

## Kapalı Döngü Üretim Rotalama Problemi için Bir Karar Destek Sistemi Önerisi

Yusuf KUVVETLİ<sup>\*1</sup>, Rızvan EROL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 29.04.2020

Kabul tarihi: 30.07.2020

### Öz

Üretim rotalama problemi; üretim, envanter, dağıtım ve rotalama kararlarının bir arada verildiği bir tedarik zinciri problemidir. Bu problemin temel amacı, kararların entegre bir şekilde verilmesiyle birlikte maliyet açısından daha etkin kararlar almaktır. Bu çalışmada, bu problemin kapalı döngü versiyonunu ele alan bir karar destek sistemi önerilmiştir. Önerilen karar destek sisteminde kapalı döngü tedarik zincirlerindeki üretim rotalama problemi için DH algoritması uygulanmıştır. DH algoritması problemi parçalayarak alt problemleri etkileşimli bir şekilde hızla çözmeyi amaçlar. Sistemin gerçek hayat uygulamalarını gösterebilmek adına sıvı yağ üretimi yapan bir firma için bir aylık planlama dönemi için incelenen problem uygulanmış ve maliyetlerin mevcut duruma göre daha düşük olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** DH algoritması, Kapalı döngü tedarik zincirleri, Karar destek sistemi, Üretim rotalama problemi

### A Decision Support System Proposal for Closed Loop Production Routing Problem

#### Abstract

Production routing problem; is a supply chain problem where production, inventory, distribution and routing decisions are made together. The main aim of this problem is to make more cost-effective decisions, with decisions being made in an integrated manner. In this study, a decision support system that deals with the closed loop version of this problem is proposed. In the proposed decision support system, the DH algorithm has been applied for the production routing problem in closed loop supply chains. The DH algorithm decomposes the problem and aims to solve sub-problems interactively in a small time. In order to demonstrate the real-life applications of the system, the problem examined for a one-month planning period is applied for a company producing fats oil and it is found that the costs are lower than the current application.

**Keywords:** DH algorithm, Closed loop supply chains, Decision support system, Production routing problem

---

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Yusuf KUVVETLİ, [ykuvvetli@cu.edu.tr](mailto:ykuvvetli@cu.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

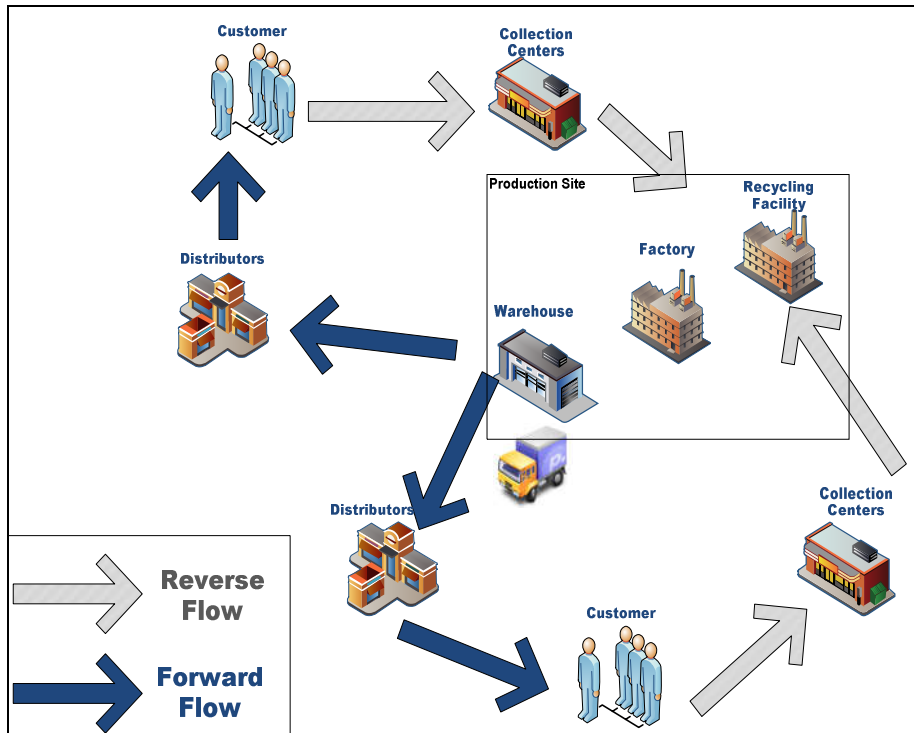
Kapalı döngü tedarik zinciri, hammaddeden bitmiş ürüne kadar maliyet etkin bir ürün ve bilginin akışının uygulanması, yönetimi ve planlanması faaliyetleri ile tüketim noktasından üretim noktasına doğru elde edilebilir bir değer veya uygun bertarafı elde etmeyi de içine alan bir yapıdır [1].

Kapalı döngü tedarik zincirleri, hammaddeden bitmiş ürüne doğru oluşan ileri yönlü planlama faaliyetleri olarak bilinen tedarik zincirlerine ek olarak kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin geriye doğru hareketiyle birlikte sürdürülebilir bir tedarik zinciri yaklaşımı ortaya koymaktadır. İki yönlü sürdürülebilir bir tedarik zinciri oluşturma fikri beraberinde yönetilmesi gereken birçok ek süreci ve kararları doğurmuştur. Bu durum, karmaşık kararlar içeren bu sistemlerin tedarik zinciri yöneticileri tarafından kullanılabilir hale geleceği karar destek sistemlerinin önerilmesinin faydalı olabileceğini göstermektedir.

