

BİR AKARYAKIT DAĞITIM ŞİRKETİ İÇİN BÜTÜNLEŞİK SİPARİŞ VE DAĞITIM YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI

Seda FİDANBOY, Pınar GÜNEŞ, Baykal HAFIZOĞLU, Güneş ORAK, Yeliz SAY,
Sedef MERAL, Halim DOĞRUSÖZ

Orta Doğu Teknik Üniversitesi-Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Şirket; hem yurt içinden hem de yurt dışından sağladığı petrol ürünlerini depolarında stoklar, ve perakende satış istasyonları, havacılık ve denizcilik kuruluşları, distribütörler ile kamu ve tüketici müşterilerine satar. Bu çalışmada, yeni sistem uygulamalarının görece daha rahat olabileceği düşüncesiyle şirketin kamu ve tüketici müşteriler grubu üzerinde odaklanılır. Fabrikalar ve kamu kuruluşları gibi kamu ve özel sektör müşterilerini kapsayan bu müşteri grubu, siyah ürün denilen akaryakıt (fuel oil) taleplerinin, belirttikleri teslim süresi içinde şirket tarafından kendilerine teslim edilmesini beklerler. Müşteriler değişik miktarlardaki siparişlerini genellikle belirsiz zamanlarda verirler. Sipariş süreci, müşteri ile şirket arasında yapılan bir anlaşma ile başlar; daha sonra şirket, bir üçüncü-parti taşıyıcı firmayı müşteriye yönlendirir ki bundan sonra sipariş ve dağıtım süreci müşteri ile taşıyıcı firma arasında devam eder. İlgilenilen müşteri grubuna ilişkin olarak mevcut sipariş ve dağıtım yönetim sistemimdeki sorunların teşhisinden sonra, "Web-tabanlı Sipariş Yönetim Sistemi" (WSYS) ile "Dağıtım Yönetim Sistemi" (DYS), bu iki alt-sistemi birleştiren bir "Bütünleşme Modülü" ile birlikte önerilir. WSYS, sipariş kabulü ve sipariş işlem süreçlerini kapsamak üzere tasarlanırken, DYS odaklanılan müşteri grubuna ait lojistik işler için operasyonel bir karar destek sistemi olarak tasarlanmıştır. Karar desteği, 5-günlük (bir haftalık) yuvarlanan ufuk bazlı olarak her gün çalıştırılan bir tam-sayı programlama modeli ile sağlanır. Model, bir sonraki hafta için gerekli olan karışık (heterojen) araç filosu, müşterilere sevkiyat miktarları ve tarihleri ile sevkiyat rotalarını belirlerken, şirketin dağıtım giderlerini enazlamayı hedefler. Pilot çalışma yapmak üzere, şirketin 12 deposunu temsil eden yalnız Ege Bölgesi müşterilerine hizmet vermekte olan Aliağa deposu seçilir. Geliştirilen ana model ve onun kolay çözülebilen 'bölünmüş' versiyonu altı değişik senaryo için CPLEX yazılımı kullanılarak çözülür ve sonuçlar, mevcut sistemin ancak hesaplama ile tahmin edilebilen sonuçları ile karşılaştırılır. Önerilen DYS modeli, dağıtım maliyetlerinde %13.5 ila %20 arasında değişen bir azalma sağlayan ve çok daha az sayıda taşıyıcı firma ile çalışmayı öneren sonuçlar verir. Model, çözüm kalitesi olarak %0.38 ila %1.80 arasında değişen aralığı ('gap') olan sonuçları yaklaşık 2 saatlik bir hesaplama süresinde verir. Sonuç olarak, önerilen sistemin yardımıyla, şirketin, sipariş ve dağıtım süreçleri üzerindeki kontrolünün iyileşmesi ve çalışma tarzının reaktif olmaktan proaktif olmaya doğru ilerlemesi beklenir.

Anahtar sözcükler: Dağıtım, Araç Rotalama, Sipariş Yönetimi, Karar Destek Sistemi

Koç Üniversitesinde düzenlenen XXV. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresinde lisans öğrencilerinin bilimsel araştırma çabalarını teşvik etmek amacıyla bir araştırma yarışması düzenlenmiştir. Bu yarışmada birincilik ödülü kazanan çalışmayı ilgili öğretim üyesinin de katkılarıyla düzenlenmiş haliyle yayın politikası doğrultusunda yayınlıyoruz.

ABSTRACT

The company supplies petroleum products both from domestic and foreign suppliers, stores them in its depots (terminals) all over the country, and sells them to its retail stations, aviation and marine customers, its distributors, and commercial-and-industrial customers. In this study we focus on the 'commercial-and-industrial customers' segment of the company, due to the relative convenience for new system implementations for this customer segment. These customers -including private and public sector customers such as factories or public institutions- expect the company itself to deliver the so-called black product (like fuel oil) within the time windows they require. The customers place their orders of varying sizes usually at random times. The order process begins with the agreement made between the customer and the company; then the company assigns one of its third-party carriers to the customer as the second step after which the order and distribution process goes on between the customer and the third-party carrier. Having observed the problems inherent in the current order and distribution management system of this customer segment, we propose a "Web-based Order Management System" (WOMS), and a "Distribution Management System" (DMS) together with an "Integration Module" connecting the two systems. WOMS is designed to handle the order receiving and processing activities, whilst DMS is designed to be an operational decision support system for the logistics activities of the company related to the specified customer segment. The decision support is provided through an integer programming model, which is to be run by the company on a daily basis over a rolling horizon of five working days (a week). The model aims at minimizing the distribution logistics costs of the company, while deciding on the heterogeneous fleet size, the delivery quantities and dates, and the routes of the deliveries for the customer orders during the week ahead. We carry out a pilot study by considering the Aliağa depot, a representative of the 12 depots of the company, from where the customers in the Aegean region only are served. The model and its partitioned (easy-to-solve) version are both run using the software CPLEX for the six real scenarios, and the results are compared with the current system's actual results. The proposed DMS provides the company with solutions that result in a savings of 13.5% to 20% in distribution costs and quite a less number of third-party carriers, in about 2 hours of computation time with the gaps in the solution quality between 0.38% - 1.80% by means of the main model. By the help of the proposed system on the whole, it is expected that the company's control over the order and distribution processes can be improved, and that its working style can be changed from a reactive one to a proactive one.

