

TR61 Bölgesinde Bozulabilir Gıda İhracatının Denizyolu Taşımacılık Maliyetinin Ağırlıklı Doğrusal Programlama ile Minimizasyonu

A Weighted Linear Programming Model to Minimize Maritime Transport Costs for Perishable Food Exports: Evidence from Turkey's TR61 Region (NUTS-2)

Hakan ÖZKAN  ^a

^a Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, Isparta, Türkiye.
ozkannhakann@gmail.com

MAKALE BİLGİSİ	ÖZET
Anahtar Kelimeler: Ağırlıklı doğrusal programlama İbbs düzey 2 Optimizasyon Soğuk zincir Soğutmalı konteyner	Amaç – İBBS, bölgesel istatistik verilerini tek bir mekânsal sınıflandırmaya göre üreterek bölgesel kalkınmayı izlemeye imkân tanır. Bölgesel kalkınmada kritik bir faktör olan ihracat gelirini artırmak için ürün maliyetlerinin düşürülmesi gerekmektedir. Lojistik maliyetler, ürün satış fiyatının %4–20'sini oluşturduğundan, özellikle uluslararası taşımacılıkta önemli bir paya sahip denizyolu maliyetlerinin minimize edilmesi kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, İBBS Düzey 2 bölgelerinden ihraç edilen bozulabilir gıda ürünlerinin denizyolu taşımacılık maliyetlerini minimize etmeyi amaçlamaktadır. Yöntem – Bu çalışmada, yüksek talep gösteren pazarlara öncelik veren Ağırlıklı Doğrusal Programlama modeli geliştirilmiş ve Türkiye'nin TR61 Bölgesine uygulanarak test edilmiştir. TR61 Bölgesinin ihracat gelirinde önemli bir paya sahip olan yaş meyve ve sebze ürünleri değerlendirmeye alınmış; 2023 yılı verileri Batı Akdeniz İhracatçılar Birliği'nden temin edilmiştir. Uygulama sürecinde Excel'in Çözücü eklentisinin simplex doğrusal programlama çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bulgular – Gümrük müdürlükleri ile ihracat ülkeleri arasındaki deniz taşımacılığı maliyetleri, tek bir hat üzerinden 'mesafe × birim deniz mili' olarak hesaplanmış ve 11 ülke çalışmaya dâhil edilmiştir. Bu sınırlıklar altında elde edilen sonuçlar, gümrük müdürlüklerinden ihracat ülkelerine sevk edilen ürün miktarlarının mevcut duruma kıyasla değiştiğini ve deniz taşımacılığı maliyetlerinde yaklaşık %1,1'lik bir azalma sağlandığını göstermektedir. Tartışma – Mevcut dönemin optimize edilmesiyle deniz taşımacılığı maliyetleri düşürülecek, bu düşüş ürünlerin satış fiyatlarına doğrudan yansiyacaktır. Satış fiyatlarındaki azalma, TR61 Bölgesi ürünlerinin dış pazarlardaki rekabet gücünü artıracaktır. Bu gelişmelerin sonucunda, bölgenin ihracat hacmi ve gelirlerinde somut bir artış gerçekleşecek ve bölgesel kalkınma doğrudan desteklenecektir.
Makale Kategorisi: Araştırma Makalesi	
ARTICLE INFO	ABSTRACT
Keywords: Cold chain NUTS level 2 Optimization Refrigerated container Weighted linear programming	Purpose – The NUTS (Nomenclature of Territorial Units for Statistics) classification provides a standardized spatial framework for regional statistical analysis. As logistics costs account for approximately 4–20% of product sales prices, reducing transportation costs is an important factor in export performance. Given the significant role of maritime transport in international trade, this study aims to minimize the maritime transportation costs of perishable food products exported from NUTS Level 2 regions. Design/methodology/approach – In this study, a Weighted Linear Programming model prioritizing high-demand markets was applied to Turkey's TR61 Region as a case study. Fresh fruit and vegetable products, representing a key component of the region's export structure, were included in the analysis using 2023 data obtained from the West Mediterranean Exporters' Association. The model was implemented using the Simplex LP method in the Excel Solver add-in. Results – Under the assumptions that maritime transportation costs between customs directorates and destination countries were calculated using a single-route approach based on the "distance × unit nautical mile" method, and that 11 destination countries were included in the analysis, the results indicate changes in the quantities shipped from customs directorates to export countries compared to the existing distribution pattern. According to the model outcomes, total maritime transportation costs were reduced by approximately 1.1%. Discussion – The results indicate that optimizing shipment allocation may reduce maritime transportation costs. These reductions could be reflected in sales prices and may enhance the international price competitiveness of products from the TR61 Region, thereby indirectly supporting export performance and regional development.
Received 7 May 2025 Revised 13 January 2026 Accepted 30 January 2026	
Article Classification: Research Article	

ETİK ONAY: Bu çalışmada ikincil veriler kullanılmış olup etik kurul onayı gerektirmemektedir.

Önerilen Atf/ Suggested Citation

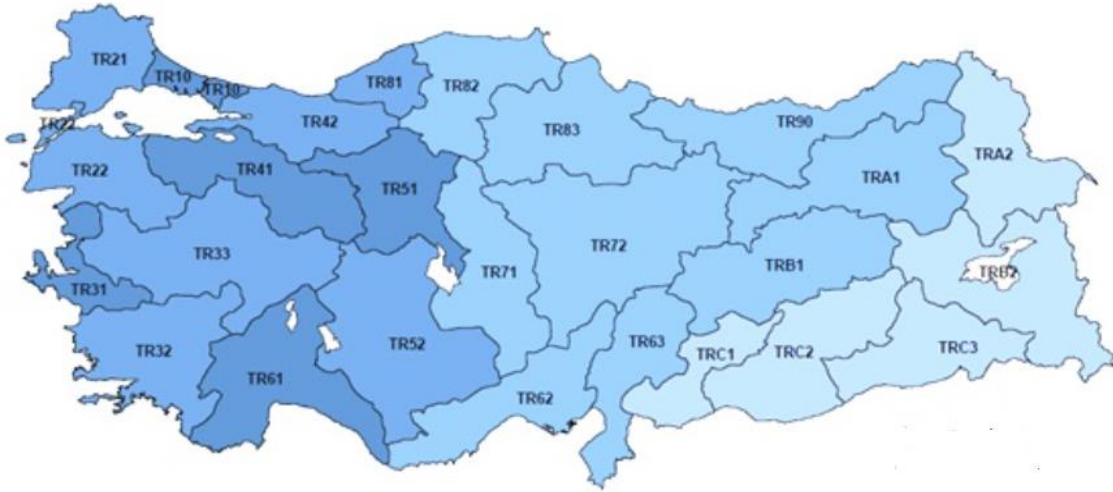
Özkan, H. (2026). TR61 Bölgesinde Bozulabilir Gıda İhracatının Denizyolu Taşımacılık Maliyetinin Ağırlıklı Doğrusal Programlama ile Minimizasyonu, İşletme Araştırmaları Dergisi, 18 (1), 270-285.

1. Giriş

Tedarik zinciri yönetimi, tedarik zincirinde yer alan unsurların, doğru zamanı gösteren bir saatin dişlileri gibi, birbiriyle entegre olarak müşteriler tarafından talep gören çıktıların elde edilmesi için yapılan planlamalardır. Zira tedarik zinciri yönetimi faaliyetlerinin sonucunda elde edilen çıktılar, müşteriler tarafından talep gördüğü sürece değer taşımaktadır. Bu nedenle tedarik zinciri yönetiminin odak notasında müşteri memnuniyeti yer almaktadır.

Müşteriler, satın aldıkları ürününün/ürünlerinin kalitesini kaybetmeyecek şekilde uygun fiyattan taşınarak talep ettiği zamanda eline geçmesi beklentisi taşımaktadır. Bu durum tedarik zinciri yönteminin, müşterilerin söz konusu beklentilerini karşılayacak şekilde süreçlerini planlamasını ve yönetmesini gerektirmektedir. Bu planlama ve yöntem sürecinde ise temel lojistik faaliyetlerden birisi olan taşımacılık faaliyetine öncelik verilmelidir. Zira; taşımacılık, depolama, stok ve yönetim lojistik faaliyetlerinden kaynaklanan maliyetler, ürün satış fiyatının %4 ile %20 arasında değişen bir oranını oluştururken; taşımacılık maliyeti de lojistik maliyetler içindeki en büyük maliyet kısmını oluşturmaktadır (Müstakil Sanayici ve İşadamları Derneği [MÜSİAD], 2014).

