişkenleri önerilmiştir.

Sakarya vd. (1996), çalışmalarında Türkiye Et ve Balık Kurumu'nun üretim merkezlerinden tüketim merkezlerine karkas et taşınmasını ele almıştır. Çalışmada, VAM, Russell Yaklaşım Yöntemi ve MODI yöntemleri uygulanarak, karar alıcılara maliyetleri azaltmaya yönelik öneriler sunulmuştur.

Acar ve Eroğlu (2001), araştırmalarında Artvin'deki orman yollarında gerçekleştirilen kereste nakliyatına ilişkin ulaştırma problemini ele alınmıştır. Problemin çözümüne yönelik olarak doğrusal programlama tekniği kullanılarak 13 farklı model önerilmiş ve bu modellerin uygulanması durumunda 9,6 milyar TL tasarruf sağlanabileceği hesaplanmıştır.

Ergülen vd. (2005) çalışmasında işletmelerin dağıtım maliyetlerini minimize etmek amacıyla tamsayılı Doğrusal Programlama modelini kullanarak bir optimizasyon yaklaşımı sunmaktadır. Çalışmada, bu modelinin teorik yapısı adım adım açıklanmış ve gıda sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın 24 distribütörüne yönelik dağıtım sistemine uygulanmıştır. Modelin firma bazlı deneysel verilerle karşılaştırılması sonucunda, mevcut duruma göre maliyetlerde %5,35 oranında azalma sağlandığı gösterilmiştir.

Erdoğan vd. (2007) çalışmalarında, jeans üretimi yapan bir işletmenin üretim planlamasını ulaştırma modeli kullanarak çözmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada, beş farklı sipariş periyodu için 16 sunum ve 6 istem merkezi dikkate alınarak optimal üretim planı oluşturulmuş ve bu plana göre minimum birim maliyet hesaplanmıştır.

Ertuğrul ve Tuş (2008) araştırmalarında, Denizli'de faaliyet gösteren bir gıda işletmesinin dağıtım problemini ele almışlardır. Bu çalışmada, ulaştırma modeli kullanılarak maliyet optimizasyonu sağlanmış ve mevcut dağıtım planına göre yaklaşık %2'lik bir maliyet düşüşü sunan yeni bir dağıtım planı önerilmiştir.

Edokpia ve Ohikhuare (2012) çalışmalarında, Nijerya'daki bir içecek üretim şirketinin taşıma maliyetlerini optimize etmek için VAM ve MODI yöntemleri kullanılmıştır. İlk modelde, sadece 5 adet depoya sevkiyat yaparak maliyetleri %41,7 oranında azaltılmış, ikinci modelde ise tüm depolara sevkiyat yaparak maliyetleri %8,3 oranında düşürülmüştür.

Ghazali vd. (2012), Malezya'daki dört üretim tesisinden dört farklı pazar ülkesine yapılan ulaştırma problemi ele alınmıştır. Bu problem, MS Excel Solver programı kullanılarak çözülmüştür. Ayrıca, çalışmada birim maliyetteki değişimin toplam maliyet üzerindeki etkilerini inceleyen dört farklı senaryo analiz edilmiştir.

Atan ve Şimşek (2017) araştırmalarında, Ankara il merkezinde bulunan bir kamu kurumunun personel servis güzergâhının belirlenmesi problemi ele alınmıştır. Problemin çözümünde, WinQSB yazılımında VAM yöntemi uygulanmıştır. Araştırma sonucunda, mesafe bazında %19,42 ve maliyet açısından %10,42 oranında iyileşme sağlanmıştır.

Tan ve Patır (2017) çalışmalarında, Bingöl'de faaliyet gösteren bir meşrubat işletmesinin deposundan müşterilerine yapılan dağıtımın maliyetini minimize etmeye yönelik ulaştırma problemi ele alınmıştır. Çalışmada, ilk olarak VAM yöntemi ile başlangıç çözümü elde edilmiş, ardından MODI yöntemi ile optimal çözüm doğrulanmıştır. Sonuç olarak, mevcut dağıtım planına kıyasla aylık %10,86 oranında maliyet tasarrufu sağlanmıştır.

Atan ve Güldağı (2019) çalışmalarında bir askeri faaliyetin ulaştırma problemini ele almışlardır. Çalışmada kuzeybatı köşe yöntemi, satır yaklaşımı, kolon yaklaşımı, genel yaklaşım ve VAM yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerden VAM, en iyi sonucu vermiştir. Çalışmada daha sonra VAM'ın çözümünü esas alarak MODI yöntemi ile en iyilik sınanmıştır. Elde edilen sonuç ile Lingo 17.0 yazılımında elde edilen kesin yöntemin sonucunun aynı olduğu görülmüştür.

Askerbeyli (2020) çalışmasında, Karabük'teki bir demir-çelik firmasının ulaştırma problemi ele alınmıştır. Çalışmada, altı kaynak noktasından altı tüketim noktasına optimal taşıma maliyetini hesaplayabilmek için

VAM, MODI ve simpleks algoritması kullanılarak çözüm elde edilmiştir. Bu çalışmanın kritik yönü, tüm talep miktarlarının tek bir üretim merkezinden karşılandığı tek kaynaklı taşıma modelinin kullanılmasıdır.

Arman vd. (2021) çalışmalarında, İstanbul merkezli bir elektronik firmasının üç farklı şehirdeki fabrikalarından dokuz farklı şehirdeki müşterilere ürün dağıtım problemini ele almışlardır. İlk çözüm olarak, VAM ve optimum taşıma maliyetini bulmak için MODI kullanılmıştır. Ardından, aynı problem GAMS yazılımı ile doğrusal programlama modeli olarak çözülmüş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma, minimum taşıma maliyetine sahip bir dağıtım planı önererek mevcut maliyetlerde %5,5'lik bir azalma sağlamıştır.

Kacher ve Singh (2021), ulaşım modellerinin farklı türlerini kapsamlı bir literatür taraması ile incelemiş ve bu modellerin hem akademik hem de pratik uygulamalar için önemini vurgulamışlardır. Çalışmada çeşitli ulaştırma problemleri detaylı bir şekilde ele alınmış; bu modellerin tarihçesi, matematiksel ifadeleri ve çözüm yöntemleri açıklanmıştır.

Abdelati vd. (2023); Mısır'daki bir işletmeye ait kamyon filosunun, birden fazla kaynaktan farklı noktalara taşınması sürecinde, yakıt tüketimi ve zaman gibi iki hedefi optimize etmek için çok hedefli bir ulaştırma problemini ele almaktadır. Çalışma, üç farklı karar verme yöntemini (Zimmermann Programlama Yöntemi, Global Kriter Yöntemi ve Minimum Mesafe Yöntemi) kullanarak, en uygun çözümü elde etmeyi amaçlamaktadır. Elde edilen sonuçlar, taşıma maliyetlerini ve zamanını azaltmaya yönelik önemli bulgular sunmaktadır.

Nugraha vd. (2023), bir sandalet üretimi yapan fabrikada taşıma maliyetlerini optimize etmek amacıyla önce en düşük maliyetli gözeler yöntemini, ardından ise atlama taşı yöntemini kullanmıştır. Çalışmada, Atlama Taşı Yöntemi ile elde edilen sonuç, en düşük maliyetli gözeler yöntemi ile bulunan sonuca kıyasla %1,38 oranında bir iyileşme sağlamıştır.

