

ARÇELİK YURT İÇİ TEDARİK ZİNCİRİ İÇİN ARAÇ SEVKİYAT VE ROTALAMA SİSTEMİ

Barbaros TANSEL, Fatma DAŞYÜREK, Semih EREN, Özge KAYA, Gökhan SEZGİN, Ebru ŞAHİNOĞLU*

*Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06800 Bilkent, Ankara
barbaros@bilkent.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada tedarikçilerden gelen malzemelerin Arçelik Bulaşık Makinesi İşletmesi'ne taşınması için kullanılacak rotaların ve taşıyıcıların hareket çizelgelerinin optimal veya optimale yakın bulunması amacıyla bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Sistem matematiksel model, benzetim modeli ve arayüz olmak üzere üç ana öğeden oluşmaktadır. Tedarikçi kümesinde veya tedarikçi taleplerinde olabilecek olası küçük değişimlere karşı önerilen çözümler benzetim modeli yoluyla hızlı bir şekilde değerlendirilebilmekte, büyük değişimler olduğunda ise matematik model yeniden çözümlenerek yeni optimal çözüm elde edilmektedir. Arayüz programı, her iki modelin teknik bilgilere sahip olunmasa bile daha kolay kullanılmasını sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Arçelik, tedarik zinciri, milkrun, araç rotalama, araç sevkiyat çizelgeleri

SCHEDULING AND ROUTING OF TRUCKS FOR ARÇELİK'S DOMESTIC SUPPLY CHAIN

ABSTRACT

In this study, a decision support system is designed to optimally determine the set of routes and shipment schedules to be used for collecting materials from domestic suppliers to be delivered to Arçelik Dishwasher Company. The system consists of three main components: A mathematical model, a simulation model, and an interface program. In case of minor changes in demands or in the current set of suppliers, the simulation model is used to evaluate solutions that are proposed in response to changes. For major changes, the mathematical model is solved relative to the new situation and a new optimum is obtained. The interface program allows to use both models with ease and without having to rely on technical knowledge.

Keywords: Arçelik, supply chain, milk-run, vehicle routing, vehicle shipment schedules

* İletişim yazarı

Bilkent Üniversitesi tarafından düzenlenen 29. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi Öğrenci Bildirileri Yarışması'nda ikincilik ödülü kazanan çalışmanın ilgili öğretim üyelerinin katkılarıyla düzenlenmiş halini EM Dergisi yayın politikası doğrultusunda yayımlıyoruz.

1. İŞLETME TANITIMI

1992 yılında Ankara Sincan Organize Sanayi Bölgesi'nde kurulan Arçelik Bulaşık Makinesi İşletmesi, 1993 yılında üretime başlamıştır. Şirket şu anda iç pazar hariç, beş farklı kıtada 60'a yakın ülkeye ihracat yapmaktadır. Ankara'daki 109 bin m²lik tesiste üretim yapan Arçelik A.Ş. ürün gamına ankastre ürünleri de ekleyerek işletme üretim kalitesini uluslararası kalite standartlarına taşımıştır. Mevcutta 600 farklı model ile fark yaratmaya devam etmektedir. Türkiye Patent Enstitüsü tarafından 2005'ten bu yana her yıl düzenlenen yarışmada "Patent Şampiyonu" olan Arçelik A.Ş., beyaz eşya sektöründe yeni bir dönem başlatan "Tek Tuş" bulaşık makinesi gibi buluşlarıyla bu iddiasını korumaktadır. Arçelik A.Ş., 2010 yılına kadar dünyanın tek çatı altında en büyük bulaşık makinesi üreticisi olmayı hedeflemektedir.

2. PROBLEM TANIMI

Arçelik'in mevcut yurt içi tedarikçi sisteminde 17 tedarikçi vardır. Haftalık talepleri karşılayacak şekilde malzemeler tedarikçilerden kamyon veya tırlarla toplanarak Arçelik Bulaşık Makinesi İşletmesi (BMİ)'ne ulaştırılmaktadır. 2006 öncesinde tedarikçiler kendi taşıyıcıları ile malzemelerini BMİ'ye ulaştırırken, 2006 yılı itibarıyla Arçelik tedarikçileri tek bir toplama ağında birleştirmiş ve milkrun sistemi ile malzemeleri toplamaya başlamıştır. Milkrun sisteminde her taşıyıcıya belirli bir rota tahsis edilmekte, taşıyıcılar kendilerine tahsis edilen rotalar üzerindeki tedarikçilere uğrayarak malzemeleri toplamakta ve BMİ'ye ulaştırmaktadır. Bu sistem, daha önce kullanılan ve her tedarikçinin kendi taşıyıcısını planladığı sisteme göre belirli performans iyileştirmeleri sağlamıştır. İyileştirmeler daha çok katedilen toplam mesafe, taşıma doluluk oranları ve taşıma sırasında oluşan hasar ve kayıplar açısından gerçekleşmiştir. Ayrıca toplam sevkiyat süresinde % 67, malzemenin stokta kalış süresinde ise % 20 oranında azalma olmuştur. Bu iyileştirmeler nedeniyle, milkrun sisteminden sorumlu olan birim, milkrun sistemini en verimli şekilde kullanabilme arayışı içine girmiştir.

Mevcut milkrun sisteminde bazı sıkıntılar mevcuttur. Mevcut uygulamada rotaların ve araç sevkiyatlarının belirlenmesi elle yapılmakta, bu da fazla iş gücü ve zaman gereksinimlerine yol açmaktadır. Tedarikçiler kümesinde eklemeler veya çıkartmalar yapılması söz konusu olduğunda, yeni rotalar hızlı bir şekilde belirlenememekte, sistemin değişikliklere adapte olması istenildiği kadar hızlı olamamaktadır. Ayrıca, kullanılmakta olan rotaların bütün olası rota alternatifleri arasında ne derece iyi veya kötü olduğunu belirleyebilecek bir yöntem olmaması nedeniyle, mevcut veya önerilebilecek rotaların optimumdan ne kadar uzak oldukları kestirilememektedir. Tek bir taşıyıcı bile olsa, 17 tedarikçiyi 17! (=3,56 x 10¹⁴) alternatif rota ile ziyaret etmek mümkündür. Bu çok büyük bir sayıdır ve bu kadar rota arasında toplam mesafeyi enküçükleyen hangisi olduğunu kestirmek basit hesaplarla yapılabilir bir iş değildir. Tek taşıyıcının kapasitesinin yetmediği durumlarda, iki veya daha fazla taşıyıcı arasında tedarikçilerin paylaşılması gerekir ki kaç taşıyıcı olacağı, tedarikçilerin bunlar arasında nasıl paylaşılacağı, her taşıyıcının hangi rotaya göre tedarikçilerden toplama işlemlerini gerçekleştireceği gibi sorular bilimsel esaslara göre probleme yaklaşılmasını zorunlu kılmaktadır. Mevcut sistemde ara depolar olmamakla birlikte, firma, bazı tedarikçilere ait malzemelerin ön toplamaya ara depoya getirilmesini, BMİ'ye sevkiyatın bu tedarikçiler için ara depolar yoluyla yapılmasını da alternatif bir sistem olarak değerlendirebilmeyi istemektedir. Bunun dışında, oluşturulacak rotalarda kamyonların veya tırların tedarikçi rampa özellikleriyle uyumlu olmaları, malzeme toplama saatlerinin tedarikçinin vardiya saatleriyle uyumlu olması, boğaz köprüsünden geçişlerin kamyon geçişine izin verilen saatlere denk getirilmesi, sürücüler için yolda geçen sürelerin kanunlarla belirlenmiş sınırlar içinde olması, kamyon doluluk oranlarının olabildiğince yüksek olması gibi çok sayıda kısıtın da dikkate alınması gerekmektedir.