Karar destek sistemleri, kullanıcı performansının kalitesi, verimliliği, güveni, tatmini, bilgi sistemleri ve zaman içerisinde oluşacak değişimler gibi durumları göz önüne alacak ve kullanıcının karar vermesine destek olacak sistemlerdir [2].

Karar destek sistemlerinin tasarımı kullanıcı odaklı olmalı ve zaman içerisinde oluşabilecek değişimleri göz önüne alarak bir problemin çözümüne imkan tanınmalıdır. Bir karar destek sisteminin tasarımında göz önüne alınması gereken adımlar aşağıdaki gibi özetlenebilir [3]:

1. Sistemdeki sorunlara dayalı olarak gereksinim özelliklerinin belirlenmesi
2. Ön kavramsal tasarımın oluşturulması
3. Mantıksal tasarım ve mimari özelliklerin belirlenmesi
4. Detaylı tasarım ve test süreçlerinin izlenmesi
5. Uygulama
6. Değerlendirme ve gerekli değişikliklerin yapılması
7. Nihai fonksiyonların oluşturulması



Şekil 1. İncelenen ağ yapısı [4]

Bu tasarım adımları doğrultusunda, bu çalışmada kapalı döngü tedarik zincirlerinde yer alan planlama problemlerinden birisi olan kapalı döngü tedarik zinciri üretim rotalama problemi için bir karar destek sistemi geliştirilmesi önerilmiştir. İncelenen problem, periyotlar boyunca üretim, envanter, dağıtım ve rotalama kararlarının yeni ürünler için yapıldığı ve dönen ürünler için ise toplama ve geri dönüşüm işlemlerinin ele alındığı bir yapıyı ifade eder. Bu çalışmada ele alınan kapalı döngü kapalı döngü tedarik zinciri ağı Şekil 1’de sunulmuştur.

Bu çalışmadaki ağ yapısına göre, ürünler bir tesiste üretilmektedir. Üretim süreci, müşteri talepleri doğrultusunda periyodik olarak oluşacak hazırlık maliyetlerine göre gerçekleştirilmektedir. Üretilen ürünler dağıtım araçları ile müşterilere dağıtılmaktadır. Müşterilere dağıtım yapılırken, aynı zamanda dönen ürün olarak nitelendirilen ve kullanım ömrünü tamamlamış/deforme olmuş/iade edilmiş ürünler toplanmaktadır. Son olarak toplanan ürünler firmanın üretim tesislerinde uygun görülmesi halinde geri dönüşüm işlemine uğramaktadır. Tüm bu sürecin kesintisiz işleyebilmesi için üretici firma ve müşterilerin stok tutmalarına izin verilebilir. Bu kapalı döngü ağının temel amacı minimum maliyetle tüm ağ için en etkin planlama faaliyetlerini incelenen planlama dönemi boyunca elde etmektir. İncelenen kararların kompleks yapıda olması nedeniyle karar vermede kullanıcılara yardımcı olacak sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, bu problemin çözümü için bir karar destek sistemi oluşturmaktır. Böylelikle problemi çözümü için mevcut durumda oluşturulmuş olan etkin algoritmaların kullanıcı tarafında kullanılabilir olması sağlanacaktır. Buna ek olarak bir sıvı yağ ürünü için önerilen yaklaşım irdelenmiş ve sonuçları sunulmuştur.

Bu çalışmanın 2. bölümünde konu ile ilgili yapılmış önceki çalışmalar ele alınmıştır. 3. bölümde çalışmada yer alan uygulama çalışması için elde edilen veriler tanıtılmış ve 4. bölümde karar destek sisteminin tasarımından

bahsedilmiştir. 5. bölümde ise elde edilen bulgular sunulmuştur. Son olarak 6. bölümde çalışmadan elde edilen sonuçlar ve gelecek çalışmalara öneriler yer almaktadır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tedarik zincirlerinde en önemli kavramlardan birisi esneklik ve işbirliği için uygun zincir üyeleri oluşturmaktır [5]. Bu durum entegre kararların verilmesini zorunlu kılmaktadır. Klasik tedarik zincirlerinde üretim ve dağıtım kararları pratikte birbirini etkileyecek niteliğe sahiptir. Bu nedenle, tedarik zincirlerinde entegrasyon konusu ve kararların bir arada verilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. İlk çalışmalardan olan Chandra ve Fisher [6] çalışmasında, üretim ve dağıtım kararlarının bir arada verildiği durum için bir matematiksel model önermiştir. Sonuçlar entegrasyon kararlarının bağımsız kararlara göre iyileştirme sağladığını göstermiştir.

Problemin klasik tedarik zincirleri için önerilen farklı türde varyantları yer almaktadır. Karakteristikler incelendiğinde tek ürünlü [7], çok ürünlü [8], rotalama kararlarını da içeren [9-12] ve çok periyotlu [13] çalışmaların geleneksel tedarik zincirleri için yapıldığı görülmüştür. Bununla birlikte bozulabilir [14] ve gıda ürünlerinde [15] de problemin uygulamaları da önceki çalışmalarda yer almaktadır. Üretim rotalama problemi için farklı varyantlar, literatür taraması olarak sunulmuştur [16].