Tedarik zincir yönetiminin uygun ısı ve nem koşulları altında taşınarak müşteriye ulaştırılmasını sağlayan alanı ise soğuk zincir yönetimi olarak ifade edilmektedir. Soğuk zincir yönetiminin en temel amacı, ısı ve neme duyarlı ürünlerin kalitesini ve özelliğini kaybetmeden üreticisinden tüketicisine ulaştırmaktır. Söz konusu amaca ulaşabilmek için soğuk zincir ürünlerinin türüne ve özelliklerine göre uygun ısı ve nem koşulları altında soğuk zincirin kırılmadan taşınması gerektirmektedir. Örneğin, çilek ürünü sıfır santigrat (0 C°) ve %90-95 civarında bağıl neme sahip ortamlarda depolanmalıdır (Damarlı vd., akt. Bekmezci, 2021, s. 117). Soğuk zincirin kırılmaması adına çilek ürününün söz konusu ısı ve nem koşulları altında taşınması gerekmektedir. Bu taşımacılık faaliyetleri için özel donanımına sahip olan soğutuculu konteynerler kullanılmaktadır.



Şekil 1. Türkiye'deki İBBS Düzey 2 Bölgeleri

Kaynak: (Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], 2015)

Türkiye'nin 2012 yılında taraf olduğu ATP (Agreement on International Transports of Perishable Foodstuffs and on Special Equipment to Be Used for Such Transport) konversiyonu; uluslararası ticarete, taşıma sırasında bozulabilir gıda maddelerinin kalitesini koruma koşullarını iyileştirmek, gıda güvenliğini korumak, güvenli olmayan gıda ürünlerinin insan sağlığına yönelik tehditleri önlemeyi amaçlamaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı [UAB], 2022). Bu amaç soğuk zincir ürünleri arasında yer alan bozulabilir gıda ürünlerinin soğutuculu konteynerler ile taşınmasını zorunlu hale getirmektedir (Türk Standartları Enstitüsü [TSE], t.y.).

İstatistiksel Bölge Birimleri Sınıflandırması (İBBS), ülkelerin ekonomik kalkınma düzeylerinin bölgesel ölçekte analiz edilmesine olanak sağlayan bir istatistiksel sınıflandırma sistemidir. Bu sınıflandırmaya göre Türkiye, Şekil 1'de gösterildiği üzere Düzey 2 kapsamında 26 bölgeye ayrılmaktadır. Söz konusu bölgelerin kapsadığı iller ise Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Türkiye’deki İBBS Düzey 2 Bölgelerinin Kapsadığı İller

No	Düzey 2 Kodları	Düzey 2 Seviyesinin Kapsadığı İller
1	TR10	İstanbul
2	TR21	Tekirdağ, Edirne, Kırklareli
3	TR22	Balıkesir, Çanakkale
4	TR31	İzmir
5	TR32	Aydın, Denizli, Muğla
6	TR33	Manisa, Afyonkarahisar, Kütahya, Uşak
7	TR41	Bursa, Eskişehir, Bilecik
8	TR42	Kocaeli, Sakarya, Düzce, Bolu, Yalova
9	TR51	Ankara
10	TR52	Konya, Karaman
11	TR61	Antalya, Isparta, Burdur
12	TR62	Adana, Mersin
13	TR63	Hatay, Kahramanmaraş, Osmaniye
14	TR71	Kırıkkale, Aksaray, Niğde, Nevşehir, Kırşehir
15	TR72	Kayseri, Sivas, Yozgat
16	TR81	Zonguldak, Karabük, Bartın
17	TR82	Kastamonu, Çankırı, Sinop
18	TR83	Samsun, Tokat, Çorum, Amasya
19	TR90	Trabzon, Ordu, Giresun, Rize, Artvin, Gümüşhane
20	TRA1	Erzurum, Erzincan, Bayburt
21	TRA2	Ağrı, Kars, Iğdır, Ardahan
22	TRB1	Malatya, Elâzığ, Bingöl, Tunceli
23	TRB2	Van, Muş, Bitlis, Hakkâri
24	TRC1	Gaziantep, Adıyaman, Kilis
25	TRC2	Şanlıurfa, Diyarbakır
26	TRC3	Mardin, Batman, Şırnak, Siirt

Kaynak: (Şengül vd., 2013)

Bu çalışmanın uygulama bölümünde değerlendirmeye alınan TR61 Bölgesinin ihracat gelirinin önemli bir bölümü yaş meyve ve sebze ürünü ihracatından elde edilmektedir. Buna göre bölgenin ihracat gelirinin %32’si yaş meyve ve sebze ihracatından elde edilmektedir (Batı Akdeniz İhracatçılar Birliği [BAİB], 2023). Ayrıca bölgeden ihraç edilen ürün miktarının %18’ini yaş meyve ve sebze ürünü oluştururken, bölgeden ihraç edilen yaş meyve ve sebze ürününün %13’ü ise denizyolu taşımacılığıyla gönderilmektedir (BAİB, arge@baib.gov.tr., 08.01.2025).

Bu çalışmada, İstatistiksel Bölge Birimleri Sınıflandırması (İBBS) Düzey 2 bölgelerinden ihraç edilen bozulabilir gıda ürünlerinin denizyolu taşımacılığı maliyetlerini minimize etmeyi amaçlayan ağırlıklı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Önerilen modelde, İBBS Düzey 2 bölgesinin bozulabilir gıda ihracatında stratejik öneme sahip ve bölge ihracat gelirine ağırlıklı katkı sağlayan ülkelerin talep miktarları ağırlık olarak dikkate alınmıştır. Talep miktarlarının ağırlık olarak kullanılması, yüksek talep gösteren pazarlara öncelik verilmesini ve kaynakların etkin dağılımını sağlamaktadır.

Modelin uygulanabilirliği Türkiye’nin TR61 Bölgesine yönelik bir test çalışması ile sınanmış olup, test sürecinde Batı Akdeniz İhracatçılar Birliği’nden 2023 yılına ait veriler temin edilmiş ve Excel’in Çözücü (Solver) eklentisinde simplex doğrusal programlama çözüm yöntemi kullanılmıştır. Uygulamada, TR61 Bölgesinin ihracat gelirinde belirleyici öneme sahip yaş meyve ve sebze ürünleri ele alınmış ve elde edilen bulgular, önerilen model aracılığıyla hesaplanan maliyetlerin mevcut durumdaki maliyetlerin altında olduğunu göstermiştir.

Modelde denizyolu taşıma maliyeti yalnızca “mesafe × birim deniz mili maliyeti” olarak alınmış olup, bu basitleştirilmiş yaklaşım, modelin temel amacının taşıma maliyetlerini minimize etmek ve taşıma güzergâhları

ile ihracat miktarlarını optimize etmek olduğunu göz önünde bulundurarak tercih edilmiştir. Soğutmalı taşımadaki navlun farkları, ekipman maliyetleri, yakıt dalgalanmaları, liman ve terminal elleçleme ücretleri, bekleme süreleri ve soğutmalı konteyner elektrik bağlantısı gibi ek maliyet unsurları modelin kavramsal sınırları dışında bırakılmıştır. Bu varsayım, çözümün daha yönetilebilir, hesaplanabilir ve yorumlanabilir olmasını sağlarken, gerçek taşımacılık maliyetlerini tam olarak yansıtmayabilir. Bu nedenle model çıktıları, mutlak maliyet değerlerinden ziyade farklı güzergâh ve ihracat stratejilerinin görece etkinliğini değerlendirmek için kullanılmalı ve söz konusu yaklaşım, karar vericilere karmaşık maliyet unsurlarının değişkenliğinden bağımsız olarak, taşıma mesafesine dayalı optimizasyon önerisi sunmaktadır.

