

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEDARİK ZİNCİRİNDE SOĞUK ZİNCİR
UYGULAMALARI VE BİR ARAÇ ROTALAMA
PROBLEMİ ÇÖZÜMÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nilay BANAZ

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Gültekin ÇAĞIL

Mayıs 2019

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEDARİK ZİNCİRİNDE SOĞUK ZİNCİR
UYGULAMALARI VE BİR ARAÇ ROTALAMA
PROBLEMİ ÇÖZÜMÜ**

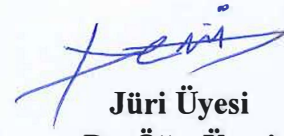
**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Nilay BANAZ**

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 30.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


**Jüri Başkanı
Dr. Öğr. Üyesi
Gültekin ÇAĞIL**


**Jüri Üyesi
Dr. Öğr. Üyesi
Aslan ÇOBAN**


**Jüri Üyesi
Dr. Öğr. Üyesi
H. İbrahim DEMİR**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Nilay BANAZ
26.01.2019



TEŞEKKÜR

Bu tezi yazarken profesyonel çalışma hayatımla beraber tezimi en zorlandığım anlarda bile bırakmadan yazmamı sağlayan, benimle değerli bilgi ve deneyimlerini paylaşan, çalışmamın ilk aşamasından son aşamasına kadar yardımcı olan ve teşvik eden değerli danışman hocam, Gültekin Çağıl Hoca'ya sürekli desteklerinden ve katkılarından ötürü teşekkürü bir borç bilirim. Özellikle bu zor zamanlarda zaman yaratmama yardımcı olan eşime, çalışmalarımızda bana katkı sağlayan en yakın arkadaşım Endüstri Mühendisi Şeyma Çetin'e en içten teşekkürlerimi sunmak isterim.

Bizlerin üzerinde katkısı olan tüm Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Akademik Kadrosu Öğretim Üyeleri'ne ayrıca teşekkür etmek isterim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLOLAR LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1.Tedarik Zinciri Kavramı.....	1
1.2. Soğuk Zincir Kavramı.....	2
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Gıda Güvenliği ve Gıda Sektöründe Soğuk Zincirin Önemi.....	4
2.2. Soğuk Zincirin Korunmasında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar.....	6
2.3. Soğuk Zincir Uygulamaları.....	7
2.3.1 Gıdaların soğukta muhafazası.....	7
2.3.2 Gıdaların dondurarak muhafazası.....	7
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM	8
3.1. Araç Rotalama Problemi.....	8
3.2. Yöntem.....	10
3.2.1. Kullanılan çözüm araçları.....	10
3.2.2. Araç rotalama problemi çözümünde kullanılan yöntemler.....	11

3.2.2.1. Klasik sezgisel yöntemler.....	12
3.2.2.2. Kesin çözüm yöntemleri.....	12
3.2.2.3. Meta sezgisel çözüm yöntemleri.....	12
3.3. Problem Çözümünde Kullanılan Yöntemler.....	14
3.3.1. Clarke & Wright tasarruf algoritması.....	14
3.3.2. Süpürme (sweep) algoritması.....	15
3.3.3. En yakın komşu.....	16
 BÖLÜM 4.	
ARAŞTIRMA BULGULARI	18
4.1. Depo Lokasyonunun Bulunması.....	19
4.2. Kısıtlar.....	20
4.3 Yapılan Varsayımlar.....	20
4.4. Problemin Tasarruf Algoritması ile Çözümü.....	22
4.4.1. Seri tasarruf algoritmasının çözümü.....	23
4.4.2. Paralel tasarruf algoritmasının çözümü.....	25
4.5. Problemin Süpürme Algoritması ile Çözümü.....	27
4.5.1. Saat yönünde çözüm.....	29
4.5.2. Saat yönünün tersine çözüm.....	30
4.6. Problemin En Yakın Nokta Algoritması ile Çözümü.....	32
4.7. Uygun Analiz Türünün Belirlenmesi.....	36
4.8. Anova Yöntemi ile Verilerin İncelenmesi.....	38
 BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE SONUÇ	40
KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ	44

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

C	: Celcius derece
E	: East – Longitude
F	: Tahmini talep miktarı
i	: Müşteri
j	: Yapılan tasarruf
L	: Sipariş miktarı
N	: North – Latitude
θ_i	: Koordinat düzleminde açı derecesi
S_{ij}	: Tasarruf miktarı
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Bir önceki yıl yapılan satış (kg).....	9
Şekil 3.2. Ana depoların koordinatları, enlem ve boylamları.....	10
Şekil 3.3. Tasarrufun Hesaplanması.....	14
Şekil 3.4. Doğrusal düzlemde noktaların gösterimi, saat yönünde.....	15
Şekil 3.5. Doğrusal düzlemde noktaların gösterimi, saat yönünün tersine.....	16
Şekil 3.6. En yakın komşu algoritması.....	17
Şekil 4.1. Türkiye haritasında konumların işaretlenmesi.....	28
Şekil 4.2. Koordinatların doğrusal düzlemde gösterimi.....	28
Şekil 4.3. Koordinatların doğrusal düzlemde gösterimi ve birbirine yakınlığı.....	33
Şekil 4.4. Kolmogorov-Smirnov Testi ile SPSS Uygulaması.....	33
Şekil 4.5. Anova Testi ile SPSS Uygulaması.....	37

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Şehirlerdeki depo lokasyonları ve talep tahminleri.....	9
Tablo 3. 2. Çözüm Araçları.....	11
Tablo 3.3. Çözüm Aşamaları.....	11
Tablo 4.1. Depo yerinin belirlenmesi.....	19
Tablo 4.2. Araç kapasiteleri.....	20
Tablo 4.3. Araç fiyatlandırmaları.....	21
Tablo 4.4. Ana depo ve diğer lokasyonların mesafeler matrisi.....	22
Tablo 4.5. Tasarruf matrisinin oluşturulması.....	22
Tablo 4.6. Ana depo ve lokasyonların koordinatları.....	27
Tablo 4.7. Bulunan Sonuçların Kıyaslama Tablosu.....	35
Tablo 4.8. Bulunan Sonuçların Maliyetlerine Göre Kıyaslama Tablosu.....	35
Tablo 4.9. Kolmogorov-Smirnov Test Sonuçları.....	37
Tablo 4.10. Anova Test Sonuçları.....	38

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Tedarik zinciri, soğuk zincir yönetimi, araç rotalama, süpürme algoritması

Bu çalışma ile endüstride her gün üzerinde çalışılan ve gelişime açık tedarik zincirinde soğuk zincir uygulamaları incelenmiş olup, ötesinde bu çalışma bir araç rotalama problemi ile örneklendirilmiştir. Tedarik zincirinde yapılan iyileştirmelerin şirketlerin bünyesinde bir katkı sağlaması yanı sıra, ürün kalitesinin de bozulmadan son tüketiciye ulaşmasında büyük bir faydası vardır. Bu anlamda yapılan çalışmaların devamlılığı ve endüstride kullanılır hale gelmesi ile kalite algısı artmakta, bu son tüketiciye müşteri memnuniyeti olarak yansımaktadır. Bununla beraber işletmeler için maliyetlerin düşürülmesi söz konusu olduğundan, araç rotalama ile bu maliyetlerin dengelenmesi mümkündür. Bu çalışmada maliyetlerin düşürülmesi için araç rotalama çalışmalarının çözümünde, en yakın komşu, süpürme ve tasarruf algoritması olarak 3 farklı yöntem üzerinden ele alınmıştır.

COLD CHAIN APPLICATIONS IN A SUPPLY CHAIN AND A VEHICLE ROUTING PROBLEM SOLUTION

SUMMARY

Keywords: Supply chain, cold chain management, vehicle routing, sweeping algorithm

In this study, cold chain applications in the supply chain which are worked on everyday in the industry and are open to development are examined and beyond, this study is exemplified by a vehicle routing problem. In addition to contributing to the improvements in the supply chain, the company also has a great benefit in reaching the final consumer without compromising the quality of the products. In this sense, the perception of quality is increased with the continuity of the works carried out and being used in the industry. However, it is possible to balance these costs by means of vehicle routing as the costs for the enterprises are reduced. In this study, in order to reduce the costs, 3 different methods are handled as, the closest neighbor, sweeping and saving algorithm.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Tedarik zincirinde soğuk zincir uygulamaları, sağlık, gıda, ilaç, otomotiv, makine gibi bir çok endüstride kullanılmakla beraber, ürün kalitesini doğrudan etkileyen bir faktördür. Kalite tanım gereği olarak, ürünün fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak hiç bir deformasyona uğramaksızın ilk tasarlandığı gibi müşterilere teslim edilmesidir. Deformasyonun oluşmaması ancak iyi bir tedarik zinciri ile mümkündür.

Tedarik sözcüğü dilimizde; “araştırıp bulma, sağlama ve elde etme” anlamlarını ifade etmektedir (TDK, 2019). Tedarik fonksiyonunun esas amacı, istenilen mekânda ve zamanda üretilen malzeme veya tekrar satılmak üzere edinilen malların eksiksiz ve doğru bir sınıflandırmasının yapılmasıdır (Timur, 1988).

1.1. Tedarik Zinciri Kavramı

Günümüz piyasa koşulları bir işletmenin tek başına var olmasını mümkün kılmamaktadır. Bu piyasa içinde bulunan her işletme bir diğerinin tedarikçisi veya müşterisi durumundadır. Yani bir işletmenin müşterisi diğer bir işletmenin tedarikçisi konumunda olabilmektedir. Bu nedenle tedarikçilerle sağlanan işbirlikleri başarıya giden yolda önemli rol oynayacaktır. Bu bağlamda; tedarik zinciri aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Genç, 2009).

“Tedarik zinciri; ürün veya hizmetlerin ürün yaşam döngü süreçlerini kapsayan ve hammaddeden yola çıkıp son müşterinin eline ulaşana kadar geçen operasyonların, bilgi akışının, fiziksel dağıtımın ve alışverişin bütününe içeren bir sistemdir.”

Yukarıda verilen tanım tedarik zincirini sistem olarak görürken tedarik zincirini ağ olarak gören tanımlar da mevcuttur. Lee ve Billington (1992)’a göre tedarik zinciri,

ürün tedarik aşamalarını kapsayan, tedarik edilen ürünlerin yarı mamule ve bitmiş ürüne çevrildiği, en son aşama olarak tüm ürünleri son müşteriye ulaştıran bir ağı göstermektedir (Elagöz, 2006).

Tedarik zinciri başlı başına detaylı bir operasyon olmasıyla beraber, müşterilerin isteklerini karşılama, gıda güvenliğini sağlama ve ürünleri en iyi kalitede tedarik etme gibi özellikleri karşılayan soğuk zincir uygulamaları ile daha hassas bir operasyon haline gelmektedir. Günümüzde uluslararası gıda taşıyan firmaların varlığı ile, ürünlerin hangi koşullarda ve hangi sıcaklıklarda saklanarak operasyonunun yapılacağı organize edilebilir. Global ticarete, birbirine hizmet veren kuruluşlar arası mesafeler düşünüldüğünde, bu mesafeler sürekli olarak artmaktadır. Bu sebeple kuruluşların büyük markalar haline gelebilmesi için, kuruluşların vereceği tedarik zinciri ile ilgili kararlar büyük önem kazanmıştır (Lopes, 2008). Gıdaların iç dağıtımında tüm kısıtlar göz önünde bulundurularak en düşük maliyetle en kısa zamanda ürünlerin müşterilere sevk edilmesi sağlanır. Birimler arası uzun mesafeler, çevre kirliliğini artırırken, havaya, suya ve ürüne verilen birçok zarar, halk sağlığını da etkilemektedir. Bu sebeple büyük oranda global ticaretler yapan firmaların, tedarik zinciri planlanırken çevreye ve insana en duyarlı opsiyonların seçimi gerekmektedir (Wang, 2011).