Kapalı döngü tedarik zincirlerinde ise yapılan çalışma sayısı sınırlıdır. Genellikle rotalama ve dağıtım kararlarını göz önüne alınmamıştır [17,18]. Üretim kararlarının göz önüne alınmadığı modellerle envanter, toplama ve rotalama kararlarının da entegre olarak alındığı çalışmalar bulunmaktadır [19]. Üretim, dağıtım, rotalama, envanter ve toplama kararlarının alındığı kapalı döngü çalışmasında matematiksel bir model önerilmiştir [20]. Tüm durumların göz önüne alındığı; üretim, dağıtım, envanter, toplama ve geri dönüşüm kararlarını entegre olarak göz önüne alan bir çalışmada matematiksel model ve sezgisel

Decomposition Heuristic (Ayrıştırma Sezgiseli-DH) yöntemi önerilmiştir [21]. Ayrıca ilgili çalışmada, margarin ürünü için örnek bir uygulama yer almaktadır.

Karar destek sistemleri birçok farklı uygulama alanına sahiptir. Bunlara örnek olarak; sağlık sistemlerinde hasta bakımı görevleri ve bugün aktif olarak ve her yerde kaliteli hizmet sunumunu desteklemek [22], tarımda karmaşık sorunları ele almak ve bitkisel üretimde karlılığı korumak [23] verilebilir.

Sürdürülebilirliğin üç boyutunu (ekonomik, sosyal ve çevresel) dikkate alan, ürün ve üretim yaşam döngüsünün aşamalarında (ürün ve üretim tasarımı, üretim planlaması, üretim ve süreçlerin ve ürünlerin yeniden üretimi) kullanılan karar destek sistemleri derlenmiştir [24]. Giret ve arkadaşları [25] çalışmasında, sürdürülebilir üretim sistemlerinin çizelgelenmesi için karar destek sistemi önerilmiştir.

Önceki çalışmalar incelendiğinde, karar destek sistemlerinin uzun yıllardır çalışılan bir konu olduğu ve üretim planlama ve çizelgeleme faaliyetlerinde de kullanıldıkları görülmektedir. Bu durum bu çalışmada ele alınan kapalı döngü entegre tedarik zinciri yönetimi sistemi için bir karar destek sisteminin kullanılabilir olacağını göstermektedir. İncelenen problemin margarin ürünü için örnek bir vaka üzerinde çözümlendiği görülmüş olup, bu çalışmada, sıvı yağ ürünü için bir örnek uygulama değerlendirilerek incelenen problemin farklı uygulamalardaki performansı da değerlendirilmiştir.

### **3. MATERYAL**

Yemeklik yağ ürünleri ambalaj yapıları gereği deformasyona uğrama ve taşıma koşulları nedeniyle satılamaz duruma gelme sorunları yaşamaktadır. Yemeklik yağ ürünlerinin kapalı döngü uygulamaları aşağıdaki karakteristiklere sahiptir:

- Dönen ürün niteliğine sahip yağ ürünleri geri dönüşüm ya da yok etme/uzaklaştırma

işlemlerine sahiptir [4]. Özellikle kullanılan yağlar için bu durum, kullanım sonrası biyodizel üretimi gibi ürünlerde değerlendirilebilir.

- Sıvı yağ ürünleri son kullanma tarihi, ambalaj ve taşıma sorunları ve kalite problemleri gibi nedenlerle müşteriden toplanabilir. Yeni ve dönen ürünler aynı araçlarla taşınabilir.
- Firmalar, kullanılabilir nitelikte olan bu ürünleri yeni ürün üretiminde kullanılabilir, problemlerini gidererek yeniden pazara sunabilir.
- Geri dönüşüm işleminden sonra, geri dönen katı ve sıvı yağlar, ham yağ spesifikasyonuna ulaşmak için saflaştırılır [4]. Bu işlemin uygulandığı yağlar, hammadde olarak yağ üretiminde kullanılabilir.

Bu çalışmanın materyalini yemeklik yağ üreten bir firmanın sıvı yağ ürünü için bir aylık zaman periyodundaki planlama problemi oluşturmaktadır. Firma Türkiye'nin farklı noktalarına yemeklik yağ ürününü göndermekte ve dönen ürünleri toplamaktadır. İncelenen dönem içerisinde gerçekleştirilecek dağıtım ve toplama işlemleri Şekil 2'de özetlenmiştir.

Buna göre dağıtım/toplama ağında; 22 şehir için yeni ürün gönderimi (mavi ile işaretli şehirler), 2 şehirden dönen ürün toplanma isteği (kırmızı ile işaretli şehirler), 4 şehir için ise hem yeni ürün dağıtımı hem dönen ürün toplanması (sarı ile işaretli şehirler) beklenmektedir. Buna ek olarak üretim ve geri dönüşüm merkezinin yer aldığı şehir (yeşil ile işaretli şehir) bulunmaktadır.

Çizelge 1'de modelde yer alan parametre değerleri operasyonel verilerden elde edilerek sunulmuştur. Buna göre 29 noktada yapılan planlama problemi için 31 günlük bir model kurulmuş olup, günlük ortalama talep miktarı yaklaşık 0,5 ton olarak gerçekleşmiştir. Firmanın farklı ürünleri de üretiyor olduğu göz önünde bulundurularak kapasitenin etkin kullanımı için modelin her gün üretim yapma kararı yerine büyük partilerde üretimi tercih edebilmesi olasıdır.