Tasarlanacak sistem için üç performans ölçütü belirlenmiştir. Bunlar, katedilen toplam mesafe, araç doluluk oranları ve her rota üzerinde geçen yol süresidir (yükleme/boşaltma ve bekleme süreleri dahil).

Arçelik ileride çalışacağı tedarikçi sayısını artırmayı planladığı için sistem yeni tedarikçilerin eklenmesine elverişli olmalıdır. Ayrıca, bazı tedarikçilerle çalışmak verimli olmaktan çıktığı zaman, bu tedarikçilerin sistemden düşürülmesi gerekmektedir. Tedarikçi ekleme veya çıkarma, depo ekleme veya çıkarma, talep değişiklikleri ve rampa tipinde değişiklikler söz konusu olduğunda sistemin bu değişikliklere çabuk adapte olması istenmektedir.

3. ANALİZ

3.1 Mevcut Sistemin Analizi

İstanbul-Anadolu, İstanbul-Avrupa, Çerkezköy, Bolu ve Bursa olmak üzere beş bölgeye ayrılmış olarak toplama yapan mevcut milkrun sistemi, 17 tedarikçi, iki depo ve on farklı rotadan oluşmaktadır. Mevcut rotalar Ek 1’de verilmiştir.

Mevcut milkrun sisteminde, her bir rota için haftanın belirli günlerinde tedarikçilerden malzeme alınmasına yönelik toplama planları oluşturulmuştur. 1000’i aşkın malzeme çeşidi, 18 kamyon ve 9 tırta toplanmaktadır. Kamyonlar $(2,45) \times (8,00) \times (2,85) \text{ m}^3$ ebatlarında, tırlar $(2,45) \times (13,60) \times (2,85) \text{ m}^3$ ebatlarındadır. Malzemeler en ve boyları aynı olan $(80 \times 120 \text{ cm})$, yükseklikleri ise 60cm ile 180cm arasında değişen altı farklı tipte karton kutu ambalaj ile taşınmaktadır.

3.2 Literatür Taraması ve İnternet Araştırmaları

Milkrun sistemi için oluşturulacak toplama rotaları genel olarak Araç Rotalama Problemleri (ARP) sınıfı içindedir. ARP’de bir veya daha fazla taşıyıcı, bir depodan çıkış yaparak kendilerine tahsis edilen talep noktalarına belirli bir sıraya (rotaya) göre uğrar, uğradığı son talep noktasından sonra depoya geri döner. Buna göre her taşıyıcı depoda başlayan ve depoda sonlanan bir tur üzerinde hareket eder. Talep noktaları turlar arasında hiçbir talep noktası turlar dışında kalmayacak ve birden fazla taşıyıcıdan hizmet almayacak şekilde paylaşılır. Bu paylaşımların nasıl yapılacağı ve turların ne olacağı ana karar problemidir.

ARP Dantzig ve Ramser (1959) tarafından literatüre tanıtılmış, aynı makalede ilk matematik model ve çözüm algoritması verilmiş, birkaç yıl sonra Clarke ve Wright (1964) tarafından önerilen bir sezgisel algoritma ile çözüm kalitesi geliştirilmiştir. ARP ile ilgili geniş bilgi Desrochers, Lenstra ve Savelsbergh (1990), Laporte ve Nobert (1987), Laporte (1992), Desrochers, Desrosiers ve Solomon (1992), Fisher (1995) ve Toth ve Vigo (1998) makalelerinde bulunabilir.

Arçelik milkrun sisteminde ele alınan problem, ana yapı olarak ARP’ye benzerlik göstermekle beraber çok sayıda ek kısıtı da içerdiği için daha kompleks bir yapıya sahiptir. Milkrun sisteminde rotalar bir tedarikçiden başlayıp depoda sonlandığı için açık uçludur. Bu özelliği nedeniyle milkrun araç rotaları kapalı değil, açık turlar oluşturur. Açık Turlu ARP problemi Sariklis ve Powell (2000) tarafından ilk kez tanımlanmıştır ve NP-Zor problemler sınıfına dahildir (Repoussis, Tarantilis ve Ioannou 2006). Birden fazla araç olması durumunda, açık araç turları bir ağaç serim oluştururlar. Araçların rota üzerindeki hareketi, tedarikçi çalışma saatleri ve Boğaz köprüsü geçiş saatlerine uyumlu olmak zorunda olduğu için *Zaman Pencere*li ARP modeli olarak ele alınması daha uygundur. Ayrıca her aracın yükleme kapasitesi belirli olduğu için *Kapasite Kısıtlı* ARP olarak ele alınması zorunludur. Yol sürelerinin kanunen belirlenmiş sürelerin üzerine çıkmasına izin verilmemesi nedeniyle *Mesafe Kısıtlı* ARP olarak ele alınması uygundur. Sisteme bazı ara depolarının açılması ve toplamaların kısmen veya tamamen ara depolar yoluyla yapılması ise literatürde bildiğimiz herhangi bir ARP varyasyonu ile örtüşmemektedir. Ek olarak, tedarikçilerden toplanacak haftalık malzemelerin tek bir seferde alınması yerine, haftanın farklı günlerinde farklı miktarlarda alınması (haftalık toplamı sağlayacak şekilde) söz konusudur. Bu da problemin *Periyodik* ARP olarak ele alınmasına yol açar. Farklı taşıyıcı tipleri kullanılması nedeniyle *Heterojen* ARP olarak ele alınması gerekmektedir. Bütün bu yapısal özellikler, ele alınan problemin, ara depolar hariç, *Zaman*

Pencereli, Mesafe ve Kapasite Kısıtlı, Heterojen filolu, Periyodik, Açık Rotalı ARP olmasına yol açar ki, bu özelliklerin tamamını tek bir yapı içinde barındıran bir matematiksel model ARP literatüründe bizim bilgimiz dahilinde bulunmamaktadır.

Yukarıda sayılan nedenlerle, ele alınan problemi literatürdeki modellere dayandırmak yerine, tamamen özgün bir yapıda modellemeyi seçtik. Özgün modelin ana yapısı Tansel (2009) tarafından oluşturulmuş, bu yapıya Miller, Tucker ve Zemlin (1960) kısıtları eklenerek modele son şekli verilmiştir.