2. Literatür Taraması

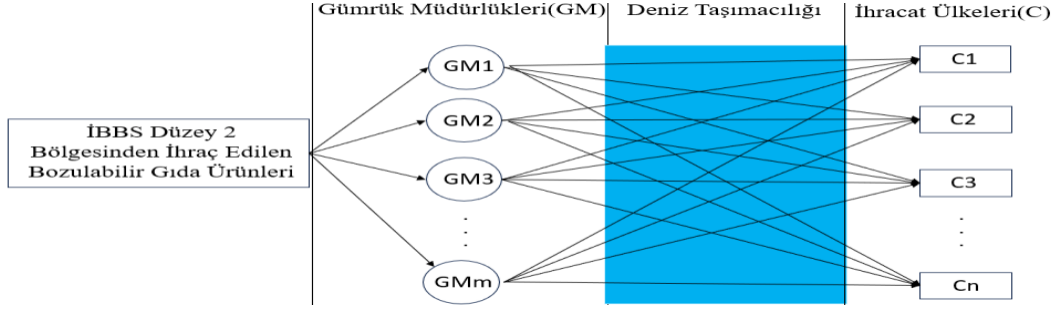
Son on yılda(2015-2025 yılları) bozulabilir gıda ürünlerinin deniz taşımacılık faaliyetlerinin optimizasyonuna odaklanarak yapılan literatür taramasında, literatüre katkı sunan önemli çalışmaların yapıldığı görülmüştür. Buna göre; (Tuljak-Suban vd., 2015), bozulabilir malların; bozulma oranı ile gemiyle taşınması arasındaki ilişki esas aldığı çalışmada, bulanık mantık yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler; sipariş maliyeti, elde bulundurma maliyeti, elden çıkarma maliyeti ve nakliye maliyetlerinin toplamından oluşan toplam maliyetin minimize edilmesi ve çevresel etkinin yanı sıra atık bertaraf maliyetlerini de düşürerek tedarik zincirinin sürdürülebilirliğini iyileştirme amacıyla kullanılmıştır. (Dulebenets & Ozguven, 2017), bozulabilir varlıkların bozulma maliyetlerini de dikkate alarak toplam rota maliyetini minimize edecek karma tamsayı doğrusal olmayan matematiksel model önerisi getirmiştir. (Ma vd., 2018), liman hinterlandındaki soğutmalı konteyner akışını optimize etmeyi amaçlamıştır. Bu sebeple; CO₂ ayak izi kısıtlamasını dikkate alarak, maliyet ve kalite bozulmasını minimize etmeyi amaçlayan karışık tamsayı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. (Worapongpat vd., 2020), Tayland'dan Çin'e deniz taşımacılığıyla ihraç edilen yaş meyve ve sebze ürününe yönelik optimum deniz taşımacılık rotası araştırılmış ve model kurulumunda AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yönteminden yararlanılmıştır. (Filina-Dawidowicz vd., 2022), deniz taşımacılığında enerji verimliliği konusuna değinmiştir. Çalışmada; soğutmalı konteynerlerin, konteyner gemisindeki konumlarının tüketilen enerji üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu sebeple soğutmalı konteynerlerin ısı dengesini hesaplayabilmek için matematiksel model geliştirilmiştir. (De vd., 2022), karbon emisyonu ile ilgili kısıtlar altında farklı taşımacılık modlarından kaynaklanan yakıt maliyetlerini minimize etmeyi amaçlamıştır. Bu amaçla karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Bu model Norveç somon tedarik zinciri ağına uygulanarak karayolu taşımacılığından denizyolu taşımacılığına geçişin, mali ve çevresel kazanımların sağlayabileceği vurgulanmıştır. (Pérez-Mesa vd., 2023), bozulabilir ürünlerin taşınmasında kısa mesafeli deniz taşımacılığını temel olarak intermodal taşımacılığın teşviki için yeni seçenekler sunmuş ve lojistik optimizasyonuna yönelik çözüm önerileri getirilmiştir. (Yixuan vd., 2023), deniz avcılığı sektörüne yönelik; k-ortalamlar kümelemesi ve çok amaçlı bitki büyüme simülasyon algoritmasına dayanan matematiksel bir model önerisi sunmuştur. Önerilen model iki amaç fonksiyonundan oluşturulmuştur. Bu amaç fonksiyonlarından birisi, seçili üretim alanlarındaki balıkçılık imkanlarının ağırlıklı bulundurma oranını en üst düzeye çıkarmak, diğeri ise inşa edilen ağın toplam maliyetini minimize etmektir. (Yang vd., 2023), açık deniz balıkçılığında tedarik zincirinin optimize ederek kar maksimizasyonunu hedefleyen doğrusal olmayan matematiksel model geliştirmiştir. Açık deniz balıkçılık tedarik zincirinin zorluklarıyla baş edebilmek için yarasa algoritması kullanılmıştır. (Ocieczek vd., 2024), deniz taşımacılığı simülasyonunda nar suyunun seçilmiş kalite parametrelerinin durumunu araştırmıştır. Araştırmada, Folin-Ciocalteu ve Brand-Williams yöntemleri kullanılmıştır. (Özkan, 2025), doğrusal programlama modeli ile en küçük maliyet yöntemini karşılaştırarak soğuk zincir ürünlerinin denizyolu taşımacılık maliyetlerinin minimize edilmesine odaklanmıştır.

Literatür taramasında, İstatistiksel Bölge Birimleri Sınıflandırması'na göre bozulabilir gıda ürünlerinin denizyolu taşımacılığında yüksek talep gösteren pazarlara öncelik verilmesine yönelik ağırlıklı doğrusal programlama modeli geliştirilmesine odaklanan herhangi bir optimizasyon çalışmasına rastlanmamıştır. Bu durum, söz konusu çalışmaya duyulan ihtiyacı ortaya koymakta ve çalışmanın özgün bir değer taşıdığını göstermektedir. Ayrıca ele alınan konu itibarıyla literatürdeki önemli bir boşluğu doldurarak yüksek talep gösteren pazarı dikkate alması bu çalışmanın önemini ortaya koymaktadır.

3. Metodoloji

3.1. Araştırma Modeli

İBBS Düzey 2 seviyesindeki bölgelerden ihraç edilen bozulabilir gıda ürünlerinin denizyolu taşıma maliyetlerini minimize etmeyi amaçlayan bu çalışmada, ülkelerin talep miktarlarını dikkate alan bir Ağırlıklı Doğrusal Programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model, yüksek talep gösteren pazarlar dikkate alınarak, bozulabilir gıda ürünlerinin hangi gümrük müdürlüğünden hangi ülkeye denizyolu ile sevk edilmesi durumunda taşıma maliyetinin minimuma indirileceğini belirleyecek şekilde tasarlanmış olup, bu yaklaşım Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. Çalışmanın Görsel Modeli

3.2. Evren ve Örneklem

Bu çalışmanın evrenini İBBS Düzey 2’de tanımlanan 26 bölge oluştururken; Isparta, Burdur ve Antalya illerinden oluşan TR61 bölgesi çalışmanın örneklemi oluşturmuştur.

3.3. Veri Seti

Batı Akdeniz Bölgesi’nden 2023 yılında ihraç edilen ürünlere ilişkin miktar bazlı veri seti, 08.01.2025 tarihinde Batı Akdeniz İhracatçılar Birliği’nin (BAİB) resmi e-posta adresi olan arge@baib.gov.tr aracılığıyla temin edilmiştir.