Şekil 2. Dağıtım ağı

Çizelge 1. İlgili ürün için model parametreleri

Parametre Adı	Birim	Değeri
Düğüm sayısı	-	29
Planlama dönemi	Gün	31
Ortalama günlük talep	Ton	0,43
En yüksek günlük talep	Ton	25,65
En düşük günlük talep	Ton	0
Ortalama günlük dönen ürün	Ton	0,05
En yüksek günlük dönen ürün	Ton	10
En düşük günlük dönen ürün	Ton	0
Günlük üretim kapasitesi	Ton	15
Günlük geri dönüşüm kapasitesi	Ton	10
Düğümler arası en uzun uzaklık	Km	1819
Düğümler arası ortalama uzaklık	Km	727
Tur uzunluğu	Km	2500
Eldeki tır sayısı	-	6

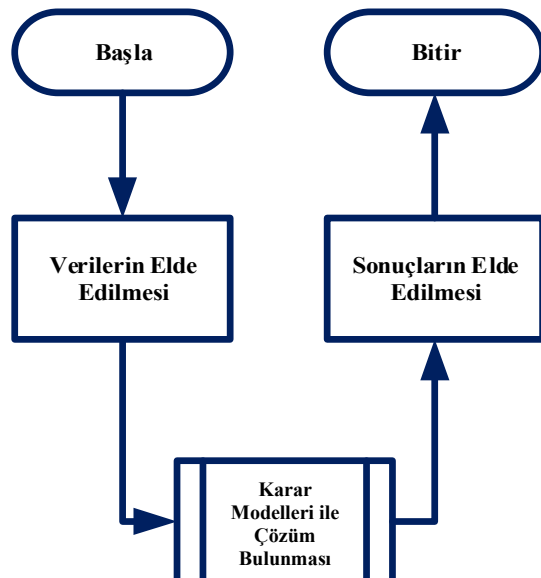
**Çizelge 2.** İlgili ürün için maliyet parametreleri

Parametre Adı	Birim	Değeri
Ortalama satın alma fiyatı	TL/kg	8,06
Ortalama dönen ürün iade fiyatı	TL/kg	8
Üretim maliyeti/depolama maliyeti		30.000
Geri kazanım hazırlık maliyeti/birim elde bulundurma maliyeti		25.000

Çizelge 2’de modelde yer alan maliyet parametreleri sunulmuştur. Bu parametreler, modelin üretim, stok ve dağıtım kararlarını oluşturmasında etkili olduğundan bazıları için görece olarak sunulmuştur. Birim taşıma maliyeti ise 2,5 TL/km olarak gerçekleştirilmektedir.

#### 4. ÖNERİLEN KARAR DESTEK SİSTEMİ

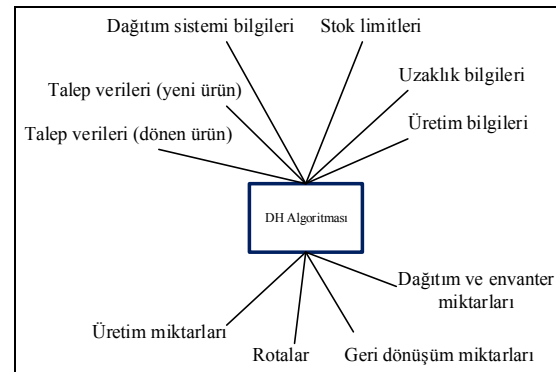
Kapalı döngü üretim rotalama problemi için önerilen karar destek sisteminin genel akışı Şekil 3’de görülmektedir. Buna göre üç temel adımdan söz edilebilir: ilki verilerin elde edilmesini, ikincisi verilerin çözümlenmesini ve sonuncusu ise sonuçların elde edilmesi ve sunumu ifade eder.



**Şekil 3.** Önerilen karar destek sistemi yapısı

Verilerin elde edilmesi için veri tabanı bağlantısı ve Excel gibi programlardan verilerin alınması mümkündür. Verilerin işlenerek kararların oluşturulması için DH algoritması kullanılır [21].

DH algoritması problemde yer alan yeni ve dönen ürünler için üretim/geri dönüşüm, dağıtım/toplama, envanter ve rotalama kararlarını vermektedir. Algoritma genel olarak tur planlarının tavlama benzetimi algoritmasında oluşturulduğu, bu planlara göre tasarruf algoritması ile rotaların oluşturulduğu ve üretim, envanter gibi kararların matematiksel modelleme yaklaşımı ile iterasyonlar boyunca elde edildiği bir algoritmadır [21]. Bu algoritmanın, problemin çözümünde etkin sonuçlar verdiği gösterilmiştir [21]. Bu algoritmanın girdi ve çıktıları Şekil 4’te özetlenmiştir.



**Şekil 4.** DH algoritmasının genel gösterimi

DH algoritması belirlenen planlama periyodu boyunca ( $t \in T$ ), talep noktalarına ( $i, j \in N$ ) ve eldeki araçlar için ( $k \in V$ ) bir dağıtım gerçekleştirilmektedir. Yeni ürün ve dönen ürün talepleri ( $d_{it}$  ve  $d_{it}^r$ ), noktalar arası uzaklık bilgileri ( $l_{ij}$ ), maksimum rota uzunluğu ( $L$ ), kapasite ve maliyet bilgileri girdiler olarak sisteme beslenmektedir.

Bu girdiler doğrultusunda, DH algoritması günlük ziyaret planlarını çözüm olarak oluşturur. Sonrasında bu planlardan araç rotaları belirlenir. Oluşturulacak rotalar her bir gün için birden fazla olabilir. Eğer bir nokta çifti bir araçla bir günde ziyaret ediliyorsa,  $x_{ijtk}$  değerini alır. Tur kısıtları Eşitlik 1 ile kontrol edilebilir.

$$\sum_i \sum_j l_{ij} * x_{ijtk} \leq L \quad i,j \in N \quad (1)$$

Bu rotalar baz alınarak üretilecek miktarlar, stok miktarları ve geri kazanım miktarları için ise diğer kısıtlamaları da dikkate alan optimizasyon modeli her adımda çözülerek uygunluk fonksiyonu hesaplanır. İterasyonlar boyunca hesaplamalar yapılarak optimuma yakın kararların verilmesi amaçlanır.

