

**SOĞUK ZİNCİR ÜRÜNLERİNİN DENİZ LOJİSTİĞİNDE MALİYET OPTİMİZASYONU:
BATI AKDENİZ BÖLGESİNDE DOĞRUSAL PROGRAMLAMA VE EN KÜÇÜK MALİYET
YÖNTEMİ KARŞILAŞTIRMASI**

Hakan ÖZKAN*

Öz

Soğuk zincir sürecinde gerçekleştirilen lojistik faaliyetlerin özellikle de taşımacılık faaliyetlerin optimize edilmemesi maliyetlerin artmasına neden olmaktadır. Nitekim lojistik faaliyetlerden kaynaklanan maliyetlerin %50'si taşımacılık faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Bu yüzden soğuk zincir süreçlerinin sonunda nihai müşterilere uygun fiyattan ürün sunabilmek için öncelikle taşımacılık faaliyetlerine odaklanılmalı ve taşımacılık faaliyetleri optimize edilmelidir. Bu çalışma iki amaca odaklanmıştır. Çalışmanın birinci amacı soğuk zincir ürünlerinin deniz yolu taşımacılık maliyetlerini minimize etmektir. Bu amaçla Doğrusal Programlama Yöntemi ve En Küçük Maliyet Yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın ikinci amacı ise, En Küçük Maliyet Yöntemi sonucunda ulaşılan değer, optimum değere yakınlığını test etmektir. Bu iki amaca ulaşabilmek için gerekli olan verilere Batı Akdeniz İhracatçıları Birliğinden e-posta yoluyla ulaşılmıştır. Ulaşılan bu veriler; Batı Akdeniz Bölgesine uygulanmış olup, yöntemlerin uygulanması sürecinde Excel ve Excel'in Çözücü eklentisinden yararlanılmıştır. Her iki yöntemin de mevcut dönem maliyetini düşürdüğü ancak En Küçük Maliyet Yönteminin, optimuma yakın fakat tam olarak eşit olmayan bir çözüm üretmiştir. Sonuç olarak, optimizasyon çalışması neticesinde soğuk zincir ürünlerinin deniz taşımacılık maliyetlerinin düşürülebileceği ve En Küçük Maliyet Yöntemindeki atamaların gözden geçirilerek daha iyi bir sonuca ulaşılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Deniz Lojistiği, Optimizasyon, Soğuk Zincir, Tedarik Zinciri Yönetimi, Yöneylem.

Jel Kodu: C61, L91, L92.

Cost Optimization in Maritime Logistics of Cold Chain Products: Comparison of Linear Programming and Least Cost Method in the Western Mediterranean Region

Abstract

Failure to optimize logistics activities, especially transportation activities, carried out in the cold chain process leads to increased costs. As a matter of fact, 50% of the costs arising from logistics activities are due to transportation activities. Therefore, in order to be able to offer products to end customers at the end of cold chain processes at affordable prices, transportation activities should be focused on and optimized. This study focuses on two objectives. The first objective of the study is to minimize the maritime transportation costs of cold chain products. For this purpose, Linear Programming Method and Least Cost Method are used. The second objective of the study is to test the closeness of the value obtained as a result of the Least Cost Method to the optimum value. The data required to achieve these two objectives were obtained from the Western Mediterranean Exporters' Association via e-mail. These data were applied to the Western Mediterranean Region and Excel and Excel's Solver add-in were utilized in the process of applying the methods. Both methods reduced the current period cost, but the Least Cost Method produced a solution that was close to the optimum but not exactly equal. As a result, as a result of the optimization study, it was seen that the sea transportation costs of cold chain products can be reduced and a better result can be achieved by reviewing the assignments in the Least Cost Method.

Keywords: Maritime Logistics, Optimization, Cold Chain, Supply Chain Management, Operations.

Jel Code: C61, L91, L92.

* Dr. Öğr. Üyesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, İİBF, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, Uluslararası Ticaret ve Lojistik ABD, ozkannhakann@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7948-8333>

1. Giriş

Soğuk zincir, ürün türü ve özelliği dikkate alınarak, ürünün ilk üretim noktasından son tüketim noktasına kadar uygun ısı ve nem koşulları altında, ürünlerin kalitesi ve özellikleri muhafaza edilerek uygun fiyattan nihai müşterilerine ulaştırılmasıdır. Bu zincir altında taşınması gereken gıda ürünleri de bozulabilir gıda ürünleri olarak ifade edilmektedir. Et ve et ürünleri, süt ve süt ürünleri, yumurta, yaş meyve-sebze, su ürünleri, dondurulmuş gıdalar, bozulabilir gıda ürünlerindendir. Bu ürünlerin üretim noktasından tüketim noktasına kadar soğuk zincirin kırılmadan taşınması gerekmektedir. Aksi durumda bozulabilir gıda ürünleri, kalitesini ve özelliklerini kaybetmektedir. Bu da israfa neden olmaktadır. Örneğin; yaş meyve-sebze ürünlerinin soğuk ortamlarda sergilenmemesi %13, soğuk zincirde taşınmaması %9,5 ve uygun şekilde ambalajlanmaması %9'luk bir israfa neden olmaktadır (Öztürk, 2019).

Tedarik zinciri yönetimi lojistik faaliyetlerden kaynaklanan maliyetleri minimize etmeyi amaçlamaktadır. Bu durum için taşımacılık faaliyetlerinden kaynaklanan maliyetlerin minimize edilmesi gerekmektedir. Zira lojistik faaliyetlerden kaynaklanan maliyetlerin %50'si taşımacılık faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır (Kayalı vd., 2020).

Denizyolu taşımacılığı yüksek miktardaki kargoları tek seferde taşıyabilme imkânına sahip olduğu için diğer taşımacılık modlarına (karayolu, demiryolu, havayolu) göre en düşük birim maliyete sahip olan taşımacılık türüdür. Bu nedenle deniz taşımacılığı; havayolu taşımacılığından 14, karayolu taşımacılığından 7 ve demiryolu taşımacılığından 3,5 kat daha ucuzdur (Takım ve Ersungur, 2015). Bu durum dünya ticaretinde deniz taşımacılığının %90 seviyesinde tercih edilmesini sağlamaktadır (Oğuz, 2024, s. 88).

Türkiye’de 2023 yılında 10,9 milyar dolar, 2024 yılında 12,5 milyar dolar değerinde yaş meyve sebze ihracatı yapılmıştır (Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], 2025). Bu rakam Burdur, Isparta ve Antalya illerini kapsayan Batı Akdeniz Bölgesinde ise; 2023 yılında yaklaşık olarak 850 milyon dolar, 2024 yılında ise yaklaşık 800 milyon dolar seviyesindedir (Batı Akdeniz İhracatçılar Birliği [BAİB], 2024). Bu değerler Batı Akdeniz Bölgesinin yaş meyve-sebze ihracatında ülke ekonomisine 2023 yılında %8, 2024 yılında ise %6,4 oranında katkı sağladığını göstermektedir.

Batı Akdeniz Bölgesinden ihraç edilen yaş meyve-sebze ürünlerinin ihracat ülkelerine gönderilmesinde; ilk sırada yer alan karayolu taşımacılığı %85,26 oranında, ikinci sırada yer alan denizyolu taşımacılığı %9,44 oranında tercih edilmektedir. Bölgeden denizyoluyla ihraç edilen toplam yaş meyve-sebze miktarının %94’ü; Hindistan, Rusya Federasyonu, KKTC, İsrail ve Suudi Arabistan’a gönderilmektedir. Ayrıca denizyoluyla gönderilen toplam yaş meyve-sebze miktarının %96,51’i; Samsun Gümrük Müdürlüğü, Aliğa Gümrük Müdürlüğü, Mersin Gümrük Müdürlüğü, İskenderun Gümrük Müdürlüğü, Taşucu Gümrük Müdürlüğü ve Antalya Gümrük Müdürlüğünden çıkış yapmaktadır. Bu çıkış gümrükleri arasında Aliğa Gümrük Müdürlüğü %45,79 oranıyla en çok yaş meyve-sebze ürünün çıkış yaptığı gümrük müdürlüğü; Antalya Gümrük Müdürlüğü de %0,02 oranıyla en az yaş meyve-sebze ürünün çıkış yaptığı gümrük müdürlüğüdür (Batı Akdeniz İhracatçılar Birliği, arge@baib.gov.tr, 08.01.2025).