Bu bağlamda tedarik zinciri planlanmasında, soğuk zincir uygulamaları günümüzde oldukça değer kazanmış, gıda ve ilaç endüstrisi gibi birçok alanda da tartışmasız en önemli konu haline gelmiştir.

1.2. Soğuk Zincir Kavramı

Günümüzdeki endüstriyel gelişmelerden dolayı, gıda ürünleri farklı derecelerde tutularak son tüketiciye ulaşmaktadır. Burada önemli olan nokta, gereksinim duyulan soğuk zincirin gıdalar için uygun bir şekilde sağlanmasıdır.

Soğuk zincir kısaca, tedarik zincirinde sıcaklık kontrolü demektir. Soğuk zincir hem gıda hem de ilaç sektörü gibi önemli sektörlerde oldukça önemli bir GMP (İyi Üretim Uygulamaları) uygulamasıdır. Soğukta muhafaza edilmesi gereken belli gıdaların

retimden başlayarak, tüketimine kadar bütün proses adımlarında sıcaklık kontrolü yapılması, farklı bir terimle soğuk zincirin kırılmaması gerekir.



BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Gıda Güvenliği ve Gıda Sektöründe Soğuk Zincirin Önemi

Gıda ürünlerinin özelliklerine göre, saklanması gereken sıcaklık dereceleri değişmektedir. Bununla ilgili günlük hayatta karşımıza çıkan market ürünlerinin göz önünde bulundurulabilir. En önemli örneklerden biri, günlük hayatta sıklıkla kullandığımız, süt ve süt ürünleridir. Türk Gıda Kodeksi ‘Çiğ Süt ve Isıl İşlem Görmüş İçme Sütleri Tebliği’ (2000/6)’ya göre bir sütün işlenmesi sırasında;

- Sağımdan üretim tesisine gelinceye kadar
- Üretim tesisi boyunca
- Nakliye, satış ve tüketim boyunca 6°C’yi geçmemelidir.

Yukarıda belirtilen soğuk zincirin herhangi bir yerinde kırılması, istenilen sıcaklık derecelerine uyulmaması halinde, gıda güvenliği geri dönüşüm olmaksızın tehlikeye girer. Bununla ilgili bir örnek vermek gerekirse, pastörizasyon öncesi çiğ sütün tehlikeli sıcaklık bölgesinde tutulması, *Staphylococcus Aureus* mikroorganizmasının gelişmesine, toksin üretmesine ve bu gıdanın tüketilmesiyle zehirlenmeye yol açmaktadır. Aslında ısısal işlem uygulandığında bu bakteri ölmesine rağmen, uygunsuz sıcaklıklarda ortaya çıkan toksinler, ısısal işlemlerle de yok edilemez. Pastörizasyon sonrasında, nakliye, satış ve tüketim aşamasında soğuk zincirin kırılması halinde, canlı kalan *Bacillus Cereus* sporlarının aktif hale gelip üremesine ve toksin oluşması halinde zehirlenmeye sebep olmaktadır.

Bu nedenle iyi bir mühendislik alt yapısıyla, çiftlikten sofraya sütün maruz kaldığı sıcaklık ve sürelerin kontrolüne ve bu kontrollerin kayıtlarına ihtiyaç duyulmaktadır (Gökten ve Tunçel, 2010).

İkinci bir örnek olarak, Türk Gıda Kodeksi ‘Hızlı Dondurulmuş ve Dondurulmuş Gıda Maddelerinin Depolanması, Muhafazası ve Taşınması Esnasındaki Sıcaklıkların İzlenmesi Hakkında Tebliğ’ (2002/7) içindeki bir kaç önemli nokta aşağıdaki gibidir.

- a. Donuk gıda ürünlerinin, fabrikadan bitmiş ürün depolarına, bitmiş ürün depolarından distribütör depolarına, bu noktadan sonra toptan ve perakende satış yapan müşterilere taşınması boyunca soğuk zincirin sağlanması ve kayıt altında tutulması zorunludur.
- b. Sıcaklık takibi sırasında, duyarlılığı yüksek -30°C ile $+30^{\circ}\text{C}$ arasında ölçüme ayarlanmış termometrelerle sürekli olarak kayıtlar tutulmalıdır. Azami olarak bu kayıtlar 1 yıl süre ile saklanmalıdır.
- c. Dağıtım sırasında, frigorifik araçlarla yapılan taşıma boyunca, ortam sıcaklığı en az bir tane kalibresi uygun sıcaklıkta yapılmış termometre ile kontrol edilmelidir. Kullanılan termometre, açılan araç kapılarında hava akımı yönünde konumlandırılmalı ve maksimum yükleme konumundaki sıcaklığı ölçümlemelidir.

Gıda ürünleri kendi yapılarına özel spesifikasyonları nedeniyle, eksi derecelere ulaştığında farklı sıcaklıklarda donarlar. Donmuş gıda ürünleri genellikle -18°C ’nin altında saklanmaktadır. Eğer farklı bir durum söz konusu olursa, bu durum ambalaj üzerinde belirtilmektedir. Uluslararası yönetmeliklerde ise, kısa süre için -15°C ’ye kadar izin verilmektedir. Kullanılan araçlarda ortam sıcaklığı daha yüksek olursa, gıda ürünleri en dış noktadan itibaren çözünmeye başlar. Bu sebeple, depolama ve transport araçları ürünleri dondurmak amacıyla değil, -18°C derecelerinde saklamak amacıyla tasarlanmıştır. Gıda ürünlerini en başta doğru sıcaklıklarda saklamak suretiyle, soğuk zincirin başlatılması mümkündür. Eğer ürünler -18°C ’de değilse, donma işleminin yavaş olmasından dolayı, buz kristalleri oluşur. Oluşan buz kristalleri, ürün yapısının ve kalitesinin bozulmasına neden olur. Donma işleminin yanı sıra, dağıtım sırasında soğuk zincirin birden fazla kırılması da buz kristallerine neden olur. (Gökten ve Tunçel, 2010).

2.2. Soğuk Zincirin Korunmasında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Çabuk bozulabilen gıda ürünleri; örneğin taze et, taze balık, donuk unlu mamuller ve süt ürünleri dayanımı az gıdalardır ve bu gıdaların tedarik zinciri yapılırken her aşamada gerekli özenin gösterilmesi gerekir (Likar ve Jevsnik, 2006). Son tüketiciye kadar gıda ürünleri farklı aşamalardan geçerek, kalitesini korumaktadır. Soğuk zincirde sıcaklığın korunması için, uygun görülen sıcaklık limitlerinin dışına çıkılmaması ve yükleme, boşaltma gibi depolarda yapılan işlemlerin hızlı bir şekilde yapılması gerekir (Bogataj M, Bogatj L. Ve Vodopivec, 2005).

Soğuk zincir genelde transferin yapıldığı noktalarda kırılır. Bu sebeple aşağıdaki aşamalara oldukça dikkat ederek zincirin kopmaması ve gıdaların bozulmaması sağlanabilir.

- a. Depolar arası transfer,
- b. Soğuk depolarda araçların yüklenme aşaması,
- c. Transport aracının satış noktalarına aktarılması,
- d. Satış noktalarının depolarından soğuk ve donuk ürünlerin saklandığı buzdolaplarına aktarılması,
- e. Ürünlerin satın alındıktan sonra son tüketime kadar olan aşaması.

Bu aşamaların hepsi için, kurallar iyi şekilde tanımlanmalı ve herkesin anlayabileceği kolay talimatlar oluşturulmalıdır. Bunun için kurulacak sistemde, sıcaklığın izlenmesi, kayıt altına alınması ve sorumlu personel tarafından talimatlar için tutulan formların imza altına alınması gerekir. Bu zincire dahil olan tüm personeller, soğuk zincir ekibi olarak görülmeli, sorumlu olan her personel ürünleri uygun şekilde, bir sonraki noktaya teslim etmelidir. Değişen personeller olduğunda, mutlaka eğitimlerin tamamlanması gerekir. Sistemdeki bir uygunsuzluk durumunda herkese bilgi verilerek ilerlenmeli ve son karar çıkana kadar bu ürünler satışa konu edilmemelidir.

2.3. Soğuk Zincir Uygulamaları

Tedarik zincirinde yapılan çalışmaların çoğunluğu, ürün muhteviyatından dolayı soğuk zincir uygulamaları ile ilgilidir. Buradan yola çıkarak son zamanlarda uygulanan en iyi yöntemler aşağıdaki gibidir.

2.3.1. Gıdaların soğukta muhafazası

Gıdaların soğukta muhafazası, belirli bir derecede bulunan ortam sıcaklığından farklı olarak daha düşük sıcaklıklarda gıdaların saklanmasıdır. Bu sebeple ortaya çıkan duruma bakıldığında, gıda endüstrisinin yanı sıra farklı bir takım endüstrilerde soğukta muhafaza yöntemi kullanılmaktadır (Özdemir ve Kırmacı, 2006).

2.3.2. Gıdaların dondurarak muhafazası

Donma sıcaklığı, bir gıdanın soğukta muhafaza sıcaklığından daha düşüktür. Donma sıcaklığının üstünde kalan dereceler soğukta muhafaza, donma sıcaklığının altında kalan derecelerde saklama ise, dondurarak muhafaza şeklinde isimlendirilmektedir (Ünlütürk ve Turantas,1999).

Soğuk depolarda gıdalar saklanarak son tüketiciye kalitesi bozulmadan ulaştırılır. Gıda ürünlerinin spesifik özellikleri doğrultusunda, -1°C ile $+14^{\circ}\text{C}$ arasında değişen sıcaklıklarda bulunan saklama koşullarında kalitesini korumaktadır (Özdemir ve Kırmacı, 2006).

Hastalık yapıcı mikroorganizmalar 5°C ve üzerindeki sıcaklıklarda gelişim gösterdikleri için, gıda ürünleri 5°C 'den daha düşük sıcaklıklarda depolanması gerekmektedir. Bu derecenin altındaki sıcaklıklarda gelişim oldukça yavaş olduğu için, doğru sıcaklıkta depolamanın takip edilmesi gerekir. Bu sıcaklık takip sistemi, ancak etkin çalışan bir tedarik zinciri ile mümkündür.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Araç Rotalama Problemi

Bu tez çalışmasında, maliyetler ve talep miktarları göz önünde bulundurularak, 9 farklı lokasyondaki soğuk zincir depolarına, süt içerikli bozulabilen gıda ürünleri teslimatı yapılmaktadır. Bu lokasyonların bulunduğu şehirler aşağıdaki gibidir. Bu şehirlerin seçimi için, satış miktarlarına bakılmış. En fazla satışın olduğu şehirler arasından, ilk 9 şehir seçilmiştir.

- a. Ankara
- b. İstanbul
- c. İzmir
- d. Denizli
- e. Muğla
- f. Antalya
- g. Bursa
- h. Adana
- i. İzmit

Lokasyonlara en uygun uzaklıkta olan depo seçimi yapılacak, bu deponun seçimi sonrası, araç rotaları farklı yöntemlerle oluşturulacaktır.

Araç rotalama problemi için, 3 farklı yöntem kullanılacaktır.