Elde edilen çıktıların, karar vericilere sunumunda ise tablo ve grafiklerin kullanıldığı görsel bir ara yüz önerilmiştir. Bu ara yüzler doğrultusunda, üst yöneticiler için etkin ve görsel bir sonuç sunumu mümkün olabilmektedir.

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

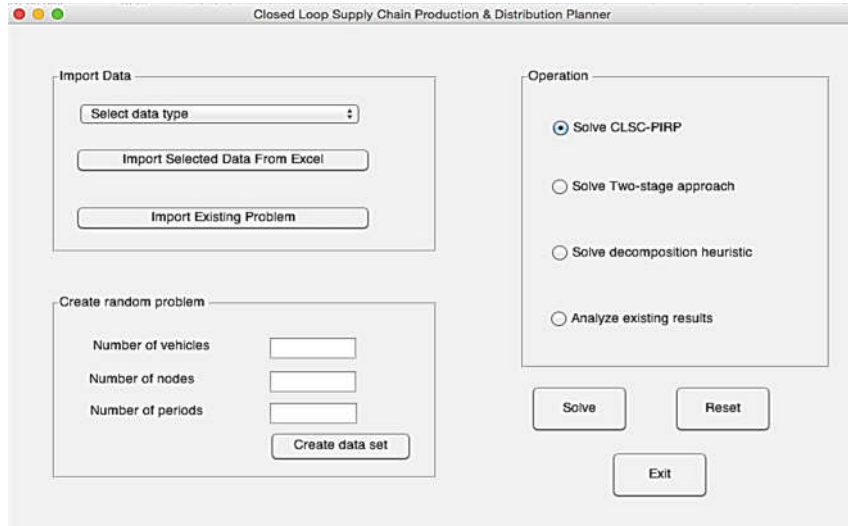
### 5.1. Karar Destek Sistemi

Karar destek sisteminin son kullanıcı tarafından kullanımının sağlanabilmesi için grafik tabanlı bir ara yüz tercih edilmiştir. Kapalı döngü tedarik zinciri üretim ve dağıtım planlayıcısı olarak adlandırılan karar destek sistemine ait ekran

görüntüleri Şekil 5 ile 8 arasındaki şekillerde sunulmuştur. İlk olarak Şekil 5'te ana menü görünmektedir. Ana menü üç temel bölümde değerlendirilebilir. Bunlardan ilki veri girişlerinin yapıldığı veri tabanı bağlantılı ekranların açıldığı veri giriş ekranıdır. Kullanıcı verileri bir Excel dosyasından alabileceği gibi veri tabanı üzerinde kayıtlı bir problemi de seçebilir.

İkinci bölümde kullanıcı rastgele bir problem örneği oluşturarak kullanılacak yaklaşımları deneyebilir.

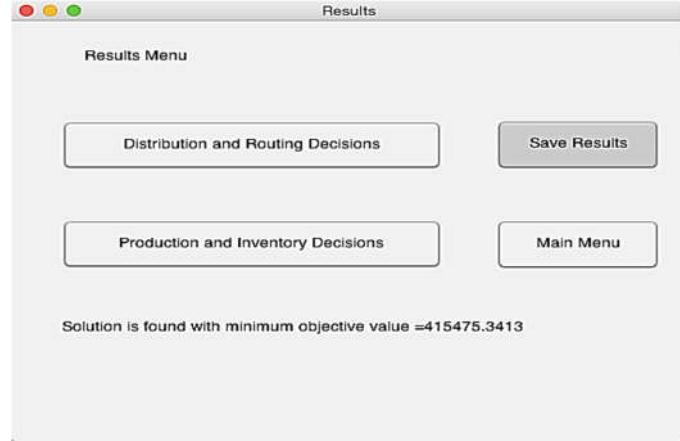
Üçüncü bölümde ise hangi yaklaşımla problem çözümünün elde edileceği yer almaktadır. Problemin çözümü için üç yaklaşım yer almaktadır. Bunlar; entegre kararların verildiği optimizasyon problemi (CLSC-PIRP), ikincisi kararların ileri ve geri yönlü olarak ayrı ayrı verildiği optimizasyon problemi (two-stage approach) ve son olarak üçüncü yaklaşım DH sezgisel yaklaşımıdır. Burada geçmişte çözülmüş bir problemin sonuçlarının da gösterilmesi mümkündür.



Şekil 5. Ana menü [4]

Problemin çözülmesiyle birlikte çözüm ekranı görülür olmaktadır (Şekil 6). Bu ekranda kullanıcı sonuçları kaydedebilir veya inceleyebilir. Sonuçlar kapsamlı olacağı için üretim ve envanter bilgileri