Coşkun vd. (2024) çalışmalarında, talebe dayalı üretimde iç lojistik maliyetlerini optimize etmek için çeşitli ulaştırma problemi çözüm yöntemleri ve hibrit modellerin etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, bazı hibrit modellerin maliyet düşürmede daha etkili olduğunu ve talep ile yöntemin maliyet üzerinde anlamlı bir etkisi bulunduğunu göstermektedir. Çalışma, iç lojistik optimizasyonu ile rekabet avantajı sağlamayı amaçlamaktadır.

Erdoğan ve Ertuğrul (2024), ulaştırma modellerinin taşıma maliyetlerini minimize etme açısından önemini vurgulamış ve Denizli'deki bir tekstil işletmesinde maliyet odaklı optimizasyon çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışmada, doğrusal programlama yöntemleri kullanılarak ulaştırma problemleri ele alınmış ve bu modellerin işletmelerin karar alma süreçlerinde etkili bir araç olduğu ifade edilmiştir.

Agboola vd. (2025) ulaştırma problemlerinde karınca kolonisi algoritmasıyla dengeli ve dengesiz problem yapıları üzerinde uygulamış ve yöntemi En Düşük Maliyetli Gözler, Kuzeybatı Köşe ve VAM yöntemleriyle karşılaştırmıştır. Bulgular, bu algoritma uygulanabilir bir meta sezgisel yaklaşım olduğunu göstermekle birlikte, incelenen örneklerde VAM'ın daha düşük maliyetli başlangıç çözümleri ürettiğini ortaya koymuştur.

Aliyari Boroujeni vd. (2025) çalışmalarında ulaştırma probleminin çözümünde Genetik Algoritma, Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Algoritması ve geliştirilmiş Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Algoritmasını (TLBO) karşılaştırmalı olarak ele almışlardır. Çalışmada, klasik kesin çözüm yöntemlerinin büyük ölçekli ve karmaşık ulaştırma problemlerinde hesaplama süresi açısından yetersiz kalabileceği, buna karşılık meta-sezgisel algoritmaların makul sürede yüksek kaliteli yaklaşık çözümler üretebildiği ifade edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre geliştirilmiş TLBO algoritmasının, çözüm kalitesi ve yakınsama hızı bakımından Genetik Algoritma ve standart TLBO'ya göre daha başarılı performans gösterdiği belirtilmiştir.

Literatürdeki mevcut çalışmalar incelendiğinde, ulaştırma problemlerinin çözümünde VAM, MODI ve doğrusal programlamanın birlikte kullanıldığı, gerçek bir işletme verisine dayanan büyük ölçekli bir gıda tedarik zinciri uygulaması sınırlıdır. Bu çalışma, 4 fabrika ve 49 depodan oluşan gerçek bir dağıtım ağında bu üç yöntemi karşılaştırmalı olarak uygulayarak literatürdeki bu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır.

3. YÖNTEM

Bu bölümde; araştırmada kullanılan ulaştırma problemleri, VAM ve MODI yöntemleri aşağıda sırasıyla paylaşılmaktadır.

3.1. Ulaştırma Problemi

Doğrusal Programlama, kaynakların etkin ve verimli kullanılmasını sağlamak için II. Dünya Savaşından sonra ortaya çıkmış bir matematiksel optimizasyon yöntemidir. Bu yöntem, işletme, askeri, ekonomi, ziraat, lojistik gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Öztürk, 2016: 31-32). Ulaştırma problemi, doğrusal programlamanın önemli alt dallarından birisidir (Özen, 1990: 3). Ulaştırma problemi, mal veya hizmetlerin kaynak noktalardan hedef noktalara taşıma maliyetini en küçükleyerek taşınması veya ulaştırılmasıdır. Ulaştırma problemi ilk olarak Hitchcock tarafından 1941 yılında akademik dünyaya sunulmuştur (Düzakın, 2005: 47). Bu problem günümüze kadar ilgi görmüştür (Gass, 1990: 291). Ulaştırma problemleri; üretim ve tüketim merkezleri arasındaki mal dağıtımından işlerin makinelerle dağıtımına, üretim planlamasından şebeke ağı problemlerine ve işletmelerin kuruluş yeri seçimine kadar farklı alanlarda kullanılabilen önemli bir konudur (Öztürk, 2016: 424-425). Ulaştırma problemleri, dengeli ve dengesiz ulaştırma problemleri olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır (Ahmad, 2020: 49). Dengeli ulaştırma modelinde, toplam arz miktarı toplam talep miktarına eşittir. Buna karşın, dengesiz ulaştırma modelinde, arz ve talep miktarları arasında eşitlik bulunmamaktadır (Rahmasari ve Hamidah, 2023: 3).

Ulaştırma modeli, bir ürünün belirli arz merkezlerinden bir veya birkaç talep merkezine en düşük maliyetle nasıl dağıtılacağını belirlemeye yönelik matematiksel bir yaklaşımdır. Bu tür bir problemde, m adet arz merkezi, n adet talep merkezine ürün tedarik etmeye çalışır. Bu çalışma için; $m=4$ ve $n=49$ olduğu belirlenmiştir. Burada, j . talep merkezi b_j kadar ürün talep ederken, i . arz merkezi ise yalnızca a_i kadar ürün sağlayabilir. Ayrıca, i . arz merkezinden j . talep merkezine bir birim ürün taşınmasının maliyeti C_{ij} olarak belirlenmiştir (Ertuğrul ve Tuş, 2008: 8; Tan ve Patır, 2017: 138). Ulaştırma problemini çözmenin temel amacı ve aynı zamanda matematiksel modelin negatif olmayan karar değişkeni, toplam taşıma maliyetini en aza indirmek için i . arz noktasından j . talep noktasına gönderilecek X_{ij} miktarını belirlemektir (Arman vd., 2021: 16). Z , amaç fonksiyonu değerini, diğer bir ifadeyle minimize edilmek istenen toplam taşıma maliyetini göstermektedir. Bu çalışmada da kullanılan ulaştırma modeline ait matematiksel formülasyon aşağıda sunulmuştur (Bakır ve Altunkaynak, 2003: 118).

$$\min Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} * X_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = a_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = b_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m ; j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Denklem (1) ile ifade edilen amaç fonksiyonu, taşıma maliyetleri ile taşınan miktarların çarpımının toplamını en aza indirmeyi hedeflemektedir. Denklem (2), her bir arz noktasının kapasitesini aşmamak üzere taşıma miktarlarının sınırlandırılmasını ifade etmektedir. Denklem (3), her bir talep noktasındaki talebi karşılamak için yeterli miktarda ürün gönderilmesini zorunlu kılmaktadır. Son olarak, Denklem (4) taşınan miktarın negatif olamayacağını belirtmektedir. Bu dört denklem, ulaştırma probleminin temel optimizasyon yapısını ve kısıtlarını oluşturmaktadır (Bakır ve Altunkaynak, 2003: 118).