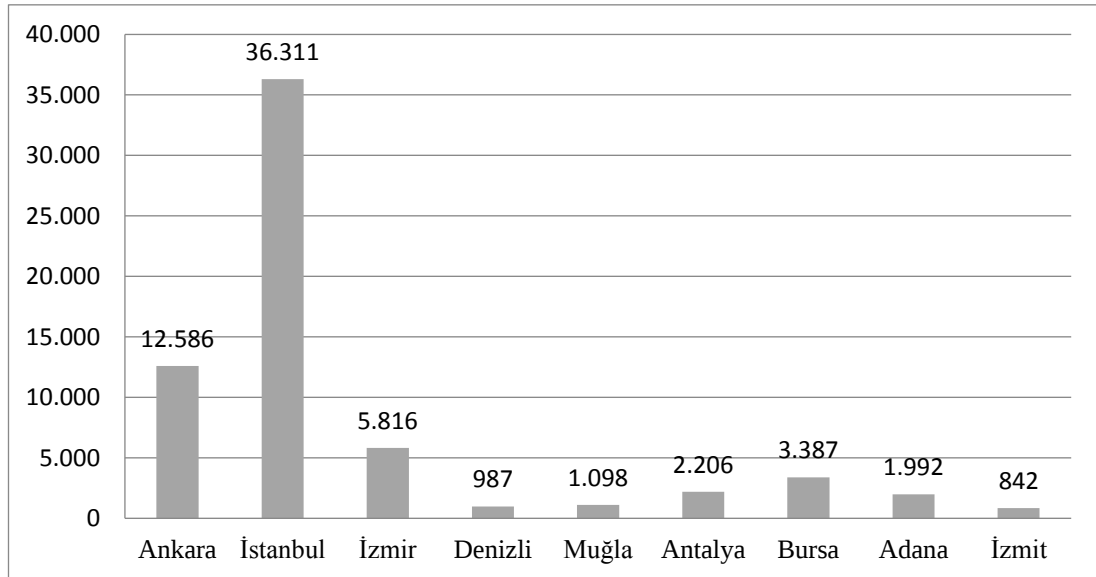
Talep miktarları için bir önceki yılın satışları alınacak ve tahmini talep olarak kullanılacaktır. Burada kullanılan talep tahminleri, Tablo 3.1. üzerinde bulunmaktadır.

Ürün miktarlarında kamyon ve tır hacmi bir kısıt olmakla beraber, km olarak en düşük noktada en iyi çözüm kabul edilecektir.

Tablo 3.1. Şehirlerdeki depo lokasyonları ve talep tahminleri

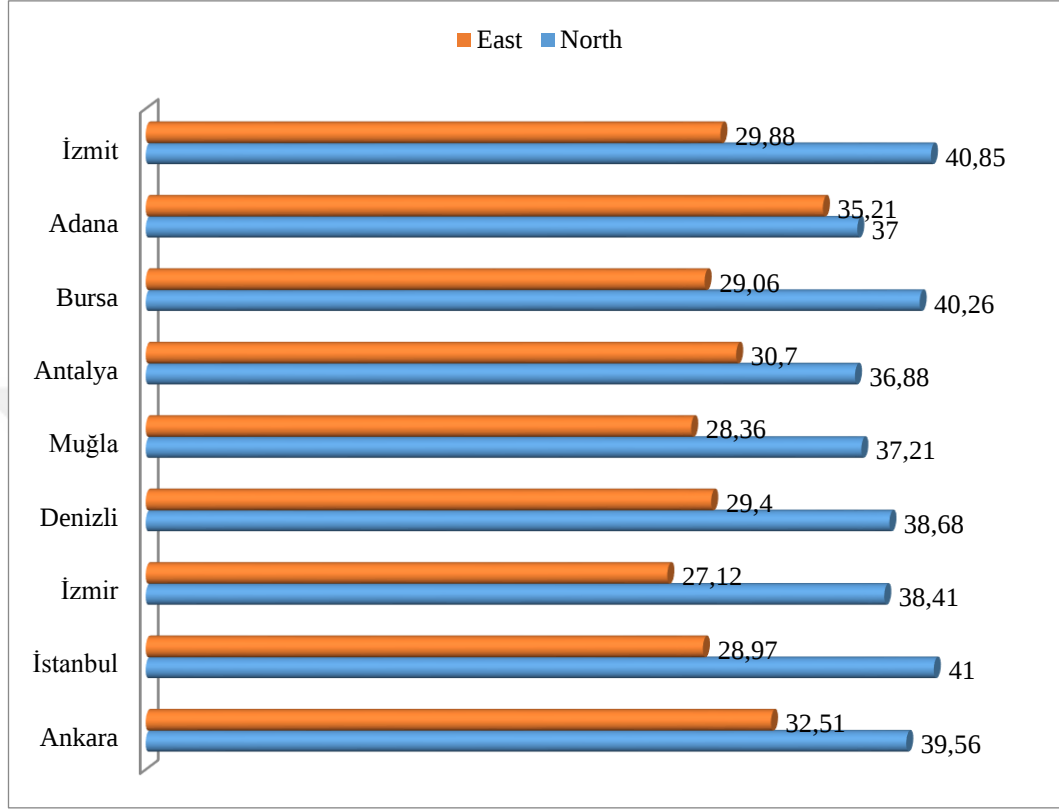
şehirler	koordinat		bir önceki yıl yapılan satış	tahmini talep
	N	E		
Ankara	39,56	32,51	12.586	12.586
İstanbul	41	28,97	36.311	36.311
İzmir	38,41	27,12	5.816	5.816
Denizli	38,68	29,4	987	987
Muğla	37,21	28,36	1.098	1.098
Antalya	36,88	30,7	2.206	2.206
Bursa	40,26	29,06	3.387	3.387
Adana	37	35,21	1.992	1.992
İzmit	40,85	29,88	842	842

En iyi sonuca ulaştıran çözüm yolu ile maliyetlerin dengelenmesi söz konusu olduğu gibi, ürünün kalitesine zarar vermeksizin son tüketiciye gidişi sağlanacaktır.



Şekil 3.1. Bir önceki yıl yapılan satış (kg)

Şekil 3.1 üzerinde bir önceki yıl yapılan satış gösterilirken, Şekil 3.2 üzerinde ana depoların koordinatları, enlem ve boylamlar alınarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Ana depoların koordinatları, enlem ve boylamları

3.2.Yöntem

3.2.1. Kullanılan çözüm araçları

Bu çalışmada kullanılacak yöntemler aşağıdaki tabloda bulunmaktadır. Bu çalışma için seçilen yöntemlerin neden seçildiğiyle ilgili bilgi, yöntemleri açıklarken ayrıca belirtilecektir. İlk olarak deponun lokasyonu, teslim noktalarına göre en iyi koordinatlar seçilerek belirlenecektir. Sonrasında sırayla, tasarruf algoritması, süpürme algoritması ve en yakın komşu metodu ile problem ele alınacaktır.

Tablo 3.2. Çözüm Araçları

Çözüm Aşamaları	Yapılan İş	Çözüm Aracı
1	Depo noktalarının tespiti	Ağırlık Merkezi Yöntemi
2	Problemın Tasarruf Algoritması ile Çözümü	Tasarruf Algoritması
4	Problemın Süpürme Algoritması ile Çözümü	Sweep Algoritması
5	Problemın En Yakın Nokta ile Çözümü	EYK Metodu

Tablo 3.3. Çözüm Aşamaları

Aşamalar
Depo Lokasyonunun Bulunması
Problemın Tasarruf Algoritması ile Çözümü
Problemın Süpürme Algoritması ile Çözümü
Problemın En Yakın Nokta Algoritması ile Çözümü
Çözümlerin Kıyaslanması ve Sonuca Ulaşılması

3.2.2. Araç rotalama problemi çözümünde kullanılan yöntemler

Araç rotalama problemleri üzerinde uzun yıllardır çalışılmaktadır. İlk model ve algoritma 1959'da Dantzig ve Ramser tarafından önerilmiştir. O zamandan günümüze kadar yüzlerce model ve algoritma çalışılmıştır (Toth P, Vigo D., 2002).

Araç Rotalama Problemlerinin çözümlerinde kullanılacak yöntemler, klasik sezgisel, kesin çözüm ve meta sezgiseller olarak 3 grupta incelenmektedir.

İlk grup olan, klasik sezgisel yöntemleri aşağıdaki gibidir.

3.2.2.1. Klasik sezgisel yöntemler

- a. Dantzig ve Ramser'in Yöntemi
- b. Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması
- c. En Yakın Komşu Metodu
- d. 2-Opt Algoritması
- e. 3-Opt Algoritması
- f. K-Opt Algoritması
- g. Lin-Kemighan Algoritması
- h. Süpürme Algoritması
- i. Fisher ve Jaikumar Algoritması
- j. Christofides, Mingozzi ve Toth Algoritması
- k. Geliştirilmiş Petal Sezgiseli

Diğer yöntemlere baktığımızda, kesin ve meta sezgisel yöntemlerin sınıflandırılması aşağıda verildiği gibidir.

3.2.2.2. Kesin çözüm yöntemleri

- a. Kesme Düzlemi
- b. Dal ve Sınır Algoritması
- c. Dal ve Kesme Algoritması
- d. Dinamik Programlama

3.2.2.3. Meta sezgisel çözüm yöntemleri

- a. Yapay Arı Kolonisi
- b. Karınca Kolonisi
- c. Parçacık Sürü Optimizasyonu
- d. Tabu Arama
- e. Genetik Algoritma
- f. Benzetilmiş Tavlama

Kesin çözüm yöntemleri, problemleri çözerken bizi en doğru sonuca ulaştırır. Bu yönüyle ilgi çekici olmasına rağmen, birden farklı değişkenli problemlerde, çözüm karmaşıklaşır ve zaman açısından diğer yöntemlere kıyasla daha uzun zaman alarak sonuca ulaştırır. Genellikle daha küçük ve orta seviyedeki problemlerin çözümünde kullanılır. Bu yönünden dolayı araç rotalama problemlerini tam anlamıyla çözen bir kesin çözüm yöntemi yoktur (Ropke,2005) (Kumar, 2012).

Meta sezgisel çözüm yöntemlerinde oldukça karmaşık ve çok adımlı problemler çözümlenebilir. Çok fazla değişkeni olmasına rağmen, en yakın çözüme kısa sürede ulaştırabilir. Son yıllarda oldukça gelişmiş olup, doğadaki olaylardan yola çıkarak bir çözüm yolu sunar. Klasik sezgisellere kıyasla, alt seviyelerdeki adımları da inceleyebildiği için, çözüm uzayında geniş bir alanda en iyi çözümün verilmesine izin verir (Şahin ve Eroğlu, 2014), (Cordeau, 2002).

Fazla sayıda değişkene sahip problemlerin çözümünde kullanılan en iyi yöntem, aslında bütün kombinasyonları deneyerek çözüme ulaşmaktır. Ne yazık ki zaman kısıtı ve problemlerin karmaşıklığı yüzünden bu metot uygulanamayacağı için, en çok kullanılan yöntemler, klasik sezgisel yöntemlerdir. Klasik yöntemlere kıyasla daha hızlı sonuç vermeleri ve olası çözüme en yakın çözümü verdikleri için tercih edilmektedirler (Cordeau, 2002), (Bozyer, 2014). Klasik yöntemler; tur kurucu sezgisel yöntemler, tur geliştirici sezgisel yöntemler ve iki aşamalı yöntemler olarak 3 grup içinde incelenebilir.

Bir şirketin tedarik zincirinde kullanılacak yöntemlerde, zaman kısıtı nedeniyle kesin yöntemler kullanılmazken, en yakın kabul edilebilir sonuca ulaştırdığı için genellikle klasik sezgisel yöntemler kullanılır. Bu çalışmada bir şirketin soğuk zincir ürünleri için yapılan hesaplamalarda en kısa sürede teslimata uygun olması için, klasik sezgisel yöntemlerden 3 farklı yöntem ile problem ele alınacaktır.