Batı Akdeniz Bölgesinden ihraç edilen toplam yaş meyve ve sebze ürün gurubunun ihracatında, %16 oranında denizlerden (“denizyolu”, “deniz aracında motorlu karayolu taşıtı” ve “deniz aracında römork veya yarı römork”) yararlanarak; denizlerden yararlanarak gönderilen yaş meyve ve sebze ürünlerin %60’ı sadece denizyoluyla, yüzde %40’ı da Ro-Ro taşımacılık türüne giren “deniz aracında motorlu karayolu taşıtı” ve “deniz aracında römork veya yarı römork” ile gönderilmektedir. Ancak Batı Akdeniz Bölgesinin denizle bağlantısını sağlayan Antalya Limanından Ro-Ro taşımacılık türüyle

herhangi bir yaş meyve ve sebze ürün grubu gönderilmemektedir (Batı Akdeniz İhracatçılar Birliği, arge@baib.gov.tr, 08.01.2025).

Ele aldığı konu açısından literatürdeki soğuk zincir ürünlerine yönelik hazırlanan çalışmalardan ayrıışan ve özgün bir değer taşıyan bu çalışma, iki amaca odaklanmıştır. Çalışmanın birinci amacı, soğuk zincir ürünlerinin denizyolu taşımacılık faaliyetini optimize ederek, deniz taşımacılık maliyetlerini minimize etmektir. Bu amaçla En Küçük Maliyet Yöntemi ve Doğrusal Programlama Yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın ikinci amacı ise, En Küçük Maliyet Yöntemi sonucunda ulaşılan değer, optimum değere yakınlığını test etmektir. Bu iki amaca yönelik ihtiyaç duyulan veriler, Batı Akdeniz İhracatçılar Birliğinden mail aracılığıyla temin edilmiştir. Batı Akdeniz Bölgesine uygulanan bu çalışma; taşımacılık türü olarak denizyolu taşımacılığıyla (deniz aracında motorlu karayolu taşıtı ve deniz aracında römork veya yarı römork hariç), soğuk zincir ürünü olan yaş meyve-sebze ürünüyle, bölgeden denizyolu taşımacılık türüyle ihraç edilen yaş meyve-sebze ürünlerin en çok gönderildiği ve bu anlamda ilk beş sırada yer alan; Hindistan, Rusya Federasyonu, KKTC, İsrail ve Suudi Arabistan ülkeleriyle, bu ürünlerin yaklaşık %97'sinin çıkış yaptığı; Samsun, Aliğa, Mersin, İskenderun, Taşucu ve Antalya Gümrük Müdürlükleri ile sınırlandırılmıştır (Batı Akdeniz İhracatçılar Birliği, arge@baib.gov.tr, 08.01.2025).

Çalışma kapsamında ele alınan yöntemlerin uygulama sürecinde Excel ve Excel' in Çözücü eklentisinden yararlanılan bu çalışmada, her iki yöntemin de mevcut döneme göre denizyolu taşımacılık maliyetini düşürdüğü görülmüştür. Ayrıca En Küçük Maliyet Yönteminin sonucunda ulaşılan değer, Doğrusal Programlama sonucunda ulaşılan optimum değere yakın olduğu görülmüştür. Ancak En Küçük Maliyet Yöntemi sonucuna ulaşılan maliyet değerinin optimum maliyet değerine eşit olmaması, bu yöntem sonucunda ulaşılan çözümün *uygun çözüm* olduğunu göstermektedir. Nitekim optimizasyon çalışmalarında tüm kısıtları sağlayan çözüm “*uygun çözüm*”, uygun çözümler içindeki en iyi çözüm ise “*optimum çözüm*” olarak ifade edilmektedir (Timor, 2010).

1.1. Literatür Araştırması

“Soğuk Zincir”, “Soğuk Zincir + Taşıma”, “Soğuk Zincir + Denizyolu”, “Cold Chain + Transportation”, “ Cold Chain” ve “Cold Chain + Marine Transportation” anahtar kelimelerine odaklanarak yapılan literatür taramasında, son on yılda (2015-2025 yılları) soğuk zincir ürünlerinin denizyolu taşımacılık faaliyetlerine yönelik önemli çalışmaların yapıldığı ve literatüre kazandırıldığı görülmüştür. Bu çalışmalarda; Korucuk (2018), soğuk zincir taşımacılığı yapan işletmelerin 3PL firması seçimine odaklanmıştır. Şeker ve Korkmaz (2021), soğuk zincir taşıyıcı seçiminde kullanılanlabilecek yöntemin, çok kriterli karar verme yöntemi olan, AHP tekniği olabileceği konusunda farkındalık oluşturmuştur. Özceylan (2021), tarım-gıda ürünlerinin taşınmasında ürün kalitesini etkileyen unsurlara, kullanılan araçlara ve teknolojiye değinmiştir. Yıldırım ve Olcay (2020), denizyolu taşımacılığında soğuk zincir lojistiği yapan bir firmanın zincirin izlenebilirliğini için geliştirdiği bir teknolojiyi incelemiş ve bu teknolojinin getirdiği avantajlara değinmiştir. Defraeye vd. (2015), deniz taşımacılığında turunçgillerin ön soğutma işlemi için turunçgillerin, soğutulmuş kaplara sıcak yüklenmesi alternatifi üzerinden durmuştur. Arduino vd. (2015), dökme yük ve konteyner arasındaki ekonomik itici güçleri anlamak için soğutmalı nakliye sektörünü şekillendiren ana faktörleri araştırmıştır. Yu vd. (2015); merkezi denetim, yerel dağıtım ve genel hareketlilik özelliklerine dayanan soğuk zincir taşıma izleme sistemi tasarlanmıştır. Getahun vd. (2017), meyve ile doldurulmuş tam yüklü bir soğutmalı konteynerdeki hava akışı ve ürün soğutmasının hesaplanmasına yönelik akışkan dinamiği modeli geliştirmiştir. Shen vd. (2019), nakliye sırasında konteynerlerin riskini ve risk seviyelerini araştırmıştır. Castelein vd. (2020), konteyner sektörüne, soğutmalı konteyner ve lojistik alanındaki akademik literatüre yönelik sistematik bir inceleme yapmış ve genel bir bakış açısı sunmuştur. Ding vd.

(2023), soğuk zincir taşımacılığı yapan konteyner taşıyıcılarına yönelik, soğuk zincir güvenliğini ve performansını arttıracak risk yönetim stratejisi önermiştir.

Bu çalışma, değerlendirmeye alınan konu açısından son on yılda yapılan çalışmalardan ayrılmakta ve özgün bir değer taşımaktadır. Ayrıca, literatürde soğuk zincir deniz lojistiği için maliyet optimizasyon modelleri sınırlıdır; bu çalışmanın, literatürdeki boşluğu doldurmayı hedeflemesi, En Küçük Maliyet Yönteminin etkinliğini test etmesi ve ilgili sektör paydaşları için optimizasyon çalışmasının önemini dikkat çekmesi çalışmanın önemini vurgulamaktadır.

2. Yöntem

2.1. Araştırma Deseni

Çalışmada, soğuk zincir ürünlerinin deniz lojistik maliyetlerini minimize etmek amacıyla birbirinden bağımsız olarak Doğrusal Programlama Yöntemi ve En Küçük Maliyet Yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemlerden Doğrusal Programlama Yönteminde, modelde yer alan parametrelerin değerlerinin bilindiği ve problem çözülünceye kadar sabit kaldığı varsayılmaktadır (Timor, 2010). Bu çalışmada yer alan parametrelerin değerlerinin bilindiği ve statik (durağan) olduğu varsayımı nedeniyle Doğrusal Programlama Yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca En Küçük Maliyet Yönteminde, ulaştırma problemlerinin daha başlangıç çözüm aşamasında en düşük maliyetli hücreden başlayarak atamaların yapılması ve bu şekilde taşımacılık maliyetlerini minimize etmeyi hedeflemesinin yanı sıra bu yöntemin optimumum değere yakınlığını test etmek amacıyla bu çalışmada kullanılmıştır.

Çalışmada, Doğrusal Programlama Yöntemi ve En Küçük Maliyet Yöntemi uygulaması sonucunda elde edilen maliyet değerlerinin mevcut dönem maliyet değeriyle karşılaştırılması gerektiğinden gümrük müdürlüklerinden çıkış yapan ürün miktarları ile ülkelere gönderilen ürün miktarları için mevcut dönemdeki arz ve talep miktarları dikkate alınmıştır. Bu şekilde geliştirilen Doğrusal Programlama modelinin geçerliliği test edilmiştir. Bu çalışmanın yöntemi Şekil 1’de görüldüğü üzere yedi adımdan oluşmaktadır. Buna göre;

Birinci Adımda; çalışmaya yönelik 2023 yılına ait veriler Batı Akdeniz İhracatçılar Birliğinden temin edilmiştir.