Benzetim modelimizi geliştirirken internette yapmış olduğumuz araştırmalar sonucunda Almanya merkezli SAT Simulations and Automations Technologies AG isimli bir danışmanlık şirketinin hazırlamış olduğu animasyonlardan faydalandık. Bu şirkette çalışan Dr. Thomas Arzt'ın göndermiş olduğu örnek tedarik zinciri benzetim modellerini de kendi modelimizi geliştirirken kullandık.

4. ÖNERİLEN YÖNTEM

Arçelik'in ana problemi uygulanmakta olan rotaların katedilen toplam mesafe, araç doluluk oranı ve her bir rotayı tamamlama süresi bakımından verimliliğinin şirket için tatmin edici olmaması, olası değişikliklere hızlı adapte olamamasıydı. Yapılan çalışmada rotaların daha kısa sürede bulunması için yeni bir metot geliştirme ve bulunacak rotaların performans ölçütlerine göre eniyileştirilmesi hedeflendi. Firmanın belirlediği kısıtlar göz önünde bulundurularak özgün bir matematiksel model oluşturuldu. Bu model GAMS 22.3 arayüzünde CPLEX yazılımı kullanılarak çözdürüldü. Çıkan sonuçları değerlendirmek amacıyla bir benzetim modeli oluşturuldu. Arena 11'de hazırladığımız bu model sayesinde matematiksel modelin sonucu olarak elde edilen rotaları gerçek hayatta uygulamaya geçmeden önce bir laboratuvar ortamında deneme fırsatı bulundu. Ayrıca kullanıcı tarafından belirlenecek herhangi bir rota da benzetim modeli kullanılarak değerlendirilebilir. Matematiksel modelin ve benzetim modelinin daha kolay kullanımı sağlamak için ise bir arayüz hazırlandı.

4.1 Matematiksel Model

Matematiksel model, girdileri arayüz yoluyla almakta ve olurlu milkrun rotalarını toplam mesafeyi enküçükleyecek şekilde bulmaktadır. Tedarikçi sayısı n olarak alındığında, model n^2 mertebesinde kısıt ve değişken içermektedir. Mevcut sistemdeki 17 tedarikçi için kısıt sayısı 26.300, değişken sayısı ise 12.600'dür (Tablo 1). NP-zor olan bu problem, GAMS yazılımının arayüzünde CPLEX çözücüsü kullanılarak çözülmektedir. 6 saatlik çözüm süresi sınırı içinde genellikle model optimalden en fazla % 11 sapma gösteren bir çözüm bulmaktadır. Mevcut sistemde kullanılmakta olan rotaların optimalden sapmaları bilinmediği için, matematik model optimal veya optimale yakın çözümler bularak mevcut sisteme göre önemli bir ilerleme sağlamıştır.

Tablo 1. Matematiksel Modelde $n=17$ için Kısıt ve Değişken Sayıları

	Mertebe	$n=17$
Kısıt	$O(n^2)$	26.300
Değişken	$O(n^2)$	12.600
0/1 Değişken	$O(n^2)$	4.000
Sürekli Değişken	$O(n^2)$	8.600

4.1.1 Matematiksel Modelin Girdileri ve Çıktıları

Ek 2'de geliştirilen matematiksel modelin tamamı verilmiştir. Modelin girdileri aşağıdaki gibidir:

- Tedarikçi bilgileri
 - Her bir tedarikçinin birbirlerine ve BMI'ye olan uzaklıkları
 - Tedarikçide bulunan rampa tipi
 - Tedarikçi vardiya saatleri
 - Her bir tedarikçinin bir günde sevk edebileceği maksimum ambalaj miktarı
- Ambalaj tipi ve sayısı cinsinden haftalık toplam talep
- Taşıyıcı tip, kapasite ve hızları
- Taşıyıcı tipleri arasındaki kullanım maliyeti farkını yansıtmak için kullanılacak katsayılar

- Depo bilgileri
 - Depo yerleri
 - Her bir depoya atanan tedarikçilerin listesi

Bu girdiler kullanılarak tedarik zincirini oluşturan rotalar bulunmaktadır. Her bir rotada hangi tedarikçiden hangi ambalaj tipinden ne kadar mal alınacağı, alım işleminin hangi gün ve saatte yapılacağı ve hangi taşıyıcı tipinin kullanılacağı bilgisi modelin çıktısını oluşturmaktadır.

4.1.2 Matematiksel Modelin Kısıtları

İlk olarak hiçbir tedarikçinin toplama ağı dışında kalmaması kısıtı konularak kurulan modele firma tarafından istenen aşağıdaki kısıtlar eklendi:

- *Kapasite kısıtı*: Taşıyıcıların kendi kapasitelerini aşmayacak şekilde taşıma yapmasını sağlayacak kısıtlar eklendi. Taşınacak ambalaj sayısı ile ilgili ambalajın hacmi çarpılarak taşınan mal hacmi bulundu. Modelin ambalaj hacimlerini sıvı hacim olarak işlemeden dolayı gerçekte taşıyıcıya parçalamadan sığdırılamayacak ambalajları koymasını engellemek için taşıyıcı kapasitesi 1'den küçük bir nominal katsayıyla çarpılarak modele girildi. Bu katsayı kamyonun taşıyabileceği maksimum toplam ambalaj hacmi taşıyıcı hacmine bölünerek hesaplandı.
- *Rampa tipi kısıtı*: Sadece kamyonların yükleme / boşaltma yapabileceği türde rampaya sahip olan tedarikçiler bir küme içerisinde tanımlandı ve bu tedarikçilerden tırla mal alımı yapılması engellendi.
- *Vardiya saati kısıtı*: Taşıyıcıların tedarikçilere yalnızca vardiya saatleri içerisinde uğramasını sağlamak için Miller, Tucker ve Zemlin (1960) kısıtları kullanıldı.
- *Köprü geçiş kısıtı*: Avrupa-Asya arası geçişlerde 16:00-22:00 arası köprü geçiş yasağı uygulandığı için taşıyıcıların bu yasağa takılmasını engelleyecek kısıtlar eklendi. Köprü, talebi sıfır olan bir tedarikçi olarak tanımlandı ve Avrupa'da yer alan tedarikçilerden çıkan taşıyıcıların bu tedarikçiye uğraması sağlandı.

- *Tedarikçi günlük sevkiyat kapasitesi*: Her bir tedarikçinin bir günde sevk edebileceği maksimum ambalaj sayısı belirlendi ve taşıyıcıların gün içerisinde bu sayıdan fazla alım yapması engellendi.