Keywords: Distribution, Vehicle Routing, Order Management, Decision Support System

MEVCUT DURUM ve PROBLEM TANIMI

1941 yılından beri faaliyet göstermekte olan akaryakıt dağıtım şirketinin temel işlevleri; petrol ürünlerinin yurt içinden ve yurt dışından tedariki, depolanması, satışı ve dağıtımıdır. Şirketin Türkiye'de petrol ürünlerini stokladığı 12 deposu vardır. Şirketin müşterileri; benzin istasyonları, havacılık ve denizcilik işletmecileri, distribütörler ile 'kamu ve tüketici müşteriler' olarak gruplandırılır. Bu çalışma, toplam satışların yaklaşık % 22'sini oluşturan, petrol ürünlerini taşımacılıkta veya üretimde enerji girdisi olarak kullanan kurumsal müşterilerin oluşturduğu kamu ve tüketici müşteriler grubu üzerinde odaklanmaktadır.

Şirketin tüm tedarik zinciri sürecindeki ana problemi teşhis etmek üzere genel bir sistem analizi yapılmış ve 'balık kılıcı' diyagramı yardımıyla da dört temel süreçte (tedarik süreci, stok kontrolü, sipariş kabul ve işlem süreci, sevkiyat süreci) yaşanan sıkıntılar ve bunların sebepleri belirlenmeye çalışılmıştır [3]. Ancak stok yönetimi ile tedarik süreci alanlarında veri temini konusunda karşılaşılabilecek zorlukları ve kısıtları da dikkate alarak diğer iki süreç olan sipariş ve sevkiyat süreçleri üzerinde yoğunlaşmıştır.

Çalışmada ilgilenilen kamu ve tüketici müşteriler grubu için sipariş süreci, müşteri ile şirketin satış birimi arasında yapılan bir anlaşma ile başlar. Daha sonra şirket, müşteriyi bir üçüncü-parti taşıyıcı firmaya

yönlendirir ve bundan sonra süreç, müşteri ile taşıyıcı firma arasında devam eder. Müşteri atandığı taşıyıcı firmaya siparişini bildirir; firma da bunun üzerine müşteri için bir sevkiyat planı yapar ve bu plana göre dolmuş depoya gider. Depoda müşterinin kredi limiti¹ kontrol edilir; limit ile ilgili bir sorun yok ise tanker müşterinin istediği petrol ürünüyle doldurulup müşteriye gönderilir. Eğer depoda müşterinin kredi limiti ile ilgili bir sorun çıkarsa şirketin satış birimine bildirilir; kredi limiti arttırılırsa sevkiyat yapılır, aksi durumda sevkiyata izin verilmez.

Sipariş ve dağıtım süreçlerinin analizi yapılırken, şirketin bazı depolarında ve genel müdürlüğünde yapılan inceleme ve gözlemler sonucunda, olası problemlerin belirtileri olarak aşağıdaki olgular saptanmıştır:

- 1 Müşteri memnuniyetsizliği ve kayıp satışlar: Mevcut sipariş ve dağıtım sisteminde müşteriler şirket yerine üçüncü-parti taşıyıcı firma ile iletişim halindedirler. Müşteriler siparişlerinin durumu hakkında bilgi alamamakta ve teslimde gecikmeler olabilmektedir.
- 1 Müşteri, taşıyıcı, depo ve genel müdürlük arasındaki iletişim yeterince verimli değildir. Şirketin saha yöneticileri ve ulaşım koordinatörleri, sipariş ve dağıtım süreçlerinde yaşanan sorunları çözmek için gereğinden fazla emek ve zaman harcamaktadırlar.
- 1 Çok sayıda taşıyıcı firma ile çalışıldığı ve bu taşıyıcılar sipariş ve dağıtım süreçlerinde çok fazla işe karıştıkları için mal ve bilgi güvenliği sorunları yaşanmaktadır.

Yukarıda tartışılan üç belirti derinlemesine incelendikten sonra, problem "kamu ve tüketici müşteriler grubu için verimsiz sipariş ve dağıtım yönetim sistemi" olarak tanımlanır.

Problemin önemini destekleyen iki temel nokta vardır:

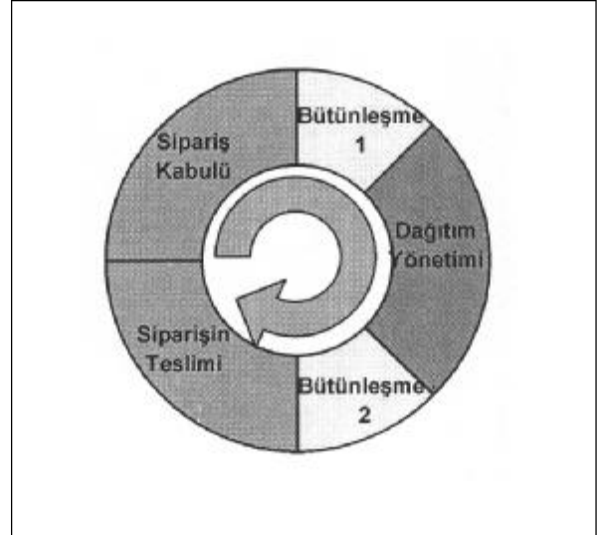
- 1 Şirketin petrol ürünleri dağıtımında pazar payını koruyabilmesi ve arttırabilmesi için müşteri memnuniyetini önemseme gereği vardır.
- 1 Hem yerli kaynaktan petrol ürünleri alım fiyatının, hem de yerli kaynaklara petrol satış fiyatının devletçe

¹ Bir müşterinin şirkete olan borcu için tanımlanmış kredi limiti

belirlenmesi sebebiyle, şirketin karlılığını arttırabilmesi, ancak stok tutma ve sevkiyat maliyetlerinden oluşan lojistik maliyetlerini azaltmasıyla mümkün olabilir (ancak stok kontrolü konusundaki veri ve bilgiye ulaşma zorluğundan dolayı, lojistik maliyetleri içinde dağıtım maliyetlerinin azaltılması üzerinde yoğunlaşılır).

ÖNERİLEN ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

İncelenen problem belirtileri ile problem çevresi bir bütün olarak düşünüldüğünde, bütünleşik bir sipariş ve dağıtım yönetim sisteminin tasarlanması gerektiği sonucuna varılır. Önerilen 'bütünleşik sipariş ve dağıtım yönetim sistemi' iki alt-sistem ile iki bütünleşme modülünden oluşur (Şekil 1). Bir alt-sistem olarak *Web-tabanlı Sipariş Yönetim Sistemi* (WSYS) işlevleri bakımından iki ayrı süreci kapsar: sipariş kabulü ve sipariş işlem (teslim). *Bütünleşme modülü 1* müşteri siparişlerini diğer alt-sistem olan *Dağıtım Yönetim Sistemi*'ne (DYS) aktarır. *Bütünleşme modülü 2* dağıtım kararlarını sipariş işlem sürecine iletir. Şekil 1'de tüm sistem bir döngü olarak temsil edilir.