İkinci Adımda; çalışma için gerekli olan maliyet değerlerine ulaşabilmek amacıyla gümrük müdürlükleriyle ülkeler arasındaki mesafeler “<https://www.bednblue.com.tr/sailing-distance-calculator>” web adresinden deniz mili cinsinden(dm) belirlenmiştir. Bu mesafeler sadece denizyolu mesafelerinden oluşmaktadır.

Üçüncü Adımda; gerçekçi maliyet değerlerine ulaşabilmek için Mersin-Dubai denizyolu hattındaki bir adet soğutuculu konteynerin taşıma maliyeti esas alınmıştır. Bu şekilde gümrük müdürlüklerinden ihracat ülkelerine gönderilen bir adet soğutuculu konteynerin taşıma maliyet değerleri “\$/dm” biriminden hesaplanmıştır.

Dördüncü Adımda; Doğrusal Programlama Modeli geliştirilmiştir.

Beşinci Adımda; geliştirilen Doğrusal Programlama Yöntemi, Batı Akdeniz Bölgesine uygulanarak test edilmiştir.

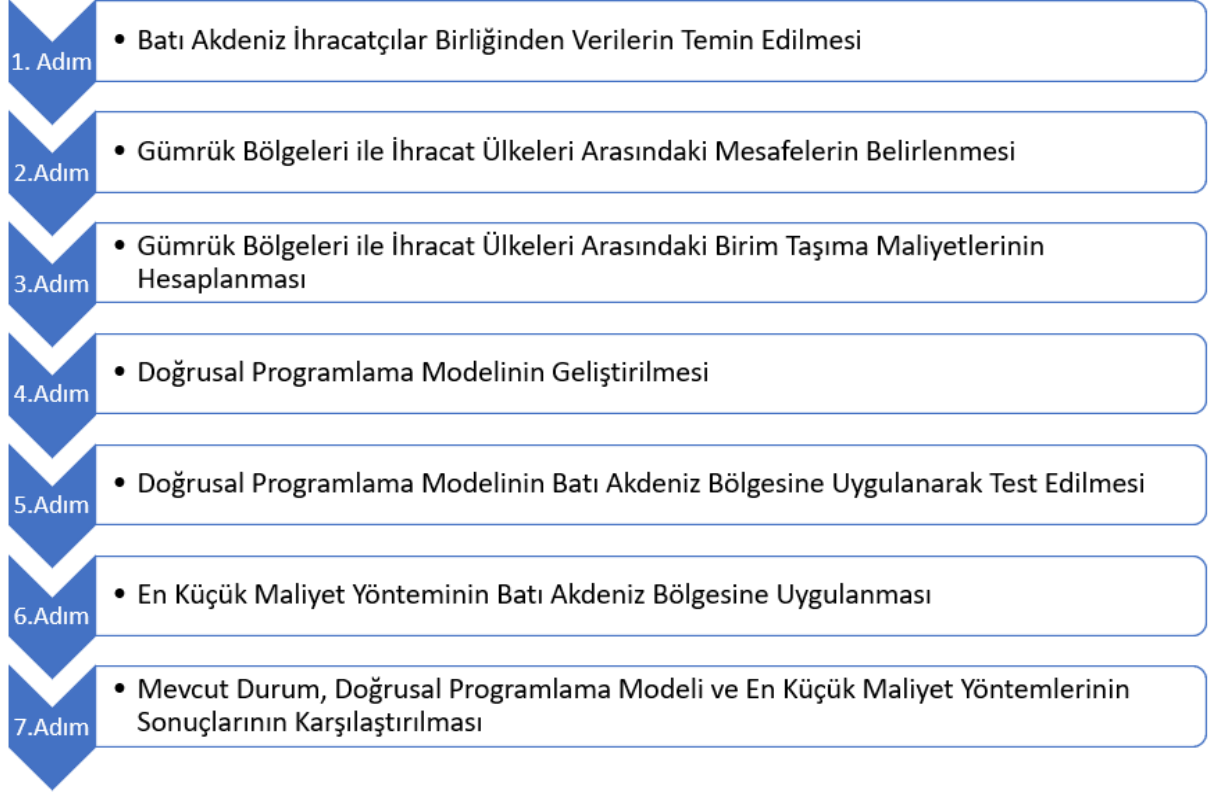
Altıncı Adımda; En Küçük Maliyet Yöntemi Batı Akdeniz Bölgesine uygulanmıştır.

Yedinci Adımda; mevcut durumdaki denizyolu taşımacılık maliyet değeri, En Küçük Maliyet Yöntemi ve Doğrusal Programlama Yöntemi sonucunda ulaşılan maliyet değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, En Küçük Maliyet Yöntemi sonucunda ulaşılan maliyet değeri, Doğrusal Programla

Yönetiminin sonucunda ulaşılan optimum maliyet değeri ile karşılaştırılarak En Küçük Maliyet Değerinin optimum çözüme yakınlığı test edilmiştir.

Şekil 1

Çalışmanın Metodolojisi



2.1.1. Doğrusal Programlama Yöntemi

Başlangıçta askeri amaçla kullanılan daha sonra endüstride yaygın olarak kullanılmaya başlayan Doğrusal Programlama “*Sınırlı kaynakların alternatif faaliyetler arasında en uygun şekilde tahsisi*” şeklinde tanımlanmaktadır (Timor, 2010, s. 39). Bu yöntem ele alınan probleme göre oluşturulan doğrusal amaç fonksiyonunun, mevcut kısıtlar altında optimize edilmesini yani en küçüklenmesini veya en büyüklenmesini sağlar. Taşımacılık, üretim, stok kontrol, pazarlama, atama problemleri, tarımsal planlama, işgücü-programlama gibi alanlarda kullanılan Doğrusal Programlama aşağıdaki temel varsayımlara dayanmaktadır (Timor, 2010). Bu varsayımlar;

Kesinlik İlkesi: Modele ait parametrelerin tümünün bilindiğini ve problem çözülünceye kadar sabit kaldığı varsayımdır.

Toplam İlkesi: Değişkenlerin birbirine etkisinin olmadığı varsayımdır.

Bölünebilirlik İlkesi: Doğrusal Programlama ile ele alınan çoğu problemin sonucunun anlamlı olabilmesi için değerlerinin tamsayı olması gerekmektedir. Örneğin, konteyner sayısının belirlenmesine yönelik ele alınan bir çalışmada çıkan sonuç “3,2” gibi küsurlu olabilir. Bu ifade 3 tam dolu ve az dolu konteyneri ifade edebilmektedir. Ancak sonucun anlamlı olabilmesi için bu sayı optimal çözüme ulaştıktan sonra tam sayıya dönüştürülmelidir.

Doğrusallık/Sabit Orantılı Değişme İlkesi: Modeldeki fonksiyonların doğrusal olduğu varsayımdır. Örneğin; 1 adet konteyner taşıma maliyeti \$3000 dolar ise, 5 adet konteynerin taşıma maliyeti \$15.000’dir.

Pozitiflik İlkesi: Doğrusal Programlama problemlerinde karar değişkenlerinin negatif değer alamayacağını ifade eden varsayımdır. Örneğin; konteyner sayısının belirlenmesine yönelik hazırlanan bir çalışmada konteyner sayısı sıfır ya da sıfırdan büyük (konteyner Sayısı ≥ 0) bir değer alır.

Doğrusal Programlamanın temel formül yapısı Formül 1, Formül 2 ve Formül 3'ten oluşmaktadır (Timor, 2010).

$$\text{Amaç Fonksiyonu} : Z_{Max} \text{ veya } Z_{Min} = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (1)$$

$$\text{Kısıtlar} : \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (2)$$

$$\text{Pozitiflik Kısıtı} : (x_j \geq 0, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m; \quad j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

2.1.2. En Küçük Maliyet Yöntemi

Kaynaklardan/arz noktalarından hedeflere/talep noktalarına minimum maliyetle taşınması problemi olan ulaştırma problemleri, her arz noktasından her talep noktasına ürün gönderilebileceği varsayılmaktadır (Timor, 2010). En Küçük Maliyet Yöntemi, Kuzeybatı Köşe Yöntemi, Vogel Yaklaşım Yöntemi (VAM), Sıra veya Satır En Küçüğü yöntemi ulaştırma problemlerinin başlangıç çözümlerini oluşturmaktadır (Arman vd., 2021, s. 16). Soğuk zincir ürünlerinin deniz taşımacılık maliyetlerini minimize etmeyi amaçlayan bu çalışmada, En Küçük Maliyet Yöntemi kullanılmıştır.