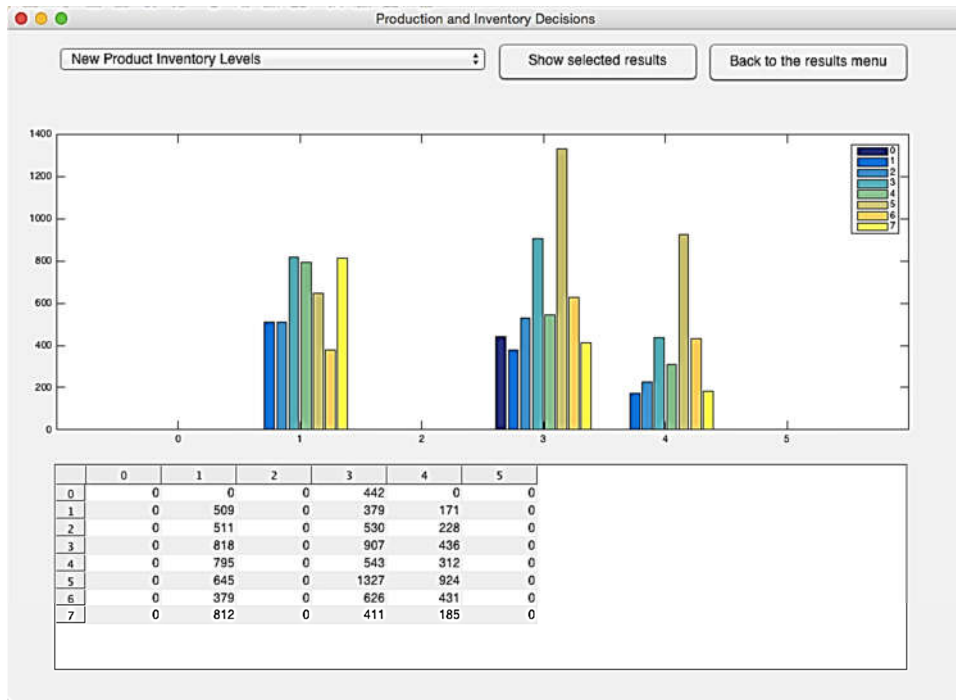
ile dağıtım ve rotalama kararları farklı ekranlardan görünür olmaktadır. Bu aynı zamanda sonuçların farklı personellere aktarımının sağlanabilmesini de sağlamaktadır.



Şekil 6. Çözüm ekranı [4]

Üretim ve envanter bilgi ekranında planlama dönemi boyunca oluşan tüm üretim, geri dönüşüm, yeni ve dönen ürün envanterleri bilgileri hem tablo

hem de grafiksel olarak görülmektedir. Görülmek istenen stok bilgileri ekranın üst bölümünden seçilerek görülebilir (Şekil 7).

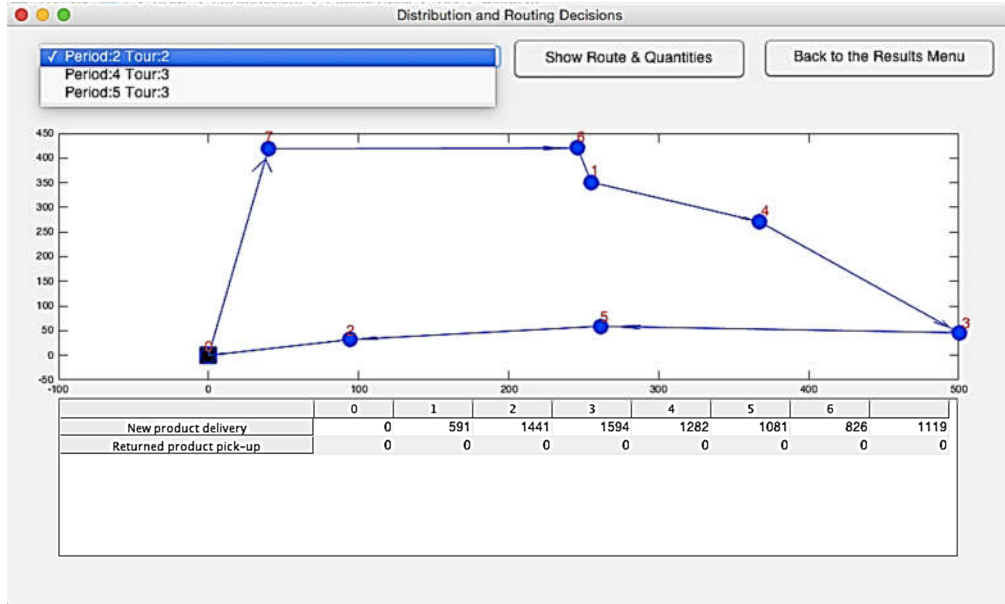


Şekil 7. Üretim ve envanter bilgi ekranı [4]

Önerilen karar destek sisteminde bahsedilmesi gereken son ekran ise rotalama ve dağıtım bilgilerini içeren ekrandır (Şekil 8). Bu ekranda planlama periyodu boyunca her bir gün oluşacak

tüm rotalar seçilerek seyahat planları, sıraları ve gerçekleştirilecek dağıtım/toplama miktarları oluşturulmaktadır. Bu bilgilerin yazdırılmasıyla birlikte sevkiyat listeleri de oluşturulmuş olacaktır.