Şekil 1. Bütünleşik Sipariş ve Dağıtım Yönetim Sisteminin Şematik Gösterimi

Web-tabanlı Sipariş Yönetim Sistemi (WSYS)

Sipariş kabulü ve sipariş işlem süreçlerinin verimliliğini arttırmak amacıyla şirket için yeni bir Web-tabanlı Sipariş Yönetim Sistemi önerilir. Bu sistem ile tüm ilgili birimler internet üzerinden iletişim sağlayabilirler. Müşteriler siparişlerini bir gün önceden belli bir saate kadar kullanıcı arayüzlerini kullanarak verirler. Siparişlerin yönetimi için merkezde yeni bir 'Sipariş Yönetim Birimi'nin kurulması önerilir. WSYS'de; müşteriler, taşıyıcılar, yöneticiler gibi kullanıcılara ve depolar, ürünler, müşteri siparişleri gibi elemanlara ait bilgiler veritabanlarında saklanacaktır. Veritabanları önceden tanımlanmış statik bilgi ile zaman içinde toplanacak dinamik bilgiyi kapsar. Veritabanları ile arayüzler arasındaki tüm işlemler değişik bilgi akış biçimleri olarak açıklanır. Bu durumda WSYS üç kısımdan oluşur: kullanıcı arayüzleri, veritabanları ve bilgi akış biçimleri. WSYS'nin kullanıcısı olan; müşteriler, şirketin Sipariş Yönetim Birimi ile Satış ve Lojistik Birimleri, depolar ve taşıyıcıların her birinin şirketin web sitesinden ulaşabileceği kendi arayüzü olacaktır (Şekil 2'de müşteriler için örnek bir arayüz verilir).

WSYS'nin sipariş kabul kısmında müşterinin sipariş vermesi ile müşteri, Sipariş Yönetim Birimi (SYB), Satış ve Lojistik Birimleri ile Müşteri Hizmetleri Birimleri arasında bilgi akışı başlar. SYB personeli müşteri siparişlerine ulaşabilir ve siparişleri değerlendirir. SYB kabul ettiği siparişleri sipariş havuzuna yollar ve SYB arayüzünde *kabul edilen siparişler listesine ekler. Müşterinin kredi-limiti problemi olduğunda sipariş problemli sipariş olarak değerlendirilir ve SYB tarafından Satış Birimine yönlendirilir. Satış Birimi görüşünü, kabul-red kararı alabilmesi için SYB'ye bildirir. Sipariş havuzunda böylece biriken siparişler önce Bütünleşme modülü 1'e, oradan da Dağıtım Yönetim Sistemi'ne (DYS) aktarılır. Sipariş kabulündeki bilgi akışı [3]'de daha ayrıntılı verilmiştir.*

Bütünleşme modülü 1

Bu bütünleşme modülü, müşteri siparişlerini alt-sistem WSYS'nin sipariş kabul kısmından diğer alt-sistem olan Dağıtım Yönetim Sistemi'ne (DYS) aktarır. Aslında bütünleşme modülü, DYS alt-sistemi kapsamındaki matematiksel modelin girdilerini, şirketin mevcut kurumsal kaynak planlama yazılımından

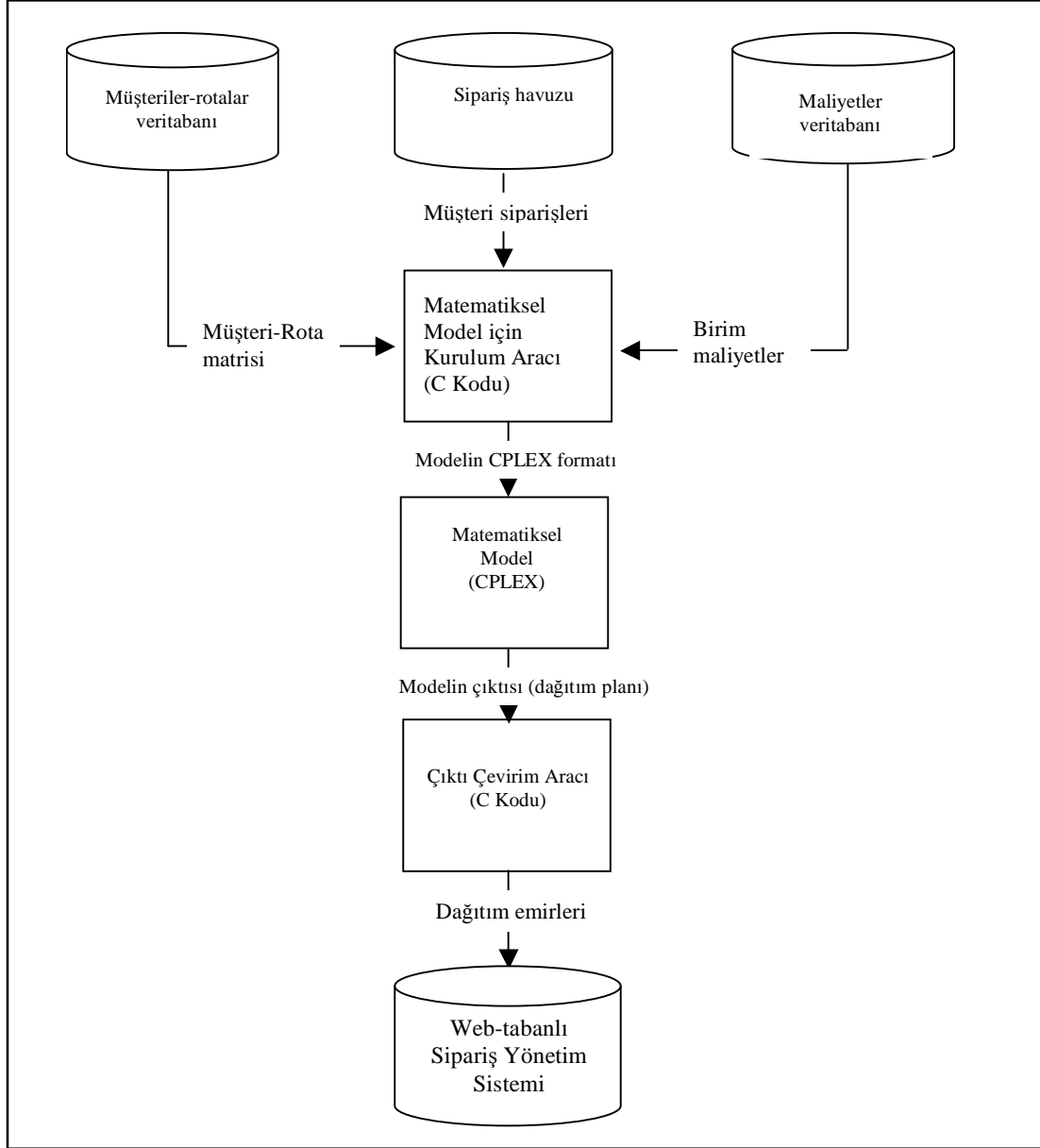
İsminin Adı	Sipariş Miktarı	Sipariş Durumu	Sipariş Zaman Aralığının Başlangıcı	Sipariş Zaman Aralığının Bitişi
Sipariş Adı	12	12/05/2015	12/05	12/05