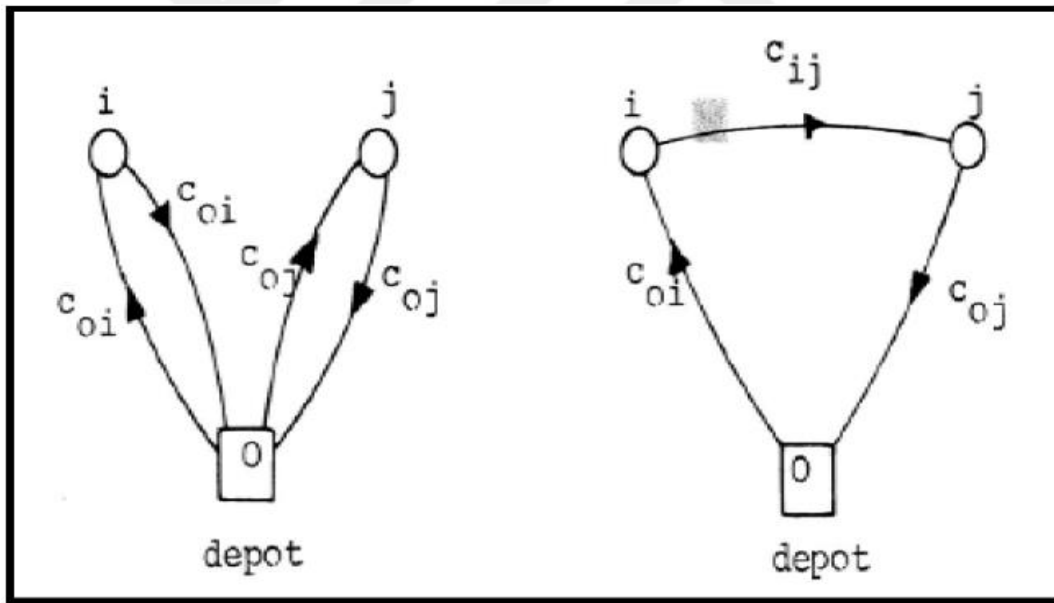
Kısa bir zaman zarfında ürünlerin soğuk zincirle gerekli yerlere teslimatların yapılması için, araç rotalama yöntemleri ile çalışarak en kısa rotayı maliyetleri dikkate alarak çözümleyecek, aşağıdaki yöntemler kullanılmıştır.

3.3. Problem Çözümünde Kullanılan Yöntemler

3.3.1. Clarke & Wright tasarruf algoritması

Bu yöntem, ilk olarak problem çözümünü ortaya çıkaran Dantzig ve Ramser'in yöntemlerinden türetilerek başka bir yöntem haline gelmiştir. Tur kurucu sezgisel yöntemler arasında en çok tercih edilendir.

Yöntem her bir noktanın ziyaretinden sonra tekrar ana depoya dönülmesi yerine, 2. Bir noktaya giderek tasarruf sağlar. Noktalar bu şekilde birleştirilerek, tüm kısıtlar dahilinde, güzergahını tamamlanması beklenir. Noktaların birleştiği durumda tasarruf ortaya çıkar. Şekil 3.3.'te özetlendiği gibi, 2 nokta arasındaki farkla başlar ama yöntem tüm güzergâhlara dağıtılır.



Şekil 3.3. Tasarrufun Hesaplanması

$$S_{ij} = (c_{oi} + c_{io} + c_{oj} + c_{jo}) - (c_{oi} + c_{ij} + c_{jo}) \quad (3.1)$$

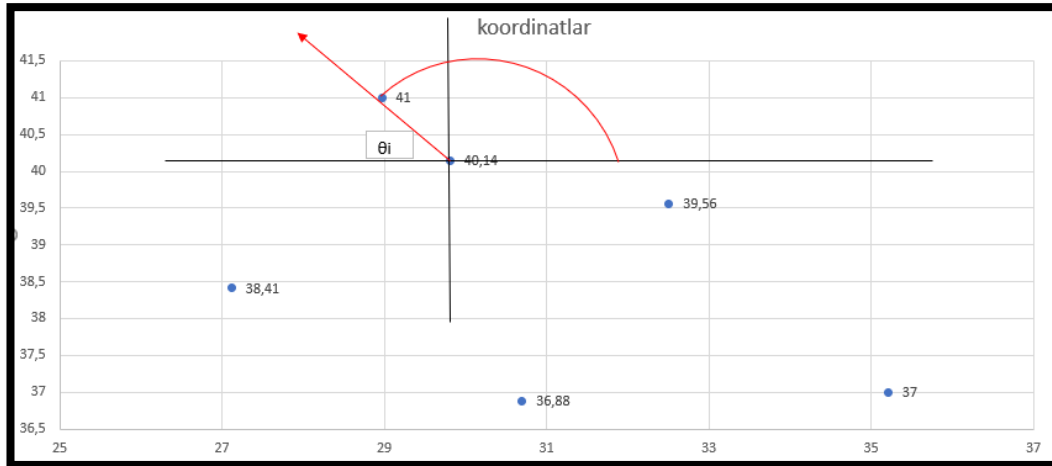
$$S_{ij} = c_{io} + c_{oj} - c_{ij} \quad (3.2)$$

Birinci denklemde tasarruf miktarı (S_{ij}), i müşteri ve j yapılan tasarruftur. Bu tasarruf iki noktanın birleşimi ile oluşur. Bu yöntemde, en büyük tasarrufu sağlayan adımdan başlanarak rota oluşturulur.

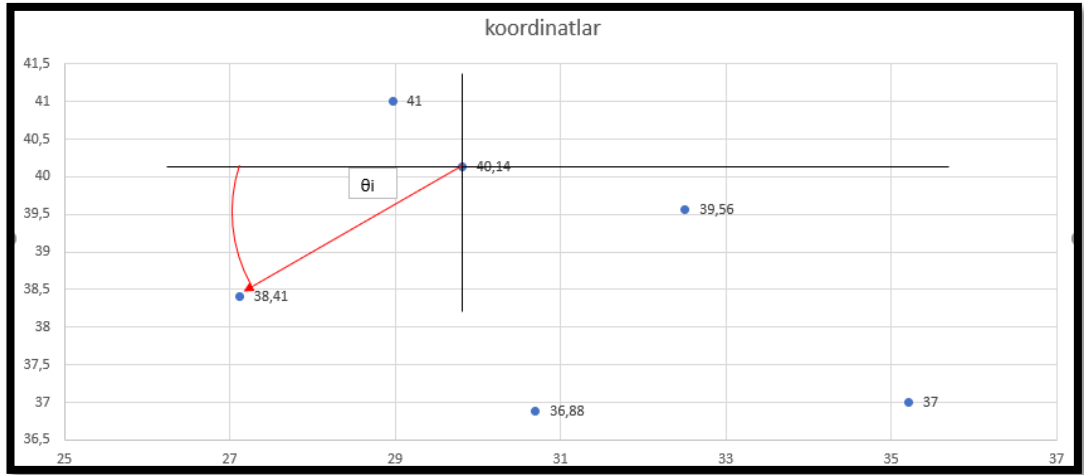
Bu yöntemde, farklı 2 adet algoritma çeşidi bulunur. Yöntemlerden biri sıralı, diğeri paralel rotalı yapıya sahiptir. İki yöntem arasında seçim yapılacak olursa, paralel olan yapı daha iyi sonuçlar vermektedir (Clarke ve Wright, 1964).

3.3.2. Süpürme (sweep) algoritması

Bu yöntem 1974'te Gillet ve Miller tarafından ortaya çıkarılmıştır. Diğer yöntemlerden farklı olarak, iki aşamalı olarak en uygun sonuca ulaştırır. Düzlemsel örneklemelerde oldukça yaygın kullanılmaktadır. Depo lokasyonu başlangıç noktası kabul edilmektedir, bir sonraki aşama ise, θ_i açısıyla doğrusal düzlemde en dar açığı depoya göre sağlayan noktanın seçimidir. Açılara göre rotasyon oluşturulduktan sonra, kapasiteye göre tüm düzlemsel alan taranarak yeni bir güzergâh oluşturulur. Şekil 3.4. ve 3.5.'te görüldüğü gibi bu aşamaları iki farklı şekilde sağlar.



Şekil 3.4. Doğrusal düzlemde noktaların gösterimi, saat yönünde



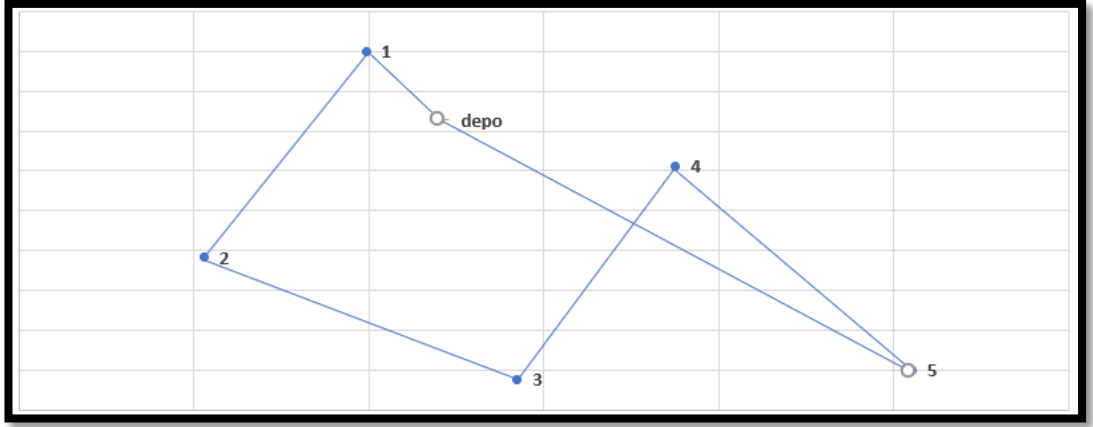
Şekil 3.5. Doğrusal düzlemde noktaların gösterimi, saat yönünün tersine

Birinci aşama saat yönünde olup, ikinci aşama saat yönünün tersine bir güzergâh oluşturur. Bu iki çözüm yolundan en uygun olanı, çözüm olarak kabul edilir (Nurcahyo, 2002).

3.3.3. En yakın komşu

Sıklıkla kullanılan bu metot, Bellmore ve Nemhauser (1966) tarafından ortaya çıkarılmıştır. Gezgin Satıcı Yöntemi için geliştirilmiştir (Flood, 1956). Bu metotta, başlangıç yönü olarak, depodan en yakın noktaya hareket edilir. Takip eden adımlarda bir sonraki en yakın noktaya hareket edilerek güzergâh tamamlanır. Turun sonunda tekrar depoya geri dönülür. Kısıtlar düşünülerek, tekrar eklenecek bir nokta bulunmadığı zaman, başlangıç noktasına gelinir ve yeni bir güzergâh oluşturmaya başlanır (Solomon, 1987).

Bu algoritma için basit bir örnek aşağıda Şekil 3.6. ile gösterilmiştir.



Şekil 3.6. En yakın komşu algoritması

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Araç rotalama problemlerinde örnek olarak ele aldığımız problemin farklı çözüm yolları tespit edilip, bu cevaplar kendi arasında karşılaştırılarak değerlendirilecektir. Bu çalışmada maliyetler ve talep miktarları ele alınarak problem, 3 farklı yöntemle çözülmüştür. Problemden 9 farklı lokasyondaki soğuk zincir depolarına, ana depoyu başlangıç noktası olarak, ürün teslimatı yapılmaktadır. Ürün miktarlarında kamyon ve tır hacmi bir kısıt olmakla beraber, km olarak en az olan rotada en iyi çözüm ortaya çıkmaktadır.

Genellikle Hızlı Tüketim Ürünleri Sektörü'nde ön tahminler, bir önceki yılın satış miktarları baz alınarak yapılmaktadır. Şehirlerin tahmini talep miktarları için, Tablo 3.1.'de görüldüğü gibi, bir önceki yılın satışları kullanılmıştır.

Tablo 3.1. Şehirlerdeki depo lokasyonları ve talep tahminleri

Şehirler	Koordinat		Bir önceki yıl yapılan satış	Tahmini talep
	N	E	L (kg)	F (kg)
Ankara	39,56	32,51	12.586	12.586
İstanbul	41	28,97	36.311	36.311
İzmir	38,41	27,12	5.816	5.816
Denizli	38,68	29,4	987	987
Muğla	37,21	28,36	1.098	1.098
Antalya	36,88	30,7	2.206	2.206
Bursa	40,26	29,06	3.387	3.387
Adana	37	35,21	1.992	1.992
İzmit	40,85	29,88	842	842

4.1. Depo Lokasyonunun Bulunması

Özellikle satış miktarlarına göre ağırlık merkezi uygulaması ile koordinasyonları ve satış miktarları göz önünde bulundurularak aşağıdaki çözüm geliştirilmiştir.