3.4. Verilerin Analizi

Batı Akdeniz İhracatçılar Birliği’nden temin edilen ve bozulabilir gıda ürünleri arasında yer alan yaş meyve ve sebze ürün grubuna ait miktar bazlı veriler, geliştirilen Ağırlıklı Doğrusal Programlama modelinin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Modelin test sürecinde aşağıdaki varsayımlar ve sınırlamalar dikkate alınmıştır:

- Excel’in Solver eklentisinin sınırlı sayıda karar değişkeni ile çalışabilmesi nedeniyle, analiz en fazla ürün gönderimi yapılan ilk 11 ülke ile sınırlandırılmıştır.
- Talep ağırlıkları yalnızca geçmiş yıl verilerine dayandığı için, modelin dinamik bir yapıya sahip olmaması çalışmanın bir diğer sınırlılığıdır.
- Gümrük müdürlükleri ile hedef ülkeler arasındaki denizyolu taşımacılığına ilişkin bir adet soğutuculu konteynerin taşıma maliyetleri, gerçek piyasa koşullarını tam olarak yansıtmamakta olup, çalışmanın kapsamı dâhilinde tek bir hat varsayımı altında “mesafe × birim deniz mili maliyeti” yaklaşımıyla tahmini olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2’deki gümrük müdürlüklerinin ve ülkelerin değerlendirmeye alındığı bu çalışmada, sayfa düzenindeki kısıtlamalar ve tabloların sadeliği için karşısındaki kodlar ile temsil edilmiştir.

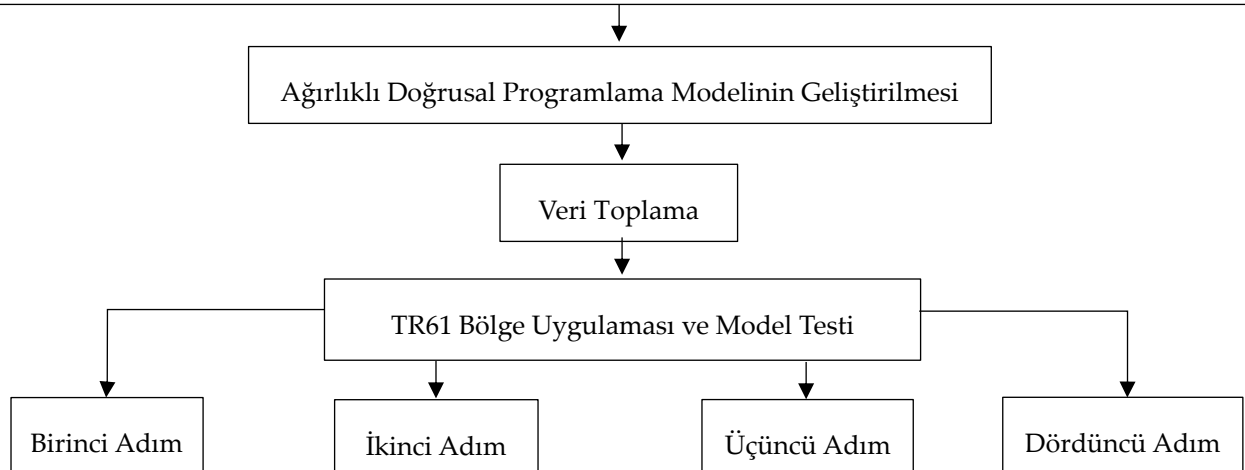
Tablo 2. Çalışma Kapsamındaki Gümrük Müdürlükleri, Ülkeler ve Çalışmadaki Kodları

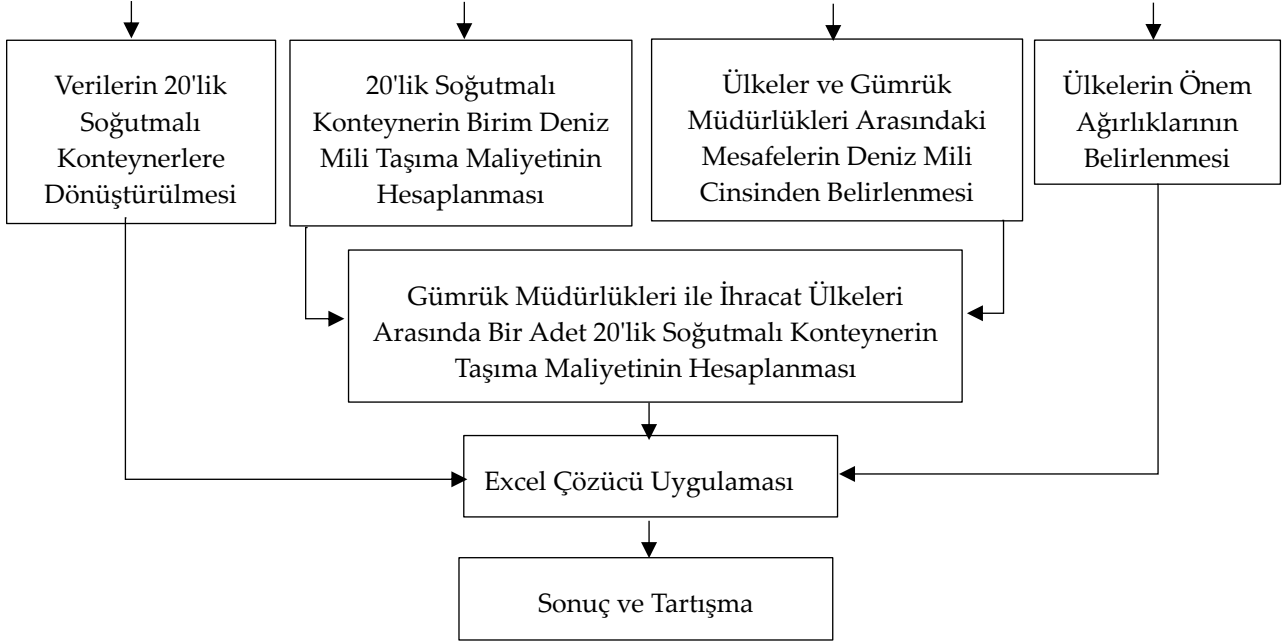
Çıkış Gümrük Müdürlükleri (GM)	Bu çalışmadaki çıkış gümrük müdürlüklerinin kodları	İhracat Ülkeleri	Bu çalışmada yer alan ihracatçı ülkelerin kodları
Samsun GM	GM1	Hindistan	C1
Aliaga GM	GM2	Rusya Federasyonu	C2
Mersin GM	GM3	KKTC	C3
İskenderun GM	GM4	İsrail	C4
Taşucu GM	GM5	Suudi Arabistan	C5
Derince GM	GM6	Malezya	C6
Gemlik GM	GM7	Birleşik Arap Emirlikleri	C7
Dilovası GM	GM8	Libya	C8
Bartın GM	GM9	Sri Lanka	C9
Ünye GM	GM10	Gürcistan	C10
Sakarya GM	GM11	Ekvator	C11
Trabzon GM	GM12		
Hopa GM	GM13		
Sarp GM	GM14		
Çeşme GM	GM15		
Haydarpaşa GM	GM16		
Antalya GM	GM17		
Ambarlı GM	GM18		

Bu çalışmanın amacına yönelik olarak, Şekil 3' te gösterilen yöntem esas alınarak Ağırlıklı Doğrusal Programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model TR61 bölgesinden denizyoluyla ihraç edilen yaş meyve ve sebze ürünlerine yönelik uygulanarak test edilmiştir. Uygulama sürecinde sırasıyla aşağıdaki adımlar takip edilmiştir. Buna göre;

- **Birinci adımda**, Batı Akdeniz ihracatçıları Birliğinden temin edilen kilogram birimindeki veriler, büyük sayısal verilerle uğraşmamak için 20'lik soğutuculu konteyner birimine dönüştürülmüştür.
- **İkinci adımda**, gümrük müdürlükleri ile ülkeler arasındaki bir adet soğutuculu konteynerin taşıma maliyetinin hesaplanmasında Mersin-Dubai hattındaki birim deniz mildeki taşımacılık maliyeti hesaplanmıştır.

İBBS Düzey 2 Seviyesinde Bozulabilir Gıda Tedarik Zincirinin Denizyolu Taşımacılığında Optimizasyon Modeli Önerisi: TR61 Bölgesi Uygulaması





Şekil 3. Çalışmanın Metodolojisi

- **Üçüncü adımda**, çalışma kapsamındaki gümrük müdürlükleri ile ürünlerin gönderildiği ülkeler arasındaki mesafeler deniz mili cinsinden belirlenmiştir.

Üçüncü adımda belirlenen mesafeler, ikinci adımdaki birim deniz mildeki taşımacılık maliyet değeriyle çarpılarak bir adet 20'lik soğutucu konteynerin gümrük müdürlükleri ile ülkeler arasındaki taşıma maliyetlerine ulaşılmıştır.