Şekil 2. Web-tabanlı Sipariş Yönetim Sisteminde Müşteriler için Arayüz

olarak, modelin tam ve açık şeklini 'çıkıtı' olarak üreten bir C-program kodudur. Bu kodun girdileri; ilgili veritabanlarından alınan sevkiyat maliyetleri, siparişler, müşteri-rota matrisi² ve rota uzunluklarıdır (Şekil 3).

Dağıtım Yönetim Sistemi (DYS)

DYS, şirketin günlük dağıtım operasyonları için bir karar destek sistemi niteliğindedir. Dağıtım sürecinde bir tipi 5 kompartmanlı toplam 20 ton kapasiteli, diğeri



Şekil 3. Bütünleşik Sistemde Bilgi Akışı

² Müşteri-rota matrisi; sütunlarında müşteriler, sıralarında ise rotalar olan 0-1 matrisidir. Eğer bir müşteri bir rotada kapsanabiliyor ise karşılık gelen hücrede 1, aksi durumda 0 değeri bulunur.

ise 7 kompartmanlı toplam 28 ton kapasiteli iki farklı tip tanker kullanıldığı için araç filosu heterojen kabul edilir. En erken bir sonraki gün, en geç ise 5 gün sonrası için teslim tarihi olan tüm siparişler dikkate alınarak; 5-günlük, tek depolu, heterojen filolu araç rotalama problemi her gün çözülür. Çözüm için bir matematiksel model geliştirilir; bu model, dağıtım maliyetlerini azaltmak amacıyla gereksinim duyulan günlük araç filosunu ve optimum araç rotalarını belirler. Tüm olurlu rotalar, belli bir sezgisel yöntem ile önceden belirlenerek, günlük müşteri siparişleri ve taşıma maliyetleri ile birlikte modelin girdilerini oluşturur. Her ne kadar problem 5-günlük bir planlama ufku için çözülürse de yalnız ilk günün planı uygulanır; yuvarlanan-ufuk esasına dayalı olarak, bir sonraki gün tekrar 5-günlük bir çözüm elde edilir. Bu problemin amacı, kamu ve tüketici müşteri grubu için dağıtım giderlerini azaltmak ve aynı zamanda müşteri memnuniyetini arttırmaktır. Ayrıca mevcut duruma göre daha az sayıda taşıyıcı firma ile çalışmaya yönelik bir politika geliştirilir.

Tasarlanan bu sistemin şirketin 12 deposunda ayrı ayrı çalıştırılması gerekir. Ancak bu çalışma kapsamındaki uygulama için pilot çalışma olarak Aliğa deposu seçilmiştir. Bu seçimde; Aliğa müşterilerinin sayısı ve çeşitliliği, müşteri adreslerinin yaygınlığı, toplam yıllık satış cirosu ve şirketin tercihi gibi faktörler etkili olmuştur. Öncelikle şirkete, Aliğa deposu ile çalışan üçüncü-parti taşıyıcı firma sayısını 7'den 1'e düşürmesi önerilmiştir ki, bu uygulama şirketin uzun-erimli bir planıdır. Bu temsili taşıyıcı firmanın yoğun talep durumunda farklı taşıyıcı firmaların tankerlerini kiralayabileceği, sektördeki yüksek tanker arzına dayanarak öngörülmüştür.

Bütünleşme modülü 2

Matematiksel modelin çıktısı olan dağıtım planının ilk güne ait olan kısmı, bir C-program kodu aracılığı ile kolay-anlaşılır bir formata çevrilir. Bir sonraki güne ait olan dağıtım planı SYB tarafından onaylandıktan sonra akşam 5:00'e kadar WSYS aracılığı ile taşıyıcı firmaya iletilir. Taşıyıcı firma ertesi güne ait olan dağıtım planına uygun hazırlığını yaparak, her sipariş bilgisi ile bağlantılı

tanker plakasını bilgi sistemine girer. Bu bilgi yine WSYS aracılığı ile depoya, SYB'ne ve Lojistik Birimine ulaştırılır. WSYS'nin 'sipariş işlem' sürecini oluşturan bu bilgi akışı, müşterinin siparişi teslim aldığına ilişkin olarak sistemi bilgilendirmesi ile sona erer (Şekil 3).

DYS İÇİN DAĞITIM MODELİ

Veri Derlemesi ve Parametrelerin Belirlenmesi

Dağıtım maliyetleri

Dağıtım maliyetleri iki kısımdan oluşur: işletme maliyeti, sigorta maliyeti, araç ve ekipmana sahip olma maliyetinden (amortisman) oluşan tanker başına günlük maliyet (her tanker tipi için farklı); ve sürücü, yakıt, bakım/onarım ve araç lastiği maliyetini kapsayan kilometre başına maliyet (her tanker tipi için farklı).

Müşteri siparişleri

Müşteri siparişleri istenilen teslim zamanına göre üç değişik şekilde alınır. Sipariş müşteriye üçüncü-parti taşıyıcı firma tarafından

- (i) en geç belli bir tarihe kadar, veya
- (ii) belli tarihler arasında, veya
- (iii) belli bir günde teslim edilmelidir.

Olurlu araç rotaları

Rotalar, belli bir anayol üzerindeki müşterilerin gruplandırılması ile oluşur. Tüm olurlu rotalar geliştirilen bir sezgisel yöntem ile belirlenir. Güvenlik nedeniyle otoyollar ve toprak yollar oluşturulacak rotaların dışında tutulur. Bir rota üzerinde bir tanker ile kompartman kısıtından dolayı en fazla 7 müşteriye dağıtım yapılabilir. Bir müşteri en az bir rotaya dahil edilmelidir. Bir müşteriden bir başka müşteriye doğru rotanın yönünü belirlerken 'en kısa yol' seçilir. Benzer şekilde, aynı müşteri kümesini kapsayan ancak değişik sıralar ile dağıtım yapan rotalar arasından da en kısa rota seçilir.