Tablo 4.1.'de bulunan depoların koordinat düzlemindeki yerleri ve sipariş tahminleri kullanılarak, ağırlıklı ortalama ile çözüme gidilmiştir.

Problem için yapılan hesaplamalar Tablo 4.1.'e eklenmiştir.

Tablo 4.1. Depo yerinin belirlenmesi

Şehirler	L (kg)	N	E	L.N	L.E
Ankara	12.586	39,56	32,51	497902,16	409170,86
İstanbul	36.311	41	28,97	1488751	1051929,67
İzmir	5.816	38,41	27,12	223392,56	157729,92
Denizli	987	38,68	29,4	38177,16	29017,8
Muğla	1.098	37,21	28,36	40856,58	31139,28
Antalya	2.206	36,88	30,7	81357,28	67724,2
Bursa	3.387	40,26	29,06	136360,62	98426,22
Adana	1.992	37	35,21	73704	70138,32
İzmit	842	40,85	29,88	34395,7	25158,96
Toplam	65.225	350	271	2614897,06	1940435,23

Depo Konumu :

$$N = \frac{\sum L.N}{L} = \frac{2614897,06}{65225} = 40,09$$

$$E = \frac{\sum L.E}{L} = \frac{1940435,23}{65225} = 29,74$$

Depo Koordinat Noktaları: N: 40,09041104; E: 29,74986938

Konum noktalarına göre deponun konumu; Bilecik Merkez /Kavaklı Köyü'dür.

4.2. Kısıtlar

Frigorifik transport araçları genellikle sektörde zor bulunan ve ürün dolum işleminin tam kapasite yapılması tercih edilen araçlardır. Bu sebeple kapasiteleri gidilecek depoların ihtiyaç miktarlarıyla tamamen doldurulmaya çalışılır. Kullanılan ilk kısıt ürünleri taşımak için gereken, soğuk zincirin kırılmamasını sağlayan tır ve küçük kamyon kapasiteleridir. Tablo 4.2.'de görülen kapasiteler, problem çözerken ele alınacaktır.

Tablo 4.2. Araç kapasiteleri

	Tır (kg)	Kamyon (kg)
Kapasiteler	24000	18000

4.3. Yapılan Varsayımlar

Ele alınan araç rotalama probleminde tahmini ürün miktarı, önceki yılın satışlarına paralel olarak yapılmış olup, mevsimsel değişikliklerden etkilenmeyecek şekilde ortalama haftalık miktar alınarak hesaplanmıştır. Burada sezonsal dağılım, şekerli atıştırmalık soğuk ürünün yazın daha çok tercih edilmesine rağmen, dondurma satışlarından etkilenmesi nedeniyle önemsenmemektedir. Yıl boyu ortalama alınarak probleme yansıtılmıştır.

Özellikle parsiyel dağıtım yapan transport firmalarında, frigorifik araçlar birden fazla şirketin ürünlerini taşımaktadır. Problemde ise, toplam kapasiteyi araç rotalama problemine yansıtmak için, sadece tek firmanın ürünlerini götürecek şekilde problem ele alınmıştır.

Yolun en kısa oluşuna göre en iyi çözüme odaklanılmış, yolun koşullarından veya mevsim sıcaklıklarından kaynaklı bir değişim yol masraflarına yansıtılmamıştır.

Yapılacak hesaplamalar düşünüldüğünde, maliyetler için aşağıdaki ortalama hesaplamalar ile Tablo 4.3 oluşturulmuştur.

Tablo 4.3. Araç fiyatlandırmaları

	Tır (tl)	Kamyon (tl)
Fiyatlandırma	2.065,07	1.688,89

Çıkan sonuçlara göre rotalar oluşturulduktan sonra, maliyetleri hesaplanacaktır. En kısa yola göre alınan sonuç, en iyi çözüm olarak kabul edilecektir.



4.4. Problemin Tasarruf Algoritması ile Çözümü

Depoyu başlangıç noktası olarak kabul ederek, mesafeler matrisi oluşturulur. Tablo 4.4.'te depodan uzaklıklar gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Ana depo ve diğer lokasyonların mesafeler matrisi

	Bilecik	Ankara	İstanbul	İzmir	Denizli	Muğla	Antalya	Bursa	Adana	İzmit
Bilecik	0	318	243	436	373	484	478	97	754	181
Ankara	318	0	449	585	467	604	486	388	501	350
İstanbul	243	449	0	469	602	680	695	153	932	103
İzmir	436	585	469	0	267	211	457	330	896	451
Denizli	373	467	602	267	0	137	222	437	736	513
Muğla	484	604	680	211	137	0	303	544	851	664
Antalya	478	486	695	457	222	303	0	549	607	618
Bursa	97	388	153	330	437	544	549	0	807	133
Adana	754	501	932	896	736	851	607	807	0	851
İzmit	140	350	103	451	513	664	618	133	851	0

$S_{ij} = C_{0i} + C_{0j} - C_{ij}$ denkleminde göre, oluşturulan matris Tablo 4.5.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Tasarruf matrisinin oluşturulması

	Ankara	İstanbul	İzmir	Denizli	Muğla	Antalya	Bursa	Adana	İzmit
Ankara	0	112	169	224	198	310	27	571	149
İstanbul		0	210	14	47	26	187	65	321
İzmir			0	542	709	457	203	294	166
Denizli				0	720	629	33	391	41
Muğla					0	659	37	387	1
Antalya						0	26	625	41
Bursa							0	44	145
Adana								0	84
İzmit									0

Rotalar oluşturulurken matrise göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılır. Burada rakamlar matristeki farkların büyükten küçüğe sıralanması ile oluşturulur. Başlangıçtaki rotada

kapasite dolana kadar, bir lokasyon daha eklenerek devam edilir. Kapasitenin dolduğu noktada, farklı bir araç ile devam edilmektedir.

4.4.1. Seri tasarruf algoritmasının çözümü

Araç 1:

Mesafe	Rota	Kapasite (kg)
720	Denizli-Muğla	2.087
709	Denizli-Muğla-İzmir	7.901
659	Rota mümkün değil	
629	Rota mümkün değil	
625	Antalya-Adana	
571	Antalya-Adana-Ankara	
542	Rota mümkün değil	
457	Denizli-Muğla-İzmir-Antalya	10.107
391	Rota mümkün değil	
387	Rota mümkün değil	
321	Rota mümkün değil	
310	Denizli-Muğla-İzmir-Antalya-Ankara	22.693

1. tır kapasitesi; 22.693 kg

1. rota km : $373+1291+318 = 1982$ km

İstanbul kapasitesi bir tır aştığı için ikinci araç sadece İstanbul'a sevk edilecektir.

Araç 2:

Mesafe	Rota	Kapasite (kg)
243	İstanbul-Bilecik	24.000

2. tır kapasitesi; 24.000 kg

2.rota km : $243+243 = 486$ km

Araç 3:

Mesafe	Rota	Kapasite (kg)
294	Rota mümkün değil	
224	Rota mümkün değil	
210	Rota mümkün değil	
203	Rota mümkün değil	
198	Rota mümkün değil	
187	İstanbul-Bursa	15.698
169	Rota mümkün değil	
166	Rota mümkün değil	
149	Rota mümkün değil	
145	İstanbul-Bursa-İzmit	16.540
112	Rota mümkün değil	
84	İstanbul-Bursa-İzmit-Adana	18.532
65	Rota mümkün değil	
47	Rota mümkün değil	
44	Rota mümkün değil	

3. tır kapasitesi; 18.532 kg

3.rota km : $= 486+ 153+133+851= 1623$ km

Toplam km : 4091 km

Araç Sayısı : 3 tır

4.4.2. Paralel tasarruf algoritmasının çözümü

Bir üstteki çözümden farklı olarak, gidilemeyen noktalar için diğer rotalara eş zamanlı olarak bakılmaktadır.

Araçlar:

Mesafe	Rota	Kapasite (kg)
720	Denizli-Muğla	2.087
709	Denizli-Muğla-İzmir	7.901
659	Rota mümkün değil	
629	Rota mümkün değil	
625	Antalya-Adana	4.198
571	Antalya-Adana-Ankara	16.784
542	Rota mümkün değil	
457	Rota mümkün değil	
391	Rota mümkün değil	
387	Rota mümkün değil	
321	İstanbul-İzmit	37.153
310	Rota mümkün değil	
294	Rota mümkün değil	
224	Rota mümkün değil	
210	Rota mümkün değil	
203	Denizli-Muğla-İzmir-Bursa	11.288
198	Rota mümkün değil	
187	Rota mümkün değil	
169	Rota mümkün değil	
166	Rota mümkün değil	

149	Rota mümkün değil
145	Rota mümkün değil
112	Rota mümkün değil
84	Rota mümkün değil
65	Rota mümkün değil
47	Rota mümkün değil
44	Rota mümkün değil

1.kamyon kapasitesi; 11.288 kg

1.rota km : $373+775 = 1148$ km

2.kamyon kapasitesi; 16.784 kg

2.rota km : $478 + 1586 = 1904$ km

İstanbul kapasitesi bir tır aştığı için üçüncü araç sadece İstanbul'a sevk edilecektir.

3. tır kapasitesi; 24.000 kg

3.rota km : $243+243 = 486$ km

4.kamyon kapasitesi; 13.153 kg

4.rota km : 486 km

Toplam km : 4024 km

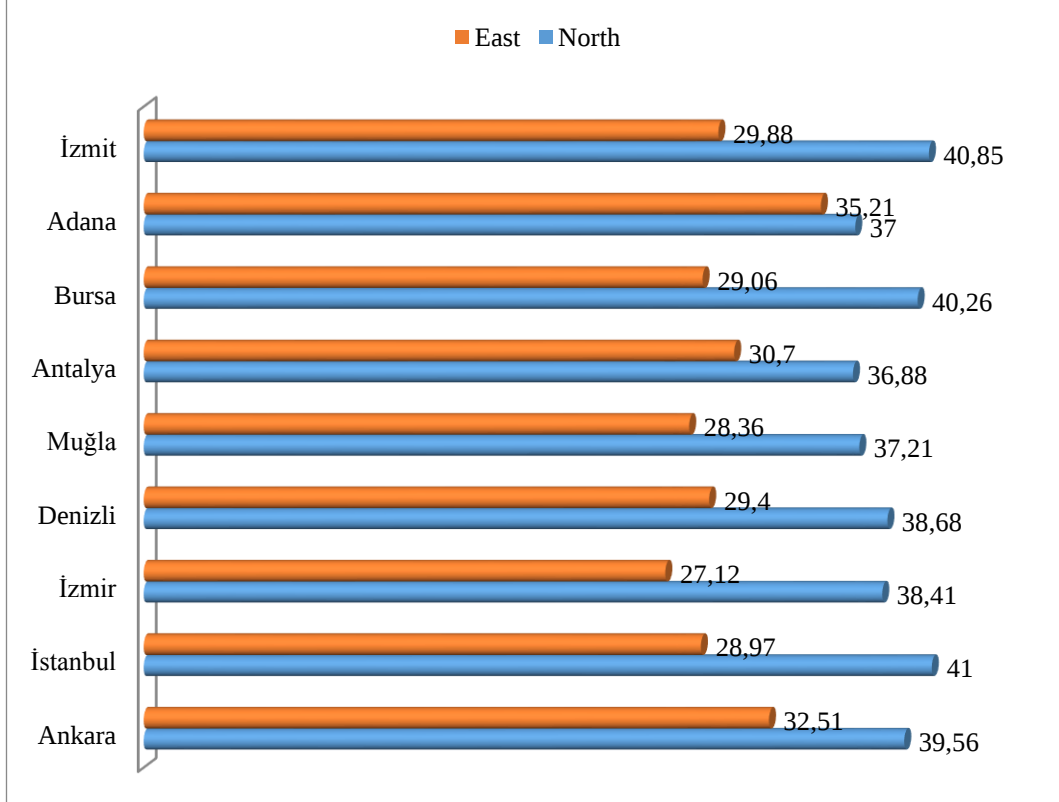
Araç Sayısı : 3 kamyon + 1 tır

4.5. Problemin Süpürme Algoritması ile Çözümü

Doğrusal düzlemde koordinatları yerleştirerek çözüme ulaşılır. Tablo 4.6.'da verilen koordinatlarla bu işlem yapılır.