4.1.3 Depoyu Modele Dahil Etme

Kullanılacak olası depoların yerleri firma tarafından önceden belirlendi. Aşağıda bahsedilen arayüz yardımıyla kullanılmak istenen depoya uzaklığı azami 100 km ve haftalık talebi sekiz ambalajın altında olan tedarikçiler listelendi. Ancak kullanıcının söz konusu depoya atanacak tedarikçileri, listelenenlerin ve kalan tedarikçilerin arasından kendi belirlemesine imkan sağlandı. Matematiksel model, ana toplama noktası olarak BMİ yerine depoyu koyarak ve yalnızca o depoya atanan tedarikçiler modele girilerek çözdürüldü. Depoya taşınacak malzemeler haftanın ilk birkaç gününde kamyonetle toplatıldı, kalan günlerde ise var olan taşıyıcılar kullanılarak depodaki malzemeler BMİ'ye getirildi. BMİ'ye malzeme taşımak için kullanılacak rotalar belirlenirken depo bir tedarikçi gibi tanımlanarak kalan tedarikçiler ve ana toplama noktası olarak BMİ ile birlikte model çözdürüldü.

4.1.4 Matematiksel Model Çıktı Analizi

Taşıyıcı kapasitesi olarak her ne kadar nominal kapasite kullanılsa da model gerçekte taşınamayacak bazı ambalajları taşıyıcılara atamaktadır. Bunun sebebi modelin aslında üç boyutlu katı cisimler olan ambalajları sıvı farz ederek hacim hesaplaması yapmasıdır. Bir kamyon 2,2 m yüksekliğe kadar her birinin yüksekliği 100 cm olan 40 tane ambalaj ile doldurulmuş olsun. Bu ambalajların toplam hacmi 42,24 m³, kamyonun nominal kapasitesi ise 46,75 m³tür. Gerçekte bu taşınan ambalajlara ek olarak 80 cm yüksekliğinde başka bir ambalaj kamyonu taşınamayacakken model kalan 4,51 m³lük boş hacme hepsi 3,84 m³ yer kaplayan beş tane daha 80 cm yüksekliğe sahip ambalaj yerleştirmektedir. Taşınmakta olan 40 paletin üstünde 65 cm'lik boşluk kaldığı için buraya 80 cm yüksekliğindeki bu ambalajlardan konulamamaktadır. Bu tip

durumlarda taşınamayacak olan bu beş ambalaj malzeme mümkünse başka bir rotaya aktarılmalı ya da bunların taşınması için yeni bir rota eklenmelidir. Bu artış düzenleme işlemi tahmini olarak 10-15 dakika sürmektedir.

4.2 Benzetim Modeli

Matematiksel modeli kullanarak bulmuş olduğumuz sonuçları ve kullanıcının denemek istediği rotaları katedilen toplam mesafe, rota süreleri, maliyet ve araç doluluk oranlarını hesaplayarak gerçekçi bir ortamda değerlendirebilmek için Arena bazlı bir benzetim modeli oluşturuldu (Ek 3). Buna ilaveten tedarik zincirinde yapılabilecek kimi değişiklikler hayata geçirilmeden benzetim modeli yardımıyla görsel olarak değerlendirilebilmektedir. Bu değişiklikler talep miktarlarında, tedarikçi kombinasyonlarında, tedarikçi vardiya saatlerinde ve rota içi sıralamalarda gerçekleşebilir. Söz konusu değişikliklerin matematiksel modele yansıtılıp çözdürülmesi beklenmeden Arena'da oldukça hızlı bir şekilde değerlendirme yapılabilir. Ayrıca alternatif depo yerleri değerlendirilmek istendiğinde bu depoya atanacak tedarikçiler kullanıcı tarafından belirlenerek kullanılacak rotalar benzetim modeli yardımıyla hızlıca değerlendirilip makul rotalar depoya malzeme toplama kullanılabılır.

Benzetim modelinin girdileri aşağıdaki gibidir:

- Tedarikçi bilgileri
 - Tedarikçilerin birbirlerine ve BMI'ye olan uzaklıkları
 - Tedarikçi vardiya saatleri
 - Tedarikçide yükleme / boşaltma süreleri
 - Tedarikçilerin ambalaj tipi cinsinden talep miktarları
 - Depo yerleri ve tedarikçilere olan uzaklıkları
 - Köprü geçiş saatleri
 - Taşıyıcı tip, kapasite ve hızları
 - Rotalar ve başlangıç zamanları
- Benzetim modelinin çıktıları aşağıdaki gibidir (Ek 4):
- Toplam katedilen mesafe

- Rota süreleri
- Toplam maliyet (eğer taşıma maliyetleri firma tarafından sağlanırsa)
- Araç doluluk oranları

Model kurulurken 81 ilin birbirlerine en kısa yol uzaklıkları göz önüne alınarak tüm tedarikçilerin ve mevcut sistemdeki iki deponun yer aldığı bir ağ oluşturuldu (Ek 5). Yeni bir tedarikçi sisteme tanıtılmak istendiğinde o tedarikçinin bulunduğu ilin merkezine ve o ildeki diğer tedarikçilere olan uzaklıkları girilerek tedarikçi ağa dahil edildi.

Ağda yer alan her bir nokta *Enter-Process-Leave* (Giriş-İşleme-Çıkış) modülleri kullanılarak modellendi. *Enter* ve *Leave* modülleri taşıyıcının çağrılması ve bırakılmasını, *Process* modülü yükleme / boşaltma zamanlarının sisteme tanıtılmasını ve bu modül içindeki *Resource* (Kaynak) tedarikçi vardiya saatlerinin sisteme girilmesini sağladı. Rotalar *Sequence* (Dizi) olarak modellendi, ileride artabilecek rota sayısı göz önünde bulundurularak Excel üzerinden giriş yapmaya imkan sağlayan boş *Sequence* veri modülleri tanımlandı. Ayrıca yeni tedarikçilerin sisteme kolaylıkla eklenebilmesi için halihazırda kullanılmayan boş tedarikçiler ağa yerleştirildi. Yukarıda bahsedilen girdilerin tamamının modele müdahale etmeden Excel üzerinden alınması sağlandı.

4.3 Arayüz

Matematiksel modele ve benzetim modeline kullanıcı tarafından asgari düzeyde müdahale edilmesini sağlayacak kullanıcı dostu Excel tabanlı bir arayüz (Ek 6) ve kullanım kılavuzu hazırlanmıştır (Ek 7).

Arayüzün işlevleri aşağıdaki gibidir:

- *Tedarikçi ekleme / çıkarma*: Sisteme yeni bir tedarikçi eklenirken o tedarikçinin ismi, bulunduğu şehrin merkezine ve o şehirdeki diğer tedarikçi ve depolara olan uzaklığı, Avrupa ya da Asya'da bulunma durumu, rampa tipi, vardiya saatleri, kullandığı ambalaj tip(ler)i ve bir günde sevki edebileceği maksimum ambalaj miktarı

bilgilerinin girilmesi gerekmektedir. Sistem eklenen tedarikçinin var olan diğer tüm tedarikçilere olan uzaklığını kendisi hesaplamaktadır.