Rota oluşturmak için geliştirilen sezgisel yöntem:

- 1 Anayollar gözönünde tutularak Ege Bölgesi kuzey, iç ve güney olmak üzere üç coğrafi alt-bölgeye ayrılır. Alt-bölgelerin her biri için ayrı bir rota kümesi

oluşturulur. Her alt-bölge için rota kümesini oluştururken önce ana rotalar şu şekilde belirlenir: depoya en uzak müşteriler saptanır ve depo ile en uzak müşteri arasındaki tüm müşteriler rotaya dahil edilir. Daha sonra bu ana rotalardan en uzak müşterilerin birer birer düşürülmesi ile yeni rotalar türetilir.

- I Daha sonra alt-bölgelerarası kısımlarda (kuzey-iç, iç-güney) ikinci bir rota kümesi daha oluşturulur. Son olarak da farklı alt-bölgelerde bulunmakla birlikte, birbirine ve Aliağa deposuna çok yakın müşterilerin gruplandırılmasıyla üçüncü bir rota kümesi oluşturulur.
- I Bazı kısıtlardan dolayı rotaların bir kısmı rota kümelerinden çıkarılır. Bu kısıtlar bir sürücünün araç kullanma süresinin günde 9 saat ile, tankerin hızının saatte 50 km. ile sınırlı olmasıdır. Dolayısıyla uzunluğu 450 km.yi geçen rotalar dikkate alınmaz. (Ancak Aliağa deposuna uzaklığı 462 km. ve 453 km. olan iki en uzak müşteriyi kapsayan iki ayrı rota hizmet zorunluluğundan dolayı rota kümesinden çıkarılmaz.)

Bu yöntem ile Ege Bölgesinde Aliağa deposu çıkışı 32 müşteri için toplam 295 farklı rota oluşturulmuştur (aslında 55 kadar olan müşteri sayısı, yakın adreslerin birlikte düşünülmesiyle 32'ye düşmüştür).

Matematiksel Model

DYS için geliştirilen matematiksel model; doğrusal, karışık tamsayı programlama modelidir. Model, toplam dağıtım maliyetini en aza indiren beş günlük (bir haftalık) bir dağıtım planı verir ve şirket ile şirketin taşıyıcı firması için bir karar desteği oluşturur. Gerekli olan tanker tip ve sayısının, depodan çıkan her tanker için en uygun rotanın ve rotadaki müşterilere teslim edilecek ürün miktarlarının kapsandığı bir sonraki güne ilişkin olan dağıtım planı; taşıyıcı firmaya, şirketin deposuna ve Lojistik Birimine verilir. Yuvarlanan-ufuk esaslı çalıştırılan modelin yalnız birinci gün için verdiği dağıtım planı uygulanmak üzere dikkate alınır. Taşıyıcı firma bu önerilen dağıtım planına göre ertesi gün için kullanacağı tankerleri belirleyebilir. Ayrıca şirketin

deposu ve Lojistik Biriminin dağıtım planından önceden haberdar olması ile 'sipariş teslimi' sürecinin güvenliği sağlanır.

Model dağıtım maliyetlerini azaltmak amacıyla, herhangi bir tankerin kapasitesine eşit olmayan değişik müşteri siparişlerini, değişik kompartmanlarını kullanarak aynı tankerde birleştirir. Değişik müşterilere ait siparişler aynı tankerde birleştirilirken, bir müşteriye ait bir sipariş değişik rotalara, tankerlere ve hatta haftanın değişik günlerine küçük partiler halinde bölünebilir. Bu şekilde modelde değişik müşteri siparişleri aynı tankerde birleştirilirken; izleyen beş gün içindeki sipariş teslim tarihleri ve sipariş miktarları, tanker kapasitesi gibi operasyonel kısıtlar ile mevcut olurlu rotalar dikkate alınır. Sezgisel bir yöntem ile önceden belirlenmiş tüm olurlu rotalar modele müşteri-rota matrisi olarak verilir.

İndeksler

i müşteri,	$i \in \{1,2,\dots,32\}$
j rota,	$j \in \{1,2,\dots,295\}$
k tanker tipi,	$k \in \{a,b\}$ (a : 20 ton kapasiteli tanker, b : 28 ton kapasiteli tanker)
t gün,	$t \in \{1,2,3,4,5\}$

Karar Değişkenleri

z	haftalık (5 günlük) dağıtım maliyeti (YTL)
X_{jkt}	t gününde j rotasında dağıtım yapan k tipi tanker sayısı
T_{ikt}	t gününde k tipi tanker ile i müşterisine teslim edilen ürün miktarı (ton)
S_{jikt}	t gününde k tipi tanker ile i müşterisine j rotasıyla teslim edilen ürün miktarı (ton)
$D_{t1-t2ikt}$	i müşterisinin [$t1$ $t2$] teslim süresi aralığı olan siparişinin t gününde k tipi tanker ile teslim edilen miktarı (ton)

Parametreler

U_j	j rotasındaki en uzak müşterinin depoya olan uzaklığı (km)
N_k	k tipi tankerde bulunan kompartman sayısı ($N_a=5, N_b=7$)

- C_k k tipi tanker için kilometre başına maliyet (YTL)
 L_k kullanılan bir k tipi tanker için günlük maliyet (YTL)
 $R_{(i)}$ i müşterisini kapsayan rotalar kümesi
 $S_{(j)}$ j rotasındaki müşteriler kümesi
 $D_{t1-t2 i}$ i müşterisinin $[t1 t2]$ teslim süresi aralığı olan talebi ($t2$ gibi belli bir teslim günü olan siparişler için $t1=t2$); $t1, t2 \in \{(1,1), (1,2), (1,3), (1,4), (1,5), (2,2), (2,3), (2,4), (2,5), (3,3), (3,4), (3,5), (4,4), (4,5), (5,5)\}$

Modelin amaç fonksiyonu ve kısıtları aşağıdaki gibidir :