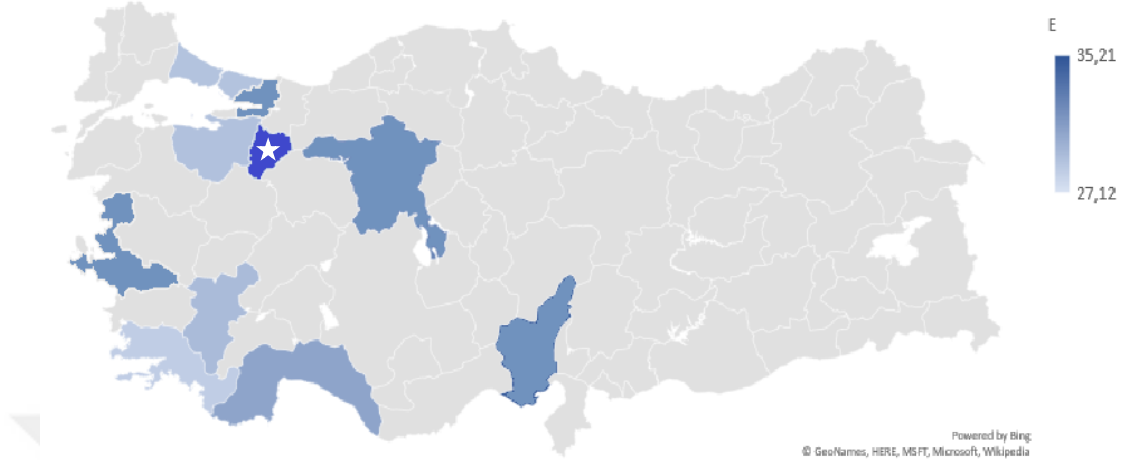
Tablo 4.6. Ana depo ve lokasyonların koordinatları

Şehirler	N	E
Ankara	39,56	32,51
İstanbul	41	28,97
İzmir	38,41	27,12
Denizli	38,68	29,4
Muğla	37,21	28,36
Antalya	36,88	30,7
Bursa	40,26	29,06
Adana	37	35,21
İzmit	40,85	29,88
Bilecik	40,09	29,74



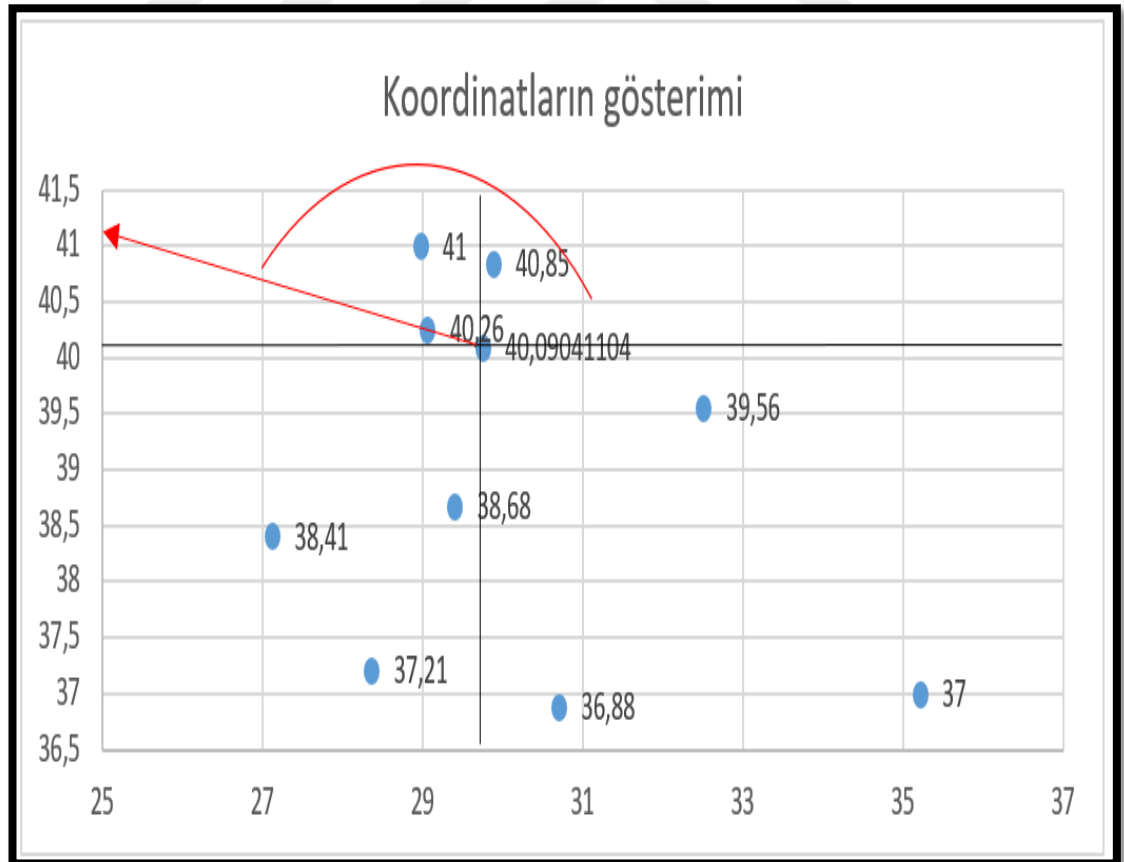
Şekil 3.2. Ana depoların koordinatları, enlem ve boylamları

Bu depo koordinatları Excel’de girildiğinde aşağıdaki Türkiye Haritası ortaya çıkmaktadır. Depo lokasyonu ve diğer lokasyonlar, Şekil 4.1.’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Türkiye haritasında konumların işaretlenmesi

Daha sonrasında doğrusal düzlemde noktalar gösterilerek çözüme başlanır.



Şekil 4.2. Koordinatların doğrusal düzlemde gösterimi

4.5.1. Saat yönünde çözüm

Araç 1:

Mesafe	Rota	Kapasite (kg)
97	Bilecik-Bursa	3.387
153	Bursa-İstanbul	12.311
103	İstanbul-İzmit	842
140	İzmit-Bilecik	

1.kamyon kapasitesi; 16.540 kg

1.rota km : $97 + 396 = 493$ km

İstanbul'un kalan 24.000 kg'lık ürünü ikinci araç olarak düşünülecektir.

Araç 2:

Mesafe	Rota	Kapasite (kg)
243	Bilecik-İstanbul	24.000
243	İstanbul-Bilecik	

2. tır kapasitesi; 24.000 kg

2. rota km : $243 + 243 = 486$ km

Araç 3:

Mesafe	Rota	Kapasite (kg)
318	Bilecik-Ankara	12.586
501	Ankara-Adana	1.992
607	Adana-Antalya	2.206

222	Antalya-Denizli	987
137	Denizli-Muğla	1098
484	Muğla-Bilecik	

3. tır kapasitesi; 18.860 kg

3. rota km : $318+1951 = 2269$ km

Bir sonraki şehir siparişi tır kapasitesini aşacağından son kalan şehire başka bir araç gönderilecektir.

Araç 4:

Mesafe	Rota	Kapasite (kg)
436	Bilecik-İzmir	5.816
436	İzmir-Bilecik	

4. kamyon kapasitesi; 5.816 kg

4. rota km : $436+436 = 872$ km

Toplam km : 4120 km

Araç Sayısı : 2 kamyon + 2 tır

4.5.2. Saat Yönünün Tersine Çözüm

Araç 1:

Mesafe	Rota	Kapasite (kg)
436	Bilecik-İzmir	5.816
211	İzmir-Muğla	1.098
137	Muğla-Denizli	987

222	Denizli-Antalya	2.206
607	Antalya-Adana	1.992
754	Adana-Bilecik	

1.kamyon kapasitesi; 12.099 kg

1.rota km : 436 +1931 = 2367 km

Araç 2:

Mesafe	Rota	Kapasite (kg)
318	Bilecik-Ankara	12.586
350	Ankara-İzmit	842
140	İzmit-Bilecik	

2. kamyon kapasitesi; 13.428 kg

2.rota km : 318+490 = 808 km

İstanbul'a ilk olarak 24.000 kg'lık ürünü için üçüncü araç gönderilecektir.

Araç 3:

Mesafe	Rota	Kapasite (kg)
243	Bilecik-İstanbul	24.000
243	İstanbul-Bilecik	

3. tır kapasitesi; 24.000 kg

3. rota km : 243+243 = 486 km

Araç 4:

Mesafe	Rota	Kapasite (kg)
243	Bilecik-İstanbul	12.311
153	İstanbul-Bursa	3.387
97	Bursa-Bilecik	

4. kamyon kapasitesi; 15.698 kg

4. rota km : $243+250 = 493$ km

Toplam km : 4154 km

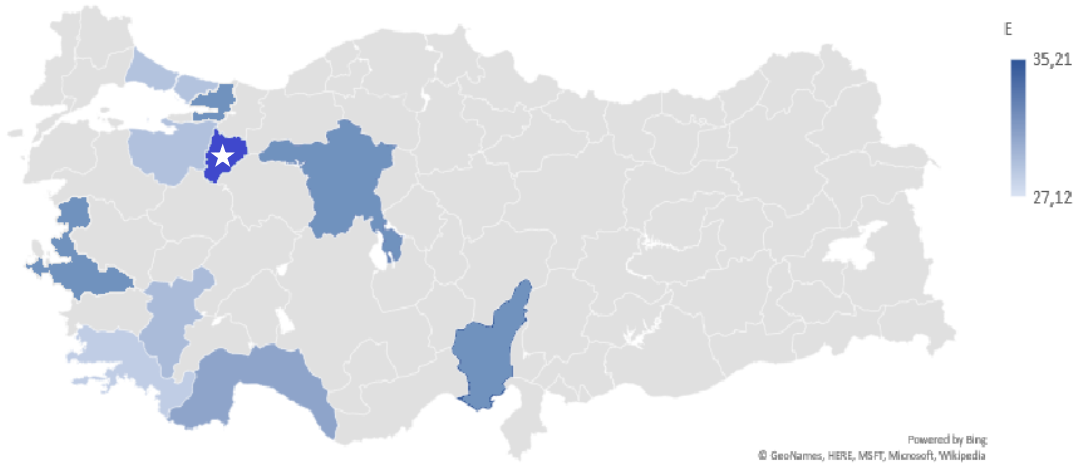
Araç Sayısı : 3 kamyon + 1 tır

4.6. Problemin En Yakın Nokta Algoritması ile Çözümü

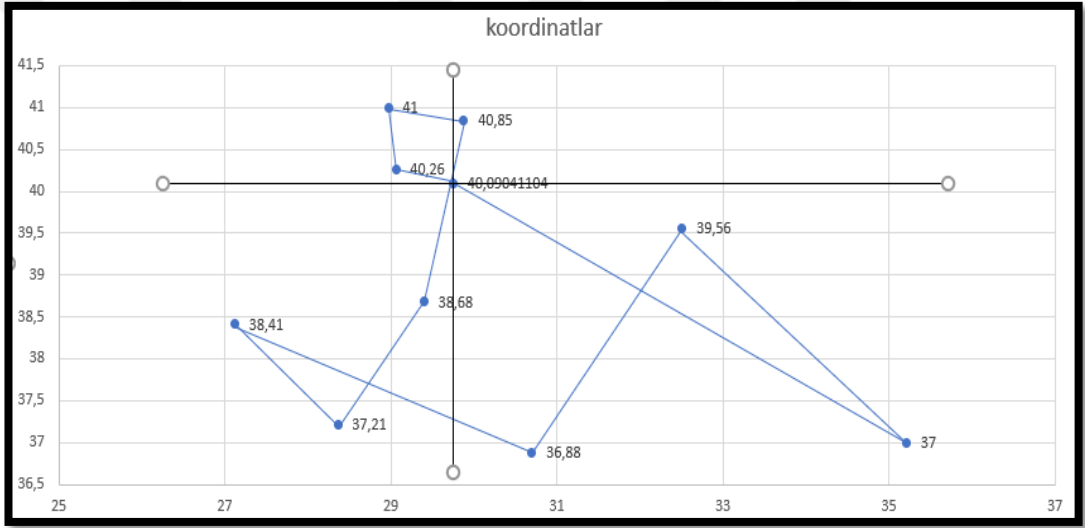
Doğrusal düzlemde birbirine en yakın noktaların birleştirilmesi ile çözüme ulaşılır.