Ulaştırma problemlerinin çözümünde simpleks yöntemi ile kesin çözümler elde edilebilmektedir. Ancak, bu yöntemin pratik olmaması nedeniyle bilim insanları, bu problemin çözümü için sezgisel algoritmalar geliştirmişlerdir (Chungath vd., 2024: 34). Başlangıç çözümünün bulunması için Kuzeybatı Köşe Yöntemi, En Az Maliyetli Gözeler Yöntemi, VAM vb. yöntemler kullanılmaktadır (Öztürk, 2016: 430). Bulunan başlangıç çözümünü iyileştirmek için ise Atlama Taşı Yöntemi ve MODI Yöntemi kullanılmaktadır (Şen, 2015: 39).

3.2. Vogel Yaklaşım Yöntemi

William R. Vogel tarafından 1958 yılında geliştirilen VAM, başlangıç çözüm yöntemleri arasında optimum çözüme en yakın sonuçları elde etme potansiyeli ve optimal sonuca ulaşmada sağladığı zaman tasarrufu ile dikkat çekmektedir (Shore, 1970: 446; Coşkun, 2016: 18). Çalışmada, bu avantajlarından yararlanmak amacıyla

VAM yöntemi tercih edilmiştir. Yöntemin çözüm sürecine ilişkin sözde kod, Şekil 1’de gösterilmiştir (Korukoğlu ve Ballı, 2011: 372; Arman vd., 2021: 15).

Prosedür VAM Yöntemi

Verileri Yükle (Arz ve Talep Tablosu, Maliyet Tablosu)

While (Arz ve Talep tablolarında elenmemiş satır ve sütun kaldığı sürece)

Adım 1: Her satır ve sütundaki en düşük iki maliyeti bulup, farklarını "ceza maliyeti" olarak adlandır.

Adım 2: En yüksek ceza maliyetine sahip satır ya da sütunu belirle.

Adım 3: En yüksek ceza maliyetine sahip satır veya sütundaki en düşük maliyetli hücreyi seçip,
Arz ve talep miktarlarını dikkate alarak en yüksek dağıtım yap.

Adım 4: Dağıtım yapılan satırın arz miktarını veya sütunun talep miktarını sıfırlayarak,
İlgili satır veya sütunu tablodan çıkar.

Adım 5: Elenen satır veya sütunun ardından yeni bir matris oluşturulup,
Bu matris üzerinde maliyet farkları yeniden hesapla.

Adım 6: Adım 2'ye dön ve elenmemiş tek bir satır veya sütun kalıncaya kadar adımları tekrarla.

Sonlandır

Çözümü Ver

Sonlandır

Şekil 1. VAM Yöntemine Ait Sözde Kod

3.3. MODI Yöntemi

Çoğaltan Yöntemi (MODI), George B. Dantzig tarafından geliştirilmiş ve başlangıç çözümünden elde edilen sonuçların iyileştirilmesi fikrine dayanmaktadır. Atlama taşı yönteminde, taşıma yollarının belirlenmesi ve izlenmesi genellikle zaman alıcı olmakla birlikte hata yapma olasılığını artırmaktadır. Bu nedenle, MODI yöntemi işlem sayısını azaltarak daha basit bir yaklaşım sunmuş ve taşıma yollarını belirlemek için sıralar ve sütunlara ilişkin katsayıların geliştirilmesine olanak tanımıştır (Candan, 2019: 34). MODI yöntemine ilişkin sözde kod, Şekil 2’de sunulmuştur (Arman vd., 2021: 16-17; Lasić vd., 2023: 8-9).

Prosedür MODI Yöntemi

Verileri Yükle (Başlangıç Çözüm, Arz ve Talep Tablosu, Maliyet Tablosu)

Do

Adım 1: Başlangıç çözümünden elde edilen ulaştırma tablosundaki dolu hücreler temel değişkenler için
 $u_i + v_j = C_{ij}$ denklemi kullanılarak u_i ve v_j değerleri hesaplanır.

Adım 2: Her boş hücre için $d_{ij} = u_i + v_j - C_{ij}$ değeri hesaplanır.

Adım 3: Eğer tüm $d_{ij} \leq 0$ ise çözüm optimaldir, algoritma sonlandırılır.

Eğer herhangi bir $d_{ij} > 0$ ise en büyük d_{ij} olan hücre seçilir ve o hücreye atama yapılır.

Adım 4: Dağıtım yapılacak hücre belirlendikten sonra, o hücreden başlayarak döngü oluşturulur.

Adım 5: Döngüde yeni taşıma miktarları hesaplanır.

While (Herhangi $d_{ij} > 0$ olduğu müddetçe)

Çözümü Ver

Sonlandır

Şekil 2. MODI Yöntemine Ait Sözde Kod

4. UYGULAMA

Bu çalışmada, dört fabrikası bulunan bir gıda işletmesinin Türkiye’nin çeşitli bölgelerinde yer alan 49 depoya gerçekleştirdiği sevkiyat süreci ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, işletmelerden elde edilen gerçek veriler doğrultusunda toplam taşıma maliyetini en küçükleyecek dağıtım planını belirlemektir. Bu bölümde ele alınan problem iki aşamada çözümlenmiştir. İlk aşamada VAM yöntemiyle başlangıç çözümü elde edilmiş, ardından MODI yöntemiyle bu çözümün optimallliği test edilmiştir. Bu aşama MATLAB 2015a ortamında gerçekleştirilmiştir. MATLAB uygulamasında VAM ve MODI algoritmaları söz konusu probleme uyarlanmış; algoritma yapısının oluşturulmasında Boonphakdee (2018)’te sunulan kaynak koddan yararlanılmıştır. İkinci aşamada ise aynı problem GAMS 23.5.1 yazılımında doğrusal programlama modeli olarak çözülmüş ve kesin çözüm elde edilmiştir. Problemin 4 üretim noktası ve 49 talep noktasından oluşması nedeniyle elle çözüm pratik görülmemiş, bu nedenle yazılım tabanlı çözüm yaklaşımı tercih edilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan veri seti, tedarik zincirindeki işletmelerden temin edilen 2024 yılı Ekim ayına ait üretim kapasiteleri, depo talep miktarları, mevcut dağıtım planı ve taşıma maliyetlerine ilişkin verilerden oluşmaktadır. Veriler modelleme öncesinde toplam arz-toplam talep dengesi, depo talep miktarlarının toplamı ve mevcut dağıtım planındaki taşıma maliyeti açısından kontrol edilmiştir. Fabrikalar ile depoların koordinat bilgileri *Google Maps* üzerinden elde edilmiştir. Mesafe değerleri, karayolu rota uzunluğu veya trafik koşulları dikkate alınarak değil, koordinatlar arasındaki kuş uçuşu uzaklık mantığıyla hesaplanmıştır. Fabrikalar ile depolar arasındaki birim taşıma maliyetleri TL/ton cinsinden belirlenmiştir. Ton-kilometre başına taşıma maliyeti katsayısı, işletmeden elde edilen taşıma maliyeti bilgileri doğrultusunda 17,833 TL olarak kabul edilmiştir. Her bir fabrika-depo çifti için mesafe değerleri bu katsayı ile çarpılmış ve elde edilen değerler tam sayıya yuvarlanarak maliyet matrisi oluşturulmuştur. Matematiksel olarak bu işlem $C_{ij}=17,833*d_{ij}$ şeklinde ifade edilebilir. Burada C_{ij} , daha önce açıklandığı gibi i . fabrikadan j . depoya bir ton ürün taşımının maliyetini; d_{ij} ise ilgili fabrika ile depo arasındaki mesafeyi göstermektedir.