En Küçük Maliyet Yönteminde ilk olarak en düşük maliyetli hücre belirlenir. Bu hücreye arz ve talep miktarları dikkate alınarak en yüksek değer atanır. Daha sonra ikinci seviyede en düşük maliyetli hücreye, arz ve talep miktarları gözetilerek, en yüksek değer atanır. Bu süreç atama işlemi tamamlanıncaya kadar devam eder. Atama işlemi tamamlandıktan sonra hücrelere atanan değerler ile atanan değerlerin bulunduğu hücrelerin maliyet değeri çarpılır ve çarpma işleminin ardından ulaşılan tüm değerler toplanır. Bu şekilde En Küçük Maliyet Yöntemine göre ulaştırma probleminin başlangıç çözümüne ulaşılır.

2.2. Veri Toplama Aracı ve Süreci

Çalışmada Batı Akdeniz Bölgesinden ihraç edilen ürün gruplarına ait 2023 yılı verileri kullanılmıştır. Hangi gümrük çıkış noktasından hangi ülkeye hangi taşımacılık türüyle gönderildiğine dair veriler, 08.01.2025 tarihinde Batı Akdeniz İhracatçılar Birliğinden (BAİB) temin edilmiştir. Söz konusu veriler “arge@baib.gov.tr” mail adresi aracılığıyla ilgili kurumdan talep edilmiştir.

2.3. Araştırma Etiği

Bu çalışmada “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamındaki kurallar gözetilmiştir. Çalışmada, herkese açık iletişim ağlarından temin edilen veriler kullanılmıştır. Bu yüzden etik kurul onayına ihtiyaç duyulmamıştır.

3. Bulgular

3.1. Batı Akdeniz Bölgesi Uygulamasına Yönelik Ön Hazırlık

Bu bölümde En Küçük Maliyet Yönteminin ve Doğrusal Programın uygulamasına yönelik gerekli bilgiler düzenlemiştir. Düzenleme sürecinde Excel uyulmasından yararlanıldığı için tablolardaki arz toplam değerleri farklılık gösterebilmektedir. Buna göre Tablo 1’de Batı Akdeniz Bölgesindeki yaş meyve-sebze ürününün hangi gümrük bölgesinden hangi ülkeye ne miktarda (kilogram bazında)

gönderildiğine dair sayısal veriler yer almaktadır. Örneğin; Rusya Federasyonu'na gönderilen 6.658.275 kilogram yaş meyve-sebze ürünü Samsun Gümrük Müdürlüğünden gönderilmiştir.

Tablo 1

Gümrüklerden Ülkelere Gönderilen Kilogram Bazlı Ürün Miktarları

Gümrük (GM)	Müdürlükleri	Ülkeler					Arz (Kg)
		Hindistan (Kg)	Rusya Federasyonu (Kg)	KKTC (Kg)	İsrail (Kg)	Suudi Arabistan (Kg)	
Samsun GM		0	6.658.275	0	0	0	6.658.275
Aliağa GM		30.241.357	0	0	20.880	349.845	30.612.082
Mersin GM		9.507.995	1.520.258	21.962	1.114.245	544.910	12.709.370
İskenderun GM		12.226.386	0	0	336.380	43.230	12.605.996
Taşucu GM		0	0	1.807.378	0	0	1.807.378
Antalya GM		0	0	0	12.480	0	12.480
Talep (Kilogram)		51.975.738	8.178.533	1.829.340	1.483.985	937.985	64.405.581

Kaynak: (Batı Akdeniz İhracatçılar Birliği, arge@baib.gov.tr, 08.01.2025).

Çalışmada; büyük sayısal değerleri daha sade hale getirmek amacıyla Tablo 1'deki sayısal değerler 20.800 değerine bölünerek gümrük müdürlüklerinden ihracat ülkelerine gönderilen ürün miktarları, 20'lik soğutuculu konteyner olacak şekilde Tablo 2'deki gibi düzenlenmiştir. Zira bir soğutuculu konteynerin yük taşıma kapasitesi 20.800 kilogramdır (Konteyner Ölçüleri, trs.). Örneğin; Tablo 1'de Mersin Gümrük Müdürlüğünden Hindistan'a 9.507.995 kilogram yaş meyve-sebze ürünü gönderilmiştir. Bu sayısal değer bir adet soğutuculu konteynerin yük taşıma kapasitesine bölünmesi sonucunda Tablo 2'deki Mersin Gümrük Müdürlüğünden Hindistan'a gönderilen 20'lik soğutuculu konteyner sayısına ulaşılır ($9.507.995/20.800= 457$).

Tablo 2

Mevcut Durumda Çıkış Gümrüklerinden İhracat Ülkelerine Gönderilen 20'lik Soğutuculu Konteyner Sayısı

Gümrük Müdürlükleri (GM)	Ülkeler					Arz (Konteyner)
	Hindistan	Rusya Federasyonu	KKTC	İsrail	Suudi Arabistan	
Samsun Gümrük Müdürlüğü	0	320	0	0	0	320
Aliağa Gümrük Müdürlüğü	1.454	0	0	1	17	1.472
Mersin Gümrük Müdürlüğü	457	73	1	54	26	611
İskenderun Gümrük Müdürlüğü	588	0	0	16	2	606
Taşucu Gümrük Müdürlüğü	0	0	87	0	0	87
Antalya Gümrük Müdürlüğü	0	0	0	1	0	1
Talep (Konteyner)	2.499	393	88	71	45	3096

Gümrük müdürlükleri ile ülkeler arasındaki denizyolu mesafeleri deniz mili (dm) cinsinden Tablo 3'te yer almaktadır. Örneğin; Aliağa Gümrük Müdürlüğü ile Hindistan arasındaki mesafe 1.454 deniz milidir. Söz konusu tablo gümrük müdürlükleri ile ülkeler arasında bir adet 20'lik soğutuculu konteynerin denizyolu taşıma maliyetini hesaplamak için hazırlanmıştır.

Tablo 3*Çıkış Gümrükleri ile İhracat Ülkeleri Arasındaki Denizyolu Mesafesi (Deniz Mili- Dm)*

Gümrük Müdürlükleri (GM)	Ülkeler					Arz (Konteyner)
	Hindistan (Dm)	Rusya Federasyonu (Dm)	KKTC (Dm)	İsrail (Dm)	Suudi Arabistan (Dm)	
Samsun Gümrük Müdürlüğü	4.184	216	1.250	1.224	1.909	320
Aliğa Gümrük Müdürlüğü	3.685	716	675	636	1.880	1.472
Mersin Gümrük Müdürlüğü	3.419	1.302	199	241	1.144	611
İskenderun Gümrük Müdürlüğü	3.443	1.351	145	246	1.149	606
Taşucu Gümrük Müdürlüğü	3.417	1.186	111	232	1.088	87
Antalya Gümrük Müdürlüğü	3.397	1.098	291	329	1.068	1
Talep (Konteyner)	2.499	393	88	71	45	3096

Kaynak: (Yelken Mesafe Hesaplayıcı, trs.)

Tablo 4'teki denizyolu ulaşım maliyetleri Mersin-Dubai hattındaki bir adet soğutuculu konteynerin taşıma maliyeti esas alınarak hesaplanmıştır. Mersin-Dubai hattında bir adet konteynerin taşınma maliyeti \$2.400 dolar olup, konteynerin soğutuculu olması durumunda \$1000 ilave ücret uygulanmaktadır (Dubai Konteyner Fiyatları, trs.). Mersin-Dubai arasında denizyolu mesafesi ise yaklaşık 3.431 deniz milidir. Bu verilerden yola çıkarak birim deniz milde 20'lik bir soğutuculu konteyner taşıma maliyeti (\$3500/3.431 Dm) \$1,02/Dm olarak hesaplanmaktadır. Ulaşılan bu değer Tablo 3'teki sayısal verilerle çarpıldığında, Tablo 4'teki çıkış gümrük noktaları ile ihracat ülkeleri arasında bir adet 20'lik soğutuculu konteynerin taşınma maliyetine ulaşılmaktadır. Örneğin; Tablo 3'te Samsun Gümrük Müdürlüğü ile Hindistan arasındaki denizyolu mesafesi 4.184 deniz milidir. Bu değer birim maliyet ile çarpılması sonucu Tablo 4'teki Samsun Gümrük Müdürlüğü ile Hindistan arasındaki bir adet soğutuculu konteynerin taşınma maliyeti olan \$ 4.268 değerine ulaşılmaktadır (4.184 dm x 1,02 \$/dm = \$4.268).