Enazla

$$z = \sum_{t=1}^T \sum_{k=a,b} \sum_{j=1}^J (X_{jkt} U_j C_k + X_{jkt} L_k) \quad (0)$$

kısıtlar:

$$D_{t1-t2 i} = \sum_{t=1}^{t2} \sum_{k=a,b} D_{t1-t2 ikt} \quad \forall t1, \forall t2, \forall i \quad (1)$$

$$T_{ikt} = \sum_{t1=1}^t \sum_{t2=t1}^5 D_{t1-t2 ikt} \quad \forall k, \forall i \quad (2)$$

$$T_{ikt} = \sum_{j \in R_{(i)}} S_{jikt} , \quad \forall k, \forall t, \forall i \quad (3)$$

$$\sum_{i \in S_{(j)}} S_{jikt} \leq N_k X_{jkt} , \quad \forall j, \forall k, \forall t \quad (4)$$

$$X_{jkt} \text{ tamsayı değişken , } \forall j, \forall k, \forall t \quad (5)$$

- I Amaç Fonksiyonu (0), z ; dağıtım maliyetlerini en aza indirir. Bu nedenle, fonksiyon iki kısımdan oluşur: [(gidilen mesafe) x (kilometre başına maliyet, C_k)] ve [(bir tanker için sabit maliyet, L_k) x (sefere çıkan tanker sayısı)].
- I Kısıt (1) ; $[t1 t2]$ aralığında belli miktarda siparişi olan i müşterisinin daha küçük parçalara bölünerek teslim edilen siparişinin tam olarak karşılanmasını sağlar.
- I Kısıt (2); i müşterisine t gününde k tipi tanker ile teslim edilen miktarın, müşterinin t günü için bölünen siparişlerinin toplamına eşit olmasını sağlar.
- I Kısıt (3); t gününde k tipi tanker ile i müşterisine teslim edilen ürün miktarının, aynı günde k tipi tanker

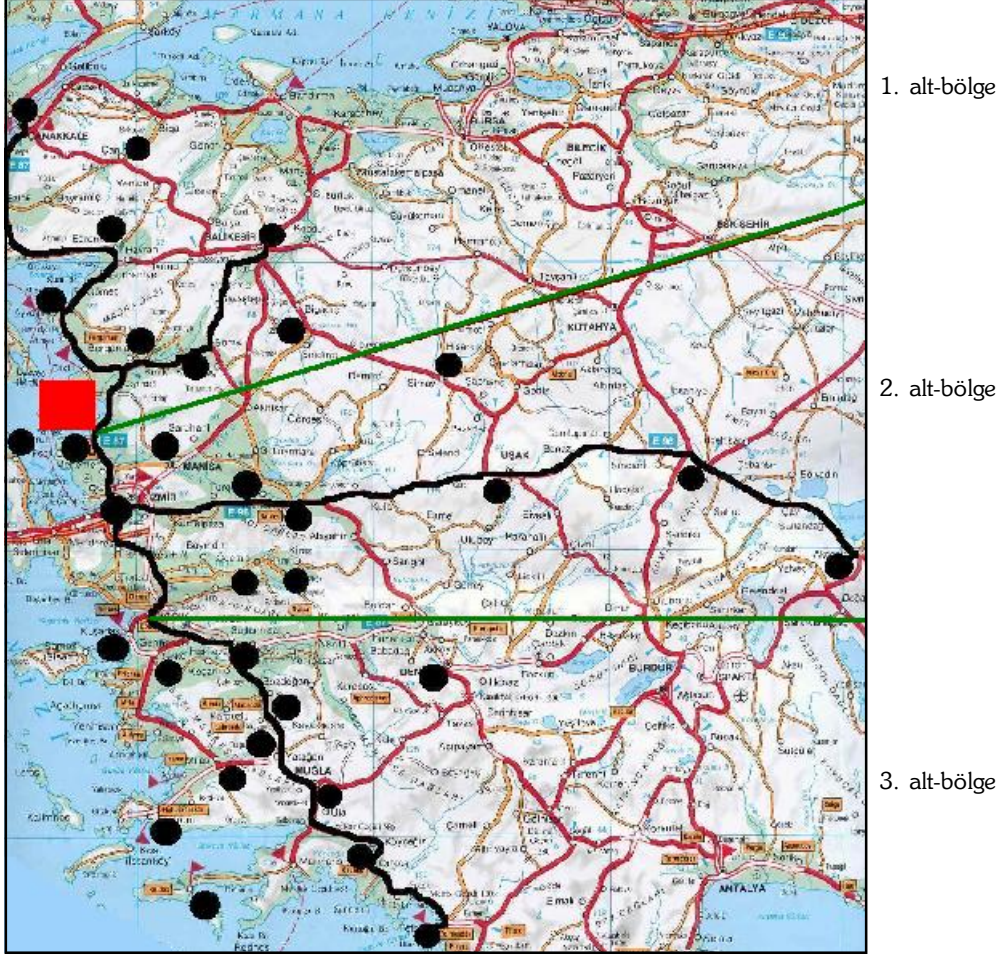
ile i müşterisine tüm rotalardan teslim edilen ürün miktarına eşit olmasını sağlar.

- I Kısıt (4), bir müşteriye belli bir günde belli bir rota üzerinden teslimat yapılması istenir ise en az bir kamyonun o rotaya verilmesini sağlar. Ayrıca gönderilen miktarın tanker kapasitesini aştığı durumda ek tanker çalıştırılmasını garanti eder.
- I Değişkenlerin tipini belirten kısıt (5) ise dağıtım yapan tankerlerin sayısının tamsayı olmasını sağlar.

MATEMATİKSEL MODEL İÇİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Önerilen matematiksel modelin boyutları dikkate alındığında çözümü oldukça zordur. Optimal çözümü garanti edebilmek için çok sayıda rota ile çalışma tercihi, modelin boyutlarını tamsayı değişken açısından çok fazla büyütür. Bu nedenle, uygulama açısından, modelin çözüm kalitesi ile çözüm süresinin ödünleşmesini incelemek gerekir. İki çözüm yöntemi önerilir: "ana model" ve "bölünmüş model". İlk yöntem, modelin, Aliağa deposuna bağlı tüm müşterileri kapsayacak şekilde tüm Ege Bölgesi için çalıştırılmasıdır. Bu yöntemde bütün müşteriler ve olurlu rotalar modele dahil edildiği için elde edilen dağıtım maliyeti en düşük maliyet olur. Ancak değişken sayısının yüksek olması nedeni ile modelin çalışma süresi uzayabilir. Seçenek olarak ikinci yöntem önerilir: model üç coğrafi alt-bölge için ayrı ayrı çalıştırılır. Müşterilerin üç coğrafi alt-bölgeye ayrılışı Şekil 4'deki haritada gösterilir. Daha küçük boyutlu olan bu modellerin ("bölünmüş model") çözümü çok kısa sürede mümkündür; ancak elde edilen çözümün optimal olma garantisi yoktur ([7]).