Tablo 3.1. Şehirlerdeki depo lokasyonları ve talep tahminleri

Şehirler	Koordinat		Bir önceki yıl yapılan satış	Tahmini talep
	N	E	L (kg)	F (kg)
Ankara	39,56	32,51	12.586	12.586
İstanbul	41	28,97	36.311	36.311
İzmir	38,41	27,12	5.816	5.816
Denizli	38,68	29,4	987	987
Muğla	37,21	28,36	1.098	1.098
Antalya	36,88	30,7	2.206	2.206
Bursa	40,26	29,06	3.387	3.387
Adana	37	35,21	1.992	1.992
İzmit	40,85	29,88	842	842



Şekil 4.1. Türkiye haritasında konumların işaretlenmesi



Şekil 4.3. Koordinatların doğrusal düzlemde gösterimi ve birbirine yakınlığı

Araç 1:

Mesafe	Rota	Kapasite (kg)
97	Bilecik-Bursa	3.387
153	Bursa-İstanbul	12.311
103	İstanbul-İzmit	842
140	İzmit-Bilecik	

1.kamyon kapasitesi; 16.540 kg

1.rota km : $97 + 396 = 493$ km

İstanbul'un kalan 24.000 kg'lık ürünü ikinci araç olarak düşünülecektir.

Araç 2:

Mesafe	Rota	Kapasite (kg)
243	Bilecik-İstanbul	24.000
243	İstanbul-Bilecik	

2. tır kapasitesi; 24.000 kg

2. rota km : $243 + 243 = 486$ km

Araç 3:

Mesafe	Rota	Kapasite (kg)
318	Bilecik-Denizli	987
501	Denizli-Muğla	1.098
607	Muğla-İzmir	5.816
222	İzmir-Antalya	2.206
137	Antalya-Ankara	12.586
484	Ankara-Bilecik	

3. tır kapasitesi; 22.693 kg

3. rota km : $373 + 1609 = 1982$ km

Araç 4:

Mesafe	Rota	Kapasite (kg)
754	Bilecik-Adana	1.992

754

Adana-Bilecik

4. kamyon kapasitesi; 1.992 kg

4. rota km : $754+754 = 1508$ km

Toplam km : 4469 km

Araç Sayısı : 2 kamyon + 2 tır

Tablo 4.7. Bulunan Sonuçların Kıyaslama Tablosu

Kullanılan Yöntemler	Araç Sayısı ve Tipi	Km	Toplam (kg)
Seri Tasarruf Algoritması	3 tır	4091	72.000
Paralel Tasarruf Algoritması	1 tır + 3 kamyon	4024	78.000
Saat Yönünde Süpürme Algoritması	2 tır + 2 kamyon	4120	84.000
Saat Yönünün Tersine Süpürme Algoritması	1 tır + 3 kamyon	4154	72.000
En Yakın Komşu Algoritması	2 tır + 2 kamyon	4469	84.000

Bu çalışmada kullanılan yöntemlere göre, en iyi yöntem tasarruf algoritması olup, paralel çözümde en iyi sonucu vermiştir. Sadece bu çözümde km en az olup, maliyet en düşük olarak hesaplanmıştır. Toplam km olarak 4024 km ile en düşük maliyeti verir.

Yukarıdaki en iyi çözümden bağımsız olarak, ayrıca maliyet hesaplaması yapıldığında sonuçları Tablo 4.8. üzerinden kıyaslayabiliriz.

Tablo 4.8. Bulunan Sonuçların Maliyetlerine Göre Kıyaslama Tablosu

Kullanılan Yöntemler	Araç Sayısı ve Tipi	Km	Toplam Maliyet (tl)
Seri Tasarruf Algoritması	3 tır	4091	6.195
Paralel Tasarruf Algoritması	1 tır + 3 kamyon	4024	7.132
Saat Yönünde Süpürme Algoritması	2 tır + 2 kamyon	4120	7.508
Saat Yönünün Tersine Süpürme Algoritması	1 tır + 3 kamyon	4154	7.132
En Yakın Komşu Algoritması	2 tır + 2 kamyon	4469	7.508

Problemin çözümünde ele alınan en kısa yola göre paralel tasarruf algoritması en iyi çözüm olarak bulunurken, maliyetler hesaba katıldığında, en iyi çözüm 6.195 tl en düşük maliyetle seri tasarruf algoritması olarak bulunmaktadır.

Problem çözümünde en kısa yola göre çözüme ulaştığımızda, 937 tl farkı kabul etmiş ve en kısa yolla ürünleri ulaştırmış olmaktadır.

4.7. Uygun Analiz Türünün Belirlenmesi

Analizlerin doğru yapılması ve verilerin iyi bir şekilde analiz edilmesi için istatistiksel yöntemlerden faydalanılmaktadır.

Araç rotalama problemlerinde çıkan sonuçların birbirinden bağımsız olmasından dolayı, bu yöntemler diğer problem çözümlerine göre daha kısıtlıdır. Genellikle bu analizlerin içinde, çok sayıda veri kümeleri için regresyon kullanılmaktadır.

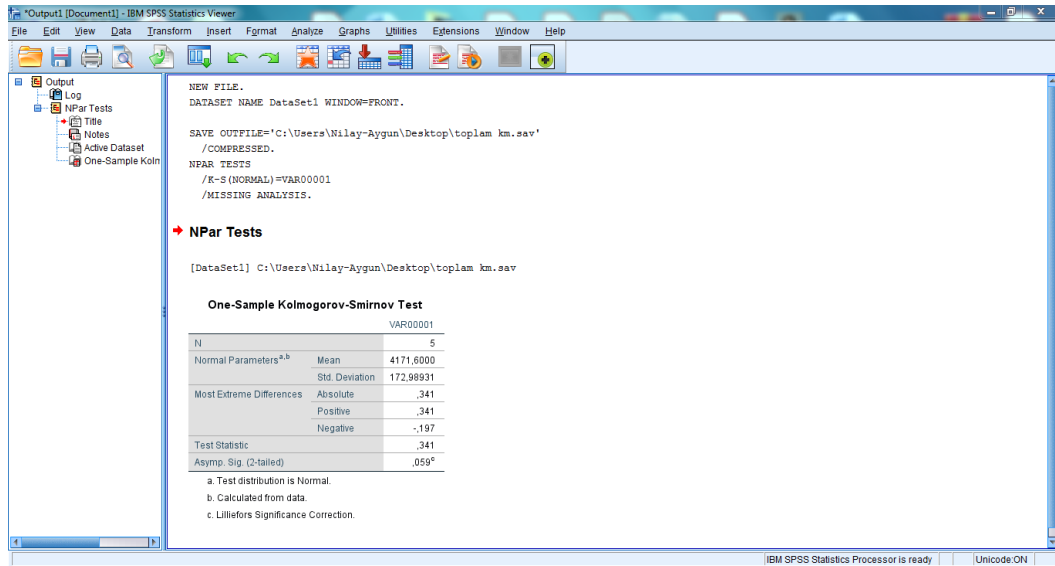
Bu çalışmada en doğru yöntemi tespit edebilmek için, SPSS programı ile çözüm sonuçları üzerinden analizler yapılmıştır.

Analiz yapılacak yöntemler, SPSS’te parametrik ve non-parametrik olarak 2 gruba ayrılmaktadır.

Verilerin seçilmesinde ilk dikkat edilmesi gereken nokta, veri sayısının 30’dan büyük olup olmaması olacaktır. Veri kümesi 30’dan büyükse, parametrik yöntemlerin kullanılması kesinlik açısından daha doğrudur.

Parametrik testlerin kullanılması için verilerin normal dağılıma sahip olması ve veri setinin homojen olması şartları aranır.

Sonuçların, normal dağılıma uygunluğunu tespit edebilmek için, tek örneklemeden Kolmogorov-Smirnov Testi kullanılmaktadır.



Şekil 4.4. Kolmogorov-Smirnov Testi ile SPSS Uygulaması

Tablo 4.9. Kolmogorov-Smirnov Test Sonuçları

VAR00001		
N		5
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	4171,6000
	Std. Deviation	172,98931
Most Extreme Differences	Absolute	0,341
	Positive	0,341
	Negative	-0,197
Test Statistic		0,341
Asymp. Sig. (2-tailed)		,059 ^c

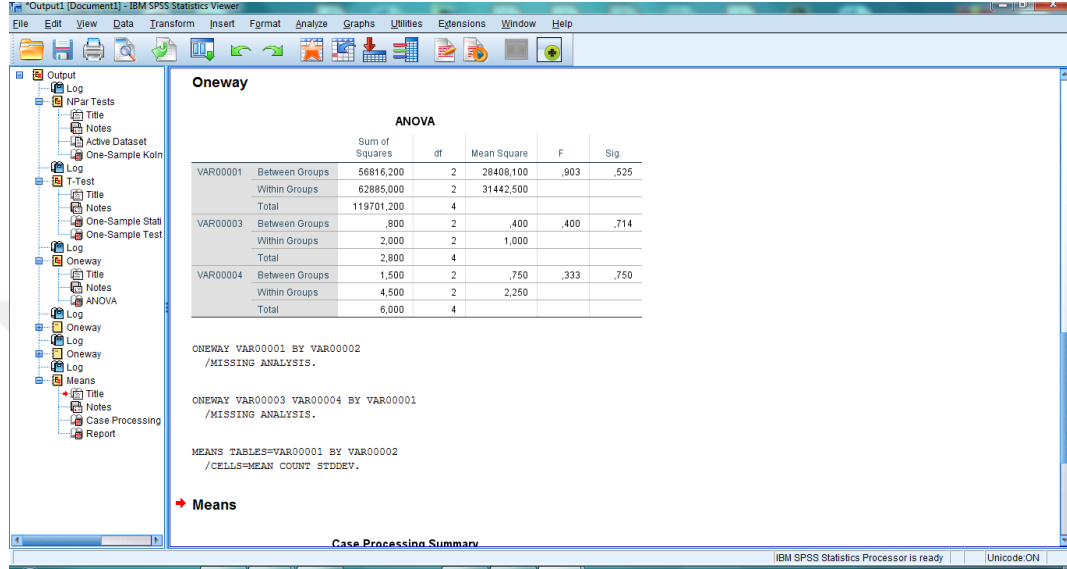
- a. Test distribution is Normal.
b. Calculated from data.
c. Lilliefors Significance Correction.

Tabloda yer alan Asymp. Sig. Kısmı, verilerin anlamlılık değerinde sınır kabulü gören 0,05’den büyük olduğu için, verilerin dağılımını normaldir.

Verilerimiz 0,05’den daha küçük olduğunda, non-parametrik test yöntemleri kullanılır. Bir sonraki adımda verilerin homojenliği tespit edilecektir.

4.8. Anova Yöntemi ile Verilerin İncelenmesi

Verilerin homojen olup olmaması Anova testinde çıkacak sonuca bağlıdır. 0,05'den daha büyük değerler, verilerin homojenliğini gösterir.