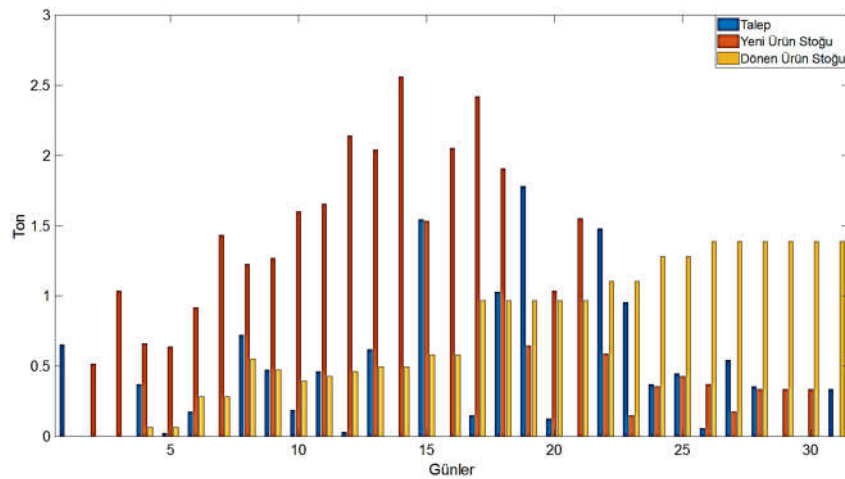
Şekil 8. Rotalama ve dağıtım bilgileri ekranı [4]

## 5.2. Vaka Sonuçları

İncelenen vaka için bir aylık planlama probleminin çözümü sonucunda toplam maliyet 623833,705 TL olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar mevcut işletme maliyetleriyle kıyaslandığında yaklaşık %10'luk bir iyileşme olduğu görülmüştür.

Genel olarak çözümde 24 gün üretim yapıldığı ve üretim kapasitelerinin 1 gün haricinde tamamen

kullanıldığı görülmüştür. Bu durum, sabit maliyetlerin elde bulundurma maliyetlerine göre görece yüksek olmasından kaynaklı olabilir. Üretimlerde geri dönüşümlü malzeme kullanımı sağlanması amacıyla 3 gün geri dönüşüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Geri dönüşüm kapasitelerinin kullanımında, üretim kapasitesine göre konulabilecek en yüksek geri dönüşümlü yağ olacak şekilde bir planlama yapılmıştır.



Şekil 9. Model sonuçları

Envanter miktarları ve bu miktarların taleple ilişkisi incelendiğinde talepte oluşan sapmalar nedeniyle envanterlerin arttığı gözlenmektedir (Şekil 9). Ürün taleplerinin azalmasıyla aynı zamanda dönen ürün stoklarının arttığı görülmektedir. Bu durum, modelin talepte oluşan sapmalar sonucunda envanter tutarak dalgalanmaları yönetmeye çalıştığını göstermektedir. Buna ek olarak tüketim noktalarına göre oluşan talep ve stok bilgileri Çizelge 3'te sunulmuştur. Buna göre, stok ve talep bilgilerinin yeni ürünler için benzer eğilime sahip olduğu ve dönen ürün için ise belirli bir yüzde ile kullanılması sebebiyle görece olarak daha az gerçekleştikleri görülmektedir.

**Çizelge 3.** Tüketim noktalarına göre envanter sonuçları

Parametre	Talep	Yeni Ürün Stoku	Dönen Ürün Stoku
Minimum	0	0	0
Ortalama	0,43	0,76	0,13
Maksimum	4,15	5,81	1,90
Standart Sapma	0,78	1,12	0,38

Dağıtım ve rotalama kararları incelendiğinde, vaka için toplam 47 rota düzenlenmiş ve günlük ortalama 1,51 rota oluştuğu gözlenmiştir. Rota sayısının fazla olmasının nedenleri incelendiğinde, bu durumun müşteri noktadaki stok limitlerinden ve rotalama maliyetleri ile elde bulundurma maliyetleri arasındaki ödünleşimden dolayı oluşmuş olabileceği düşünülmektedir.

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kapalı döngü tedarik zincirlerinde, üretim, dağıtım, rotalama, toplama ve geri dönüşüm kararlarını eşzamanlı veren üretim rotalama problemi için bir karar destek sistemi önerilmiş ve problem bir sıvı yağ ürünü üreten işletme için uygulanmıştır.

Önerilen karar destek sistemi ile birlikte kapalı döngü tedarik zincirinde üretim rotalama probleminde yer alan kısa dönem planlarının

görsel bir ara yüz ile birlikte sunulması sağlanmış ve problemin uygulanabilirliği artırılmıştır.

Entegre kararların tedarik zincirlerinde oldukça etkili sonuçlar oluşturduğu literatürde yer alan çalışmalarda da vurgulanmıştır. İncelenen sonuçlara göre, örnek vaka için bir aylık planlama problemi çözülerek üretim ve geri dönüşüm, stok ve üretim kararlarının dengelendiği ve tüm bu kararların rotalama problemi ile dengelendiği görülmüştür. Problem bu kararlardaki ödünleşimleri maliyetlere göre göz önüne almış ve etkili sonuçlar üretmiştir. Mevcut işletme maliyetleri ile kıyaslandığında, daha çevik bir karar alma sistemi ortaya konulmuştur.

Vaka analizi sonuçlarına göre, firma ayın 24 gününde üretim gerçekleştirmeli, 3 gününde geri dönüşüm gerçekleştirmeli ve günde ortalama 1,51 sevkiyat gerçekleştirmelidir. Firma mevcut uygulamalara göre yaklaşık %10'luk bir tasarruf sağlamıştır.

Çalışma önerilen ağ yapısı üzerinde yalnızca geri dönüşüm opsiyonuna sahip tedarik zincirleri için yapılmıştır. Farklı tersine lojistik opsiyonları değerlendirilebilir. Tek ürünlü ve tek üretim/geri dönüşüm merkezine odaklanılmıştır. Gelecek çalışmalarda problemin farklı varyantları olan, çok ürünlü versiyonları, farklı dağıtım ve rotalama stratejileri gibi konuların göz önüne alınması mümkün olabilir. Karar destek sistemi için ise yazılımın kurumsal kaynak planlaması sistemlerine adaptasyonu sağlanabilir.