- *Tedarikçi bilgisi değiştirme:* Halihazırda tanımlı olan tedarikçilerin rampa tipi, kullandığı ambalaj tipi, bir günde sevki edebileceği maksimum ambalaj miktarı ve vardiya saatleri değiştirilebilmektedir.
- *Talep ekleme / çıkarma / değiştirme:* Tedarikçi ve gün seçildikten sonra yeni talep bilgisi girilmektedir.
- *Ambalaj tipi ekleme / çıkarma:* Yeni bir ambalaj tipi sisteme eklenirken ilgili ambalajın en, boy ve yükseklik bilgisi cm bazında girilmektedir.
- *Depo ekleme:* Sisteme bir depo eklenirken o deponun ismi, bulunduğu şehrin merkezine ve o şehirdeki diğer depo ve tedarikçilere olan uzaklığı, ilgili depoya atanacak tedarikçilerin isim bilgileri girilmelidir.
- *Depo aktifleştirme / pasifleştirme:* Sisteme firma tarafından önceden belirlenen altı olası depo yeri tanımlandı. Bir depo kullanıcı tarafından aktif hâle getirilmek istendiğinde, bu depoya azami uzaklığı 100 km ve haftalık talep miktarı sekiz ambalajdan az olan tedarikçiler arayüzde listelenir. Ancak kullanıcı bu depoya atamak istediği tedarikçileri, hem listelenenlerin ve hem de kalan tedarikçilerin arasından seçebilmektedir.
- *Taşıyıcı tipi ekleme / çıkarma:* Sisteme yeni bir taşıyıcı eklenirken o taşıyıcının türü ve kapasitesi (dm^3) sistemde tanımlanır.

- *Gün değiştirme:* Tedarikçilerden malzeme toplanacak günleri belirlemek için kullanılmaktadır.

5. SONUÇLAR

5.1 Sistem Performansı

CPLEX kullanılarak çözdürülen matematiksel model, milkrun sistemindeki mevcut tedarikçiler ve talep miktarlarıyla yaklaşık olarak 6 saatte en iyi alt sınırdan %11 uzaklıkta bir çözüm vermektedir. Mevcut sistemde rotaların elle oluşturulması yaklaşık iki gün sürüyor ve bu rotaların optimale göre nasıl konuşlandıkları ölçülemiyordu. Tasarlanan karar aracı sayesinde kullanıcı birkaç saat içerisinde ölçülebilir verimli rotaları elde edebilmektedir.

5.2 Proje Kazanımları

Mevcut tedarikçi kümesine göre firmanın kullandığı rota sistemiyle karar aracımızın sonucunda bulmuş olduğumuz çözümün performans ölçüt değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Proje çıktılarının Mayıs 2009 itibarıyla uygulanmasıyla katedilen toplam mesafede %30 azalma, ortalama taşıyıcı doluluk oranında %14 artış ve tedarik zincirinde meydana gelebilecek değişikliklere yanıt verme süresinde ise %94 azalma elde edilmiştir. Projenin başında hedeflenen tüm kalemlerde iyileştirme elde edilmesine ilaveten mevcut durumda taşınan malzemelerin aslında daha az taşıyıcı kullanılarak BMİ'ye getirilebileceği tespit edilmiş böylece yıllık

Tablo 2. Kullanılmakta Olan Tedarikçiler Bazında Mevcut Sistem ve Önerilen Sistemin Performans Ölçüt Değerleri

	Mevcut sistem	Önerilen sistem	İyileştirme (%)
Katedilen Toplam Mesafe (km)	5645	3980	29,50
Ortalama Teorik Araç Doluluk Oranı (%)	64,50	73,40	13,80
Ortalama Nominal Araç Doluluk Oranı (%)	75,88	86,35	13,80

malzeme ulaşım maliyetinde %11 diğer bir ifadeyle 74.000 TL iyileşme sağlanmıştır.

6. UYGULAMA PLANI

Matematiksel modelin çalıştırılması için GAMS 22.3 arayüzünü kullanan CPLEX, benzetim modelinin çalıştırılması içinse Arena 11 yazılımlarının kullanıcının bilgisayarında yüklü olması gerekmektedir. Projemizin çıktılarından memnun olan Arçelik bu yazılımları satın almayı planlamaktadır. Ayrıca bu iki modelin girdilerinin yazılımlar tarafından okunabilmesi ve parametrelerinin kullanıcı tarafından değiştirilebilmesi için Microsoft Excel kullanılmaktadır.

İlk olarak, çalıştırılması gereken matematiksel modelin girdileri arayüz yoluyla Excel'e girilecektir. Modelin vereceği sonuçların kullanıcı tarafından okunması ve bu sonuçları hayata geçirebilmek için artçı düzenleme yapılmasının ardından sonuçlar Arena'nın

7. GENEL DEĞERLENDİRME

Geliştirmiş olduğumuz matematiksel modelin çıktıları benzetim modeline aktarılarak test edilmiştir. Bu test aşamasında oluşabilecek sorunlar önceden tespit edilmiş ve şirkette uygulanmaya başlamadan önce gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Arena platformunda tedarikçi ekleme ve yeni rota yaratmada sorunlarla karşılaşılması adına önceden yaratılan boş tedarikçi ve rotalar, sistemin kullanım kolaylığını arttırmıştır.

Projenin öngörülen kazanımları Tablo 3'te verilmiştir.

Geliştirilen karar aracı, arayüz kullanılarak sistem parametrelerinin rahatlıkla değiştirilebilmesi de göz önüne alındığında, sadece Arçelik'te değil, montaj sektöründe faaliyet gösteren herhangi bir firmada kullanılabilir niteliktedir. Karar aracının bir diğer önemli özelliği ise, tek seferlik kullanılacak bir çözüm

Tablo 3. Proje Kazanımları

Mevcut Sistem	Öngörülen Sistem	Öngörülen Kazanım
Elle rota bulma	Matematiksel Model	İşgücü tasarrufu ve rota verimliliği artışı
Performans ölçütlerini elle hesaplama	Benzetim Modeli	İşgücü tasarrufu ve zaman kazancı
Dağınık veriler	Arayüz	Bilgi yönetimi

girdi olarak kullandığı bir başka Excel dosyasına aktarılacaktır. Benzetim modelinde koşturulan sonuçların katedilen toplam mesafe ve araç doluluk oranı gibi performans ölçütleri hesaplanacaktır. Kullanıcının kararını verirken bu ölçütlerin değerlerini dikkate alması beklenmektedir.

Kurulan sistem firmada uygulanmaya başlamadan önce sistemi kullanacak olanlara tanıtılmıştır. Kullanıcıya çıktıların nasıl yorumlanması gerektiği uygulamalı olarak anlatılmış ve alınan çıktıların artçı düzenleme yapılarak geliştirilmesi, gereken durumlarda ise bunun nasıl yapılacağı ayrıntılı bir şekilde aktarılmıştır.

üretmek yerine tedarikçi kümesi, haftalık toplanacak malzeme miktarları veya ara depolar değiştiğinde, yeni optimum rotaları kolaylıkla bulabilmesidir. Bu özelliği ile, tasarlanan sistem değişen koşullarda bile uzun yıllar boyunca kullanılabilir niteliktedir.