- **Dördüncü adımda**, TR61 bölgesinden en çok yaş meyve sebze ürününün gönderildiği ilk 11 ülkeye gönderilen konteyner sayıları normalize edilerek ülkelerin önem ağırlıklarını oluşturmuştur.

Dört adım sonucunda elde edilen değerler, geliştirilen **Ağırlıklı Doğrusal Programlama** modelinin amaç fonksiyonuna entegre edilmiştir. Modelin uygulamasında, Excel Solver kullanılarak öncelikle deniz taşımacılığı maliyetini minimize etmeyi amaçlayan fonksiyon tanımlanmış, ardından gümrük müdürlüklerinden ihracat ülkelerine gönderilecek ürün miktarını temsil eden karar değişkenleri belirlenmiş ve arz, talep ile pozitiflik kısıtları tanımlanmıştır. Tüm bu aşamaların ardından model, **simplex doğrusal programlama** yöntemiyle çözülmüş; sonuç olarak İBBS Düzey 2 seviyesinde yaş meyve ve sebze ürünlerinin denizyolu taşımacılık faaliyetleri optimize edilmiş ve taşımacılık maliyetleri minimize edilmiştir.

3.4.1. Doğrusal Programlama Modeli

Bir problemin birden fazla çözümü olabilir. Ancak bu çözümler içindeki en iyi çözüm optimum çözümdür (Timor, 2010). Yöneylem araştırmalarında optimum çözüme ulaşabilmek için kullanılan yöntemlerden birisi doğrusal programlama yöntemidir. Bu yöntem; doğrusallık, bölünebilirlik, toplanabilirlik ve kesinlik varsayımlarına dayanmaktadır (Babacan, 2015). Doğrusal programlama yönteminin amacı, amaç fonksiyonu ile temsil edilmektedir. Bu amaç, mevcut kısıtlar altında maliyetleri minimize etmek veya karı maksimize etmek olabilir. Doğrusal programlamanın en temel matematiksel modeli; Formül 1, Formül 2 ve Formül 3'ten oluşur (Patır, 2007).

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

$$\text{Kısıtlar} : \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \{ \leq, =, \geq \} b_i, \{i = 1, 2, 3, \dots, m\} \quad (2)$$

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

Notasyonlar ;

- i : Ürünlerin çıkış yaptığı gümrük müdürlükleri ($i: 1, 2, 3, \dots, m$)
- j : İhracat Ülkeleri ($j: 1, 2, 3, \dots, n$)
- Q_{ij} : "i" gümrük müdürlüğünden "j" ülkesine gönderilen ürün miktarı
- C_{ij} : "i" gümrük müdürlüğünden "j" ihracat ülkesine gönderilen ürünün birim maliyeti
- W_j : "j" ülkesinin önem ağırlığı
- d_j : "j" ihracat ülkesinin talep miktarı
- s_i : "i" Gümrük Müdürlüğünden çıkış yapan konteyner sayısı

Amaç Fonksiyonu ;

$$Z_{\min} : \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Q_{ij} C_{ij} W_j \quad (4)$$

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

Kısıtlar ;

$$\text{Talep Kısıtı} : \sum_{i=1}^m Q_{ij} \geq d_j, \quad \forall j \quad (6)$$

$$\text{Arz Kısıtı} : \sum_{j=1}^n Q_{ij} \leq s_i, \quad \forall i \quad (7)$$

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

3.5. Araştırma Etiği

Bu çalışmanın tüm süreçlerinde etik kurallara uyulmuş olup, kurumsal izin gerektirmedikinden etik kurul onayı alınmamıştır.

4. Bulgular**4.1. Geliştirilen Ağırlıklı Doğrusal Programlama Modeli**

Çalışmanın bu bölümünde ülkelerin talep miktarları dikkate alınarak, İBSS Düzey 2 seviyesinde bozulabilir gıda ürünlerinin deniz taşımacılık faaliyetini optimize ederek, deniz taşımacılık maliyetlerini minimize etmeyi amaçlayan Ağırlıklı Doğrusal Programlama modeli geliştirilmiştir. Bu modelde; Formül 4 modelin amaç fonksiyonunu, Formül 5 karar değişkenini, Formül 6, Formül 7 ve Formül 8 ise kısıtları oluşturmaktadır.

4.2. TR61 Bölgesi Uygulaması

Bu bölümünde geliştirilen Ağırlıklı Doğrusal Programlama modeli, TR61 bölgesinden denizyolu taşımacılığıyla ihraç edilen yaş meyve ve sebze ürününe uygulanarak test edilmiştir. Uygulama sürecinde büyük sayısal değerlerle uğraşmamak için kilogram bazlı değerler, bir adet 20'lik soğutuculu konteynerin yük taşıma kapasitesi olan 20.800 kg (Tırport, t.y.) değerine bölünerek ülkelere gönderilen konteyner sayıları hesaplanmıştır.

TR61 Bölgesinden ihraç edilen yaş meyve ve sebze ürünlerinin ülkelere gönderilme miktarları; kilogram, 20'lik

soğutuculu konteyner ve yüzdellik olarak Tablo 3'te de yer almaktadır. Söz konusu tabloda, TR61 Bölgesinden denizyoluyla en çok yaş meyve ve sebze ürününün gönderildiği ilk 11 ülke sırasıyla; Hindistan, Rusya Federasyonu, KKTC, İsrail, Suudi Arabistan, Malezya, Birleşik Arap Emirlikleri, Libya, Sri Lanka, Gürcistan ve Ekvatordur. Bu 11 ülke çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan ülkelerdir.

Tablo 3. TR61 Bölgesinden İhraç Edilen Yaş Meyve-Sebze Ürünlerinin Gönderildiği Ülkeler ve Ürün Miktarları

Sıra	İhracat Ülkeleri	İhracat Ülkelerine Gönderilen Ürün Miktarı		
		Kilogram	Konteyner (20'lik Reefer)	Yüzdellik (%)
1	Hindistan	52.392.332	2.519	75,59
2	Rusya Federasyonu	8.433.392	405	12,17
3	KKTC	1.829.340	88	2,64
4	İsrail	1.568.185	75	2,26
5	Suudi Arabistan	937.985	45	1,35
6	Malezya	852.066	41	1,23
7	Birleşik Arap Emirlikleri	665.373	32	0,96
8	Libya	461.196	22	0,67
9	Sri Lanka	450.080	22	0,65
10	Gürcistan	407.567	20	0,59
11	Ekvator	245.387	12	0,35
12	Cibuti	166.874	8	0,24
13	Singapur	97.664	5	0,14
14	Etiyopya	82.938	4	0,12
15	Maldiv Adaları	82.232	4	0,12
16	Birleşik Krallık	71.010	3	0,10
17	Somali	62.640	3	0,09
18	Katar	57.480	3	0,08
19	Dubai	53.175	3	0,08
20	Endonezya	42.200	2	0,06
21	Bahreyn	41.760	2	0,06
22	Gana	41.760	2	0,06
23	Kuveyt	41.760	2	0,06
24	İtalya	38.850	2	0,06
25	Lübnan	36.990	2	0,05
26	Kanada	27.669	1	0,04
27	Bangladeş	20.880	1	0,03
28	Fildişi Sahili	20.880	1	0,03
29	Umman	20.880	1	0,03
30	Kenya	20.628	1	0,03
31	Brunei	20.502	1	0,03
32	İspanya	14.093	1	0,02
33	Hollanda	6.350	0	0,01
Toplam		69.312.118	3.332	100

Kaynak: (BAİB, arge@baib.gov.tr., 08.01.2025).

Tablo 4'te TR61 Bölgesinden ihraç edilen yaş meyve ve sebze ürünlerinin çıkış yaptığı gümrük müdürlükleri ve bu gümrük müdürlüklerinden çıkış yapan ürün miktarlarının dağılımı; kilogram, 20'lik soğutuculu konteyner ve yüzdellik olarak yer almaktadır. Buna göre TR61 Bölgesinden denizyoluyla ihraç edilen ürünlerin önemli kısmının Aliğa Gümrük Müdürlüğünden çıkış yaptığı görülmektedir.