## 7. TEŞEKKÜR

Y Kuvvetli, doktora çalışmalarına verdiği destekler nedeniyle TÜBİTAK-BİDEB 2211 Yurt içi Doktora Burs programına teşekkür eder.

## 8. KAYNAKLAR

1. Rogers, D.S., Tibben-Lembke R.S., 1999. Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices. Reverse Logistics Executive Council Pittsburgh, PA.
2. Cats-Baril, W.L., Huber, G.P., 1987. Decision Support Systems for Ill-structured Problems:

- An Empirical Study. *Decision Sciences*, 18(3), 350-372.
3. Sauter, V.L., 2014. *Decision Support Systems for Business Intelligence*. John Wiley & Sons, New Jersey, U.S.A.
  4. Kuvvetli, Y., 2016. Coordinated Production-inventory–distribution-routing Problem on Closed Loop Supply Chain with Recycling Option. *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 147, Adana.
  5. Salami, E., Oral, E., Aydınli, S., 2016. Yüklenici Firmaların Tedarik Zinciri Yönetimi Uygulamalarında Kritik Başarı Faktörleri. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(1), 17-24. DOI: 10.21605/cukurovaummfd.242785.
  6. Chandra, P., Fisher, M.L., 1994. Coordination of Production and Distribution Planning, *European Journal of Operational Research*, 72, 503-517.
  7. Kuhn, H., Liske, T., 2011. Simultaneous Supply and Production Planning, *International Journal of Production Research*, 49, 3795-3813.
  8. Fumero, F., Vercellis, C., 1999. Synchronized Development of Production, Inventory, and Distribution Schedules, *Transportation Science*, 33, 330-340.
  9. Bard, J.F., Nananukul, N., 2010. A Branch-and-price Algorithm for an Integrated Production and Inventory Routing Problem, *Computers & Operations Research*, 37, 2202-2217.
  10. Boudia, M., Louly, M.A.O., Prins, C., 2007. A Reactive GRASP and Path Relinking for a Combined Production-distribution Problem, *Computers & Operations Research*, 34, 3402-3419.
  11. Bard, J.F., Nananukul, N., 2009. The Integrated Production-inventory-distribution-routing Problem, *Journal of Scheduling*, 12, 257-280.
  12. Adulyasak, Y., Cordeau, J.-F., Jans, R., 2012. Optimization-based Adaptive Large Neighborhood Search for the Production Routing Problem, *Transportation Science*, 48, 20-45.
  13. Toptal, A., Koc, U., Sabuncuoglu, I., 2013. A Joint Production and Transportation Planning Problem with Heterogeneous Vehicles, *Journal of the Operational Research Society*, 65, 180-196.
  14. Manouchehri, F., Nookabadi, A.S., Kadivar, M., 2020. Production Routing in Perishable and Quality Degradable Supply Chains. *Heliyon*, 6(2), e03376.
  15. Li, Y., Chu, F., Côté, J.F., Coelho, L.C., Chu, C., 2020. The Multi-plant Perishable Food Production Routing with Packaging Consideration. *International Journal of Production Economics*, 221, 107472.
  16. Adulyasak, Y., Cordeau, J.F., Jans, R., 2015. The Production Routing Problem: A Review of Formulations and Solution Algorithms. *Computers & Operations Research*, 55, 141-152.
  17. Kannan, G., Sasikumar, P., Devika, K., 2010. A Genetic Algorithm Approach for Solving a Closed Loop Supply Chain Model: A Case of Battery Recycling, *Applied Mathematical Modelling*, 34, 655-670.
  18. Kim, T., Goyal, S.K., Kim, C.-H., 2013. Lot-Streaming Policy for Forward-reverse Logistics with Recovery Capacity Investment, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68, 509-522.
  19. Iassinovskaia, G., Limbourg, S., Riane, F., 2017. The Inventory-routing Problem of Returnable Transport Items with Time Windows and Simultaneous Pickup and Delivery in Closed-loop Supply Chains, *International Journal of Production Economics*, 183, 570-582.
  20. Fang, X.J., Du, Y.A., Qiu, Y.Z., 2017. Reducing Carbon Emissions in a Closed-loop Production Routing Problem with Simultaneous Pickups and Deliveries under Carbon Cap-and-Trade, *Sustainability*, 9, 15.
  21. Kuvvetli, Y., Erol, R., 2020. Coordination of Production Planning and Distribution in Closed-loop Supply Chains, *Neural Comput & Applic* (2020), <https://doi.org/10.1007/s00521-020-04770-5>.
  22. Sutton, R.T., Pincock, D., Baumgart, D.C., Sadowski, D.C., Fedorak, R.N., Kroeker, K.I., 2020. An Overview of Clinical Decision Support Systems: Benefits, Risks, and

- Strategies for Success. NPJ Digital Medicine, 3(1), 1-10.
23. Ali, M.F., Aziz, A.A., Sulong, S.H., 2020. The Role of Decision Support Systems in Smallholder Rubber Production: Applications, Limitations and Future Directions. Computers and Electronics in Agriculture, 173, 105442.
  24. Zarte, M., Pechmann, A., Nunes, I.L., 2019. Decision Support Systems for Sustainable Manufacturing Surrounding the Product and Production Life Cycle—a Literature Review. Journal of Cleaner Production, 219, 336-349.
  25. Giret, A., Trentesaux, D., Prabhu, V. , 2015. Sustainability in Manufacturing Operations Scheduling: A State of the art Review. Journal of Manufacturing Systems, 37, 126–140. doi:10.1016/j.jmsy.2015.08.002.