Tablo 4*Çıkış Gümrük Müdürlükleri ile İhracat Ülkeleri Arasında 1 Adet 20'lik Refet Konteynerin Taşınma Maliyeti (\$)*

Gümrük Müdürlükleri (GM)	Ülkeler					Arz (Konteyner)
	Hindistan	Rusya Federasyonu	KKTC	İsrail	Suudi Arabistan	
Samsun Gümrük Müdürlüğü	4.268	220	1.275	1.248	1.947	320
Aliğa Gümrük Müdürlüğü	3.759	730	689	648	1.917	1.472
Mersin Gümrük Müdürlüğü	3.487	1.328	203	246	1.167	611
İskenderun Gümrük Müdürlüğü	3.512	1.378	147	251	1.172	606
Taşucu Gümrük Müdürlüğü	3.485	1.210	113	237	1.109	87
Antalya Gümrük Müdürlüğü	3.465	1.120	297	336	1.090	1
Talep (Konteyner)	2.499	393	88	71	45	3096

3.2. Soğuk Zincir Ürünlerinin Deniz Lojistik Maliyelerine Yönelik Geliştirilen Doğrusal Programlama Modeli

Bu bölümde soğuk zincir ürünlerinin denizyolu taşımacılık maliyelerinin optimize edilmesine yönelik Doğrusal Programlama modeli geliştirilmiştir. Model; Formül 4, Formül 5, Formül 6, Formül 7 ve Formül 8’de oluşmaktadır. Buna göre; Formül 4 amaç fonksiyonunu, Formül 5 karar değişkenini ve Formül 6, Formül 7, Formül 8 ise modelin kısıtlarını ifade etmektedir.

Notasyonlar

i	:	[1,2,3, ..., m] Soğuk Zincir Ürünlerinin Çıkış Yaptığı Gümrük Müdürlükleri
j	:	[1,2,3, ..., n] Soğuk Zincir Ürünlerinin Gönderildiği Ülkeler
x_{ij}	:	“i” gümrük müdürlüğünden “j” ülkesinde gönderilen 20’lik soğutuculu konteyner sayısı
c_{ij}	:	“i” gümrük müdürlüğünden “j” ülkesine gönderilen bir adet 20’lik konteyner maliyeti
t_j	:	“j” ülkesinin talep miktarı
a_i	:	“i” gümrük müdürlüğünün arz miktarı

$$\text{Amaç Fonksiyonu} : Z_{Min} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} c_{ij} \quad (4)$$

$$\text{Karar Değişkeni} : x_{ij} \quad (5)$$

$$\text{Kısıtlar} ;$$

$$\text{Talep Kısıtı} : \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \geq t_j \quad (6)$$

$$\text{Arz Kısıtı} : \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i \quad (7)$$

$$\text{Pozitiflik Kısıtı} : (x_{ij} \geq 0, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m; \quad j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (8)$$

3.3. Geliştirilen Doğrusal Programlama Modelinin Excel Çözücü (Solver) Uygulaması

Çalışmanın bu bölümünde soğuk zincir ürünlerinin denizyolu taşımacılık maliyetlerini optimize etmek amacıyla çalışmanın 3.2.’i bölümünde geliştirilen Doğrusal Programlama modeli uygulanmıştır. Uygulamada Batı Akdeniz Bölgesinden denizyoluyla ihraç edilen yaş meyve-sebze ürünü ele alınmıştır. Ayrıca; Samsun, Aliağa, Mersin, İskenderun, Taşucu, Antalya Gümrük Müdürlüklerinden denizyolu ile Hindistan, Rusya Federasyonu, KKTC, İsrail ve Suudi Arabistan ülkelerine gönderilen yaş meyve-sebze ürünü ile bu ürüne ait gönderi miktarları değerlendirmeye alınmıştır.

Tablo 5'teki " x_{ij} " değerleri Doğrusal Programın Solver çözümü sonucunda ulaşılan sayısal değerlerdir (Bkz. Formül 5). Bu " x_{ij} " değerlerinin Tablo 4'teki " c_{ij} " değerleriyle çarpılması sonucunda Tablo 5'teki " Z_{min} " değerine ulaşılmıştır. Ulaşılan bu değer optimum çözüm sonucunda ulaşılan minimum maliyet değeridir. Yine Tablo 5'teki mevcut durum maliyet değerine ulaşabilmek için Tablo 2'deki " x_{ij} " değerleri, Tablo 4'teki " c_{ij} " değerleri ile çarpılmıştır. Ayrıca Tablo 5'teki mevcut durum maliyet değerine (\$9.384.252) ve Doğrusal Programlama sonucu olan (Z_{min}) değerine (\$9.309.166) ulaşabilmek için Excel'de Formül 9 uygulanmıştır.

$$=TOPLA.ÇARPIM(dizi1; [dizi2]; [dizi3]; ...) \quad (9)$$

Tablo 5

Doğrusal Program Modelinin Batı Akdeniz Bölgesi Uygulamasına Yönelik Excel Solver Çözümü

Gümrükler Müdürlükleri (GM)	Ülkeler					Arz Miktarı	Arz Kısıt İşareti	Arz Kısıt Miktarı
	Hindistan	Rusya Federasyonu	KKTC	İsrail	Suudi Arabistan			
Samsun GM	0	320	0	0	0	320	≤	320
Aliağa GM	1399	73	0	0	0	1472	≤	1472
Mersin GM	611	0	0	0	0	611	≤	611
İskenderun GM	489	0	46	71	0	606	≤	606
Taşucu GM	0	0	42	0	44	87	≤	87
Antalya GM	0	0	0	0	1	1	≤	1
Talep Miktarı	2499	393	88	71	45	3096		
Talep Kısıtı İşareti	≥	≥	≥	≥	≥			
Talep Kısıt Miktarı	2499	393	88	71	45			
Zmin (Doğrusal Programlama Sonucu)								\$9.309.166
Mevcut Durum Maliyeti								\$9.384.252

Tablo 5'teki optimum çözümde yer alan karar değişkenlerin optimum çözümde kalabilmesi için modeldeki parametrelerin hangi aralıklarda değer alması gerektiğini tespit edebilmek için Tablo 6'daki ve Tablo 7'deki duyarlılık analizleri yapılmıştır. Modeldeki karar değişkenlerine yönelik yapılan Tablo 6'daki duyarlılık analizinde; hedef katsayıların, "izin verilen artış" ve "izin verilen azalış" miktarı kadar artması/azalması durumunda karar değişkenlerinin miktarında değişme olsa da optimum çözümde kalmaya devam edecektir. Ancak hedef katsayılarının izin verilen artış/azalış miktarlarının dışına arttırılması/azaltılması durumunda ilgili karar değişkeni optimum çözümde yer almayacaktır. Örneğin, Aliağa GM'den Hindistan'a gerçekleştirilen gönderimin hedef katsayısı 3758,7'dir. Bu hedef katsayısının izin verilen artış miktarı (150,645) kadar arttırılması (3758,8 + 150,654=3909,454) durumunda söz konusu karar değişkeni optimum çözümde yer alacaktır. Fakat izin verilen artış miktarının dışında arttırılması durumunda (150,645 + 0,001=150,656) söz konusu karar değişkeni optimum çözümde yer alamayacaktır.