Tablo 4. TR61 Bölgesinden İhraç Edilen Yaş Meyve-Sebze Ürünlerinin Çıkış Yaptığı Gümrük Müdürlükleri ve Ürün Miktarları

Sıra	Gümrük Müdürlükleri (GM)	Gümrük Müdürlüklerinden Çıkış Yapan Ürün Miktarları		
		Kilogram	Konteyner (20'lik Reefer)	Yüzdelik (%)
1	Aliğa GM	31.738.416	1.526	45,79
2	Mersin GM	13.557.793	652	19,56
3	İskenderun GM	13.082.180	629	18,87
4	Samsun GM	6.658.275	320	9,61
5	Taşucu GM	1.844.368	89	2,66
6	Derince GM	939.885	45	1,36
7	Gemlik GM	423.437	20	0,61
8	Dilovası GM	354.008	17	0,51
9	Bartın GM	233.537	11	0,34
10	Sakarya GM	153.028	7	0,22
11	Trabzon GM	102.748	5	0,15
12	Hopa GM	61.700	3	0,09
13	Ünye GM	52.565	3	0,08
14	Sarp GM	39.936	2	0,06
15	Çeşme GM	38.850	2	0,06
16	Haydarpaşa GM	18.717	1	0,03
17	Antalya GM	12.480	1	0,02
18	Ambarlı GM	195	0	0,00
Toplam		69.312.118	3.332	100,00

Kaynak: (BAİB, arge@baib.gov.tr., 08.01.2025).

Ürünlerin çıkış yaptığı gümrük müdürlükleri ile ürünlerin gönderildiği ülkeler arasındaki mesafeler deniz mili biriminden Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5. Gümrük Müdürlükleri ile Ülkeler Arası Mesafeler (Deniz Mili)

Gümrük Müdürlükleri (GM)	İhracat Ülkeleri										
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
GM1	4.184	216	1.250	1.224	1.909	6.011	4.724	1.378	4.535	246	7.241
GM2	3.685	716	675	636	1.880	5.419	1.287	671	4.104	841	6.696
GM3	3.419	1.302	199	241	1.144	5.318	1.116	943	3.911	1.372	7.023
GM4	3.443	1.351	145	246	1.149	5.300	1.093	988	3.928	1.432	7.081
GM5	3.417	1.186	111	232	1.088	5.234	1.052	880	3.878	1.321	6.974
GM6	3.884	499	933	880	1.527	5.652	1.522	890	4.339	706	6.903
GM7	3.853	505	901	849	1.595	5.619	1.487	859	4.307	710	6.867
GM8	3.870	486	900	866	1.511	5.621	1.504	875	4.324	693	6.889
GM9	4.020	302	1.046	1.011	1.663	5.778	1.650	1.019	4.465	427	7.026
GM10	4.267	217	1.297	1.256	1.914	6.032	1.896	1.267	4.712	206	7.273
GM11	3.943	381	959	935	1.592	5.688	1.567	931	4.392	510	6.953
GM12	4.366	240	1.399	1.360	2.015	6.131	1.998	1.367	4.813	111	7.375
GM13	4.436	256	1.450	1.429	2.087	6.198	2.065	1.435	4.881	36	7.443
GM14	4.441	253	1.454	1.431	2.089	6.201	2.069	1.438	4.885	44	7.447
GM15	3.587	725	574	594	1.220	5.275	3.604	621	3.989	840	6.801
GM16	3.872	462	884	848	1.505	5.619	1.485	856	4.331	586	6.867

GM17	3.397	1.098	291	329	1.068	5.189	1.052	770	3.897	1.199	6.867
GM18	3.830	465	831	832	1.487	5.602	1.471	841	4.290	673	6.853

Kaynak: (BednBlue, t.y.)

Ürünlerin çıkışı yaptığı gümrük müdürlükleri ile ürünlerin gönderildiği ülkeler arasındaki bir adet 20'lik reefer konteynerin taşıma maliyeti Tablo 6'da yer almaktadır. Tablo 6'daki maliyet değerlerinin hesaplanmasında Mersin-Dubai hattındaki bir adet soğutuculu konteynerin taşıma maliyeti esas alınmıştır. Bu hatta bir soğutuculu konteynerin taşıma maliyeti \$3.500'dır (Saygınlr Uluslararası Nakliyat ve Lojistik, t.y.). Mersin – Dubai arasındaki mesafe ise 3.431 deniz milidir (BednBlue, t.y.). Buna göre Mersin- Dubai hattında bir soğutuculu konteynerin birim deniz mildeki taşıma maliyeti \$/dm 1,02'dir. Bu değerin Tablo 5'teki değerlerle çarpılması sonucunda Tablo 6'daki maliyet değerlerine ulaşılmıştır.

Tablo 6. Gümrük Müdürlükleri ile Ülkeler Arasındaki Bir Adet 20'lik Reefer Konteynerin Denizyoluyla Taşınma Maliyeti (\$)

Gümrük Müdürlükleri (GM)	Ülkeler										
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
GM1	4.268	220	1.275	1.248	1.947	6.131	4.818	1.406	4.626	251	7.386
GM2	3.759	730	689	648	1.917	5.527	1.312	685	4.186	858	6.830
GM3	3.487	1.328	203	246	1.167	5.424	1.138	961	3.989	1.400	7.163
GM4	3.512	1.378	147	251	1.172	5.406	1.114	1.008	4.007	1.460	7.223
GM5	3.485	1.210	113	237	1.109	5.339	1.073	898	3.956	1.347	7.113
GM6	3.962	509	952	897	1.558	5.765	1.553	908	4.426	720	7.041
GM7	3.930	515	919	866	1.627	5.731	1.517	876	4.393	724	7.004
GM8	3.947	496	918	884	1.541	5.733	1.534	893	4.410	707	7.027
GM9	4.100	308	1.067	1.031	1.696	5.893	1.683	1.039	4.554	435	7.167
GM10	4.353	221	1.323	1.281	1.952	6.153	1.934	1.292	4.806	210	7.418
GM11	4.022	389	978	953	1.624	5.802	1.598	950	4.479	520	7.092
GM12	4.453	245	1.427	1.387	2.055	6.254	2.038	1.394	4.909	113	7.523
GM13	4.525	261	1.479	1.457	2.129	6.322	2.106	1.463	4.978	37	7.592
GM14	4.530	258	1.483	1.460	2.131	6.325	2.111	1.467	4.983	45	7.596
GM15	3.659	739	586	606	1.245	5.381	3.676	633	4.069	857	6.937
GM16	3.949	471	901	865	1.535	5.731	1.515	873	4.418	598	7.004
GM17	3.465	1.120	297	336	1.090	5.293	1.073	786	3.975	1.223	7.004
GM18	3.906	474	848	848	1.517	5.714	1.501	858	4.376	686	6.990

TR61 Bölgesi'nden 33 farklı ülkeye toplam 3.332 adet 20'lik soğutuculu konteyner sevk edilmektedir (Bkz. Tablo 3). Bu konteynerlerin 3.281 adedi, toplamın yaklaşık %98'ini oluşturarak Hindistan (C1), Rusya Federasyonu (C2), KKTC (C3), İsrail (C4), Suudi Arabistan (C5), Malezya (C6), Birleşik Arap Emirlikleri (C7), Libya (C8), Sri Lanka (C9), Gürcistan (C10) ve Ekvator (C11) olmak üzere 11 ülkeye gönderilmektedir. Çalışma kapsamında değerlendirilen bu ülkelere yapılan sevkiyatların ülkelere göre yüzdelik dağılımları Tablo 7'de sunulmaktadır. Ayrıca söz konusu tabloda, yüksek talep gösteren pazarlara öncelik verilmesi ve kaynakların etkin dağılımının sağlanması amacıyla, ülkelere gönderilen konteyner sayıları normalize edilerek ilgili ülkelere ait önem ağırlıkları belirlenmiştir.