İki çözüm yönteminin başarımını görebilmek için gerçek senaryolar ile çalışılır ve sonuçlar mevcut sistem ile karşılaştırılır. Altı değişik senaryo; yaz ve kış aylarında, düşük yoğunluk, normal yoğunluk ve yüksek yoğunluk olarak düşünülür (Tablo 1). Senaryolardaki 'yoğunluk'; sipariş sayısı ve sipariş büyüklüğü ile açıklanır. Şirketin mevcut dağıtım sisteminde müşteri siparişi, depo-müşteri rotası ile müşteriye doğrudan taşıma olarak teslim edilir. Dolayısıyla, mevcut sisteme ait dağıtım maliyeti;



Şekil 4. Müşterilerin Yerleşimi ve Üç Coğrafi Alt-Bölge

modelin tek-müşterili rotalar ile çalıştırılması ile yaklaşık olarak hesaplanabilir.

Hem ana model, hem de bölünmüş modeller, her senaryoda tek problem olmak üzere altı değişik senaryo için çözülür. Tablo 1'de verilen sonuçlardan görüldüğü gibi, her iki çözüm yöntemi ile dağıtım maliyetleri mevcut duruma göre azalır.

Tablo 2'de iki modelin boyutları verilir. Ana modelin optimal çözüm süresi çok uzun olmasına karşın (Tablo 3), model 2-saat çözüm süresi sınırı ile çalıştırıldığında, altı senaryodan dördünde bölünmüş modelden daha iyi sonuç verir; geri kalan yoğun kişi senaryolarında

bölünmüş model daha düşük maliyetli sonuç vermesine karşın, ana modelin 2 saat sonucunda verdiği sonuçlar doyurucu kabul edilir. Ayrıca Tablo 2'de de görüldüğü gibi ana modelin 2-saat sınırı ile çalıştırılması ile elde edilen sonuçlardaki 'aralık'³, tüm senaryolar için %2 kadardır. Ancak bölünmüş model ile çözüm süresi en fazla 3 dakikadır.

DYS için önerilen karar destek modelinin katkısını daha iyi irdelemek amacıyla, Türkiye'deki yıllık dağıtımda sağlayabileceği maliyet azalması için bir öngörü yapılabilir. Ana model ile her senaryo için haftalık dağıtım maliyetlerinde sağlanan azalmalar toplanır ve

³ 'Aralık' (gap) bir enazlama problemi için o ana kadar elde edilen en iyi çözüm ile CPLEX'in sağladığı 'Alt Sınır' arasındaki farkın, en iyi çözüme oranıdır.

Tablo 1. Mevcut Sistemin Maliyetleri İle Önerilen İki Çözüm Yöntemi İle Elde Edilen Maliyetlerin Karşılaştırılması

Haftalık maliyet (YTL)		Kış			Yaz		
		yoğunluk			yoğunluk		
		Yüksek	Normal	Düşük	Yüksek	Normal	Düşük
Ana Model		17850.78*	16845.65*	16239.48*	11887.14*	11967.25*	10997.29**
Bölünmüş Model	Kuzey Ege	6417.61**	5750.74**	5659.71**	3501.47**	3426.22**	3195.25**
	İç Ege	1475.91**	1233.53**	1230.75**	1485.41**	1485.41**	1310.59**
	Güney Ege	9945.43**	9793.13**	9376.65**	7160.79**	7197.65**	6734.99**
	Toplam	17838.95***	16777.4***	16267.11***	12147.67***	12109.28***	11240.83***
Mevcut sistem		21429.09	20282.55	18968.8	15141.41	14948.71	12986.52

* çözüm süresi sınırı olan çözüm (2 saat)

** Optimal çözüm

*** alt-optimal çözüm

Tablo 2. Matematiksel Modellerin Boyutları

		Matematiksel modelin boyutları				
		Müşteri sayısı	Rota sayısı	Değişken sayısı	Tam-sayı Değişken sayısı	Kısıt sayısı
Ana Model		32	295	23630	2950	4070
Bölünmüş Model	Kuzey Ege	8	33	2440	330	610
	İç Ege	12	38	3300	380	800
	Güney Ege	12	37	3120	370	790

Tablo 3. Değişik Senaryolar İçin Ana Model İle Çözüm Süreleri

Senaryo Mevsim-yoğunluk	Senaryo özellikleri		Çözüm süresi (dak.)
	Sipariş veren ortalama müşteri sayısı/hafta	Ortalama sipariş sayısı/hafta	
Yaz-düşük	16	24	27.34
Yaz-normal	21	30	1031.45
Yaz-yüksek	23	34	2 saat zaman limiti
Kış-düşük	17	26	1213.54
Kış-normal	20	29	2 saat zaman limiti
Kış-yüksek	23	36	Bellek limiti

böylece 6-haftalık maliyet azalması kabaca 17,969.49 YTL olarak bulunur; bu değer 52/6 ile çarpılarak bir yıl için 155,735.58 YTL kadar bir maliyet azalması öngörülür. Ancak bu azalma sadece Aliağa deposundan Ege Bölgesi müşterilerine yapılan dağıtımı içerir. Aliağa deposundan toplam satışların yaklaşık %16'sının karşılandığı dikkate alınırsa yıllık toplam dağıtım maliyetindeki azalmanın 981,194.52 YTL civarında olacağı öngörülür. Ancak bu hesaplamada, diğer depoların da kamu ve tüketici müşterilere olan satışlarının Aliağa deposu ile aynı oranda olduğu ve dağıtım maliyetlerinin satılan petrol ürünleri ile miktarı ile doğru orantılı olduğu varsayımları yapılır.

Sonuç olarak, şirket siparişlerin yoğunluğuna ve günlük dağıtım planının ivediliğine bağlı olarak her iki çözüm yöntemini de birbirine seçenek olarak kullanabilir.

MÜŞTERİ MEMNUNİYETİNİ ARTTIRMAYA YÖNELİK MODEL

Siparişi için belli bir teslim süresi veren müşterinin, siparişini bölünmüş olarak partiler halinde değişik günlerde teslim alması müşteri için genellikle istenmeyen bir durum olabilir. Dolayısıyla bir siparişin sevkiyatının müşteriye aynı gün içinde değil de farklı günlerde yapılması sonucu müşteri memnuniyetsizliği oluşabilir. Bir siparişin tesliminin, değişik günlere bölünmeden aynı gün içinde yapılmasını sağlamak için modelde bazı değişiklikler yapılır: iki yeni 0-1 değişken kümesi tanımlanır ve yeni kısıtlar eklenir.