Tablo 6

Doğrusal Programlama Modeli Değişken Hücreleri İçin Duyarlılık Analizi

Değişken Hücreleri						
Hücre	Ad	Son Değer	Azaltılmış Maliyet	Hedef Katsayı	İzin Verilen Artış	İzin Verilen Azalış
\$C\$71	Samsun GM Hindistan	0	1018,98	4267,68	1E+30	1018,98
\$D\$71	Samsun GM Rusya Federasyonu	320,109351	0	220,32	510	1E+30

\$E\$71	Samsun GM KKTC	0	1391,076	1275,306	1E+30	1391,076
\$F\$71	Samsun GM İsrail	0	1260,822	1248,48	1E+30	1260,822
\$G\$71	Samsun GM Suudi Arabistan	0	1067,022	1947,18	1E+30	1067,022
\$C\$72	Aliağa GM Hindistan	1398,645385	0	3758,7	150,654	246,84
\$D\$72	Aliağa GM Rusya Federasyonu	73,08932692	0	730,32	690,234	510
\$E\$72	Aliağa GM KKTC	0	294,678	688,908	1E+30	294,678
\$F\$72	Aliağa GM İsrail	0	150,654	648,312	1E+30	150,654
\$G\$72	Aliağa GM Suudi Arabistan	0	527,136	1917,294	1E+30	527,136
\$C\$73	Mersin GM Hindistan	611,0274038	0	3487,38	19,89	1E+30
\$D\$73	Mersin GM Rusya Federasyonu	0	869,04	1328,04	1E+30	869,04
\$E\$73	Mersin GM KKTC	0	80,07	202,98	1E+30	80,07
\$F\$73	Mersin GM İsrail	0	19,89	246,228	1E+30	19,89
\$G\$73	Mersin GM Suudi Arabistan	0	48,042	1166,88	1E+30	48,042
\$C\$74	İskenderun GM Hindistan	489,1607692	0	3511,86	6,63	19,89
\$D\$74	İskenderun GM Rusya Federasyonu	0	894,54	1378,02	1E+30	894,54
\$E\$74	İskenderun GM KKTC	45,55129808	0	147,39	28,764	6,63
\$F\$74	İskenderun GM İsrail	71,34543269	0	250,818	19,788	497,658
\$G\$74	İskenderun GM Suudi Arabistan	0	28,764	1172,082	1E+30	28,764
\$C\$75	Taşucu GM Hindistan	0	7,548	3485,34	1E+30	7,548
\$D\$75	Taşucu GM Rusya Federasyonu	0	760,308	1209,72	1E+30	760,308
\$E\$75	Taşucu GM KKTC	42,39774038	0	113,322	6,63	28,764
\$F\$75	Taşucu GM İsrail	0	19,788	236,538	1E+30	19,788
\$G\$75	Taşucu GM Suudi Arabistan	44,49543269	0	1109,25	28,764	6,63
\$C\$76	Antalya GM Hindistan	0	6,63	3464,736	1E+30	6,63
\$D\$76	Antalya GM Rusya Federasyonu	0	690,234	1119,96	1E+30	690,234
\$E\$76	Antalya GM KKTC	0	203,286	296,922	1E+30	203,286
\$F\$76	Antalya GM İsrail	0	138,516	335,58	1E+30	138,516
\$G\$76	Antalya GM Suudi Arabistan	0,6	0	1089,564	6,63	1E+30

Tablo 7'deki “son değer” ve “kısıtlama sağ taraf” sütunlarına bakıldığında söz konusu sütunlardaki değerlerin eşit olduğu ve tüm ülkelerin taleplerinin karşılandığı görülmektedir. Söz konusu tablodaki “gölge ücreti” değeri, diğer değişkenlerin sabit kalması koşuluyla, ilgili kaynağın bir birim daha artması durumunda amaç fonksiyonu değerinin ne kadar etkileneceğini göstermektedir (Timor, 2010). Örneğin; “Samsun GM Arz” ifadesinin “320,109351” olan sağ taraf değerinin bir birim daha arttırılması durumunda ($320,109351 + 1 = 321,109351$) amaç fonksiyonunun değeri “-510” değerinde değişim gösterecektir.

Tablo 7

Doğrusal Programlama Modeli Kısıtlar İçin Duyarlılık Analizi

Kısıtlamalar						
Hücre	Ad	Son Değer	Gölge Ücret	Kısıtlama Sağ Taraf	İzini Verilen Artış	İzin Verilen Azalış
\$C\$79	≥	2498,833558	3758,7	2498,833558	0	1398,645385
\$D\$79	≥	393,1986779	730,32	393,1986779	0	73,08932692
\$E\$79	≥	87,94903846	394,23	87,94903846	0	45,55129808
\$F\$79	≥	71,34543269	497,658	71,34543269	0	71,34543269
\$G\$79	≥	45,09543269	1390,158	45,09543269	0	44,49543269
\$H\$71	Samsun GM Arz	320,109351	-510	320,109351	73,08932692	0

\$H\$72	Aliğa GM Arz	1471,734712	0	1471,734712	1E+30	-2,49545E-12
\$H\$73	Mersin GM	611,0274038	-271,32	611,0274038	1398,645385	0
\$H\$74	İskenderun GM Arz	606,0575	-246,84	606,0575	1398,645385	0
\$H\$75	Taşucu GM Arz	86,89317308	-280,908	86,89317308	45,55129808	0
\$H\$76	Antalya GM Arz	0,6	-300,594	0,6	44,49543269	0

3.4. En Küçük Maliyet Yönteminin Batı Akdeniz Bölgesine Uygulanması

Çalışmanın bu bölümünde Tablo 4'ten yararlanarak En Küçük Maliyet Yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemin uygulanmasında en düşük maliyetli hücreyi bulmak için Excel'de Formül 10 uygulanmıştır. Atama yapılan hücrelerin Excel tarafından tekrar en düşük maliyetli hücre olarak algılanmaması ve devre dışı bırakılması için Tablo 4'te atama yapılan ve arz-talep dengesi kurulan satır ve sütundaki her bir hücreye yüksek değer (Örneğin;10.000) girilmiştir. Atama sürecinin tamamlanmasını ardından Tablo 8'deki değerlere ulaşılmıştır. Tablo 8'e göre En Küçük Maliyetli Yöntemin uygulanması sonucunda ulaşılan maliyet değeri \$9.312.723'tür. Bu değere ulaşırken; mevcut durum maliyeti ile En Küçük Maliyet Yöntemi sonucunda ulaşılan maliyet değerinin karşılaştırılabilmesi için mevcut durumdaki arz ve talep miktarları dikkate alınmıştır.

$$=MIN(\text{sayı1}; [\text{sayı2}]; \dots) \quad (10)$$

Tablo 8

En Küçük Maliyet Yöntemi Uygulanması

Gümrük Müdürlükleri (GM)	Ülkeler					Arz (Konteyner)
	Hindistan (Kg)	Rusya Federasyonu (Kg)	KKTC (Kg)	İsrail (Kg)	Suudi Arabistan (Kg)	
Samsun Gümrük Müdürlüğü	0	320	0	0	0	320
Aliğa Gümrük Müdürlüğü	1399	73	0	0	0	1472
Mersin Gümrük Müdürlüğü	495	0	0	71	44	611
İskenderun Gümrük Müdürlüğü	605	0	1	0	0	606
Taşucu Gümrük Müdürlüğü	0	0	87	0	0	87
Antalya Gümrük Müdürlüğü	0	0	0	0	1	1
Talep (Konteyner)						3096
En Küçük Maliyet Yöntemi Sonucu						\$9.312.723

3.5. Mevcut durum, En Küçük Maliyet Yöntemi ve Doğrusal Programlama Yöntemi Sonuçlarının Karşılaştırılması

Mevcut durumun, En Küçük Maliyet Yöntemi ve Doğrusal Programlama Yöntemi sonuçlarına göre karşılaştırılması Tablo 9'da yer almaktadır. Tablo 9'a göre;

- Samsun Gümrük Müdürlüğü için mevcut durum devam etmelidir.
- Aliğa Gümrük Müdürlüğünden Hindistan'a çıkış yapan soğutuculu konteyner sayısı 1.399'a düşürülmeli, Rusya Federasyonu'na ise 73 adet gönderilmelidir. Bu gümrük noktasında İsrail ve Suudi Arabistan'a konteyner gönderimi yapılmamalıdır.
- Mersin Gümrük müdürlüğünden çıkış yapan 611 adet konteynerin tamamının Doğrusal Programlama Yöntemine göre Hindistan'a gönderilmesi gerekmektedir. En Küçük Maliyet Yönteminde ise; 495 adet Hindistan'a, 71 adet İsrail'e ve 44 adet Suudi Arabistan'a gönderilmelidir.
- İskenderun Gümrük Müdürlüğünden çıkış yapana 606 adet konteynerin; En Küçük Maliyet Yöntemine göre 605 adeti Hindistan'a, 1 adeti KKTC'ye gönderilmelidir. Doğrusal

Programlamaya göre ise; 489 adeti Hindistan'a, 46 adeti KKTC'ye ve 71 adeti de İsrail'e gönderilmelidir.