TEŞEKKÜR

Bu projenin gerçekleşmesinde ayırdıkları zaman, verdikleri bilgi ve yönlendirmeler için, Arçelik Bulaşık Makinesi İşletmesi Üretim Planlama Yöneticisi Sn. N. Tanzer Tunçalp ve yardımcısı Sn. İlker Demet Şensoy'a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKÇA

1. Clarke, G. ve Wright, J. V. 1964. "Scheduling of Vehicles From a Central Depot to a Number of Delivery Points", *Operations Research*, 12, 568-581.
2. Dantzig, G.B. ve Ramser, J.H. 1959. "The Truck Dispatching Problem", *Management Science*, 6, 80.
3. Desrochers, M., Desrosiers, J. ve Solomon, M. A. 1992. "A New Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows", *Operations Research*, 40, 342-354.
4. Desrochers, M., Lenstra, J.K. ve Savelsbergh, M.W.P. 1990. "A Classification Scheme for Vehicle Routing and Scheduling Problems", *Journal of Operational Research Society*, 46, 322-332.
5. Fisher, M.L. 1995. "Vehicle Routing", *Handbook in Operations Research and Management Science 8: Network Routing*, North-Holland, Amsterdam. Editörler: Ball, M.O., Magnanti, T.L., Monma, C.L. ve Nemhauser, G.L., Bölüm 1, 1-33.
6. Laporte, G. ve Nobert, Y. 1987. "Exact algorithms for the Vehicle Routing Problem", *Annals of Discrete Mathematics*, 31, 147-184.
7. Laporte, G. 1992. "The Vehicle Routing Problem, An Overview of Exact and Approximate Algorithms", *European Journal of Operational Research*, 59, 345-358.
8. Miller, C., Tucker, A. ve Zemlin, R. 1960. "Integer Programming Formulation of Travelling Salesman Problems", *Journal of the ACM*, 7, 326-329.
9. Repoussis, P.P., Tarantilis, C.D. ve Ioannou, G. 2006. "The Open Vehicle Routing Problem with Time Windows", *Journal of the Operational Research Society*, AOR 1/2/06 doi 10.1057/palgrave.jors.2602143.
10. Sariklis, D. ve Powell, S. 2000. "A Heuristic Method for the Open Vehicle Routing Problem", *Journal of the Operational Research Society*, 51, 564-573.
11. Tansel, B.Ç. 2009. "Mathematical Programming Models for the Milk-run Problem", *Araştırma Notları*, Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06800 Bilkent, Ankara.
12. Toth, P. ve Vigo, D. 1998. "Exact Solution of the Vehicle Routing Problem", *Fleet Management and Logistics*, Kluwer, Boston, MA. Editörler: Crainic, T. ve Laporte, G. Bölüm 1, 1-31.

EKLER

Ek 1. Mevcut Rota Bilgileri

Rota No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rota Bölgesi	İstanbul Anadolu	İstanbul Anadolu	İstanbul Avrupa	İstanbul Avrupa	Çerkez köy	Bolu	Bolu	Bolu	Bursa	Bolu
Taşıyıcı Tipi	Kamyon	Kamyon	Kamyon	Kamyon	Tır	Kamyon	Kamyon	Kamyon	Kamyon	Tır
Uğranılan Tedarikçi Sırası	Maktel	Maktel	Danka	Danka	Şiteks	Balorman	Alp Plastik	Alp Plastik	Ferkan	Balorman
	Kalite	Telform	Gimsan	Gimsan	Arçelik Motor	BMİ	BMİ	Tansel	Plastform	BMİ
	Telform	Deka	Deka	Ejot	BMİ			BMİ	Rehau	
	Deka	TMC	Akplas	Deka					BMİ	
	Akplas	Akplas	Telform	Akplas						
	BMİ	BMİ	BMİ	Telform						
			BMİ							
Haftalık Sipariş Sıklığı	1	1	1	1	3	5	4	2	1	6
Katedilen Mesafe (km)	500	495	660	685	1592	800	680	350	530	960

Ek 2. Matematiksel Model*Kümeler*

- \bar{N} : tüm tedarikçiler ve ana toplama (0) noktası (BMİ)
 \bar{N} : tüm tedarikçiler
 F : ana toplama (0) noktası (BMİ)
 T : günler
 K : taşıyıcı tipleri
 KRT : kamyon rampalı tedarikçiler
 AVR : İstanbul Avrupa yakasındaki tedarikçiler
 ANA : İstanbul Anadolu yakasındaki tedarikçiler

Parametreler

- l_{ij} : i ve j tedarikçileri arası uzaklık
 W_i : i tedarikçisinden alınacak hacim cinsinden haftalık malzeme miktarı toplamı
 W_0 : tüm tedarikçilerden alınacak hacim cinsinden haftalık malzeme miktarı toplamı
 v_i : i tedarikçisinin kullandığı ambalaj tipinin hacmi
 C_k : k taşıyıcı tipinin kapasitesi
 α_k : k taşıyıcı tipi için maliyet katsayısı
 n_k : k taşıyıcı tipi için nominal kapasite katsayısı
 h_k : k taşıyıcı tipinin ortalama hızı
 e_i : i tedarikçisinin vardiya başlangıç saati
 l_i : i tedarikçisinin vardiya bitiş saati
 p_i : i tedarikçisinin ambalaj yükleme/boşaltma süresi
 m_i : i tedarikçisinin bir günde sevk edebileceği maksimum ambalaj miktarı

Değişkenler

- x_{ijkt}^1 : i tedarikçisinden j tedarikçisine k tipi aracın t gününde götürdüğü hacim cinsinden toplam malzeme miktarı
 x_{ijkt}^2 : i tedarikçisinden j tedarikçisine t gününde giden k tipi araç sayısı
 $y_{ikt} = \begin{cases} 1, & i \text{ tedarikçisi başlangıç noktası ise} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$
 w_{ikt} : i tedarikçisinden k araç tipiyle t gününde alınan hacim cinsinden toplam malzeme miktarı
 W_{kt} : tüm tedarikçilerden k araç tipiyle t gününde alınan hacim cinsinden toplam malzeme miktarı
 $z_{ijkt} = \begin{cases} 1, & i \text{'den j'ye k araç tipi t gününde gidiyor ise} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$
 t_{ikt} : k araç tipinin t gününde i tedarikçisine varış saati