Tablo 7. Ülkelerin Önem Ağırlıkları

Sıra	Ülkeler	Gönderilen Konteyner Sayısı (Talep Miktarı)	Gönderilen Konteyner Yüzdesi	Normalize Konteyner Sayısı (W)
1	C1	2.519	76,77	0,768
2	C2	405	12,36	0,124

3	C3	88	2,68	0,027
4	C4	75	2,30	0,023
5	C5	45	1,37	0,014
6	C6	41	1,25	0,012
7	C7	32	0,98	0,010
8	C8	22	0,68	0,007
9	C9	22	0,66	0,007
10	C10	20	0,60	0,006
11	C11	12	0,36	0,004
Toplam		3.281	100	1

Geliştirilen ağırlıklı doğrusal programlama modelinin TR61 bölgesi uygulamasına ilişkin çözüm, simplex doğrusal programlama yöntemi kullanılarak Excel Solver aracılığıyla elde edilmiş olup, sonuçlar Tablo 8'de sunulmaktadır. İlgili tabloda, modelin deterministik bir yapıya sahip olması nedeniyle ihracat ülkelerinin talep miktarlarının tamamen karşılandığı ve bu dağılımın maliyet değerinin 7.016.168 \$ olduğu görülmektedir.

Tablo 8. Ağırlıklandırılmış Doğrusal Programlama Modelinin Solver Çözümü

	Ülkeler													
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11			
Önem Ağırlıkları	0,768	0,124	0,027	0,023	0,004	0,012	0,010	0,007	0,007	0,006	0,004			
Gümrükler	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	GM Çıkan Miktar	Arz Miktarı*	
GM1	0	320	0	0	0	0	0	0	0	0	0	320	320	
GM2	1147	0	88	75	16	41	32	22	22	20	12	1474	1526	
GM3	652	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	652	652	
GM4	629	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	629	629	
GM5	89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89	89	
GM6	0	16	0	0	29	0	0	0	0	0	0	45	45	
GM7	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	
GM8	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	17	
GM9	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	
GM10	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	
GM11	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	
GM12	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	
GM13	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	
GM14	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	
GM15	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	
GM16	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
GM17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
GM18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ülke Talebi**	2.519	405	88	75	45	41	32	22	22	20	12	Toplam Arz: 3332		
												Toplam Talep: 3281		
Ağırlıklı Doğrusal Programlama Maliyeti (Zmin)													\$7.016.168	

*Mevcut dönemde gümrük müdürlüklerinden çıkış yapan konteyner sayısı (Arz Kısıtı)

**Mevcut dönemde ülkelere gönderilen konteyner sayısı (Talep Kısıtı)

Tablo 8'deki uygulama sonucunun ve mevcut durumla karşılaştırılabilmesi için Tablo 9'daki mevcut durum maliyeti hesaplanmıştır. Söz konusu tabloda mevcut durum maliyet değerinin \$7.092.140 olduğu

görölmektedir.

Tablo 9. Mevcut Durum

	Ülkeler											Satır Toplamı
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	
Önem Ağırlıkları	0,768	0,124	0,027	0,023	0,004	0,012	0,010	0,007	0,007	0,006	0,004	1
Gümrükler	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	
GM1	0	320	0	0	0	0	0	0	0	0	0	320
GM2	1.454	0	0	1	17	0	19	5	6	0	0	1.501
GM3	457	73	1	54	26	10	2	4	12	0	0	639
GM4	588	0	0	16	2	2	11	0	4	0	0	623
GM5	0	0	87	0	0	0	0	0	0	0	0	87
GM6	0	0	0	0	0	29	1	0	0	0	12	41
GM7	3	0	0	4	0	0	0	13	0	0	0	20
GM8	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
GM9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	11
GM10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3
GM11	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
GM12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5
GM13	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
GM14	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
GM15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GM16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
GM17	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
GM18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sütun Toplamı	2.519	405	88	75	45	41	32	22	22	20	12	3.281
Ülke Talebi	2.519	405	88	75	45	41	32	22	22	20	12	3.281
Mevcut Durum Maliyeti												\$7.092.140

Çalışmada geliştirilen Ağırlıklı Doğrusal Programlama modelinin denizyolu taşımacılık maliyetini mevcut durum maliyetine göre \$75.972 bir başka ifadeyle yaklaşık olarak %1,1 oranında düşürdüğü Tablo 10'da görölmektedir.

Tablo 10. Ağırlıklı Doğrusal Programlama Çözümü ile Mevcut Durum Maliyet Değerlerinin Karşılaştırılması

Ağırlıklandırılmış Doğrusal Programlama Maliyet Değeri(A)	\$7.016.168
Mevcut Durum Maliyet Değeri(B)	\$7.092.140
Kazanç (B-A)	\$75.972

Güzergâh ve ihracat stratejilerinin görece etkinliğini değerlendirmek amacıyla, gümrük müdürlükleri ile ihracat ülkeleri arasındaki denizyolu taşımacılık maliyetlerinin tek hat varsayımı altında “mesafe × birim deniz mili maliyeti” esas alınarak hesaplandığı bu uygulamada, mevcut denizyolu taşıma maliyetlerinin düşürülebilmesi için aşağıdaki işlemlerin yapılması gerekmektedir. Bu işlemler;

- GM1 (Samsun), GM11(Sakarya), GM13(Hopa), GM14(Sarp) ve GM18 (Ambarlı)'deki mevcut durum devam etmelidir.
- GM2 (Aliağa)'den gönderilen 1.501 adet konteyner sayısı 1474'e düşürülerek; 1147 adeti C1(Hindistan)'e, 88 adeti C3 (KKTC)' e, 75 adeti C4(İsrail)'e, 16 adeti C5(Suudi Arabistan)'e, 41 adeti C6(Malezya)'ya, 32 adeti C7(Birleşik Arap Emirlikleri)'ye, 22'şer adet C8(Libya)'e ve C9(Sri Lanka)'a, 20 adet C10(Gürcistan)'a ve 12 adet C11(Ekvator'a gönderilmelidir.
- GM3(Mersin)'den gönderilen konteyner adeti 652'ye çıkarılmalı ve tamamı C1 (Hindistan)' gönderilmelidir.

- GM4(İskenderun)'den gönderilen konteyner sayısı 629'a çıkarılmalı ve tamamı C1(Hindistan)'e gönderilmelidir.
- GM5(Taşucu)'teki konteyner sayısı 89 adete yükseltilmeli ve tamamı C1(Hindistan)'e gönderilmelidir.
- GM6(Derince)'daki konteyner sayısı yükseltilerek 16 adet C2(Rusya Federasyonu)'ye, 29 adet C5(Suudi Arabistan)'e gönderilmelidir.
- GM7(Gemlik)'den çıkış yapan konteyner sayısı korunmalı fakat tamamı C2(Rusya Federasyonu)'ye gönderilmelidir.
- GM8((Dilovası)'den gönderilen 17 adet konteyner C2((Rusya Federasyonu)'ye gönderilmelidir.
- GM9(Bartın)'dan gönderilen 11 adet konteyner C2(Rusya Federasyonu)'ye gönderilmelidir.
- GM 10(Ünye)'dan çıkış yapan 3 adet konteynerin C2(Rusya Federasyonu)'ye gönderilmelidir.
- GM 12(Trabzon)'den çıkış yapan 5 adet konteyner C2(Rusya Federasyonu)'ye gönderilmelidir.
- GM 15(Çeşme)'ten çıkış yapan konteyner adeti 2'ye yükseltilmeli ve tamamı C1(Hindistan)'e gönderilmelidir.
- GM 16(Haydarpaşa)'dan çıkış yapan 1 adet konteyner C2(Rusya Federasyonu)'ye gönderilmelidir.
- GM17(Antalya)'den çıkış yapan 1 adet konteyner C1(Hindistan)'a gönderilmelidir.

5. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, yüksek talep gösteren pazarlara öncelik verilmesine yönelik bir Ağırlıklı Doğrusal Programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model, İBBS Düzey 2 seviyesinde bozulabilir gıda ürünlerinin denizyolu taşımacılık faaliyetlerini optimize ederek denizyolu taşımacılık maliyetlerini minimize etmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda model, Türkiye'nin TR61 bölgesinden denizyolu taşımacılığı ile ihraç edilen yaş meyve ve sebze ürünlerine uygulanarak test edilmiştir. Modelin test edilmesi sürecinde Batı Akdeniz İhracatçılar Birliği'nden temin edilen 2023 yılı verileri ile Excel Solver eklentisinin basit doğrusal programlama çözüm yönteminden yararlanılmıştır

Soğuk zincir ürünlerine yönelik mevcut güzergâhların optimize edilmesi, denizyolu taşımacılık maliyetlerinin düşürülmesine olanak sağlamaktadır (Özkan, 2025). Nitekim bu çalışmanın uygulama sürecinde elde edilen bulgular da söz konusu durumu desteklemektedir.