- Taşucu Gümrük Müdürlüğünden gönderilen KKTC'ye gönderilen 87 adet konteynerin; En Küçük Maliyet Yöntemine göre KKTC'ye gönderimi devam etmelidir. Doğrusal Programlama Yöntemine göre ise 42 adeti KKTC'ye ve 44 adeti Suudi Arabistan'a gönderilmelidir.
- Antalya Gümrük Müdürlüğünden İsrail'e gönderilen 1 adet konteynerin, En Küçük Maliyet Yöntemine ve Doğrusal Programlama Yöntemine göre İsrail'e değil Suudi Arabistan'a gönderilmesi gerekmektedir.
- Mevcut duruma göre denizyolu taşımacılık maliyetini; En Küçük Maliyet Yöntemi \$71.530, Doğrusal Programlama Yöntemi ise \$75.085 daha düşürmektedir.
- Doğrusal Programlama Yöntemi, En Küçük Maliyet Yöntemine göre denizyolu taşımacılık maliyetini \$3.577 daha düşürmektedir.

Tablo 9

Mevcut durum, En Küçük Maliyet Yöntemi ve Doğrusal Programlama Yöntemi Sonuçlarının Karşılaştırılması

Samsun Gümrük Müdürlüğü İçin Karşılaştırma						
Değerlendirme Yöntemi	Ülkeler					
	Hindistan	Rusya Federasyonu	KKTC	İsrail	Suudi Arabistan	Arz (Konteyner)
Mevcut Durum	0	320	0	0	0	320
En Küçük Maliyet Yöntemi	0	320	0	0	0	320
Doğrusal Programlama	0	320	0	0	0	320
Aliağa Gümrük Müdürlüğü İçin Karşılaştırma						
Değerlendirme Yöntemi	Ülkeler					
	Hindistan	Rusya Federasyonu	KKTC	İsrail	Suudi Arabistan	Arz (Konteyner)
Mevcut Durum	1.454	0	0	1	17	1.472
En Küçük Maliyet Yöntemi	1399	73	0	0	0	1.472
Doğrusal Programlama	1399	73	0	0	0	1.472
Mersin Gümrük Müdürlüğü İçin Karşılaştırma						
Değerlendirme Yöntemi	Ülkeler					
	Hindistan	Rusya Federasyonu	KKTC	İsrail	Suudi Arabistan	Arz (Konteyner)
Mevcut Durum	457	73	1	54	26	611
En Küçük Maliyet Yöntemi	495	0	0	71	44	611
Doğrusal Programlama	611	0	0	0	0	611
İskenderun Gümrük Müdürlüğü İçin Karşılaştırma						
Değerlendirme Yöntemi	Ülkeler					
	Hindistan	Rusya Federasyonu	KKTC	İsrail	Suudi Arabistan	Arz (Konteyner)
Mevcut Durum	588	0	0	16	2	606
En Küçük Maliyet Yöntemi	605	0	1	0	0	606
Doğrusal Programlama	489	0	46	71	0	606
Taşucu Gümrük Müdürlüğü İçin Karşılaştırma						
Değerlendirme Yöntemi	Ülkeler					
	Hindistan	Rusya Federasyonu	KKTC	İsrail	Suudi Arabistan	Arz (Konteyner)

Mevcut Durum	0	0	87	0	0	87
En Küçük Maliyet Yöntemi	0	0	87	0	0	87
Doğrusal Programlama	0	0	42	0	44	87

Antalya Gümrük Müdürlüğü İçin Karşılaştırma

Değerlendirme Yöntemi	Ülkeler					Arz (Konteyner)
	Hindistan	Rusya Federasyonu	KKTC	İsrail	Suudi Arabistan	
Mevcut Durum	0	0	0	1	0	1
En Küçük Maliyet Yöntemi	0	0	0	0	1	1
Doğrusal Programlama	0	0	0	0	1	1

Maliyet Karşılaştırması

Maliyet Türleri	Maliyet Değerleri (\$)
Mevcut Durum	\$9.384.252
En Küçük Maliyet Yöntemi	\$9.312.723
Doğrusal Programlama	\$9.309.166
Mevcut Durum-En Küçük Maliyet Yöntemi	\$71.530
Mevcut Durum – Doğrusal Programlama	\$75.086
Doğrusal Programlama – En Küçük Maliyet Yöntem	\$3.557

4. Sonuç, Tartışma ve Öneriler

İki amaca odaklanan bu çalışmanın ilk amacı, soğuk zincir ürünlerinin denizyolu taşımacılık faaliyetini optimize ederek, deniz taşımacılık maliyetlerini minimize etmektir. İkinci amacı ise En Küçük Maliyet Yönteminin optimum çözüme olan yakınlığını test etmektir. Çalışmanın birinci amacı için optimum çözüme erişerek minimum maliyet değerine ulaşmak için Doğrusal Programlama Modeli geliştirilmiştir. Yine çalışmanın birinci amacı için yöneylem araştırmalarının ulaştırma probleminde maliyetleri minimize etmeyi amaçlayan ve ulaştırma problemlerinin başlangıç çözümünü oluşturan En Küçük Maliyet Yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmada ilk olarak; geliştirilen Doğrusal Programlama modeli, mevcut durumdaki arz-talep miktarları gözetilerek, aşağıdaki sınırlılıklar çerçevesinde Batı Akdeniz Bölgesine uygulanarak test edilmiştir. Buna göre Batı Akdeniz Bölgesi uygulamasında;

- Tek bir yıla ait verilerin kullanılması,
- Talep dalgalanmalarının (pandemi, mevsimsellik) dikkate alınmaması,
- Taşımacılık türü olarak denizyolu (deniz aracında motorlu karayolu taşıtı ve deniz aracında römork veya yarı römork hariç) taşımacılığı,
- Soğuk zincir ürünü olarak yaş meyve-sebze ürünü,
- Batı Akdeniz Bölgesinden ihraç edilen yaş meyve-sebze ürün miktarının en fazla gönderildiği ilk beş ülke olan; Hindistan, Rusya Federasyonu, KKTC, İsrail ve Suudi Arabistan ülkeleri,
- Batı Akdeniz Bölgesinden ihraç edilen yaş meyve-sebze ürünlerinin çıkış yaptığı; Samsun, Aliağa, Mersin, İskenderun, Taşucu ve Antalya Gümrük Müdürlükleri,
- Firmaların, soğutuculu bir konteynerin denizyolu taşıma maliyetine yönelik bilgileri paylaşmak istememesi sonucu, gerçeğe uygun maliyet değerlerine ulaşabilmek için Mersin-Dubai arasındaki bir adet soğutuculu konteynerin denizyolu taşıma maliyeti esas alınarak gümrük çıkış noktaları ile ülkeler arasındaki bir adet soğutuculu konteynerin gönderileme maliyetlerinin hesaplaması gibi sınırlılıkları mevcuttur.

Çalışmada ikinci olarak, mevcut durumdaki arz ve talep miktarları dikkate alınarak, En Küçük Maliyet Yöntemi Batı Akdeniz Bölgesine uygulanmıştır. Sonuç olarak; her iki yöntem sonucunda ulaşılan maliyet değerlerinin, mevcut maliyet değerinin altında olduğu görülmüştür (Bkz. Tablo 9). En Küçük Maliyet Yöntemi sonucunda ulaşılan değerin, mevcut durum maliyet değerinin altında olmasına rağmen Doğrusal Programlama yöntemi sonucunda ulaşılan değere eşit olmadığı görülmüştür. Bu nedenle En Küçük Maliyet Yöntemi sonucunda ulaşılan değer uygun çözümdür. Nitekim optimizasyon çalışmalarında tüm kısıtları sağlayan çözüm “uygun çözüm”, uygun çözümler içindeki en iyi çözüm ise “optimum çözüm” olarak ifade edilmektedir (Timor, 2010). Sonuç olarak ulaştırma problemlerinin başlangıç çözümünde en düşük maliyetli hücreden başlayan ve bu şekilde devam eden en düşük maliyet yöntemindeki atamaların gözden geçirilerek daha iyi bir sonuca ulaşılabileceği görülmektedir.

Antalya ili Batı Akdeniz Bölgesinin denizle bağlantısını sağlayan tek ildir. Ancak Antalya ilindeki limanın, yaş meyve ve sebze ürün grubunun deniz taşımacılığıyla gönderilmesinde çok fazla tercih edilmediği görülmektedir. Bunun nedenleri ise aşağıdaki gibi sıralanabilir. Bu nedenler (Demirdal, 2021);

- Antalya ilinin turizm kendi olarak görülmesi ve tarım sektörüne gereken önemin verilmemesi,
- Antalya limanının fiziki ve teknik altyapısının yeterli olmaması,
- Liman tarifelerinin yüksek olması ve çalıştığı hat sayısının az olmasıdır.