Şekil 4.5. Anova Testi ile SPSS Uygulaması

Tablo 4.10. Anova Test Sonuçları

One-Sample Statistics					
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	
VAR00001	5	4171,6000	172,98931	77,36317	

One-Sample Test					
	Test Value = 0				
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference
					Lower
VAR00001	53,922	4	0,000	4171,60000	3956,8054 4386,3946

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
VAR00001	Between Groups	56816,200	2	28408,100	0,903	0,525
	Within Groups	62885,000	2	31442,500		
	Total	119701,200	4			
VAR00003	Between Groups	0,800	2	0,400	0,400	0,714
	Within Groups	2,000	2	1,000		
	Total	2,800	4			
VAR00004	Between Groups	1,500	2	0,750	0,333	0,750
	Within Groups	4,500	2	2,250		
	Total	6,000	4			

Anova testinden çıkan sonuçlara göre veriler homojenlik gösterirken, çıkan sonuçlar arasında kapasite ve gidilen yol arasında bir bağıntı kurulamamaktadır.

Sonuçların ortalama değeri 4171 km olurken, en düşük ve en yüksek olma ihtimali sırasıyla, 3956 ve 4386 km'dir. 4386 km'nin üzerinde bulunan metod, bu problem için iyi bir çözüm değildir ve doğru sonuca ulaştırmayacaktır.



BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Hızlı Tüketim Ürünleri Sektörü 'nün en büyük endüstrilerinden biri olan gıda endüstrisinde ortaya çıkan soğuk zincir ihtiyacı, teknolojinin gelişimiyle beraber tedarik zincirinde önemli bir boyuta ulaşmıştır. Özellikle süt ve et ürünleri, donuk gıdaların belli sıcaklık şartlarıyla son tüketiciye kadar doğru bir zincirle iletimi, bir çok şirketin ilk önceliği olup, gıda endüstrisindeki lider firmalar bu konudaki kalite standartlarından ödün vermemektedirler. Hammaddeden son ürüne, zincirin tüm halkasını etkileyen en son teslim noktası şartlarını, günümüzde farklı yöntemlerle izleme ve denetleme koşulları mümkün olsa da, kaliteyi sağlamak ancak iyi bir araç rotalama ile mümkündür. Kaliteye olan etkisinin yanında, şirketlerde iyi bir rotalama ile maliyetlerin gözle görünür bir şekilde düşmesi sağlanabilir. Soğuk zincirin daha etkin işlemesi için, her şehrin uzaklığı ve ihtiyaç miktarları iyi bir şekilde tespit edildikten sonra, tedarik zincirindeki frigorifik araçların daha doğru bir şekilde dağıtılması sağlanabilir.

Günümüzde transport maliyetlerinin ve araçların dağıtımı yapılırken harcanan iş gücünün azalması konusunda, birçok firma projeler üreterek çalışmaktadır. Bu çalışmada ortaya çıkan sonuçlarda gördüğümüz gibi, yapılan satışın en çok olduğu şehirlere yapılan rotalamada bile, farklı rota uzunlukları bulunurken, bir şirketin bütün bir sene yapacağı rotalama ile operasyonel giderlerde ciddi bir azalma ortaya çıkacaktır. Eski yöntemlerle yapılan araç rotalamada kullanılan insan ve para kaynağını, başka bir amaç için kullanıyor olmak, şirketleri zaman zaman yapmak isteyecekleri tasarruf projelerinde yardımcı olacaktır. Çalışanlar içinde, transport masraflarında somut bir şekilde ortaya çıkan azalmayı araç rotalama sayesinde sağlamak ve bu tür projeleri şirket içinde hayata geçirmek, karşılıklı kazan-kazan ilişkisi içinde çalışmayı mümkün kılmaktadır.

Avantajlardan biride, maliyet ve kalite dışında, çevreye verilen zararın azaltılmasıdır. Özellikle son günlerde oldukça yaygın olan yeşil tedarik zinciri kavramıyla da, bir endüstriyel ürünün size gelene kadar ne kadar mesafede ve nasıl bir yoldan geldiği önem kazanmıştır. Yeşil tedarik zincirinde de daha az eforla tüketiciye ulaştırılan ürünler, çevreye daha az zarar verirken, bu yaklaşıma sahip büyük markalara duyulan güveni artırmaktadır. Aynı zamanda araç rotalama, soğuk zincirde ortaya çıkabilecek riskleri en aza indirirken, imha oranlarında büyük ölçüde azalmayı sağlamaktadır.

Bilişim sistemlerinin gelişim ile bu yöntemleri hızlı bir şekilde kullanmak için programlar geliştirilmiştir. Bu programlar hala gelişim aşamasında olup, hızlı tüketim ürünleri endüstrisi için ortak kullanılan bir yazılım henüz bulunmamaktadır. Bu sebeple her şirkete özgü ihtiyaç ve araçların kapasiteleri ile ilgili olarak, şirket içinde oluşturulacak yöntemlerin uygulanması ile yukarıda sayılan birçok avantajdan yararlanılabilir.

Bu çalışmada araç rotalama örnekleri farklı yöntemlerle çözülmüş, elde edilen sonuçlarda kapasite ve araç sayıları değişkenlik göstermiştir. Kesin çözüm yöntemleri yerine, tedarik zincirinde daha sık kullanılan klasik sezgisel yöntemlerle çözüm tercih edilmiştir. Karmaşık olan problemlerde kesin çözümler daha fazla zaman alırken, klasik sezgisel yöntemlerin bu çalışmadaki problemin karmaşıklık seviyesine yakın problemler için, etkili bir çözüm olduğu ve optimuma yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Farklı yöntemler için örnekleri olan bu çalışmanın, araç rotalama ile çalışan karar verici otoritelere ve akademisyenlere, yaptıkları çalışmalarda destek olması hedeflenmiştir. Endüstriyel gelişimin en önemli göstergesi olarak, tedarik zincirinde hızlı teslimatın yanı sıra, ürün kalitesinin sürdürülebilir olması ve çevreye daha az zarar vererek ürünlerin son tüketiciye daha az maliyetle gitmesinin sağlanması, ancak araç rotalama yöntemleri ile mümkündür. Bu konuda yapılacak birçok projenin desteklenmesi ve tedarik zincirinde kalitenin artırılması, şirketlerin sürekli olarak gündeminde yer almalıdır.

KAYNAKLAR

- Bellmore, M., Nemhauser G.L. 1968. The Travelling Salesman Problem: A Survey, Operations Research, Vol.16, No:3, Baltimore, Maryland, 538-558.
- Bogataj, M. Bogataj, L. ve Vodopivec, R. 2005. Stability of Perishable Goods in Logistic Chains, International Journal of Production Economics, Netherlands:Elsevier Science B.V., Amsterdam, 93-94, 345-356.
- Bozyer, Z., Alkan, A., Fırlalı, A. 2014. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminin Çözümü için Önce Grupla Sonra Rotala Merkezli Sezgisel Algoritma Önerisi, Bilişim Teknolojileri Dergisi, Cilt 7, Sayı 2.
- Clarke, G., Wright, J.W. 1964. Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points, Operations Research, Vol. 12, Manchester, England, 568-581.
- Cordeau, J.F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J.Y., Semet, F. 2002. A Guide to Vehicle Routing Heuristics, The Journal of the Operational Research Society, Vol. 53, No:5, Valenciennes, France, 512-522.
- Dantzig, G.B., Ramser J.B. 1964. The Truck Dispatching Problem, Management Science, Vol. 6, No. 1, 80-91.
- Elagöz, İ. 2006. Tedarik Zinciri Yönetimi Yaklaşımının Maliyet Hesaplama Çalışmalarına Etkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı Doktora Tezi, İzmir.
- Flood, M. 1955. The Travelling-Salesman Problem, Operations Research, Vol. 4, No. 1, New York, 61-75.
- Genç, R. 2009. Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetiminin Yöntem ve Kavramları, Detay Yayınları, ISBN: 978-605-56811-0-4, Ankara, 1-283.
- Gillett, B.E., Miller, L.R. 1974. A Heuristic Algorithm For the Vehicle Dispatch Problem, Operations Research, Vol 22., 340-349.
- Göktan, D., Tunçel, D. 2010. Gıda İşletmelerinde Hijyen, Meta Basım Yayıncılık, ISBN 978-605-88942-1-1, Bornova, İzmir, 139-177.
- http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.G%20TS58fd29c54ec252.76176683., Erişim Tarihi: 17.01.2019.

- <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/02/20190227-5.htm>., Erişim Tarihi: 10.04.2019.
- Kumar, S.N., Panneerselvam, R. 2012. A Survey on the Vehicle Routing Problem and Its Variants, Intelligent Information Management, Pondicherry, India, 66-74.
- Lee, H.L., Billington, C. 1992. Managing Supply Chain Inventory : Pitfalls and Opportunities, Sloan E-Management Review, Spring, 65-74.
- Likar, K., Jevsnik, M. 2006. Cold Chain Maintaining in Food Trade, Science Direct Food Control, Vol. 17, Slovenia, 108-113.
- Lopes, R. B., Barreto, S., Ferreira, C. & Santos, B. S. 2008. A Decision-Support Tool For A Capacitated Location–Routing Problem, Decision Support Systems, Portugal, 366-375.
- Nurcahyo, G.W., Alias, R.A., Shamsuddin, S.M., Sap. M.N.M. 2002. Sweep Algorithm in Vehicle Routing Problem for Public Transport, Jurnal Antarabangsa, Vol 2, 51-64.
- Özdemir, M. B., Kırmacı, V. 2006. Soğuk Depo Sisteminde Kullanılan R-134a Alternatif Soğutucu Akışkanına Göre Sistem Eleman Kapasitelerinin Bilgisayar Programıyla Belirlenmesi, Teknoloji Dergisi, Cilt 9, Sayı 2, Ankara.
- Ropke, S. 2005. Heuristic and Exact Algorithms for Vehicle Routing Problems, Denmark, 1-257.
- Solomon, M.M. 1987. Algorithms For the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints, Operations Research, Vol. 35, No:2, Boston, Massachusetts, 254-265.
- Şahin, Y., Eroğlu, A. 2014. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi İçin Metasezgisel Yöntemler : Bilimsel Yazın Taraması, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 19, Sayı 4, 337-355.
- Timur, N. , 1988. Sanayi İşletmelerinde Lojistik Faaliyetlerinin Organizasyonu, A.Ü İ.İ.B.F. Yayınları, No:58. , Eskişehir.
- Toth P, Vigo D. 2002. The Vehicle Routing Problem. SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, SIAM Publishing, ISBN: 978-0-89871- 498-2, Philadelphia, 217-227.
- Ünlütürk, A., Turantaş, F., 2002. Gıdaların Mikrobiyolojik Analizi, Meta Basım Yayım, İzmir, 45-78.
- Wang, F., Lai, X., Shi, N. 2011. A Multi-Objective Optimization For Green Supply Chain Network Design, Decision Support Systems, 76-92.

ÖZGEÇMİŞ

Nilay Banaz, 13.04.1988'de Kütahya ilinde doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise eğitimini sırasıyla Kütahya, Denizli ve Burdur'da tamamladı. 2005 yılında Adem Tolunay Burdur Fen Lisesi'nden mezun oldu. 2007 yılında başladığı Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nü başarıyla 2012 yılında bitirdi. Aynı zamanda çift anadal yaparak Biyomühendislik Bölümü'nü başarıyla tamamladı. Okuldan mezuniyeti sonrasında özel sektörde çalışarak, kariyer yolculuğunda yüksek lisans derecesi almayı hedefledi. Bu sebeple 2014 senesinde Mühendislik Yönetimi Tezsiz Yüksek Lisans Eğitimi'ne başlamış, derslerini başarıyla vererek Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisansı'na yatay geçiş yapmıştır. Halen Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğrencisi olup, tezini sunma aşamasındadır. Özel sektördeki deneyimlerini kısaca özetlemek gerekirse, 2012 yılında İzmir'de Kalite Mühendisi olarak çalışmaya başladı. Ardından 2013 senesinde başka bir çikolata firmasında sırasıyla Ham Madde Kalite Uzmanı, Fabrika Kalite Müdürü olarak çalıştı. 2016 senesinden itibaren, aynı çikolata firmasında Ülke Kalite Müdürü olarak çalışmaya devam etmektedir.