Bununla birlikte, güzergâh ve ihracat stratejilerinin görece etkinliğini değerlendirmeye odaklanan bu çalışmada, gümrük çıkış noktaları ile ihracat ülkeleri arasındaki soğutuculu konteyner taşıma maliyetleri tek hat esas alınarak “mesafe × birim deniz mili maliyeti” yaklaşımıyla hesaplanmıştır. Bu nedenle elde edilen sonuçların, gerçek piyasa koşullarında değişkenlik gösterebileceği dikkate alınmalıdır. Zira denizyolu taşımacılık maliyetleri; navlun farklılıkları, ekipman maliyetleri, yakıt fiyatlarındaki dalgalanmalar, liman ve terminal elleçleme ücretleri, bekleme süreleri ile soğutuculu konteynerlere ilişkin elektrik bağlantı maliyetleri gibi çok sayıda unsurdan etkilenmektedir.

Bu çalışma; mevcut güzergâhlar dikkate alınarak, yüksek talep gösteren pazarlara öncelik verilmesi ve doğru çıkış noktasından doğru miktarda ürün gönderilmesi durumunda deniz taşımacılık maliyetlerinin düşeceğini ortaya koymaktadır. Bu durum, ürün satış fiyatlarının azalmasını sağlayarak TR61 Bölgesinden ihraç edilen ürünlerin dış pazardaki rekabet gücünü artıracak; böylece bölgelerin ve kurumların ekonomik kaynaklarını daha verimli kullanmalarına ve bölge ihracat hacmi ile gelirlerinde somut bir artış sağlanmasına katkıda bulunacaktır. Söz konusu gelişmeler, öncelikle bölge kalkınmasına ardından ülke kalkınmasına doğrudan katkıda bulunacaktır. Son olarak, çalışma gelecekte bozulabilir gıda ürünleri dışındaki farklı ürün gruplarına da uygulanabilecek şekilde tasarlanabilecektir.

Kaynaklar

Babacan, A. (2015). Services production planning with linear programming model: The case of a SMA. *Erzincan University Journal of Graduate School of Social Sciences*, 8(2), 139–148.

- Batı Akdeniz İhracatçılar Birliği. (2023). İhracat istatistikleri: Ürün grubu ihracat raporu (1 Ocak–31 Aralık). Batı Akdeniz İhracatçılar Birliği. <https://www.baib.gov.tr/tr/online-islemler-ihracat-istatistikleri-mal-grubu-bazinda-ihracat-raporu.html> (Erişim tarihi: 12.02.2025)
- BednBlue. (t.y.). Yelken mesafesi hesaplayıcı. <https://www.bednblue.com.tr/sailing-distance-calculator> (Erişim tarihi: 31.01.2025)
- Bekmezci, M. (2021). Tarım-gıda tedarik zincirinde depolama, Dünder, A. O. (Ed.), *Disiplinler Arası Yaklaşımla Tarım-Gıda Tedarik Zinciri Yönetimi Seçme Yazılar*, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 107–124.
- De, A., Gorton, M., Hubbard, C., & Aditjandra, P. (2022). Optimization model for sustainable food supply chains: An application to Norwegian salmon. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 161, 102723. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102723>
- Dulebenets, M., & Ozguven, E. E. (2017). Vessel scheduling in liner shipping: Modeling transport of perishable assets. *International Journal of Production Economics*, 184, 141–156. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.11.011>
- Filina-Dawidowicz, L., Filin, S., Wojnicz, L., Miłek, D., & Grzelak, P. (2022). Energy-efficient maritime transport of refrigerated containers. *Procedia Computer Science*, 207, 3572–3581. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.09.416>
- Ma, Q., Wang, W., Peng, Y., & Song, X. (2018). An optimization approach to the intermodal transportation network in fruit cold chain, considering cost, quality degradation and carbon dioxide footprint. *Polish Maritime Research*, 25(1), 61–69. <https://doi.org/10.2478/pomr-2018-0007>
- Müstakil Sanayici ve İşadamları Derneği. (2014). *Araştırma raporları: İstanbul lojistik sektör analizi raporu* (Rapor No. 95). https://www.musiad.org.tr/uploads/yayinlar/arastirma-raporlari/pdf/lojistik_sektor_analizi_1_1.pdf (Erişim tarihi: 13.02.2025)
- Ocieczek, A., Pukszta, T., Kaizer, A., & Korzeniowska-Ginter, R. (2024). The optimisation of storage conditions for pomegranate juice during its maritime transport. *Sustainability*, 16(1), 375. <https://doi.org/10.3390/su16010375>
- Özkan, H. (2025). Soğuk Zincir Ürünlerinin Deniz Lojistiğinde Maliyet Optimizasyonu: Batı Akdeniz Bölgesinde Doğrusal Programlama ve En Küçük Maliyet Yöntemi Karşılaştırması. *EKEV Akademi Dergisi* (102), 174-190. <https://doi.org/https://doi.org/10.17753/sosekev.1619890>
- Patır, S. (2007). The primal and dual problem's focuses in linear programming. *Electronic Journal of Social Sciences*, 6(21), 172–191.
- Pérez-Mesa, J., Barranco, C., Giagnocavo, C., & Rubio, J. (2023). Seeking new strategic options for promotion of intermodal transport in perishables: The use of short sea shipping. *Research in Transportation Business & Management*, 50, 101034. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2023.101034>
- Saygınlar Uluslararası Nakliyat ve Lojistik. (t.y.). Dubai konteyner fiyatları. <https://www.sayginlarnakliyat.com/dubai-nakliye> (Erişim tarihi: 03.02.2025)
- Şengül, Ü., Şiraz, S. İ., & Eren, M. (2013). Economic activities of regions of level 2 according to statistical regional units classification (NUTS) in Turkey determining by using DEA and Tobit model application. *Journal of Administrative Sciences*, 11(21), 75–99.
- Tırport. (t.y.). Konteyner ölçüleri. <https://tirport.com/konteyner-olculeri/> (Erişim tarihi: 30.01.2025)
- Timor, M. (2010). *Yöneylem araştırması*. İstanbul, Türkmen Kitabevi.
- Tuljak-Suban, D., & Suban, V. (2015). Influence of transportation mode to the deterioration rate: Case study of food transport by ship. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 9(1), 38–42.
- Türk Standartları Enstitüsü. (t.y.). ATP nedir? <https://www.tse.org.tr/ss/atp-nedir/> (Erişim tarihi: 03.02.2025)
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2015, 02 Ekim). Eşdeğer ortalama hanehalkı kullanılabilir fert geliri, İBBS 2. Düzey, 2014. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/> (Erişim tarihi: 12.02.2025)

- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2022). Bozulabilir gıda maddelerinin taşınmasına ilişkin Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığının kurumsal kapasitesinin güçlendirilmesi: Yol kenarı denetim kılavuzu. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. <https://projectatp.uab.gov.tr/uploads/pages/yayinlar/atp-yol-kenari-denetim-kilavuzu.pdf> (Erişim tarihi: 03.02.2025)
- Worapongpat, N., Wei, Y., & Prompanyo, M. (2020). Route selection of Thai fruit maritime logistics between Thailand and southern China. *Journal of Administrative and Management Innovation*, 8(2), 101-115.
- Yang, M.-F., Kao, S.-L., & Sujanto, R. (2023). The development of the optimal harvesting model of an offshore fishery supply chain based on a single vessel. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(8), 1593. <https://doi.org/10.3390/jmse11081593>
- Yixuan, W., Ya, L., & Nuo, W. (2023). A GIS-based maritime supply chain network design of distant-water fisheries. *Computers and Electronics in Agriculture*, 214(12), 108321. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108321>