Batı Akdeniz Bölgesinden denizlerden yararlanarak gönderilen yaş meyve ve sebze ürün grubunun %60'ı sadece denizyolu taşımacılığıyla gönderilirken, geri kalan %40'ı da Ro-Ro taşımacılığıyla gönderilmekte ancak %40'lık dilimde gönderilen ürünlerin hiçbiri Antalya Limanından çıkış yapmamaktadır (Batı Akdeniz İhracatçılar Birliği, arge@baib.gov.tr, 08.01.2025). Bu durum Antalya limanının yaş meyve ve sebze taşımacılığı için etkin bir şekilde Ro-Ro taşımacılık hizmeti sunmadığını göstermektedir (Q Terminals Antalya, 2022).

Taşımacılık türleri arasında en düşük maliyetli taşımacılık modu olan deniz taşımacılığı, dünya ticaretinde %90 oranında tercih edilmektedir (Takım ve Ersungur, 2015; Oğuz, 2024). Bu nedenle bölgedeki yaş meyve ve sebze ihracatıyla ilgili olan sektör paydaşlarının deniz taşımacılığına yönelik mevcut durumu gözden geçirmesi ve gerekli düzenlemeleri yaparak bölgedeki deniz taşımacılığının daha etkin bir şekilde kullanılabilmesi için teşvik edici tedbirleri alması gerekmektedir. Bu şekilde, taşımacılık faaliyetlerinden kaynaklanan maliyetler düşürülebilecek ve son ürünler daha uygun fiyatlardan müşterilere sunulabilecektir. Böylelikle ürünlerin tercih edilebilirliğinin yanında Batı Akdeniz Bölgesi'nin dolayısıyla Türkiye'nin ihracat geliri de artacaktır. Son olarak gelecek dönemde farklı zaman dilimlerinin incelenebileceği bu çalışma; ülkelerin talep miktarlarını dikkate alan ağırlıklı Doğrusal Programlama modelinin yanı sıra talep dalgalanmalarını dikkate alan dinamik programlama modelleri geliştirilebilecektir.

5. Kaynakça

- Arduino, G., Murillo, D., & Parola, F. (2015). Refrigerated container versus bulk: Evidence from the banana cold chain. *Maritime Policy & Management*, 42(3), 228-245. <https://doi.org/10.1080/03088839.2013.851421>
- Arman, K., Organ, A., Yenilmez, S., & Akay, M. (2021). A Review of "Introduction to operations research" by Taha. Planning the distribution network of the electronics firm with the transportation model. *International Journal of Academic Research and Ideas*, 13(27), 13-22.
- Batı Akdeniz İhracatçıları Birliği.(2024, 1 Ocak - 31 Aralık) İhracat istatistikleri: Ürün grubu ihracat raporu. Batı Akdeniz İhracatçıları Birliği. <https://www.baib.gov.tr/tr/online-islemler-ihracat-istatistikleri-mal-grubu-bazinda-ihracat-raporu.html> [Erişim Tarihi: 10.02.2025]
- Castelein, B., Geerlings, H., & Duin, R. (2020). The reefer container market and academic research: A review study. *Journal of Cleaner Production*, 256, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120654>
- Defraeye, T., Verboven, P., Opara, U., Nicolai, B., & Cronjé, P. (2015). Feasibility of ambient loading of citrus fruit into refrigerated containers for cooling during marine transport. *Biosystems Engineering*, 134, 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.03.012>
- Demirdal, K. (2021). *Lojistik organizasyon olarak Antalya Limanı'nın bölgesel kalkınmadaki rolü: TR61 bölgesinde faaliyet gösteren dış ticaret firmaları üzerinde bir araştırma* (Tez No. 671705) [Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Ding, J.-F., Weng, J.-H., & Chou, C.-C. (2023). Assessment of key risk factors in the cold chain logistics operations of container carriers using best worst method Évaluation des facteurs de risques clés dans les opérations logistiques de la chaîne du froid des porte-conteneurs à l'aide de la méthode du. *International Journal of Refrigeration* 153, 116-126. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2023.06.013>
- [Dubai Konteyner Fiyatları]. (trs.). [Saygınlık Uluslararası Nakliyat ve Lojistik]. <https://www.saygınlıknakliyat.com/dubai-nakliye> [Erişim Tarihi: 15.01.2025].
- Getahun, S., Ambaw, A., Delele, M., Meyer, C., & Opara, U. (2017). Analysis of airflow and heat transfer inside fruit packed refrigerated shipping container: Part I – Model development and validation. *Journal of Food Engineering*, 203, 58-68. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.02.010>
- Kayalı, N., Necef Yerli, A., & Onur, G. (2020). İşletme yöneticilerinin lojistik maliyetlere bakış açılarının değerlendirilmesine yönelik uygulama. *Van Yüzyüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (47), 303-324. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyusbed/issue/53594/714429>
- [Konteyner Ölçüleri]. (trs.). [Tirport]. <https://tirport.com/konteyner-olculeri/> [Erişim Tarihi:30.01.2025]
- Korucuk, S. (2018). Soğuk zincir taşımacılığı yapan işletmelerde 3PL firma seçimi: İstanbul örneği. *İğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (16), 341 - 366. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/igdirsosbilder/issue/66821/1045038>
- Oğuz, Y. A. (2024). A Review of "Review of Maritime Transport" by the United Nations Conference on Trade and Development. The importance of sea transportation in global supply chains. *Journal Of Tam Academy*, 3(1), 86-103. <https://doi.org/10.58239/tamde.2024.01.006.x>
- Özceylan, A. (2021). Tarım-Gıda tedarik zincirinde taşımacılık. A. O. Dünder (Dü.), *Disiplinler Arası Yaklaşımla Tarım-Gıda Tedarik Zinciri Yönetimi Seçme Yazılar* (ss. 125-146). Nobel Akademi Yayıncılık.

- Öztürk, M. (2019). Yaş sebze ve meyveler çöp oluyor. *Independent Türkçe*. <https://www.indyturk.com/node/82766/t#:~:text=Ya%C5%9F%20sebze%20ve%20meyve%20so%C4%9Fukta,i%C3%A7in%20potansiyel%20bir%20strateji%20olu%C5%9Fturulmal%C4%B1d%C4%B1r>. [Erişim Tarihi: 13.01.2025].
- Q Terminals Antalya. (2022, 21 Mart). *Port environmental review system (PERS) report*. Q Terminals Antalya. https://www.qterminals-antalya.com/wp-content/uploads/2022/03/SEC-CEV-RAP-003_0%20ECOSLC%20PORT%20ENVIRONMENTAL%20REVIEW%20SYSTEM%20PERS%20REPORT.pdf [Erişim Tarihi: 22.02.2025].
- Shen, L., Zhu, G., Qian, X., Zhang, L., Wang, Y., & Shi, X. (2019). *Risk analysis of cold logistics chains in maritime transportation*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICTIS.2019.8883747>
- Şeker, Ö., & Korkmaz, O. (2021). Kahramanmaraş ilindeki dondurma üreticilerinin soğuk zincir taşıyıcı seçiminde kullanmış oldukları kriterler ve bu kriterlerin önem derecelerinin AHP yöntemi ile belirlenmesi. *Research of Financial Economic and Social Studies*, 6(4), 860 - 877. <https://doi.org/10.29106/fesa.1015495>
- Takım, A., & Ersungur, Ş. M. (2015). Taşıma şekillerine göre Türkiye'de dış ticaretin analizi: Mevcut durum, sorunlar ve beklentiler. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 19(3), 357-376.
- Timor, M. (2010). *Yöneylem Araştırması*. Türkmen Kitabevi.
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2025, 30 Nisan). *Dış ticaret istatistikleri: Uluslararası standart ticaret sınıflamasına (SITC, Rev.4) göre ihracat*. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=dis-ticaret-104&dil=1> [Erişim Tarihi: 09.02.2025]
- [Yelken Mesafe Hesaplayıcı]. (trs.). [BednBlue]. <https://www.bednblue.com.tr/sailing-distance-calculator> [Erişim Tarihi: 31.01.2025].
- Yıldırım, C., & Olcay, O. (2020). Soğuk zincirde izlenebilirlik: Denizyolu taşımacılığında kullanılan bir teknoloji örneği. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 12(1), 65-96. <https://doi.org/10.18613/deudfd.775133>
- Yu, H., Tinghang, G., & Meng, L. (2015). *Design of data transfer module based on STM32 in monitoring system of cold chain transportation*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IMCCC.2015.24>