Model

$$\text{enküçükle } z = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_t \alpha_k \cdot l_{ij} \cdot x_{ijkt}^2$$

$$\sum_j x_{ijkt}^2 - \sum_j x_{jikt}^2 = -y_{ikt} \quad \forall i \in \bar{N}, k \in K, t \in T$$

$$\sum_j x_{0jkt}^1 - \sum_j x_{j0kt}^1 - W_{kt} = 0 \quad \forall k \in K, t \in T$$

$$\sum_j x_{jikt}^1 - \sum_j x_{ijkt}^1 - v_i \cdot w_{ikt} = 0 \quad \forall i \in \bar{N}, k \in K, t \in T$$

$$W_0 = \sum_k \sum_t W_{kt}$$

$$W_{kt} = \sum_i v_i \cdot w_{ikt} \quad \forall k \in K, t \in T$$

$$W_i = \sum_k \sum_t w_{ikt} \quad \forall i \in \bar{N}$$

$$x_{ijkt}^2 \leq x_{ijkt}^1 \quad \forall i \in N, j \in N, k \in K, t \in T$$

$$x_{ijkt}^1 \leq n_k \cdot C_k \cdot x_{ijkt}^2 \quad \forall i \in N, j \in N, k \in K, t \in T$$

$$w_{i''TIR''t} = 0 \quad \forall i \in KRT, t \in T$$

$$\sum_k w_{ikt} \leq m_i \quad \forall i \in N, t \in T$$

$$x_{ijkt}^2 \leq M \cdot z_{ijkt} \quad \forall i \in N, j \in N, k \in K, t \in T$$

$$z_{ijkt} \leq x_{ijkt}^2 \quad \forall i \in N, j \in N, k \in K, t \in T$$

$$p_j - t_{ikt} + t_{jkt} + M \cdot z_{ijkt} \leq M - \frac{l_{ij}}{h_k} \cdot z_{ijkt} \quad \forall i \in N, j \in N, k \in K, t \in T$$

$$t_{ikt} \geq e_i \quad \forall i \in N, k \in K, t \in T$$

$$t_{ikt} \leq l_i \quad \forall i \in N, k \in K, t \in T$$

$$z_{ijkt} \leq z_{i''KÖPRÜ''kt} \quad \forall i \in ANA, j \in AVR, k \in K, t \in T$$

$$z_{i''KÖPRÜ''kt} \leq z_{i''KÖPRÜ''jkt} \quad \forall i \in ANA, j \in AVR, k \in K, t \in T$$

$$z_{j''KÖPRÜ''kt} = 0 \quad \forall j \in AVR, k \in K, t \in T$$

$$x_{ijkt}^1 \geq 0 \quad \forall i \in N, j \in N, k \in K, t \in T$$

$$x_{ijkt}^2 \geq 0 \text{ ve tam sayı} \quad \forall i \in N, j \in N, k \in K, t \in T$$

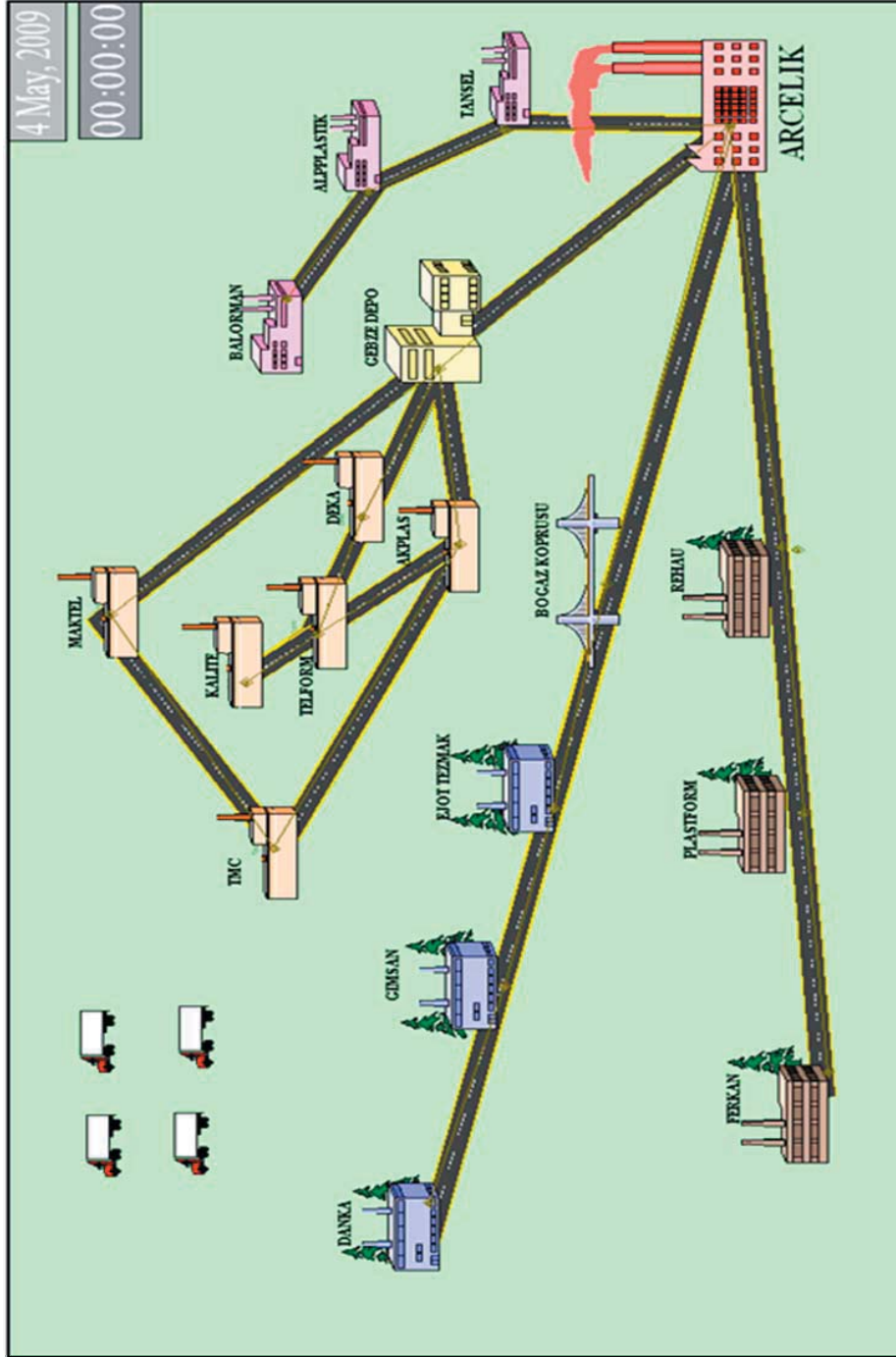
$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in \bar{N}$$

$$w_{ikt} \geq 0 \text{ ve tam sayı} \quad \forall i \in \bar{N}, k \in K, t \in T$$