Ek değişkenler

$$B_{it} : \begin{cases} 1, \text{ eğer müşteri } i \text{ 'ye } t \text{ gününde sevkiyat yapılır ise} \\ 0, \text{ aksi durumda} \end{cases}$$

$$C_{t1-t2 i} : \begin{cases} 1, \text{ eğer müşteri } i \text{ [} t1 \text{ } t2 \text{] teslim süresi aralığı olan bir sipariş verir ise} \\ 0, \text{ aksi durumda} \end{cases}$$

Ek kısıtlar

- Eğer müşteri i 'ye t gününde sevkiyat yapılıyor ise (T_{ikt} bir değer alıyor ise), B_{it} değişkeni '1' değerini alır. Burada M için '100' gibi büyük bir sayı kullanılır.

$$\sum_{k=1}^2 T_{ikt} \leq M B_{it} \quad i, t$$

- Eğer müşteri i 'nin $[t1 \ t2]$ teslim süresi aralığı olan bir siparişi var ise $C_{t1-t2 i}$ değişkeni '1' değerini alır. Burada N için '100' gibi büyük bir sayı kullanılır.

$$D_{t1-t2 i} \leq N C_{t1-t2 i} \quad t1, t2, i$$

- Bir müşteriye hafta boyunca yapılan sevkiyat günü sayısı, müşterinin teslim süresi o hafta içine düşen sipariş sayısını aşmamalıdır. Bu kısıt, bir müşteri siparişinin sadece bir gün içinde teslim edilmesini sağlar.

$$\sum_{t=1}^5 B_{it} \leq \sum_{t1=1}^5 \sum_{t2=t1}^5 C_{t1-t2 i} \quad \forall i$$

Bu kısıtların eklenmesiyle 6 senaryo için çalıştırılan ana model ve 'değiştirilmiş' modelin sonuçları Tablo 4'de verilir. Her ne kadar sonuçların çoğu optimal

Tablo 4. Ana Model ile Değiştirilmiş Modelin Sonuçları

Haftalık maliyet (YTL)	Kış			Yaz		
	Yüksek	Normal	Düşük	Yüksek	Normal	Düşük
Ana Model	17850.78*	16845.65*	16239.48*	11887.14*	11967.25*	10997.29**
Değiştirilmiş Ana Model	17887.26*	16841.88*	16284.74*	11885.62*	11965.85*	10998.48**

* çözüm süresi sınırı

(2 saat)

** Optimal çözüm

olmayıp iki saatlik çözüm süresi sonunda alınan optimale-yakın sonuçlar olsa da, müşteri memnuniyetini arttırmanın şirkete ek bir maliyet getirmediği görülür.

SONUÇLAR VE BEKLENTİLER

- I Önerilen sipariş ve dağıtım yönetim sistemleri kullanımı ve anlaşılması kolay sistemler olarak tasarlanmıştır. Özellikle 'bütünleşme (entegrasyon) modülü sistemin bütünlüğünü tamamlar ve matematiksel model çözümlerinin daha kolay anlaşılmasını sağlar.
- I Şirketin dağıtım yönetimi için hızlı ve doğru çözümler sunan karar destek sisteminin içerdiği matematiksel model ile optimal çözüme uzaklığı en fazla %0.38 ile %1.80 arasında değişen çözümler kısa sürelerde elde edilebilir.
- I Önerilen DYS, dağıtım maliyetlerinde %13.5 ila %20 arasında değişen azalma sağlayabilir.
- I Önerilen 'bütünleşik sipariş ve dağıtım yönetim sistemi', diğer depolar için de kolaylıkla geliştirilebilir.
- I Bilgi teknolojisi bazlı çözümlerin tanıtılmasıyla elle yapılan işlemler büyük ölçüde azalabilir.
- I Verimli ve hızlı bir bilgi akışı sağlanabilir; böylece ilgili personelin gereksiz zaman ve emek kaybı önenebilir.
- I Müşteriler siparişlerinin durumunu internet üzerinden izleyebilirler.
- I Dağıtılan ürünün ve eldeki bilginin güvenliği sağlanabilir.
- I Şirketin sipariş ve dağıtım süreçleri üzerindeki kontrolü artabilir.
- I Şirketin çalışma şekli reaktif olmaktan çok proaktif olabilir.
- I Müşteriler üçüncü-parti taşıyıcı firmalar yerine doğrudan şirket ile iletişim kurabilir.
- I Gerek sipariş, gerekse dağıtım yönetim sistemlerindeki süreçlerde standardizasyon sağlanabilir.

- I Sipariş ve dağıtım verileri sistematik olarak kayda geçirebilir ve ilgili tarafların veri/bilgiye hızlı ve etkin erişimi sağlanabilir.
- I Daha az sayıda taşıyıcı firma/kişi ile çalışmak mümkün olabilecektir.
- I Önerilen sistem müşteri memnuniyetini arttırabilir.

KAYNAKÇA

1. Bruzzone, A., Orsoni, A., Mosca, R. ve Revetria, R., 2002. AI-Based Optimization for Fleet Management in Maritime Logistics, Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, editör: E. Yücesan, C.-H. Chen, J. L. Snowdon ve J. M. Charnes.
2. Bausch, D. O., Brown, G. G., Ronen, D., 1995. Consolidating and Dispatching Truck Shipments of Mobil Heavy Petroleum Products, Interfaces, 25:2, sayfa 1-17.
3. Fidanboy, S., Güneş, P., Hafizoğlu, B., Orak, G., Say, Y., Haziran 2005. Design of an Integrated Order and Distribution Management System for a Petroleum-Products Distributor Company, Sistem Tasarımı Proje Raporu, ODTÜ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara.
4. Ghiani, G., Guerriero, F., Laporte, G., Musmanno, R., 2003. Real-time Vehicle Routing : Solution concepts, algorithms and parallel computing strategies, European Journal of Operational Research, Cilt 151, sayfa 1-11.
5. Petrol Ofisi A.Ş Annual Report, 2004.
6. Powell, W. B., Carvalho, T. A., 1998. Dynamic Control of Logistics Queueing Networks for Large-Scale Fleet Management, Statistics and Operations Research Technical Report SOR-96-01.
7. Ruben, R., Concepcion, M., Javier, A., 2004. A Decision Support System for a Real Vehicle Routing Problem, European Journal of Operational Research, Cilt 153, sayfa 593-606.
8. Simchi-Levi D., Kaminsky P., Simchi-Levi E., 2003. Designing and Managing the Supply Chain, McGraw-Hill, Singapore.