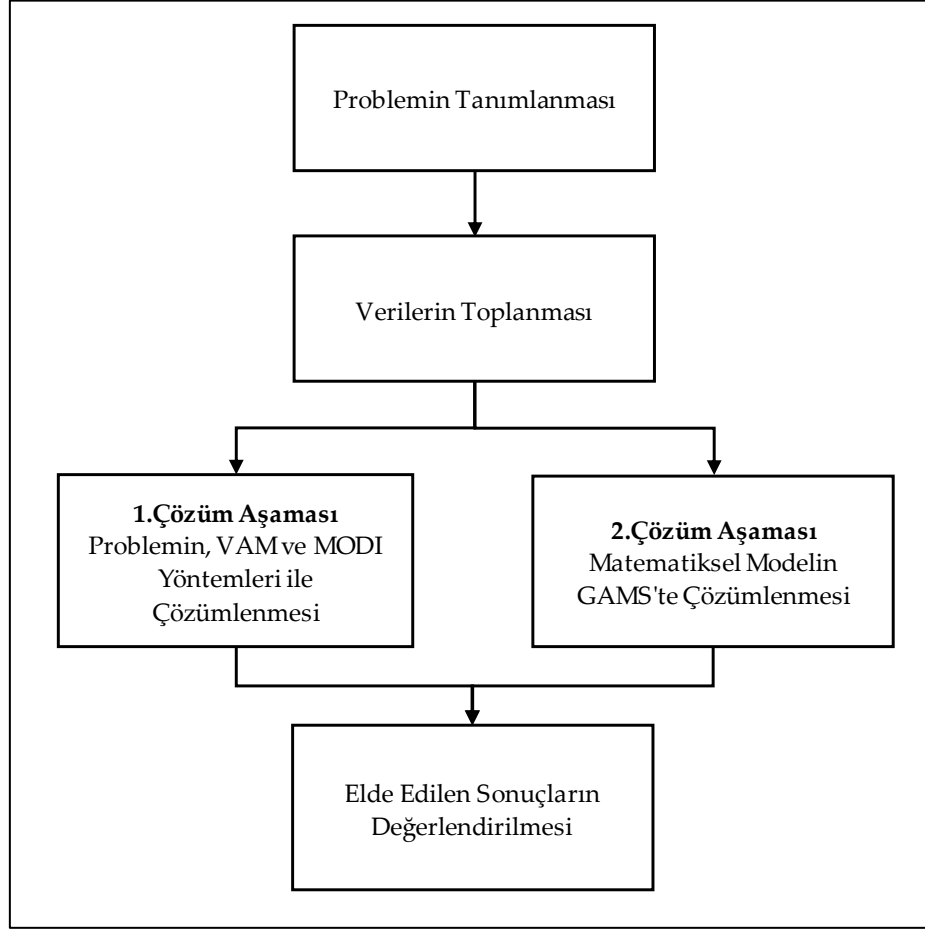
Ek 1’de fabrikalar ile depolar arasındaki birim taşıma maliyetleri, Tablo 1’de fabrikaların üretim kapasiteleri, Tablo 2’de depoların mal talepleri ve Ek 2’de tedarik zincirindeki işletmelere ait mevcut dağıtım planı gösterilmiştir. İşletmenin 2024 yılı Ekim ayına ait mevcut taşıma maliyeti; Ek 1’deki birim taşıma maliyetleri ile Ek 2’deki mevcut dağıtım miktarlarının çarpımlarının toplamı sonucu, 17.642.405 TL’dir. Bu çalışmada geliştirilen çözüm modelinin görsel temsili Şekil 3’te gösterilmektedir. Tablo 1’e göre 4 fabrikanın toplam üretim kapasitesi 3.400 ton, 49 deponun toplam talebi ise Tablo 2’deki değerler toplandığında 3.400 ton olduğundan problem dengeli bir ulaştırma problemi olarak ele alınmıştır. Model yalnızca toplam taşıma maliyetinin minimizasyonuna odaklanmakta olup teslim süresi, trafik koşulları, araç kapasite esnekliği ve hizmet düzeyi gibi lojistik performans kriterleri kapsam dışında bırakılmıştır.

Tablo 1. Fabrikaların Üretim Kapasitesi (ton)

Fabrika1	Fabrika2	Fabrika3	Fabrika4
850	850	850	850

Tablo 2. Depoların Talepleri (ton)

	Depo Talebi		Depo Talebi		Depo Talebi
Depo1	60	Depo18	65	Depo35	65
Depo2	40	Depo19	55	Depo36	55
Depo3	100	Depo20	100	Depo37	70
Depo4	80	Depo21	80	Depo38	60
Depo5	90	Depo22	70	Depo39	70
Depo6	65	Depo23	100	Depo40	50
Depo7	50	Depo24	60	Depo41	85
Depo8	70	Depo25	65	Depo42	60
Depo9	70	Depo26	80	Depo43	75
Depo10	60	Depo27	90	Depo44	65
Depo11	80	Depo28	85	Depo45	55
Depo12	60	Depo29	100	Depo46	45
Depo13	70	Depo30	80	Depo47	70
Depo14	60	Depo31	70	Depo48	60
Depo15	80	Depo32	45	Depo49	70
Depo16	75	Depo33	50		
Depo17	60	Depo34	80		



Şekil 3. Problemin Çözümüne Ait Akış Şeması

4.1. Birinci Çözüm Aşaması

Bu aşamada, ulaştırma problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan VAM ve MODI yöntemleri uygulanmıştır. Söz konusu iki yöntem de etkin ve hızlı çözüm üretme kapasiteleri nedeniyle tercih edilmektedir. Bu çalışma kapsamında; ilk olarak VAM yöntemiyle başlangıç çözümü elde edilmiş, ardından bu çözümün optimallliği MODI yöntemiyle test edilerek iyileştirme sağlanmıştır. Bu problem, MATLAB programında çözülmüştür ve elde edilen sonuçlar, Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Problemin MATLAB'da Çözümünde Elde Edilen Sonuçlar

VAM ile Bulunan Toplam Maliyet	MODI ile Bulunan Toplam Maliyet	Maliyet Farkı	İyileşme Oranı	Çalışma Süresi
16.996.965 TL	16.994.745 TL	2.220 TL	%0,013	0,087165 saniye

Tablo 3'te görüldüğü üzere, VAM yöntemi ile elde edilen başlangıç çözümü 16.996.965 TL iken, MODI yöntemi sonucunda toplam maliyet 16.994.745 TL'ye düşmüştür. Böylece MODI yöntemi, VAM ile elde edilen başlangıç çözümünü 2.220 TL iyileştirmiştir. Bu iyileşme, VAM sonucuna göre yaklaşık %0,013 oranında ek maliyet azalmasına karşılık gelmektedir. VAM yöntemi ile optimale oldukça yakın bir başlangıç çözümü elde edilmiştir. Bu sonuçlara ise 0,087165 saniyede ulaşılmıştır. İşletmenin mevcut taşıma dağıtım planına göre toplam maliyette %3,67 oranında azalma olmuştur. Elde edilen çözümün sonucunda oluşturulan yüklemeler, Ek 3'teki gibidir.