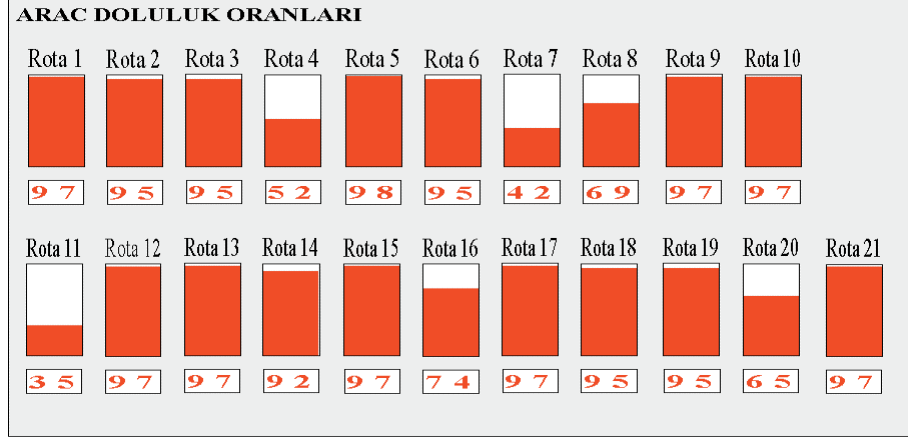
$$z_{ijkt} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, j \in N, k \in K, t \in T$$

$$t_{ikt} \geq 0 \quad \forall i \in N, k \in K, t \in T$$

Ek 3. Benzetim Modeli Animasyonu



Ek 4. Benzetim Modeli Performans Analizi Çıktıları



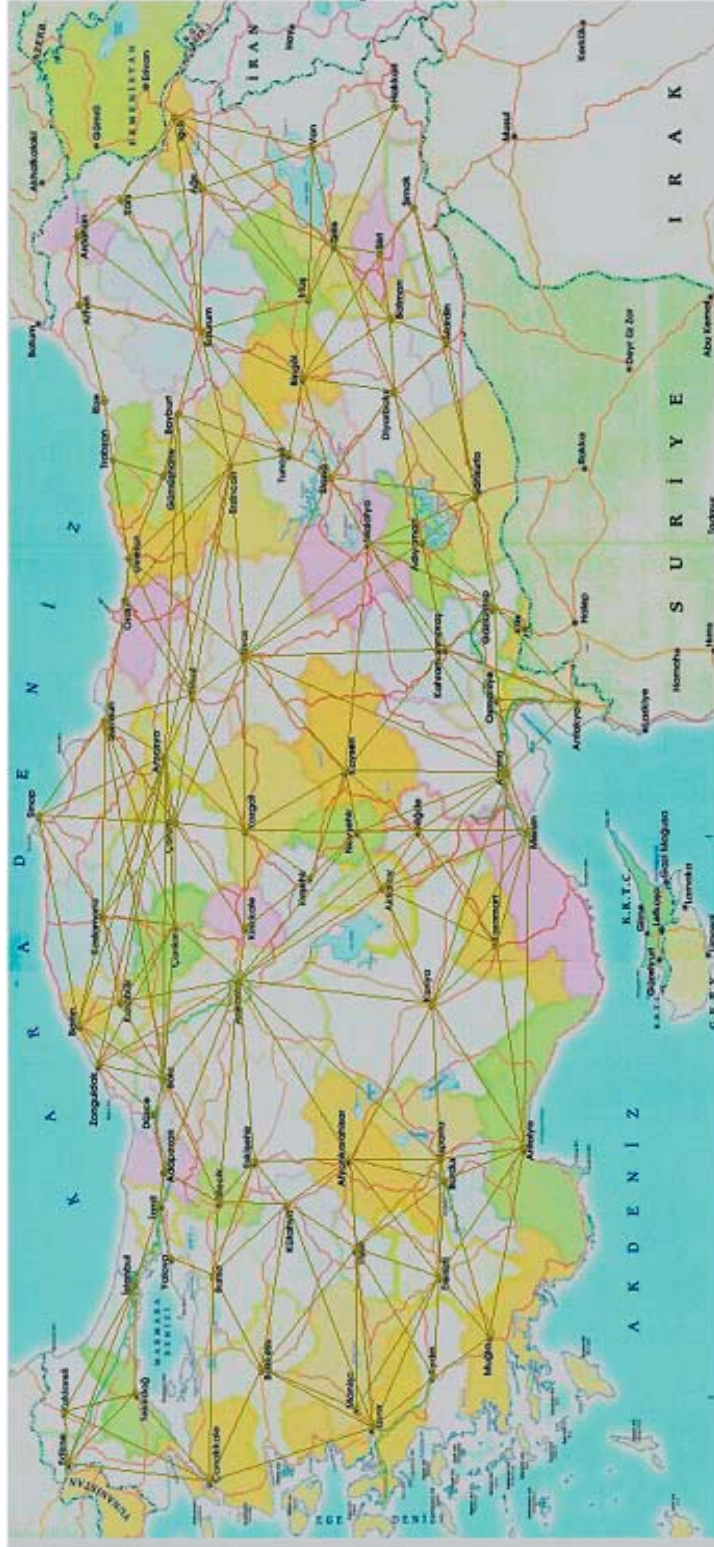
Katedilen KM

Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Rota 6	Rota 7	Rota 8	Rota 9	Rota 10	Rota 11
190	190	30	440	190	90	530	440	175	190	640
Rota 12	Rota 13	Rota 14	Rota 15	Rota 16	Rota 17	Rota 18	Rota 19	Rota 20	Rota 21	
175	190	35	160	190	190	5	5	190	190	

Rota Sureleri

Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Rota 6	Rota 7	Rota 8	Rota 9	Rota 10	Rota 11
6.71	6.71	3.43	8.29	5.71	5.29	11.57	8.29	5.50	5.71	14.14
Rota 12	Rota 13	Rota 14	Rota 15	Rota 16	Rota 17	Rota 18	Rota 19	Rota 20	Rota 21	
5.50	5.71	4.50	4.29	5.71	5.71	2.07	2.07	5.71	5.71	

Ek 5. 81 İlin Yer Aldığı Arena Ağı



Ek 6. Arayüz

Parola Ekranı

ROTACI

Parola



ROTACI

07.05.2009
01:21:18



Tedarikçi Ekleme

Tedarikçi

Şehir

Vardiya Başlangıcı

Vardiya Bitişi

Palet Tipi Yeni Eski

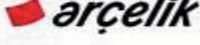
En (cm)

Boy (cm)

Yükseklik (cm)

Rampa Tipi Kamyon Tır

Yükleme/Boşaltma Süresi



Taşıyıcı Tipi Ekleme

Araç Cinsi

Kapasite (dm3)

Katsayı

Hız



Ek 7. Kullanım Kılavuzundan Bir Örnek



2.6 Taşıyıcı Tipi Ekleme

Yeni bir taşıyıcı tipi sisteme eklenmek istendiğinden bu taşıyıcının ismini “Araç Tipi” kutucuğuna, kapasitesini ise dm3 cinsinden “Kapasite (dm3)” kutucuğuna giriniz. Kapasite değerini girerken nominal kapasite kullanınız. (Örneğin kamyonun hacmi 55000 dm3 iken taşıyabileceği azami yük hacmi 46750 dm3 ise kamyon kapasitesi olarak 46750 dm3 değerini kullanınız.) Taşıyıcı tipinin kamyonu göre belirlenen maliyet katsayısını ilgili kutucuğa ekleyiniz. (Örneğin kamyonun maliyeti 100 YTL, tırın maliyeti 160 YTL ise kamyon için 1 olarak belirlenen maliyet katsayısı tır için 1.6 olarak sisteme girilmelidir.) Eklenecek taşıyıcı tipinin saatteki ortalama hızını ilgili kutucuğa giriniz.

NOT: Maliyet katsayısına kesirli sayılar girilmek istendiğinde ondalık sayı virgülle değil noktayla ayrılmalıdır.