4.2. İkinci Çözüm Aşaması

Bu bölümde ulaştırma problemi, GAMS yazılımı kullanılarak çözülmüştür. Çözümde elde edilen sonuç Tablo 4'te sunulmaktadır.

Tablo 4. Problemin GAMS'te Çözümünde Elde Edilen Sonuçlar

Elde Edilen Sonuç	Çalışma Süresi	Sonuç Optimal Mi?
16.994.745 TL	5,388 saniye	EVET

Tablo 4'te gösterildiği üzere, GAMS yazılımı ile 5,388 saniyede 16.994.745 TL toplam maliyetle optimal sonuç elde edilmiştir. Söz konusu çözüme ait dağıtım planı, Tablo 5'te detaylı olarak sunulmaktadır. Mevcut duruma göre toplam maliyette %3,67 oranında azalma olmuştur.

Tablo 5. İkinci Aşamada Elde Edilen Sonuç (ton)

	GAMS ile Elde Edilen Çözüm					GAMS ile Elde Edilen Çözüm			
	Fabrika1	Fabrika2	Fabrika3	Fabrika4		Fabrika1	Fabrika2	Fabrika3	Fabrika4
Depo1	0	0	0	60	Depo26	0	80	0	0
Depo2	5	0	0	35	Depo27	90	0	0	0
Depo3	0	0	100	0	Depo28	85	0	0	0
Depo4	0	0	80	0	Depo29	100	0	0	0
Depo5	0	0	90	0	Depo30	0	0	0	80
Depo6	65	0	0	0	Depo31	0	0	70	0
Depo7	50	0	0	0	Depo32	0	0	0	45
Depo8	70	0	0	0	Depo33	0	50	0	0
Depo9	0	0	70	0	Depo34	0	80	0	0
Depo10	60	0	0	0	Depo35	65	0	0	0
Depo11	0	80	0	0	Depo36	55	0	0	0
Depo12	0	30	30	0	Depo37	0	0	0	70
Depo13	0	0	70	0	Depo38	60	0	0	0
Depo14	60	0	0	0	Depo39	0	0	0	70
Depo15	0	0	0	80	Depo40	0	0	0	50
Depo16	0	0	0	75	Depo41	85	0	0	0
Depo17	0	0	60	0	Depo42	0	0	60	0
Depo18	0	0	0	65	Depo43	0	0	75	0
Depo19	0	0	0	55	Depo44	0	0	0	65
Depo20	0	100	0	0	Depo45	0	55	0	0
Depo21	0	80	0	0	Depo46	0	0	45	0
Depo22	0	70	0	0	Depo47	0	0	30	40
Depo23	0	100	0	0	Depo48	0	0	0	60
Depo24	0	60	0	0	Depo49	0	0	70	0
Depo25	0	65	0	0					

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Günümüzün rekabetçi dünyasında tedarik zincirlerinin düzgün işleyişi zincirdeki taraflar için oldukça önemli olmuştur. Zincirdeki işletmeler, kârlılıklarını ve verimliliklerini sürdürülebilirlik için maliyetlerini optimum seviyede tutmak zorundadır. Bu sebeple; ulaştırma problemleri, lojistik maliyetlerini en aza indirmek için etkili bir yöntemdir. Yöneylem araştırmasında önemli bir yer tutan ulaştırma modelleri; teorik ve ekonomik açıdan işletmelere önemli maliyet avantajı sağlarken, hızlı ve kaliteli hizmet sunumuna katkı sağlar. Bu durum, işletmelerin sektörde rekabet gücünü artırarak, maliyetlerini düşürmektedir.

Bu çalışmada, dört fabrikası bulunan bir işletmenin Türkiye genelindeki 49 deposunu kapsayan dağıtım problemi incelenmiştir. Problemin çözümüne yönelik olarak; MATLAB yazılımı kullanılarak Aşama 1'de başlangıç çözümü VAM yöntemiyle belirlenmiş, ardından MODI yöntemiyle optimallik testi yapılmıştır. VAM ile toplam maliyet 16.996.965 TL, MODI ile ise 16.994.745 TL olarak hesaplanmış ve çözüm süresi 0,087165 saniye olarak kaydedilmiştir. MODI yöntemi, VAM sonucunu 2.220 TL iyileştirmiştir. Aşama 2'de, oluşturulan matematiksel model GAMS yazılımında çözülmüş ve toplam maliyet yine 16.994.745 TL olarak bulunmuştur. Bu süreç 5,388 saniye sürmüştür. Her iki aşamada elde edilen sonuçların optimal olduğu doğrulanmıştır. Mevcut dağıtım planında aylık taşıma maliyeti 17.642.405 TL iken, optimize edilen dağıtım planında bu maliyet 16.994.745 TL'ye düşmüştür. Böylece aylık 647.660 TL, yıllık olarak ise yaklaşık 7.771.920 TL tasarruf sağlanabileceği görülmüştür. Önerilen yeni dağıtım planı, tedarik zincirindeki iki işletmenin aylık taşıma maliyetlerini yaklaşık %3,67 oranında azaltmaktadır. Şahin (2022) çalışmasında, Türk gıda sektöründe net kâr marjlarının -%6,0 ile +%8,1 arasında dalgalandığı bir ortamda, elde ettiğimiz bu maliyet iyileşmesi oldukça anlamlıdır. Bu çalışma sayesinde, deneyime dayalı olarak uzun zaman alabilecek bir dağıtım planlaması, çok daha kısa sürede ve optimal sonucu verecek biçimde gerçekleştirilebilmektedir.

Bu çalışmada, taşıma maliyetleri %3,67 oranında azaltılmıştır. Literatürde benzer çalışmalar incelendiğinde, Ergülen vd. (2005) tarafından %5,35, Tan ve Patır (2017) tarafından %10,86 ve Arman vd. (2021) tarafından %5,5 oranında maliyet düşüşü sağlandığı görülmektedir. Bu farkın temel nedenleri arasında kullanılan optimizasyon teknikleri, veri setlerinin farklılığı ve problem kapsamının genişliği gösterilebilir. Bu çalışmada, daha geniş bir tedarik zinciri ağı ele alınmış olup, daha karmaşık bir yapı nedeniyle maliyet düşüş oranı göreceli olarak daha sınırlı kalmıştır. Ancak, elde edilen sonuçların optimal olduğu doğrulanmış ve önerilen yeni dağıtım planı sayesinde kâr oranlarının çok düşük olduğu günümüzde kayda değer bir maliyet tasarrufu sağlanmıştır.

Bu çalışmanın akademik katkısı, 4 kaynak ve 49 hedef noktasından oluşan gerçek bir gıda tedarik zinciri ağında, VAM, MODI ve doğrusal programlamayı karşılaştırmalı olarak uygulayan ilk çalışmalardan biri olmasıdır. Literatürdeki çoğu çalışma talep noktaları sınırlıyken, bu çalışma 49 talep noktasıyla ölçeklenebilirlik sınırını test etmiştir. Ayrıca VAM'ın optime ne kadar yakın olduğu (%0,013 fark) ve MODI'nin sadece 2.220 TL'lik iyileşme sağladığı gösterilerek, bu problem özelinde VAM'ın optime oldukça yakın sonuç verdiği görülmüştür.

Bu çalışmanın bazı yönetsel sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle, fabrikalar ile depolar arasındaki mesafeler karayolu rota uzunluğu yerine koordinatlar arasındaki kuş uçuşu uzaklık mantığıyla hesaplanmıştır. Bu nedenle trafik yoğunluğu, yol koşulları, teslim süresi, güzergâh kısıtları ve operasyonel rota tercihleri modele dâhil edilmemiştir. Ayrıca işletmelerden alınan taşıma maliyeti verilerinde yol ve köprü ücretleri tüm hatlar için standart biçimde maliyete yansıtılamamıştır. Bunun yanında model yalnızca toplam taşıma maliyetini minimize etmeye odaklanmakta; teslim süresi, hizmet düzeyi, araç kapasite esnekliği, taşıma modu, karbon emisyonu ve zaman performansı gibi lojistik performans kriterlerini kapsam dışında bırakmaktadır. Bu nedenle elde edilen sonuçlar maliyet minimizasyonu açısından optimal olmakla birlikte, çok kriterli lojistik karar verme açısından geliştirmeye açıktır.

Gelecekteki çalışmalarda, sezgisel ve meta sezgisel algoritmaların etkinliği karşılaştırılarak farklı optimizasyon yöntemlerinin performansları analiz edilebilir. Ayrıca yapay zekâ tabanlı yaklaşımlar kullanılarak ulaştırma problemlerine yönelik alternatif çözüm modelleri geliştirilebilir. Özellikle yeşil lojistik kapsamında, sürdürülebilirlik hedeflerini dikkate almak için modele karbon emisyonları, enerji tüketimi ve lojistik rotaların çevresel etkileri gibi parametreler eklenerek model geliştirilebilir. Böylece, yalnızca ekonomik maliyetler değil, aynı zamanda çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik boyutları da tedarik zinciri optimizasyonuna entegre edilebilir. İşletmelerin tedarik zinciri içinde sürdürülebilir ve düşük maliyetli

taşımacılık politikaları geliştirmesi için karar destek sistemleri tasarlanabilir. Ayrıca, kombine taşımacılık ve intermodal taşımacılık gibi güncel lojistik uygulamaları kullanılarak, rekabetçi ve çevreye duyarlı koşullarda daha etkin çözümler üretilebilir.

Çalışmanın sonucuna göre, işletmelerin ulaştırma modellerini kullanarak taşıma maliyetlerini kayda değer ölçüde azaltabileceği görülmüştür. Bu sayede; işletmelerin ulaştırma modellerini kullanarak ekonomik tasarruf sağlayabileceğini ve sektördeki rakiplerine karşı rekabet avantajı elde edebileceğini göstermektedir.

AÇIKLAMALAR / DECLARATIONS

Üretken Yapay Zekâ Beyanı: Bu çalışmanın hazırlanmasında üretken yapay zekâ araçları yalnızca dil düzenlemesi ile metnin anlaşılabilirliğinin ve okunabilirliğinin artırılması amacıyla kullanılmıştır. Bu araçlar araştırma verisi üretmek, istatistiksel analiz gerçekleştirmek, bulguları yorumlamak veya bilimsel sonuçları geliştirmek amacıyla kullanılmamıştır. Yazar, yapay zekâ desteğiyle oluşturulan tüm içeriği eleştirel biçimde gözden geçirmiş ve yayımlanan çalışmanın doğruluğu, bütünlüğü ve özgünlüğüne ilişkin tüm sorumluluğu üstlenmektedir.

CRedit Yazarlık Katkı Beyanı: Erkan Turhan: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Yazılım, Doğrulama, Formal Analiz, Araştırma, Veri Toplama, Yazma – Orijinal Taslak, Yazma – İnceleme ve Düzenleme. Yazar, makalenin son halini okumuş, onaylamış ve çalışmanın tüm yönlerinden sorumlu olmayı kabul etmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı: Yazar, bu araştırmanın yürütülmesi, analizi, yorumlanması veya yayımlanması sürecini etkileyebilecek herhangi bir finansal, ticari, kişisel veya mesleki çıkar çatışması bulunmadığını beyan eder.

Veri Erişilebilirliği Beyanı: Bu çalışmada kullanılan üretim, depo ve maliyet verileri, ilgili işletmelerden ticari gizlilik kapsamında temin edilmiştir. Verilerin gizliliğine ilişkin kısıtlar nedeniyle veri seti kamuya açık olarak paylaşılamamaktadır; ilgili firmaların onayına bağlı olarak makul bir talep üzerine sorumlu yazardan temin edilebilir.

Fon Desteği Beyanı: Yazar, bu araştırma, yazarlık veya yayın sürecine ilişkin herhangi bir kurum veya kuruluştan finansal destek almamıştır.

Etik Kurul Onayı: Bu çalışma, işletmeden temin edilen ikincil sevkiyat ve maliyet verilerine dayanmaktadır. Araştırma insan katılımcı, anket, mülakat veya deneysel bir uygulama içermediğinden etik kurul onayı ve bilgilendirilmiş onam gerektirmemektedir.

KAYNAKÇA

- Abdelati, M. H., Abd-El-Tawwab, A. M., Ellimony, E. E. M. and Rabie, M. (2023). Solving A Multi-Objective Solid Transportation Problem: A Comparative Study of Alternative Methods for Decision-Making, *Journal of Engineering and Applied Science*, 70(1), 1-16. <https://doi.org/10.1186/s44147-023-00247-z>
- Acar, H. ve Eroğlu, H. (2001). Orman Yolları Üzerinde Odun Hammaddesi Nakliyatının Planlanması, *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2 (1), 61-66.
- Acar, S. (2020). Yoğun Rekabet İçindeki İşletmeler için Rekabet Stratejileri: Konumlandırma Okulunun Avantajları, *Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(19), 18-34.
- Agboola, O. O., Obembe, D. T. and Agarana, M. C. (2025). Application of Swarm Intelligence in Transportation System Optimisation, *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, 22, 74-82. <https://doi.org/10.37394/23209.2025.22.8>
- Ahmad, Q. S. (2020). A New Approach for Finding the Initial Solution of The Unbalanced Transportation Problem, *Asian Journal of Business and Management*, 8(4), 49-51.
- Aliyari Boroujeni, A., Ghaemi, M. R. and Pourgholi, R. (2025). Solving The Transportation Problem Using Meta-Heuristic Algorithms, *Analytical and Numerical Solutions for Nonlinear Equations*, 9(1), 12-19. <https://doi.org/10.22128/ansne.2025.956.1129>
- Arman, K., Organ, A., Yenilmez, S. ve Akay, M. (2021). Ulaştırma Modeli ile Elektronik Firmasının Dağıtım Ağının Planlanması, *Yeni Fikir Dergisi*, 13(27), 13-22.
- Askerbeyli, R. (2020). Study of Transportation Problem of Iron and Steel Industry in Turkey Based on Linear Programming, VAM and MODI Methods, *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series A2-A3 Physical Sciences and Engineering*, 62(1), 79-99. <https://doi.org/10.33769/aupse.740416>
- Atan, M. ve Şimşek, P. (2017). Doğrusal Programlama ile Araç Atama Probleminin Çözülmesi, *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(11), 339-358.
- Atan, S. ve Gülüdağı, L. S. (2019). Harekât Ortamında Mühimmat Lojistiğinin Optimizasyonu, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 33(2), 653-684.
- Bakır, M. A. ve Altunkaynak, B. (2003). *Tamsayılı Programlama Teori, Modeller ve Algoritmalar*, Ankara, Nobel Yayın.
- Boonphakdee, W. (2018). Vogel's approximation method (VAM) -Modified Distribution Method (MODI), <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/66994-vogel-s-approximation-method-vam-modified-distribution-method-modi> (Erişim Tarihi: 24 Ocak 2025).
- Candan, G. (2019). *Ulaştırma Modelleri ile Maliyet Minimizasyonu ve Ayakkabı Endüstrisinde Tedarik Zinciri Yönetimi Uygulaması* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Marmara Üniversitesi.
- Chungath, L., Prakash, H., Dixit, S. and Pandey, K. K. (2024). Optimizing Initial Basic Feasible Solutions for Transportation Problems: A Novel Approach Incorporating Second Least Cost as Penalty, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 21(3), 34-42. <https://doi.org/10.9790/1684-2103033442>
- Coşkun, İ. T. (2016). Sabit Maliyetli Ulaştırma Problemleri ve Uygulaması [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Çukurova Üniversitesi.
- Coşkun, Ş., Yılmaz, K. ve Taşkın, K. (2024). İç Lojistik Sürecindeki Alternatif Rotaların Rekabet Önceliklerine Göre Oluşturulması, *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi*, 59(2), 962-976. <https://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.24.06.2367>
- Düzakın, E. (2005). *İşletme Yöneticileri İçin Excel ile Sayısal Karar Verme Teknikleri*, İstanbul, Kare Yayınları.

- Edokpia, R. O. and Ohikhuare, K. O. (2012). Transportation Cost Minimization of a Manufacturing Firm Using Linear Programming Technique, *Advanced Materials Research*, 367, 685-695. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.367.685>
- Erdoğan, M. Ç., Şen, A. and Yücel, Ö. (2007). Determining the Product Cost Using the Transportation Method in Clothing Production, *Textile and Apparel*, 17(2), 132-139.
- Erdoğan, N. ve Ertuğrul, İ. (2024). Maliyet-Etkinlik Stratejisi: Ulaştırma Modellemesi ve Uygulama, *Nazilli İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(1), 143-155. <https://doi.org/10.59113/niibfd.1464720>
- Ergülen, A., Kazan, H. ve Kaplan, M. (2005). İşletmelerde Dağıtım Sistemi Maliyetleri Minimizasyonu İçin Çözüm Modeli: Bir Firma Uygulaması, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (13), 163-172.
- Ertuğrul, İ. ve Tuş, A. (2008). Bir Gıda İşletmesinde Ulaştırma Modeli ile Yeni Bir Dağıtım Planı Geliştirme, *Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2008(1), 267-283.
- Gass, S. I. (1990). On Solving the Transportation Problem, *Journal of the Operational Research Society*, 41(4), 291-297. <https://doi.org/10.2307/2583799>
- Ghazali, Z., Abd Majid, M. A. and Mohd, S. (2012). Optimal Solution of Transportation Problem Using Linear Programming: A Case of A Malaysian Trading Company, *Journal of Applied Sciences*, 12(23), 2430-2435. <https://doi.org/10.3923/jas.2012.2430.2435>
- Kacher, Y. and Singh, P. (2021). A Comprehensive Literature Review on Transportation Problems, *International Journal of Applied and Computational Mathematics*, 7, 1-49.
- Karaoğlu, İ. ve Altıparmak, F. (2005). Konkav Maliyetli Ulaştırma Problemi için Genetik Algoritma Tabanlı Sezgisel Bir Yaklaşım, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(4), 443-454.
- Korukoğlu, S. and Ballı, S. (2011). An Improved Vogel's Approximation Method for The Transportation Problem, *Mathematical and Computational Applications*, 16(2), 370-381. <https://doi.org/10.3390/mca16020370>
- Lasić, T., Rožić, T. and Stanković, R. (2023). Optimization of Transport Network Using Mathematical Methods, *Transportation Research Procedia*, 73, 5-16. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.885>
- Nugraha, I., Winursito, Y. C. and Sarı, T. P. (2023). Shipping Cost Optimization Using Least Cost and Stepping Stone Method at The Xender Brand Sandal Factory, *BIOMEJ*, 3(1), 36-42.
- Osayimwese, I. (1974). An Application of Linear Programming to The Evacuation of Groundnuts in Nigeria, *Journal of Transport Economics and Policy*, 8(1), 58-69.
- Özen, Ü. (1990). *Ulaştırma Modeli ve Petrol Dağıtımında Uygulama* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Atatürk Üniversitesi.
- Özkan, Z. (2012). *Ulaştırma Modelleri ve Çelik Kapı Sektöründe Bir Uygulama* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Öztürk, A. (2016). *Yöneylem Araştırması*, Bursa, Ekin Yayın Evi.
- Rahmasari, S. M. and Hamidah, I. (2023). The SS Method to Obtain an Optimal Solution of Transportation Problem, *International Journal of Mathematics and Mathematics Education*, 1(1), 1-17. <https://doi.org/10.56855/ijmme.v1i1.219>
- Sakarya, E., Cevger, Y. ve Günlü, A. (1996). Et ve Balık Kurumu Kombinalar Arası Et Taşınmasında Ulaştırma Modeli Uygulaması, *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 43(02), 215-227.
- Shore, H. H. (1970). The Transportation Problem and The Vogel Approximation Method, *Decision Sciences*, 1(3-4), 441-457. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1970.tb00792.x>

- Şahin, A. (2022). Türk Gıda Üreticileri Sektörünün E7 Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Finansal Analizi, 2010-2020 Dönemi Oran Analizi, *Social Mentality and Researcher Thinkers Journal (SMART JOURNAL)*, 8(62), 1409-1421. <https://doi.org/10.29228/smryj.63848>
- Şen, H. İ. (2015). *Türkiye Geneline Dağıtılacak Olan Araçların Dağıtım Maliyetlerinin Optimizasyonu: Ulaştırma Modeli Uygulaması* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Gümüşhane Üniversitesi.
- Tan, M. ve Patır, S. (2017). Bingöl İlinde Faaliyet Gösteren Bir Meşrubat Firmasının Ulaştırma Modelleri ile Dağıtım Planı Oluşturması, *Uluslararası Sosyal ve Eğitim Bilimleri Dergisi*, 4(8), 135-147. <https://doi.org/10.20860/ijoses.337873>

EKLER

Ek 1. Fabrikalar ile Depolar Arasındaki Birim Taşıma Maliyetleri (TL/ton)

	Fabrika1	Fabrika2	Fabrika3	Fabrika4		Fabrika1	Fabrika2	Fabrika3	Fabrika4
Depo1	13108	13215	12840	2515	Depo26	6242	2533	4405	9844
Depo2	10326	9773	9702	1177	Depo27	660	3371	1231	11003
Depo3	9523	7562	8275	4940	Depo28	1124	3282	1409	11663
Depo4	9559	7687	8346	4673	Depo29	161	3888	1766	11146
Depo5	8953	7259	7794	4530	Depo30	14909	14517	14410	3835
Depo6	5511	7205	5868	6260	Depo31	11788	9327	10397	6278
Depo7	6296	7847	6599	5654	Depo32	12858	11913	12091	2444
Depo8	981	4459	2337	10308	Depo33	6260	2479	4512	12537
Depo9	2979	1053	1142	10825	Depo34	6171	2551	4352	9630
Depo10	4744	5778	4673	6403	Depo35	8186	8204	7776	2889
Depo11	4708	1177	2854	9916	Depo36	8436	8703	8150	2765
Depo12	5404	1980	3603	9452	Depo37	16799	15908	16104	5850
Depo13	5404	1980	3585	9452	Depo38	1088	2943	839	10986
Depo14	3068	4869	3317	8079	Depo39	21935	21222	21347	10861
Depo15	19742	18868	19064	8721	Depo40	11842	12198	11663	2069
Depo16	21828	20223	20847	11414	Depo41	2212	5636	3567	9844
Depo17	5493	3317	4013	7633	Depo42	6920	3799	5208	8346
Depo18	15836	15587	15426	4815	Depo43	14873	12448	13518	7508
Depo19	14410	14695	14231	4013	Depo44	17798	17441	17352	6741
Depo20	6099	2087	4209	10932	Depo45	6153	2301	4370	12270
Depo21	6010	1998	4138	11003	Depo46	14641	12787	13500	5778
Depo22	6331	2319	4459	11128	Depo47	20063	18065	18903	10451
Depo23	6010	1998	4138	11003	Depo48	27053	25734	26197	16193
Depo24	6563	2747	4708	10094	Depo49	9737	6670	8097	7883
Depo25	6099	2105	4227	10932					

Ek 2. Tedarik Zincirindeki İşletmelere ait Mevcut Dağıtım Planı (ton)

	Fabrika1	Fabrika2	Fabrika3	Fabrika4		Fabrika1	Fabrika2	Fabrika3	Fabrika4
Depo1	0	0	0	60	Depo26	0	80	0	0
Depo2	0	0	0	40	Depo27	90	0	0	0
Depo3	0	0	60	40	Depo28	85	0	0	0
Depo4	0	0	80	0	Depo29	80	20	0	0
Depo5	0	0	90	0	Depo30	0	0	0	80
Depo6	65	0	0	0	Depo31	0	0	70	0
Depo7	50	0	0	0	Depo32	0	0	0	45
Depo8	70	0	0	0	Depo33	0	50	0	0
Depo9	0	0	70	0	Depo34	20	60	0	0
Depo10	60	0	0	0	Depo35	65	0	0	0
Depo11	0	80	0	0	Depo36	55	0	0	0
Depo12	0	30	30	0	Depo37	0	0	0	70
Depo13	0	0	70	0	Depo38	60	0	0	0
Depo14	60	0	0	0	Depo39	0	0	0	70
Depo15	0	0	35	45	Depo40	0	0	25	25
Depo16	0	0	0	75	Depo41	85	0	0	0
Depo17	0	25	35	0	Depo42	0	0	60	0
Depo18	0	0	0	65	Depo43	0	0	75	0
Depo19	0	0	0	55	Depo44	0	0	0	65
Depo20	0	100	0	0	Depo45	0	30	25	0
Depo21	0	80	0	0	Depo46	5	0	40	0
Depo22	0	70	0	0	Depo47	0	0	35	35
Depo23	0	100	0	0	Depo48	0	0	0	60
Depo24	0	60	0	0	Depo49	0	0	50	20
Depo25	0	65	0	0					

Ek 3. Birinci Aşamada Elde Edilen Sonuç (ton)

	VAM ile Elde Edilen Sonuç					MODİ ile Elde Edilen Sonuç			
	Fabrika1	Fabrika2	Fabrika3	Fabrika4		Fabrika1	Fabrika2	Fabrika3	Fabrika4
Depo1	0	0	0	60	Depo1	0	0	0	60
Depo2	0	0	0	40	Depo2	5	0	0	35
Depo3	0	0	100	0	Depo3	0	0	100	0
Depo4	0	0	80	0	Depo4	0	0	80	0
Depo5	0	0	90	0	Depo5	0	0	90	0
Depo6	65	0	0	0	Depo6	65	0	0	0
Depo7	50	0	0	0	Depo7	50	0	0	0
Depo8	70	0	0	0	Depo8	70	0	0	0
Depo9	0	0	70	0	Depo9	0	0	70	0
Depo10	60	0	0	0	Depo10	60	0	0	0
Depo11	0	80	0	0	Depo11	0	80	0	0
Depo12	0	30	30	0	Depo12	0	30	30	0
Depo13	0	0	70	0	Depo13	0	0	70	0
Depo14	60	0	0	0	Depo14	60	0	0	0
Depo15	0	0	0	80	Depo15	0	0	0	80
Depo16	0	0	0	75	Depo16	0	0	0	75
Depo17	0	0	60	0	Depo17	0	0	60	0
Depo18	0	0	0	65	Depo18	0	0	0	65
Depo19	0	0	0	55	Depo19	0	0	0	55
Depo20	0	100	0	0	Depo20	0	100	0	0
Depo21	0	80	0	0	Depo21	0	80	0	0
Depo22	0	70	0	0	Depo22	0	70	0	0
Depo23	0	100	0	0	Depo23	0	100	0	0
Depo24	0	60	0	0	Depo24	0	60	0	0
Depo25	0	65	0	0	Depo25	0	65	0	0
Depo26	0	80	0	0	Depo26	0	80	0	0
Depo27	90	0	0	0	Depo27	90	0	0	0
Depo28	85	0	0	0	Depo28	85	0	0	0
Depo29	100	0	0	0	Depo29	100	0	0	0
Depo30	0	0	0	80	Depo30	0	0	0	80
Depo31	0	0	70	0	Depo31	0	0	70	0
Depo32	0	0	0	45	Depo32	0	0	0	45
Depo33	0	50	0	0	Depo33	0	50	0	0
Depo34	0	80	0	0	Depo34	0	80	0	0
Depo35	65	0	0	0	Depo35	65	0	0	0
Depo36	55	0	0	0	Depo36	55	0	0	0
Depo37	0	0	0	70	Depo37	0	0	0	70
Depo38	60	0	0	0	Depo38	60	0	0	0
Depo39	0	0	0	70	Depo39	0	0	0	70
Depo40	0	0	0	50	Depo40	0	0	0	50
Depo41	85	0	0	0	Depo41	85	0	0	0
Depo42	0	0	60	0	Depo42	0	0	60	0
Depo43	0	0	75	0	Depo43	0	0	75	0
Depo44	0	0	0	65	Depo44	0	0	0	65
Depo45	0	55	0	0	Depo45	0	55	0	0
Depo46	5	0	40	0	Depo46	0	0	45	0
Depo47	0	0	35	35	Depo47	0	0	30	40
Depo48	0	0	0	60	Depo48	0	0	0	60
Depo49	0	0	70	0	Depo49	0	0	70	0